Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Industrial
Unidad de Posgrado

Enfoque predictivo para la optimización del tamaño de fragmentación en base a técnicas de perforación y voladura de rocas

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial

AUTOR

Edito Luis ROJAS LINARES

ASESOR

Juan Manuel CEVALLOS AMPUERO

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Rojas, E. (2021). *Enfoque predictivo para la optimización del tamaño de fragmentación en base a técnicas de perforación y voladura de rocas*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID del autor	-
DNI o pasaporte del autor	DNI: 00410952
Código ORCID del asesor	0000-0001-8612-9128
DNI o pasaporte del asesor	Dr. Juan Manuel Cevallos Ampuero DNI : 07855059
Grupo de investigación	-
Agencia financiadora	Auto financiado
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Lima-Perú Coordenadas geográficas (obligatorio). S 12º 6' 19.124" O 77º 1' 36.966"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2016-2019
Disciplinas OCDE	**Minería, Procesamiento de minerales** http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05

UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA

UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL Nº04-UPG-FII-2021

SUSTENTACIÓN DE TESIS VIRTUAL PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

En la ciudad de Lima, del día 19 del mes de febrero del dos mil veintiuno, siendo las once horas, de forma virtual se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **"ENFOQUE PREDICTIVO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TAMAÑO DE FRAGMENTACIÓN EN BASE A TÉCNICAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS",** para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido **APROBADO** con la calificación de **DIECIOCHO (18).**

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial, al **Mg. ROJAS LINARES EDITO LUIS.**

En señal de conformidad, siendo las **12:35** horas se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.

UNMSM
Firmado digitalmente por TINOCO GOMEZ Oscar Rafael FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05.03.2021 11:00:09 -05:00

Dr. TINOCO GÓMEZ OSCAR RAFAEL
Presidente

UNMSM
Firmado digitalmente por GALLARDAY BOCANEGRA Tomas Ezequiel FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 04.03.2021 10:44:40 -05:00

Dr. GALLARDAY BOCANEGRA TOMAS EZEQUIEL
Miembro

Dr. BARRUTIA FEIJÓO WALTER ESTEBAN
Miembro

Dr. CABRERA CARRANZA CARLOS FRANCISCO
Miembro

UNMSM
Firmado digitalmente por CEVALLOS AMPUERO Juan Manuel FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05.03.2021 18:16:26 -05:00

Dr. CEVALLOS AMPUERO JUAN MANUEL
Asesor

DEDICATORIA

A mi madre Sara Manuela Linares Calisaya Vda. de Rojas

“ Que siempre ilumina el camino por donde voy ”

AGRADECIMIENTOS

Quisiera comenzar estas páginas expresando mi más sincera gratitud a todas aquellas personas e instituciones que han mostrado interés y apoyo en la elaboración de mi presente tesis.

Gracias a toda la plana de docentes de la sección del posgrado, por los conocimientos que allí se imparten, permitiéndome adquirir nuevos paradigmas de acuerdo a los conceptos modernos de la Ingeniería Industrial.

Gran reconocimiento a mis asesores:

- Dr. Juan Manuel Cevallos Ampuero, por su acertada orientación en el desarrollo de la presente de tesis
- Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez, por su revisión en detalle y sus recomendaciones para el desarrollo de la presente tesis.
- Dr. Tomas Ezequiel Gallarday Bocanegra, por su revisión y recomendaciones, para el desarrollo de la presente tesis.
- Dr. Carlos Francisco Cabrera Carranza, por su acertada recomendación y apoyo en el presente trabajo de investigación.
- Dr. Walter Esteban Barrutia Feijoo, por su revisión y recomendaciones para el desarrollo de la presente tesis.

Estoy convencido que un trabajo de esta envergadura no es obra de una sola persona, sino de muchas, que con su amparo y su colaboración han contribuido directa o indirectamente al mismo.

Gracias a todos

ÍNDICE GENERAL

Caratula
Dedicatoria ii
Agradecimiento iii
Indice general iv
Lista de tablas x
Lista de figuras xiv
Resumen xviii
Abstract xix

CAPITULO 1 : INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática 1
1.2 Formulación del Problema 2
1.2.1 Problema general 2
1.2.2 Problemas específicos 3
1.3 Justificación de la Investigación 3
1.4 Objetivos de la Investigación 4
1.4.1 Objetivo General 4
1.4.2 Objetivos Específicos 4

CAPITULO 2 : MARCO TEÓRICO.

2.1 Marco Filosófico o Epistemológico de la investigación 5
2.1.1 Empirismo, Estadística, Heurística, Ciencia y Filosofía 5
2.1.2 Aplicaciones a soluciones empíricas, estadísticas y heurísticas 7
2.1.2.1.- Ciencias empíricas. 7
2.1.2.2.- La Estadística. 10
2.1.2.3.- La Heurística. 11
2.2 Antecedentes del Problema 12
2.3 **Bases Teóricas** 16
2.3.1 La Ecuación de V.M. KUZNETSOV 16

2.3.2 El Modelo KUZ - RAM. …… 18
2.3.3. Formula de LARSON. …… 22
2.3.4. Formula de SVEDEFO. …… 22
2.3.5. Formula de DINIS DA GAMA (1970). …… 23
2.3.6 Fisne, Hudaverdi y Kuzu (2012) …… 24
2.3.7 Hudaverdi, Kulatilake, Kuzu y Qiong (2010) …….. 25
2.3.8. Dindarloo (2015) …….. 26
2.3.9. Huang, Shi, Wei, Wu y Zhou (2012) …… 27
2.4 **Marcos Conceptuales** ……..……...……...…..… 29
2.4.1 Técnicas de Análisis Multivariante. (MVA). ……...…… 30
2.4.1.1 Definición de Análisis de varianza de un factor y prueba de hipótesis...… 31
2.4.1.2 Definición del tratamiento análisis de correlaciones estructurales. .....….. 31
2.4.1.3 Definición y métodos de Análisis Discriminante…….....……. 32
2.4.1.4 Definición y tratamiento de Regresiones Multivariantes (MVRA) ...…... 33
2.4.1.5 Definición y tratamiento de los Limites de: Confianza y Predicción al 95% ……... 34
2.4.2 Técnicas de Redes Neuronales Artificiales (ANN). ……...…….. 35
2.5 Glosario de términos ……...……...…..... 38

CAPITULO 3 : METODOLOGIA

3.1 Hipótesis ……...…….……..…….……..... 40
3.1.1.- Hipótesis general ……...……...…….....……...…… 40
3.1.2.- Hipótesis específicas …….……...…..…...……...…... 40
3.2 Identificación de variables …….…...….....……...….. 40
- Hipótesis General 1 "HG1" ……... 42
- Hipótesis Especifica 1 "HE1" …… 42
- Hipótesis Especifica 2 "HE2" ……... 42
- Hipótesis Especifica 3 "HE3" ……... 43
3.3 Operalización de variables …….…….……... 43
- Hipótesis General 1 "HG1" ……... 43
- Hipótesis Especifica 1 "HE1" …… 44
- Hipótesis Especifica 2 "HE2" ……... 44
- Hipótesis Especifica 3 "HE3" ……... 45

3.4 Tipo y Diseño de Investigación 47
3.5 Unidad de análisis 47
3.6 Tamaño de muestra 48
3.7 Selección de muestra 48
3.8. Técnicas de recolección de datos 49
3.9 Análisis e interpretación de la información 49
3.10 Descripción y diagrama de Flujo del nuevo enfoque de la fragmentación .. 49

CAPITULO 4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL NUEVO ENFOQUE DE LA FRAGMENTACIÓN Y PRUEBA DE LA HIPÓTESIS.

4.1 Descripción de los datos para el Caso. 51
4.2. Test aplicados al Caso. 52
4.2.1 Análisis de Correlaciones & Variabilidades 54
4.2.1.1 Matriz de dispersión. 55
4.2.1.2 Tratamiento de Correlaciones Estructurales. 55
4.2.1.3 Tratamiento de Varianzas. 57
4.2.1.4 Box Plot. 58
4.3 Separación preliminar de la data, mediante el Indice de Fragmentación FI=E/X_{50} y asignación al grupo de pertenencia..... 59
4.4 Planteamiento y tratamiento del Análisis Discrimínate a la data. 63
4.4.1 Resultados del tratamiento del Análisis Discriminante 70

Análisis del Grupo 1

4.5 Análisis y tratamiento de la varianza de un factor. 77
4.6 Test del Alpha de Cronbach. 77
4.7 Box Plot. 77
4.8 Análisis de Componentes Principales al Grupo 1..... 78
4.8.1 Matriz de varianzas y covarianzas poblacional “S-1” 78
4.8.2 Matriz de Correlación en "R-1" 82
4.9 Modelo de kuznetsov & determinación de la fragmentación predecida..... 85
4.9.1 Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - kuznetsov ... 87

4.10 Modelo de Regresión Lineal -1 & determinación de la fragmentación predecida. ……...……. 89
4.10.1 Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - Lineal ……. 91
4.11 Modelo heurístico de "ANN-1" & determinación de la Fragmentación Predecida. …….……..…... 93
4.11.1 Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - ANN …….. 96
4.12 Resumen del grupo 1. Optimización en función a la dispersión de la data .. 98
4.12.1 Resumen del grupo 1. En función a sus límites de confianza. ……... 99
4.12.2 Box Plot en función a los modelos del Grupo 1. …… 101
4.12.3 Perfomance en base a los modelos del Grupo 1. ……. 101

Análisis del Grupo 2

4.13 Análisis y tratamiento de la varianza de un factor. ……..……. 103
4.14 Test del Alpha de Cronbach. ……...……..... 103
4.15 Box Plot. ……...……. 103
4.16 Análisis de Componentes Principales al Grupo 2……...…… 104
4.16.1 Matriz de varianzas y covarianzas poblacional "S-2" ……...…….....…. 104
4.16.2 Matriz de Correlación "R-2" …….…...…….. 108
4.17 Modelo de kuznetsov-2 & determinación de la fragmentación predecida ……... 110
4.17.1 Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95%, kuznetsov 2. 113
4.18 Modelo de Regresión Lineal 2 & determinación de la fragmentación predecida. ……..... 115
4.18.1 Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - Lineal 2 … 118
4.19 Modelo heurístico de ANN-2 & determinación de la fragmentación Predecida. ……. 119
4.19.1 Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - ANN 2 ….. 121
4.20.- Resumen del grupo 2. Optimización en función a la dispersión de la data. ……. 123
4.20.1 Resumen del grupo 2. En función a sus límites de confianza. …….. 124
4.20.2 Box Plot en función a los modelos del Grupo 2. …… 126
4.20.3 Perfomance en base a los modelos del grupo 2. ……..… 126

Análisis del Grupo 3

4.21 Análisis y tratamiento de la varianza de un factor. ……..…..…… 128

4.22 Test del Alpha de Cronbach. ……..…… 128

4.23 Box Plot. ……...……..…….. 128

4.24 Análisis de Componentes Principales al Grupo 3 ……...……..... 129

4.24.1 Matriz de varianzas y covarianzas poblacional "S-3" …….…….. 129

4.24.2 Matriz de Correlación "R-3" ……. 133

4.25 Modelo de kuznetsov. & determinación de la fragmentación predecida… 135

4.25.1 Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95%, kuznetsov 3 138

4.26 Modelo de Regresión Lineal 3 & determinación de la fragmentación Predecida. ……...…….…….. 140

4.26.1 Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - Lineal 3 …. 142

4.27 Modelo heurístico de ANN-3 & determinación de la fragmentación Predecida. ……..… 144

4.27.1 Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - ANN 3….... 146

4.28 Resumen del grupo 3. Optimización grafica lineal en función a los modelos ……. 149

4.28.1 Resumen del grupo 3. En función a sus límites de confianza. ……... 151

4.28.2 Box Plot en función a los modelos del Grupo 3. ……... 151

4.28.3 Perfomance en base a los modelos del grupo 3……... 152

4.29 Análisis de los resultados óptimos de los Grupos ……...…..……. 153

Grupo1.

- Resumen de los Modelos Kuz-1, Lineal-1, ANN-1, en función a los Limites de Confianza al 95% & Limites de la Predicción al 95% ……... 153

Grupo2.

- Resumen de los Modelos Kuz-2, Lineal-2, ANN-2, en función a los Limites de Confianza al 95% & Limites de la Predicción al 95% ……... 156

Grupo 3.

- Resumen de los Modelos Kuz-3, Lineal-3, ANN-3, en función a los Limites de Confianza al 95% & Limites de la Predicción ……... 159

Clasificación del modelo optimo

4.30 Verificación de la hipótesis general. ……... 163

4.30.1 Ploteo de la data {X_{50}} Vs. {ypred kuznetsov} y determinación de R^2…. 165

4.30.2 Análisis de Varianzas de la data de {X_{50}} Vs. {ypred kuznetsov}…..... 165
4.30.3 Ploteo de la data {X_{50}} Vs. {ypred Lineal} y determinación de R^2…..... 166
4.30.4 Análisis de Varianzas de la data de {X_{50}} Vs. {ypred Lineal}. ……..... 166
4.30.5 Ploteo de la data de {X_{50}} Vs. {ypred ANN} y determinación de R^2..... 167
4.30.6 Análisis de Varianzas de la data de {X_{50}} Vs. {ypred ANN}……..... 167
4.30.7 Perfomance de la Hipótesis General……... 168

4.31 Verificación de las hipótesis específicas. ……..... 170
4.31.1 Primera hipótesis especifica**.** ……..... 170
4.31.2 Segunda hipótesis específica. ……... 175
4.31.3 Tercera hipótesis especifica. ……..... . 180

CONCLUSIONES ……..... 185
SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS ……..…….. 188
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS …….....…... 189

ANEXOS

A-1. Script en “Matlab” para determinar la clasificación discriminante y reasignación de Grupos. …… 191
A-2. Complemento de la tabla 32. Resultados de 6 corridas del modelo ANN-2 tomando su resultado promedio. ……...…… 203
A-3. Complemento de la tabla 40, Resultados de 5 corridas del Modelo ANN-3 tomando su resultado promedio . ……...……....….... 204
A-4. Script en “Matlab” para la determinación de X_{50}, Predecida de ANN para el Grupo 1. ……..... 205
A-5. Script en Matlab para la determinación de la Perfomance, como: Limites de Confianza al 95% & Limites de la Predicción al 95% del Grupo 1. ..…... 210
A-6. Script en Matlab para la determinación de la 1era. Componente Principal y 2da Componentes Principal en “S-1” & “R-1” del Grupo 1.… 221

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Indices del factor de roca de Protodyakonov ……..……. 17
Tabla 2. Indices del factor de roca de Kuznetsov ……..……... 17
Tabla 3. Cunningham's "A" Factor ……..……... 20
Tabla 4. Clasificación de los parámetros en función al índice de fragmentabilidad por Ather Lily (1986) ……...…. 20
Tabla 5. Moh's Escala de dureza - Roberts (1977) ……..…..…. 21
Tabla 6 Constantes de Volativilidad …….……...……..... 22
Tabla 7. Variables Identificadas ……...…….……. 41
Tabla 8. Operalización de variables de la hipótesis general 1. "HG1" ...…..……. 43
Tabla 9. Operalización de variables de la hipótesis especifica 1 "HE1" ……...…. 44
Tabla 10. Operalización de variables de la hipótesis especifica 2 "HE2" …..……. 44
Tabla 11. Operalización de variables de la hipótesis especifica 2 "HE2" …...……. 45
Tabla 12. Matriz de consistencias. ……..…….....…… 46
Tabla 13. Datos para el caso estudio. ……... 53
Tabla 14. Resumen de correlaciones entre variables ……... 56
Tabla 15. Resumen de covarianzas ……..…….. 57
Tabla 16. Resumen preliminar de la data clasificada por el nuevo Indice de Fragmentación "FI=E/X50" y asignación al grupo de pertenencia ……. 59
Tabla 17. Resumen preliminar final de la data clasificada por grupos mediante el nuevo Indice de Fragmentación "FI=E/X50" ……...…….... 61
Tabla 18. Resumen de las datas dispersas para P1 ……..…… 68
Tabla 19. Resumen de las datas dispersas para P2 ……...…… 69
Tabla 20. Resumen de las datas dispersas para P3 ……...…… 69
Tabla 21. Clasificación Discriminante al grupo 1 "G1" ……..……...… 71
Tabla 22. Porcentajes discriminantes al grupo 1 "G1" ..……... 71
Tabla 23. Clasificación Discriminante al grupo 2 "G2" ……..……...… 72
Tabla 24. Porcentajes discriminantes al grupo 2 "G2" ..……... 72
Tabla 25. Clasificación Discriminante al grupo 3 "G3" ……..……...… 73
Tabla 26. Porcentajes discriminados al grupo 3 "G3" …...……... 73
Tabla 27. Indices de Lambda Wilks Parcial ……..… 73

Tabla 28. Resumen de la clasificación discriminante - validación cruzada …….. 74
Tabla 29. Resumen final de la clasificación discriminante, ordenados por grupos.... 75

Grupo 1

Tabla 30. Análisis de Varianzas 77
Tabla 31. Determinando la fragmentación mediante la ecuación de Kuznetsov. 85
Tabla 32. Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%, Mediante {X50} & {ypred-kuz-1} ……..……. 88
Tabla 33. Estimated Coefficients Linear ……..…… 90
Tabla 34. Determinando la fragmentación mediante Regresión Lineal "MVR" …. 90
Tabla 35. Determinación de los Limites de: Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%, mediante (X50} &{ypred-Lineal-1}……..…. 92
Tabla 36. Determinando la fragmentación predecida mediante el Modelo "ANN" .. 93
Tabla 37. Determinación de los Limites de: Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%, Mediante {X50} & {ypred-ANN-1} .....…. 97
Tabla 38. Resumen de los métodos kuz-1, Linear-1, ANN-1, en función a sus límites de confianza de 95% …….…...……...…….. 100
Tabla 39. Cuadro resumen de la perfomance del Grupo 1 ……..……..... 102

Grupo 2

Tabla 40. Analisis de Varianzas 103
Tabla 41. Determinando la fragmentación mediante la ecuación de Kuznetsov.….. 111
Tabla 42. Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-kuz-2}……..……... 114
Tabla 43. Estimated Coefficients Linear …… 116
Tabla 44. Determinando la fragmentación mediante Regresión Lineal "MVR" …. 116
Tabla 45. Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} &{ypred-Lineal-2} 118
Tabla 46. Determinando la fragmentación mediante el Modelo "ANN" ……..…… 119
Tabla 47 Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-ANN-2} ……....….. 122
Tabla 48. Resumen de los métodos kuz-2, Lineal-2, ANN-2, en función a sus Límites de Confianza de 95% …….....……..… 125
Tabla 49. Cuadro resumen de la perfomance del Grupo 2 ……..… 127

Grupo 3

Tabla 50. Análisis de Varianzas 128
Tabla 51. Determinando la fragmentación mediante la ecuación de Kuznetsov….. 136
Tabla 52. Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-kuz-3}……..……..... 139
Tabla 53. Estimated Coefficients Linear …….…… 141
Tabla 54. Determinando la fragmentación mediante Regresión Lineal "MVR" ... 141
Tabla 55. Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-Linear-3} …….. 143
Tabla 56. Determinando la fragmentación mediante el Modelo "ANN" …….. 144
Tabla 57. Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-ANN-3} ……..….... 147
Tabla 58. Resumen de los métodos kuz-3, Linear-3, ANN-3, en función a sus Límites de Confianza de 95% …….…….....……. 150
Tabla 59. Cuadro resumen de la perfomance del Grupo 3 ……..…. 152

Determinación de los Limites de Confianza y Predicción por Grupos

Tabla 60. Modelo kuznetsov.1 ……...……..... 154
Tabla 61. Modelo Lineal 1. ……..……..……. 154
Tabla 62. Modelo ANN 1 ……..……. 155
Tabla 63. Modelo kuznetsov 2 ……...……..… 157
Tabla 64. Modelo Lineal 2 …….. 157
Tabla 65. Modelo ANN 2 ……..……. 158
Tabla 66. Modelo Kuznetsov.3 ……..……. 160
Tabla 67. Modelo Lineal. 3 ……...…….. 160
Tabla 68. Modelo ANN 3 ……...……..... 161

Contraste de las hipotesis.

Tabla 69. Tabla unificada del valor {X50} & {ypred kuz}, {ypred Lineal}, {ypred ANN}. ……... 163
Tabla 70. Análisis de Varianzas para {X50} Vs. {ypred kuznetsov}……...… 165
Tabla 71. Análisis de Varianzas para {X50} Vs. {ypred Lineal}. ……... 167
Tabla 72. Análisis de Varianzas para {X50} Vs. {ypred ANN}. ……. 168

Tabla 73. Cuadro resumen de la perfomance de la hipótesis general, hechos a los Modelos de Kuznetsov, Regresiones Multivariantes y Redes Neuronales. ……. 169

Tabla 74. Determinación unificada de los Limites de Confianza al 95%, mediante la Ecuación de kuznetsov ……... 171

Tabla 75. Determinación unificada de los Limites de Confianza al 95%, mediante Regresiones Multivariantes (MVR)……..... 176

Tabla 76. Determinación unificada de los Limites de Confianza al 95%, mediante Redes Neuronales Artificiales (ANN) ……..... 181

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de diseño geométrico de la Malla de Perforación y Voladura... 18
Figura 2. Flowsheet at the Proposed Methodology of Fragmentation Index Modeling ……...……. 25
Figura 3. Flowchart of GEP algorithm ……...…..... 27
Figura 4 . Flowshart of key steps for establishment of SVR model ……...……. 29
Figura 5. Tangente hipérbola sigmoidal (tansig). ……..……..…..... 36
Figura 6. Logística o Logsigmoidal (logsig). ……..……..…..... 36
Figura 7. Lineal (purelin).. ……...……...……..…..... 36
Figura 8. Grafo básico operativo de la Red Neuronal aplicada al caso ...…..... 37
Figura 9. Diagrama de flujo del Nuevo Enfoque. ……...……...……..... 50
Figura 10. Matriz de dispersión. ……..…….…… 55
Figura 11. Correlaciones estructurales. ……..... 56
Figura 12. Varianzas y Covarianzas - estructurales. …… 57
Figura 13. Box Plot de la data. ……..... 58
Figura 14. Ploteo de la data dispersa & centros de gravedad.……...…….. 70
Figura 15. Ploteo parcial de la data dispersa por grupos. ……..... 74

Grupo 1

Figura 16. Perfomance Box Plot.- Grupo 1 …..…….……..... 78
Figura 17. Perfomance de la 1ra. Componente Principal de “S-1” …….. 80
Figura 18. Perfomance de la 2da. Componente Principal de “S-1” ……... 80
Figura 19. Perfomance de la 1ra & 2da. Componente Principal de “S-1” ……..... 81
Figura 20. Perfomance de la 1ra. Componente Principal de “R-1” ……... 83
Figura 21. Perfomance de la 2da. Componente Principal de “R-1” …… 84
Figura 22. Perfomance de la 1ra. & 2da. Componente Principal de “R1” ……... 84
Figura 23. Perfomance comparativo entre X_{50}, ypred-kuz-1 & puntos aleatorios … 86
Figura 24. Perfomance de la dispersión entre X_{50} & ypred-kuznetsov-1 ……. 86
Figura 25. Ploteo de los limites de Confianza y Predicción al 95%, a la data dispersa, X_{50} & ypred-kuz-1 ……..……..... 89
Figura 26. Perfomance comparativo entre X_{50}, ypred-Lineal-1 & puntos aleatorios.. 91
Figura 27. Perfomance de la dispersión entre X_{50} & ypred-Lineal-1 …….…….. 91

Figura 28. Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%.
Modelo Lineal-1 ……...…….. 93
Figura 29. Simulador virtual de Redes Neuronales. ……...…… 94
Figura 30. Perfomance of Best Training & MSE at Epoch 152. ……...…… 94
Figura 31. Perfomance comparativo entre X50, ypred-ANN-1 & puntos aleatorios... 95
Figura 32. Perfomance de la dispersión entre X50 & ypred-ANN-1 ……..... 95
Figura 33. Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%, a la data
Dispersa de X50 & ypred-ANN-1 . ……...……... 98
Figura 34. Ploteo de la data dispersa, entre X50 & kuz1, Lineal-1, ANN-1 …..…..... 98
Figura 35. Perfomance Box Plot, de los Modelos Kuz-1, Lineal-1, ANN-1 en
función a {X50}……..…….... 101

Grupo 2.

Figura 36. Perfomance Box Plot. Grupo 2 ……..... 104
Figura 37. Perfomance de la 1ra. Componente Principal de “S-2” ……..…….. 106
Figura 38. Perfomance de la 2da. Componente Principal de “S-2” ……...…..... 106
Figura 39. Perfomance de la 1ra. & 2da. Componente Principal de“S-2” …… 107
Figura 40. Perfomance de la 1ra. Componente Principal de “R-2” …….……. 109
Figura 41. Perfomance de la 2da. Componente Principal de “R-2” …….……. 110
Figura 42. Perfomance de la 1ra. & 2da. Componente Principal de “R-2” ……..… 110
Figura 43. Perfomance comparativo entre X50, ypred-kuz-2 & puntos aleatorios … 112
Figura 44. Perfomance de la dispersión entre X50 & ypred-kuznetsov-2. ……..... 112
Figura 45. Ploteo de los limites de Confianza y Predicción al 95%, a la data
Dispersa de X50 & ypred-kuz-2 ……..…..…. 115
Figura 46. Perfomance comparativo entre X50, ypred-Lineal-2 & puntos
aleatorios ……..… 117
Figura 47. Perfomance de la dispersión entre X50 & ypred-Lineal-2 ……...…..… 117
Figura 48. Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%, a la data
dispersa de X50 & ypred-Lineal-2 ……..…….. 119
Figura 49. Perfomance comparativo, entre X50, ypred-ANN-2 & puntos
aleatorios ……...……... 120
Figura 50. Perfomance de la dispersión entre X50 & ypred-ANN-2 . ……...…… 121
Figura 51. Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%, a la data
dispersa de X50 & ypred-ANN-2 ……...…….. 123

Figura 52. Ploteo de la data dispersa entre X50 & kuz-2, Lineal-2, ANN-2 …..... 123
Figura 53. Perfomance Box Plot, de los Modelos Kuz-2, Lineal-2, ANN-2
en función a X50 ……..……... 126

Grupo 3

Figura 54. Perfomance Box Plot. - Grupo 3……..……... 129
Figura 55. Perfomance de la 1ra. Componente Principal de “S-3” ……..... 131
Figura 56. Perfomance de la 2da. Componente Principal de “S3” …….. 131
Figura 57. Perfomance de la 1ra & 2da. Componente Principal de “S-3” ……..... 132
Figura 58. Perfomance de la 1ra. Componente Principal de “R-3” …..…….. 134
Figura 59 Perfomance de la 2da. Componente Principal de “R-3” ……..... 135
Figura 60. Perfomance de la 1ra & 2da. Componente Principal de “R-3” ...……. 135
Figura 61. Perfomance comparativo entre X50, ypred-Kuznetsov-3 & puntos
aleatorios ……..… 137
Figura 62. Perfomance de la dispersión entre X50 & ypred-kuznetsov-3. ……... 137
Figura 63. Ploteo de los limites de Confianza y Predicción al 95%, a la data
dispersa, de X50 & ypred-kuz-3 ….....140
Figura 64. Perfomance comparativo entre X50, ypred-Lineal-3 & puntos
aleatorios ……..….. 142
Figura 65. Perfomance de la dispersión Lineal, entre X50 & ypred-Lineal-3. ...….. 142
Figura 66. Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%. A la data
dispersa de X50 & ypred-Lineal-3 …...……... 144
Figura 67. Perfomance comparativo entre X50, ypred-ANN-3. & puntos
aleatorios ..…….…… 145
Figura 68. Perfomance de la dispersión entre X50 & ypred-ANN-3. ……... 146
Figura 69. Ploteo de los limites de Confianza & Dispersión al 95%, a la data
dispersa de X50 & ypred-ANN-3. ……..…… 148
Figura 70. Ploteo de la dispersa entre X50 & kuz-3, Linear-3, ANN-3 149
Figura 71. Perfomance Box plot de los Modelos Kuz-3, Lineal-3, ANN-3
en función a {X50}……..……..….. 151
Figura 72. Ploteo de la data {X50} & {ypred kuznetzov}…… 165
Figura 73. Ploteo de la data {X50} & {ypred Lineal}……..... 166
Figura 74. Ploteo de la data {X50} & {ypred ANN}. …….. 167

Figura 75. Perfomance Box plot de los modelos {X_{50}}, {ypred kuz}, {ypred Lineal}, {ypred ANN}. ……..…... 168
Figura 76. Limites de Confianza al 95%, entre {X_{50}} Vs. {ypred-kuz} ……..... 174
Figura 77. Limites de Confianza al 95%, entre {X_{50}} Vs. {ypred-Lineal} …..... 179
Figura 78. Limites de Confianza al 95%, entre {X_{50}} Vs. {ypred-ANN} …...…... 184

RESUMEN

El presente trabajo de tesis, titulado “Enfoque predictivo para la optimización del tamaño de fragmentación en base a técnicas de perforación y voladura de rocas”, es una propuesta metodológica para determinar mediante los limites de confianza y dispersión, la granulometría predictiva de un proceso de voladura de rocas. La investigación se describe, como una optimización en las operaciones minero-metalúrgicas, porque entregando una óptima fragmentación requerida para los procesos de molienda, se minimizará sus tiempos y maximizará su productividad. Asi mismo, cabe mencionar que dicha investigación utiliza las técnicas de Kuznetsov, técnicas de Análisis Multivariante (MVA) y técnicas de Redes Neuronales Artificiales (ANN). Realizando al final una comparación entre dichas técnicas, en función a su efectividad.

Haciendo un resumen de la presente investigación. El capítulo 1 de la Tesis, subtitulado Introducción, esta referido a la problemática de la investigación.

El capítulo 2 subtitulado Marco Teórico, esta referido a las bases teóricas, donde se describe las técnicas empleadas, como; la varianza de un factor, correlaciones estructurales, técnicas de análisis discrimínate, regresiones multivariantes, limites de confianza, dispersión y técnicas de redes neuronales.

El capítulo 3 subtitulado Metodología, esta referido al desarrollo de la hipótesis, identificación de variables, operalización y diseño, selección de la muestra, recolección e interpretación de datos y el diagrama de flujo del nuevo enfoque de la fragmentación en la voladura de rocas.

El capítulo 4 subtitulado Diseño y Desarrollo de la investigación, esta referido a la aplicación de lo expuesto en las bases teóricas, desarrollo del diagrama de flujo del enfoque predictivo en forma detallada, clasificación del método óptimo, conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

The present thesis work entitled a new predictive approach to the fragmentation in the processes of rock blasting using optimization techniques, is a new methodological proposal to determine by the limits of confidence and dispersión la granulometry of a rock blasting process, This research is described as an optimization in the metallurgical mining operations, since it provides an optimal fragmentation for the grinding processes, becuase minimizing its times and maximizing its productuvity, it is also worth mentioning that this research uses the kusnetsov techniques, Multivariate Analysis techniques (MVA) and Artificial Neural Network techniques (ANN). Doing at the end a comparation between technical knowlegge, according to its effectiveness.

Making a summary of the present investigation. Chapter 1 of the present study, subtitled introduction, is referred to the research problematic.

Chapter 2 subtitled the Theorical Bases where the techniques used are described as the variance of a factor, structural correlations, discriminant analysis techniques, multivariate regressions, confidence limits, dispersion and neural network techniques

Chapter 3 subtitled Methodology is concerned with the development of the hypothesis, identification of variables, operalization and design, selection of the simple, collection of the simple, collection and interpretation of data and the flowchart of the new approach to fragmentation in rock blasting

Chapter 4 subtitled the Design and Development of the new approach, refers to the aplication of the above in the theorical bases and development of the new approach in a detailed manner, concluding with the classification of the optimal method, conclusions and recomendations

CAPITULO 1 : INTRODUCCIÓN

1.1.- Situación problemática

El Perú es considerado como un país minero, por tradición y vocación, la cual data desde épocas pre-Incas, porque posee importantes yacimientos de minerales y por su aporte al desarrollo nacional.

En relación a las actividades mineras y civiles, la perforación y voladura de rocas son inevitables en dichas actividades. Por lo tanto, el uso de explosivos es el medio más ampliamente utilizado para el fracturamiento de las rocas. Una mala fragmentación hace necesario la realización de voladuras secundarias ó la necesidad de romper los tamaños mediante medios mecánicos, añadido al sobre costo que se supone. Un parámetro que define el resultado de una voladura es la granulometría de la pila de un material volado y la manera más exacta de conocerlo, es mediante el índice de fragmentación medio X_{50}, que se obtiene empleando diferentes técnicas, la más usual se determina en base a las distintas fracciones que ingresan a la planta de tratamiento y que pueden ser separados por medio de sub procesos y mallas en las diferentes fracciones.

Los parámetros que afectan a la fragmentación de la roca se clasifican en dos grupos: El primer grupo controla los parámetros de diseño y los parámetros relacionados con explosivos, y el segundo grupo están referidas a los parámetros incontrolables, como las propiedades físicas (litología, mineralogía etc.) y geo-mecánicas de la roca.

Para la predicción de la fragmentación de la roca, el primer paso para producir una fragmentación eficaz, es optimizar los parámetros de diseño. Lo cual generalmente no se aplican en el campo de la ingeniería en Perú. Por consiguiente, la presente tesis estudia los factores predictivos de la voladura en referencia a la fragmentación con parámetros controlables y no controlables en base a técnicas heurísticas de perforación y voladura, y análisis Multivariante.

En la actualidad, la aplicación de las teorías de la fragmentación en las voladuras de rocas con la utilización de explosivos, sigue siendo materia de investigación, las teorías y modelos determinísticos y/o probabilísticos, a determinado solamente una aproximación, mas no el óptimo, por ende, el problema de la fragmentación requiere una mejora en sus cálculos. Por lo tanto, aun no existe un modelo, basado en una función matemática para obtener una óptima fragmentación en la voladura de rocas.

En los últimos años, **Singiresu (2009)** sostiene en su obra "Engineering Optimization", que se han desarrollado algunos métodos de optimización que son conceptualmente diferente de las técnicas tradicionales de programación matemática. Estos métodos han sido etiquetados como los métodos modernos y no tradicionales de optimización. La mayoría de estos métodos se fundamentan en ciertas características emulando el comportamiento de factores biológicos, moleculares, enjambre de insectos y los sistemas neurobiológicos. Para lo cual, el presente estudio de investigación utilizara todas las técnicas de optimización que comprende el modelado matemático, soluciones factibles, cálculos iterativos y soluciones heurísticas **(Taha, 2012),** con el fin de proponer un nuevo enfoque objetivo y optimo, en la fragmentación de la voladura de rocas.

1.2.- Formulación del problema

Las interrogantes que se plantean en la presente investigación, son:

1.2.1.- Problema general

En la actualidad existen muchos modelos basados en una función matemática para determinar el índice medio de la fragmentación granulométrica en una voladura de rocas, pero aun no llegan al óptimo**.** Por lo tanto:

1) ¿Qué factores limitan la fragmentación en la voladura de rocas, en las actividades mineros y civiles?

1.2.2.- Problemas específicos

Los problemas específicos en la presente tesis se enmarcan en:

1) ¿En qué medida se aplica la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95 % y Limites de la Predicción al 95 %?
2) ¿En qué medida se aplica la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95 % y Limites de la Predicción al 95 %?
3) ¿En qué medida se aplica la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95 % y Limites de la Predicción al 95 %?

1.3.- Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica, porque mediante el nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en los procesos de la voladura de rocas, permitirá optimizar los procesos operacionales mineros y metalúrgicos, porque entregando una óptima fragmentación requerida para los procesos de chancado, se podría minimizar sus tiempos molienda y maximizar su productividad.

- De acuerdo con **Faramarzi, Farsangi y Mansouri (2013)** en su investigación describe que la fragmentación de rocas es motivo de muchos trabajos de investigación, debido a que es considerada como el aspecto más importante de la producción, afectando a los costos de los trabajos de perforación, voladura y la eficiencia de todos los subsistemas, tales como; la carga, el transporte y otros de las operaciones mineras.

- Así mismo **Hustrulid (1999)** afirma que la ingeniería de la fragmentación es una parte importante en la minería en el futuro. Sostiene que a medida que las máquinas de carga y transporte serán más automatizadas, como por ejemplo las fajas transportadoras, será necesario una especificación mucho mejor del tamaño y/o granulometría del material fragmentado.

- **Esen (2013)** refiere en su investigación de "Fragmentation Modelling and the Effects of Run-of-Mine (ROM) Fragmentation on Comminution Circuits", que la fragmentación tiene un impacto notable en la economía de la recuperación

de lixiviación en pilas, como lo ha demostrado (Jeque Chung, 1987) en un estudio realizado en la Mina Denison (Ontario, Canadá). El autor concluye que la viabilidad de lixiviación en pilas en esta operación depende de la alternativa de mantener las reservas de mineral roto u fragmentado durante largos periodos de tiempo, por lo tanto, es necesario adoptar estrategias de optimización a través de la implementación de adecuados diseños de voladura.

1.4 Objetivos de la investigación.

Los objetivos de la investigación en la presente tesis, tienen como finalidad desarrollar y determinar las variabilidades que influyen en las técnicas de kuznetsov, Rgresiones Multivariantes y Redes Neuronales en la voladura de rocas. Por lo tanto, los objetivos se enmarcan en los siguientes.

1.4.1 Objetivo general

1) Desarrollar un nuevo enfoque predictivo para la optimización del tamaño de la fragmentación en base a técnicas de perforación y voladura de rocas

1.4.2 Objetivos específicos

1) Determinar la efectividad de la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%.

2) Evaluar la efectividad de la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%.

3) Analizar la efectividad de la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%.

CAPITULO 2 : MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Filosófico o Epistemológico de la investigación

Modelar y simular en base a técnicas multivariables de optimización, es el tema de la investigación del presente trabajo de tesis, el conocimiento proviene de varias fuentes, tales como; la experiencia, la expresión artística, la observación y la reflexión filosófica. Por lo tanto, el conocimiento de kuznetsov se fundamenta en; observaciones, experiencias y prueba u error, su aporte para determinar el tamaño medio de fragmentación "X_{50}", es una función matemática determinística, que obtiene sus resultados en base variables independientes, es decir "predice" la fragmentación futura. Mientras que el conocimiento de la optimización tiene como herramienta a la estadística, que es un área de las matemáticas, que estudia los usos y análisis provenientes de una muestra representativa de datos, y que busca explicar las correlaciones y dependencias de un fenómeno físico o natural, de ocurrencia en forma aleatoria o condicional. El modelamiento como producto final para el presente proyecto, versa sobre una estadística aplicada (descriptiva e inferencial) denominada hoy en día, como análisis multivariante (MVA).

Así mismo, los algoritmos heurísticos de Redes Neuronales Artificiales "ANN" empleados en el presente proyecto, ha demostrado bajo un enfoque determinístico que optimizan eficientemente.

2.1.1.- Empirismo, Estadística, Heurística, Ciencia y Filosofía

Determinar conceptualmente cada conocimiento y relacionarlos, es un tema de ahondar en el porqué de las ciencias y su objetivo de ser.

El empirismo, es una teoría filosófica que enfatiza el papel de la experiencia, ligada a la percepción sensorial, en la formación del conocimiento. El término "empirismo proviene del griego cuya traducción en latín es: "experiemntia", de donde deriva la palabra "experiencia". En la antigüedad clásica, lo empírico se refería al conocimiento que los médicos, arquitectos, artistas y artesanos en general obtenían a través de su experiencia dirigida hacia lo útil y técnico, en contraposición al conocimiento teórico concebido como contemplación de la verdad al margen de cualquier utilidad.

Según Locke (1689), en su ensayo sobre el entendimiento humano sostiene: Que el conocimiento que los humanos pueden poseer es el conocimiento a posteriori (conocimiento basado en la experiencia), dicha proposición sostiene que la mente humana es una tabula rasa u hoja en blanco, en el cual se escriben las experiencias derivadas de impresiones sensoriales a medida que la vida de una persona prosigue.

Por otra parte, David Hume (1711-1776), reduce todo conocimiento, en cuanto tal, "a impresiones" e "ideas". Admite dos tipos de verdades. "verdades de hecho" y "relación de ideas". Toda idea ha de poder ser reducida a una impresión correspondiente. Cuando una idea surge de la relación entre ideas, su contenido de realidad ha de depender de las impresiones que la motivan. Si no encontramos dichas impresiones se debe rechazar como producto de la mera imaginación sin contenido de realidad alguno.

La estadística, es un repertorio de técnicas para alzarse desde lo diverso y parcial, a lo unitario y desconocido. La estadística es un mecanismo que ayuda a hacer ese tránsito que ha interesado e interesa desde hace dos milenios y medio a la humanidad.

La estadística es una de las herramientas más fundamentales que cuenta la ciencia y la filosofía para hacer ese tránsito desde lo determinado a lo indeterminado, que es el camino que ha hecho la Ciencia y la Filosofía desde Tales de Mileto, que comenzó el camino del mito Logos. Gutiérrez (1994)

La heurística, según la tesis de Tejada (2017), define a la heurística como un término que aparece en el periodo clásico de la Grecia antigua, Etimológicamente consiste en la invención y en el descubrimiento debido a la reflexión y no al azar. En consecuencia, todos los factores irracionales no son parte de la heurística. Desde el punto de vista heurístico no existe la diferencia entre invención y descubrimiento. La heurística forma parte de los métodos del descubrimiento científico. La heurística forma parte del proceso mismo de descubrimiento y de investigación teórica. (Maldonado, 2005).

2.1.2.- Aplicaciones a soluciones empíricas, estadísticas y heurísticas

En la actualidad, existen muchas aplicaciones del método empírico, estadístico y heurístico que aportan conocimiento, de los cuales a continuación se darán algunos ejemplos.

2.1.2.1.- Ciencias empíricas. Son aquellas que comprueban o justifican sus hipótesis a través de las experiencias puntuales y de la percepción del mundo a través de los sentidos. El método por excelencia de este tipo de ciencias es el hipotético-deductivo.

Las ciencias empíricas se clasifican en :

a.- Ciencias naturales: Que constituyen el estudio del mundo de la física y sus leyes, de todo aquello que atribuimos a "la naturaleza". Se le conoce también como "Ciencias duras" debido a su necesaria exactitud y comprobabilidad.

b.- Ciencias Humanas o Sociales. Denominadas también "Ciencias blandas" que se ocupan del ser humano, cuyos principios de acción no responden a leyes y mecanismos universalmente describibles, sino a tendencias y clasificaciones de conducta. Ofrecen una idea mucho menos determinista de lo real que las ciencias duras.

Dentro de los ejemplos de las ciencias empíricas se tiene:

1.- **Física.** Se refiere a la descripción de las fuerzas que actúan en el mundo real a partir de modelos matemáticos aplicados, para formular leyes que la describan y predigan. Es una ciencia natural.

2.- **Química**. Es la ciencia del estudio de las leyes que rigen a la materia y las relaciones entre sus partículas (átomos y moléculas), así, como los fenómenos de mezcla y transformaciones a los que sean susceptibles. Es también una ciencia natural.

3.- **Biología.** Denominado ciencia de la vida, debido a su alcance en el origen de los seres vivos y sus diversos procesos de desarrollo, evolución y reproducción. Es una ciencia natural.

4.- **Fisicoquímica.** Es una ciencia relacionado tanto la física como la química, cubre esos espacios de la experiencia y experimentación que requieren una mirada doble en torno a la materia y sus procesos, para poder determinar a la vez sus procesos interiores y exteriores. Es lógicamente una ciencia natural.

5.- **Geología.** Ciencia orientada al estudio de los procesos de las distintas capas de la superficie de nuestro planeta, prestando atención a su particular historia geoquímica y geotérmica. Es también una ciencia natural.

6.- **Medicina.** Esta ciencia se basa en el estudio de la salud y la vida humana, intentando comprender el funcionamiento complejo de nuestro cuerpo a partir de herramientas tomadas en préstamo de otras ciencias naturales, como la química, la biología o la física. Es sin duda una ciencia natural.

7.- **Bioquímica.** Esta rama de la ciencia combina los preceptos de la química y la biología para adentrarse en las operaciones celulares y microscópicas de los organismos vivos, estudiando la manera en que los elementos atómicos de sus cuerpos operan en procesos puntuales. Es una ciencia natural.

8.- **Astronomía.** Ciencia que se estudia y describe las relaciones entre los objetos espaciales, desde las estrellas y los planetas lejanos hasta las leyes que pueden derivarse de la observación del universo externo a nuestro planeta. Es otra ciencia natural.

9.- **Oceanografía.** El estudio de los océanos, desde una perspectiva biológica, química y física, intentando describir lo mejor posible las leyes únicas con que el universo marino opera. Es también una ciencia natural.

10.- **Nanociencia.** Se denomina así al estudio de los sistemas cuyas escalas son prácticamente submoleculares, con el propósito de comprender las fuerzas que se producen entre las partículas de dichas dimensiones y tratar de manipularlas a través de la nanotecnología.

11.- **Antropología.** El estudio del hombre, a grandes rasgos, atendiendo a las manifestaciones sociales y culturales de sus comunidades a lo largo de su historia y del mundo. Es una ciencia social, o sea, una ciencia “blanda”.

12.- **Economía.** Se ocupa del estudio de los recursos, la creación de las riquezas y la distribución y consumo de bienes y servicios, de cara a la satisfacción de las necesidades de la raza humana. Es también una ciencia social.

13.- **Sociología.** La ciencia social por excelencia, dedica su interés a las sociedades humanas y los distintos fenómenos de índole cultural, artística, religiosa y económica que en ellas tienen lugar.

14.- **Psicología.** Ciencia que se avoca al estudio de los procesos y percepciones mentales del ser humano, atendiendo a su contexto físico y social y a sus distintas etapas de constitución o desarrollo. Es también una ciencia social.

15.- **Historia.** Ciencia cuyo objeto de estudio es el pasado de la humanidad y que lo aborda a partir de archivos, evidencias, relatos y cualquier otro soporte de época. A pesar de que haya debate al respecto, normalmente se acepta considerarla una ciencia social.

15.- **Lingüística.** Ciencia social que se interesa en las diversas lenguas humanas y las formas de comunicación verbales del hombre.

17.- **Derecho.** También llamadas ciencias jurídicas, suelen comprender la teoría del derecho y la filosofía del derecho, así como las aproximaciones a los distintos sistemas de reglamentación legal creadas por los distintos Estados para regir la conducta social, política y económica de su población.

18.- **Biblioteconomía.** Se trata del estudio de los procesos internos de las bibliotecas, de la gestión de sus recursos y sistemas internos de ordenación de libros. No debe confundirse con bibliotecología y es también una ciencia social.

19.- **Criminología.** Su objeto de estudio es el crimen y los criminales, entendidos como aspectos humanos comprensibles a partir de las herramientas de la sociología, la psicología y otras ciencias sociales afines.

20.- **Geografía.** Ciencia social encargada de la descripción y representación gráfica de la superficie de nuestro planeta, incluyendo los mares y océanos y los distintos territorios, relieves, regiones e incluso sociedades que lo constituyen.

2.1.2.2.- La Estadística.

La estadística se define como una conjunción de datos sobre determinadas características de familias, animales, individuos, hogares o cualquier otro detalle de interés con la finalidad de estudiarlos y analizarlos para llegar a conclusiones que resulten útiles para prever o planear actividades de futuro. En la actualidad se pueden considerar como una rama de las ciencias matemáticas a través del empleo de métodos de forma científica.

Existen tres clases de estadísticas: Estadística descriptiva, estadística de probabilidades, estadística de experimentos y muestras.

1.- Estadística descriptiva. La estadística descriptiva es la que resume, organiza e intenta simplificar un conjunto de datos de estilo numeroso o muy complicado.

2.- Estadística de probabilidades. Esta clase de estadística es la que analiza situaciones donde el azar hace su presencia de manera importante. Un ejemplo de la estadística de probabilidades es cuando tiramos un dado y estudiamos las posibilidades que contamos en lograr un determinado número. Otro ejemplo es al poner a germinar una cantidad de semillas de una especie y analizamos cuantas plantas podrán crecer y desarrollarse concretamente.

3.- Estadística de experimentos y muestreo. Esta estadística se representa en la observación de una pequeña porción típica de una determinada población y después se usan los datos recogidos para ampliar las posibles conclusiones finales sobre el resto de los habitantes de la población. Un ejemplo de la estadística de experimentos y muestreo la observamos claramente en la actividad de los periodistas que paran a los peatones para realizar una consulta puntual, así después podrán informar en relación a la opinión general de una temática importante.

Las, técnicas empleadas en las estadísticas son aplicadas en varios campos, por ejemplo, en la ingeniería, medicina, estudios de mercado, resultados deportivos, educación, encuestas electorales, controles sobre la calidad, etc., Se consideran a las estadísticas como imprescindibles para lograr una interpretación correcta de la realidad, si no se usaran los procedimientos estadísticos, sería un caos general, y gran cantidad de directores, políticos, gobernantes y hasta ejecutivos no contarían con una

información vital al instante de adoptar decisiones sobre determinadas situaciones inciertas.

2.1.2.3.- La Heurística.

La heurística que significa “hallar, inventar, gramaticalmente cuando se usa como sustantivo, se refiere a la disciplina, el arte o la ciencia del descubrimiento. Cuando aparece como adjetivo, se refiere a cosas más concretas, como estrategias heurísticas, reglas heurísticas o silogismos y conclusiones heurísticas, estos dos usos están íntimamente relacionados, ya que la heurística usualmente propone estrategias que guían el descubrimiento. Uno de los ejemplos relevantes fue realizado por Albert Einstein, en su publicación sobre el efecto fotoeléctrico (1905), con el cual obtuvo el premio nobel en física en el año 1921, cuyo título traducido al idioma español es: “sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la Luz”.

Según Beochut (1999), en la ingeniería, una heurística es un método basado en la experiencia que se utiliza como ayuda para resolver problemas de diseño, desde calcular los recursos necesarios hasta en planear las condiciones de operación de los sistemas. Mediante el uso de heurísticas, se resuelve más rápidamente problemas conocidos o similares a otros conocidos. Existen varios métodos heurísticos disponibles para los ingenieros como, por ejemplo; El análisis modal de fallos y efectos, y los árboles de fallo. El primero depende de un grupo de ingenieros experimentados que evalúan los problemas y fallos, los ordenan según su importancia y recomiendan soluciones.

Otros, como los métodos de ingeniería forense, son una amplia fuente de información para la investigación de problemas y responsables, y se basan en la heurística del eslabón más débil y en la eliminación de causas improbables. El conocimiento de qué causas son probables y cuáles no, forma una heurística aprendida por la profesión durante muchos años, más que un conocimiento científico aplicado.

Debido a que la heurística no es infalible, es fundamental conocer los casos en los que son aplicables y los límites a su uso. En general, en la ingeniería deben considerarse

como ayudas o apoyos para hacer estimaciones rápidas y diseños preliminares, pero no como justificaciones finales de un diseño o proyecto u otros

En psicología la heurística se relaciona con la creatividad y se ha propuesto que sea «aquella regla sencilla y eficiente para orientar la toma de decisiones y para explicar en un plano práctico cómo las personas llegan a un juicio o solucionan un problema». Usualmente una heurística opera cuando un problema es complejo o el problema trae información incompleta. En general, una heurística se considera como un atajo a los procesos mentales activos, y por lo tanto, es una medida que ahorra o reserva recursos mentales.

2.2.- Antecedentes del problema.

El arranque de rocas con explosivos es desde el siglo XVII, cuando se empezó a utilizar la pólvora en minería, los avances que han marcado hitos históricos ha sido el invento de la dinamita por Alfred Nobel en 1867, la utilización del ANFO a partir de 1955, el desarrollo de los hidrogeles desde finales de los años 50 hasta la actualidad, y, por último, la preparación de agentes explosivos como las emulsiones, el ANFO pesado, etcétera, que se encuentran aún en evolución.

Paralelamente, la perforación de barrenos progresó con acontecimientos decisivos como fueron en 1861 la aplicación del aire comprimido como fuente de energía en los equipos rotopercutivos, la utilización de las grandes perforadoras rotativas y de los martillos en fondo desde la década de los 50 y el desarrollo de los martillos hidráulicos a finales de los años 70.

No obstante, la voladura de rocas se ha considerado hasta épocas recientes como un “arte” de la pericia y experiencia de los artilleros, pero en la actualidad ese procedimiento de arranque se ha transformado en una técnica basada en principios científicos surgidos del conocimiento de las acciones ejercidas por los explosivos, los mecanismos de rotura de la roca y propiedades geomecánicas de los macizos rocosos.

El Anuario Minero del Ministerio de Energía y Minas del Perú (2016) sostiene que la minería es un elemento dinámico en la economía peruana, donde la inversión privada represento al cierre del año 2016 el 17.7 % del PBI, con un valor real equivalente a 3.9 %. Así mismo considera que la inversión empresarial en el Perú está localiza en las siguientes actividades económicas como: Minería, Hidrocarburos, Pesca, Agro exportación y Turismo. Según información de Pro-inversión, la proporción mayor inversión Extranjera Directa (IED) al cierre del año 2016, correspondió al sector minero (22.88%), segundo de comunicaciones (19.75 %), finanzas (17.41 %), energía (13.07 %), Industria (13.04 %), entre otros (13.22 %). En relación al empleo, las estadísticas en el año 2016, el sector genero un promedio anual de 174 mil 126 puestos de trabajo directos. Del total de empleos directos registrados 61,873 fueron generados por las compañías mineras titulares de la actividad minera en el país, mientras que 112,253 puestos laborales fueron originados por las empresas contratistas mineras que brindan servicios a dichas compañías.

Luego de haber realizado una revisión bibliográfica, el presente estudio considera como base a los siguientes investigadores en la ingeniería de la fragmentación en los procesos de voladuras de rocas, para lo cual se citan a continuación.

Kihlstrom y Langerfors (1976) luego de haber experimentado en el campo, teorizan un modelo de los mecanismos de rotura de rocas con explosivos, en su libro *"The modern technique of rock blasting",* nos proponen, que el cálculo de la carga de los explosivos en las voladuras de rocas, esta una función de las siguientes variables: Magnitudes geométricas del macizo rocoso, factores característicos de los explosivos, y factores que dependen de la roca y del grado de fijación, así los autores demostraron mediante diferentes pruebas, que existe una alta correlación entre las variables descritas y la fragmentación en la voladura de rocas, para lo cual el presente trabajo considera la formulación de los autores, como dato para el desarrollo de la investigación.

Holdemberg, Lee y Persson (1993) tomando como base las teorías existentes, en su libro "*Rock Blasting and Explosive Engineering",* desarrollan nuevas técnicas de voladuras controladas de contorno, con diferentes tipos de recorte, demostrando que la fragmentación de las rocas está en función de la geometría del macizo rocoso, propiedades de las rocas y características del material del explosivo, presentando

nuevas constantes en la formulación descrita, relacionando la termodinámica del explosivo en la ingeniería de la fragmentación. Con el objetivo de obtener el contorno de la excavación con el menor daño posible y controlando la estructura del macizo, dichos autores han elaborado diferentes métodos, que se agrupan bajo el nombre de explosión de contorno, por lo tanto, el presente trabajo de investigación utiliza todos los variables descritas de dichos autores, para desarrollar el nuevo enfoque de la fragmentación en la voladura de rocas.

Brown y Hock (1985) desarrollan una recopilación de las mejores técnicas de sostenimiento para el macizo rocoso en labores subterráneas y proponen el *"Geological Strength Index"* (GSI) como alternativa nueva, el conocimiento que transmite en su libro *"Excavaciones Subterráneas en Roca",* es básico para entender al macizo rocoso en sus detalles, como la rugosidad y el estado de las fisuras, el índice de calidad de roca, la dureza, la elasticidad etc., y que son representados como valores cuantitativos u ratios, para lo cual, dicho trabajo de investigación considera como dato para el desarrollo de una óptima fragmentación en la voladura de rocas, los índices expuestos por dicho autor.

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid (2013) define en su libro *"Perforación y Voladura",* que los avances presentados en el diseño de las mallas para voladura, son avances desarrollados a partir múltiples pruebas realizadas y cuyos resultados son ajustados a ecuaciones matemáticas, por estos motivos es muy útil el conocer de forma previa, la granulometría de una pila de material volado.
Así mismo establece que el objetivo de una voladura, es aquella en la que se buscan resultados óptimos en la fragmentación y un desplazamiento controlado del material.

Para lograr este objetivo y evaluar el correcto rendimiento de una voladura, se deben tener en cuenta tres factores fundamentales, que son claves para un correcto diseño y control de las voladuras, las cuales son.

- **Una correcta cantidad de energía.** Para lograr los resultados deseados hace falta la cantidad de explosivo adecuada en cada caso.
- **Una correcta distribución de energía.** El explosivo es un producto que implica la transformación de energía química en energía mecánica, de modo

que una mala distribución origina una fragmentación no deseada o bien, a concentraciones de energía tales que afecten a elementos ajenos a la misma.

- **Un correcto confinamiento de energía**. Para que el explosivo trabaje correctamente es necesario que los gases generados estén confinados en el barreno, de modo que la pérdida de energía por este hecho sea mínima.

Así los tres factores están íntimamente relacionados entre sí, de modo que la falta de uno de ellos, hace que el rendimiento obtenido no se corresponda con el objetivo deseado, por lo cual, el presente trabajo de investigación considera dichos factores para una óptima fragmentación.

Bagherpour, Monjezi, Sayadi y Yari (2015) sostienen en su artículo *"Blasting Operation Management Using Mathematical Methods"*, que la voladura es una de las operaciones más importantes de los proyectos mineros, y un manejo inapropiadamente de una voladura, principalmente conduce a eventos no deseados como la mala fragmentación, soplado de taladros, lanzamiento de rocas, etc., y que afectan a toda la operación física y económicamente, el presente caso estudio desarrolla una técnica de decisión de atributos múltiples, basado en indicadores y análisis matemático, que ayudan a minimizar los problemas y mejorar la performance, dichos resultados han sido utilizados en la mina de cooper de Sungun en Irán, obteniendo buenos resultados, por lo tanto, para el presente estudio se utilizaran técnicas de optimización estadística y matemática, para corroborar la fiabilidad de la data, como el alpha de cronbach, correlación de Pearson, análisis de varianzas y covarianzas etcétera, con la finalidad de desarrollar una óptima fragmentación en la voladura de rocas.

López (2003) sostiene en su tesis doctoral en referencia a la "*Evaluación de la Energía de los Explosivos Mediante Modelos Termodinámicos de Detonación",* que los explosivos son la principal fuente de energía para la fragmentación de roca. Desde el punto de vista energético, el rendimiento de la voladura se considera como la parte de la energía proveniente de la reacción del explosivo que es utilizada en la fragmentación, el levantamiento y empuje de la roca.

El Instituto Geológico y Minero de España (1987) sostiene en su libro **"***Manual de Perforación y Voladura de Rocas",* que el grado de fragmentación es un término genérico que se utiliza para definir la distribución granulométrica del material volado y en la fragmentación influyen un gran número de variables controlables y no controlables. No existe un método o fórmula de predicción exacta, pero en los últimos años un gran número de investigadores han trabajado en dicho campo desarrollando modelos desde simples fórmulas empíricas a complejas simulaciones con ordenadores, para el presente trabajo de investigación se considera todas las variables del IGME, para desarrollar de una nueva propuesta en la ingeniería de la fragmentación.

2.3.- Bases teóricas

Algunos personajes pioneros en la predicción de la fragmentación del material volado como. Kuznetsov, Claude Cunningham, Larsson, Svedefo & Dinis da Gama, que han realizado estudios y pruebas según **Instituto Geológico y Minero de España (1987), Hustrulid (1999) y Holmberg (2005)** y que han servido de base para las nuevas investigaciones, paso a continuación a desarrollar un resumen de los siguientes autores predescritos.

2.3.1.- La Ecuación de V.M. KUZNETSOV. Dicho investigador realizó sus estudios de la fragmentación en las voladuras de rocas y publicó sus resultados en el año 1973, el trabajo de kuznetsov se refiere al tamaño medio de la fragmentación, relacionado al factor de carga del explosivo y a la estructura geológica, propuesta como índices de factor de roca. Este trabajo fue muy importante, debido que determino que había una relación particular para determinar la fragmentación, con el tipo de roca.
La ecuación original de Kuznetsov es :

$$X_{50} = A * \left(\frac{V_o}{Q_T} \right)^{0.8} * Q_T^{1/6} \qquad \text{(Ec. 1)}$$

Donde :

X_{50} = Tamaño medio de los fragmentos (cm).
Vo = Volumen de roca fragmentada por taladro (m^3)
Qe = Cantidad de equivalente a la carga de explosivo por taladro (Kg)
A = Factor de roca.

Su trabajo fue un gran aporte relacionando a la fragmentación en función a la cantidad de explosivo y las características del macizo rocosos, la ecuación propone que el tamaño medio de la fragmentación podía ser predicho. A continuación, en la tabla 1 y 2, se presenta un resumen en de sus bases teóricas en relación al factor de roca.

Tabla 1. **Indices del factor de roca de Protodyakonov.**

Tipo de roca	A
Rocas muy blandas	3 a 5
Rocas blandas	5 a 8
Rocas medias	8 a10
Rocas duras fisuradas	10 a 14
Rocas duras homogéneas	12 a 16

Fuente : Instituto Geológico y Minero de España (1987) *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. pp. 368.

Tabla 2. **Indices del factor de roca de Kuznetsov**

Tipo de roca	A
Rocas muy blandas	3
Rocas blandas	5
Rocas medias	8
Rocas duras fisuradas	10
Rocas duras homogéneas	13

Fuente. Instituto Geológico y Minero de España (1987) *Manual de Perforación y Voladura de Rocas.* pp. 368.

El presente grafico tridimensional de la figura 1, tiene como finalidad esquematizar los parámetros de diseño de un frente de voladura para un mejor entendimiento de las bases teóricas, el frente de voladura esta constituido con una cara libre, que es el área en que se dirige la primera detonación, el taco (T) es un accesorio que sirve para el confinamiento del taladro cargado, los taladros (T) son perforaciones, que son hechas por equipos rotopersusivos, y el burden (B), Espaciamiento (S), Altura del taladro (H) están en función al diámetro del taladro (D), cabe mencionar, que dichos términos expuestos, serán empleados en el presente proyecto de tesis.

A continuación, se presenta en la figura 1, los parámetros del diseño de un frente de voladura.

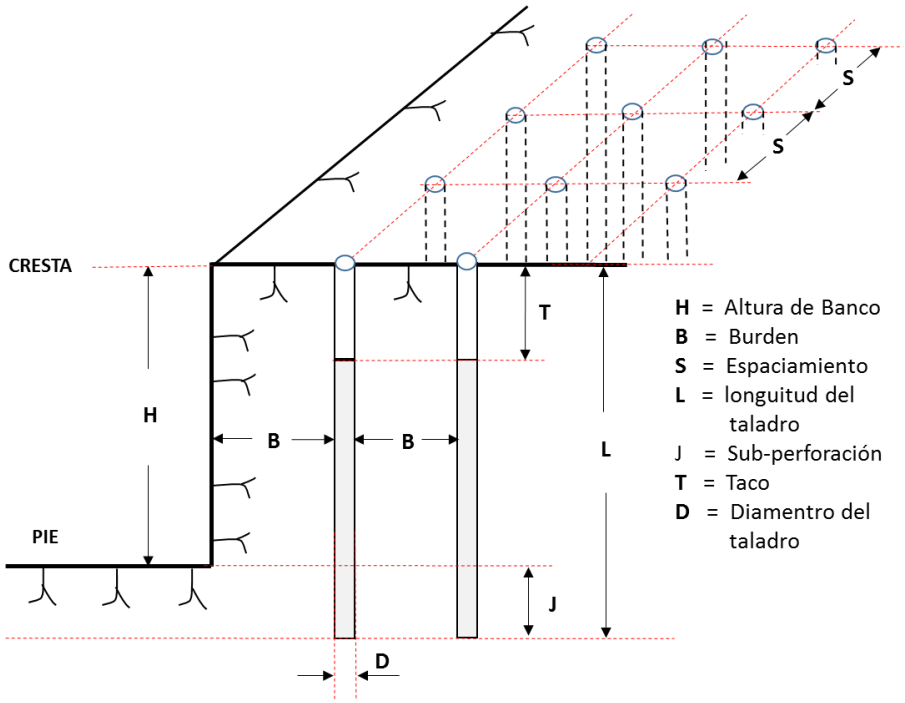

Figura 1. **Diagrama de diseño geométrico de la Malla de Perforación y Voladura.**
Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

2.3.2.- El Modelo KUZ-RAM. Este modelo fue desarrollado por Claude Cunningham en 1983, por el AECI en South Africa, en base a la curva de distribución de la granulometría de Rosin - Rammler y la ecuación empírica de V. M. Kuznetsov.

Las ecuaciones adaptadas y propuestas por Claude Cunningham fuerón:

Tamaño medio. $$X_{50} = A * \left(\frac{V_o}{Q_e}\right)^{0.8} * Q_e^{1/6} * \left(\frac{S_{ANFO}}{115}\right)^{-19/30} \quad \text{(Ec. 2)}$$

$$X_{50} = A(K)^{-0.8} Q_e^{1/6} \left(\frac{115}{S_{ANFO}}\right)^{19/30} \quad \text{(Ec. 3)}$$

Tamaño crítico. $$x_c = \frac{x_{50}}{0.693^{\frac{1}{n}}} \quad \text{(Ec. 4)}$$

Indice de uniformidad.

$$n = \left[2.2 - 14\frac{B}{D}\right]\left[\frac{1+\frac{S}{B}}{2}\right]^{0.5}\left[1-\frac{W}{B}\right]\left[\frac{ABS(BCL-CCL)}{L_t}+0.1\right]^{0.1}\frac{L_0}{H} \qquad \text{(Ec. 5)}$$

Fracción retenida. $R = e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n}$ (Ec. 6)

Leyenda :

X_{50} = Tamaño medio de los fragmentos de Voladura. (cm)
K = Inverso de la carga específica (V_0/Q_e) o factor de carga (m^3/kg).
A = Factor de roca.
Vo = Volumen de roca fragmentada por taladro (m^3)
Qe = Cantidad equivalente a la carga de explosivo por taladro (kg)
W = Desviación estándar de la exactitud de perforación. (m)
D = Diámetro del taladro (mm).
L_0 = Largo de la carga sobre el piso del banco (m).
H = Altura del banco.
B = Burden (m)
BCL = Largo de la carga de fondo (m)
CCL = Largo de la carga de columna (m)
L_t = Largo de la carga total (CLL + BCL) (m)
S_{ANFO} = Potencia relativa en peso al ANFO (ANFO = 100 ; TNT = 115)

Claude Cunningham indica que en tipos de rocas muy débiles A=8 y el límite superior es A=12, una alternativa para cuantificar mejor la selección de "A", es utilizando el Índice de volatilidad propuesto inicialmente por (Ather Lilly,1986) en cual ha sido adaptado para esta aplicación por (Claude Cunningham, 1987).

La ecuación propuesta por Claude Cunningham es:

A = 0.06 * (RMD + JF + RDI + HF) (Ec. 7)

Leyenda :

RMR = Descriptor de la masa Rocosa.
JPS = Espaciamiento de las diaclasas verticales.
JPA = Angulo del plano de la diaclasa.
RDI = Influencia de la densidad.
HF = Factor de dureza.

Cabe mencionar que según **Hustrulid (1999)** dicho modelo toma los Indices de la fragmentación de (Ather Lily, 1986) y la escala de dureza de Mohs (Roberts, 1977)

para proponer el Índice de Factor "A". A continuación en la tabla 3, 4 y 5 se presenta el resumen de los parámetros predescritos.

Tabla 3. **Cunningham's "A" Factor**

Symbol	Quantity	Rating
A	Rock factor	8 to 12
RMD	Rock Mass Description	
	-powdery/friable	10
	-vertically jointed	JF
	-massive	50
JF	JPS+JPA	
JPS	Vertical Joint Spacing	
	-<0.1 m	10
	-0.1 to MS	20
	- MS to DP	50
MS	Oversize (m)	
DP	Drilling pattern size (m) assuming DP>MS	
JPA	Joint Plane Angle	
	-dip out of face	20
	-strike perpendicular to face	30
	-dip into face	40
RDI	Density influence	25xRD-50
RD	Density (t/m³)	
HF	Hardness factor	
	- IF Y < 50 Gpa	HF = Y/3
	- IF Y > 50 Gpa	HF= UCS/5
Y	Youngmodulus (Gpa)	
UCS	Uniconfined compressive strength (Mpa)	

Fuente : Hustrulid W. (1999). *Blasting principles for open pit mining; V:1,* pp.110.

Tabla 4 . **Cclasificación de los parámetros en función al índices de fragmentabilidad por. Ather Lily (1986).**

	Parameter	Ranting
1.0	**Rock mass Descripción (RMD)**	
1.1	Powdery/Friable	10
1.2	Blocky	20
1.3	Totally Massive	50
2.0	**Joint Plane Spacing (JPS)**	
2.1	Close (<0.1 m)	10
2.2	Intermédiate (0.1 to 1 m)	20
2.3	Wide (> 1m)	50
3.0	**Joint Plane Orientation (JPO)**	
3.1	Horizontal	10
3.2	Dips out of face	20
3.3	Strike normal to face	30
3.4	Dips into face	40
4.0	**Specific Gravity Influence (SGI)**	
	SGI = 25 SG - 50, where SG is equal to the specific gravity on the rock	
5.0	**Hardeness (H)**	
	(Moh's harnees scale)	

Fuente : Hustrulid W. (1999). *Blasting principles for open pit mining; V:1*, pp. 107.

Tabla 5 . **Moh's Escala de dureza - Roberts (1977)**

Material	Moh's hardnees
Talc	1
Rock salt, gympsum	2
Calcite	3
Fluorspur	4
Apatite	5
Feldspar	6
Quartz	7
Topaz	8
Corumdrum	9
Diamond	10

Fuente : Hustrulid W. (1999). *Blasting principles for open pit mining; V:1*, pp. 107.

Una de las principales contribuciónes de Claude Cunningham al modelo Kuz-Ram fue proponer un método para estimar "n" en la ecuación de Rosin Rammler, basado en la geometría del taladro. La relación desarrollada por Claude Cunningham se muestra en la ecuación 5. Examinando cada término en dicha ecuación, se revela la forma en que la geometría del hoyo afecta a "n".

El primer término, que involucra al burden y al diámetro del taladro, sugiere que a medida que el burden aumenta para un diámetro fijo de taladro, el "n" disminuirá (un rango más amplio de tamaño de partícula). Esto parece muy razonable.

El segundo término de la ecuación de Claude Cunningham que involucra a la relación S/B, plantea que si la relación S/B aumenta, el indice "n" también aumenta (un rango más estrecho de tamaño de partícula). Esto está de acuerdo con el método Sueco, pero Claude Cunningham precave que este término refleja la malla de perforación, no la malla de iniciación y que la relación nunca debe exceder a 2. Dentro de estas limitaciones, nuevamente es completamente razonable que la uniformidad del tamaño de partícula debe mejorarse con el aumento de la relación S/B.

En la voladura de rocas (un buen ejemplo del tamaño de partículas no uniformes, los usuarios deben involucrar que las relaciones S/B sean menores a uno).

2.3.3. Formula de LARSON. La ecuación fue desarrollada por Larson en 1973, para la determinación del K_{50} ó abertura de malla cuadrada por lo que pasa el 50 % de material volado es:

$$K_{50} = S * e^{(0.58*\ln B - 0.145*\ln\left(\frac{S}{B}\right) - 1.18*\ln\left(\frac{CE}{c}\right) - 0.82)} \quad \text{(Ec 8)}$$

Leyenda :

K_{50} = Coeficiente del tamaño del bloque (cm)
B = Piedra (m)
S/B = Relación Espaciamiento / Piedra
CE = Consumo especifico de explosivo (kg/m³)
c = Constante de roca. Equivalente al consumo especifico de explosivo gelatinoso para fragmentar la roca, normalmente varia entre 0.3 a 0.5 kg/m³.
s = Constante de volativilidad. Es un factor que tiene en cuenta la heterogeneidad y discontinuidades del macizo rocoso.

Larson propone, que la constante de volativilidad esta en relación al macizo rocoso, para lo cual se presenta a continuación, la siguiente tabla 6.

Tabla 6. **Constantes de Volativilidad**

Caracteristicas del macizo rocoso	**s**
Rocas muy fisuradas y diaclasadas muy próximas	0.60
Roca diaclasada	0.55
Roca normal con algunas grietas	0.50
Roca relativamente homogénea	0.45
Roca homogénea	0.40

Fuente : Instituto Geológico y Minero de España (1987)
Manual de Perforación y Voladura de Rocas. pp. 368.

2.3.4. Formula de SVEDEFO. Pertenece a la Swedish Detonic Research Foundation, propone una corrección a la formula original de Larson que no tiene en cuenta el efecto de la altura del banco y la longitud del retacado, añadiéndole un término de tal manera que la ecuación final es la siguiente.

$$K_{50} = S * \left[1 + 4.67\left(\frac{T}{L}\right)^{2.5}\right] * e^{0.29 \ln B^2 \sqrt{\frac{S}{1.25}} - 1.18 \ln\left[\frac{CE}{c}\right]^{-0.82}} \quad \text{(Ec 9)}$$

Por lo tanto, las variables nuevas son:

L = Longitud del retacado (m)
T = Profundidad del barreno (m)

2.3.5. Formula de DINIS DA GAMA (1970). Considera que la voladura es un proceso de Conminución en el que el material fragmentado sigue las leyes de distribución siguiente.

$$PC = a * W^{b} * \left(\frac{T_b}{B} \right)^{c} \qquad \text{(Ec 10)}$$

Donde :

PC = Porcentaje acumulado de material menor que la fracción del tamaño Tb
W = Energía necesaria para la fragmentación de la roca (KWh/t).

$$W = 10 * \left(\frac{W_i}{\sqrt{K_{80}}} \right) \qquad \text{(Ec 11)}$$

Wi = Indice de bond de la roca
K_{80} = Tamaño por el cual pasa el 80% del material volado
B = Dimensión de la piedra en el esquema de la voladura
a,b y c = Constantes que dependen de las características de las rocas y el explosivo

Los valores de las constantes se obtienen resolviendo un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas planteado a partir de datos de la curva granulométrica de una muestra representativa de material volado.

APLICACIÓN DE NUEVOS MÉTODOS EN LA INGENIERÍA DE LA FRAGMENTACIÓN

La tendencia de las nuevas investigaciones están enfocadas en estudios no experimentales, de diseño transversal, de tipo correlacional-causal, donde utilizan los datos de una voladura, para correlacionar la geometría en un diseño de malla, perforación y voladura, estas relaciones también llamadas ratios, fueron presentadas por (Ash, 1963) y son las más usadas para el modelamiento. A continuación se presentan los ratios del autor predescrito, para el diseño inicial de una Malla de Perforación.

Relación 1 :	Espaciamiento - Burden	K_S = S / B
Relación 2 :	Burden – Diámetro	K_B = B / D
Relación 3 :	Sub Perforación - Burden	K_J = J / B
Relación 4 :	Taco – Burden	K_T = T / B
Relación 5 :	Altura del banco - Burden	K_H = H / B

Las siguientes investigaciones demuestran la importancia que el mundo académico, están realizando en la actualidad en referencia a la ingeniería de la fragmentación en los procesos de voladura de rocas.

2.3.6. Fisne, Hudaverdi y Kuzu (2012) realizan una investigación de la fragmentación de la voladura, determinando el tamaño medio de la fragmentación (X_{50}), en función al índice de la fragmentación (FI) aplicando técnicas de Análisis Discriminante, su estudio radica primeramente en recopilar datas de voladuras hechas en diferentes minas del mundo, el estudio presenta un cuadro de 62 voladuras y 10 parámetros de diseño que luego se clasificaran por grupos. El primer sub grupo está referido a los parámetros físicos de diseño las cuales son (B), (S/B), (H/B), (B/D), (T/B) y (Pf). El segundo sub grupo está referido a las propiedades del macizo rocoso (E) y (X_B) y el tercer sub grupo está referido a los Indices de la fragmentación las cuales son (X_{50}) y (FI), cabe mencionar que los investigadores utilizan ratios, los cuales para un mayor entendimiento a continuación se describirán.

Relación 1 :	Burden	(B)	
Relación 2 :	Espaciamiento - Burden	(S/B)	
Relación 3 :	Altura del banco - Burden	(H/B)	
Relación 4 :	Burden – Diámetro del taladro	(B/D)	
Relación 5 :	Taco - Burden	(T/B)	
Relación 6 :	Factor de potencia del explosivo	(Pf)	kg/m³
Relación 7 :	Modulo de elasticidad del macizo rocoso	(E)	Gpa
Relación 8 :	Tamaño insitu del bloque	(X_B)	m
Relación 9 :	Indice de fragmentación media	(X_{50})	
Relación 10 :	Indice de fragmentación (X_B /X_{50})	(FI)	

Obtenido las relaciones, el estudio clasifica las 62 voladuras en función a tres intervalos, rangos determinados por el índice de fragmentación (FI), para luego ser evaluadas mediante el método de análisis discriminante, y obtener así sus funciones discriminantes, y que finalmente seran empleadas para predecir la fragmentación de la voladura de rocas, a continuación, se presenta el diagrama de flujo de la propuesta metodología del modelamiento en base al indice de fragmentación.

A continuación se presenta en la figura 2, el diagrama de flujo propuesto por el autor predicho.

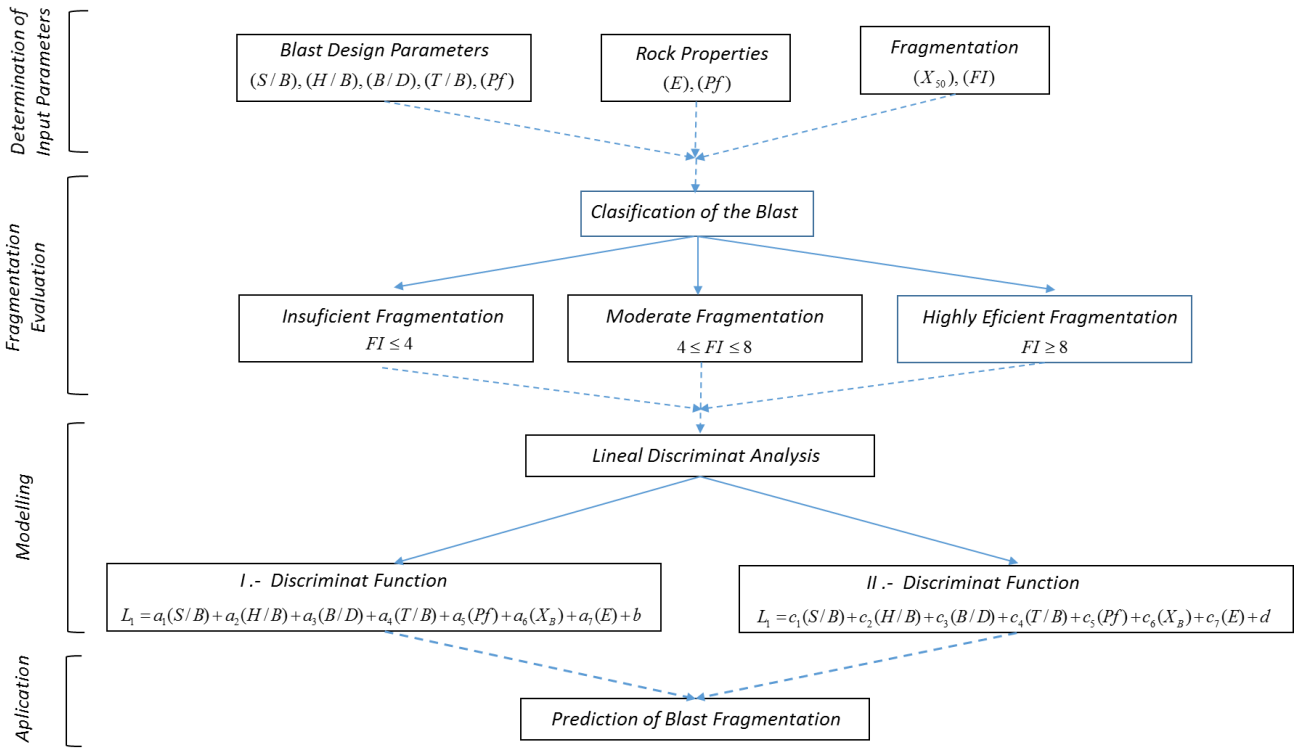

Figura 2. **Flowsheet at the Proposed Methodology of Fragmentation Index Modeling**

Fuente : Fisne, A., Hudaverdi, T. & Kuzu, C. (2012). Investigation of the blast fragmentation using the mean fragment size and fragmentation index. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, *56,* 136-145.

2.3.7. Hudaverdi, Kulatilake, Kuzu y Qiong (2010) proponen un nuevo enfoque para la predicción del tamaño medio de las partículas en la fragmentación en la voladura de rocas, usando Redes Neuronales. El caso estudio de la presente investigación, hace una introducción de los principales métodos empíricos propuestos en la ingeniería de la fragmentación, como son la ecuación propuesta por V.M. Kuznetsov (1973), el Modelo Kuz-Ram propuesto por Claude Cunnigham (1983-1987), la formula de Svedefo's y el Modelo JKRMC. La data base utilizada, consta de 90 voladuras hechas en diferentes centros mineros de Europa, tambien denominadas ratios las cuales son:

Relación	1 :	Espaciamiento - Burden	(S/B)	
Relación	2 :	Altura del banco - Burden	(H/B)	
Relación	3 :	Burden – Diámetro del taladro	(B/D)	
Relación	4 :	Taco - Burden	(T/B)	
Relación	5 :	Factor de potencia del explosivo	(Pf)	kg/m³
Relación	6 :	Tamaño insitu del bloque	(X_B)	m
Relación	7 :	Modulo de elasticidad del macizo rocoso	(E)	Gpa
Relación	8 :	Indice de fragmentación media	(X_{50})	

El proceso de obtención de resultados, esta en función a un promedio de las Epoch (ciclos iterativos) y la perfomance optima, medida en función al error mínimo "RMSE"

2.3.8. Dindarloo (2015) realiza un estudio de la predicción de las voladuras inducidas por las vibraciones del suelo mediante programaciones genéticas, el autor plantea la siguiente hipótesis para el presente caso estudio "las excesivas vibraciones en el suelo debido a las voladuras pueden causar severos daños cerca al área", por lo tanto, se predicen las voladuras mediante las vibraciones inducidas por el suelo. El autor utiliza la programación genética como una esencial herramienta para el control y evaluación de ambos, y también para evaluar las consecuencias adversas por las voladuras, mediante dicha técnica se obtienen las variables inducidas por las vibraciones del suelo, en base a una alta interacción no lineal que no son desarrolladas por otros modelos, por lo tanto, para este caso estudio se ha empleado las técnicas de programaciones genéticas. El modelo utiliza nueve variables de predicción, adheridas estas, a las obtenidas mediante las frecuencias de vibraciones a diferentes distancias del frente de voladura, la efectividad fue confirmada con un alto coeficiente determinación "R^2" y un mínimo porcentaje de error medio absoluto "MAPE" , el propósito de este estudio es comparar mediante una performance con la técnica de redes neuronales.

A continuación, se presenta una relación de las variables utilizadas para la predicción y en la figura 3, se presenta el Flowchart of GEP algorithm.

Relación 1 :	Numero de taladros	N	
Relación 2 :	Profundidad del taladro	(H)	
Relación 4 :	Taco	(T)	
Relación 5 :	Máxima charge / delay	(Q)	Kg
Relación 6 :	Horizontal distance	(HD)	m
Relación 7 :	Radial distance	(RD)	m
Relación 8 :	Ground vibration	(Gv)	Hz

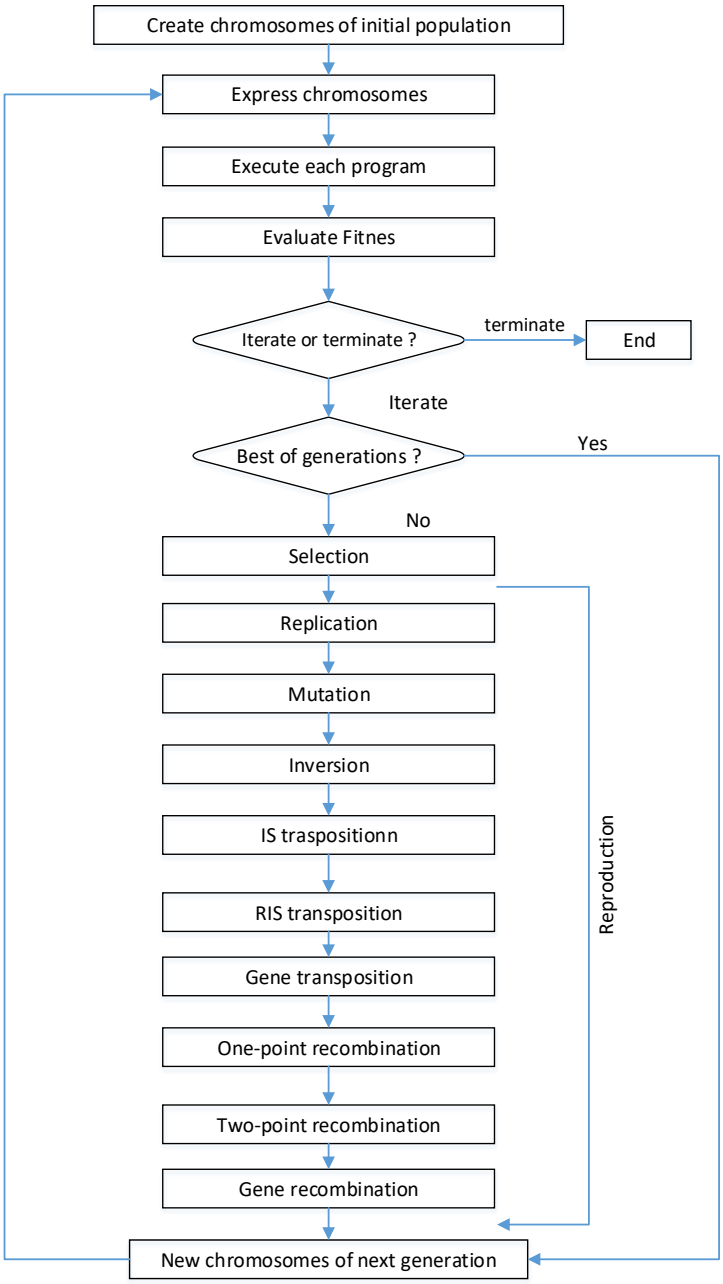

Figura 3 . **Flowchart of GEP algorithm**

Fuente : Dindarloo, S.R. (2015). Prediction of blast-induced ground vibrations via genetic programming. *International Journal of Mining Sciences and Techology, 25,* 1011-1015

Se acota que la técnica de algoritmos genéticos, es un método probabilístico, basado fundamentalmente en las teorías de Fisher, Bayes, Markov, Montercarlo.

2.3.9. Huang, Shi, Wei, Wu y Zhou (2012) realiza un nuevo enfoque para predecir el tamaño medio de la fragmentación de las partículas en las voladuras superficiales. Basado fundamentalmente en un análisis vectorial con el soporte de computadoras, el presente caso estudio, utiliza las ultimas técnicas aplicadas al campo de la ingeniería

de la optimización, denominadas en Ingles “Support Vector Machines”, y por muchos investigadores catalogada como robusta, los investigadores para el presente caso plantean la hipótesis de demostrar la eficacia de la técnica “SVM” para el análisis de regresiones y correlaciones, con la finalidad de comparar sus resultados obtenidos con otros métodos, como conclusión presentan una performance del tamaño medio de la fragmentación (X_{50}) calculada en base a las técnicas V.M Kuznetsov, Análisis de Regresiones Multivariantes (MVRA), Redes Neuronales Artficiales (ANN) y Support Vector Regress (SVR).

La eficacia de la técnica fue confirmada con un alto coeficiente determinación “R^2” que está por encima del 95% y un mínimo de error medio cuadrático “RMSE”, el propósito de este estudio es demostrar cual técnica es la más efectiva.

El caso estudio utiliza las datas recopiladas por diferentes investigaciones de las voladuras hechas en diversos centros mineros de Europa, la data copilada y desarrollada consta de 35 voladuras hechas, así mismo es caso estudio consta de 8 parámetros de diseño que se constituyen en los siguientes grupos. El primer sub grupo está constituido por los parámetros físicos de diseño las cuales son (S/B), (H/B), (B/D), (T/B) y (Pf); El segundo sub grupo está referido a las propiedades del macizo rocoso (X_B) y (E), el tercer sub grupo está referido al Indices de la fragmentación media (X_{50}), estas relaciones de los parámetros también llamados ratios, se representan a continuación.

Relación	1 :	Espaciamiento - Burden	(S/B)	
Relación	2 :	Altura del banco - Burden	(H/B)	
Relación	3 :	Burden – Diámetro del taladro	(B/D)	
Relación	4 :	Taco - Burden	(T/B)	
Relación	5 :	Factor de potencia del explosivo	(Pf)	kg/m³
Relación	6 :	Tamaño insitu del bloque	(X_B)	m
Relación	7 :	Modulo de elasticidad del macizo rocoso	(E)	Gpa
Relación	8 :	Indice de fragmentación media	(X_{50})	

El nuevo enfoque de investigación de SVR, basada en correlaciones ha sido dividida en 5 etapas, las cuales son: 1ro. Colección de la data; 2do. La escala de la data de ingreso a sido normalizada a una escala de 0 a 1; 3ro. Estimación optima de los parámetros (C = coeficient, g = gama, e = épsilon); 4to. Establecimiento final del modelo y obtención del X_{50} ; 5to. Evaluación y variación de las datas comparando con

otros métodos. A continuación en la figura 4, se presenta el diagrama de flujo de dicha técnica.

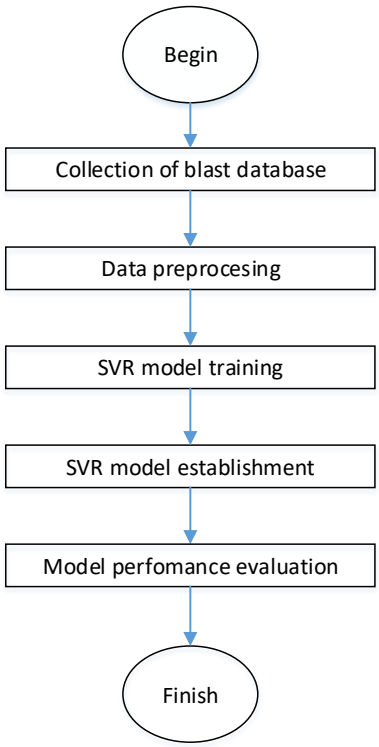

Figura 4 . **Flowshart of key steps for establishment of SVR model**

Fuente : Huang, D., Shi, X. Z., Wei, W., Wu, B.B. y Zhou, J. (2012). Support vector machines approach to mean particle size of rock fragmentation due to bench blasting prediction. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, *22,* 432-441.

En la actualidad las investigaciones de optimización en la ingeniería de la fragmentación, se centran en modelos determinísticos y probabilísticos apoyados con simulaciones computacionales, para el caso del desarrollo de la presente tesis, se tomará todas estas técnicas para demostrar un nuevo enfoque que sea optimo y objetivo.

2.4.- Marcos Conceptuales

La presente investigación esta en base a una revisión exhaustiva de las bibliografías y Journal International existentes en el campo de la ingeniería de la fragmentación, el caso, toma como base la data copilada y desarrollada por Hudaverdi T. et al (2010) que consta de 90 voladuras hechas en diferentes centros mineros en Europa, así mismo es caso estudio consta de 8 parámetros de diseño que se constituyen en los siguientes

grupos. El primer sub grupo, está constituido por los parámetros físicos de diseño las cuales son: (S/B), (H/B), (B/D), (T/B) y (Pf). El segundo sub grupo está referido a las propiedades del macizo rocoso (E) y (X_B) y el tercer sub grupo está referido al Indices de la Fragmentación Media (X_{50}), estas relaciones de los parámetros también llamados ratios, se representan a continuación.

Relación	1 :	Espaciamiento - Burden	(S/B)	
Relación	2 :	Altura del banco - Burden	(H/B)	
Relación	3 :	Burden – Diámetro del taladro	(B/D)	
Relación	4 :	Taco - Burden	(T/B)	
Relación	5 :	Factor de potencia del explosivo	(Pf)	kg/m³
Relación	6 :	Tamaño insitu del bloque	(X_B)	m
Relación	7 :	Modulo de elasticidad del macizo rocoso	(E)	Gpa
Relación	8 :	Indice de fragmentación media	(X_{50})	

Para el caso estudio, seguidamente se presenta un resumen de los conceptos teóricos y fundamentos matemáticos aplicado en la presente tesis, las cuales consisten en:

2.4.1.- Técnicas de Análisis Multivariante. (MVA).

El análisis multivariable es una parte de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza, representa e interpreta los datos que resulten de observar un numero $p > 1$ de variables estadísticas sobre una muestra de n individuos (Jhonson R.A, & Wichern D.W. 2007)

En general, se refiere a aquellos métodos estadísticos que analizan simultáneamente diversas variables en cada individuo u objeto sobre el cual se investiga. Cualquier análisis simultáneo de más de dos variables, considerense análisis multivariable. De hecho, muchas técnicas multivariable son la simple extensión de análisis univariados o bivariados. Así, por ejemplo, la regresión simple (con una sola variable independiente), es una técnica multivariable cuando se extiende a varios regresores.
Otras técnicas, sin embargo, como el análisis factorial o el análisis discriminante, están específicamente diseñadas para trabajar únicamente con estructuras multivariables (Rencher, A. C. 2002).

El desarrollo del presente estudio, esta basado en las siguientes técnicas de análisis multivariantes, y por ende cada técnica presenta ecuaciones multivariantes.

2.4.1.1.- Definición de Análisis de varianza de un factor y prueba de hipótesis

El análisis de varianzas (ANOVA), es un tratamiento en función a probabilidades, la finalidad de dicho análisis es rechazar la hipótesis nula (Ho) y aceptar la hipótesis alternativa (H_A). El tratamiento se confirma, si el resultado del **p-valor** calculado, es menor que el **(p-sig ≤ 0.05)** de contraste, entonces **se rechaza la hipótesis (Ho) y se acepta la (H_A)** considerando que las variables están relacionadas.

La hipótesis a probar estará en función a:

$$Ho : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \ldots. \mu_k$$
$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \ldots. \mu_k$$

Donde : μ **:** Es la media Poblacional
p-valor **:** Es el índice relacionado a la probabilidad).

2.4.1.2.- Definición del tratamiento de análisis de correlaciones estructurales.

El análisis de correlación estructurales, es otra manera de presentar gráficamente la matriz de correlaciones de Pearson, la finalidad en el fondo, es verificar la existencia entre cada una de las variables, el grado de correlación que poseen entre variable y variable. Cabe mencionar que la correlación se mide bajo un rango de [-1 a 1], la cual se interpreta como:

Si el valor está entre: -1 La data tiene una buena correlación inversa
Si el valor esta entre: 1 La data tiene una buena correlación directa.
Si el valor esta entre: 0 La data No tiene correlación.

Su ecuación para la obtención de la **Correlación Lineal** entre dos variables según Spiegel M. A. (1970), se puede escribir de la siguiente manera:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\left(\sum x^2\right)\left(\sum y^2\right)}} \qquad \text{(Ec. 12)}$$

Donde : $x = X - \overline{X}$ & $y = Y - \overline{Y}$

$\overline{X}$: Es el promedio aritmético

Que se escribe :

$$Sxy = \frac{\sum xy}{N} \quad ; \quad Sx = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N}} \quad ; \quad Sy = \sqrt{\frac{\sum y^2}{N}} \qquad \text{(Ec. 13)}$$

Donde :

Sx y Sy son las desviaciones típicas de las variables X y Y, mientras que S^2x y S^2y son las varianzas. ***La nueva cantidad se llama covarianza de X y Y***

$$r = \frac{Sxy}{Sx\ Sy} \qquad \text{(Ec. 14)}$$

La formula (Ec. 12) de Correlación Lineal se describe en la forma equivalente.

$$r = \frac{N\sum XY - \left(\sum X\right)\left(\sum Y\right)}{\sqrt{\left[N\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2\right]\left[N\sum Y^2 - \left(\sum Y\right)^2\right]}} \qquad \text{(Ec. 15)}$$

2.4.1.3.- Definición y métodos Análisis Discrimínate.

La técnica de análisis discriminante, como su nombre lo indica, tiene como objetivo separar a los grupos en función a su media y su centro de gravedad, de las datas dispersas de los grupos.

Existen diferentes métodos de análisis discriminante y están, en función a la situación y complejidad del problema, los métodos más conocidas son.

- **La función discriminante Lineal de Fisher**

$$L(x) = \left[x - \frac{1}{2}\left(\mu_1 + \mu_2\right)\right]' S^{-1}\left(\mu_1 - \mu_2\right) \qquad \text{(Ec. 16)}$$

Donde

$\left(\mu_1 + \mu_2\right)$ = Son las medias de las dos muestras.

S^{-1} = inv (S) = Es la inversa de la varianza.

- **La función discriminante de Bayes.**

$$P(\Omega_i / x) = \frac{q_i f_i(x)}{q_1 f_1(x) + q_2 f_2(x)'} \qquad \text{(Ec. 17)}$$

La regla de clasificación de bayes es:

$Si\ P(\Omega_1 / x) > P(\Omega_2 / x)$ asignando $W\ a\ \Omega_1$

En caso contrario asignamos $W\ a\ \Omega_2$

- **Ecuación de Mahalanobis.**

$$D^2 = (x - \mu_1)' S^{-1} (x - \mu_1) \qquad \text{(Ec. 18)}$$

Donde :

D^2 es la distancia al punto observado

S^{-1} es la inversa de la matriz varianzas

$(x - \mu_1)$ son la diferencia de distancia entre un punto y la media

μ_1 es la media

2.4.1.4.- Definición y tratamiento de Regresiones Multivariantes (MVRA)

La técnica básica, para realizar regresiones multivariantes, esta en función a la aplicación de la técnica de los mínimos cuadrados, por el cual dicha aplicación nos dará una nueva función lineal de ajuste hacia la data objetivo. Dichas ecuaciones se exponen a continuación:

El sistema de ecuaciones normales será

$$\begin{aligned} \sum Y &= a_o N + a_1 \sum X \\ \sum XY &= a_o \sum X + a_1 \sum X^2 \end{aligned} \qquad \text{(Ec. 19)}$$

Las ecuaciones para la obtención de los coeficientes serán:

$$a_o = \frac{\left(\sum Y\right)\left(\sum X^2\right) - \left(\sum X\right)\left(\sum XY\right)}{N \sum X^2 \left(\sum X\right)^2} \qquad \text{(Ec. 20)}$$

$$a_1 = \frac{N \sum XY - \left(\sum X\right)\left(\sum XY\right)}{N \sum X^2 \left(\sum X\right)^2} \qquad \text{(Ec. 21)}$$

La recta de regresión de Y sobre X esta dada por la siguiente función :

$$Y = a_o + a_1 X \qquad \text{(Ec. 22)}$$

2.4.1.5.- Definición y tratamiento de los Limites de Confianza y Predicción al 95 %

Según Montgomery, D. C. & Runger, G.C. (2002) los limites de confianza y predicción, es la demarcación que se le da a la data dispersa, dentro de un rango máximo y mínimo.

- Para el caso, los resultados del tratamiento, mediante las ecuaciones del límite de confianza al 95%, se interpretará como un indicador de pertenencia al grupo más óptimo. ***De su tratamiento se obtiene los intervalos de Confianza.***

Ecuación de los Limites de Confianza al 95 % - (Ec. 23)

$$\hat{y}_o - t_{\alpha/2,\, n-2}\sqrt{\hat{\sigma}^2\left[\frac{1}{n} + \frac{(x_o - \overline{x_1})^2}{Sxx}\right]} \leq y_o \leq \hat{y}_o + t_{\alpha/2,\, n-2}\sqrt{\hat{\sigma}^2\left[\frac{1}{n} + \frac{(x_o - \overline{x_1})^2}{Sxx}\right]}$$

Las subsiguientes ecuaciones son complementarias a la ecuación anterior.

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{SS_E}{n-2} \qquad \text{(Ec. 24)}$$

$$Sxx = \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2} - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}{n} \qquad \text{(Ec. 25)}$$

$$Sxy = \sum_{i=1}^{n} y_i\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{n} \qquad \text{(Ec. 26)}$$

Donde **:**

$\hat{y}_o$ Es el valor de del modelo de regresión $\hat{y}_o = \hat{B}_o + \hat{B}_1\, x_o$

$t_{\alpha/2,\, n-2}$ Es el valor de prueba de t-student en función a los grados de libertad

$\hat{\sigma}^2$ Es la estimación de la varianza

Sxx Son los valores de las desviaciones

SS_E Es la suma de los errores.

- Para el caso los límites de la Predicción al 95 %, se interpretará como los rangos de la fragmentación predecida por cada modelo. ***De su tratamiento se obtiene los intervalos de Predicción.***

Ecuación de los Limites de Predicción al 95 % - (Ec. 27)

$$\hat{y}_o - t_{\alpha/2,\, n-2} \sqrt{\hat{\sigma}^2 \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_o - \overline{x_1})^2}{Sxx}\right]} \leq y_o \leq \hat{y}_o + t_{\alpha/2,\, n-2} \sqrt{\hat{\sigma}^2 \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_o - \overline{x_1})^2}{Sxx}\right]}$$

2.4.2.- Técnicas de Redes Neuronales Artificiales (ANN).

Según **Basogain (1998)** la unidad análoga a la neurona biológica es el elemento procesador, PE (Process Element). Un elemento procesador tiene varias entradas y las combina normalmente con una suma básica. La suma de las entradas es modificada por una función de transferencia y el valor de la salida de esta función de transferencia se pasa directamente a la salida del elemento procesador. La salida del PE se puede conectar a las entradas de otras neuronas artificiales (PE) mediante conexiones ponderadas correspondientes a la eficacia de la sinapsis de las conexiones neuronales.

Una red neuronal por lo tanto consiste en un conjunto de unidades elementales PE conectadas de una forma concreta. El interés de las ANN no reside solamente en el modelo del elemento PE sino en las formas en que se conectan estos elementos procesadores. Generalmente los elementos PE están organizados en grupos llamados niveles o capas. Una red típica consiste en una secuencia de capas con conexiones entre capas adyacentes consecutivas.

Existen dos capas con conexiones con el mundo exterior. Una capa de entrada, buffer de entrada, donde se presentan los datos a la red y una capa buffer de salida que mantiene la respuesta de la red a una entrada. El resto de las capas reciben el nombre de capas ocultas.

Así mismo el concepto básico de Backpropagation fue presentado en 1974 por Paul Werbos e independientemente reinventado por otros, por el cual ha demostrado mediante sus estudios, que cualquier función continua es uniformemente aproximado por Back Propagation (BP).

La red neuronal aplicada para el caso estudio. A continuación, se presenta en la figura 5, 6, 7 y 8 la constitucion estructural de la red neuronal aplicada al caso.

Funciones de activaciones por capa

$$f_{(x)} = \frac{e^{x} - e^{-x}}{e^{x} + e^{-x}} \quad \rightarrow \quad f'_{(x)} = (1 + f_{(x)}) * (1 - f_{(x)}) \qquad \text{(Ec. 28)}$$

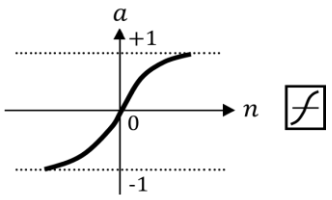

Figura 5 . **Tangente hipérbola sigmoidal (tansig).**
Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

$$f_{(x)} = \frac{1}{(1 + e^{-x})} \quad \rightarrow \quad f'_{(x)} = f_{(x)} * (1 - f_{(x)}) \qquad \text{(Ec. 29)}$$

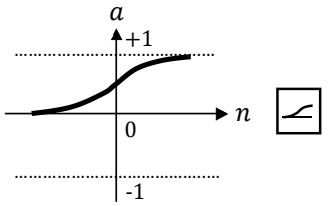

Figura 6. **Logística o Logsigmoidal (logsig)**
Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

$$f_{(x)} = x \quad \rightarrow \quad f'_{(x)} = 1 \qquad \text{(Ec. 30)}$$

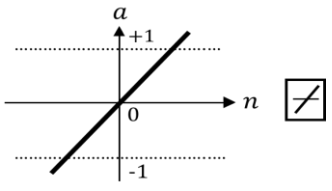

Figura 7. **Lineal (purelin).**
Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

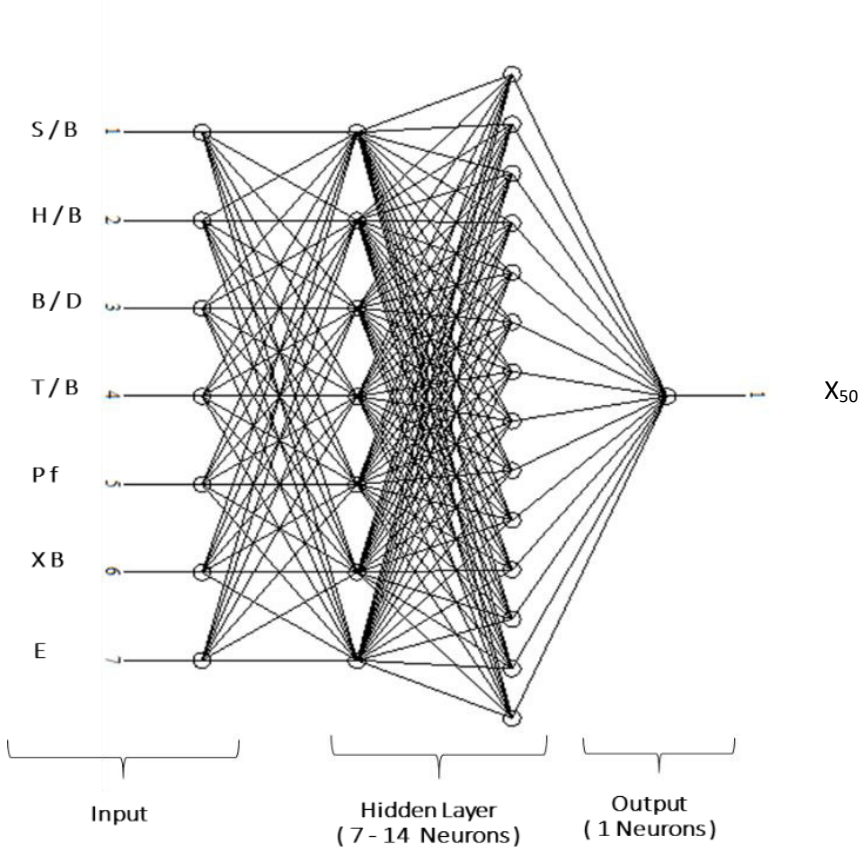

Figura 8 . **Grafo básico operativo de la Red Neuronal aplicada al caso.**
Fuente. Elaboración propia, (Software Visual Gene Developer V-1.7)

Formulación de la red

$$\mathbf{net = purelin\ (\ LW^{3\text{-}3}\ log\ sig\ (\ LW^{2\text{-}1}\ tan\ sig\ (\ IW^{1\text{-}1}\ input + b^1\ ) + b^2 + b^3\ )} \quad \text{(Ec. 31)}$$

Donde :

S^2, S^2, S^2 Numero de neuronas en la capa 1, en la capa 2, y respectivamente en la capa 3.

$IW^{1\text{-}1}$ Pesos Sinápticos de la matriz, para conectarse del ingreso a la capa 1.

$LW^{2\text{-}1}$ Pesos Sinápticos de la matriz, para conectarse de la capa 1 a la capa 2.

$LW^{3\text{-}2}$ Pesos Sinápticos de la matriz, para conectarse de la capa 2 a la capa 3.

El trabajo de la presente red neuronal, es optimizar los datos de ingreso en función a una data objetivo, el cual proporciona resultados en la neurona output (X_{50}), cabe mencionar que para el caso estudio se obtiene valores con un coeficiente determinación (R^2) por encima del 90 %. Por lo tanto, dicho método heurístico, proporciona óptimos resultados.

2.5.- Glosario de términos

En el presente acápite se describe un resumen de los términos más comunes utilizados en la presente investigación.

- Barreno — Accesorio para realizar la Perforación
- Cielo abierto — Explotación Minera Superficial, también llamada "Tajo"
- Concentrados — Productos Minerales semi-beneficiados resultantes de algún sistema.
- Flotación — Proceso mecánico metalúrgico para beneficiar mineral.
- Veta — Tipo de mineral de forma vertical y/o rosario
- Galería — Es una labor minera horizontal que se realiza sobre veta.
- Crucero — Labor minera horizontal que se realiza sobre roca Estéril
- Ganga — Material sin valor, asociado a menas minerales.
- Buzamiento — Es el Angulo de inclinación de una veta.
- Voladura — Es la acción de fracturar o fragmentar la roca o suelo mediante el uso de explosivos.
- Lixiviación — Proceso químico metalúrgico para recuperar mineral.
- Mineral de alta ley — Mineral de buena calidad.
- Reserva Mineral — Cantidad de mineral económicamente explotable en las actuales.
- H — Altura de Banco y/o taladro.
- B — Burden, espaciamiento entre el taladro y la cara libre
- D — Diámetro del taladro
- S — Espaciamiento entre taladro y taladro.
- T — Taco, relleno de material para confinar el explosivo en el taladro cargado.
- Pf — Factor de potencia de la carga explosiva - Kg/m^3
- E — Modulo de Elasticidad de la Roca (GPa)
- XB — Indice de tamaño de bloque insitu (Insitu-block size)
- FI — Índice de fracturamiento.
- X_{50} — Granulometría media del tamaño de la partícula obtenido en la voladura de rocas, este es equivalente a la función objetivo
- Nt — Número de taladros
- B/S — Ratio de Burden entre Espaciamiento.
- H/B — Ratio de Altura entre el Burden
- S/D — Ratio de Burden entre Diámetro del taladro
- T/B — Ratio de Taco entre Burden
- Roca — Material natural resistente consolidado
- Suelo — Material meteorizado suelto poco consolidado
- Talud — Inclinación de un muro y/o terreno, también llamada cara libre en las voladuras de superficie
- UCS — Uniaxial Compressive Strength.
- GSI — Geological Strength Index.
- RMR — Rock Mass Rating Index.
- P — Presión

- R — Constante universal de los gases
- ρ — Densidad del macizo rocoso, (kg/m³), (cm/ m³)
- Dinamita — Explosivo solido formado de una mezcla de Nitroglicerina y Nitrocelulosa.
- Combustión — Es una reacción química de oxidación en la que generalmente se desprende una gran cantidad de energía.
- Vd — Velocidad de detonación de la Sustancia Explosiva, m/s
- ANFO — Mezcla explosiva de Nitrato de Amonio y Petróleo Diésel al 5%.
- TNT — Denominado Nitritrolueno, sustancia explosiva de gran potencia, sustancia química que forma parte de los hidrocarburos aromáticos y deriva de la nitración del tolueno.
- Mineralogía — Ciencia que estudia las propiedades físicas de los minerales, sus componentes químicos y sus características simétricas.
- Geo-mecánica — Es el estudio geológico del comportamiento del suelo y las rocas.
- ypred-kuznetsov-1 — Es el valor teorico obtenido mediante la ecuación de kuznetsov perteneciente al grupo 1, esto es equivalente a X_{50} predecido.
- ypred-Lineal-1 — Es el valor teórico obtenido mediante Rehresiones Lineales perteneciente al grupo 1, esto es equivalente a X_{50} predecido.
- ypred-ANN-1 — Es el valor teórico obtenido mediante el Modelo heurístico de Redes Neuronales, perteneciente al grupo 1, esto es equivalente a X_{50} predecido.
- $ypred^1$ — Este es un valor obtenido de un ajuste lineal, obtenido entre la función objetivo {X_{50}} & {ypred-kuz-1}.
- $ypred^2$ — Este es un valor obtenido de un ajuste lineal, obtenido entre la función objetivo {X_{50}} & {ypred-Linel-1}
- $ypred^3$ — Este es un valor obtenido de un ajuste lineal, obtenido entre la función objetivo {X_{50}} & {ypred-ANN-1}
- Min1, Max1 — Estos son los Intervalos de Confianza, valores obtenidos mediante los Limites de confianza al 95%.
- Min2, Max2 — Estos son los Intervalos de la Predicción, valores obtenidos mediante de los Limites de la Predicción al 95%.
- Macizo rocoso — Es la caracterización de la roca, en función a una definición a sus propiedades físicas, químicas, mecánicas, geo mecánicas etc.
- A.C.P. — Es un método estadístico, que se basa en analizar la matriz de varianzas & covarianzas, descomponiéndola espectralmente, para poder interpretar la data en 2D (bidimensionalmente), su denominación es Análisis de Componentes Principales.
- Tratamiento de Varianzas. — Se define como el desarrollo paso a paso de una técnica estadística, relacionada a la variabilidad de una data.

CAPITULO 3 : METODOLOGÍA

3.1.- Hipótesis

El presente proyecto de investigación formula las siguientes hipótesis.

3.1.1.- Hipótesis general.

1.- Al desarrollar un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la voladura de rocas, se logrará optimizar las operaciones minero metalúrgicos.

3.1.2.- Hipótesis específicas.

1.- Al lograr su efectividad de la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.

2.- Al lograr su efectividad de la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.

3.- Al lograr su efectividad de la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.

3.2.- Identificación de variables

El presente trabajo de Investigación, considera a los siguientes grupos de variables identificadas:

a.- ***Las variables de diseño geométrico de un frente de voladura,*** consideradas como variables independientes, las cuales son:

1.- El diámetro del taladro (D).
2.- Profundidad del taladro (L).
3.- La altura del banco (H).
4.- El Taco (T).
5.- El Burden, (B).
6.- El Espaciamiento entre taladros (S).

Partiendo de dichos parámetros, se obtiene los ratios que son los indicadores que nos ayudan a entender la relación entre dichos parámetros, los ratios más usados y relevantes son los siguientes (S/B), (H/B), (B/D), (T/B) y las unidades de trabajo de dichas variables se dan en unidades adimensionales.

b.- ***La variable que caracteriza el terreno (XB) Insitu-block size,*** que está referido al promedio de las fracturas por metro cubico en un macizo rocoso, dado en unidades de proporción.

c.- ***La variable caracteriza a la roca (E),*** que se refiere al Módulo de Elasticidad de la Roca.

d.- ***La variable característica al explosivo (Pf)*** denominado también como *Factor de Potencia,* es la cantidad de carga de explosivo necesaria para fracturar la roca.

X_{50} : Es un indicador escalar, que está referido al tamaño medio de la fragmentación producto del resultado obtenido de un frente de voladura y está dado en unidades lineales, denominado también función objetivo.

Como resumen, se presenta en la siguiente tabla 7, las variables utilizadas para presente caso estudio.

Tabla 7. **Variables Identificadas**

	Simbolo	Descripción	Tipo de relación
Variables unitarias	B	Burden (m)	Independiente
	H	Altura del banco (m)	Independiente
	L	Longitud del taladro (m)	Independiente
	D	Diámetro del Taladro (m)	Independiente
	T	Taco (m)	Independiente
	Pf	Factor de Potencia	Independiente
	E	Módulo de Elasticidad de la Roca (Gap)	Independiente
	XB	Insitu-block size	Independiente
	X_{50}	Indice de fragmentación promedio	Dependiente
	$t_{\alpha/2,\, n-2}$	Es el valor de prueba de t-student en función a los grados de libertad	Independiente

	Variable	Descripción	Tipo de relación
Ratios	S/B	Razón de Espaciamiento entre el Burden.	Independiente
	H/B	Razón de Altura Taladro entre el Burden	Independiente
	B/D	Razón de Burden entre el Diámetro	Independiente
	T/B	Razón de Taco entre el Burden	Independiente
	IC	Limites de Confianza al 95%	Dependiente
	IP	Limites de la Predicción al 95%	Dependiente

Fuente : Elaboración propia, (Excel 2016)

HG1: ***Al desarrollar un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la voladura de rocas, se logrará optimizar las operaciones minero metalúrgicos.***

Variables dependientes: Tamaño medio de la fragmentación $X_{50.}$

Variables Independientes: Diámetro del taladro **"Ø"** (m), Ratio "S/B", Ratio "H/B", Ratio "B/D", Ratio "T/B", Factor de potencia "Pf" (kg/m3), Insitu block-size "XB" (m), Modulo de elasticidad de la roca "E" (GPa).

HE1 : ***Al lograr su efectividad de la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Prediccion al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.***

Variables dependientes: Tamaño medio de la fragmentación "X_{50}", Promedio de la fragmentación obtenida teóricamente mediante el modelo de kuznetsov "$X_{50\ ypred\text{-}kuz}$" Limites de Confianza al 95% "IC", Limites de la Predicción al 95% "IP"

Variables Independientes: Diámetro del taladro **"Ø"** (m), Burden "B" (m), Altura del banco "H" (m), Longitud del taladro "L" (m), Taco "T" (m), Ratio "S/B", Ratio "H/B", Ratio "B/D", Ratio "T/B", Factor de potencia "Pf" (kg/m3), Insitu block-size "XB" (m), Modulo de elasticidad de la roca "E" (GPa). Valor de prueba de t-student en función a los grados de libertad "$t_{\alpha/2,\,n-2}$".

HE2: ***Al lograr su efectividad de la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.***

Variables dependientes: Tamaño medio de la fragmentación $X_{50,}$ Promedio de la fragmentación obtenida teóricamente mediante el modelo Regresiones Multivariantes "X_{50} ypred Lineal. Limites de Confianza al 95% "IC", Limites de la Predicción al 95% "IP".

Variables Independientes: Diámetro del taladro **"Ø"** (m), Ratio "S/B", Ratio "H/B", Ratio "B/D", Ratio "T/B", Factor de potencia "Pf" (kg/m3), Insitu block-size "XB" (m), Modulo de elasticidad de la roca "E" (GPa). Valor de prueba de t-student en función a los grados de libertad "$t_{\alpha/2,\,n-2}$".

HE3: ***Al lograr su efectividad de la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.***

Variables dependientes: Tamaño medio de la fragmentación "X_{50}", Promedio de la fragmentación obtenida teóricamente "X_{50} ypred-ANN". Limites de Confianza al 95% "IC", Limites de la Predicción al 95% "IP",

Variables Independientes: Diámetro del taladro **"Ø**" (m), Ratio "S/B", Ratio "H/B", Ratio "B/D", Ratio "T/B", Factor de potencia "Pf" (kg/m3), Insitu block-size "XB" (m), Modulo de elasticidad de la roca "E" (GPa), Valor de prueba de t-student en función a los grados de libertad "$t_{\alpha/2,\,n-2}$".

3.3.- Operalización de variables.

Las variables identificadas para el caso estudio son de tipo escalar, A continuación, se describe las hipótesis en función a su operalización:

HG1: ***Al desarrollar un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la voladura de rocas, se logrará optimizar las operaciones minero metalúrgicos.***

Tabla 8. **Operalización de variables de la hipótesis general 1. " HG1"**

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA
X_{50}	Promedio de la fragmentación de una voladura, para el caso numéricamente es el valor denominada como función objetivo	Metros (m)

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA
S/B	Ratio entre Espaciamiento y el Burden	Adimensional
H/B	Ratio entre Altura del banco y el Burden	Adimensional
B/D	Ratio entre Burden y el Diámetro del Taladro	Adimensional
T/B	Ratio entre Taco y el Burden	Adimensional
Pf	Factor de Potencia , es la cantidad de explosivo	Kg/m³
XB	Insitu-block size	fracturas/m^3
E	Modulo de Elasticidad de la Roca	(Gpa)

Fuente : Elaboración propia, (Excel 2016)

HE1: ***Al lograr su efectividad de la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.***

Tabla 9. **Operalización de variables de la hipótesis especifica 1. " HE1"**

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA
X_{50}	Promedio de la fragmentación de una voladura, para el caso numéricamente es el valor denominada como función objetivo	Metros (m)
IC	Limites de Confianza al 95%	Porcentaje (%)
IP	Limites de la Predicción al 95%	Porcentaje (%)
X_{50} ypred Kuz	Promedio de la fragmentación teórica obtenida mediante el modelo de kusnetsov.	Metros (m)

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA
S/B	Ratio entre Espaciamiento y el Burden	Adimensional
H/B	Ratio entre Altura del banco y el Burden	Adimensional
B/D	Ratio entre Burden y el Diámetro del Taladro	Adimensional
T/B	Ratio entre Taco y el Burden	Adimensional
Pf	Factor de Potencia , es la cantidad de explosivo	Kg/m³
XB	Insitu-block size	fracturas/m^3
E	Modulo de Elasticidad de la Roca	(Gpa)
B	Burden	(m)
H	Altura del banco	(m)
L	Longitud del taladro	(m)
D	Diámetro del Taladro	(m)
T	Taco	(m)
$t_{\alpha/2,\, n-2}$	Es un valor estadístico para la prueba de t-student en función a los grados de libertad	Adimensional

Fuente : Elaboración propia, (Excel 2016)

HE2: ***Al lograr su efectividad de la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.***

Tabla 10. **Operalización de variables de la hipótesis especifica 2. " HE2"**

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA
X_{50}	Promedio de la fragmentación de una voladura, para el caso numéricamente es el valor denominada como función objetivo	Metros (m)
IC	Limites de Confianza al 95%	Porcentaje (%)
IP	Limites de la Predicción al 95%	Porcentaje (%)
X_{50} ypred Lineal	Promedio de la fragmentación teórica obtenida mediante el modelo de regresiones multivariantes	Metros (m)

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA
S/B	Ratio entre Espaciamiento y el Burden	Adimensional
H/B	Ratio entre Altura del banco y el Burden	Adimensional
B/D	Ratio entre Burden y el Diámetro del Taladro	Adimensional
T/B	Ratio entre Taco y el Burden	Adimensional
Pf	Factor de Potencia , es la cantidad de explosivo	Kg/m³
XB	Insitu-block size	fracturas/m^3
E	Modulo de Elasticidad de la Roca	(Gpa)
$t_{\alpha/2,n-2}$	Es un valor estadístico para la prueba de t-student en función a los grados de libertad	Adimensional

Fuente : Elaboración propia, (Excel 2016)

HE3: ***Al lograr su efectividad de la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.***

Tabla 11. **Operalización de variables de la hipótesis especifica 3. " HE3"**

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA
X_{50}	Promedio de la fragmentación de una voladura, para el caso numéricamente es el valor denominada como función objetivo	Metros (m)
IC	Limites de Confianza al 95%	Porcentaje (%)
IP	Limites de la Predicción al 95%	Porcentaje (%)
X_{50} ypred-ANN	Promedio de la fragmentación obtenida teóricamente mediante el modelo de Redes Neuronales Artificiales	Metros (m)

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA
S/B	Ratio entre Espaciamiento y el Burden	Adimensional
H/B	Ratio entre Altura del banco y el Burden	Adimensional
B/D	Ratio entre Burden y el Diámetro del Taladro	Adimensional
T/B	Ratio entre Taco y el Burden	Adimensional
Pf	Factor de Potencia , es la cantidad de explosivo	Kg/m³
XB	Insitu-block size	fracturas/m^3
E	Modulo de Elasticidad de la Roca	(Gpa)
$t_{\alpha/2,n-2}$	Es un valor estadístico para la prueba de t-student en función a los grados de libertad	Adimensional

Fuente : Elaboración propia, (Excel 2016)

Tabla 12. MATRIZ DE CONSISTENCIAS

TITULO : ENFOQUE PREDICTIVO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TAMAÑO DE LA FRAGMENTACIÓN EN BASE A TÉCNICAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS

SITUACIÓN PROBLEMATICA	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TECNICA	METODOLOGÍA
En la actualidad, la aplicación de las teorías de la fragmentación en las voladuras de rocas con la utilización de explosivos solo han llegado a determinar una aproximación, mas no el óptimo, por ende, el problema de la fragmentación en los procesos de voladura, requiere una mejora en sus cálculos.	**General :** 1. ¿Qué factores limitan la fragmentación en la voladura de rocas, en las actividades minero-civiles?	• La presente investigación se justifica, porque mediante el estudio del nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en los procesos de la voladura de rocas, servirá para optimizar los procesos operacionales mineros y metalúrgicos, porque entregando una óptima fragmentación requerida para los procesos de chancado, se podría minimizar sus tiempos de molienda y maximizar su productividad. • De acuerdo con Faramarzi et al. (2012) describe que la fragmentación de rocas es importante, porque afecta a los costos de producción. • Así mismo Hustrulid (1999) afirma que la ingeniería de la fragmentación va a ser muy importante en la minería del futuro, a medida que las máquinas de carga y transporte se vuelven más automatizados. • Esen (2013) en su investigación de "Fragmentation Modelling and the Effects of Run-of-Mine (ROM) Fragmentation on Comminution Circuits", hace referencia que la fragmentación tiene un impacto notable en la economía de la recuperación de lixiviación en pilas.	**Objetivo General** 1. Desarrollar un nuevo enfoque predictivo para la optimización del tamaño de la fragmentación en base a técnicas de perforación y voladura de rocas.	**Hipótesis General.** 1. Al desarrollar un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la voladura de rocas, se lograra optimizar las operaciones minero metalúrgicos.	**Variable dependiente** **X_{50}:** Indice de fragmentación media teórica de la voladura de rocas **Variables Independientes** **S/B, H/B, B/D, T/B :** Son magnitudes geométricas del terreno. **Pf:** Factor de potencia. **X_B:** Insitu-block size, **E:**"Modulo de Elasticidad de la Roca"	• Ecuación de Kuznetsov • Regresiones Multivariantes (MVR). • Redes Neuronales Artificiales "ANN"	**Tipo y Diseño de Investigación :** No experimental, de tipo básica porque busca desarrollar un nuevo modelo teórico y el alcance es Exploratorio-Correlacional. **Unidad de Análisis** Registro de datos de centros mineros de Europa debido a que contiene variables y características para hacer un análisis integral para predecir la fragmentación **Tamaño de la Muestra:** Para el caso estudio, el tamaño de la muestra consta de 90 voladuras realizadas en diferentes centros mineros en Europa, por 7 parámetros de diseño las cuales son (S/B), (H/B), (B/D), (T/B), (XB), (E), (X50), que constituyen un total de 630 datos. **Selección de la Muestras:** Para el presente proyecto de investigación, la muestra fue seleccionada, en base al estudio del arte, hecha en el ambiente académico y científico. Para el caso estudio, se ha toma los datos expuestos por Hudaverdi T. et al. (2010) del *Journal of Engineering Geology*. *114,* 298-311. **Técnicas de recolección de datos:** Las técnicas de recolección de datos y los instrumentos para recoger la información. son: apuntes, archivos de datos virtuales, copias etc. **Análisis e interpretación de la Información:** Las técnicas utilizadas para el análisis e interpretación de la presente investigación son: Técnicas lógicas de Inducción, Deducción, Análisis y Síntesis.
	Especificos : **1.**¿En qué medida se aplica la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95 % y Limites de la Predicción al 95 % ? **2.**¿En qué medida se aplica la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95 % y Limites de la Predicción al 95 % ? **3.** En qué medida se aplica la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95 % y Limites de la Predicción al 95 % ?		**Objetivos Específicos** **1.** Determinar su efectividad de la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95 % y Limites de la Predicción al 95 %. **2.** Evaluar su efectividad de la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. **3.** Analizar su efectividad de la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%.	**Hipotesis Especificas** **1.** Al lograr determinar la efectividad de la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación. **2.** Al lograr determinar la efectividad de la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación. **3.** Al lograr determinar su efectividad de la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.	**VARIABLES** **Variable dependiente** **X_{50}:** Indice de fragmentación media teórica de la voladura de rocas, dado en unidades (m) **Variables Independientes** **S/B, H/B, B/D, T/B :** Son magnitudes geométricas del terreno, dado en unidades (adimensional) **Pf: "**Factor de potencia" Es una variable característica del explosivo, dado en unidades (Kg/ m³). **X_B:** Insitu-block size, es el tamaño medio del macizo rocoso, que depende de la estructura la roca por metro cubico del fracturamiento y otros factores. Dado en unidades (fracturas /m^3) **E :** "Modulo de Elasticidad de la Roca" Es una varianble del propia del macizo rocoso, dado en unidades (Gpa).	**TECNICA** • Ecuación de Kuznetsov • Regresiones Multivariantes (MVR) • Redes Neuronales Artificiales "ANN"	

3.4.- Tipo y diseño de investigación.

El presente estudio corresponde a una Investigación **No experimental**, de tipo **básica**, porque desarrolla un nuevo modelo teórico, y el alcance es **Exploratorio-Correlacional,** porque, a partir de un Análisis Multivariante se determinará la dispersión y correlación de las variables.

3.5.- Unidad de análisis.

El presente proyecto de investigación, está basado en un sistema de datos, denominado también parámetros de diseño de voladura, realizadas en diferentes Centros Mineros de Europa, debido a que dichos parámetros contienen características para hacer un análisis integral para predecir la fragmentación, así mismo, todos los parámetros generan ratios que se denominan variables, y que dichos ratios se relacionan con los factores geológicos de centros mineros del Perú. Los detalles geográficos y de producción de los centros mineros se describen a continuación.

- Enusa (En), es una mina de Uranio a cielo abierto (Open Pit), Reocin (Rc) es una mina a cielo abierto y Reocin underground (Ru) ambas explotan zinc, todas estas minas están localizadas en España.
- Murgul (Mg), es una mina de Cobre, localizada al noreste de Turkia,
- Mrica (Mr), presenta una perfomance de las canteras Indonesia, la investigación fue hecha por SveDeFo (Swedish Detonic Reserch Foundation), Investigaciones hechas en predicción de modelos de la fragmentación.
- El símbolo (Sm), presenta una performance de una mina de Carbón a cielo abierto (Open Pit), en la cuenca del soma localizada al occidente de Turquía
- Las voladuras indicadas por el símbolo (Db) es una perfomance de la mina de Manganesio Dongri-Buzurg a cielo abierto (Open Pit), situada en el centro de India, generalmente el macizo rocoso fue de Micas Esquistosas y Muscovitas Esquistosas.
- Los símbolos de las voladuras de (Ad) y (Oz) son una performance de las canteras Akdaglar y Ozmert de la cuenca de Cendere localizada al norte de Estanbul.

3.6.- Tamaño de muestra.

Para el caso estudio, el tamaño de la muestra consta de 90 voladuras realizadas en diferentes centros mineros en Europa, por siete parámetros de diseño las cuales son, (S/B), (H/B), (B/D), (T/B), (X_B), (E), (X_{50}), que constituyen un total de 630 datos.

3.7.- Selección de muestra.

Para el presente estudio de investigación, la selección de la muestra fue seleccionada, en base al estudio del arte, hecha en el ambiente académico y científico.

Para el caso estudio, la muestra presenta subgrupos en función a sus propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso, los ***detalles de dichos subgrupos relacionados a las variables del macizo rocoso y/o caracterización*****,** se describen a continuación

- **El primer subgrupo** contiene las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta, y describen a los parámetros de diseño para las voladuras, como el burden (B) dado en metros, el espaciamiento entre los taladros (S) dado en metros, el Taco (T) dado en metros, la altura del banco (H) dado en metros, el diámetro del taladro (D) dado en metros y el factor de potencia del taladro (Pf), dado en (kg/m^3), todas las voladuras fueran hechas usando ANFO. Cabe mencionar que de dichos datos, se obtienen los siguientes ratios (S/B), (H/B), (B/D), (T/B), que son escrituras de las proporciones más empleadas, en la ingeniería de la fragmentación.

- **El segundo subgrupo** contiene las propiedades de las discontinuidades y la estructura del macizo rocoso, como el módulo de Elasticidad (E) dado en GPa, que es usado para representar a las propiedades mecánicas de la roca, y la estructura in-situ del macizo rocoso que es representada como (X_B) dado en unidades de proporción.

- **El tercer subgrupo** contiene el índice medio de la fragmentación (X_{50}) dado en unidades lineales.

3.8. Técnicas de recolección de datos.

La técnica de recolección de datos y los instrumentos que se han empleado para recoger la información serán: Copias de archivos de informes técnicos de congresos y convenciones del Perú, copias de Journal International, recopilación de archivos de datos virtuales en relación a la ingeniería de la fragmentación, entrevistas e intercambio de conocimientos con investigadores en referencia al tema.

3.9.- Análisis e interpretación de la información.

Las técnicas para el correspondiente análisis e interpretación de los datos, son técnicas de análisis multivariantes, Redes Neuronales, utiliza el conocimiento y experiencia profesional del tesista, así mismo toda la información descrita fue sometida a un juicio y análisis comparativo con técnicas lógicas de Inducción, Deducción, Análisis, Síntesis. etc. En lo referente al procesamiento del análisis de datos, para el presente proyecto, se han utilizado las técnicas estadísticas, inferencia paramétrica y análisis multivariante.

3.10.- Descripción y diagrama de flujo del nuevo enfoque de la fragmentación.

El siguiente diagrama de flujo en bloques, representa la secuencia del modelo teórico {X_{50}-pred} para predecir las futuras fragmentaciones en un proceso de voladuras de rocas, mediante los métodos de kuznetsov, Regresiones Lineales y Redes Neuronales "ANN", ***el aporte de la presente investigación, radica principalmente en asociar la parte estadística de los Limites de la Predicción al 95% y su valor estadístico de t-student, al proceso predictivo de la fragmentación***. Dicho modelo parte en función a una data base, para luego, ser separado preliminarmente por tres grupos, mediante el Indice de Fragmentación "FI=E/X_{50}", seguidamente dicha separación será sometido a un análisis discriminante que validará la pertenencia de la data dispersa a cada grupo. Posteriormente se realizará un tratamiento multivariante a cada grupo, luego se procede a predecir la fragmentación teórica {X_{50}-pred} para cada modelo y seguidamente determinar sus Límites de Confianza y de la Predicción al 95%. Finalmente se determina su perfomance para cada grupo, donde el nuevo enfoque de la fragmentación en función a la objetividad, predeciran las futuras fragmentaciones teóricas {X50-pred} y los limites de la variabilidad granulométrica en la voladura de rocas. A continuación en la figura 9, se presenta dicho diagrama flujo en bloques.

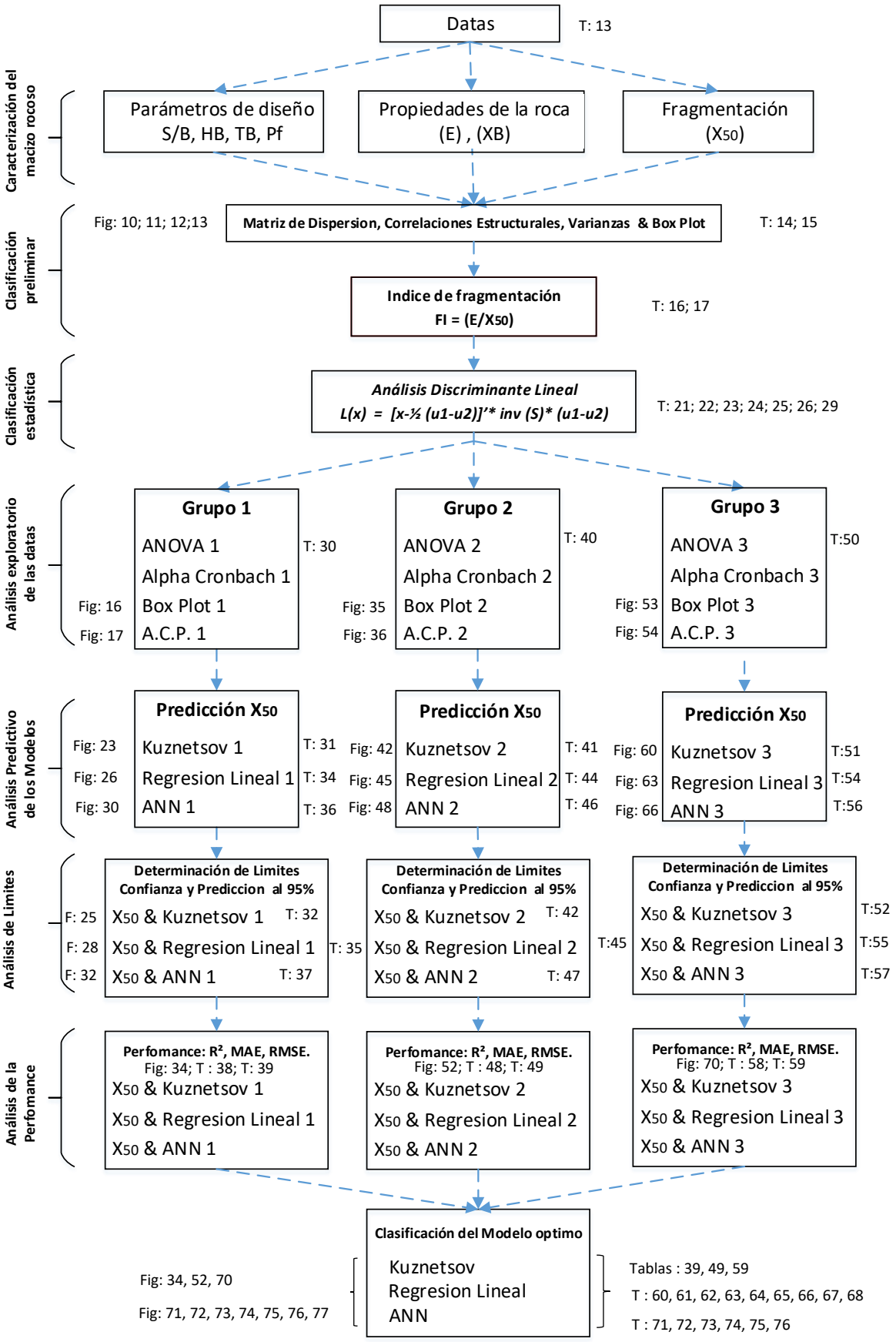

Figura 9. **Diagrama de flujo del Nuevo Enfoque de la Fragmentación.**
Fuente. Elaboración propia, (Visio 2016)

CAPITULO 4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL NUEVO ENFOQUE DE LA FRAGMENTACIÓN Y PRUEBA DE LA HIPÓTESIS.

Para formular el nuevo enfoque de la fragmentación en la presente tesis, se utilizará las ecuaciones empíricas **V. M. Kuznetsov (1973),** las técnicas de regresiones de análisis multivariante (MVRA) y las técnicas de Redes Neuronales artificiales "ANN", con la finalidad de calcular la predicción "X_{50}" teórica, dichos resultados serán contrastados con la función objetivo "X_{50}" real, con el fin de poder determinar cuál es la técnica más óptima y objetiva.

Así mismo, cabe mencionar que, para el respectivo tratamiento de optimización en dicha investigación, se utilizaron los softwares Matlab R1015a, Minitab V17 y SPSS-Amos V24.

4.1.- Descripción de los datos para el Caso.

Para el presente caso estudio, se ha seleccionado los datos del articulo cientifico de Hudaverdi, T. et al (2010) que contiene una recopilación de 90 voladuras realizadas en diferentes centros mineros de Europa. Los datos se presentan en la siguiente tabla 13. Así mismo, dichas datas seleccionadas cuentan con la mayor cantidad de información requerida para poder desarrollar el nuevo enfoque de la fragmentación en los procesos de voladura, a continuación paso a describir, el primer grupo de los parámetros de diseño para la voladura, donde: (B) es el burden, (S) es el espaciamiento entre los taladros, (T) es el taco, (H) es la altura del banco, (D) es el diámetro del taladro y (Pf) es el factor de potencia, para este caso todas las voladuras fueran hechas usando ANFO).

Continuando, el segundo grupo de los parámetros que afectan a la fragmentación se han divido en dos subgrupos ***el primer subgrupo*** contiene las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta, mientras que ***el segundo subgrupo*** contiene las propiedades de las discontinuidades y la estructura del macizo rocoso, donde se describir a (E) como el módulo de elasticidad que es usado para representar a las propiedades mecánicas de la roca, y a (XB) que representa el tamaño del bloque in-situ de la estructura del macizo rocoso, que es un parámetro importante para la predicción de la fragmentación.

Cabe mencionar también, que el presente estudio utiliza los siguientes Ratios: (S/B), (H/B), (B/D), (T/B).

A continuación, se describen los datos geográficos y geotécnicos de los diferentes centros mineros, en función a la data recopilada por Hudaverdi T. et al. (2012).

- Enusa, (En) es una mina de uranio a cielo abierto (open pit), Reocin (Rc) es una mina a cielo abierto y Reocin Underground (Ru) ambas explotan zinc, todas estas minas están localizadas en España.
- Murgul (Mg) es una mina de cobre, localizada al Noreste de Turkia,
- Mrica (Mr) presenta una perfomance de las canteras Indonesia, la investigación fue hecha por SveDeFo (Swedish Detonic Reserch Foundation), Investigaciones hechas en predicción de modelos de la fragmentación.
- El símbolo (Sm), presenta una performance de una mina de carbón a cielo abierto (open pit), en la cuenca del soma localizada al occidente de Turquía
- Las voladuras indicadas por el símbolo (Db) es una perfomance de la mina de manganesio Dongri-Buzurg a cielo abierto (open pit), situada en el centro de India, generalmente el macizo rocoso fue de micas esquistosas y muscovitas esquistosas.
- Los símbolos de las voladuras de (Ad) y (Oz) son una performance de las canteras Akdaglar y Ozmert de la cuenca de cendere localizada al Norte de Estanbul

En la tabla 13, se detallan los datos para el presente caso estudio.

4.2.- Test aplicados al Caso.

Para el presente caso, se realizaron los siguientes análisis inferencial.

1 : Análisis de Correlación, Varianzas y Covarianzas
2 : Análisis de Discriminante
3 : Análisis exploratorio a la data reclasificada, Varianza de un factor, Alpha de Cronbach, Matriz de Dispersión, Box Plot.
4 : Análisis de Componentes Principales,
5 : Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%

La finalidad de dichos análisis fue verificar la correlación de las variables, A continuación se presenta la data para el tratamiento y seguidamente los test aplicados.

Tabla 13. **Datos para el caso estudio.**

Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)
1	**En1**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*
2	**En2**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*
3	**En3**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.33*
4	**En4**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.11*	*60.00*	*0.42*
5	**En5**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.46*
6	**En6**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.17*	*0.27*	*1.08*	*60.00*	*0.37*
7	**En7**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.08*	*60.00*	*0.64*
8	**En8**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.42*
9	**En9**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.26*
10	**En10**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*
11	**En11**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.31*
12	**En12**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.38*
13	**Rc2**	0.165	*1.17*	*1.50*	*26.20*	*1.12*	*0.30*	*0.68*	*45.00*	*0.48*
14	**Rc3**	0.165	*1.17*	*1.58*	*26.20*	*1.22*	*0.28*	*0.68*	*45.00*	*0.48*
15	**Rc4**	0.165	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*
16	**Rc5**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.31*	*0.29*	*1.56*	*45.00*	*0.96*
17	**Rc6**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*
18	**Rc7**	0.165	*1.17*	*1.67*	*26.20*	*1.22*	*0.31*	*1.80*	*45.00*	*0.53*
19	**Rc8**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.34*	*0.30*	*1.80*	*45.00*	*0.56*
20	**Rc9**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*
21	**Rc10**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.23*	*0.35*	*1.80*	*45.00*	*0.44*
22	**Mg1**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.83*	*50.00*	*0.23*
23	**Mg2**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.78*	*50.00*	*0.25*
24	**Mg3**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*1.02*	*50.00*	*0.27*
25	**Mg4**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*0.75*	*50.00*	*0.30*
26	**Mg5**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.18*	*50.00*	*0.38*
27	**Mg6**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.24*	*50.00*	*0.37*
28	**Mg7**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.33*	*50.00*	*0.38*
29	**Ru1**	0.229	*1.13*	*5.00*	*39.47*	*1.93*	*0.31*	*2.00*	*45.00*	*0.64*
30	**Ru2**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.67*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.54*
31	**Ru3**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.70*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.51*
32	**Ru4**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*4.67*	*0.22*	*2.00*	*45.00*	*0.64*
33	**Ru5**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.11*	*0.35*	*2.00*	*45.00*	*0.54*
34	**Ru6**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.22*	*0.34*	*2.00*	*45.00*	*0.69*
35	**Mr1**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.17*
36	**Mr2**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.51*	*1.67*	*32.00*	*0.17*
37	**Mr3**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*
38	**Mr4**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*
39	**Mr5**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*
40	**Mr6**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.36*	*1.67*	*32.00*	*0.15*
41	**Mr7**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.56*	*1.03*	*32.00*	*0.18*
42	**Mr8**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.30*	*1.03*	*32.00*	*0.19*
43	**Mr9**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.35*	*1.03*	*32.00*	*0.16*
44	**Mr10**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.39*	*1.03*	*32.00*	*0.17*
45	**Mr11**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.32*	*1.03*	*32.00*	*0.21*
46	Db1	0.10	1.25	3.50	20.00	1.75	0.73	1.00	9.57	0.44
47	Db2	0.10	1.25	5.10	20.00	1.75	0.70	1.00	9.57	0.76
48	Db3	0.10	1.38	3.00	20.00	1.75	0.62	1.00	9.57	0.35
49	Db4	0.10	1.50	5.50	20.00	1.75	0.56	1.00	9.57	0.55
50	Db5	0.10	1.75	4.75	20.00	1.75	0.39	1.00	9.57	0.35
51	Db6	0.10	1.25	4.75	20.00	1.75	0.33	1.00	9.57	0.23
52	Db7	0.10	1.25	5.00	20.00	1.75	0.44	1.00	9.57	0.40
53	Db8	0.10	1.20	2.40	25.00	1.40	0.28	0.50	9.57	0.35
54	Db9	0.10	1.40	3.20	25.00	1.40	0.31	0.50	9.57	0.29

55	Sm1	0.21	1.25	2.50	28.57	0.83	0.42	0.50	13.25	0.15
56	Sm2	0.21	1.25	2.50	28.57	0.83	0.42	0.50	13.25	0.19
57	Sm3	0.21	1.25	2.50	28.57	0.83	0.42	0.50	13.25	0.23
58	Sm4	0.21	1.25	2.50	28.57	0.83	0.42	1.50	13.25	0.22
59	Sm5	0.21	1.25	2.50	28.57	0.83	0.42	1.50	13.25	0.24
60	Sm6	0.21	1.25	2.50	28.57	0.83	0.42	1.50	13.25	0.26
61	Sm7	0.21	1.25	2.50	28.57	0.83	0.42	1.50	13.25	0.28
62	Ad1	0.089	1.20	4.40	28.09	1.20	0.58	0.77	16.90	0.15
63	Ad2	0.089	1.20	4.80	28.09	1.20	0.66	0.56	16.90	0.17
64	Ad3	0.089	1.20	4.80	28.09	1.20	0.72	0.29	16.90	0.14
65	Ad4	0.089	1.20	4.00	28.09	1.60	0.49	0.81	16.90	0.16
66	Ad5	0.089	1.14	6.82	24.72	1.36	0.84	1.43	16.90	0.21
67	Ad6	0.089	1.14	6.36	24.72	1.36	0.82	1.77	16.90	0.21
68	Ad7	0.089	1.25	3.50	22.47	1.25	0.75	1.03	16.90	0.15
69	Ad8	0.089	1.25	3.25	22.47	1.25	0.71	0.83	16.90	0.19
70	Ad9	0.089	1.25	3.50	22.47	1.25	0.76	1.68	16.90	0.18
71	Ad10	0.089	1.25	3.50	22.47	1.25	0.76	1.24	16.90	0.15
72	Ad11	0.089	1.14	3.18	24.72	1.14	0.69	0.67	16.90	0.14
73	Ad12	0.089	1.14	3.18	24.72	1.14	0.69	2.01	16.90	0.20
74	Ad13	0.089	1.12	2.80	28.09	1.00	0.54	0.96	16.90	0.15
75	Ad14	0.089	1.00	2.40	28.09	1.00	0.56	0.83	16.90	0.14
76	Ad15	0.089	1.10	3.75	21.74	1.00	1.02	1.64	16.90	0.15
77	Ad16	0.089	1.10	3.50	22.47	1.25	0.86	2.35	16.90	0.15
78	Ad17	0.089	1.25	3.75	17.98	1.56	1.24	1.53	16.90	0.19
79	Ad18	0.089	1.00	4.00	18.42	1.71	1.26	0.73	16.90	0.15
80	Ad19	0.089	1.00	4.00	18.42	1.71	1.26	1.47	16.90	0.17
81	Ad20	0.089	1.14	4.00	18.42	1.71	1.10	1.19	16.90	0.19
82	Ad21	0.089	1.11	4.44	18.95	1.67	1.25	1.71	16.90	0.22
83	Ad22	0.089	1.28	3.61	18.95	1.67	0.89	0.56	16.90	0.20
84	Oz1	0.089	1.00	2.83	33.71	1.00	0.48	0.45	15.00	0.27
85	Oz2	0.089	1.20	2.40	28.09	1.00	0.53	0.86	15.00	0.14
86	Oz3	0.089	1.20	2.40	28.09	1.00	0.53	0.44	15.00	0.14
87	Oz4	0.089	1.25	4.50	22.47	1.50	0.76	0.66	15.00	0.20
88	Oz5	0.089	1.11	3.33	30.34	1.11	0.47	0.47	15.00	0.17
89	Oz6	0.089	1.20	3.20	28.09	1.20	0.48	1.11	15.00	0.30
90	Oz7	0.089	1.20	2.40	28.09	1.00	0.70	0.88	15.00	0.12

Fuente . Hudaverdi T. et al (2010). Mean particle size Prediction in Rock blast Fragmentation using Neural Networks. *Engineering Geology, 114,* 298-311.

4.2.1.- Análisis de Correlaciones & Variabilidades

El tratamiento del presente análisis de correlaciones, tiene por finalidad encontrar el mejor indice de correlación entre las variables por columnas. Las variables que caracterizan al macizo rocoso son: Block insitu size {XB}, Elasticidad{E} & el Indice de fragmentación $\{X_{50}\}$.

4.2.1.1.- Matriz de dispersión.

La matriz de dispersión, es una representación gráfica lineal de los tratamientos de datos entre dos variables, la finalidad es determinar entre todos los intergrupos tratados, cual tiene la mejor correlación o viceversa. Las variables utilizadas para el siguiente tratamiento son: 1{S/B}, 2{H/B}, 3{B/D}, 4{T/B}, 5{Pf}, 6{XB}, 7{E} y 7{X_{50}}. Los detalles del tratamiento, se presentan en la siguiente figura 10.

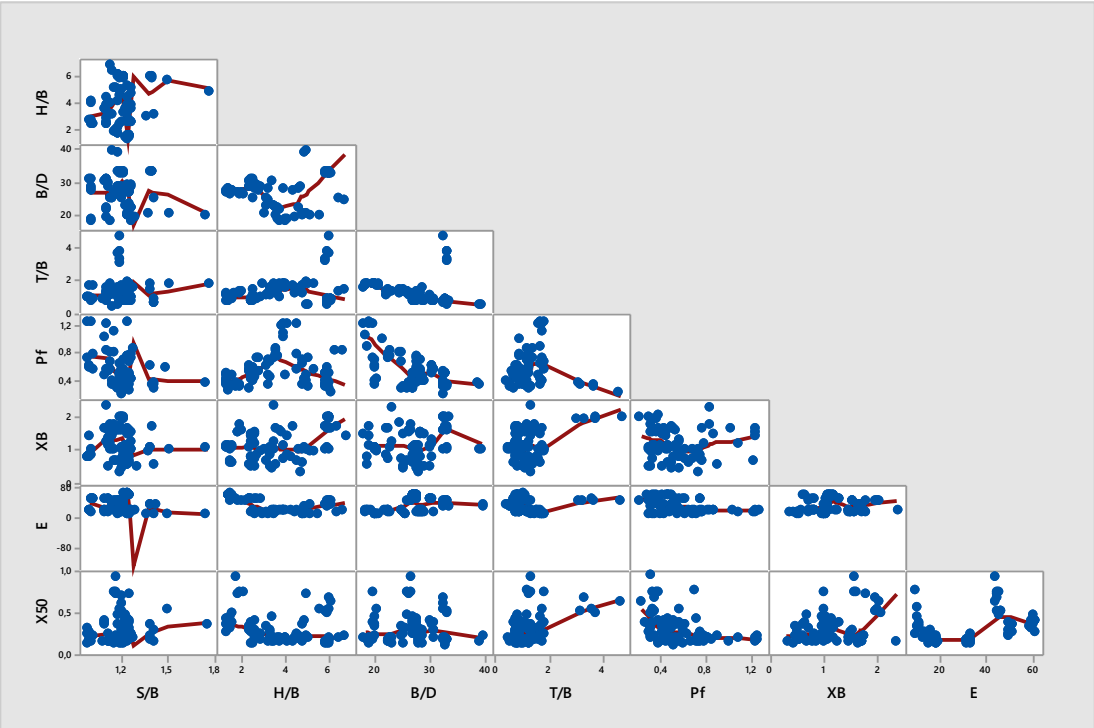

Figura 10. **Matriz de dispersión**,
Fuente. Elaboración propia, (Software **Minitab V-17**)

Interpretación: Del grafico de dispersión se deduce, que una de las mejores correlaciones tratadas entre las variables por columnas, esta dada entre {XB} & {E}, análogamente otra buena correlación tendría las variables {Pf} & {E}.

4.2.1.2.- Tratamiento de correlaciones estructurales.

Los resultados de los tratamientos se presentan en la siguiente figura 11 y seguidamente en la tabla 14 se presentan el resumen de correlaciones, de los cuales el tratamiento indica, que la mejor ratio de correlación esta entre {E/X_{50}} = 0.479. Por lo tanto, con dicho índice se procederá a clasificar a la data. Seguidamente a continuación se presenta los resultados de los tratamientos.

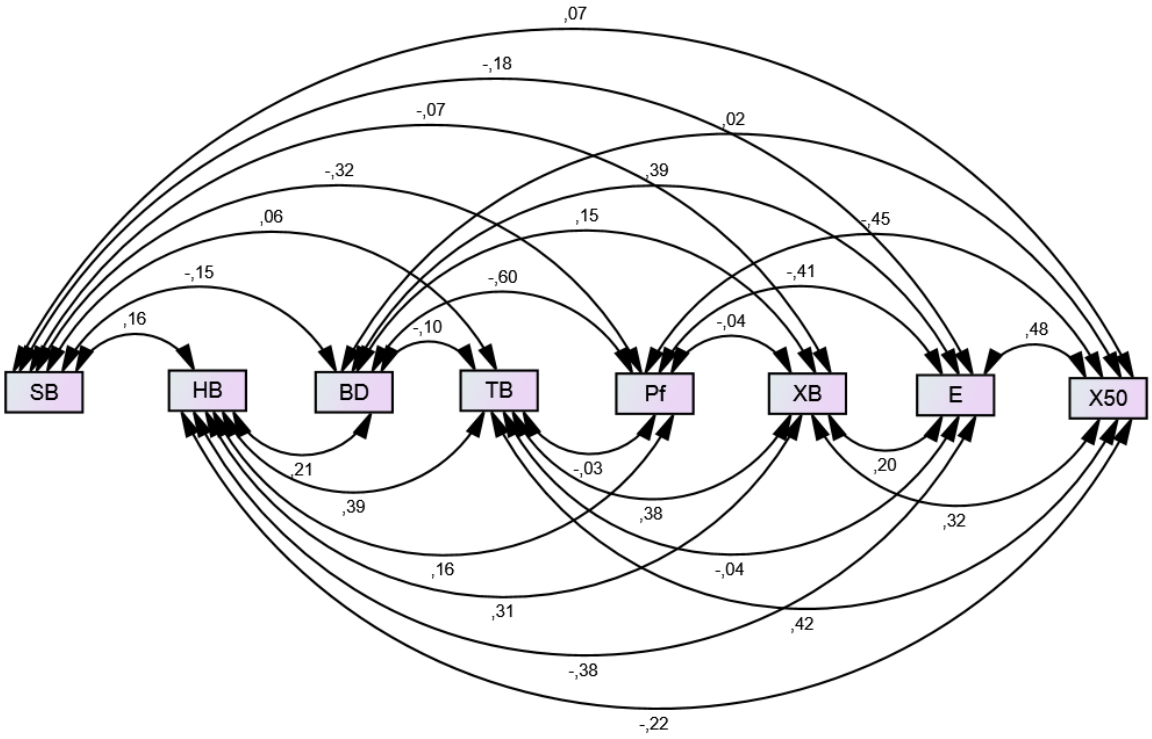

Figura 11. **Correlaciones estructurales.**
Fuente. Elaboración propia, (Software SPSS-AMOS V24)

Tabla 14. **Resumen de correlaciones entre variables**

			Estímate
TB	<-->	SB	,064
SB	<-->	XB	-,069
SB	<-->	X50	,068
SB	<-->	E	-,178
X50	<-->	HB	-,219
E	<-->	HB	-,380
HB	<-->	Pf	,159
TB	<-->	HB	,389
HB	<-->	BD	,207
TB	<-->	BD	-,100
XB	<-->	BD	,148
SB	<-->	HB	,164
SB	<-->	BD	-,146
E	<-->	BD	,385
X50	<-->	BD	,024
TB	<-->	X50	,416
TB	<-->	Pf	-,030
XB	<-->	Pf	-,045
Pf	<-->	BD	-,595
SB	<-->	Pf	-,319
TB	<-->	XB	,377
XB	<-->	HB	,310
TB	<-->	E	-,037
X50	<-->	Pf	-,453
E	<-->	Pf	-,411
XB	<-->	E	,197
XB	<-->	X50	,319
X50	<-->	E	,479

Fuente. Elaboración propia, (Software SPSS AMOS-V24).

4.2.1.3.- Tratamiento de Varianzas.

El tratamiento del presente análisis de varianzas por columnas, tiene por finalidad determinar las variabilidades existentes, entre las variables que caracterizan al macizo rocoso: Block insitu size{XB}, Elasticidad{E} & el Indice de fragmentación {X_{50}}.

Los resultados de los tratamientos se presentan en la siguiente figura 12, y seguidamente se presenta la tabla 15 resumen de covarianzas, de los cuales el tratamiento nos indica que, la mayor ratio de la variabilidad esta entre: {E/X_{50}} = 1.56. Este índice se refiere a que en adelante el tratamiento estará influenciado por una alta variabilidad entre las datas a tratar, Por lo tanto, para el futuro análisis de separación por grupos, se tendrá que utilizar técnicas robustas de análisis discriminante. Seguidamente en la figura 12 se presenta el tratamiento de las variabilidades.

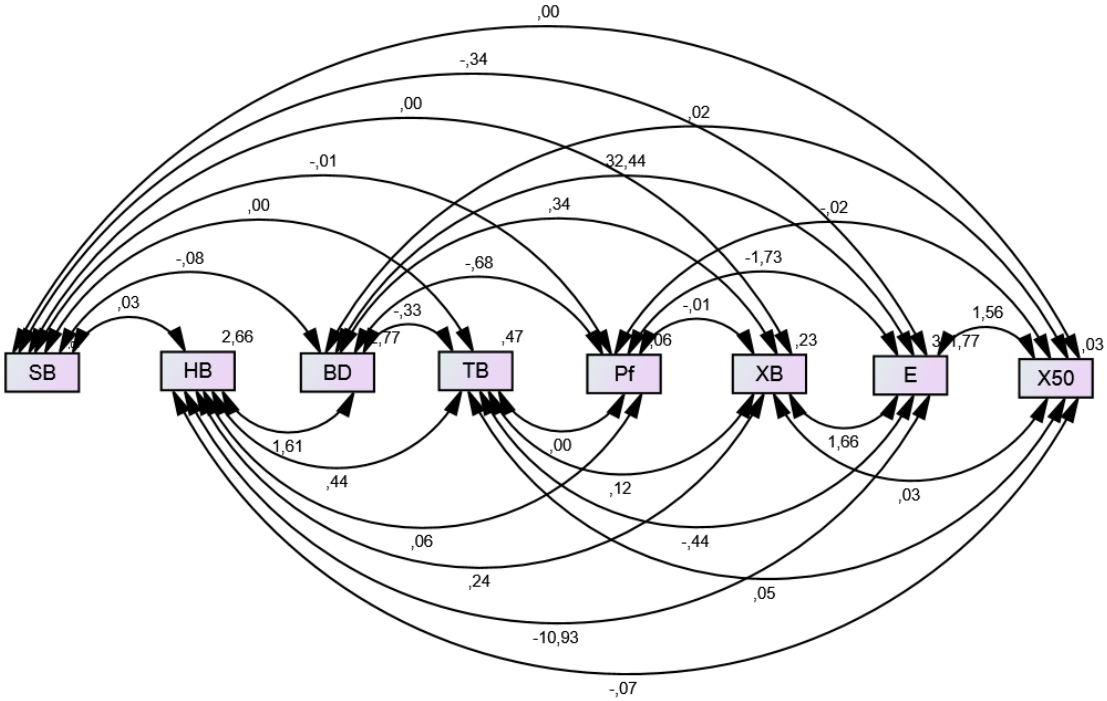

Figura 12. **Varianzas y Covarianzas - estructurales,**
Fuente. Elaboración propia, (Software SPSS AMOS V24)

*A continuación la siguiente tabla 15, presenta un resumen de las variabilidades

Tabla 15. **Resumen de covarianzas**

			Estímate	S.E.	C.R.	P	Label
TB	<-->	SB	,005	,008	,598	,550	par_1
SB	<-->	XB	-,004	,006	-,647	,518	par_2
SB	<-->	X50	,001	,002	,636	,525	par_3
SB	<-->	E	-,344	,208	-1,650	,099	par_4
X50	<-->	HB	-,066	,033	-2,016	,044	par_5
E	<-->	HB	-10,932	3,263	-3,351	***	par_6
HB	<-->	Pf	,062	,042	1,484	,138	par_7
TB	<-->	HB	,436	,127	3,417	***	par_8

HB	<-->	BD	1,608	,842	1,910	,056	par_9
TB	<-->	BD	-,328	,350	-,937	,349	par_10
XB	<-->	BD	,335	,244	1,377	,168	par_11
SB	<-->	HB	,029	,019	1,526	,127	par_12
SB	<-->	BD	-,076	,056	-1,366	,172	par_13
E	<-->	BD	32,439	9,569	3,390	***	par_14
X50	<-->	BD	,021	,093	,229	,819	par_15
TB	<-->	X50	,053	,015	3,623	***	par_16
TB	<-->	Pf	-,005	,017	-,281	,779	par_17
XB	<-->	Pf	-,005	,012	-,421	,674	par_18
Pf	<-->	BD	-,676	,140	-4,827	***	par_19
SB	<-->	Pf	-,008	,003	-2,867	,004	par_20
TB	<-->	XB	,124	,037	3,328	***	par_21
XB	<-->	HB	,241	,086	2,793	,005	par_22
TB	<-->	E	-,444	1,288	-,345	,730	par_23
X50	<-->	Pf	-,020	,005	-3,896	***	par_24
E	<-->	Pf	-1,727	,481	-3,588	***	par_25
XB	<-->	E	1,658	,909	1,824	,068	par_26
XB	<-->	X50	,028	,010	2,866	,004	par_27
X50	<-->	E	1,560	,383	4,073	***	par_28

Fuente. Elaboración propia, (Software SPSS AMOS-V24)

4.2.1.4.- Box Plot. Los resultados de los tratamientos se presentan en la figura 13.

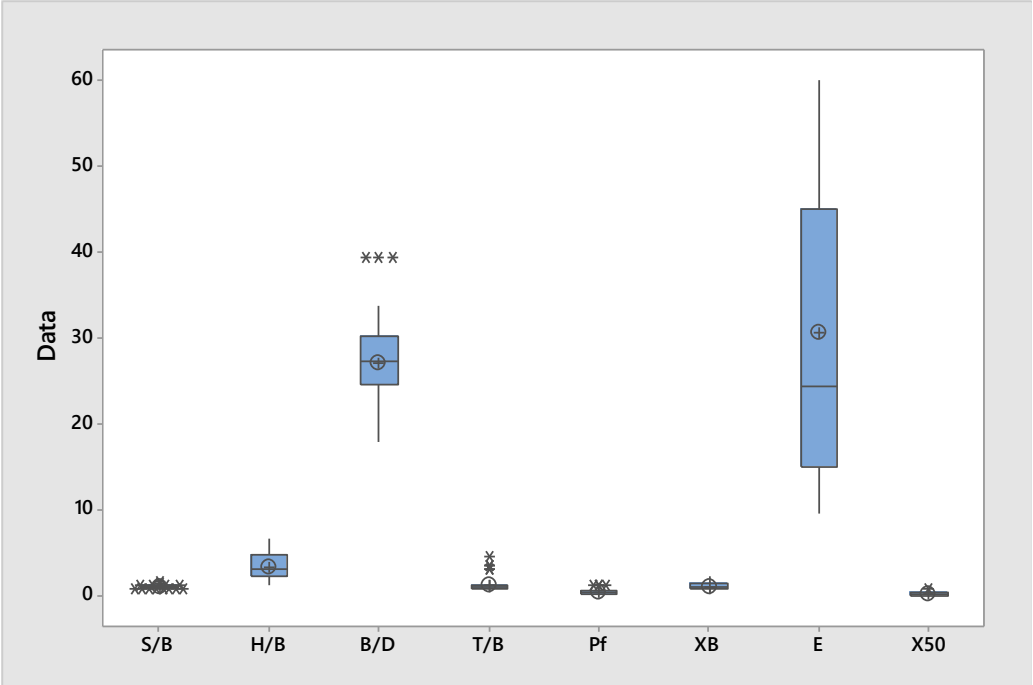

Figura 13. **Box Plot de la data.**
Fuente. Elaboración propia, (Software Minitab V-17).

Interpretación. De la figura 13, se determina, que la variable {E} es la data que tiene la mayor variabilidad, y seguidamente la variable {B/D} es la tiene una variabilidad promedio, con presencia de outlier por encima del cuarto cuartil "Q4". Por lo tanto, dicha figura 13 confirma el análisis de varianzas y covarianzas.

4.3.- Separación preliminar de la data, mediante el Indice de Fragmentación "FI=E/X_{50}" y asignación al grupo de pertenencia.

El tratamiento del nuevo índice de fragmentación **"FI"** está en función a la división entre la variable {E} & {X_{50}}. Por lo tanto, dichos resultados generaran un nuevo reordenamiento de la data por filas. Así mismo, la asignación al grupo de pertenencia preliminar (Group) está en función a sus valores máximos y mínimos obtenidos de la variable **"FI=E/X_{50}",** el detalle de dicha asignación se describe en la penúltima fila de la tabla 16. A continuación se presenta un resumen de la clasificación del tratamiento de la variable **"FI=E/X_{50}"** y su asignación al grupo de pertenencia preliminar (Group), en la refererida tabla 16.

Tabla 16. **Resumen preliminar de la data clasificada por el Nuevo Indice de Fragmentación "FI=E/X_{50}" y asignación al grupo de pertenencia (Group).**

	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf	XB	E	X50	FI=E/X50	Group
1	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	0.58	60	0.37	162.16	3
2	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	0.58	60	0.37	162.16	3
3	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	1.08	60	0.33	181.82	3
4	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	1.11	60	0.42	142.86	3
5	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	1.08	60	0.46	130.43	3
6	1.24	1.33	27.27	1.17	0.27	1.08	60	0.37	162.16	3
7	1.24	1.33	27.27	1.06	0.33	1.08	60	0.64	93.75	2
8	1.24	1.33	27.27	0.91	0.41	1.11	60	0.42	142.86	3
9	1.24	1.33	27.27	0.91	0.41	1.11	60	0.26	230.77	3
10	1.24	1.33	27.27	0.99	0.36	1.08	60	0.42	142.86	3
11	1.24	1.33	27.27	1.06	0.33	1.11	60	0.31	193.55	3
12	1.24	1.33	27.27	1.06	0.33	1.11	60	0.38	157.89	3
13	1.17	1.5	26.2	1.12	0.3	0.68	45	0.48	93.75	2
14	1.17	1.58	26.2	1.22	0.28	0.68	45	0.48	93.75	2
15	1.17	1.96	26.2	1.3	0.34	1.56	45	0.75	60.00	1
16	1.17	1.75	26.2	1.31	0.29	1.56	45	0.96	46.88	1
17	1.17	1.75	26.2	1.16	0.36	1.56	45	0.76	59.21	1
18	1.17	1.67	26.2	1.22	0.31	1.8	45	0.53	84.91	2
19	1.17	1.83	26.2	1.34	0.3	1.8	45	0.56	80.36	2
20	1.17	1.83	26.2	1.29	0.32	1.8	45	0.74	60.81	1
21	1.17	1.83	26.2	1.23	0.35	1.8	45	0.44	102.27	2
22	1	2.67	27.27	0.89	0.75	0.83	50	0.23	217.39	3
23	1	2.67	27.27	0.89	0.75	0.78	50	0.25	200.00	3
24	1	2.4	30.3	0.8	0.61	1.02	50	0.27	185.19	3
25	1	2.4	30.3	0.8	0.61	0.75	50	0.3	166.67	3
26	1.1	2.4	30.3	0.8	0.55	1.18	50	0.38	131.58	3
27	1.1	2.4	30.3	0.8	0.55	1.24	50	0.37	135.14	3
28	1.1	2.4	30.3	0.8	0.55	1.33	50	0.38	131.58	3
29	1.13	5	39.47	1.93	0.31	2	45	0.64	70.31	2
30	1.2	6	32.89	3.67	0.3	2	45	0.54	83.33	2
31	1.2	6	32.89	3.7	0.3	2	45	0.51	88.24	2
32	1.2	6	32.89	4.67	0.22	2	45	0.64	70.31	2
33	1.2	6	32.89	3.11	0.35	2	45	0.54	83.33	2
34	1.2	6	32.89	3.22	0.34	2	45	0.69	65.22	2

35	1.2	6	32.89	0.8	0.49	1.67	32	0.17	188.24	3
36	1.2	6	32.89	0.8	0.51	1.67	32	0.17	188.24	3
37	1.2	6	32.89	0.8	0.49	1.67	32	0.13	246.15	3
38	1.2	6	32.89	0.8	0.52	1.67	32	0.17	188.24	3
39	1.2	6	32.89	0.8	0.42	1.67	32	0.13	246.15	3
40	1.4	6	32.89	0.8	0.36	1.67	32	0.15	213.33	3
41	1.2	6	32.89	0.6	0.56	1.03	32	0.18	177.78	3
42	1.4	6	32.89	0.6	0.3	1.03	32	0.19	168.42	3
43	1.4	6	32.89	0.6	0.35	1.03	32	0.16	200.00	3
44	1.16	5	39.47	0.5	0.39	1.03	32	0.17	188.24	3
45	1.16	5	39.47	0.5	0.32	1.03	32	0.21	152.38	3
46	1.25	3.5	20	1.75	0.73	1	9.57	0.44	21.75	1
47	1.25	5.1	20	1.75	0.7	1	9.57	0.76	12.59	1
48	1.38	3	20	1.75	0.62	1	9.57	0.35	27.34	1
49	1.5	5.5	20	1.75	0.56	1	9.57	0.55	17.40	1
50	1.75	4.75	20	1.75	0.39	1	9.57	0.35	27.34	1
51	1.25	4.75	20	1.75	0.33	1	9.57	0.23	41.61	1
52	1.25	5	20	1.75	0.44	1	9.57	0.4	23.93	1
53	1.2	2.4	25	1.4	0.28	0.5	9.57	0.35	27.34	1
54	1.4	3.2	25	1.4	0.31	0.5	9.57	0.29	33.00	1
55	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	0.5	13.25	0.15	88.33	2
56	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	0.5	13.25	0.19	69.74	2
57	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	0.5	13.25	0.23	57.61	1
58	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	1.5	13.25	0.22	60.23	1
59	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	1.5	13.25	0.24	55.21	1
60	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	1.5	13.25	0.26	50.96	1
61	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	1.5	13.25	0.28	47.32	1
62	1.2	4.4	28.09	1.2	0.58	0.77	16.9	0.15	112.67	2
63	1.2	4.8	28.09	1.2	0.66	0.56	16.9	0.17	99.41	2
64	1.2	4.8	28.09	1.2	0.72	0.29	16.9	0.14	120.71	2
65	1.2	4	28.09	1.6	0.49	0.81	16.9	0.16	105.63	2
66	1.14	6.82	24.72	1.36	0.84	1.43	16.9	0.21	80.48	2
67	1.14	6.36	24.72	1.36	0.82	1.77	16.9	0.21	80.48	2
68	1.25	3.5	22.47	1.25	0.75	1.03	16.9	0.15	112.67	2
69	1.25	3.25	22.47	1.25	0.71	0.83	16.9	0.19	88.95	2
70	1.25	3.5	22.47	1.25	0.76	1.68	16.9	0.18	93.89	2
71	1.25	3.5	22.47	1.25	0.76	1.24	16.9	0.15	112.67	2
72	1.14	3.18	24.72	1.14	0.69	0.67	16.9	0.14	120.71	2
73	1.14	3.18	24.72	1.14	0.69	2.01	16.9	0.2	84.50	2
74	1.12	2.8	28.09	1	0.54	0.96	16.9	0.15	112.67	2
75	1	2.4	28.09	1	0.56	0.83	16.9	0.14	120.71	2
76	1.1	3.75	21.74	1	1.02	1.64	16.9	0.15	112.67	2
77	1.1	3.5	22.47	1.25	0.86	2.35	16.9	0.15	112.67	2
78	1.25	3.75	17.98	1.56	1.24	1.53	16.9	0.19	88.95	2
79	1	4	18.42	1.71	1.26	0.73	16.9	0.15	112.67	2
80	1	4	18.42	1.71	1.26	1.47	16.9	0.17	99.41	2
81	1.14	4	18.42	1.71	1.1	1.19	16.9	0.19	88.95	2
82	1.11	4.44	18.95	1.67	1.25	1.71	16.9	0.22	76.82	2
83	1.28	3.61	18.95	1.67	0.89	0.56	16.9	0.2	84.50	2
84	1	2.83	33.71	1	0.48	0.45	15	0.27	55.56	1
85	1.2	2.4	28.09	1	0.53	0.86	15	0.14	107.14	2
86	1.2	2.4	28.09	1	0.53	0.44	15	0.14	107.14	2
87	1.25	4.5	22.47	1.5	0.76	0.66	15	0.2	75.00	2
88	1.11	3.33	30.34	1.11	0.47	0.47	15	0.17	88.24	2
89	1.2	3.2	28.09	1.2	0.48	1.11	15	0.3	50.00	1
90	1.2	2.4	28.09	1	0.7	0.88	15	0.12	125.00	3

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

Determinado el nuevo Indice de Fragmentación **"FI=E/X_{50}"** y obtenido sus valores máximos y mínimos. Seguidamente se aplica la técnica de Interpolación a dichos valores, con el fin de determinar la asignación preliminar al grupo de pertenencia (Group). A continuación se describe los detalles en el siguiente procedimiento:

El valor máx. (FI=E/X_{50}) = 246.1538 Consideramos como el 100.000 %
El valor min. (FI=E/X_{50}) = 12.5921 Consideramos como el 5.116 %

Mediante dichos valores, interpolando podemos encontrar el valor al 50% y 75% los cuales se presentan a continuación:

246.15380	100.00 %
184.61540	75.00 %
123.07690	50.00 %
61.53846	25.00 %
12.59210	5.12 %

Para el caso, en función a los resultados del nuevo índice de fragmentación "FI = E/X_{50}", se ha considerado separar la data en tres grupos, la cual tendrá la siguiente leyenda.

12.5921 < FI < 61.53846 = Group 1
61.53846 < FI < 123.0769 = Group 2
123.0769 < FI < 246.1538 = Group 3

A continuación en la siguiente tabla 17, se presenta el tratamiento preliminar final de la data separada por grupos.

Tabla 17. **Resumen preliminar final de la data clasificada por grupos mediante el Nuevo Indice de Fragmentación "FI=E/X_{50}"**

Grupo 1.

	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf	XB	E	X_{50}	Grupo
1	1.17	1.96	26.2	1.3	0.34	1.56	45	0.75	1
2	1.17	1.75	26.2	1.31	0.29	1.56	45	0.96	1
3	1.17	1.75	26.2	1.16	0.36	1.56	45	0.76	1
4	1.17	1.83	26.2	1.29	0.32	1.8	45	0.74	1
5	1.25	3.5	20	1.75	0.73	1	9.57	0.44	1
6	1.25	5.1	20	1.75	0.7	1	9.57	0.76	1
7	1.38	3	20	1.75	0.62	1	9.57	0.35	1
8	1.5	5.5	20	1.75	0.56	1	9.57	0.55	1
9	1.75	4.75	20	1.75	0.39	1	9.57	0.35	1
10	1.25	4.75	20	1.75	0.33	1	9.57	0.23	1

11	1.25	5	20	1.75	0.44	1	9.57	0.4	1
12	1.2	2.4	25	1.4	0.28	0.5	9.57	0.35	1
13	1.4	3.2	25	1.4	0.31	0.5	9.57	0.29	1
14	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	0.5	13.25	0.23	1
15	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	1.5	13.25	0.22	1
16	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	1.5	13.25	0.24	1
17	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	1.5	13.25	0.26	1
18	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	1.5	13.25	0.28	1
19	1	2.83	33.71	1	0.48	0.45	15	0.27	1
20	1.2	3.2	28.09	1.2	0.48	1.11	15	0.3	1

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

Grupo 2.

	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf	XB	E	X_{50}	Grupo
21	1.24	1.33	27.27	1.06	0.33	1.08	60	0.64	2
22	1.17	1.5	26.2	1.12	0.3	0.68	45	0.48	2
23	1.17	1.58	26.2	1.22	0.28	0.68	45	0.48	2
24	1.17	1.67	26.2	1.22	0.31	1.8	45	0.53	2
25	1.17	1.83	26.2	1.34	0.3	1.8	45	0.56	2
26	1.17	1.83	26.2	1.23	0.35	1.8	45	0.44	2
27	1.13	5	39.47	1.93	0.31	2	45	0.64	2
28	1.2	6	32.89	3.67	0.3	2	45	0.54	2
29	1.2	6	32.89	3.7	0.3	2	45	0.51	2
30	1.2	6	32.89	4.67	0.22	2	45	0.64	2
31	1.2	6	32.89	3.11	0.35	2	45	0.54	2
32	1.2	6	32.89	3.22	0.34	2	45	0.69	2
33	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	0.5	13.25	0.15	2
34	1.25	2.5	28.57	0.83	0.42	0.5	13.25	0.19	2
35	1.2	4.4	28.09	1.2	0.58	0.77	16.9	0.15	2
36	1.2	4.8	28.09	1.2	0.66	0.56	16.9	0.17	2
37	1.2	4.8	28.09	1.2	0.72	0.29	16.9	0.14	2
38	1.2	4	28.09	1.6	0.49	0.81	16.9	0.16	2
39	1.14	6.82	24.72	1.36	0.84	1.43	16.9	0.21	2
40	1.14	6.36	24.72	1.36	0.82	1.77	16.9	0.21	2
41	1.25	3.5	22.47	1.25	0.75	1.03	16.9	0.15	2
42	1.25	3.25	22.47	1.25	0.71	0.83	16.9	0.19	2
43	1.25	3.5	22.47	1.25	0.76	1.68	16.9	0.18	2
44	1.25	3.5	22.47	1.25	0.76	1.24	16.9	0.15	2
45	1.14	3.18	24.72	1.14	0.69	0.67	16.9	0.14	2
46	1.14	3.18	24.72	1.14	0.69	2.01	16.9	0.2	2
47	1.12	2.8	28.09	1	0.54	0.96	16.9	0.15	2
48	1	2.4	28.09	1	0.56	0.83	16.9	0.14	2
49	1.1	3.75	21.74	1	1.02	1.64	16.9	0.15	2
50	1.1	3.5	22.47	1.25	0.86	2.35	16.9	0.15	2
51	1.25	3.75	17.98	1.56	1.24	1.53	16.9	0.19	2
52	1	4	18.42	1.71	1.26	0.73	16.9	0.15	2
53	1	4	18.42	1.71	1.26	1.47	16.9	0.17	2
54	1.14	4	18.42	1.71	1.1	1.19	16.9	0.19	2
55	1.11	4.44	18.95	1.67	1.25	1.71	16.9	0.22	2
56	1.28	3.61	18.95	1.67	0.89	0.56	16.9	0.2	2
57	1.2	2.4	28.09	1	0.53	0.86	15	0.14	2
58	1.2	2.4	28.09	1	0.53	0.44	15	0.14	2
59	1.25	4.5	22.47	1.5	0.76	0.66	15	0.2	2
60	1.11	3.33	30.34	1.11	0.47	0.47	15	0.17	2

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

Grupo 3.

	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf	XB	E	X_{50}	Grupo
61	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	0.58	60	0.37	3
62	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	0.58	60	0.37	3
63	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	1.08	60	0.33	3
64	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	1.11	60	0.42	3
65	1.24	1.33	27.27	0.78	0.48	1.08	60	0.46	3
66	1.24	1.33	27.27	1.17	0.27	1.08	60	0.37	3
67	1.24	1.33	27.27	0.91	0.41	1.11	60	0.42	3
68	1.24	1.33	27.27	0.91	0.41	1.11	60	0.26	3
69	1.24	1.33	27.27	0.99	0.36	1.08	60	0.42	3
70	1.24	1.33	27.27	1.06	0.33	1.11	60	0.31	3
71	1.24	1.33	27.27	1.06	0.33	1.11	60	0.38	3
72	1	2.67	27.27	0.89	0.75	0.83	50	0.23	3
73	1	2.67	27.27	0.89	0.75	0.78	50	0.25	3
74	1	2.4	30.3	0.8	0.61	1.02	50	0.27	3
75	1	2.4	30.3	0.8	0.61	0.75	50	0.3	3
76	1.1	2.4	30.3	0.8	0.55	1.18	50	0.38	3
77	1.1	2.4	30.3	0.8	0.55	1.24	50	0.37	3
78	1.1	2.4	30.3	0.8	0.55	1.33	50	0.38	3
79	1.2	6	32.89	0.8	0.49	1.67	32	0.17	3
80	1.2	6	32.89	0.8	0.51	1.67	32	0.17	3
81	1.2	6	32.89	0.8	0.49	1.67	32	0.13	3
82	1.2	6	32.89	0.8	0.52	1.67	32	0.17	3
83	1.2	6	32.89	0.8	0.42	1.67	32	0.13	3
84	1.4	6	32.89	0.8	0.36	1.67	32	0.15	3
85	1.2	6	32.89	0.6	0.56	1.03	32	0.18	3
86	1.4	6	32.89	0.6	0.3	1.03	32	0.19	3
87	1.4	6	32.89	0.6	0.35	1.03	32	0.16	3
88	1.16	5	39.47	0.5	0.39	1.03	32	0.17	3
89	1.16	5	39.47	0.5	0.32	1.03	32	0.21	3
90	1.2	2.4	28.09	1	0.7	0.88	15	0.12	3

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

4.4.- Planteamiento y tratamiento del Análisis Discriminante a la data.

La finalidad de aplicar el análisis discrimante en el siguiente acápite, es con el fin de validar estadísticamente, la asignación al grupo de pertenencia (Group) determinada por el nuevo Indice de Fragmentación "$FI=E/X_{50}$".

Para el desarrollo del presente tratamiento del análisis discriminante, se determina las siguientes Sub Matrices: Matriz de Varianzas y Covarianzas {S1, S2, S3, Matriz de dispersión dentro de los grupos {W} & entre los grupos {B}, Matriz Combinada {Sp} y la Matriz de descomposición espectral {M}, siendo esta última matriz, la que produce las funciones discriminantes y la técnica que más se adecua para el tratamiento de la data, esta en función a las ecuaciones discriminantes Lineales de Fisher aplicada para tres poblaciones , expuesta en el tratado 2.4.1.3. Ec-16 y obtenido en base al Script expuesto en anexos "A-1" desarrollado con el software Matlab R2015a. A continuación, se presenta los resultados de los tratamientos predescritos.

Determinación de la dimensionalidad de los grupos.

```
Grupo 1 = [n1 p1] =  [20 7]
Grupo 2 = [n2 p2] =  [40 7]
Grupo 3 = [n3 p3] =  [30 7]
```

Dónde: n1 : Numero de variables por reglones (filas)
p1 : Numero de variables por columnas.

Determinación de la media aritmética parcial por cada grupo.

```
Grupo 1  =  y1 = mean(X1)
Grupo 2  =  y2 = mean(X2)
Grupo 3  =  y3 = mean(X3)
```

y1 = [1.268 3.151 24.972 1.323 0.4365 1.127 18.119]
y2 = [1.1735 3.7478 26.024 1.581 0.63175 1.2332 25.332]
y3 = [1.1953 3.279 30.302 0.81267 0.47633 1.1403 45.9]

Determinación de la media aritmética general, en función a sus pesos.

```
m   = (n1*y1+n2*y2+n3*y3)/(n1+n2+n3)
```

m = [1.2018 3.4589 27.216 1.2676 0.53656 1.1787 30.585]

Determinación de las varianzas y covarianzas.

```
Grupo  1  =  S1 = cov(X1)
Grupo  2  =  S2 = cov(X2)
Grupo  3  =  S3 = cov(X3)
```

El resultado del tratamiento de la matriz de varianzas y covarianzas del grupo 1, es:

S1

0.02308	0.10079	-0.37401	0.02573	0.00222	-0.00853	-0.84443
0.10079	1.46700	-3.59770	0.31793	0.07235	-0.19665	-10.61700
-0.37401	-3.59770	17.36200	-1.43250	-0.20405	0.20791	16.02800
0.02573	0.31793	-1.43250	0.13954	0.01711	-0.04159	-1.03750
0.00222	0.07235	-0.20405	0.01711	0.01652	-0.00918	-0.80414
-0.00853	-0.19665	0.20791	-0.04159	-0.00918	0.17489	3.64650
-0.84443	-10.61700	16.02800	-1.03750	-0.80414	3.64650	194.01000

El resultado del tratamiento de la matriz de varianzas y covarianzas del grupo 2, es:

S2

0.0048695	-0.0020099	0.0447390	0.0045400	-0.0070063	-0.0064424	0.1074700
-0.0020099	2.1845000	1.6425000	0.8389200	0.0737630	0.3367300	-0.7492100
0.0447390	1.6425000	23.6700000	1.7681000	-1.2415000	0.4495400	35.7170000
0.0045400	0.8389200	1.7681000	0.7448300	-0.0689660	0.2762400	6.1610000
-0.0070063	0.0737630	-1.2415000	-0.0689660	0.0933940	-0.0107210	-2.8684000
-0.0064424	0.3367300	0.4495400	0.2762400	-0.0107210	0.3589500	3.8324000
0.1074700	-0.7492100	35.7170000	6.1610000	-2.8684000	3.8324000	198.4600000

El resultado del tratamiento de la matriz de varianzas y covarianzas del grupo 3, es:

S3

0.011384	0.051595	0.024118	-0.001456	-0.009942	0.007360	-0.190830
0.051595	4.128300	5.709800	-0.182390	-0.025366	0.383240	-23.668000
0.024118	5.709800	12.165000	-0.402760	-0.100360	0.432550	-34.671000
-0.001456	-0.182390	-0.402760	0.023648	0.000727	-0.000373	0.970970
-0.009942	-0.025366	-0.100360	0.000727	0.016059	-0.008385	-0.192790
0.007360	0.383240	0.432550	-0.000373	-0.008385	0.099983	-1.837900
-0.190830	-23.668000	-34.671000	0.970970	-0.192790	-1.837900	185.680000

Determinación de la ***matriz de dispersión dentro de los grupos*** en función a la siguiente ecuación.

```
W    = (n1-1)*S1 + (n2-1)*S2 + (n3-1)*S3
```

El resultado del tratamiento de la matriz de dispersión dentro de los grupos es:

W

0.95858	3.33280	-4.66190	0.62375	-0.51940	-0.19993	-17.38700
3.33280	232.79000	161.28000	33.46900	3.51580	20.51000	-917.33000
-4.66190	161.28000	1605.80000	30.05900	-55.20600	34.02600	692.05000
0.62375	33.46900	30.05900	32.38600	-2.34360	9.97220	248.72000
-0.51940	3.51580	-55.20600	-2.34360	4.42190	-0.83580	-132.74000
-0.19993	20.51000	34.02600	9.97220	-0.83580	20.22100	165.45000
-17.38700	-917.33000	692.05000	248.72000	-132.74000	165.45000	16811.00000

Determinando la ***matriz de dispersión entre los grupos***, en función a la siguiente ecuación.

```
B    =  n1*(y1-m)'*(y1-m)+ n2*(y2-m)'*(y2-m)+ n3*(y3-m)'*(y3-m)
```

El resultado del tratamiento de la matriz de dispersión entre los grupos es:

B

0.12094	-0.69974	-2.22000	-0.19316	-0.22855	-0.12276	-13.53000
-0.69974	6.20430	-16.60700	5.73510	2.04100	1.15570	-66.57700
-2.22000	-16.60700	443.12000	-59.53900	-5.62320	-3.83220	2227.40000
-0.19316	5.73510	-59.53900	10.19900	1.90440	1.15020	-288.68000
-0.22855	2.04100	-5.62320	1.90440	0.67150	0.38049	-22.72400
-0.12276	1.15570	-3.83220	1.15020	0.38049	0.21665	-16.19900
-13.53000	-66.57700	2227.40000	-288.68000	-22.72400	-16.19900	11248.00000

Determinando la ***matriz combinada de varianzas y covarianzas***, en función a la siguiente ecuación.

```
Sp   = (((n1-1)*S1)+((n2-1)*S2)+((n3-1)*S3))/(n1+n2+n3-3)
```

El resultado del tratamiento de la matriz combinada de varianzas y covarianzas es:

Sp

0.0110180	0.0383080	-0.0535850	0.0071696	-0.0059701	-0.0022980	-0.1998500
0.0383080	2.6757000	1.8538000	0.3847000	0.0404120	0.2357500	-10.5440000
-0.0535850	1.8538000	18.4580000	0.3455000	-0.6345500	0.3911100	7.9546000
0.0071696	0.3847000	0.3455000	0.3722500	-0.0269380	0.1146200	2.8589000
-0.0059701	0.0404120	-0.6345500	-0.0269380	0.0508270	-0.0096069	-1.5257000
-0.0022980	0.2357500	0.3911100	0.1146200	-0.0096069	0.2324300	1.9017000
-0.1998500	-10.5440000	7.9546000	2.8589000	-1.5257000	1.9017000	193.2300000

Determinando la ***descomposición espectral***, en base de la siguiente ecuación :

$$M = inv(W) * B$$

Los resultados del tratamiento de la descomposición espectral son:

Autovectores

-0.622570	-0.2809200	-0.9484300	-0.94905000	-0.9357800	-0.9335900	0.9508700
-0.072350	-0.0229630	0.0031942	-0.00083519	-0.0026350	0.0097680	0.0208500
-0.027798	0.0263250	-0.0091392	-0.00866470	-0.0040295	-0.0016093	-0.0083139
0.213750	0.2185000	-0.0538720	-0.04821900	-0.0199040	-0.0152700	0.0190870
-0.737170	0.9327000	-0.3115600	-0.31063000	-0.3513900	-0.3543300	0.3025800
0.130230	-0.0467890	0.0202420	0.02025800	0.0206340	-0.0502710	-0.0583430
-0.018027	0.0013676	-0.0012950	-0.00126660	-0.0015343	-0.0019266	0.0039307

Autovalores

4.11590
0.41448
1.4853e-16
1.3539e-16
3.4045e-17
3.3327e-18
-1.5857e-16

Proporción parcial =

90.8510
9.1490
3.2785e-15
2.9886e-15
7.515e-16
7.3564e-17
-3.5001e-15

Proporción acum =

90.851
100
100
100
100
100
100

De los resultados de los tratamientos de la matriz descompuesta espectralmente, se interpreta, que toda la información de dicha matriz al 100%, se representa en dos autovectores, el porcentaje de proporción acumulada de los autovalores confirma dicha hipótesis.

Planteamiento para determinar los centros de gravedad en función a los Autovectores.

Las siguientes ecuaciones canónicas, representan la forma como se obtendrán los centros de gravedad.

V1 = (-0.622570)+(-0.072350)+(-0.027798)+ (0.213750)+(-0.737170)+(0.130230)+(-0.018027)
V2 = (-0.280920)+(-0.022963)+(0.026325)+(0.218500)+(0.932700)+(-0.046789)+(0.001368)

Ecuación canónica para determinar el centro de gravedad de un Punto.
Dij = [Vi] * [yi]'

Donde : Vi = Autovectores
yi = Media aritmética de cada grupo.

Determinación matricial de los centros de gravedad.

Para P1 las coordenadas de su centro de gravedad serán:

C1= [-0.622570 -0.072350 -0.027798 +0.213750 -0.737170 +0.130230 -0.018027]*[y1]' = -1.9304

C2= [-0.280920 -0.022963 +0.026325 +0.218500 +0.932700 -0.046789 +0.001368]*[y1]' = 0.89707

Para P2 las coordenadas de su centro de gravedad serán:

C3= [-0.622570 -0.072350 -0.027798 +0.213750 -0.737170 +0.130230 -0.018027]*[y2]' = -2.149

C4= [-0.280920 -0.022963 +0.026325 +0.218500 +0.932700 -0.046789 +0.001368]*[y2]' = 1.181

Para P3 las coordenadas de su centro de gravedad serán:

C5= [-0.622570 -0.072350 -0.027798 +0.213750 -0.737170 +0.130230 -0.018027]*[y3]' = -2.6801

C6= [-0.280920 -0.022963 +0.026325 +0.218500 +0.932700 -0.046789 +0.001368]*[y3]' = 1.0179

Determinación de los puntos dispersos para cada grupo.

Para la determinación de los puntos dispersos de pertenecia a cada centro de gravedad, aplicamos las siguientes ecuaciones:

D1= (-0.622570.S/B)+(-0.072350.H/B)+(-0.027798.B/D)+ (0.213750.T/B)+(-0.737170.Pf)
+(0.130230.XB)+(-0.018027.E)

D2 = (-0.280920.S/B)+(-0.022963.H/B)+(0.026325.B/D)+(0.218500.T/B)+(0.932700.Pf)
+(-0.046789.XB)+(0.001368.E)

*** Los resultados de dichos tratamientos, se presentan a continuación en la tabla 18, 19, 20 y figura 14.**

Para P1 sus datas dispersas de pertenencia serán:

Tabla 18. **Resumen de las datas dispersas para P1**

	D1	D2
1	-2.1793	0.90574
2	-2.1251	0.86611
3	-2.2088	0.89863
4	-2.126	0.87666
5	-1.7937	1.1245
6	-1.8874	1.0598
7	-1.7574	0.99688
8	-1.9688	0.8498
9	-1.9448	0.63823
10	-1.5893	0.72273
11	-1.6885	0.81959
12	-1.6302	0.82265
13	-1.8347	0.77607
14	-2.0592	0.91135
15	-1.929	0.86456
16	-1.929	0.86456
17	-1.929	0.86456
18	-1.929	0.86456
19	-2.1163	1.2072
20	-1.9826	1.0073

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a).

Nota: Se interpreta del resultado de la tabla 18 de datas dispersas del primer grupo P1, que cada punto determinado es un par de coordenadas y que en base a ello se plotearan bidimensionalmente todos los puntos, con el fin de determinar sus distancias en referencia a su centro de gravedad. Análogamente para los demás tratamientos P2 y P3 tienen el mismo procedimiento, sus resultados se presentan a continuación.

Para P2 sus datas dispersas de pertenencia serán:

Tabla 19. **Resumen de las datas dispersas para P2**

	D3	D4		D3	D4
21	-2.5839	0.90991	41	-2.1122	1.1076
22	-2.2696	0.88084	42	-2.0907	1.0854
23	-2.2393	0.8822	43	-2.035	1.0865
24	-2.1221	0.85571	44	-2.0923	1.1071
25	-2.1006	0.86893	45	-2.1093	1.1419
26	-2.161	0.89153	46	-1.9348	1.0792
27	-2.5291	1.2856	47	-2.0446	1.0609
28	-2.0829	1.4406	48	-1.9727	1.1285
29	-2.0764	1.4472	49	-2.1897	1.2934
30	-1.8101	1.5845	50	-1.928	1.1905
31	-2.2394	1.3649	51	-2.2354	1.485
32	-2.2085	1.3796	52	-2.1969	1.6499
33	-2.0592	0.91135	53	-2.1005	1.6153
34	-2.0592	0.91135	54	-2.1062	1.4398
35	-2.2217	1.0916	55	-2.1855	1.5589
36	-2.3369	1.1668	56	-2.1157	1.2483
37	-2.4163	1.2354	57	-2.0369	1.0403
38	-2.0357	1.1023	58	-2.0916	1.06
39	-2.3372	1.2107	59	-2.1525	1.1633
40	-2.2449	1.1867	60	-2.0938	1.0898

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a)

Para P3 sus datas dispersas de pertenencia serán:

Tabla 20. **Resumen de las datas dispersas para P3**

	D5	D6		D5	D6
61	-2.8194	1.012	76	-2.6828	1.1345
62	-2.8194	1.012	77	-2.675	1.1317
63	-2.7543	0.98864	78	-2.6633	1.1274
64	-2.7504	0.98724	79	-2.645	0.98838
65	-2.7543	0.98864	80	-2.6598	1.007
66	-2.5161	0.87799	81	-2.645	0.98838
67	-2.671	0.95035	82	-2.6671	1.0164
68	-2.671	0.95035	83	-2.5934	0.9231
69	-2.621	0.9226	84	-2.6737	0.81095
70	-2.58	0.90851	85	-2.8227	1.0399
71	-2.58	0.90851	86	-2.7556	0.74123
72	-2.7297	1.2992	87	-2.7924	0.78787
73	-2.7362	1.3015	88	-2.8044	1.0669
74	-2.6856	1.226	89	-2.7528	1.0016
75	-2.7208	1.2386	90	-2.1596	1.198

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a).

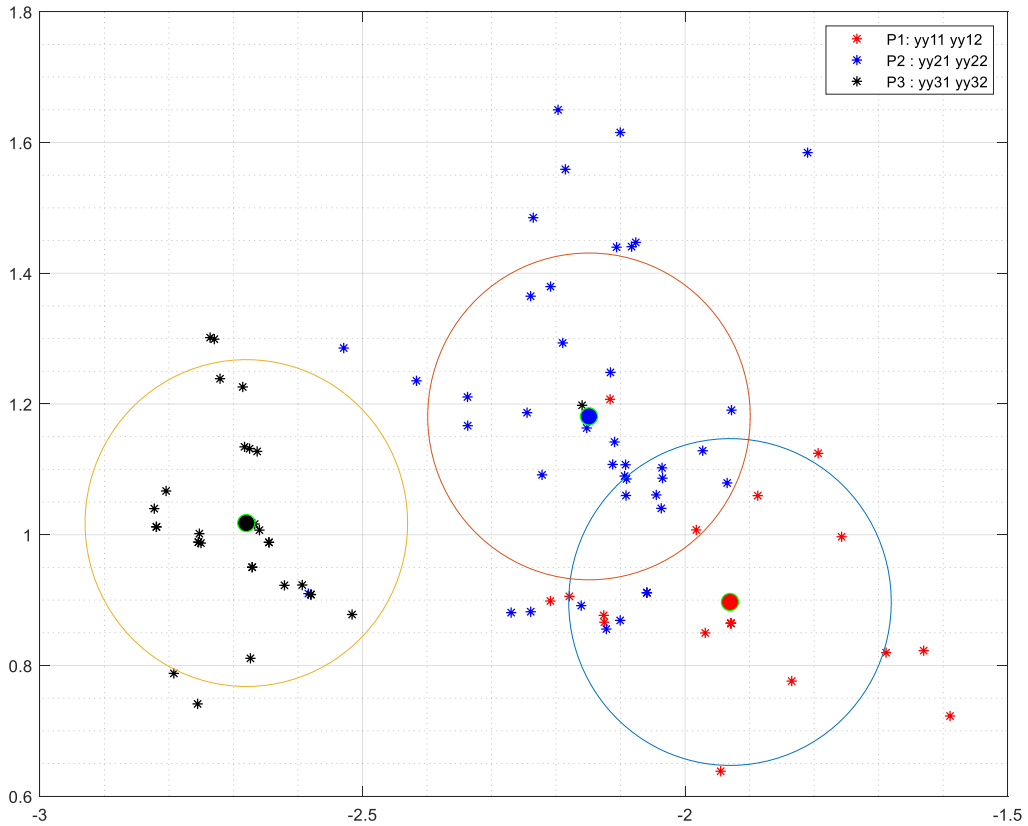

Figura 14. **Ploteo de la data dispersa & sus centros de gravedad**.
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a)

Interpretación. En la figura 14, se observa el ploteo de sus datas dispersas de Pertenencia y No pertenencia de cada grupo en función a sus centros de gravedad. Por lo tanto, visto la complejidad de la dispersión, se requiere una técnica adecuada para su clasificación de dichas datas.

4.4.1.- Resultados del tratamiento del Análisis Discriminante.

Visto la complejidad de la dispersión de la data, el paso siguiente fue seleccionar y aplicar, una variante Euclidiana de la discriminación de Fisher para tres poblaciones, con la finalidad de obtener las distancias de los puntos dispersos de cada grupo, con respecto a su centro de gravedad. Las ecuaciones empleadas para el tratamiento discriminatorio, fueron los siguientes:

$L1 = (C1-D1)^2 + (C2-D2)^2$

$L2 = (C3-D3)^2 + (C4-D4)^2$

$L3 = (C5-D5)^2 + (C6-D6)^2$

A continuación, se presenta un resumen final del análisis discriminatorio aplicado a las datas, cabe mencionar que la clasificación esta en función a la menor distancia, que será al grupo a que pertenece.

Los resultados de los tratamientos siguientes se presentan en dos tablas, la primera tabla 21 presenta los resultados discriminados. Así mismo, dichos resultados se presentarán mediante índices numéricos remarcados a color para una mejor entendimiento y visualización.

La segunda tabla 22 titulada porcentajes discriminados, corrobora a la primera tabla 21, presentando los resultados en unidades de porcentajes numéricas, interpretándose que a mayor índice de porcentaje numérico, su pertenencia será a dicho grupo.

- **A continuación, se presenta los resultados de dichos tratamientos, en la tabla 21, 22, 23, 24, 25 y 26.**

Tabla 21. **Clasificación Discriminante**

G1

Unidades Numéricas

	L1	L2	L3	Group
1	0.062027	0.076679	0.26334	1
2	0.038872	0.099712	0.331	1
3	0.077496	0.083303	0.23633	1
4	0.03869	0.09314	0.32689	1
5	0.070406	0.12937	0.79696	1
6	0.028328	0.08311	0.63011	1
7	0.039887	0.18721	0.85174	1
8	0.0037064	0.14215	0.5342	1
9	0.067207	0.33625	0.6847	1
10	0.14674	0.52321	1.2769	1
11	0.064529	0.34264	1.0226	1
12	0.09565	0.3975	1.1403	1
13	0.023795	0.26269	0.77306	1
14	0.016793	0.080757	0.39682	1
15	0.0010591	0.14852	0.58765	1
16	0.0010591	0.14852	0.58765	1
17	0.0010591	0.14852	0.58765	1
18	0.0010591	0.14852	0.58765	1
19	0.13069	0.001754	0.35371	2
20	0.014886	0.057819	0.48655	1

Tabla 22. **Porcentajes discriminantes**

Unidades Porcentuales

	L1 (%)	L2 (%)	L3 (%)	(%)	Group
1	34.557	34.329	31.11	100	1
2	35.303	34.381	30.32	100	1
3	34.267	34.175	31.56	100	1
4	35.251	34.425	30.32	100	1
5	37.89	37.154	24.96	100	1
6	37.119	36.394	26.49	100	1
7	38.664	36.865	24.47	100	1
8	37.007	35.078	27.92	100	1
9	37.989	34.282	27.73	100	1
10	40.996	36.88	22.12	100	1
11	39.852	36.599	23.55	100	1
12	40.375	36.983	22.64	100	1
13	38.598	35.522	25.88	100	1
14	35.829	34.893	29.28	100	1
15	37.363	35.356	27.28	100	1
16	37.363	35.356	27.28	100	1
17	37.363	35.356	27.28	100	1
18	37.363	35.356	27.28	100	1
19	34.02	35.953	30.03	100	2
20	36.288	35.687	28.02	100	1

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Tabla 23. **Clasificación Discriminante**

G2

Unidades Numéricas

		L1	L2	L3	Group
1	21	0.42721	0.26264	0.0209	3
2	22	0.11533	0.10464	0.18724	2
3	23	0.095631	0.097431	0.21269	1
4	24	0.038441	0.10653	0.33768	1
5	25	0.029761	0.099717	0.35796	1
6	26	0.053195	0.083928	0.28542	1
7	27	0.50942	0.15547	0.09446	3
8	28	0.31866	0.07177	0.53538	2
9	29	0.32391	0.076106	0.54867	2
10	30	0.48699	0.27762	1.0779	2
11	31	0.31432	0.041998	0.3146	2
12	32	0.31017	0.04299	0.3532	2
13	33	0.016793	0.080757	0.39682	1
14	34	0.016793	0.080757	0.39682	1
15	35	0.12267	0.013284	0.21555	2
16	36	0.23804	0.035539	0.13993	2
17	37	0.35061	0.074456	0.11689	2
18	38	0.053218	0.019015	0.42236	2
19	39	0.2639	0.036337	0.15472	2
20	40	0.18283	0.0092459	0.21785	2
21	41	0.077373	0.0067382	0.33047	2
22	42	0.061151	0.012537	0.35189	2
23	43	0.046807	0.021926	0.42087	2
24	44	0.070297	0.0086777	0.35347	2
25	45	0.091947	0.0030993	0.34114	2
26	46	0.033186	0.056221	0.55917	1
27	47	0.039884	0.025306	0.40562	2
28	48	0.055351	0.033833	0.51267	2
29	49	0.22431	0.014298	0.3164	2
30	50	0.086126	0.048897	0.59537	2
31	51	0.43864	0.099884	0.41599	2
32	52	0.6378	0.2222	0.63296	2
33	53	0.54478	0.19098	0.69281	2
34	54	0.3255	0.068834	0.50739	2
35	55	0.50315	0.14419	0.53738	2
36	56	0.15767	0.0056378	0.37164	2
37	57	0.031871	0.032334	0.41416	1
38	58	0.052531	0.017926	0.34807	2
39	59	0.12017	0.0003262	0.29951	2
40	60	0.063837	0.011357	0.34895	2

Tabla 24. **Porcentaje discriminantes**

Unidades Porcentuales

	L1 (%)	L2 (%)	L3 (%)	(%)	Group
21	30.11425	33.13175	36.754	100	3
22	33.68107	33.85459	32.46435	100	2
23	34.00505	33.97624	32.01871	100	1
24	35.37709	34.34675	30.27615	100	1
25	35.553	34.50616	29.94084	100	1
26	34.8145	34.34055	30.84495	100	1
27	28.83398	35.14336	36.02266	100	3
28	33.46136	37.07957	29.45907	100	2
29	33.51214	37.13102	29.35684	100	2
30	36.17534	38.78689	25.03777	100	2
31	31.89645	36.21217	31.89138	100	2
32	32.20327	36.37597	31.42076	100	2
33	35.82918	34.89314	29.27767	100	1
34	35.82918	34.89314	29.27767	100	1
35	33.29834	35.02889	31.67277	100	2
36	31.63948	35.00523	33.35529	100	2
37	30.39431	35.12524	34.48046	100	2
38	35.34957	35.84218	28.80825	100	2
39	31.43363	35.2124	33.35397	100	2
40	32.61648	35.3866	31.99692	100	2
41	34.47113	35.53017	29.99869	100	2
42	34.80227	35.52342	29.67432	100	2
43	35.41872	35.77704	28.80424	100	2
44	34.69813	35.61256	29.6893	100	2
45	34.3651	35.69431	29.94059	100	2
46	36.54259	36.229	27.22841	100	1
47	35.41042	35.62156	28.96803	100	2
48	35.94931	36.24843	27.80226	100	2
49	32.80036	36.05841	31.14123	100	2
50	36.21636	36.72007	27.06357	100	2
51	31.41444	36.75488	31.83067	100	2
52	31.16843	37.57221	31.25935	100	2
53	32.52703	37.73371	29.73926	100	2
54	33.18259	36.9896	29.82781	100	2
55	31.70659	37.22384	31.06957	100	2
56	33.85819	36.13482	30.00699	100	2
57	35.57456	35.56788	28.85756	100	1
58	34.89352	35.40734	29.69915	100	2
59	33.78459	35.61597	30.59944	100	2
60	34.75045	35.53011	29.71944	100	2

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Nota : De la presente tabla 23 y 24, cabe mencionar que el sub título Group, esta referido a la clasificación mediante la técnica de análisis discriminante y su asignación al grupo de pertenencia. Considerar por lo tanto, la siguiente leyenda para su interpretación.

Leyenda

1	Pertenece al grupo 1
2	Pertenece al grupo 2
3	Pertenece al grupo 3

Tabla 25. **Clasificación Discriminante**

G3

Unidades Numéricas

		L1	L2	L3	Group
1	61	0.80359	0.47807	0.01946	3
2	62	0.80359	0.47807	0.01946	3
3	63	0.68721	0.40345	0.00637	3
4	64	0.68054	0.39927	0.00588	3
5	65	0.68721	0.40345	0.00637	3
6	66	0.34346	0.22663	0.04643	3
7	67	0.55135	0.32573	0.00464	3
8	68	0.55135	0.32573	0.00464	3
9	69	0.47753	0.28955	0.01257	3
10	70	0.42208	0.26002	0.02197	3
11	71	0.42208	0.26002	0.02197	3
12	72	0.8005	0.35118	0.0816	3
13	73	0.81284	0.35934	0.08361	3
14	74	0.67858	0.29005	0.04336	3
15	75	0.7414	0.33033	0.05041	3
16	76	0.62251	0.28718	0.01361	3
17	77	0.60948	0.27917	0.01298	3
18	78	0.59021	0.26741	0.01229	3
19	79	0.51902	0.28317	0.0021	3
20	80	0.54406	0.29118	0.00053	3
21	81	0.51902	0.28317	0.0021	3
22	82	0.55701	0.2956	0.00017	3
23	83	0.44027	0.26405	0.01649	3
24	84	0.55991	0.41228	0.04285	3
25	85	0.81664	0.47385	0.02084	3
26	86	0.70519	0.56136	0.08222	3
27	87	0.75502	0.56859	0.06552	3
28	88	0.79278	0.44266	0.01788	3
29	89	0.68733	0.39683	0.00556	3
30	90	0.14308	0.000402	0.30331	2

Tabla 26. **Porcentajes discriminantes**

Unidades Porcentuales

	L1 (%)	L2 (%)	L3 (%)	(%)	Group
61	27.050178	33.426746	39.523075	100	3
62	27.050178	33.426746	39.523075	100	3
63	27.867651	33.335507	38.796842	100	3
64	27.91672	33.330999	38.752282	100	3
65	27.867651	33.335507	38.796842	100	3
66	31.008532	33.102599	35.88887	100	3
67	28.963944	33.212779	37.823277	100	3
68	28.963944	33.212779	37.823277	100	3
99	29.648232	33.135888	37.21588	100	3
70	30.163761	33.131458	36.704781	100	3
71	30.163761	33.131458	36.704781	100	3
72	26.474472	34.989257	38.53627	100	3
73	26.389273	34.997736	38.612991	100	3
74	27.353752	34.644646	38.001602	100	3
75	26.894835	34.68265	38.422516	100	3
76	27.86679	34.172496	37.960713	100	3
77	27.968085	34.165643	37.866271	100	3
78	28.119929	34.156232	37.723839	100	3
79	29.046637	33.448956	37.504408	100	3
80	28.788892	33.528279	37.682829	100	3
81	29.046637	33.448956	37.504408	100	3
82	28.659672	33.568691	37.771637	100	3
83	29.943838	33.184242	36.87192	100	3
84	29.666707	32.457446	37.875847	100	3
85	26.862628	33.577388	39.559984	100	3
86	29.187341	31.97551	38.837149	100	3
87	28.55681	32.203939	39.239251	100	3
88	26.909056	33.730039	39.360904	100	3
89	27.813368	33.406851	38.779781	100	3
90	33.557036	35.743399	30.699564	100	2

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Los resultados de los índices discriminatorios, se resumen a continuación.
El índice "Lamba Wilks" general, establece que si es factible realizar una discriminación exitosa a toda la data.

Lambda Wlks	F	df1	df2	P_valor
0.13819	19.556	14	162	0

Mientras que los índices "Lamba Wilks" parciales, determinan que es muy difícil realizar una discriminación de forma unitaria, su tratamiento se presenta en la tabla 27 y figura 15.

Tabla 27. **Indices de Lambda Wilks Parcial**

	Lambda_Wilks	F	df1	df2	P_valor
S/B	0.88797	5.488	2	87	0.0060
H/B	0.97404	1.159	2	87	0.3180
B/D	0.78373	12.004	2	87	0.0000
T/B	0.76050	13.699	2	87	0.0000
Pf	0.86816	6.606	2	87	0.0020
XB	0.98940	0.466	2	87	0.6290
E	0.59913	29.105	2	87	0.0000

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a y Minitab V17)

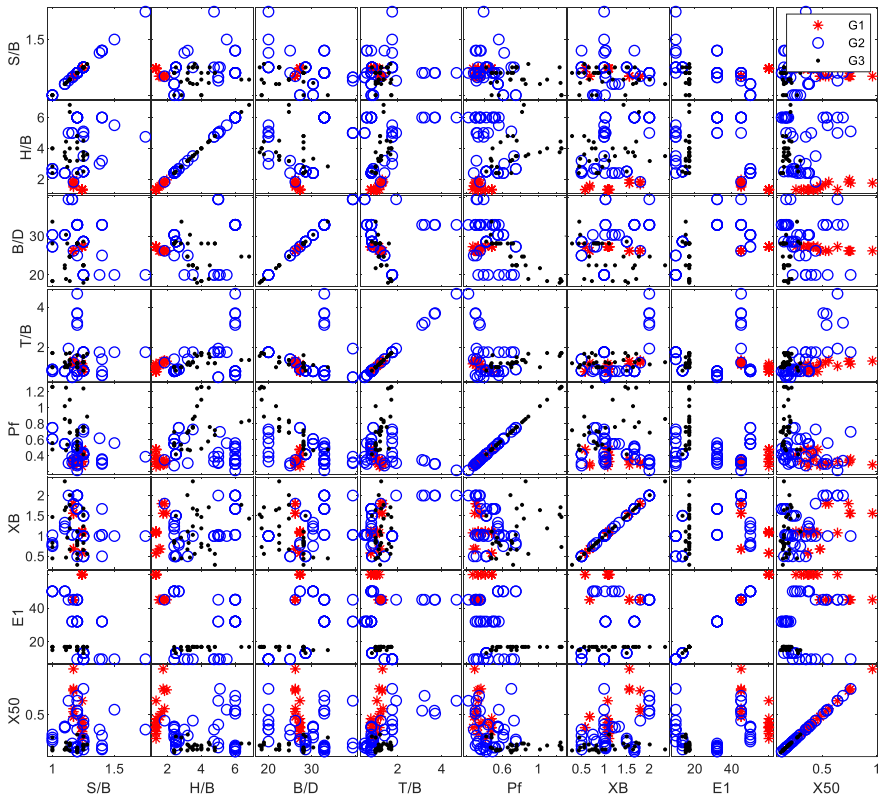

Figura 15. **Ploteo parcial de la data dispersa por grupos.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a)

Interpretación.

De dicha figura bidimensional, se comprueba que no existe grupos independientes, mas por el contrario se verifica, la existencia de la data dispersa de cada grupo de no pertenencia a su centro de gravedad.

***Los resultados del tratamiento de la validación cruzada, se presenta en la tabla 28 y 29**

Tabla 28. **Resumen de la clasificación discriminante-validación cruzada**

		True Group			
Put into Group		1	2	3	
	1	19	8	0	27
	2	1	30	1	32
	3	0	2	29	31
Total N °		20	40	30	
N ° Correct.		19	30	29	
Proportion		0.95	0.75	0.9667	

N ° = 90 N ° Correct = 78 Proportion Correct = 0.866666667

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

Interpretacion.

De dicho resumen de la tabla 28, se opta por trabajar con las 90 datas y no con las 78 datas, porque es más real y objetivo, de las cuales se reordenáran por grupos en función a sus tratamientos por columnas.

Tabla 29. **Resumen final de la clasificación Discriminante ordenados por grupos**

Grupo 1.

	Group 1	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group
1	1	**Rc4**	0.165	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*	60.000	1
2	2	**Rc5**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.31*	*0.29*	*1.56*	*45.00*	*0.96*	46.875	1
3	3	**Rc6**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*	59.211	1
4	4	**Rc9**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*	60.811	1
5	5	**Db1**	0.10	*1.25*	*3.50*	*20.00*	*1.75*	*0.73*	*1.00*	*9.57*	*0.44*	21.750	1
6	6	**Db2**	0.10	*1.25*	*5.10*	*20.00*	*1.75*	*0.70*	*1.00*	*9.57*	*0.76*	12.592	1
7	7	**Db3**	0.10	*1.38*	*3.00*	*20.00*	*1.75*	*0.62*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1
8	8	**Db4**	0.10	*1.50*	*5.50*	*20.00*	*1.75*	*0.56*	*1.00*	*9.57*	*0.55*	17.400	1
9	9	**Db5**	0.10	*1.75*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.39*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1
10	10	**Db6**	0.10	*1.25*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.33*	*1.00*	*9.57*	*0.23*	41.609	1
11	11	**Db7**	0.10	*1.25*	*5.00*	*20.00*	*1.75*	*0.44*	*1.00*	*9.57*	*0.40*	23.925	1
12	12	**Db8**	0.10	*1.20*	*2.40*	*25.00*	*1.40*	*0.28*	*0.50*	*9.57*	*0.35*	27.343	1
13	13	**Db9**	0.10	*1.40*	*3.20*	*25.00*	*1.40*	*0.31*	*0.50*	*9.57*	*0.29*	33.000	1
14	14	**Sm3**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.23*	57.609	1
15	15	**Sm4**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.22*	60.227	1
16	16	**Sm5**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.24*	55.208	1
17	17	**Sm6**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.26*	50.962	1
18	18	**Sm7**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.28*	47.321	1
19	20	**Oz6**	0.089	*1.20*	*3.20*	*28.09*	*1.20*	*0.48*	*1.11*	*15.00*	*0.30*	50.000	1
20	3	**Rc3**	0.165	*1.17*	*1.58*	*26.20*	*1.22*	*0.28*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	93.750	1
21	4	**Rc7**	0.165	*1.17*	*1.67*	*26.20*	*1.22*	*0.31*	*1.80*	*45.00*	*0.53*	84.906	1
22	5	**Rc8**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.34*	*0.30*	*1.80*	*45.00*	*0.56*	80.357	1
23	6	**Rc10**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.23*	*0.35*	*1.80*	*45.00*	*0.44*	102.273	1
24	13	**Sm1**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.15*	88.333	1
25	14	**Sm2**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.19*	69.737	1
26	26	**Ad12**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*2.01*	*16.90*	*0.20*	84.500	1
27	37	**Oz2**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.86*	*15.00*	*0.14*	107.143	1

Grupo 2.

1	28	19	**Oz1**	0.089	*1.00*	*2.83*	*33.71*	*1.00*	*0.48*	*0.45*	*15.00*	*0.27*	55.556	2
2	29	2	**Rc2**	0.165	*1.17*	*1.50*	*26.20*	*1.12*	*0.30*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	93.750	2
3	30	8	**Ru2**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.67*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	83.333	2
4	31	9	**Ru3**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.70*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.51*	88.235	2
5	32	10	**Ru4**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*4.67*	*0.22*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	70.313	2
6	33	11	**Ru5**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.11*	*0.35*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	83.333	2
7	34	12	**Ru6**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.22*	*0.34*	*2.00*	*45.00*	*0.69*	65.217	2
8	35	15	**Ad1**	0.089	*1.20*	*4.40*	*28.09*	*1.20*	*0.58*	*0.77*	*16.90*	*0.15*	112.667	2
9	36	16	**Ad2**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.66*	*0.56*	*16.90*	*0.17*	99.412	2
10	37	17	**Ad3**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.72*	*0.29*	*16.90*	*0.14*	120.714	2
11	38	18	**Ad4**	0.089	*1.20*	*4.00*	*28.09*	*1.60*	*0.49*	*0.81*	*16.90*	*0.16*	105.625	2
12	39	19	**Ad5**	0.089	*1.14*	*6.82*	*24.72*	*1.36*	*0.84*	*1.43*	*16.90*	*0.21*	80.476	2
13	40	20	**Ad6**	0.089	*1.14*	*6.36*	*24.72*	*1.36*	*0.82*	*1.77*	*16.90*	*0.21*	80.476	2
14	41	21	**Ad7**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.75*	*1.03*	*16.90*	*0.15*	112.667	2
15	42	22	**Ad8**	0.089	*1.25*	*3.25*	*22.47*	*1.25*	*0.71*	*0.83*	*16.90*	*0.19*	88.947	2
16	43	23	**Ad9**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.68*	*16.90*	*0.18*	93.889	2
17	44	24	**Ad10**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.24*	*16.90*	*0.15*	112.667	2
18	45	25	**Ad11**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*0.67*	*16.90*	*0.14*	120.714	2
19	46	27	**Ad13**	0.089	*1.12*	*2.80*	*28.09*	*1.00*	*0.54*	*0.96*	*16.90*	*0.15*	112.667	2
20	47	28	**Ad14**	0.089	*1.00*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.56*	*0.83*	*16.90*	*0.14*	120.714	2
21	48	29	**Ad15**	0.089	*1.10*	*3.75*	*21.74*	*1.00*	*1.02*	*1.64*	*16.90*	*0.15*	112.667	2
22	49	30	**Ad16**	0.089	*1.10*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.86*	*2.35*	*16.90*	*0.15*	112.667	2
23	50	31	**Ad17**	0.089	*1.25*	*3.75*	*17.98*	*1.56*	*1.24*	*1.53*	*16.90*	*0.19*	88.947	2

24	51	32	**Ad18**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*0.73*	*16.90*	*0.15*	112.667	2
25	52	33	**Ad19**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*1.47*	*16.90*	*0.17*	99.412	2
26	53	34	**Ad20**	0.089	*1.14*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.10*	*1.19*	*16.90*	*0.19*	88.947	2
27	54	35	**Ad21**	0.089	*1.11*	*4.44*	*18.95*	*1.67*	*1.25*	*1.71*	*16.90*	*0.22*	76.818	2
28	55	36	**Ad22**	0.089	*1.28*	*3.61*	*18.95*	*1.67*	*0.89*	*0.56*	*16.90*	*0.20*	84.500	2
29	56	38	**Oz3**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.44*	*15.00*	*0.14*	107.143	2
30	57	39	**Oz4**	0.089	*1.25*	*4.50*	*22.47*	*1.50*	*0.76*	*0.66*	*15.00*	*0.20*	75.000	2
31	58	40	**Oz5**	0.089	*1.11*	*3.33*	*30.34*	*1.11*	*0.47*	*0.47*	*15.00*	*0.17*	88.235	2
32	59	30	**Oz7**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.70*	*0.88*	*15.00*	*0.12*	125.000	2

Grupo 3.

1	60	1	**En7**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.08*	*60.00*	*0.64*	93.750	3
2	61	7	**Ru1**	0.229	*1.13*	*5.00*	*39.47*	*1.93*	*0.31*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	70.313	3
3	62	1	**En1**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	162.162	3
4	63	2	**En2**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	162.162	3
5	64	3	**En3**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.33*	181.818	3
6	65	4	**En4**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	142.857	3
7	66	5	**En5**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.46*	130.435	3
8	67	6	**En6**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.17*	*0.27*	*1.08*	*60.00*	*0.37*	162.162	3
9	68	7	**En8**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	142.857	3
10	69	8	**En9**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.26*	230.769	3
11	70	9	**En10**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*	142.857	3
12	71	10	**En11**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.31*	193.548	3
13	72	11	**En12**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.38*	157.895	3
14	73	12	**Mg1**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.83*	*50.00*	*0.23*	217.391	3
15	74	13	**Mg2**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.78*	*50.00*	*0.25*	200.000	3
16	75	14	**Mg3**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*1.02*	*50.00*	*0.27*	185.185	3
17	76	15	**Mg4**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*0.75*	*50.00*	*0.30*	166.667	3
18	77	16	**Mg5**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.18*	*50.00*	*0.38*	131.579	3
19	78	17	**Mg6**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.24*	*50.00*	*0.37*	135.135	3
20	79	18	**Mg7**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.33*	*50.00*	*0.38*	131.579	3
21	80	19	**Mr1**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3
22	81	20	**Mr2**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.51*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3
23	82	21	**Mr3**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3
24	83	22	**Mr4**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3
25	84	23	**Mr5**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3
26	85	24	**Mr6**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.36*	*1.67*	*32.00*	*0.15*	213.333	3
27	86	25	**Mr7**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.56*	*1.03*	*32.00*	*0.18*	177.778	3
28	87	26	**Mr8**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.30*	*1.03*	*32.00*	*0.19*	168.421	3
29	88	27	**Mr9**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.35*	*1.03*	*32.00*	*0.16*	200.000	3
30	89	28	**Mr10**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.39*	*1.03*	*32.00*	*0.17*	188.235	3
31	90	29	**Mr11**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.32*	*1.03*	*32.00*	*0.21*	152.381	3

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Cabe acotar, que de la tabla 29 se verifica el reordenamiento total por grupos y para una mejor visualización del reordenamiento, se ha colocado en la **variable {Group-1},** *que corresponde a*l *grupo de pertenencia de origen*, así mismo la variable **{Group}** esta referida a la clasificación asignada mediante el análisis discriminante, cabe mencionar que dicha notación, será considerada para todos los tratamientos en adelante.

Grupo 1. A continuación, se desarrollarán los test para dicho grupo.

4.5.- Análisis y tratamiento de la varianza de un factor.

Las variables utilizadas para el siguiente tratamiento son: 1{S/B}, 2{H/B}, 3{B/D}, 4{T/B}, 5{Pf}, 6{XB} y 7{E}. Los resultados de dicho tratamiento de análisis de varianzas "ANOVA", se presenta en la siguiente tabla 30.

Tabla 30. **Análisis de Varianzas**

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	19000.1	6	3166.68	87.07231	7.7E-51	2.1486863
Dentro de los grupos	6619.05	182	36.3684			
Total	25619.1	188				

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

Interpretación : Del tratamiento de la tabla 30, se aprecia que el p-valor = 7.7E-51, es menor que (0.05), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (Ha), determinando que si es aceptable efectuar un análisis inferencial a los datos del primer grupo.

4.6.- Test del Alpha de Cronbach.

El resultado de dicho tratamiento de la tabla 29 grupo1, proporciona un Alpha de Cronbach (α= 0.003567) para las 7 variables tratadas de: {S/B}, {H/B}, {B/D}, {T/B}, {Pf}, {XB}, & {E}, concluyendo que la muestra tiene una mala correlación.

4.7.- Box Plot.

El diagrama de caja y/o box plot, es una representación gráfica de la variabilidad estadística de los datos por variables en función a sus cuartiles, Las variables utilizadas para el siguiente tratamiento son: 1{S/B}, 2{H/B}, 3{B/D}, 4{T/B}, 5{Pf}, 6{XB}, 7{E} y 7{X_{50}}.

*A continuación en la figura 16, se presenta el resultado del tratamiento Box Plot del grupo 1.

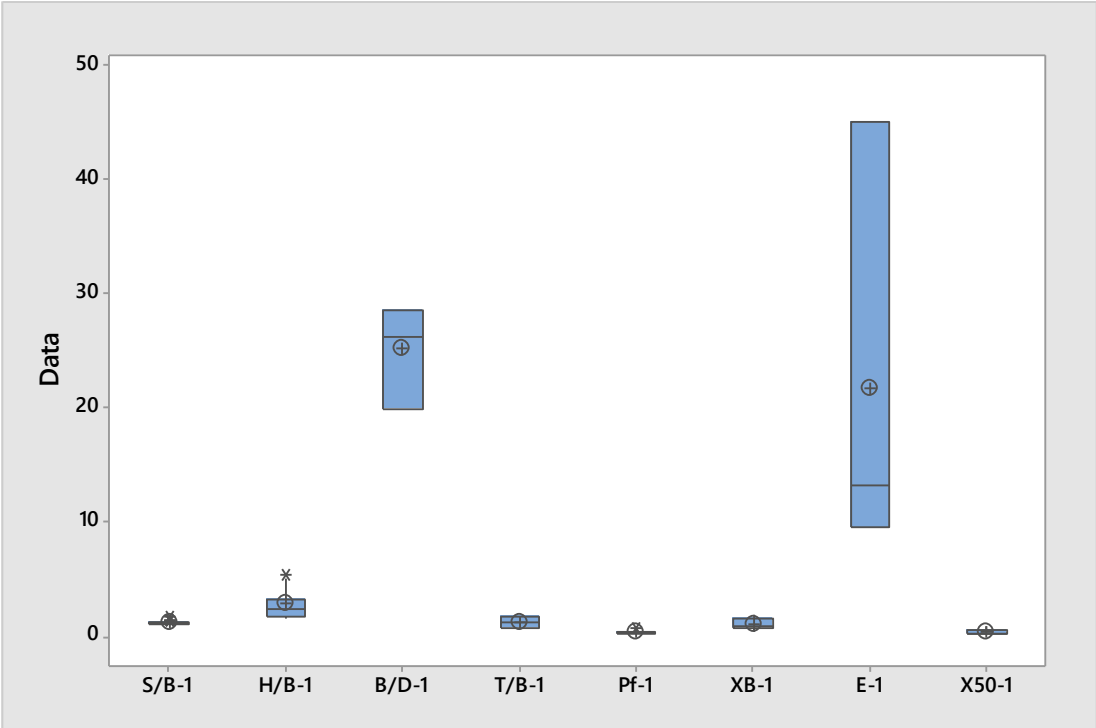

Figura 16. **Perfomance Box Plot del Grupo 1.**
Fuente. Elaboración propia, (Software Minitab V17)

Interpretación: De la figura 16 del diagrama de caja, se interpreta que la variable {E-1} tiene la data más dispersa, análogamente la variable {B/D-1} tiene una dispersión menor que {E-1}.

4.8.- Análisis de Componentes Principales, al Grupo 1.

La finalidad del presente análisis tiene como objetivo determinar mediante la técnica de descomposición espectral, que variable es la que aporta mayor información. Para ello será necesario determinar, la matriz de varianzas & matriz de correlaciones. A continuación, se presenta los resultados del tratamiento:

4.8.1.- Matriz de varianzas y covarianzas "S-1"

0.016234	0.090776	-0.210490	0.018231	0.002388	-0.021103	-0.984650
0.090776	1.358000	-2.994900	0.262820	0.077328	-0.174710	-12.334000
-0.210490	-2.994900	11.300000	-1.112100	-0.181350	0.225260	15.270000
0.018231	0.262820	-1.112100	0.120110	0.011575	-0.017456	-0.656910
0.002388	0.077328	-0.181350	0.011575	0.017310	-0.002950	-1.090100
-0.021103	-0.174710	0.225260	-0.017456	-0.002950	0.229390	4.212600
-0.984650	-12.334000	15.270000	-0.656910	-1.090100	4.212600	241.540000

Autovectores de "S-1"

-0.004111	-0.013842	-0.024447	0.051562	-0.666040	-0.625200	0.402560
-0.051635	-0.209860	-0.928240	0.298770	0.047110	0.010682	-0.007848
0.066287	0.969410	-0.201870	0.067280	-0.012586	0.058725	0.083516
-0.003052	-0.100770	0.035115	0.063323	-0.196180	0.669450	0.705650
-0.004531	-0.010196	-0.008233	-0.115930	0.707430	-0.391080	0.577040
0.017367	-0.005798	-0.307990	-0.940930	-0.122650	0.066370	0.001946
0.996290	-0.075686	-0.029339	0.027290	0.005285	-0.006818	0.000450

Autovalores de "S-1"

243.28
10.875
0.25201
0.14855
0.012596
0.0079288
0.0049733

Proporción parcial de "S-1"

0.95561
0.042718
0.00098992
0.00058351
4.95E-05
3.11E-05
1.95E-05

Proporción acum. de "S-1"

0.95561
0.99833
0.99932
0.9999
0.99995
0.99998
1

Matriz de cargas de "S-1"

-0.064122	-0.045648	-0.012272	0.019873	-0.074750	-0.055670	0.028389
-0.805370	-0.692050	-0.465980	0.115150	0.005287	0.000951	-0.000553
1.033900	3.196800	-0.101340	0.025931	-0.001413	0.005229	0.005890
-0.047608	-0.332310	0.017628	0.024406	-0.022018	0.059611	0.049763
-0.070668	-0.033623	-0.004133	-0.044682	0.079395	-0.034823	0.040693
0.270880	-0.019121	-0.154610	-0.362660	-0.013765	0.005910	0.000137
15.539000	-0.249590	-0.014729	0.010518	0.000593	-0.000607	0.000032

Comunalidad

0.016234
1.358
11.3
0.12011
0.01731
0.22939
241.54

***Los resultados de los tratamientos centrados se especifican en las figuras 17, 18 y 19.**

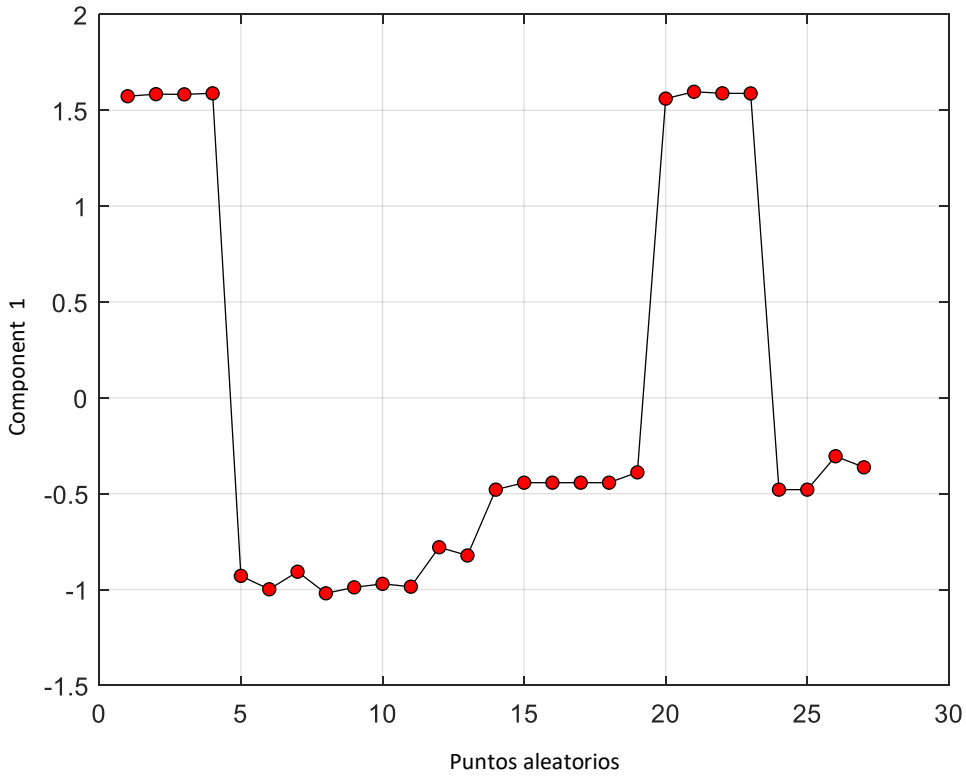

Figura 17. **Perfomance de la 1ra. Componente Principal de "S-1"**
Fuente. Elaboración propia**,** (Script en Matlab R2015a)

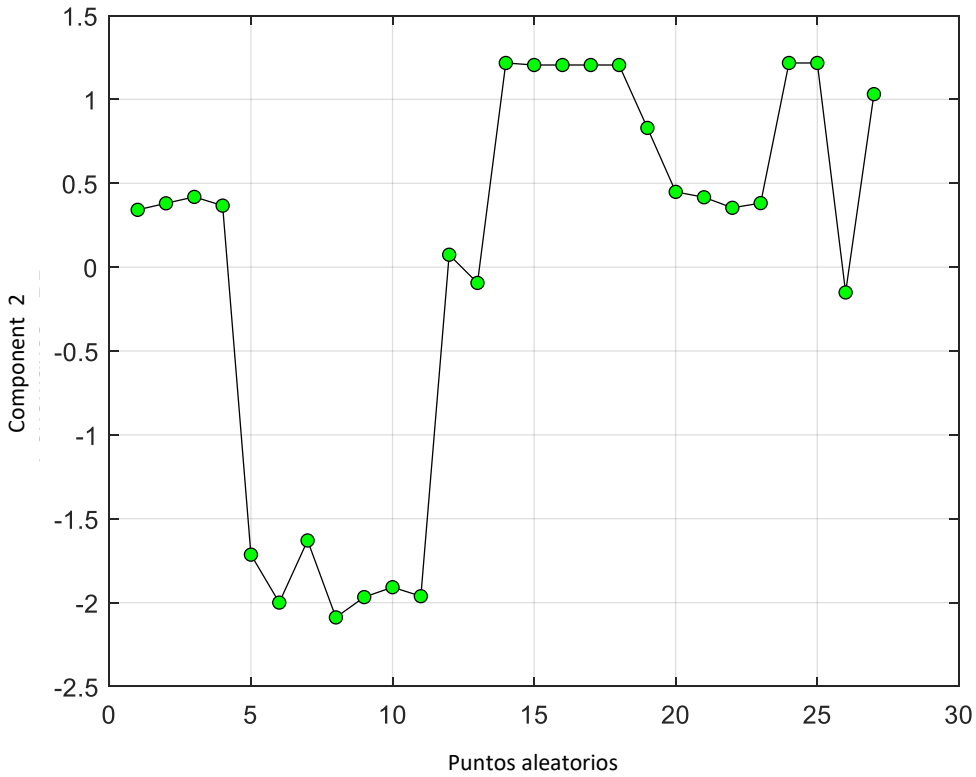

Figura 18. **Perfomance de la 2da. Componente Principal de "S-1"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).

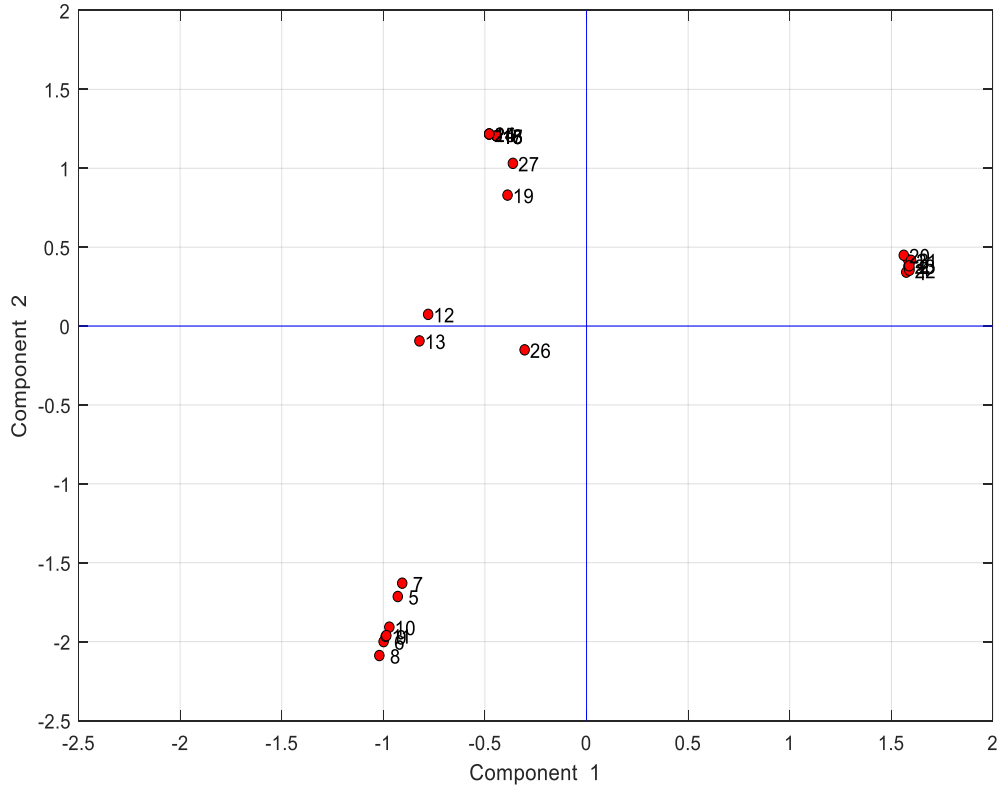

Figura 19. **Perfomance de la 1ra & 2da. Componente Principal de "S-1",**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura.

Figura 17. Para la 1ra. Componente Principal en "S-1", dicha figura se interpreta en función a los resultados de la matriz de cargas, y la proporción de información parcial de "S-1", donde se verifica que la variable {E} es la que mayor información aporta. Por lo tanto, dicha figura esta influenciado por la variable {E}.

Figura 18. Análogamente, para la 2da. Componente Principal en "S-1", dicha figura se interpreta en función a los resultados de la matriz de cargas y la proporción de información parcial de "S-1", donde se verifica que la variable {B/D} es la que mayor información aporta. Por lo tanto, dicha figura está influenciado por la variable {B/D}.

Figura 19. Dicha figura, es la correlación entre la 1ra. Componente Principal y 2da. Componente Principal en un plano bidimensional, cabe acotar que la información aportada es (99.833%). Así mismo, dicha lectura grafica deberá tener una similaridad aproximada con la data base.

4.8.2.- Matriz de Correlación "R-1"

1.000000	0.611390	-0.491450	0.412850	0.142460	-0.345810	-0.497260
0.611390	1.000000	-0.764530	0.650760	0.504350	-0.313030	-0.681040
-0.491450	-0.764530	1.000000	-0.954550	-0.410040	0.139910	0.292290
0.412850	0.650760	-0.954550	1.000000	0.253850	-0.105160	-0.121960
0.142460	0.504350	-0.410040	0.253850	1.000000	-0.046815	-0.533110
-0.345810	-0.313030	0.139910	-0.105160	-0.046815	1.000000	0.565940
-0.497260	-0.681040	0.292290	-0.121960	-0.533110	0.565940	1.000000

Auvectores de "R-1"

-0.36933	-0.11797	0.39185	0.70870	0.43824	-0.02742	-0.03264
-0.48620	0.00772	-0.06119	0.10582	-0.56829	-0.65073	-0.04702
0.44643	-0.40457	-0.05885	0.17737	-0.03596	-0.21884	-0.74359
-0.39074	0.49628	0.18377	-0.27765	0.05474	0.23508	-0.65720
-0.29601	-0.05971	-0.77977	-0.06136	0.51522	-0.16067	-0.07578
0.22782	0.54807	-0.39788	0.60604	-0.27400	0.21407	-0.03512
0.36840	0.52165	0.19782	-0.08335	0.37440	-0.63325	0.07008

Autovalores de "R-1"

3.6592
1.4153
0.98858
0.55698
0.25796
0.098331
0.023699

Proporción parcial de "R-1"

0.52274
0.20218
0.14123
0.079569
0.036851
0.014047
0.0033856

Proporción acum. de "R-1"

0.52274
0.72492
0.86615
0.94572
0.98257
0.99661
1

Matriz de Cargas de "R-1"

-0.7064900	-0.1403400	0.3896000	0.5289200	-0.2225800	-0.0085977	-0.0050244
-0.9300400	0.0091836	-0.0608380	0.0789730	0.2886300	-0.2040500	-0.0072391
0.8539700	-0.4813000	-0.0585100	0.1323700	0.0182630	-0.0686220	-0.1144700
-0.7474400	0.5904000	0.1827200	-0.2072100	-0.0278020	-0.0737170	-0.1011700
-0.5662300	-0.0710340	-0.7753000	-0.0457950	-0.2616800	-0.0503830	-0.0116660
0.4357900	0.6520100	-0.3956000	0.4522900	0.1391600	0.0671280	-0.0054071
0.7047100	0.6205800	0.1966800	-0.0622050	-0.1901500	-0.1985700	0.0107880

Comunalidad

1
1
1
1
1
1
1

*** Los resultados de los tratamientos centrados se especifican en la figura 20, 21 y 22.**

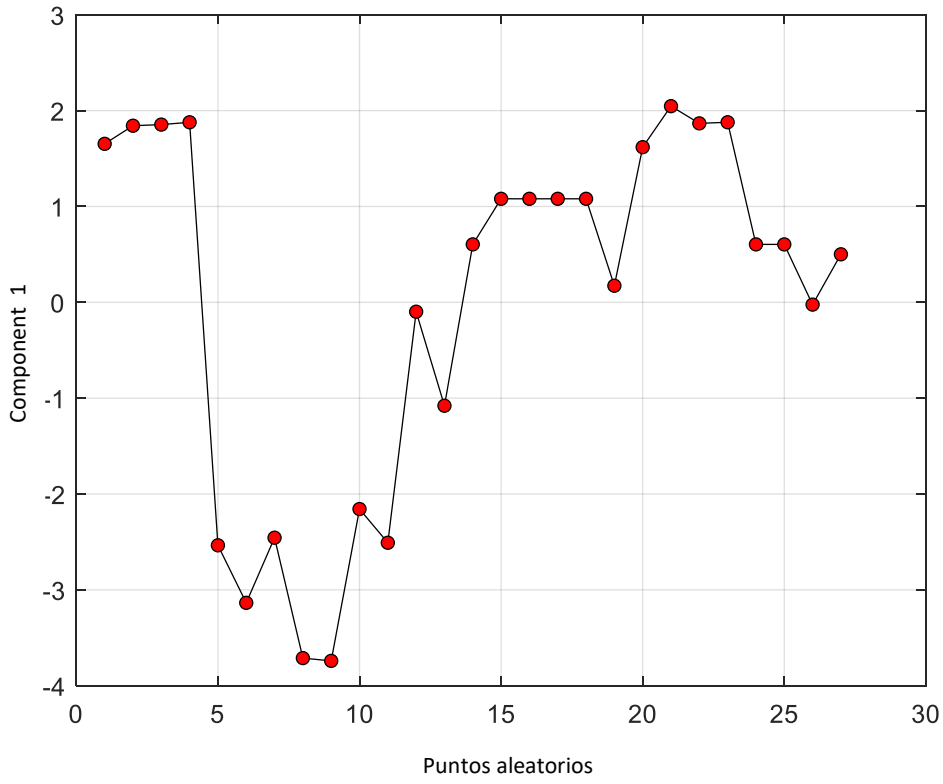

Figura 20. **Perfomance de la 1ra. Componente Principal de "R-1"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Interpretación. La interpretación para la 1ra componente principal en "R-1", esta en función a seis variables que interactúan simultáneamente, las cuales son: {S/B}, {H/B}, {B/D}, {T/B}, {Pf} y {E}. Esto se interpreta como un Ratio de todas estas variables, Así mismo, la información que aporta es de {0.52274}, se considera como un aporte de información muy pobre. Por lo tanto, se deduce que dicha matriz, no es la adecuada para interpretar bidimensionalmente. Analogamente se deduce lo mismo con las demás figuras.

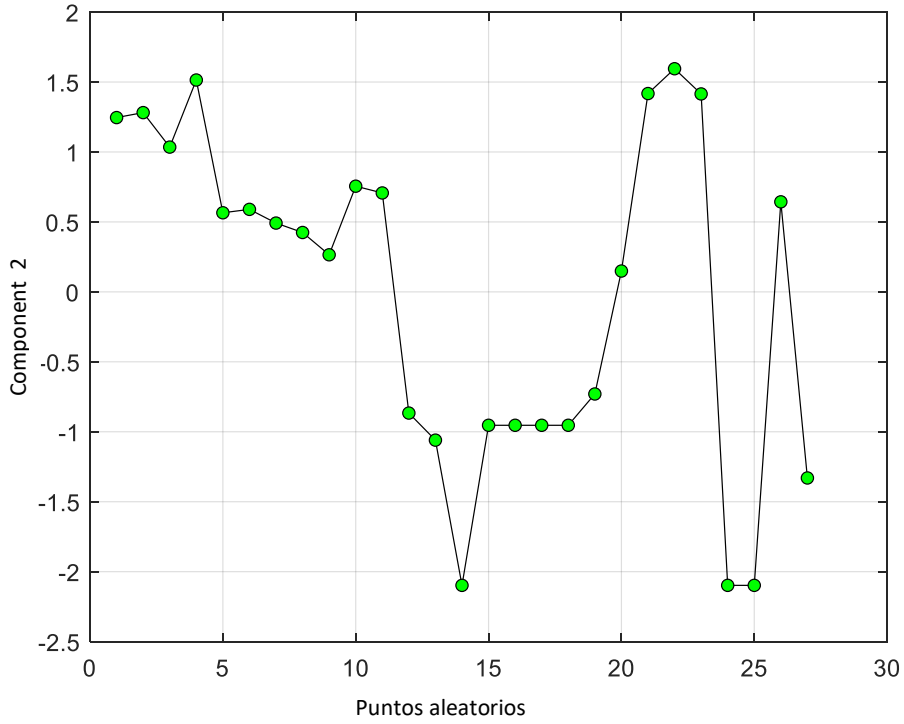

Figura 21. **Perfomance de la 2da. Componente Principal de "R-1"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a).

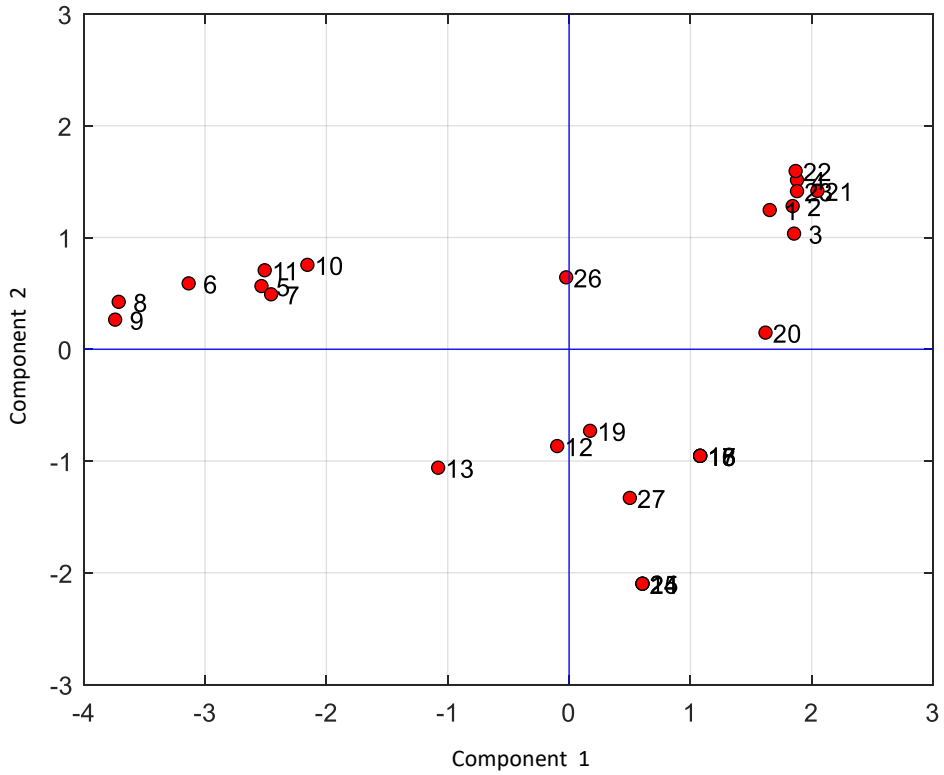

Figura 22. **Perfomance de la 1ra. & 2da. Componente Principal de "R-1"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a).

*** El tratamiento del modelo Kuznetsov, se especifica en la tabla 31.**

4.9.- Modelo de kuznetsov.

La siguiente tabla, presenta los parámetros de diseño y el calculo de predicción realizado mediante la ecuación de kuznetzov.

Tabla 31. **Determinando la fragmentación mediante la ecuación de Kuznetsov.**

	Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	B	S	H	D	T	Vo (m³)	ANFO	TNT	QT (kg)	ypred-Kuznetsov-1 (m)
1	1	**Rc4**	0.165	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*	4.3230	5.0579	8.4731	0.1650	5.6199	185.267	100	115	62.991	0.473
2	2	**Rc5**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.31*	*0.29*	*1.56*	*45.00*	*0.96*	4.3230	5.0579	7.5653	0.1650	5.6631	165.417	100	115	47.971	0.513
3	3	**Rc6**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*	4.3230	5.0579	7.5653	0.1650	5.0147	165.417	100	115	59.550	0.447
4	4	**Rc9**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*	4.3230	5.0579	7.9111	0.1650	5.5767	172.979	100	115	55.353	0.486
5	5	**Db1**	0.10	*1.25*	*3.50*	*20.00*	*1.75*	*0.73*	*1.00*	*9.57*	*0.44*	2.0000	2.5000	7.0000	0.1000	3.5000	35.000	100	115	25.550	0.221
6	6	**Db2**	0.10	*1.25*	*5.10*	*20.00*	*1.75*	*0.70*	*1.00*	*9.57*	*0.76*	2.0000	2.5000	10.2000	0.1000	3.5000	51.000	100	115	35.700	0.241
7	7	**Db3**	0.10	*1.38*	*3.00*	*20.00*	*1.75*	*0.62*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	2.0000	2.7600	6.0000	0.1000	3.5000	33.120	100	115	20.534	0.243
8	8	**Db4**	0.10	*1.50*	*5.50*	*20.00*	*1.75*	*0.56*	*1.00*	*9.57*	*0.55*	2.0000	3.0000	11.0000	0.1000	3.5000	66.000	100	115	36.960	0.290
9	9	**Db5**	0.10	*1.75*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.39*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	2.0000	3.5000	9.5000	0.1000	3.5000	66.500	100	115	25.935	0.365
10	10	**Db6**	0.10	*1.25*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.33*	*1.00*	*9.57*	*0.23*	2.0000	2.5000	9.5000	0.1000	3.5000	47.500	100	115	15.675	0.384
11	11	**Db7**	0.10	*1.25*	*5.00*	*20.00*	*1.75*	*0.44*	*1.00*	*9.57*	*0.40*	2.0000	2.5000	10.0000	0.1000	3.5000	50.000	100	115	22.000	0.323
12	12	**Db8**	0.10	*1.20*	*2.40*	*25.00*	*1.40*	*0.28*	*0.50*	*9.57*	*0.35*	2.5000	3.0000	6.0000	0.1000	3.5000	45.000	100	115	12.600	0.422
13	13	**Db9**	0.10	*1.40*	*3.20*	*25.00*	*1.40*	*0.31*	*0.50*	*9.57*	*0.29*	2.5000	3.5000	8.0000	0.1000	3.5000	70.000	100	115	21.700	0.426
14	14	**Sm3**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.23*	5.9997	7.4996	14.9993	0.2100	4.9798	674.899	100	115	283.457	0.513
15	15	**Sm4**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.22*	5.9997	7.4996	14.9993	0.2100	4.9798	674.899	100	115	283.457	0.513
16	16	**Sm5**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.24*	5.9997	7.4996	14.9993	0.2100	4.9798	674.899	100	115	283.457	0.513
17	17	**Sm6**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.26*	5.9997	7.4996	14.9993	0.2100	4.9798	674.899	100	115	283.457	0.513
18	18	**Sm7**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.28*	5.9997	7.4996	14.9993	0.2100	4.9798	674.899	100	115	283.457	0.513
19	20	**Oz6**	0.089	*1.20*	*3.20*	*28.09*	*1.20*	*0.48*	*1.11*	*15.00*	*0.30*	2.5000	3.0000	8.0000	0.0890	3.0000	60.001	100	115	28.800	0.315
20	3	**Rc3**	0.165	*1.17*	*1.58*	*26.20*	*1.22*	*0.28*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	4.3230	5.0579	6.8303	0.1650	5.2741	149.348	100	115	41.817	0.516
21	4	**Rc7**	0.165	*1.17*	*1.67*	*26.20*	*1.22*	*0.31*	*1.80*	*45.00*	*0.53*	4.3230	5.0579	7.2194	0.1650	5.2741	157.855	100	115	48.935	0.488
22	5	**Rc8**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.34*	*0.30*	*1.80*	*45.00*	*0.56*	4.3230	5.0579	7.9111	0.1650	5.7928	172.979	100	115	51.894	0.506
23	6	**Rc10**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.23*	*0.35*	*1.80*	*45.00*	*0.44*	4.3230	5.0579	7.9111	0.1650	5.3173	172.979	100	115	60.543	0.459
24	13	**Sm1**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.15*	5.9997	7.4996	14.9993	0.2100	4.9798	674.899	100	115	283.457	0.513
25	14	**Sm2**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.19*	5.9997	7.4996	14.9993	0.2100	4.9798	674.899	100	115	283.457	0.513
26	26	**Ad12**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*2.01*	*16.90*	*0.20*	2.2001	2.5081	6.9963	0.0890	2.5081	38.605	100	115	26.638	0.233
27	37	**Oz2**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.86*	*15.00*	*0.14*	2.5000	3.0000	6.0000	0.0890	2.5000	45.001	100	115	23.850	0.282

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).
Leyenda: ypred-kuznetsov-1 (valor determinado)

Los resultados de los tratamientos de la tabla 31, se especifican en la figura 23 y 24.

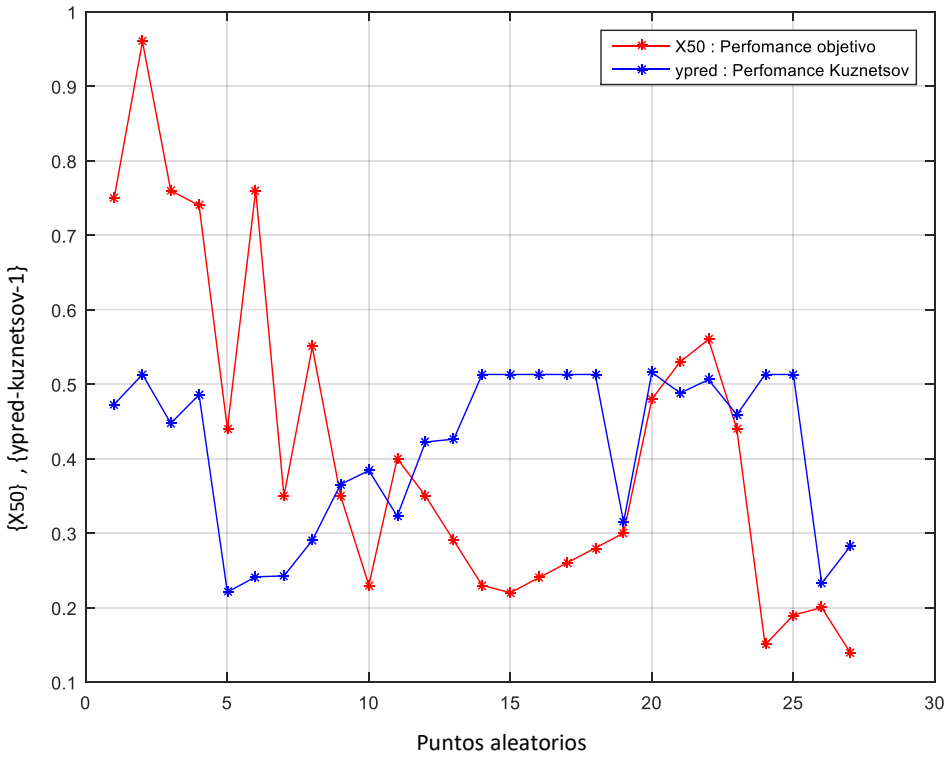

Figura 23. **Perfomance comparativo entre X_{50}, ypred-kuznetsov-1 & Puntos aleatorios**

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

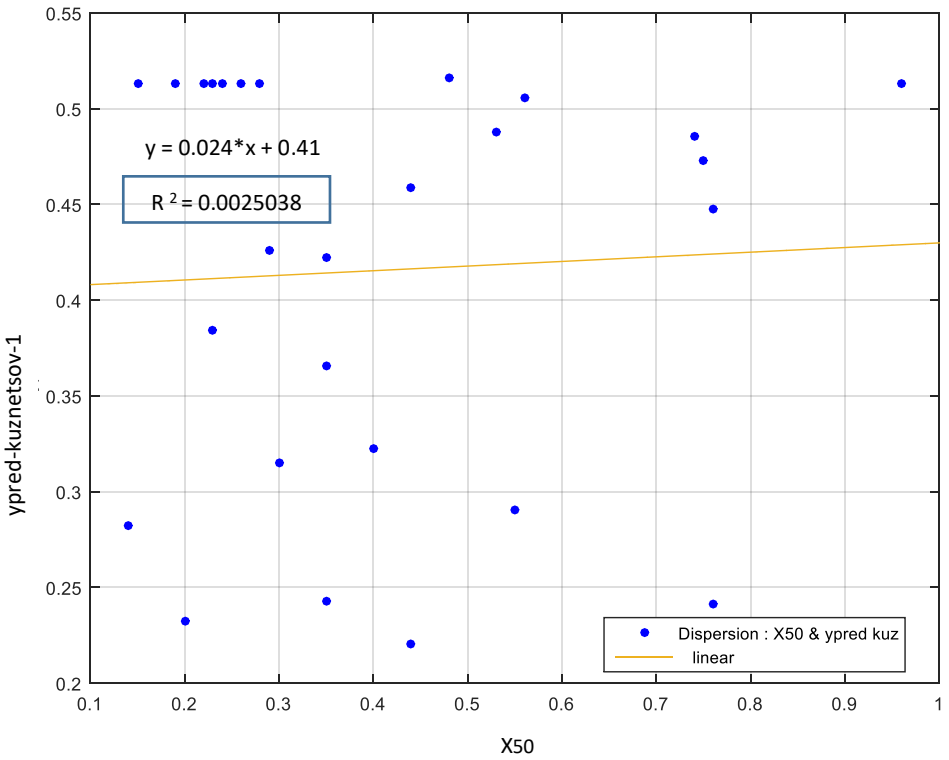

Figura 24. **Perfomance de la dispersión entre X_{50} & ypred-kuznetsov-1.**

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura.

Figura 23. Dicha figura representa, el ploteo de la variable de la $\{X_{50}\}$ y la variable predecida de **{ypred kuznetsov 1}** y/o **{ypred-kuz-1},** en función a una variable aleatoria de 27 puntos numéricos {1, 2, 3, , , , 27}, la finalidad es determinar la variabilidad en cada punto y su posible secuencia correlacional.

Figura 24. Dicha figura representa, el ploteo de la dispersión entre la variable $\{X_{50}\}$ y la variable predecida de kuznetsov **{ypred kuznetsov 1},** la finalidad de dicho ploteo es determinar su función lineal y su "coeficiente determinación R^2", indicadores que ayudaran a determinar la función óptima.

4.9.1.- Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95%-kuznetsov. Seguidamente se analizarán y determinarán dichos limites, con el fin de obtener los Intervalos de Confianza al 95% de la fragmentación predecida mediante la ecuación de kuznetsov para el grupo 1.

*** El tratamiento de la determinación de los Limites de Confianza e intervalos de la Predicción al 95%. Mediante del modelo Kuznetsov, se especifica en la tabla 32.**

Tabla 32. **Determinación de los Limites de Confianza e intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X_{50}} & {ypred-kuz-1}**

		X_{50}	ypred-kuz-1	x^2	y^2	x*y	y pred[1]	Var +/-	Min1	Max1			Min2	Max2	
1	Rc4	0.75	0.472820494	0.5625	0.22355922	0.354615371	0.42388	0.07980702	0.344	0.50369	1	0.23844	0.18544	0.66232	1
2	Rc5	0.96	0.513150241	0.9216	0.26332317	0.492624232	0.42897	0.11714448	0.312	0.54611	1	0.25339	0.17558	0.68236	1
3	Rc6	0.76	0.447477997	0.5776	0.200236558	0.340083278	0.42413	0.08148691	0.343	0.50561	1	0.23901	0.18512	0.66313	1
4	Rc9	0.74	0.485739912	0.5476	0.235943262	0.359447535	0.42364	0.0781417	0.345	0.50178	1	0.23789	0.18575	0.66153	1
5	Db1	0.44	0.220753126	0.1936	0.048731943	0.097131376	0.41638	0.04357463	0.373	0.45995	0	0.22887	0.18751	0.64525	1
6	Db2	0.76	0.241379067	0.5776	0.058263854	0.183448091	0.42413	0.08148691	0.343	0.50561	0	0.23901	0.18512	0.66313	1
7	Db3	0.35	0.24256808	0.1225	0.058839274	0.084898828	0.41420	0.04502019	0.369	0.45922	0	0.22915	0.18505	0.64335	1
8	Db4	0.55	0.290227285	0.3025	0.084231877	0.159625007	0.41904	0.05112358	0.368	0.47017	0	0.23043	0.18861	0.64947	1
9	Db5	0.35	0.365423122	0.1225	0.133534058	0.127898093	0.41420	0.04502019	0.369	0.45922	0	0.22915	0.18505	0.64335	1
10	Db6	0.23	0.384052067	0.0529	0.14749599	0.088331975	0.41130	0.05653078	0.355	0.46783	1	0.23169	0.17961	0.64299	1
11	Db7	0.4	0.322830807	0.16	0.10421973	0.129132323	0.41541	0.043318	0.372	0.45873	0	0.22882	0.18659	0.64424	1
12	Db8	0.35	0.422346273	0.1225	0.178376374	0.147821195	0.41420	0.04502019	0.369	0.45922	1	0.22915	0.18505	0.64335	1
13	Db9	0.29	0.426239736	0.0841	0.181680312	0.123609523	0.41275	0.04968582	0.363	0.46243	1	0.23012	0.18263	0.64286	1
14	Sm3	0.23	0.513036842	0.0529	0.263206802	0.117998474	0.41130	0.05653078	0.355	0.46783	0	0.23169	0.17961	0.64299	1
15	Sm4	0.22	0.513036842	0.0484	0.263206802	0.112868105	0.41105	0.05783278	0.353	0.46889	0	0.23201	0.17904	0.64306	1
16	Sm5	0.24	0.513036842	0.0576	0.263206802	0.123128842	0.41154	0.05526979	0.356	0.46681	0	0.23139	0.18015	0.64292	1
17	Sm6	0.26	0.513036842	0.0676	0.263206802	0.133389579	0.41202	0.05288248	0.359	0.46490	0	0.23083	0.18120	0.64285	1
18	Sm7	0.28	0.513036842	0.0784	0.263206802	0.143650316	0.41251	0.05069567	0.362	0.46320	0	0.23034	0.18217	0.64284	1
19	Oz6	0.3	0.314948801	0.09	0.099192748	0.09448464	0.41299	0.04873635	0.364	0.46173	0	0.22991	0.18308	0.64290	1
20	Rc3	0.48	0.515821796	0.2304	0.266072125	0.247594462	0.41735	0.04525258	0.372	0.46260	0	0.22920	0.18815	0.64655	1
21	Rc7	0.53	0.488105761	0.2809	0.238247234	0.258696053	0.41856	0.04911565	0.369	0.46767	0	0.22999	0.18857	0.64855	1
22	Rc8	0.56	0.50600559	0.3136	0.256041658	0.283363131	0.41928	0.05221245	0.367	0.47150	0	0.23067	0.18861	0.64996	1
23	Rc10	0.44	0.458939757	0.1936	0.210625701	0.201933493	0.41638	0.04357463	0.373	0.45995	1	0.22887	0.18751	0.64525	1
24	Sm1	0.15	0.513036842	0.0225	0.263206802	0.076955526	0.40936	0.06788778	0.341	0.47725	0	0.23472	0.17464	0.64408	1
25	Sm2	0.19	0.513036842	0.0361	0.263206802	0.097477	0.41033	0.06195858	0.348	0.47229	0	0.23307	0.17725	0.64340	1
26	Ad12	0.2	0.232543109	0.04	0.054076297	0.046508622	0.41057	0.06054914	0.350	0.47112	0	0.23270	0.17787	0.64327	1
27	Oz2	0.14	0.281943165	0.0196	0.079491948	0.039472043	0.40912	0.06943362	0.340	0.47855	0	0.23517	0.17395	0.64429	1
									08	(29.68 %)				**27** (100 %)	

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: ypred[1] (valor de ajuste a la variable ypred-kuz-1). Min1, Max1 (Intervalos de Confianza)

Nota. Se observa del cálculo realizado de la tabla 32, que solo 08 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95%

Por lo tanto, su IEDIC (Indice de Efectividad dentro del Intervalo de confianza al 95%), dado en porcentaje del total de datas tratadas, para el caso de 08 datas será : 29.63%

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada tabla y figura.

Tabla 32. La interpretación de dicha tabla esta en función a la siguiente leyenda.

Donde:

X50 : Es la data de la función objetivo y/o data de la fragmentación real.
ypred-kuz-1 : Es la data predecida X_{50} mediante el modelo teórico de kuznetsov.
Min1 : Es la data mínima determinada por los Limites de Confianza al 95%
Max1 : Es la data máxima determinada por los Limites de Confianza al 95%
Min2 : Es la data mínima determinada por los Limites de la Predicción al 95%
Max2 : Es la data máxima determinada por los Limites de la Predicción al 95%

Los resultados de los tratamientos de la tabla 32, se especifican en la figura 25.

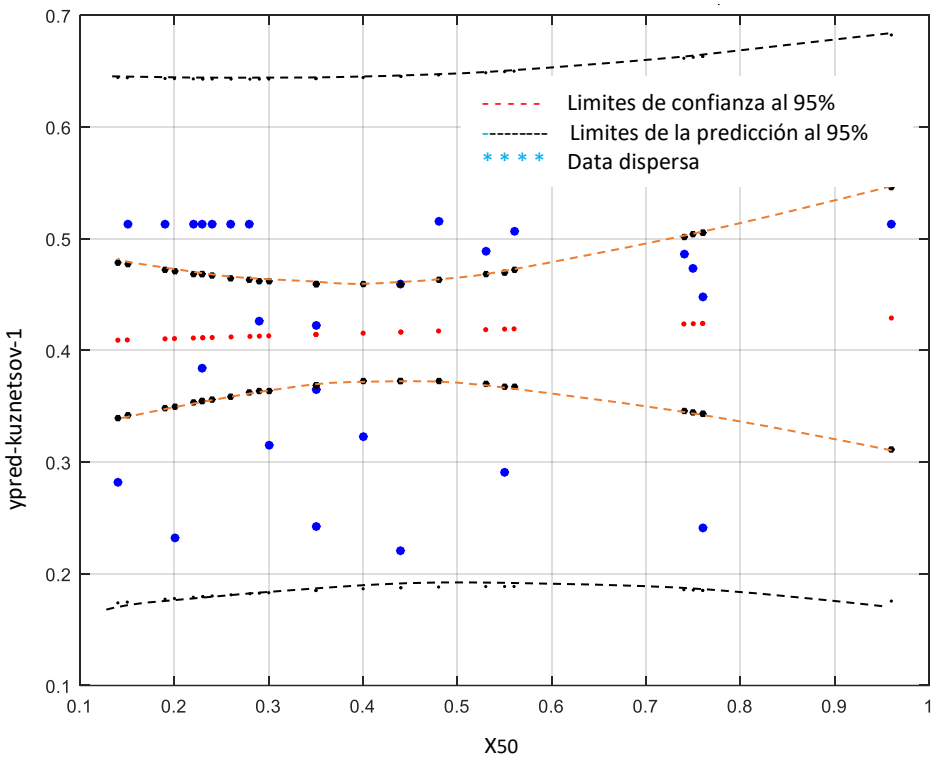

Figura 25. **Ploteo de los limites de confianza y predicción al 95%, a la data dispersa de {X50 & ypred-kuz-1}.**
Fuente: Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)
Leyenda: Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción)

Figura 25. Dicha figura representa el ploteo de la dispersión de la data, entre {X50}, los Limites de Confianza al 95% & los Limites de la Predicción al 95%. Cabe acotar que los Limites de confianza al 95%, son llamdos también Intervalos de Confianza al 95%, para el caso representan a los rangos de la fragmentación del modelo predecido.

4.10.- Modelo de Regresión Lineal -1 & determinación de la fragmentación predecida

y ~ 1 + x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7

Los resultados de los tratamientos se presentan en las tablas 33, 34 y figuras 26 y 27.

Tabla 33. **Estimated Coefficients Linear.**

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-1.5375	1.6775	-0.91652	0.37088
x1	0.016462	0.30676	0.053662	0.95776
x2	0.059299	0.058277	1.0175	0.32168
x3	0.031395	0.041355	0.75916	0.45707
x4	0.44305	0.35825	1.2367	0.23126
x5	0.3030	0.3183	0.9520	0.3531
x6	-0.01121	0.080608	-0.13907	0.89086
x7	0.013333	0.0041229	3.2339	0.0043686

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)

Detalles

Number of observations: 27, Error degrees of freedom: 19
Root Mean Squared Error: 0.145
R-squared: 0.689. Adjusted R-Squared 0.574
F-statistic vs. constant model: 6, p-value = 0.000857

Regression Equation

```
X50 =   - 1.5375 + 0.016462 S/B + 0.059299 H/B + 0.031395 B/D
        + 0.44305 T/B + 0.3030 Pf - 0.01121 XB + 0.013333 E
```

Tabla 34. **Determinando la fragmentación mediante Regresión Lineal "MVR"**

	Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	ypred-Lineal-1 (Regresión Lineal)
1	1	**Rc4**	0.165	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*	0.6820
2	2	**Rc5**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.31*	*0.29*	*1.56*	*45.00*	*0.96*	0.6589
3	3	**Rc6**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*	0.6136
4	4	**Rc9**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*	0.6612
5	5	**Db1**	0.10	*1.25*	*3.50*	*20.00*	*1.75*	*0.73*	*1.00*	*9.57*	*0.44*	0.4315
6	6	**Db2**	0.10	*1.25*	*5.10*	*20.00*	*1.75*	*0.70*	*1.00*	*9.57*	*0.76*	0.5172
7	7	**Db3**	0.10	*1.38*	*3.00*	*20.00*	*1.75*	*0.62*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	0.3706
8	8	**Db4**	0.10	*1.50*	*5.50*	*20.00*	*1.75*	*0.56*	*1.00*	*9.57*	*0.55*	0.5027
9	9	**Db5**	0.10	*1.75*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.39*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	0.4108
10	10	**Db6**	0.10	*1.25*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.33*	*1.00*	*9.57*	*0.23*	0.3844
11	11	**Db7**	0.10	*1.25*	*5.00*	*20.00*	*1.75*	*0.44*	*1.00*	*9.57*	*0.40*	0.4325
12	12	**Db8**	0.10	*1.20*	*2.40*	*25.00*	*1.40*	*0.28*	*0.50*	*9.57*	*0.35*	0.2366
13	13	**Db9**	0.10	*1.40*	*3.20*	*25.00*	*1.40*	*0.31*	*0.50*	*9.57*	*0.29*	0.2964
14	14	**Sm3**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.23*	0.1943
15	15	**Sm4**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.22*	0.1831
16	16	**Sm5**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.24*	0.1831
17	17	**Sm6**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.26*	0.1831
18	18	**Sm7**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.28*	0.1831
19	20	**Oz6**	0.089	*1.20*	*3.20*	*28.09*	*1.20*	*0.48*	*1.11*	*15.00*	*0.30*	0.4186
20	3	**Rc3**	0.165	*1.17*	*1.58*	*26.20*	*1.22*	*0.28*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	0.6158
21	4	**Rc7**	0.165	*1.17*	*1.67*	*26.20*	*1.22*	*0.31*	*1.80*	*45.00*	*0.53*	0.6176
22	5	**Rc8**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.34*	*0.30*	*1.80*	*45.00*	*0.56*	0.6773
23	6	**Rc10**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.23*	*0.35*	*1.80*	*45.00*	*0.44*	0.6437
24	13	**Sm1**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.15*	0.1943
25	14	**Sm2**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.19*	0.1943
26	26	**Ad12**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*2.01*	*16.90*	*0.20*	0.3629
27	37	**Oz2**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.86*	*15.00*	*0.14*	0.3005

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a.)
Leyenda: ypred-Lineal-1, (valor teórico predecido X50 de la Regresión Lineal)

* Tratamientos de la figura 26 y 27.

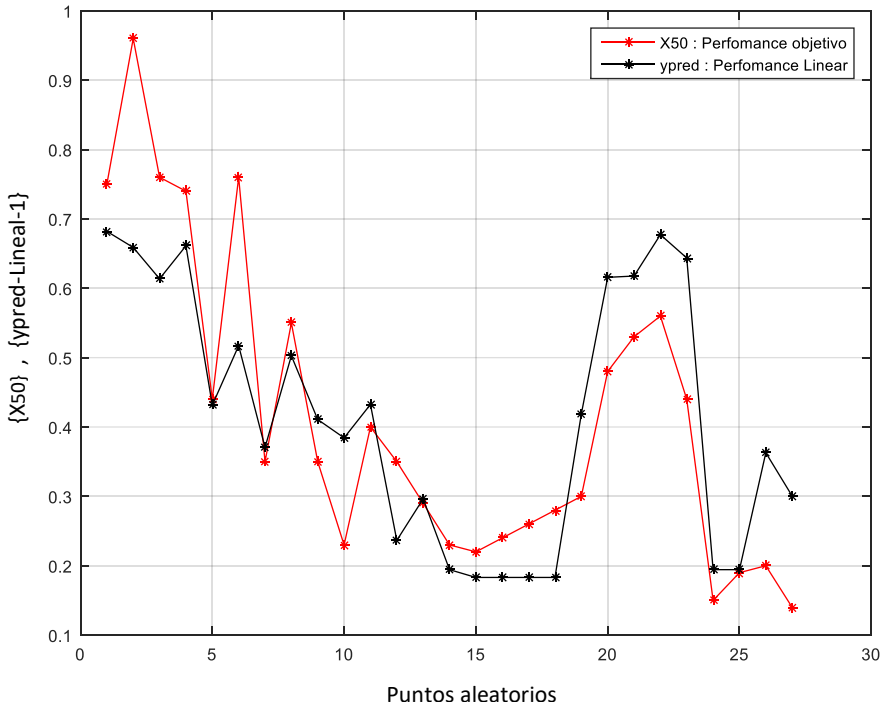

Figura 26. **Perfomance comparativo entre X_{50}, ypred-Lineal-1 & Puntos aleatorios**

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

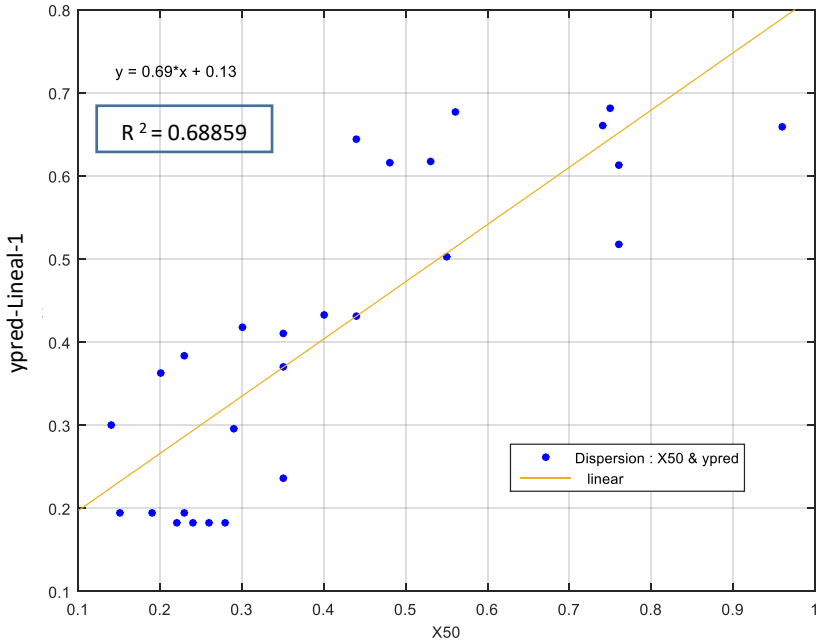

Figura 27. **Perfomance de la dispersión entre X_{50} & ypred-Lineal-1.**

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

4.10.1.- Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95%. Lineal

Seguidamente se analizarán y determinaran los limites de confianza al 95% con el fin de determinar los intervalos de confianza de la predicción Lineal. Los resultados de los tratamientos se especifican en la tabla 35 y figura 28.

Tabla 35. **Determinación de los Limites de: Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-Lineal-1}**

		X50	ypred Lineal-1	x²	y²	x*y	y pred²	Var +/-	Min1	Max1			Min2	Max2	
1	**Rc4**	0.75	0.68204	0.562500	0.465179	0.511530	0.64504	0.07648802	0.56855	0.72153	1	0.22852	0.41652	0.87357	1
2	**Rc5**	0.96	0.65887	0.921600	0.434110	0.632515	0.78964	0.1122727	0.677	0.90192	0	0.24285	0.54679	1.03250	1
3	**Rc6**	0.76	0.61362	0.577600	0.376530	0.466351	0.65193	0.07809805	0.574	0.73003	1	0.22907	0.42286	0.88099	1
4	**Rc9**	0.74	0.66115	0.547600	0.437119	0.489251	0.63816	0.07489196	0.563	0.71305	1	0.22799	0.41016	0.86615	1
5	**Db1**	0.44	0.43145	0.193600	0.186149	0.189838	0.43158	0.04176245	0.390	0.47334	1	0.21936	0.21222	0.65093	1
6	**Db2**	0.76	0.51723	0.577600	0.267527	0.393095	0.65193	0.07809805	0.574	0.73003	0	0.22907	0.42286	0.88099	1
7	**Db3**	0.35	0.37061	0.122500	0.137352	0.129714	0.36961	0.0431479	0.326	0.41275	1	0.21962	0.14998	0.58923	1
8	**Db4**	0.55	0.50265	0.302500	0.252657	0.276458	0.50732	0.04899747	0.458	0.55632	1	0.22085	0.28648	0.72817	1
9	**Db5**	0.35	0.41079	0.122500	0.168748	0.143777	0.36961	0.0431479	0.326	0.41275	1	0.21962	0.14998	0.58923	1
10	**Db6**	0.23	0.38438	0.052900	0.147748	0.088407	0.28698	0.05417979	0.233	0.34116	0	0.22205	0.06492	0.50903	1
11	**Db7**	0.4	0.43253	0.160000	0.187082	0.173012	0.40404	0.0415165	0.363	0.44555	1	0.21931	0.18473	0.62334	1
12	**Db8**	0.35	0.23656	0.122500	0.055961	0.082796	0.36961	0.0431479	0.326	0.41275	0	0.21962	0.14998	0.58923	1
13	**Db9**	0.29	0.29639	0.084100	0.087847	0.085953	0.32829	0.04761949	0.281	0.37591	1	0.22055	0.10775	0.54884	1
14	**Sm3**	0.23	0.19434	0.052900	0.037768	0.044698	0.28698	0.05417979	0.233	0.34116	0	0.22205	0.06492	0.50903	1
15	**Sm4**	0.22	0.18313	0.048400	0.033537	0.040289	0.28009	0.05542764	0.225	0.33552	0	0.22236	0.05773	0.50245	1
16	**Sm5**	0.24	0.18313	0.057600	0.033537	0.043951	0.29386	0.05297124	0.241	0.34683	0	0.22176	0.07210	0.51562	1
17	**Sm6**	0.26	0.18313	0.067600	0.033537	0.047614	0.30763	0.05068321	0.257	0.35832	0	0.22123	0.08641	0.52886	1
18	**Sm7**	0.28	0.18313	0.078400	0.033537	0.051276	0.32141	0.04858735	0.273	0.36999	0	0.22076	0.10065	0.54216	1
19	**Oz6**	0.3	0.41856	0.090000	0.175192	0.125568	0.33518	0.04670951	0.288	0.38189	0	0.22035	0.11483	0.55553	1
20	**Rc3**	0.48	0.61575	0.230400	0.379148	0.295560	0.45912	0.04337062	0.416	0.50249	0	0.21967	0.23946	0.67879	1
21	**Rc7**	0.53	0.61762	0.280900	0.381454	0.327339	0.49355	0.04707304	0.446	0.54063	0	0.22043	0.27312	0.71398	1
22	**Rc8**	0.56	0.67725	0.313600	0.458668	0.379260	0.51421	0.05004105	0.464	0.56425	0	0.22108	0.29313	0.73529	1
23	**Rc10**	0.44	0.64366	0.193600	0.414298	0.283210	0.43158	0.04176245	0.390	0.47334	0	0.21936	0.21222	0.65093	1
24	**Sm1**	0.15	0.19434	0.022500	0.037768	0.029151	0.23189	0.06506448	0.167	0.29695	1	0.22496	0.00693	0.45685	1
25	**Sm2**	0.19	0.19434	0.036100	0.037768	0.036925	0.25943	0.05938186	0.200	0.31881	0	0.22338	0.03605	0.48281	1
26	**Ad12**	0.2	0.36287	0.040000	0.131675	0.072574	0.26632	0.05803104	0.208	0.32435	0	0.22303	0.04329	0.48934	1
27	**Oz2**	0.14	0.30046	0.019600	0.090276	0.042064	0.22500	0.06654603	0.158	0.29155	0	0.22539	-0.00039	0.45039	1
									10 (37.04 %)				**27** (100 %)		

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: ypred² (valor de ajuste de regresiones lineales).

Min1, Max1 (Intervalos de Confianza) & Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción)

Nota. Se observa del cálculo realizado de la tabla 35, que solo 10 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95%

Por lo tanto, su IEDIC (Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Confianza al 95%), dado en porcentaje del total de datas tratadas, para el caso de 10 datas será : 37.04%

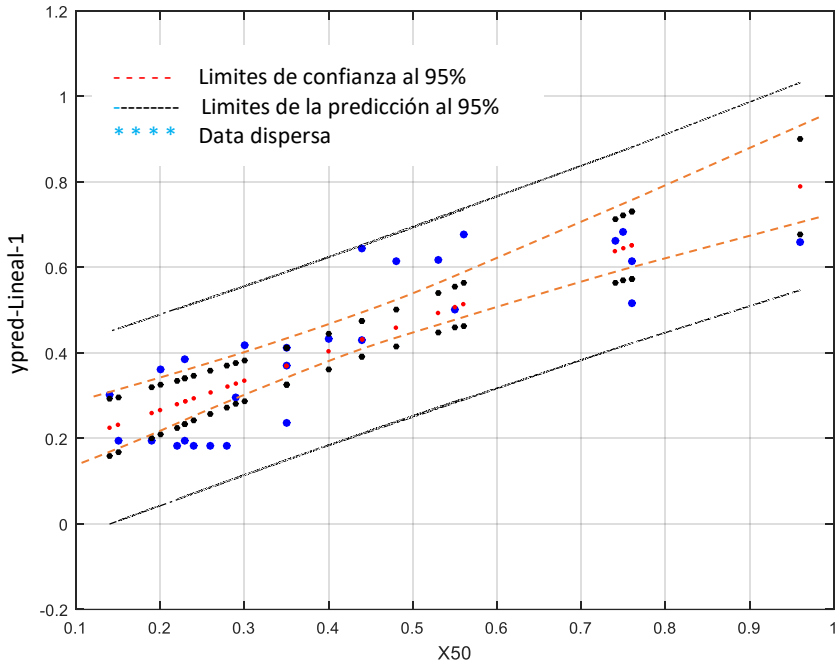

Figura 28. **Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%. Modelo Linea1-1**.
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

4.11.- Modelo heurístico de ANN-1 & determinación de la fragmentación predecida.

* Los resultados de los tratamientos se especifican en la tabla 36 y figura 29.

Tabla 36. **Determinando la fragmentación predecida mediante el Modelo "ANN"**

	Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	ypred ANN-1
1	1	**Rc4**	0.165	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*	0.75
2	2	**Rc5**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.31*	*0.29*	*1.56*	*45.00*	*0.96*	0.96
3	3	**Rc6**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*	0.76
4	4	**Rc9**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*	0.74
5	5	**Db1**	0.10	*1.25*	*3.50*	*20.00*	*1.75*	*0.73*	*1.00*	*9.57*	*0.44*	0.44
6	6	**Db2**	0.10	*1.25*	*5.10*	*20.00*	*1.75*	*0.70*	*1.00*	*9.57*	*0.76*	0.76
7	7	**Db3**	0.10	*1.38*	*3.00*	*20.00*	*1.75*	*0.62*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	0.35
8	8	**Db4**	0.10	*1.50*	*5.50*	*20.00*	*1.75*	*0.56*	*1.00*	*9.57*	*0.55*	0.55
9	9	**Db5**	0.10	*1.75*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.39*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	0.35
10	10	**Db6**	0.10	*1.25*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.33*	*1.00*	*9.57*	*0.23*	0.23
11	11	**Db7**	0.10	*1.25*	*5.00*	*20.00*	*1.75*	*0.44*	*1.00*	*9.57*	*0.40*	0.4
12	12	**Db8**	0.10	*1.20*	*2.40*	*25.00*	*1.40*	*0.28*	*0.50*	*9.57*	*0.35*	0.35
13	13	**Db9**	0.10	*1.40*	*3.20*	*25.00*	*1.40*	*0.31*	*0.50*	*9.57*	*0.29*	0.29
14	14	**Sm3**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.23*	0.19
15	15	**Sm4**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.22*	0.25
16	16	**Sm5**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.24*	0.25
17	17	**Sm6**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.26*	0.25
18	18	**Sm7**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.28*	0.25
19	20	**Oz6**	0.089	*1.20*	*3.20*	*28.09*	*1.20*	*0.48*	*1.11*	*15.00*	*0.30*	0.3
20	3	**Rc3**	0.165	*1.17*	*1.58*	*26.20*	*1.22*	*0.28*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	0.48
21	4	**Rc7**	0.165	*1.17*	*1.67*	*26.20*	*1.22*	*0.31*	*1.80*	*45.00*	*0.53*	0.53
22	5	**Rc8**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.34*	*0.30*	*1.80*	*45.00*	*0.56*	0.56
23	6	**Rc10**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.23*	*0.35*	*1.80*	*45.00*	*0.44*	0.44
24	13	**Sm1**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.15*	0.19
25	14	**Sm2**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.19*	0.19
26	26	**Ad12**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*2.01*	*16.90*	*0.20*	0.2
27	37	**Oz2**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.86*	*15.00*	*0.14*	0.14

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)
Leyenda: ypred-ANN-1 (Valor teórico predecido de X50, mediante Redes Neuronales)

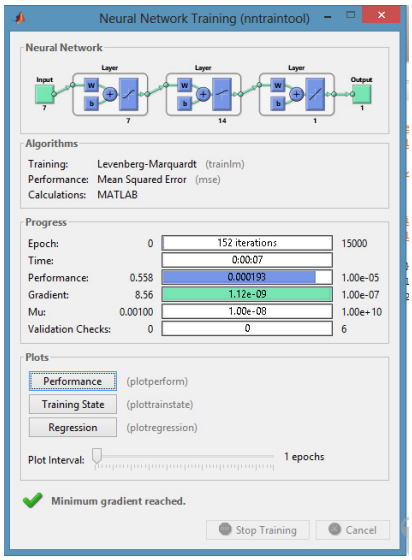

Figura 29. **Simulindor virtual de Redes Neuronales**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Cabe mencionar, que los resultados predecidos X_{50} teóricos {ypred-ANN-1} mediante el modelo de "ANN", se han obtenido en función a un script interactivo, desarrollado en Matlab R2015a, expuesto en la parte de Anexo 3.

A continuación en la figura 30, 31 y 32, se presentan los resultados obtenidas por el simulador virtual de de Redes Neuronales Artificiales "ANN"

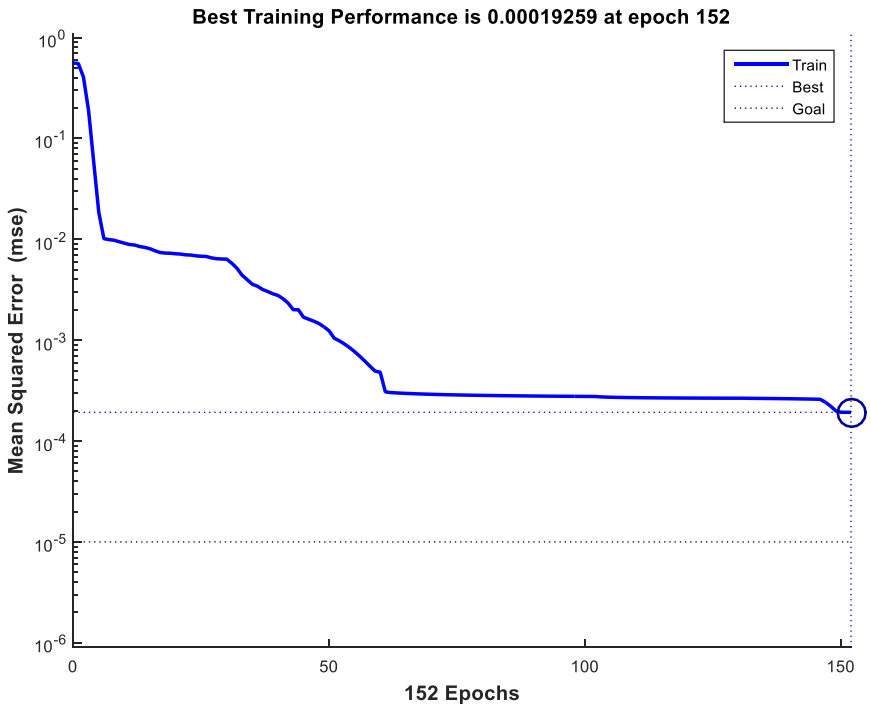

Figura 30. **Perfomance of Best Training &MSE at Epoch 152.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

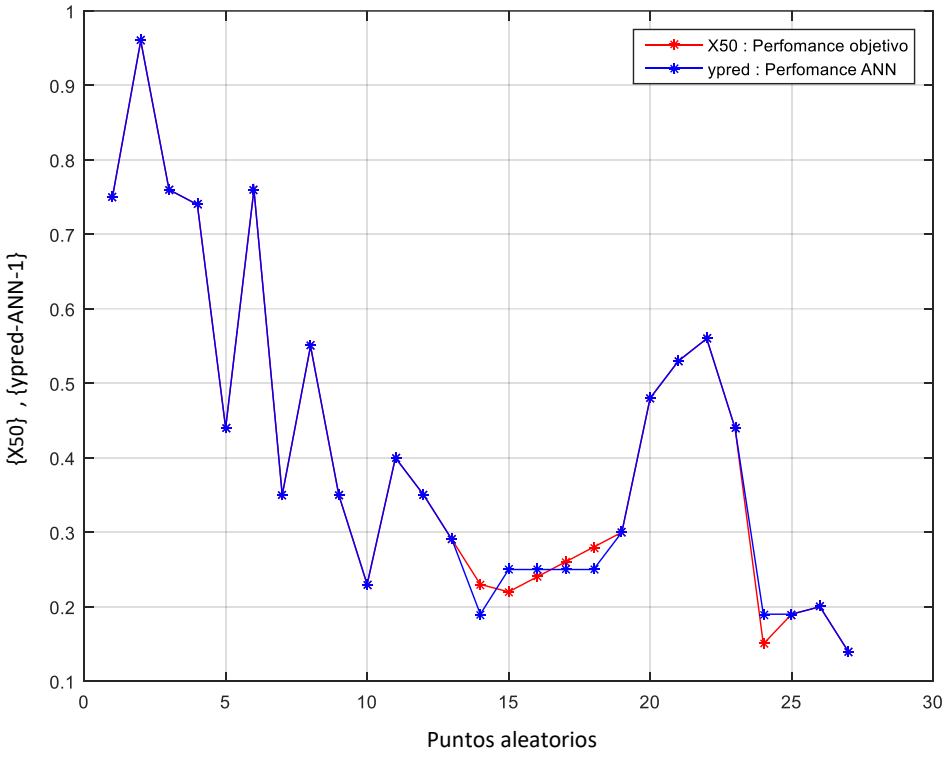

Figura 31. **Perfomance comparativo entre X_{50}, ypred-ANN-1 & Puntos aleatorios.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)
Leyenda: ypred-ANN-1 (Valor teórico predecido de X_{50}, mediante Redes Neuronales)

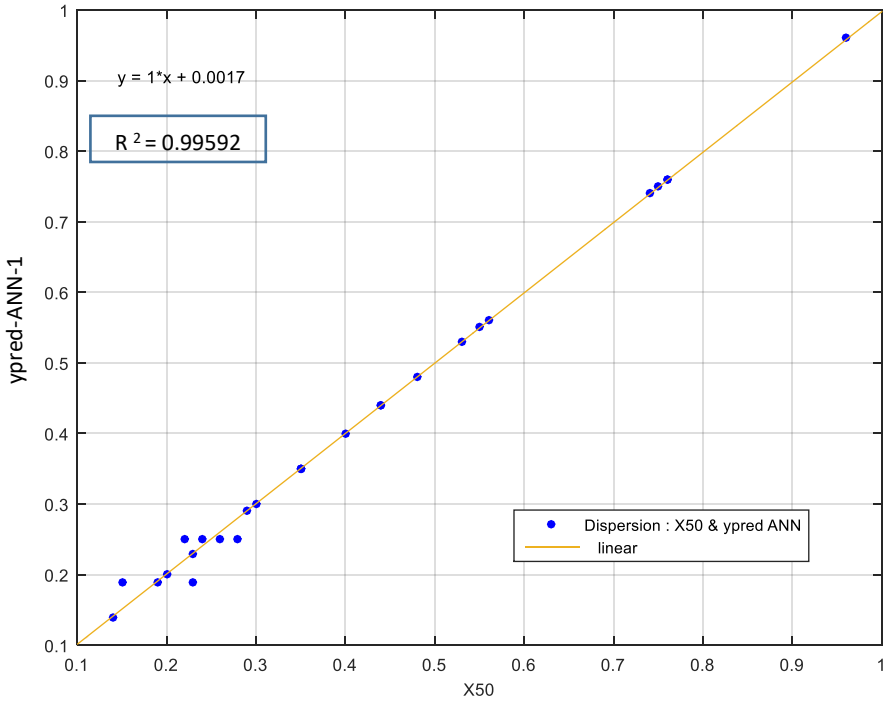

Figura 32. **Perfomance de la dispersión entre X_{50} & ypred-ANN-1.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura:

Figura 30. Dicha figura presenta el ajuste que el algoritmo de Redes Neuronales (ANN) realiza, minimizando el error hacia la función objetivo, el tratamiento de la data se efectúa en 152 Epoch.

Figura 31. Dicha figura representa el ploteo de la variable de la {X_{50}} y la variable predecida de Redes Neuronales {ypred-ANN-1} en función a una variable aleatoria numérica de 27 puntos {1, 2, 3, , , , 27}, la finalidad es determinar la variabilidad en cada punto y su secuencia correlacional.

Figura 32. Dicha figura representa el ploteo de la dispersión entre la variable {X_{50}} y la variable predecida de Redes Neuronales {ypred-ANN-1}, la finalidad de dicho ploteo es determinar su función lineal y su coeficiente determinación "R^2", indicadores que ayudaran a determinar el modelo óptimo.

4.11.1. - Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - ANN

Seguidamente se analizarán y determinarán dichos limites de confianza al 95% con el fin de obtener los Intervalos de Confianza de la fragmentación predecida, mediante el modelo de Redes Neuronales Artificiales (ANN) del grupo 1.

A continuación, se presentan los resultados de los tratamientos en la tabla 37 y figura 33.

Tabla 37. **Determinación de los Limites de: Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-ANN-1}**

		X50	ypred-ANN-1	x²	y²	x*y	y pred³	Var +/-	Min1	Max1			Min2	Max2	
1	Rc4	0.75	0.75	0.562500	0.562500	0.562500	0.74862	0.01052874	0.73810	0.75915	1	0.03146	0.71717	0.78008	1
2	Rc5	0.96	0.96	0.921600	0.921600	0.921600	0.95777	0.01545457	0.942	0.97322	1	0.03343	0.92434	0.99120	1
3	Rc6	0.76	0.76	0.577600	0.577600	0.577600	0.75858	0.01075036	0.748	0.76933	1	0.03153	0.72705	0.79012	1
4	Rc9	0.74	0.74	0.547600	0.547600	0.547600	0.73867	0.01030904	0.728	0.74897	1	0.03138	0.70728	0.77005	1
5	Db1	0.44	0.44	0.193600	0.193600	0.193600	0.43989	0.00574869	0.434	0.44564	1	0.03019	0.40969	0.47008	1
6	Db2	0.76	0.76	0.577600	0.577600	0.577600	0.75858	0.01075036	0.748	0.76933	1	0.03153	0.72705	0.79012	1
7	Db3	0.35	0.35	0.122500	0.122500	0.122500	0.35026	0.0059394	0.344	0.35620	1	0.03023	0.32003	0.38049	1
8	Db4	0.55	0.55	0.302500	0.302500	0.302500	0.54944	0.0067446	0.543	0.55619	1	0.03040	0.51904	0.57984	1
9	Db5	0.35	0.35	0.122500	0.122500	0.122500	0.35026	0.0059394	0.344	0.35620	1	0.03023	0.32003	0.38049	1
10	Db6	0.23	0.23	0.052900	0.052900	0.052900	0.23075	0.00745796	0.223	0.23820	1	0.03057	0.20018	0.26131	1
11	Db7	0.4	0.4	0.160000	0.160000	0.160000	0.40005	0.00571483	0.394	0.40577	1	0.03019	0.36986	0.43024	1
12	Db8	0.35	0.35	0.122500	0.122500	0.122500	0.35026	0.0059394	0.344	0.35620	1	0.03023	0.32003	0.38049	1
13	Db9	0.29	0.29	0.084100	0.084100	0.084100	0.29050	0.00655492	0.284	0.29706	1	0.03036	0.26014	0.32086	1
14	Sm3	0.23	0.19	0.052900	0.036100	0.043700	0.23075	0.00745796	0.223	0.23820	0	0.03057	0.20018	0.26131	0
15	Sm4	0.22	0.25	0.048400	0.062500	0.055000	0.22079	0.00762973	0.213	0.22842	0	0.03061	0.19018	0.25140	1
16	Sm5	0.24	0.25	0.057600	0.062500	0.060000	0.24071	0.0072916	0.233	0.24800	0	0.03053	0.21018	0.27123	1
17	Sm6	0.26	0.25	0.067600	0.062500	0.065000	0.26062	0.00697665	0.254	0.26760	0	0.03045	0.23017	0.29108	1
18	Sm7	0.28	0.25	0.078400	0.062500	0.070000	0.28054	0.00668815	0.274	0.28723	0	0.03039	0.25015	0.31093	0
19	Oz6	0.3	0.3	0.090000	0.090000	0.090000	0.30046	0.00642966	0.294	0.30689	1	0.03033	0.27013	0.33079	1
20	Rc3	0.48	0.48	0.230400	0.230400	0.230400	0.47973	0.00597006	0.474	0.48570	1	0.03024	0.44949	0.50996	1
21	Rc7	0.53	0.53	0.280900	0.280900	0.280900	0.52952	0.0064797	0.523	0.53600	1	0.03034	0.49918	0.55986	1
22	Rc8	0.56	0.56	0.313600	0.313600	0.313600	0.55940	0.00688826	0.553	0.56629	1	0.03043	0.52897	0.58983	1
23	Rc10	0.44	0.44	0.193600	0.193600	0.193600	0.43989	0.00574869	0.434	0.44564	1	0.03019	0.40969	0.47008	1
24	Sm1	0.15	0.19	0.022500	0.036100	0.028500	0.15107	0.00895626	0.142	0.16003	0	0.03097	0.12011	0.18204	0
25	Sm2	0.19	0.19	0.036100	0.036100	0.036100	0.19091	0.00817404	0.183	0.19908	1	0.03075	0.16016	0.22166	1
26	Ad12	0.2	0.2	0.040000	0.040000	0.040000	0.20087	0.00798809	0.193	0.20886	1	0.03070	0.17017	0.23157	1
27	Oz2	0.14	0.14	0.019600	0.019600	0.019600	0.14111	0.0091602	0.132	0.15027	1	0.03103	0.11009	0.17214	1
		27 (100 %)							21 (77.78 %)				24 (88.889 %)		

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: ypred³ (valor de ajuste a la variable ypred-ANN-1). Min1, Max1 (Intervalos de Confianza)

Nota. Se observa del cálculo realizado de la tabla 37, que solo 21 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95%..

Por lo tanto, su IEDIC (Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Confianza al 95%), dado en porcentaje del total de datas tratadas, para el caso de 21 datas será : 77.78%

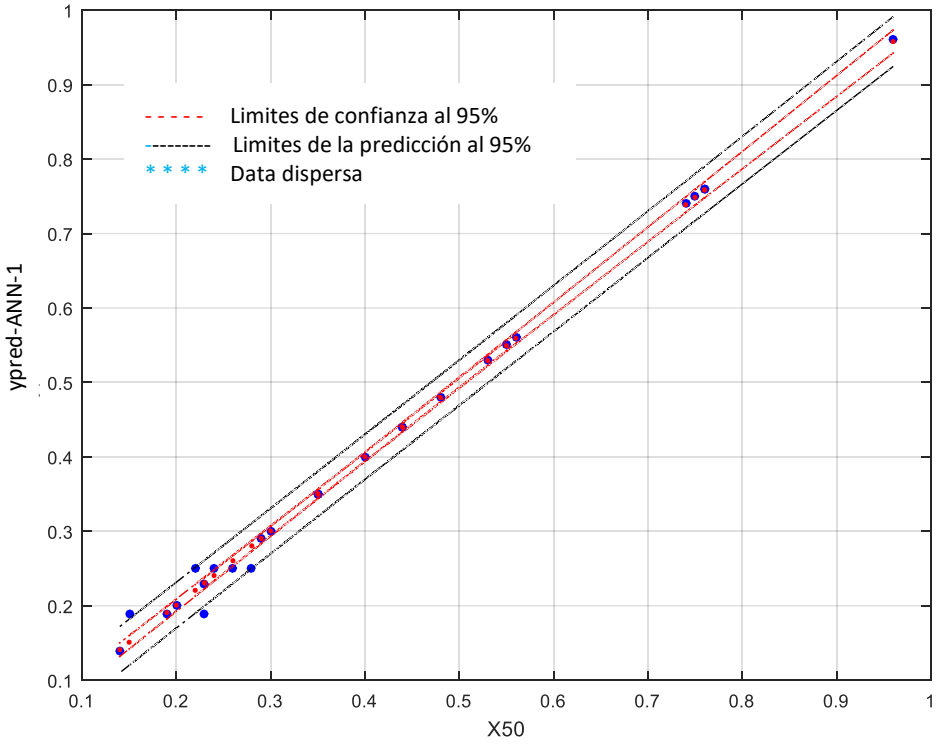

Figura 33. **Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%, a la data dispersa de {X50 & ypred-ANN-1}.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)
Leyenda: Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción)

4.12.- Resumen del grupo 1. Optimización en función a la dispersión de la data.
* Los resultados de los tratamientos se presentan en la figura 34.

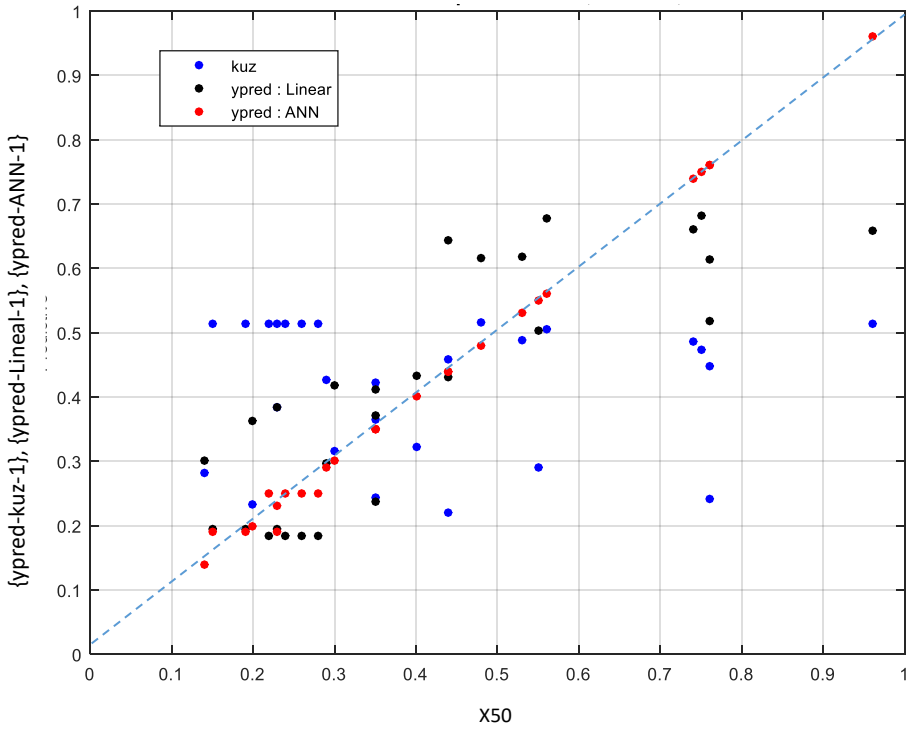

Figura 34. **Ploteo de la data dispersa, entre X50 & kuz-1, Lineal-1, ANN-1**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura:

Figura 33. Dicha figura presenta los Limites de Confianza y de la Predicción al 95%, como podrá verse, dicho modelo presenta un ajuste mucho más óptimo a la data dispersa. Así mismo, cabe mencionar que todavía existen datas fuera de los Limites de la Predicción los cuales se determinan mediante la tabla 37 : Las datas identificadas fuera de los Limites de la Predicción son : (Sm3, Sm7, Sm1).

Figura 34. Dicha figura representa la perfomance general de la variable de la {X50} en función a todas las variables predecidas por los modelos de:

a.- Kuznetsov (ypred-kuz-1).
b.- Lineal (ypred-Lineal-1).
c.- ANN (ypred-ANN-1).

Donde se aprecia y determina el modelo que tiene el mejor ajuste.
Analogamente se aprecia, que la data que tiene el mejor ajuste Lineal, pertenece al Modelo de Redes Neuronales.

4.12.1.- Resumen del grupo 1.

La siguiente tabla 38, se describe como el copilado de los modelos ypred-kuznetsov 1, ypred-Lineal 1 & ypred-ANN 1, adheridos a estos la clasificación determinada por los Limites de Confianza al 95%. La finalidad es mostrar en una sola tabla todos los Parametros utilizados para el calculo y sus variabilidades.

A continuación, se presentan los resultados de dicho tratamiento.

Tabla 38. **Resumen de los métodos kuz-1, Lineal-1, ANN-1, en función a sus Límites de Confianza de 95%**

	Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X50-1	ypred-kuz-1	ypred-Lineal-1	ypred-ANN-1		Kuz1	Lineal1	ANN1
1	1	**Rc4**	0.165	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*	60.000	1	0.75	0.472820494	0.68204	0.75	1	1	1	1
2	2	**Rc5**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.31*	*0.29*	*1.56*	*45.00*	*0.96*	46.875	1	0.96	0.513150241	0.65887	0.96	2	1	0	1
3	3	**Rc6**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*	59.211	1	0.76	0.447477997	0.61362	0.76	3	1	1	1
4	4	**Rc9**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*	60.811	1	0.74	0.485739912	0.66115	0.74	4	1	1	1
5	5	**Db1**	0.10	*1.25*	*3.50*	*20.00*	*1.75*	*0.73*	*1.00*	*9.57*	*0.44*	21.750	1	0.44	0.220753126	0.43145	0.44	5	0	1	1
6	6	**Db2**	0.10	*1.25*	*5.10*	*20.00*	*1.75*	*0.70*	*1.00*	*9.57*	*0.76*	12.592	1	0.76	0.241379067	0.51723	0.76	6	0	0	1
7	7	**Db3**	0.10	*1.38*	*3.00*	*20.00*	*1.75*	*0.62*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1	0.35	0.24256808	0.37061	0.35	7	0	1	1
8	8	**Db4**	0.10	*1.50*	*5.50*	*20.00*	*1.75*	*0.56*	*1.00*	*9.57*	*0.55*	17.400	1	0.55	0.290227285	0.50265	0.55	8	0	1	1
9	9	**Db5**	0.10	*1.75*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.39*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1	0.35	0.365423122	0.41079	0.35	9	0	1	1
10	10	**Db6**	0.10	*1.25*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.33*	*1.00*	*9.57*	*0.23*	41.609	1	0.23	0.384052067	0.38438	0.23	10	1	0	1
11	11	**Db7**	0.10	*1.25*	*5.00*	*20.00*	*1.75*	*0.44*	*1.00*	*9.57*	*0.40*	23.925	1	0.4	0.322830807	0.43253	0.4	11	0	1	1
12	12	**Db8**	0.10	*1.20*	*2.40*	*25.00*	*1.40*	*0.28*	*0.50*	*9.57*	*0.35*	27.343	1	0.35	0.422346273	0.23656	0.35	12	1	0	1
13	13	**Db9**	0.10	*1.40*	*3.20*	*25.00*	*1.40*	*0.31*	*0.50*	*9.57*	*0.29*	33.000	1	0.29	0.426239736	0.29639	0.29	13	1	1	1
14	14	**Sm3**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.23*	57.609	1	0.23	0.513036842	0.19434	0.19	14	0	0	0
15	15	**Sm4**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.22*	60.227	1	0.22	0.513036842	0.18313	0.25	15	0	0	0
16	16	**Sm5**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.24*	55.208	1	0.24	0.513036842	0.18313	0.25	16	0	0	0
17	17	**Sm6**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.26*	50.962	1	0.26	0.513036842	0.18313	0.25	17	0	0	0
18	18	**Sm7**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.28*	47.321	1	0.28	0.513036842	0.18313	0.25	18	0	0	0
19	20	**Oz6**	0.089	*1.20*	*3.20*	*28.09*	*1.20*	*0.48*	*1.11*	*15.00*	*0.30*	50.000	1	0.3	0.314948801	0.41856	0.3	19	0	0	1
20	3	**Rc3**	0.165	*1.17*	*1.58*	*26.20*	*1.22*	*0.28*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	93.750	2	0.48	0.515821796	0.61575	0.48	20	0	0	1
21	4	**Rc7**	0.165	*1.17*	*1.67*	*26.20*	*1.22*	*0.31*	*1.80*	*45.00*	*0.53*	84.906	2	0.53	0.488105761	0.61762	0.53	21	0	0	1
22	5	**Rc8**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.34*	*0.30*	*1.80*	*45.00*	*0.56*	80.357	2	0.56	0.50600559	0.67725	0.56	22	0	0	1
23	6	**Rc10**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.23*	*0.35*	*1.80*	*45.00*	*0.44*	102.273	2	0.44	0.458939757	0.64366	0.44	23	1	0	1
24	13	**Sm1**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.15*	88.333	2	0.15	0.513036842	0.19434	0.19	24	0	1	0
25	14	**Sm2**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.19*	69.737	2	0.19	0.513036842	0.19434	0.19	25	0	0	1
26	26	**Ad12**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*2.01*	*16.90*	*0.20*	84.500	2	0.2	0.232543109	0.36287	0.2	26	0	0	1
27	37	**Oz2**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.86*	*15.00*	*0.14*	107.143	2	0.14	0.281943165	0.30046	0.14	27	0	0	1
																		(Total de valores dentro del Intervalos de Confianza al 95%)	→	**8**	**10**	**21**

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda : Limites de Confianza al 95% (también llamados IC: Intervalos de Confianza al 95%) & {X50-1} es la Función Objetivo del Grupo 1.

Interpretación. La tabla 38, presenta un resumen de la clasificación de las datas, donde al final de cada fila, se especifica que data se encuenta dentro de los intervalos de confianza al 95%, la leyenda utilizada es :

1 : *Significa que la data se encuentra dentro del Intervalo de Confianza.*

0 : *Significa que la data No se encuentra dentro del Intervalo de Confianza.*

Cabe mencionar que dicho indicador servirá como referente para comparar la efectividad de cada modelo en función a la data objetivo.

4.12.2.- Box Plot en función a los modelos del Grupo 1. A continuación, en la figura 35, se presenta la performance general del grupo 1, en función a la data objetivo "X50-1" y los modelos: predecidos de {ypred-Kuznetsov-1}, {ypred-Lineal-1}, {ypred-ANN-1}.

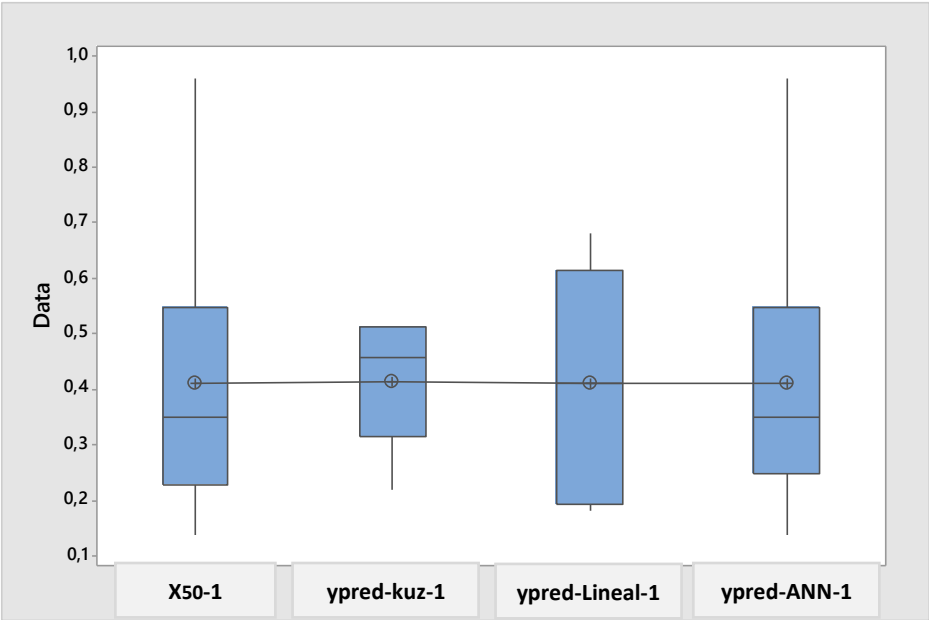

Figura 35. **Perfomance Box Plot de los Modelos ypred-Kuz-1, ypred-Lineal-1, ypred-ANN-1, en función a {X50}**
Fuente. Elaboración propia, (Software Minitab V17)

Interpretación. De los resultados del tratamiento de los diagramas de caja "Box Plot" figura 35, se verifica que el mejor resultado de aproximación a la función objetivo {X50-1}, pertenece al modelo de ypred-ANN-1.

4.12.3.- Perfomance en base a los modelos del grupo 1. La performance de dicho grupo, esta conformada por los siguientes indices de optimización mostradas en la tabla 39.

Tabla 39. **Cuadro resumen de la perfomance del Grupo 1**

Modelo	Variables Ajustadas	Ecuación de Ajuste	Coeficiente Determinación	MAE	RMSE
Kuz	X50 & ypred-Kuz-1	fx = 0.0242x+0.4057	R² = 0.0025	0.0926	0.1091
MVR	X50 & ypred Lineal-1	fx = 0.6886x+0.1286	R² = 0.6886	0.0844	0.1046
ANN	X50 & ypred-ANN-1	fx = 0.9959x+0.0017	R² = 0.9556	0.0065	0.0144

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

Interpretación. Del cuadro resumen de la performance de la tabla 39 del grupo 1, se determina que el modelo óptimo pertenece a "ypred-ANN-1", debido a que tiene un R^2= 0.9556, MAE = 0.065 y RMSE = 0.0144.

Grupo 2. A continuación, se desarrollarán los test para dicho grupo.

4.13.- Análisis y tratamiento de la varianza de un factor.

Las variables utilizadas para el siguiente tratamiento de análisis de varianzas (ANOVA), son: 1{S/B}, 2{H/B}, 3{B/D}, 4{T/B}, 5{Pf}, 6{XB} y 7{E}. Los resultados de dicho tratamiento se presentan en la siguiente tabla 40.

Tabla 40. **Análisis de Varianzas**

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	22600	6	3766.67	168.8322	7.3E-79	2.1405319
Dentro de los grupos	4841.3	217	22.3101			
Total	27441.3	223				

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Interpretación : En dicho tratamiento, se aprecia que el p-valor = 7.3E-79, es menor que (0.05), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (Ha), determinando que es aceptable efectuar un análisis inferencial a los datos del presente grupo 2.

4.14.- Test del Alpha de Cronbach.

El resultado de dicho tratamiento, proporciona un Alpha de Cronbach de ($\alpha = 0.4732$) para las 7 variables tratadas de: {S/B}, {H/B}, {B/D}, {T/B}, {Pf}, {XB}, & {E}, por lo tanto, significa que la muestra presenta un índice de regular a mala correlación.

4.15.- Box Plot

El diagrama de caja (box plot), es una representación gráfica de la variabilidad estadística de los datos por variables en función a sus cuartiles, Las variables utilizadas para el siguiente tratamiento son: 1{S/B}, 2{H/B}, 3{B/D}, 4{T/B}, 5{Pf}, 6{XB}, 7{E} y 7{X_{50}}. A continuación, en la figura 36, se presenta los resultados de los tratamientos descritos del grupo 2.

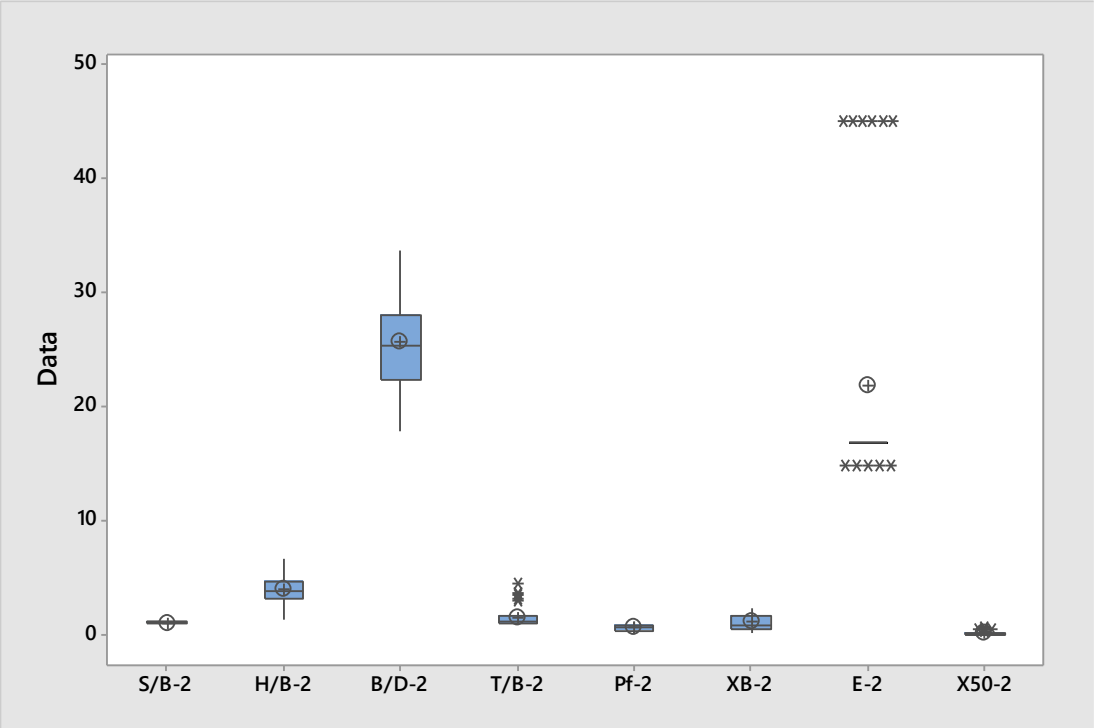

Figura 36. **Perfomance Box Plot, grupo 2**.
Fuente. Elaboración propia, (Software Minitab V17).

Interpretación: De la figura del diagrama de caja, se interpreta que la variable {B/D-2} tiene la data más dispersa, análogamente las demás variables, tienen una dispersión menor.

4.16.- Análisis de Componentes Principales, al Grupo 2.

La finalidad del presente análisis tiene como objetivo determinar mediante la técnica de descomposición espectral, que variable es la que aporta mayor información en el sistema matricial. Para ello será necesario determinar, la matriz de varianzas & matriz de correlaciones. A continuación, se presenta los resultados del tratamiento:

4.16.1.- Matriz de varianzas y covarianzas "S-2"

0.0063862	0.0176520	0.0120690	0.0145190	-0.0059628	0.0017299	0.1719600
0.0176520	1.7665000	1.7517000	0.8305800	-0.0470750	0.4487100	6.5442000
0.0120690	1.7517000	25.1920000	2.0951000	-1.3654000	0.1716400	32.3490000
0.0145190	0.8305800	2.0951000	0.8701600	-0.1181800	0.3423900	8.7520000
-0.0059628	-0.0470750	-1.3654000	-0.1181800	0.0900300	-0.0016049	-2.1497000
0.0017299	0.4487100	0.1716400	0.3423900	-0.0016049	0.3526800	3.4679000
0.1719600	6.5442000	32.3490000	8.7520000	-2.1497000	3.4679000	127.8900000

Autovectores de "S-2"

0.001229	-0.002252	0.004894	0.031146	0.024177	-0.530710	0.846620
0.049907	-0.010877	0.934150	0.327810	-0.127340	-0.019759	-0.026310
0.276000	0.958960	0.010134	-0.041273	-0.017048	0.037060	0.027328
0.065544	-0.027003	0.278580	-0.486770	0.824540	-0.015683	-0.017247
-0.017689	-0.045263	0.046560	-0.043659	-0.014437	0.843730	0.530550
0.024732	-0.051226	0.204500	-0.805420	-0.549420	-0.066160	0.002493
0.957140	-0.273620	-0.075138	0.048108	-0.031010	0.009401	0.003326

Autovalores de "S-2"

138.29
15.938
1.6028
0.17849
0.14378
0.013279
0.0028754

Proporción parcial "S-2"

0.88551
0.10206
0.010263
0.0011429
0.00092063
8.50E-05
1.84E-05

Proporcion-acum. de "S-2"

0.88551
0.98757
0.99783
0.99898
0.99990
0.99998
1

Matriz de cargas de "S-2"

0.014448	-0.008991	0.006196	0.013158	0.009167	-0.061156	0.045398
0.586890	-0.043426	1.182600	0.138490	-0.048283	-0.002277	-0.001411
3.245700	3.828400	0.012830	-0.017437	-0.006464	0.004271	0.001465
0.770780	-0.107800	0.352690	-0.205650	0.312650	-0.001807	-0.000925
-0.208010	-0.180700	0.058945	-0.018445	-0.005474	0.097227	0.028449
0.290840	-0.204510	0.258900	-0.340270	-0.208330	-0.007624	0.000134
11.256000	-1.092400	-0.095125	0.020325	-0.011758	0.001083	0.000178

Comunalidad =

0.0063862
1.766500
25.192000
0.870160
0.090030
0.352680
127.890000

Los resultados de los tratamientos centrados se especifican en la figura 37, 38 y 39.

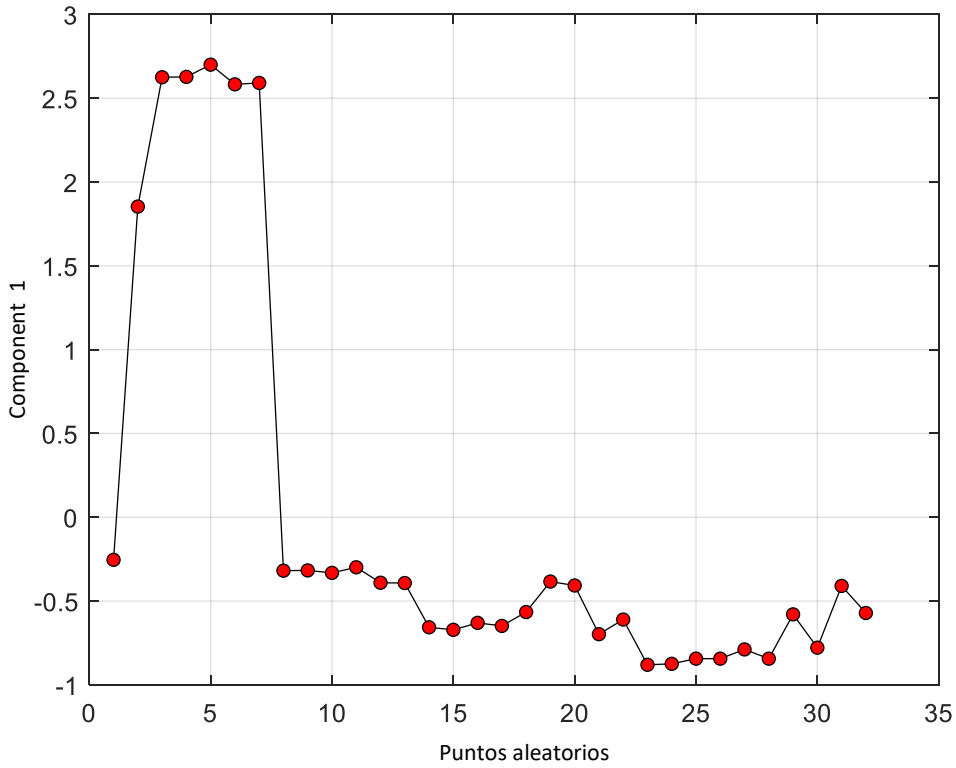

Figura 37. **Perfomance de la 1ra. Componente Principal de "S-2"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

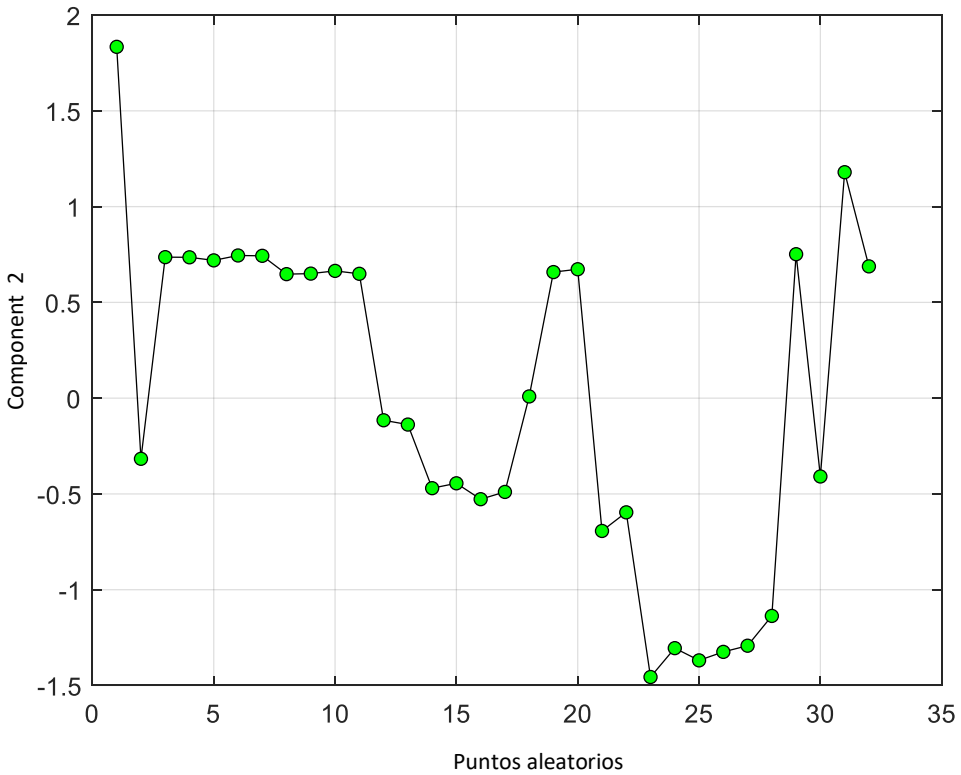

Figura 38. **Perfomance de la 2da. Componente Principal de "S-2"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

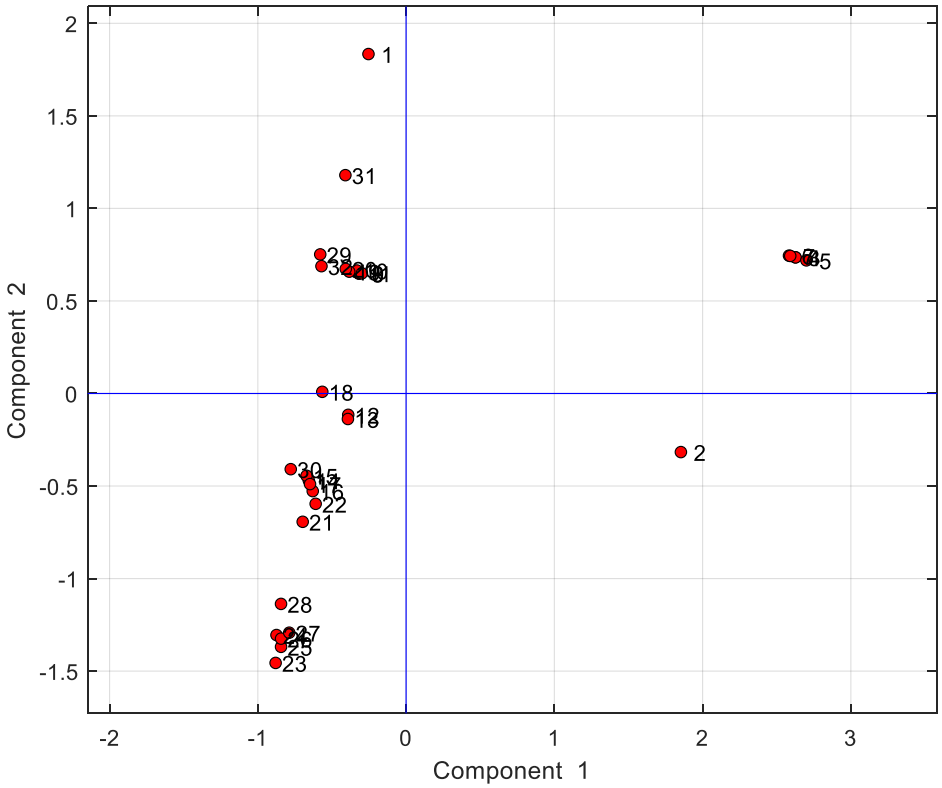

Figura 39. **Perfomance de la 1ra. & 2da. Componente Principal de "S-2"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Interpretación. La presente interpretación esta en función a cada figura.

Figura 37. Para la figura de la 1ra. Componente Principal en "S-2", su interpretación esta en función a los resultados de la matriz de cargas y a la proporción de informacion parcial de "S-2", donde se verifica que la variable {E} es la que mayor información aporta . Por lo tanto, dicha figura esta influenciado por la variable {E}.

Figura 38. Análogamente para la 2da. Componente Principal en "S-2", dicha figura se interpreta en función a los resultados de la matriz de cargas y la proporción de información parcial de "S-2", donde se verifica que la variable {B/D} es la que mayor información aporta. Por lo tanto, dicha figura esta influenciado por la variable {B/D}.

Figura 39. Dicha figura, es la correlación entre la 1ra. Componente Principal y 2da. Componente Principal en un plano bidimensional, cabe acotar que la información aportada es (98.757%), así mismo, dicha lectura gráfica, deberá tener una proximidad con la data base.

4.16.2.- Matriz de Correlación "R-2"

1.000000	0.166200	0.030091	0.194770	-0.248680	0.036452	0.190270
0.166200	1.000000	0.262590	0.669920	-0.118040	0.568480	0.435390
0.030091	0.262590	1.000000	0.447490	-0.906630	0.057584	0.569920
0.194770	0.669920	0.447490	1.000000	-0.422250	0.618060	0.829630
-0.248680	-0.118040	-0.906630	-0.422250	1.000000	-0.009007	-0.633530
0.036452	0.568480	0.057584	0.618060	-0.009007	1.000000	0.516360
0.190270	0.435390	0.569920	0.829630	-0.633530	0.516360	1.000000

Autovectores de "R-2"

0.145730	0.048392	-0.965430	-0.029944	-0.118480	0.048451	0.164580
0.354890	-0.394540	-0.033783	0.772970	0.040380	-0.316740	-0.133450
0.382500	0.476920	0.222360	0.279860	-0.277430	0.197860	0.618350
0.480610	-0.206160	0.021160	-0.089539	0.495300	0.680130	-0.100780
-0.377760	-0.543650	0.012698	0.030588	0.216840	0.053769	0.714660
0.314140	-0.525460	0.118720	-0.341950	-0.698640	0.076587	-0.014928
0.483880	0.019274	0.051588	-0.444310	0.356280	-0.621970	0.227230

Autovalores de "R-2"

3.481
1.5855
0.98324
0.50461
0.29749
0.10959
0.038613

Proporción parcial de "R-2"

0.49729
0.22649
0.14046
0.07209
0.042499
0.015655
0.0055161

Proporción acum. de "R-2"

0.49729
0.72378
0.86424
0.93633
0.97883
0.99448
1

Matriz de Cargas de "R-2"

0.27190	0.06093	-0.95730	-0.02127	-0.06462	0.01604	0.03234
0.66213	-0.49679	-0.03350	0.54909	0.02202	-0.10485	-0.02622
0.71365	0.60051	0.22048	0.19880	-0.15132	0.06550	0.12151
0.89670	-0.25959	0.02098	-0.06361	0.27015	0.22515	-0.01980
-0.70481	-0.68453	0.01259	0.02173	0.11827	0.01780	0.14043
0.58611	-0.66164	0.11772	-0.24291	-0.38105	0.02535	-0.00293
0.90279	0.02427	0.05115	-0.31562	0.19432	-0.20590	0.04465

Comunalidad

1
1
1
1
1
1
1

*** Los resultados de los tratamientos centrados se especifican en la figura 40, 41 y 42.**

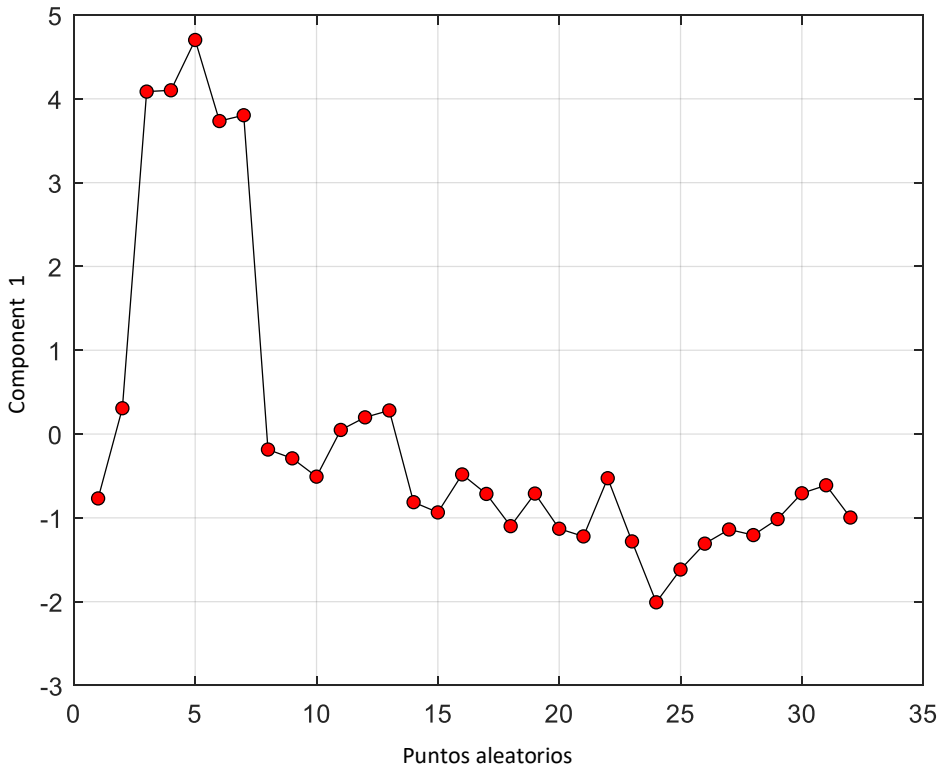

Figura 40. **Perfomance de la 1ra. Componente Principal de "R-2"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Interpretación. La interpretación para la 1ra componente principal en "R-2", esta en función a cinco variables que interactúan simultáneamente, las cuales son: {H/B}, {B/D}, {T/B}, {Pf} y {E}. Esto se interpreta como un ratio de todas estas variables, Así mismo, su información aportado es {49.729%}, que se considera como un aporte de información muy pobre. Por lo tanto, se deduce que dicha matriz, no es la adecuada para la interpretación de la data. Analogamente se deduce lo mismo con las demás figuras.

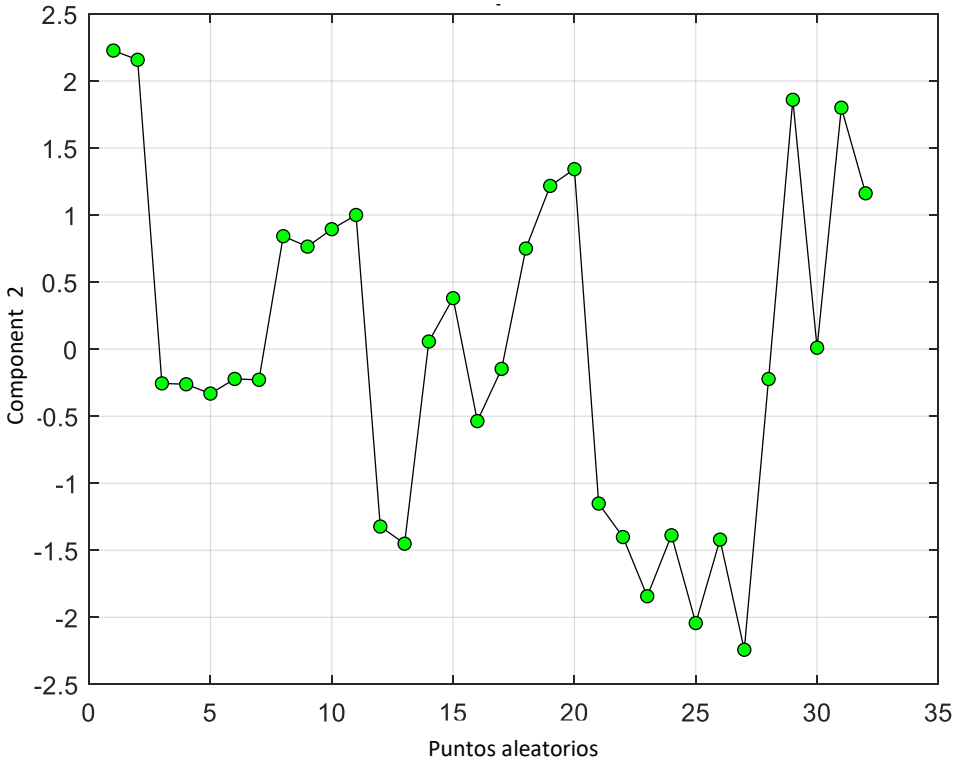

Figura 41. **Perfomance de la 2da. Componente Principal de "R-2"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a).

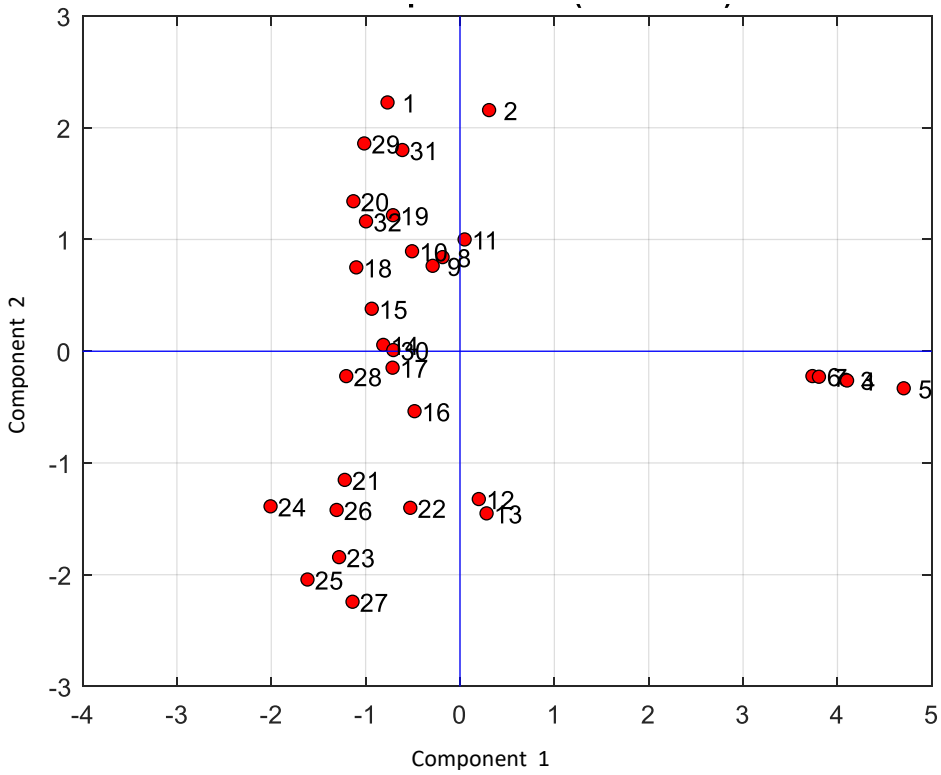

Figura 42. **Perfomance de la 1ra. & 2da. Componente Principal de "R-2"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a**).**

* Seguidamente el tratamiento del modelo Kuznetsov, se especifica en la tabla 41.

4.17.- Modelo de kuznetsov-2 & determinación de la fragmentación predecida.

A continuación, se aplicará la ecuación de kuznetsov, para determinar la predicción de la fragmentación teórica {ypred kuz-2}

Tabla 41. **Determinando la fragmentación mediante la ecuación de Kuznetsov.**

		Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	B	S	H	D	T	Vo (m^3)	ANFO	TNT	QT (kg)	ypred-Kuznetsov-2 (m)
1	28	19	Oz1	0.089	1.00	2.83	33.71	1.00	0.48	0.45	15.00	0.27	3.0002	3.0002	8.4905	0.0890	3.0002	76.425	100	115	36.684	0.328
2	29	2	**Rc2**	0.165	*1.17*	*1.50*	*26.20*	*1.12*	*0.30*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	4.3230	5.0579	6.4845	0.1650	4.8418	141.786	100	115	42.536	0.490
3	30	8	**Ru2**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.67*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	7.5318	9.0382	45.1909	0.2290	27.6417	3076.313	100	115	922.894	0.818
4	31	9	**Ru3**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.70*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.51*	7.5318	9.0382	45.1909	0.2290	27.8677	3076.313	100	115	922.894	0.818
5	32	10	**Ru4**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*4.67*	*0.22*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	7.5318	9.0382	45.1909	0.2290	35.1736	3076.313	100	115	676.789	0.995
6	33	11	**Ru5**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.11*	*0.35*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	7.5318	9.0382	45.1909	0.2290	23.4239	3076.313	100	115	1076.710	0.741
7	34	12	**Ru6**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.22*	*0.34*	*2.00*	*45.00*	*0.69*	7.5318	9.0382	45.1909	0.2290	24.2524	3076.313	100	115	1045.947	0.755
8	35	15	**Ad1**	0.089	*1.20*	*4.40*	*28.09*	*1.20*	*0.58*	*0.77*	*16.90*	*0.15*	2.5000	3.0000	11.0000	0.0890	3.0000	82.501	100	115	47.851	0.295
9	36	16	**Ad2**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.66*	*0.56*	*16.90*	*0.17*	2.5000	3.0000	12.0000	0.0890	3.0000	90.001	100	115	59.401	0.275
10	37	17	**Ad3**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.72*	*0.29*	*16.90*	*0.14*	2.5000	3.0000	12.0000	0.0890	3.0000	90.001	100	115	64.801	0.261
11	38	18	**Ad4**	0.089	*1.20*	*4.00*	*28.09*	*1.60*	*0.49*	*0.81*	*16.90*	*0.16*	2.5000	3.0000	10.0000	0.0890	4.0000	75.001	100	115	36.750	0.323
12	39	19	**Ad5**	0.089	*1.14*	*6.82*	*24.72*	*1.36*	*0.84*	*1.43*	*16.90*	*0.21*	2.2001	2.5081	15.0045	0.0890	2.9921	82.795	100	115	69.548	0.233
13	40	20	**Ad6**	0.089	*1.14*	*6.36*	*24.72*	*1.36*	*0.82*	*1.77*	*16.90*	*0.21*	2.2001	2.5081	13.9925	0.0890	2.9921	77.211	100	115	63.313	0.234
14	41	21	**Ad7**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.75*	*1.03*	*16.90*	*0.15*	1.9998	2.4998	6.9994	0.0890	2.4998	34.991	100	115	26.243	0.217
15	42	22	**Ad8**	0.089	*1.25*	*3.25*	*22.47*	*1.25*	*0.71*	*0.83*	*16.90*	*0.19*	1.9998	2.4998	6.4994	0.0890	2.4998	32.492	100	115	23.069	0.222
16	43	23	**Ad9**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.68*	*16.90*	*0.18*	1.9998	2.4998	6.9994	0.0890	2.4998	34.991	100	115	26.593	0.215
17	44	24	**Ad10**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.24*	*16.90*	*0.15*	1.9998	2.4998	6.9994	0.0890	2.4998	34.991	100	115	26.593	0.215
18	45	25	**Ad11**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*0.67*	*16.90*	*0.14*	2.2001	2.5081	6.9963	0.0890	2.5081	38.605	100	115	26.638	0.233
19	46	27	**Ad13**	0.089	*1.12*	*2.80*	*28.09*	*1.00*	*0.54*	*0.96*	*16.90*	*0.15*	2.5000	2.8000	7.0000	0.0890	2.5000	49.001	100	115	26.460	0.283
20	47	28	**Ad14**	0.089	*1.00*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.56*	*0.83*	*16.90*	*0.14*	2.5000	2.5000	6.0000	0.0890	2.5000	37.500	100	115	21.000	0.264
21	48	29	**Ad15**	0.089	*1.10*	*3.75*	*21.74*	*1.00*	*1.02*	*1.64*	*16.90*	*0.15*	1.9349	2.1283	7.2557	0.0890	1.9349	29.879	100	115	30.477	0.174
22	49	30	**Ad16**	0.089	*1.10*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.86*	*2.35*	*16.90*	*0.15*	1.9998	2.1998	6.9994	0.0890	2.4998	30.792	100	115	26.481	0.195
23	50	31	**Ad17**	0.089	*1.25*	*3.75*	*17.98*	*1.56*	*1.24*	*1.53*	*16.90*	*0.19*	1.6002	2.0003	6.0008	0.0890	2.4963	19.208	100	115	23.818	0.143
24	51	32	**Ad18**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*0.73*	*16.90*	*0.15*	1.6394	1.6394	6.5575	0.0890	2.8033	17.624	100	115	22.206	0.139
25	52	33	**Ad19**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*1.47*	*16.90*	*0.17*	1.6394	1.6394	6.5575	0.0890	2.8033	17.624	100	115	22.206	0.139
26	53	34	**Ad20**	0.089	*1.14*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.10*	*1.19*	*16.90*	*0.19*	1.6394	1.8689	6.5575	0.0890	2.8033	20.091	100	115	22.100	0.155
27	54	35	**Ad21**	0.089	*1.11*	*4.44*	*18.95*	*1.67*	*1.25*	*1.71*	*16.90*	*0.22*	1.6866	1.8721	7.4883	0.0890	2.8165	23.643	100	115	29.554	0.147
28	55	36	**Ad22**	0.089	*1.28*	*3.61*	*18.95*	*1.67*	*0.89*	*0.56*	*16.90*	*0.20*	1.6866	2.1588	6.0884	0.0890	2.8165	22.167	100	115	19.729	0.180
29	56	38	**Oz3**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.44*	*15.00*	*0.14*	2.5000	3.0000	6.0000	0.0890	2.5000	45.001	100	115	23.850	0.282
30	57	39	**Oz4**	0.089	*1.25*	*4.50*	*22.47*	*1.50*	*0.76*	*0.66*	*15.00*	*0.20*	1.9998	2.4998	8.9992	0.0890	2.9997	44.989	100	115	34.191	0.224
31	58	40	**Oz5**	0.089	*1.11*	*3.33*	*30.34*	*1.11*	*0.47*	*0.47*	*15.00*	*0.17*	2.7003	2.9973	8.9919	0.0890	2.9973	72.775	100	115	34.204	0.330
32	59	30	**Oz7**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.70*	*0.88*	*15.00*	*0.12*	2.5000	3.0000	6.0000	0.0890	2.5000	45.001	100	115	31.500	0.236

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016)

Leyenda: ypred-kuznetsov-2 (valor determinado).

Los resultados de los tratamientos de la tabla 41, se especifican en la figura 43 y 44.

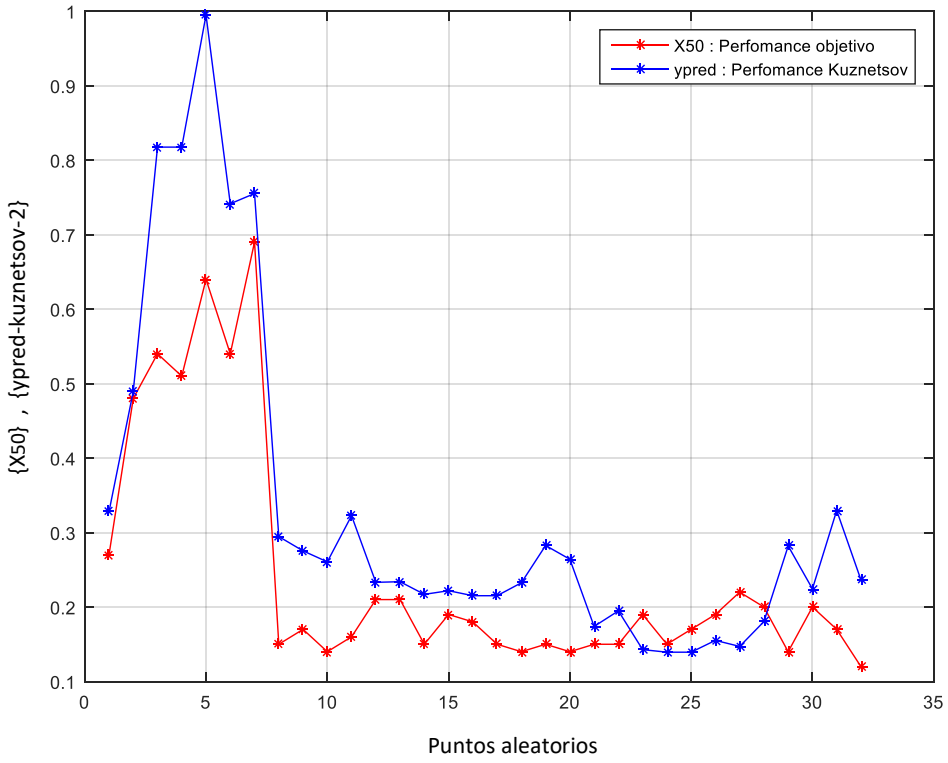

Figura 43. **Perfomance comparativo entre X_{50}, ypred-kuznetsov-2 & Puntos aleatorios.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

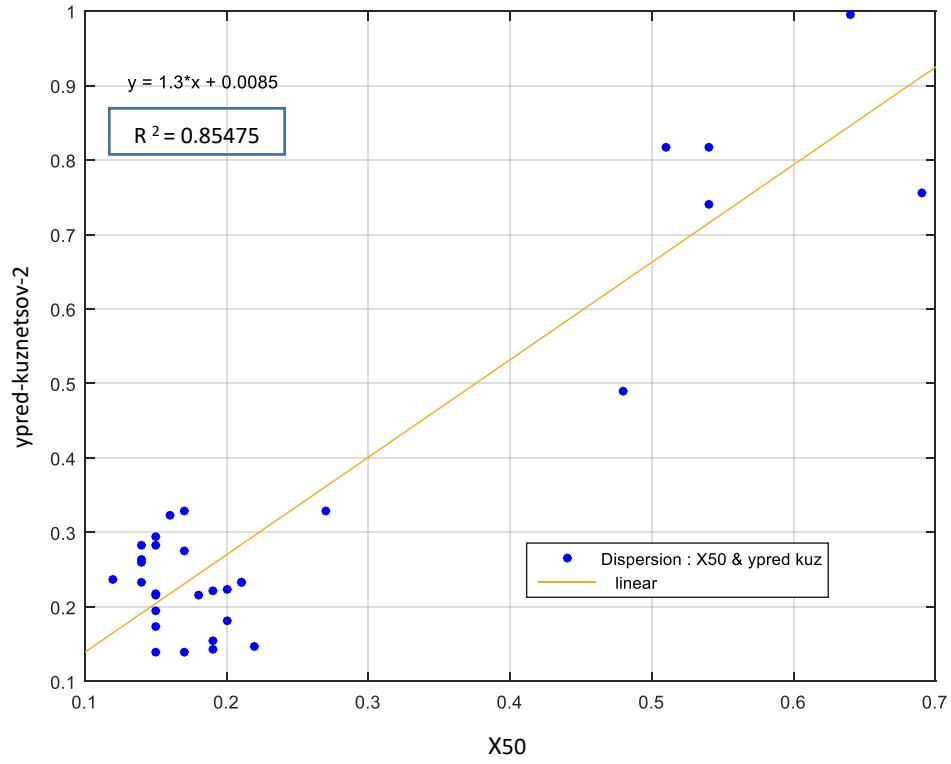

Figura 44. **Perfomance de la dispersión entre X_{50} & ypred-kuznetsov-2.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura.

Figura 43. Dicha figura representa el ploteo de la variable de la {X50} y la variable predecida de kuznetsov **{ypred kuznetsov 2}** en función a una variable aleatoria de 32 puntos numéricos {1, 2, 3, , , , 32}, la finalidad es determinar la variabilidad en cada punto y su posible secuencia correlacional.

Figura 44. Dicha figura representa el ploteo de la data dispersa entre la variable {X50} y la variable predecida de kuznetsov {ypred-kuznetsov-2}, la finalidad de dicho ploteo es determinar su función lineal y su "coeficiente determinación "R^2", indicadores que ayudaran a determinar la función óptima.

4.17.1.- Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - kuznetsov-2

Seguidamente se analizarán y determinarán dichos Limites de Confianza al 95%, con el fin de obtener los Intervalos de Confianza de la fragmentación predecida de kuznetsov 2. A continuación se presenta en la siguiente tabla 42 los resultados predichos.

Tabla 42. **Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-kuz-2}**

		X50	ypred-kuz-2	x²	y²	x*y	y pred⁴	Var +/-	Min1	Max1			Min2	Max2	
1	**Oz1**	0.270	0.327908495	0.0729	0.107523981	0.088535294	0.36185	0.03260612	0.32925	0.39446	0	0.18524	0.17661	0.54710	1
2	**Rc2**	0.480	0.489510498	0.2304	0.239620527	0.234965039	0.63671	0.05711679	0.580	0.69383	0	0.19109	0.44563	0.82780	1
3	**Ru2**	0.540	0.817513562	0.2916	0.668328424	0.441457323	0.71524	0.06742636	0.648	0.78267	0	0.19442	0.52083	0.90966	1
4	**Ru3**	0.510	0.817513562	0.2601	0.668328424	0.416931917	0.67598	0.06219241	0.614	0.73817	0	0.19266	0.48331	0.86864	1
5	**Ru4**	0.640	0.994956429	0.4096	0.989938297	0.636772115	0.84613	0.0856379	0.760	0.93177	0	0.20146	0.64467	1.04759	1
6	**Ru5**	0.540	0.741472985	0.2916	0.549782188	0.400395412	0.71524	0.06742636	0.648	0.78267	1	0.19442	0.52083	0.90966	1
7	**Ru6**	0.690	0.755211243	0.4761	0.570344021	0.521095757	0.91157	0.09503242	0.817	1.00661	0	0.20563	0.70594	1.11720	1
8	**Ad1**	0.150	0.294604107	0.0225	0.08679158	0.044190616	0.20479	0.03753929	0.167	0.24233	0	0.18617	0.01862	0.39097	1
9	**Ad2**	0.170	0.275420837	0.0289	0.075856638	0.046821542	0.23097	0.0356452	0.195	0.26661	0	0.18580	0.04517	0.41677	1
10	**Ad3**	0.140	0.260653787	0.0196	0.067940397	0.03649153	0.19170	0.03860892	0.153	0.23031	0	0.18639	0.00531	0.37810	1
11	**Ad4**	0.160	0.3226415	0.0256	0.104097538	0.05162264	0.21788	0.03654917	0.181	0.25443	0	0.18598	0.03190	0.40386	1
12	**Ad5**	0.210	0.233143812	0.0441	0.054356037	0.048960201	0.28332	0.03302239	0.250	0.31635	0	0.18532	0.09801	0.46864	1
13	**Ad6**	0.210	0.233990086	0.0441	0.054751361	0.049137918	0.28332	0.03302239	0.250	0.31635	0	0.18532	0.09801	0.46864	1
14	**Ad7**	0.150	0.216997176	0.0225	0.047087774	0.032549576	0.20479	0.03753929	0.167	0.24233	1	0.18617	0.01862	0.39097	1
15	**Ad8**	0.190	0.221904009	0.0361	0.049241389	0.042161762	0.25715	0.03412243	0.223	0.29127	0	0.18552	0.07163	0.44266	1
16	**Ad9**	0.180	0.215184478	0.0324	0.04630436	0.038733206	0.24406	0.03483408	0.209	0.27889	1	0.18565	0.05841	0.42971	1
17	**Ad10**	0.150	0.215184478	0.0225	0.04630436	0.032277672	0.20479	0.03753929	0.167	0.24233	1	0.18617	0.01862	0.39097	1
18	**Ad11**	0.140	0.232543109	0.0196	0.054076297	0.032556035	0.19170	0.03860892	0.153	0.23031	0	0.18639	0.00531	0.37810	1
19	**Ad13**	0.150	0.282607815	0.0225	0.079867177	0.042391172	0.20479	0.03753929	0.167	0.24233	0	0.18617	0.01862	0.39097	1
20	**Ad14**	0.140	0.26413158	0.0196	0.069765492	0.036978421	0.19170	0.03860892	0.153	0.23031	0	0.18639	0.00531	0.37810	1
21	**Ad15**	0.150	0.173959703	0.0225	0.030261978	0.026093955	0.20479	0.03753929	0.167	0.24233	1	0.18617	0.01862	0.39097	1
22	**Ad16**	0.150	0.194785956	0.0225	0.037941569	0.029217893	0.20479	0.03753929	0.167	0.24233	1	0.18617	0.01862	0.39097	1
23	**Ad17**	0.190	0.142805958	0.0361	0.020393542	0.027133132	0.25715	0.03412243	0.223	0.29127	0	0.18552	0.07163	0.44266	1
24	**Ad18**	0.150	0.139352619	0.0225	0.019419153	0.020902893	0.20479	0.03753929	0.167	0.24233	0	0.18617	0.01862	0.39097	1
25	**Ad19**	0.170	0.139352619	0.0289	0.019419153	0.023689945	0.23097	0.0356452	0.195	0.26661	0	0.18580	0.04517	0.41677	1
26	**Ad20**	0.190	0.155221517	0.0361	0.024093719	0.029492088	0.25715	0.03412243	0.223	0.29127	0	0.18552	0.07163	0.44266	1
27	**Ad21**	0.220	0.14708699	0.0484	0.021634583	0.032359138	0.29641	0.03264489	0.264	0.32906	0	0.18525	0.11116	0.48166	1
28	**Ad22**	0.200	0.180442486	0.04	0.032559491	0.036088497	0.27023	0.03351659	0.237	0.30375	0	0.18540	0.08483	0.45564	1
29	**Oz3**	0.140	0.281943165	0.0196	0.079491948	0.039472043	0.19170	0.03860892	0.153	0.23031	0	0.18639	0.00531	0.37810	1
30	**Oz4**	0.200	0.224389063	0.04	0.050350452	0.044877813	0.27023	0.03351659	0.237	0.30375	0	0.18540	0.08483	0.45564	1
31	**Oz5**	0.170	0.329611243	0.0289	0.108643571	0.056033911	0.23097	0.0356452	0.195	0.26661	0	0.18580	0.04517	0.41677	1
32	**Oz7**	0.120	0.236396402	0.0144	0.055883259	0.028367568	0.16553	0.04096137	0.125	0.20649	0	0.18689	-0.02137	0.35242	1
									06 (18.75 %)				**32** (100 %)		

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016). Leyenda: y pred⁴ (valor de ajuste a la variable ypred-kuz-2).
Min1, Max1 (Intervalos de Confianza al 95%) & Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción al 95%).
Nota. De la tabla 42, se observa que solo 06 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95%. De un total de 32 datas. Por lo tanto, su IEDIC será:18.75%

Interpretación. La presente interpretación estará en función a dicha tabla.

Tabla 42. La interpretación de dicha tabla esta en función a la siguiente leyenda.
Donde:

X_{50}	: Es la data de la función objetivo y/o data de la fragmentación real.
ypred-kuz-2	: Es la data predecida teórica X_{50} mediante el modelo de kuznetsov.
Min1	: Es la data mínima determinada por los Limites de Confianza al 95%
Max1	: Es la data máxima determinada por los Limites de Confianza al 95%
Min2	: Es la data mínima determinada por los Limites de la Predicción al 95%
Max2	: Es la data máxima determinada por los Limites de la Predicción al 95%

Los resultados de los tratamientos de la tabla 42, se especifican en la figura 45.

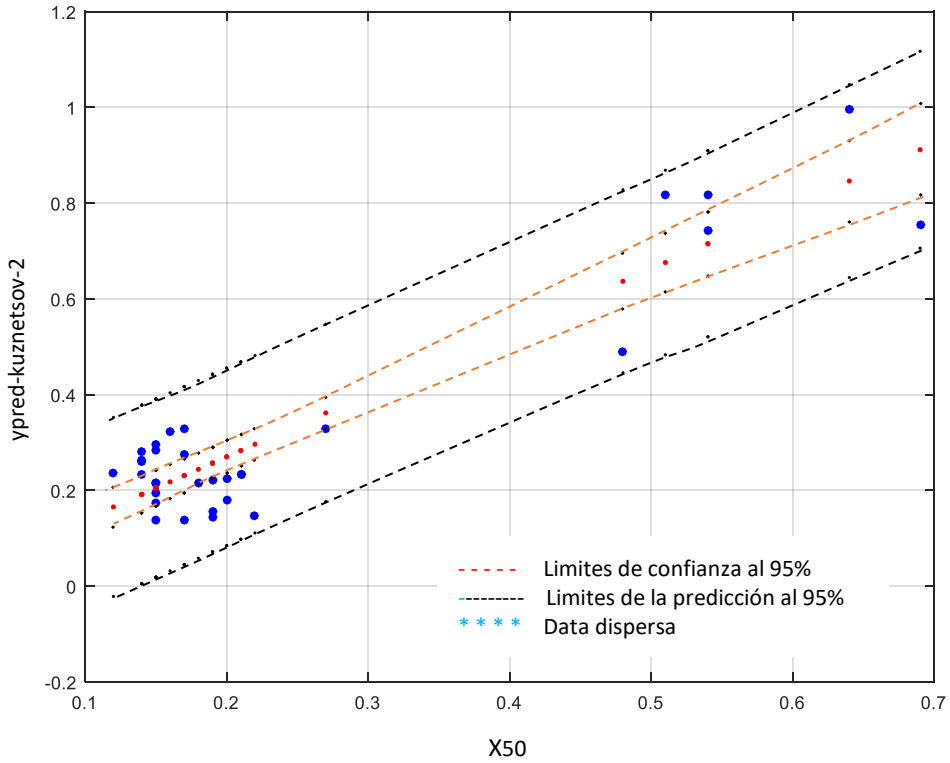

Figura 45. **Ploteo de los limites de Confianza y Predicción al 95%, a la data dispersa de {X50 & ypred-kuz-2}.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).

Interpretación. La presente interpretación estará en función a dicha figura.

Figura 45. Dicha figura representa el ploteo de la dispersión de la data, entre {X_{50}}, los Limites de Confianza al 95% & los Limites de la Predicción al 95%. Cabe acotar que la determinación de los Limites de Confianza al 95%, son también llamados para el caso, Intervalos de Confianza al 95% data que determina los rangos de la fragmentación predecida.

4.18.- Modelo de Regresión Lineal 2 & determinación de la fragmentación predecida.

$$y \sim 1 + x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7$$

Los resultados de los tratamientos se presentan en las tablas 43, 44 y figuras 46 y 47.

Tabla 43. **Estimated Coefficients Linear**.

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-0.14096	0.3172	-0.44441	0.66073
x1	-0.018927	0.13477	-0.14044	0.88949
x2	0.005456	0.010134	0.53836	0.59529
x3	0.0030177	0.0053925	0.5596	0.58094
x4	0.029291	0.020448	1.4324	0.16491
x5	0.022809	0.10087	0.22613	0.82302
x6	-0.00089609	0.020226	-0.044304	0.96503
x7	0.011196	0.0017384	6.4404	1.17E-06

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)

Detalles

Number of observations: 32, Error degrees of freedom: 24
Root Mean Squared Error: 0.0456
R-squared: 0.939, Adjusted R-Squared 0.921
F-statistic vs. constant model: 53, p-value = 4.65e-13

Regression Equation

```
X50 =  - 0.14096 - 0.018927 S/B + 0.005456 H/B + 0.0030177 B/D
       + 0.029291 T/B + 0.022809 Pf - 0.00089609 XB + 0.011196 E
```

Tabla 44. **Determinando la fragmentación mediante Regresión Lineal "MVR"**

		Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	ypred-Lineal-2 (Regresión Lineal)
1	28	19	**Oz1**	0.089	*1.00*	*2.83*	*33.71*	*1.00*	*0.48*	*0.45*	*15.00*	*0.27*	0.16505
2	29	2	**Rc2**	0.165	*1.17*	*1.50*	*26.20*	*1.12*	*0.30*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	0.46699
3	30	8	**Ru2**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.67*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	0.58468
4	31	9	**Ru3**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.70*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.51*	0.58555
5	32	10	**Ru4**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*4.67*	*0.22*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	0.61214
6	33	11	**Ru5**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.11*	*0.35*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	0.56941
7	34	12	**Ru6**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.22*	*0.34*	*2.00*	*45.00*	*0.69*	0.57241
8	35	15	**Ad1**	0.089	*1.20*	*4.40*	*28.09*	*1.20*	*0.58*	*0.77*	*16.90*	*0.15*	0.18200
9	36	16	**Ad2**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.66*	*0.56*	*16.90*	*0.17*	*0.18619*
10	37	17	**Ad3**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.72*	*0.29*	*16.90*	*0.14*	*0.18780*
11	38	18	**Ad4**	0.089	*1.20*	*4.00*	*28.09*	*1.60*	*0.49*	*0.81*	*16.90*	*0.16*	*0.18944*
12	39	19	**Ad5**	0.089	*1.14*	*6.82*	*24.72*	*1.36*	*0.84*	*1.43*	*16.90*	*0.21*	*0.19619*
13	40	20	**Ad6**	0.089	*1.14*	*6.36*	*24.72*	*1.36*	*0.82*	*1.77*	*16.90*	*0.21*	*0.19292*
14	41	21	**Ad7**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.75*	*1.03*	*16.90*	*0.15*	*0.16429*
15	42	22	**Ad8**	0.089	*1.25*	*3.25*	*22.47*	*1.25*	*0.71*	*0.83*	*16.90*	*0.19*	*0.16219*
16	43	23	**Ad9**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.68*	*16.90*	*0.18*	*0.16393*
17	44	24	**Ad10**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.24*	*16.90*	*0.15*	0.16433
18	45	25	**Ad11**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*0.67*	*16.90*	*0.14*	0.16715
19	46	27	**Ad13**	0.089	*1.12*	*2.80*	*28.09*	*1.00*	*0.54*	*0.96*	*16.90*	*0.15*	0.16784
20	47	28	**Ad14**	0.089	*1.00*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.56*	*0.83*	*16.90*	*0.14*	0.16850
21	48	29	**Ad15**	0.089	*1.10*	*3.75*	*21.74*	*1.00*	*1.02*	*1.64*	*16.90*	*0.15*	0.16458
22	49	30	**Ad16**	0.089	*1.10*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.86*	*2.35*	*16.90*	*0.15*	*0.16845*
23	50	31	**Ad17**	0.089	*1.25*	*3.75*	*17.98*	*1.56*	*1.24*	*1.53*	*16.90*	*0.19*	*0.17191*
24	51	32	**Ad18**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*0.73*	*16.90*	*0.15*	*0.18490*
25	52	33	**Ad19**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*1.47*	*16.90*	*0.17*	*0.18424*
26	53	34	**Ad20**	0.089	*1.14*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.10*	*1.19*	*16.90*	*0.19*	*0.17819*
27	54	35	**Ad21**	0.089	*1.11*	*4.44*	*18.95*	*1.67*	*1.25*	*1.71*	*16.90*	*0.22*	*0.18454*
28	55	36	**Ad22**	0.089	*1.28*	*3.61*	*18.95*	*1.67*	*0.89*	*0.56*	*16.90*	*0.20*	*0.16962*
29	56	38	**Oz3**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.44*	*15.00*	*0.14*	*0.14311*
30	57	39	**Oz4**	0.089	*1.25*	*4.50*	*22.47*	*1.50*	*0.76*	*0.66*	*15.00*	*0.20*	0.15636
31	58	40	**Oz5**	0.089	*1.11*	*3.33*	*30.34*	*1.11*	*0.47*	*0.47*	*15.00*	*0.17*	0.15850
32	59	30	**Oz7**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.70*	*0.88*	*15.00*	*0.12*	0.14659

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

* Tratamientos de la figura 46 y 47.

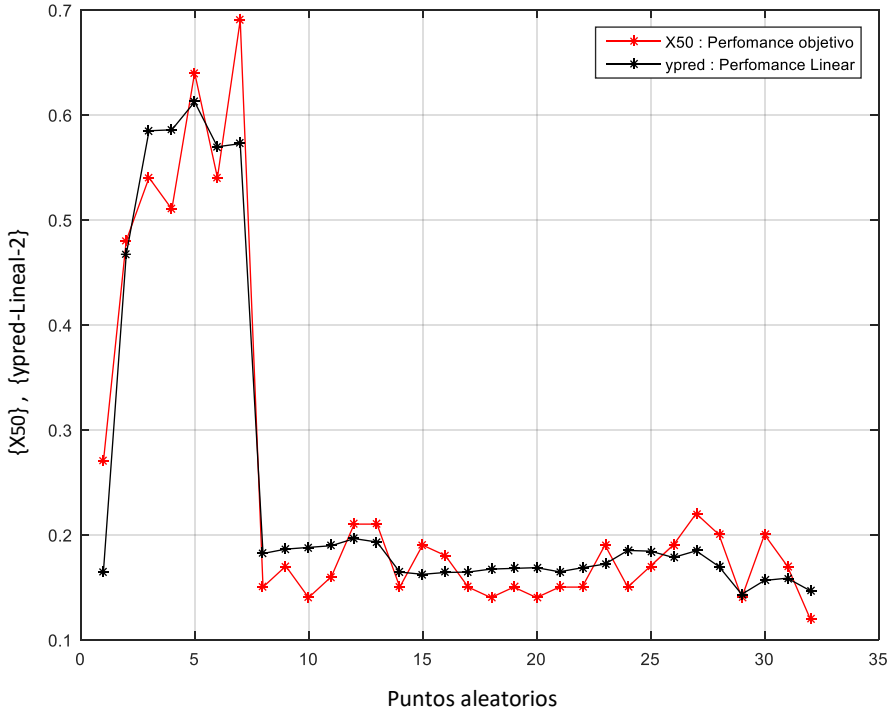

Figura 46. **Perfomance comparativo entre X_{50}, ypred-Lineal-2 & Puntos aleatorios.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

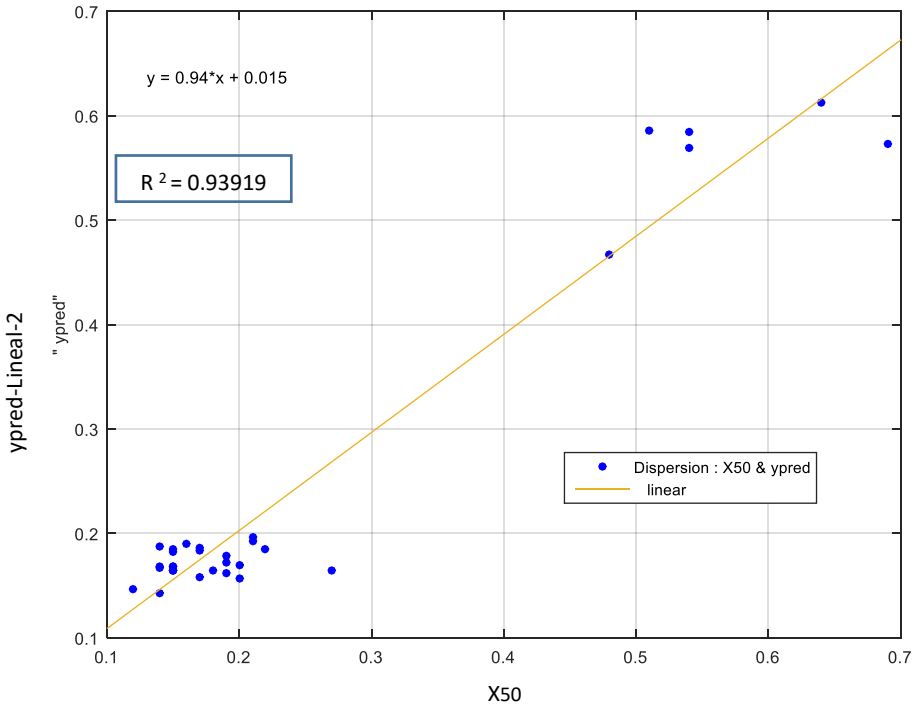

Figura 47. **Perfomance de la dispersión entre X_{50} & ypred-Lineal-2.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)
Leyenda: ypred-Lineal-2, (valor teórico predecido X50 de la Regresión Lineal).

4.18.1.- Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - Lineal 2.

Seguidamente se analizarán y determinaras los limites confianza al 95%, con el fin de determinar los intervalos de confianza y de la predicción lineal. Los resultados de los tratamientos se presentan en la tabla 45 y figura 48.

Tabla 45. **Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-Lineal-2}**

		X_{50}	ypred-Lineal-2	x^2	y^2	x*y	y pred[5]	Var +/-	Min1	Max1			Min2	Max2	
1	**Oz1**	0.27	0.16505	0.072900	0.027242	0.044564	0.26852	0.01444215	0.254	0.28296	0	0.08205	0.18647	0.35057	0
2	**Rc2**	0.48	0.46699	0.230400	0.218080	0.224155	0.46575	0.0252986	0.440	0.49105	1	0.08464	0.38111	0.55038	1
3	**Ru2**	0.54	0.58468	0.291600	0.341851	0.315727	0.52210	0.02986499	0.492	0.55196	0	0.08611	0.43599	0.60821	1
4	**Ru3**	0.51	0.58555	0.260100	0.342869	0.298631	0.49392	0.02754673	0.466	0.52147	0	0.08534	0.40859	0.57926	0
5	**Ru4**	0.64	0.61214	0.409600	0.374715	0.391770	0.61602	0.03793138	0.578	0.65395	1	0.08923	0.52679	0.70525	1
6	**Ru5**	0.54	0.56941	0.291600	0.324228	0.307481	0.52210	0.02986499	0.492	0.55196	0	0.08611	0.43599	0.60821	1
7	**Ru6**	0.69	0.57241	0.476100	0.327653	0.394963	0.66298	0.04209247	0.621	0.70507	0	0.09108	0.57190	0.75406	1
8	**Ad1**	0.15	0.182	0.022500	0.033124	0.027300	0.15581	0.01662718	0.139	0.17244	0	0.08246	0.07335	0.23828	1
9	**Ad2**	0.17	0.18619	0.028900	0.034667	0.031652	0.17460	0.01578824	0.159	0.19039	1	0.08230	0.09230	0.25690	1
10	**Ad3**	0.14	0.1878	0.019600	0.035269	0.026292	0.14642	0.01710095	0.129	0.16352	0	0.08256	0.06386	0.22898	1
11	**Ad4**	0.16	0.18944	0.025600	0.035888	0.030310	0.16521	0.01618863	0.149	0.18140	0	0.08237	0.08283	0.24758	1
12	**Ad5**	0.21	0.19619	0.044100	0.038491	0.041200	0.21217	0.01462652	0.198	0.22679	0	0.08208	0.13008	0.29425	1
13	**Ad6**	0.21	0.19292	0.044100	0.037218	0.040513	0.21217	0.01462652	0.198	0.22679	0	0.08208	0.13008	0.29425	1
14	**Ad7**	0.15	0.16429	0.022500	0.026991	0.024644	0.15581	0.01662718	0.139	0.17244	1	0.08246	0.07335	0.23828	1
15	**Ad8**	0.19	0.16219	0.036100	0.026306	0.030816	0.19338	0.01511376	0.178	0.20850	0	0.08217	0.11121	0.27555	1
16	**Ad9**	0.18	0.16393	0.032400	0.026873	0.029507	0.18399	0.01542897	0.169	0.19942	0	0.08223	0.10176	0.26622	1
17	**Ad10**	0.15	0.16433	0.022500	0.027004	0.024650	0.15581	0.01662718	0.139	0.17244	1	0.08246	0.07335	0.23828	1
18	**Ad11**	0.14	0.16715	0.019600	0.027939	0.023401	0.14642	0.01710095	0.129	0.16352	0	0.08256	0.06386	0.22898	1
19	**Ad13**	0.15	0.16784	0.022500	0.028170	0.025176	0.15581	0.01662718	0.139	0.17244	1	0.08246	0.07335	0.23828	1
20	**Ad14**	0.14	0.1685	0.019600	0.028392	0.023590	0.14642	0.01710095	0.129	0.16352	0	0.08256	0.06386	0.22898	1
21	**Ad15**	0.15	0.16458	0.022500	0.027087	0.024687	0.15581	0.01662718	0.139	0.17244	1	0.08246	0.07335	0.23828	1
22	**Ad16**	0.15	0.16845	0.022500	0.028375	0.025268	0.15581	0.01662718	0.139	0.17244	1	0.08246	0.07335	0.23828	1
23	**Ad17**	0.19	0.17191	0.036100	0.029553	0.032663	0.19338	0.01511376	0.178	0.20850	0	0.08217	0.11121	0.27555	1
24	**Ad18**	0.15	0.1849	0.022500	0.034188	0.027735	0.15581	0.01662718	0.139	0.17244	0	0.08246	0.07335	0.23828	1
25	**Ad19**	0.17	0.18424	0.028900	0.033944	0.031321	0.17460	0.01578824	0.159	0.19039	1	0.08230	0.09230	0.25690	1
26	**Ad20**	0.19	0.17819	0.036100	0.031752	0.033856	0.19338	0.01511376	0.178	0.20850	0	0.08217	0.11121	0.27555	1
27	**Ad21**	0.22	0.18454	0.048400	0.034055	0.040599	0.22156	0.01445932	0.207	0.23602	0	0.08205	0.13951	0.30361	1
28	**Ad22**	0.2	0.16962	0.040000	0.028771	0.033924	0.20277	0.01484542	0.188	0.21762	0	0.08212	0.12065	0.28490	1
29	**Oz3**	0.14	0.14311	0.019600	0.020480	0.020035	0.14642	0.01710095	0.129	0.16352	1	0.08256	0.06386	0.22898	1
30	**Oz4**	0.2	0.15636	0.040000	0.024448	0.031272	0.20277	0.01484542	0.188	0.21762	0	0.08212	0.12065	0.28490	1
31	**Oz5**	0.17	0.1585	0.028900	0.025122	0.026945	0.17460	0.01578824	0.159	0.19039	0	0.08230	0.09230	0.25690	1
32	**Oz7**	0.12	0.14659	0.014400	0.021489	0.017591	0.12764	0.01814291	0.109	0.14578	0	0.08278	0.04486	0.21042	1
									10 (31.25 %)				**29** (90.625%)		

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016). Leyenda: ypred[5] (valor de ajuste de la Regresión Lineal ypred-Lineal-2).
Min1, Max1 (Intervalos de Confianza) & Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción).
Nota. De la tabla 45, se observa que solo 10 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95%, de un total de 32 datas. Por lo tanto, su IEDIC será:31.25%

Los resultados de los tratamientos se especifican en la figura 48.

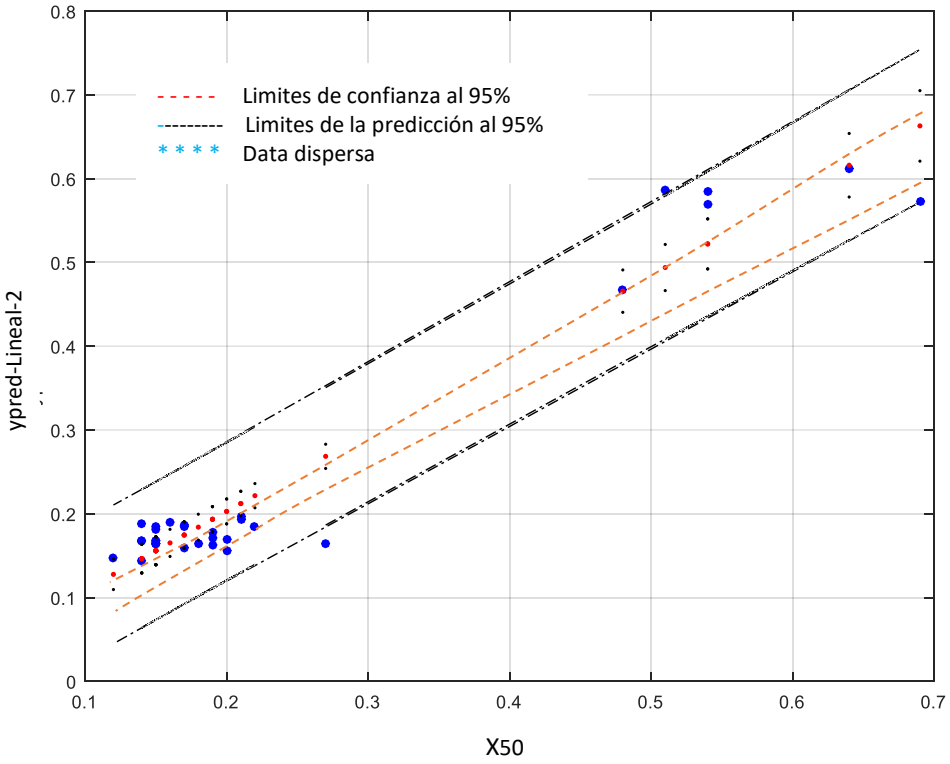

Figura 48. **Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%. A la data dispersa entre X50 & ypred-Lineal-2**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).

4.19.- Modelo heurístico de ANN-2 & determinación de la fragmentación Predecida.

* Los resultados de los tratamientos se especifican en la tabla 46, figura 49 y 50

Tabla 46. **Determinando la fragmentación mediante el Modelo "ANN"**

		Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	ypred ANN-2
1	28	19	**Oz1**	0.089	*1.00*	*2.83*	*33.71*	*1.00*	*0.48*	*0.45*	*15.00*	*0.27*	0.26948
2	29	2	**Rc2**	0.165	*1.17*	*1.50*	*26.20*	*1.12*	*0.30*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	0.47919
3	30	8	**Ru2**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.67*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	0.53938
4	31	9	**Ru3**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.70*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.51*	0.51151
5	32	10	**Ru4**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*4.67*	*0.22*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	0.64014
6	33	11	**Ru5**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.11*	*0.35*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	0.54393
7	34	12	**Ru6**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.22*	*0.34*	*2.00*	*45.00*	*0.69*	0.68656
8	35	15	**Ad1**	0.089	*1.20*	*4.40*	*28.09*	*1.20*	*0.58*	*0.77*	*16.90*	*0.15*	0.15201
9	36	16	**Ad2**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.66*	*0.56*	*16.90*	*0.17*	*0.16667*
10	37	17	**Ad3**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.72*	*0.29*	*16.90*	*0.14*	*0.14116*
11	38	18	**Ad4**	0.089	*1.20*	*4.00*	*28.09*	*1.60*	*0.49*	*0.81*	*16.90*	*0.16*	*0.16008*
12	39	19	**Ad5**	0.089	*1.14*	*6.82*	*24.72*	*1.36*	*0.84*	*1.43*	*16.90*	*0.21*	*0.20941*
13	40	20	**Ad6**	0.089	*1.14*	*6.36*	*24.72*	*1.36*	*0.82*	*1.77*	*16.90*	*0.21*	*0.21021*
14	41	21	**Ad7**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.75*	*1.03*	*16.90*	*0.15*	*0.15006*
15	42	22	**Ad8**	0.089	*1.25*	*3.25*	*22.47*	*1.25*	*0.71*	*0.83*	*16.90*	*0.19*	*0.18907*
16	43	23	**Ad9**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.68*	*16.90*	*0.18*	*0.17824*
17	44	24	**Ad10**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.24*	*16.90*	*0.15*	0.15247
18	45	25	**Ad11**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*0.67*	*16.90*	*0.14*	0.13991
19	46	27	**Ad13**	0.089	*1.12*	*2.80*	*28.09*	*1.00*	*0.54*	*0.96*	*16.90*	*0.15*	0.14844
20	47	28	**Ad14**	0.089	*1.00*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.56*	*0.83*	*16.90*	*0.14*	0.14050
21	48	29	**Ad15**	0.089	*1.10*	*3.75*	*21.74*	*1.00*	*1.02*	*1.64*	*16.90*	*0.15*	0.14776

22	49	30	**Ad16**	0.089	*1.10*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.86*	*2.35*	*16.90*	*0.15*	0.15152
23	50	31	**Ad17**	0.089	*1.25*	*3.75*	*17.98*	*1.56*	*1.24*	*1.53*	*16.90*	*0.19*	0.19106
24	51	32	**Ad18**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*0.73*	*16.90*	*0.15*	0.15073
25	52	33	**Ad19**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*1.47*	*16.90*	*0.17*	0.17108
26	53	34	**Ad20**	0.089	*1.14*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.10*	*1.19*	*16.90*	*0.19*	0.18961
27	54	35	**Ad21**	0.089	*1.11*	*4.44*	*18.95*	*1.67*	*1.25*	*1.71*	*16.90*	*0.22*	0.21917
28	55	36	**Ad22**	0.089	*1.28*	*3.61*	*18.95*	*1.67*	*0.89*	*0.56*	*16.90*	*0.20*	0.19988
29	56	38	**Oz3**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.44*	*15.00*	*0.14*	0.13985
30	57	39	**Oz4**	0.089	*1.25*	*4.50*	*22.47*	*1.50*	*0.76*	*0.66*	*15.00*	*0.20*	0.20012
31	58	40	**Oz5**	0.089	*1.11*	*3.33*	*30.34*	*1.11*	*0.47*	*0.47*	*15.00*	*0.17*	0.17031
32	59	30	**Oz7**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.70*	*0.88*	*15.00*	*0.12*	0.12055

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).
Leyenda: ypred-ANN-2 (Valor teórico predecido de X_{50}, mediante Redes Neuronales)

Cabe mencionar que los resultados de la predicción X_{50} teórico {ypred-ANN-2}, fueron hechas mediante un promedio de 6 corridas. Que se exponen en los Anexos (A-2)

* Tratamientos de la figura 49 y 50.

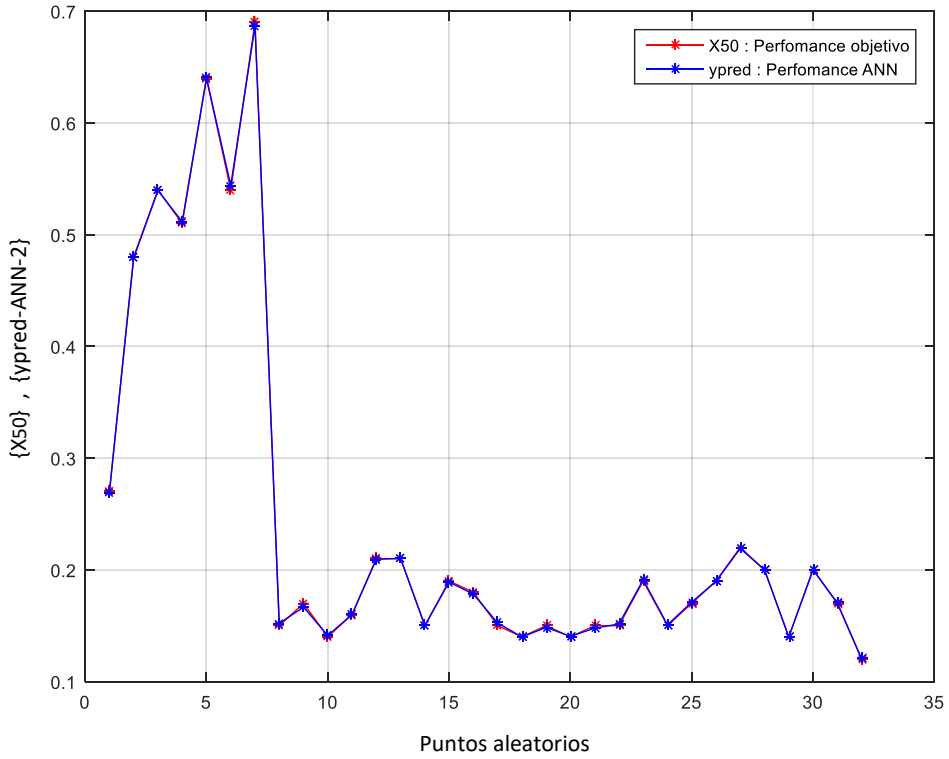

Figura 49. **Perfomance comparativo entre X_{50}, ypred-ANN-2 & Puntos aleatorios.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).

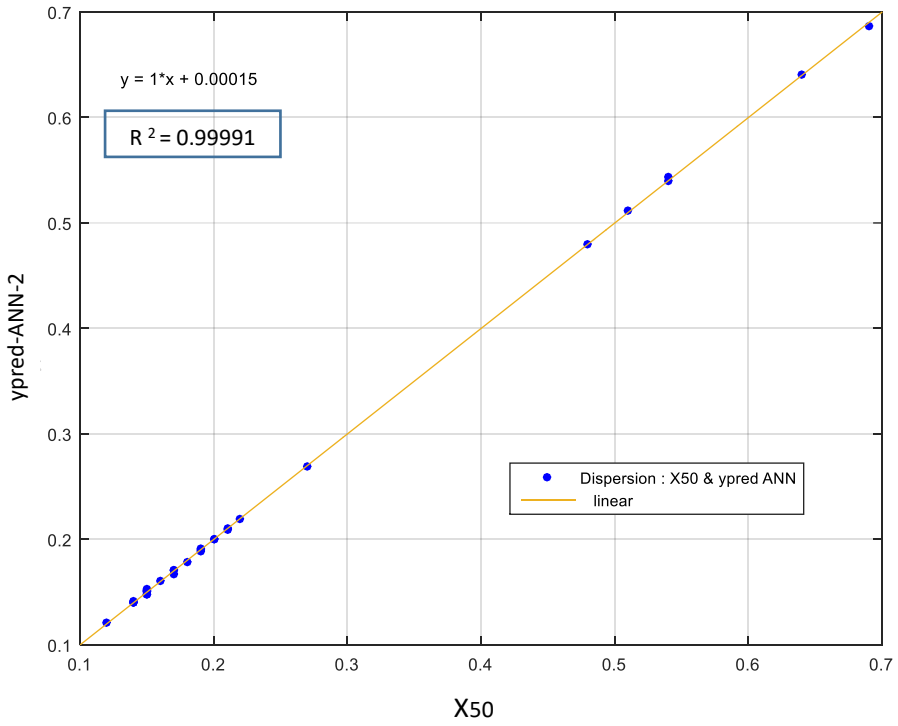

Figura 50. **Perfomance de la dispersión entre X_{50} & ypred-ANN-2.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).
Leyenda: ypred-ANN-2 (Valor teórico predecido de X50, mediante Redes Neuronales)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura.

Figura 49. Dicha figura representa el ploteo de la variable de la {X50} y la variable predecida de Redes Neuronales {ypred-ANN-2} en función a una variable aleatoria numérica de 32 números {1, 2, 3, , , ,32}, la finalidad determinar su variabilidad en cada punto de la gráfica y su posible secuencia correlacional.

Figura 50. Dicha figura representa el ploteo de la dispersión entre la variable {X50} y la variable predecida de Redes Neuronales {ypred-ANN-2}, la finalidad de dicho ploteo es ajustar las datas a una función lineal y asi determinar su coeficiente determinación "R^2", indicador que ayudara a determinar el modelo óptimo.

4.19.1.- Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - ANN 2.

Seguidamente se analizarán y determinaras los limites confianza al 95%, con el fin de determinar los intervalos de confianza y de la predicción, para el modelo de Redes Neuronales del Grupo 2. A continuación, se presentan los resultados de los tratamientos en la tabla 47 y figura 51.

Tabla 47. **Determinación de los Limites de Confianza e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-ANN-2}.**

		X_{50}	ypred-ANN-2	x^2	y^2	x*y	y pred[6]	Var +/-	Min1	Max1			Min2	Max2	
1	Oz1	0.27	0.26948	0.072900	0.072619	0.072760	0.26999	0.00056434	0.26942	0.27055	1	0.00321	0.26678	0.27319	1
2	Rc2	0.48	0.479191667	0.230400	0.229625	0.230012	0.47986	0.00098856	0.47887	0.48085	1	0.00331	0.47655	0.48316	1
3	Ru2	0.54	0.539378333	0.291600	0.290929	0.291264	0.53982	0.001167	0.53865	0.54099	1	0.00336	0.53646	0.54319	1
4	Ru3	0.51	0.511506667	0.260100	0.261639	0.260868	0.50984	0.00107641	0.50876	0.51092	0	0.00333	0.50650	0.51317	1
5	Ru4	0.64	0.64014	0.409600	0.409779	0.409690	0.63976	0.0014822	0.63828	0.64124	1	0.00349	0.63627	0.64325	1
6	Ru5	0.54	0.543931667	0.291600	0.295862	0.293723	0.53982	0.001167	0.53865	0.54099	0	0.00336	0.53646	0.54319	0
7	Ru6	0.69	0.686558333	0.476100	0.471362	0.473725	0.68973	0.0016448	0.68808	0.69137	0	0.00356	0.68617	0.69329	1
8	Ad1	0.15	0.152011667	0.022500	0.023108	0.022802	0.15006	0.00064972	0.14941	0.15071	0	0.00322	0.14684	0.15328	1
9	Ad2	0.17	0.166668333	0.028900	0.027778	0.028334	0.17005	0.00061694	0.16943	0.17066	0	0.00322	0.16683	0.17326	0
10	Ad3	0.14	0.14116	0.019600	0.019926	0.019762	0.14007	0.00066823	0.13940	0.14073	0	0.00323	0.13684	0.14329	1
11	Ad4	0.16	0.160076667	0.025600	0.025625	0.025612	0.16005	0.00063258	0.15942	0.16069	1	0.00322	0.15683	0.16327	1
12	Ad5	0.21	0.209405	0.044100	0.043850	0.043975	0.21002	0.00057154	0.20945	0.21059	0	0.00321	0.20682	0.21323	1
13	Ad6	0.21	0.210205	0.044100	0.044186	0.044143	0.21002	0.00057154	0.20945	0.21059	1	0.00321	0.20682	0.21323	1
14	Ad7	0.15	0.150058333	0.022500	0.022518	0.022509	0.15006	0.00064972	0.14941	0.15071	1	0.00322	0.14684	0.15328	1
15	Ad8	0.19	0.189066667	0.036100	0.035746	0.035923	0.19003	0.00059058	0.18944	0.19063	0	0.00321	0.18682	0.19325	1
16	Ad9	0.18	0.178243333	0.032400	0.031771	0.032084	0.18004	0.0006029	0.17944	0.18064	0	0.00321	0.17683	0.18325	1
17	Ad10	0.15	0.152468333	0.022500	0.023247	0.022870	0.15006	0.00064972	0.14941	0.15071	0	0.00322	0.14684	0.15328	1
18	Ad11	0.14	0.139908333	0.019600	0.019574	0.019587	0.14007	0.00066823	0.13940	0.14073	1	0.00323	0.13684	0.14329	1
19	Ad13	0.15	0.148438333	0.022500	0.022034	0.022266	0.15006	0.00064972	0.14941	0.15071	0	0.00322	0.14684	0.15328	1
20	Ad14	0.14	0.140498333	0.019600	0.019740	0.019670	0.14007	0.00066823	0.13940	0.14073	1	0.00323	0.13684	0.14329	1
21	Ad15	0.15	0.147763333	0.022500	0.021834	0.022165	0.15006	0.00064972	0.14941	0.15071	0	0.00322	0.14684	0.15328	1
22	Ad16	0.15	0.151518333	0.022500	0.022958	0.022728	0.15006	0.00064972	0.14941	0.15071	0	0.00322	0.14684	0.15328	1
23	Ad17	0.19	0.19106	0.036100	0.036504	0.036301	0.19003	0.00059058	0.18944	0.19063	0	0.00321	0.18682	0.19325	1
24	Ad18	0.15	0.150726667	0.022500	0.022719	0.022609	0.15006	0.00064972	0.14941	0.15071	0	0.00322	0.14684	0.15328	1
25	Ad19	0.17	0.171075	0.028900	0.029267	0.029083	0.17005	0.00061694	0.16943	0.17066	0	0.00322	0.16683	0.17326	1
26	Ad20	0.19	0.189613333	0.036100	0.035953	0.036027	0.19003	0.00059058	0.18944	0.19063	1	0.00321	0.18682	0.19325	1
27	Ad21	0.22	0.219166667	0.048400	0.048034	0.048217	0.22002	0.00056501	0.21945	0.22058	0	0.00321	0.21681	0.22322	1
28	Ad22	0.2	0.199878333	0.040000	0.039951	0.039976	0.20003	0.0005801	0.19945	0.20061	1	0.00321	0.19682	0.20324	1
29	Oz3	0.14	0.139853333	0.019600	0.019559	0.019579	0.14007	0.00066823	0.13940	0.14073	1	0.00323	0.13684	0.14329	1
30	Oz4	0.2	0.200118333	0.040000	0.040047	0.040024	0.20003	0.0005801	0.19945	0.20061	1	0.00321	0.19682	0.20324	1
31	Oz5	0.17	0.170306667	0.028900	0.029004	0.028952	0.17005	0.00061694	0.16943	0.17066	1	0.00322	0.16683	0.17326	1
32	Oz7	0.12	0.12055	0.014400	0.014532	0.014466	0.12008	0.00070895	0.11937	0.12079	1	0.00323	0.11684	0.12331	1
									15 (46.88 %)				**29** (90.625%)		

Fuente. Elaboración propia. (Excel 2016). Leyenda: ypred[6] (valor de ajuste a la variable ypred-ANN-2).
Min1, Max1 (Intervalos de Confianza al 95%) & Min2, Max2 (Limites de la Predicción al 95%)
Nota. De la tabla 47, se observa que solo 15 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95%. De un total de 32 datas. Por lo tanto, su IEDIC será:46.88%

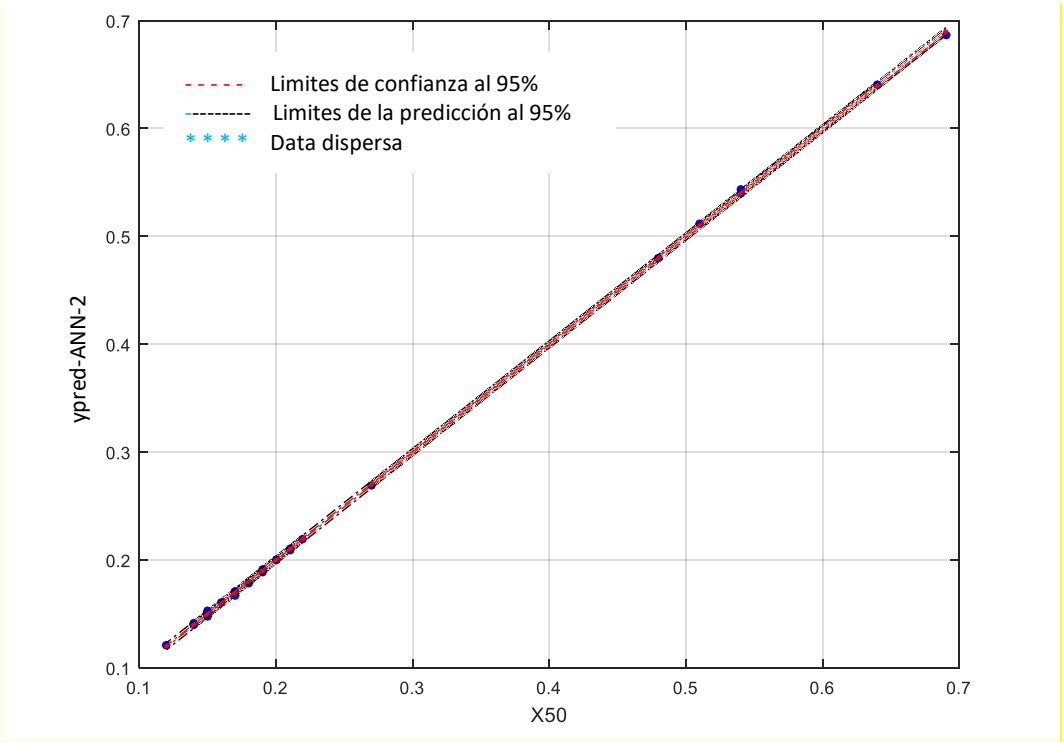

Figura 51. **Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%, a la data dispersa de {X50 & ypred-ANN-2}.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).
Leyenda: Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción)

4.20.- Resumen del grupo 2. Optimización en función a la dispersión de la data.
* Los resultados de los tratamientos se presentan en la figura 52.

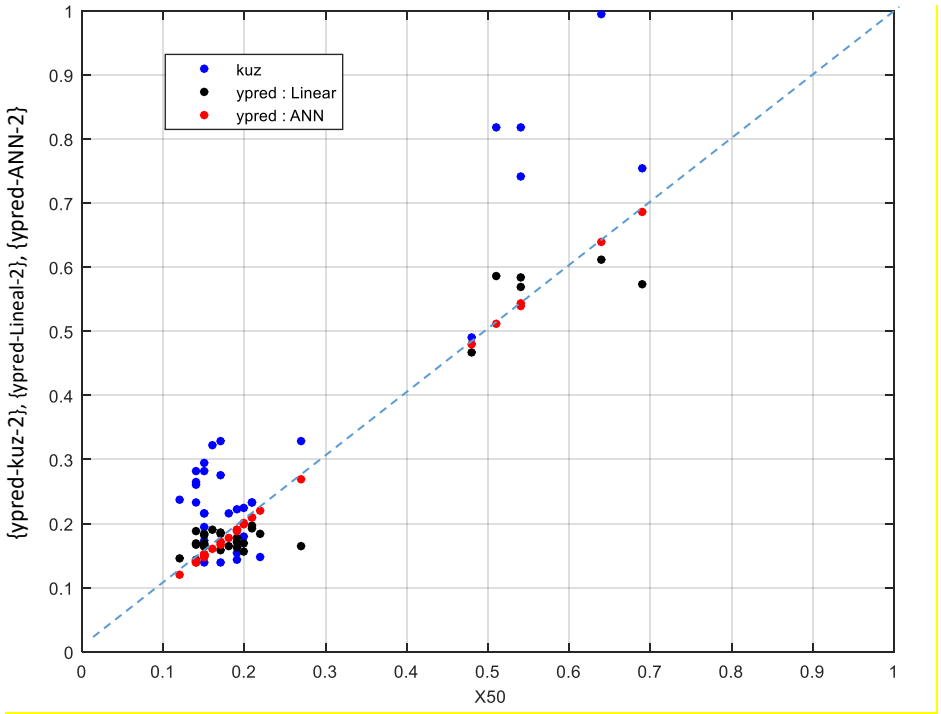

Figura 52. **Ploteo de la data dispersa, entre X_{50} & kuz-2, Lineal-2, ANN-2**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura:

Figura 51. Dicha figura presenta los Limites de Confianza y de la Predicción al 95%, el resultado del tratamiento del modelo, presenta un ajuste mucho más adecuada, donde se verifica que la data dispersa, se alinea dentro de los limites de confianza.

Figura 52. Dicha figura representa la perfomace general de la variable de la {X_{50}} en función a todas las variables predecidas por los modelos de:

a.- kuznetsov, (ypred-kuz-2),

b.- Lineal (ypred-Lineal-2) &

c.- Redes Neuronales (ypred-ANN-2),

Donde se aprecia el modelo que tiene el mejor ajuste con la Funcion Objetivo.

Análogamente se aprecia de dicha figura, que la data de Redes Neuronales es la que presenta el mejor ajuste, por lo tanto, se considera como el óptimo de los modelos.

4.20.1.- **Resumen del grupo 2.**

La presente tabla 48, se describe como el copilado de los modelos ypred-kuznetsov 2, ypred-Lineal 2 & ypred-ANN 2, adheridos a estos la clasificación determinada por los Limites de Confianza al 95%. La finalidad es mostrar en una sola tabla, todos los Parámetros utilizados para el cálculo y sus variabilidades.

A continuación, se presenta los resultados de dicho tratamiento.

Tabla 48. **Resumen de los métodos kuz-2, Lineal-2, ANN-2, en función a sus Límites de Confianza de 95%**

	Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X50-2	ypred-kuz-2	ypred-Lineal-2	ypred-ANN-2		Kuz2	Linea2	ANN2
28	19	**Oz1**	0.089	*1.00*	*2.83*	*33.71*	*1.00*	*0.48*	*0.45*	*15.00*	*0.27*	55.556	1	0.270	0.327908495	0.16505	0.2695	1	0	0	1
29	2	**Rc2**	0.165	*1.17*	*1.50*	*26.20*	*1.12*	*0.30*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	93.750	2	0.480	0.489510498	0.46699	0.4792	2	0	1	1
30	8	**Ru2**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.67*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	83.333	2	0.540	0.817513562	0.58468	0.5394	3	0	0	1
31	9	**Ru3**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.70*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.51*	88.235	2	0.510	0.817513562	0.58555	0.5115	4	0	0	0
32	10	**Ru4**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*4.67*	*0.22*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	70.313	2	0.640	0.994956429	0.61214	0.6401	5	0	1	1
33	11	**Ru5**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.11*	*0.35*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	83.333	2	0.540	0.741472985	0.56941	0.5439	6	1	0	0
34	12	**Ru6**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.22*	*0.34*	*2.00*	*45.00*	*0.69*	65.217	2	0.690	0.755211243	0.57241	0.6866	7	0	0	0
35	15	**Ad1**	0.089	*1.20*	*4.40*	*28.09*	*1.20*	*0.58*	*0.77*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.150	0.294604107	0.182	0.1520	8	0	0	0
36	16	**Ad2**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.66*	*0.56*	*16.90*	*0.17*	99.412	2	0.170	0.275420837	0.18619	0.1667	9	0	1	0
37	17	**Ad3**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.72*	*0.29*	*16.90*	*0.14*	120.714	2	0.140	0.260653787	0.1878	0.1412	10	0	0	0
38	18	**Ad4**	0.089	*1.20*	*4.00*	*28.09*	*1.60*	*0.49*	*0.81*	*16.90*	*0.16*	105.625	2	0.160	0.3226415	0.18944	0.1601	11	0	0	1
39	19	**Ad5**	0.089	*1.14*	*6.82*	*24.72*	*1.36*	*0.84*	*1.43*	*16.90*	*0.21*	80.476	2	0.210	0.233143812	0.19619	0.2094	12	0	0	0
40	20	**Ad6**	0.089	*1.14*	*6.36*	*24.72*	*1.36*	*0.82*	*1.77*	*16.90*	*0.21*	80.476	2	0.210	0.233990086	0.19292	0.2102	13	0	0	1
41	21	**Ad7**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.75*	*1.03*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.150	0.216997176	0.16429	0.1501	14	1	1	1
42	22	**Ad8**	0.089	*1.25*	*3.25*	*22.47*	*1.25*	*0.71*	*0.83*	*16.90*	*0.19*	88.947	2	0.190	0.221904009	0.16219	0.1891	15	0	0	0
43	23	**Ad9**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.68*	*16.90*	*0.18*	93.889	2	0.180	0.215184478	0.16393	0.1782	16	1	0	0
44	24	**Ad10**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.24*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.150	0.215184478	0.16433	0.1525	17	1	1	0
45	25	**Ad11**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*0.67*	*16.90*	*0.14*	120.714	2	0.140	0.232543109	0.16715	0.1399	18	0	0	1
46	27	**Ad13**	0.089	*1.12*	*2.80*	*28.09*	*1.00*	*0.54*	*0.96*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.150	0.282607815	0.16784	0.1484	19	0	1	0
47	28	**Ad14**	0.089	*1.00*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.56*	*0.83*	*16.90*	*0.14*	120.714	2	0.140	0.26413158	0.1685	0.1405	20	0	0	1
48	29	**Ad15**	0.089	*1.10*	*3.75*	*21.74*	*1.00*	*1.02*	*1.64*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.150	0.173959703	0.16458	0.1478	21	1	1	0
49	30	**Ad16**	0.089	*1.10*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.86*	*2.35*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.150	0.194785956	0.16845	0.1515	22	1	1	0
50	31	**Ad17**	0.089	*1.25*	*3.75*	*17.98*	*1.56*	*1.24*	*1.53*	*16.90*	*0.19*	88.947	2	0.190	0.142805958	0.17191	0.1911	23	0	0	0
51	32	**Ad18**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*0.73*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.150	0.139352619	0.1849	0.1507	24	0	0	0
52	33	**Ad19**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*1.47*	*16.90*	*0.17*	99.412	2	0.170	0.139352619	0.18424	0.1711	25	0	1	0
53	34	**Ad20**	0.089	*1.14*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.10*	*1.19*	*16.90*	*0.19*	88.947	2	0.190	0.155221517	0.17819	0.1896	26	0	0	1
54	35	**Ad21**	0.089	*1.11*	*4.44*	*18.95*	*1.67*	*1.25*	*1.71*	*16.90*	*0.22*	76.818	2	0.220	0.14708699	0.18454	0.2192	27	0	0	0
55	36	**Ad22**	0.089	*1.28*	*3.61*	*18.95*	*1.67*	*0.89*	*0.56*	*16.90*	*0.20*	84.500	2	0.200	0.180442486	0.16962	0.1999	28	0	0	1
56	38	**Oz3**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.44*	*15.00*	*0.14*	107.143	2	0.140	0.281943165	0.14311	0.1399	29	0	1	1
57	39	**Oz4**	0.089	*1.25*	*4.50*	*22.47*	*1.50*	*0.76*	*0.66*	*15.00*	*0.20*	75.000	2	0.200	0.224389063	0.15636	0.2001	30	0	0	1
58	40	**Oz5**	0.089	*1.11*	*3.33*	*30.34*	*1.11*	*0.47*	*0.47*	*15.00*	*0.17*	88.235	2	0.170	0.329611243	0.1585	0.1703	31	0	0	1
59	30	**Oz7**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.70*	*0.88*	*15.00*	*0.12*	125.000	3	0.120	0.236396402	0.14659	0.1206	32	0	0	1
																	(Total de valores dentro del Intervalos de Confianza al 95%)	→	**6**	**10**	**15**

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda : Limites de Confianza al 95% (también llamados IC: Intervalos de Confianza) & {X50-2}, es la Función Objetivo del Grupo 2

Interpretación. La tabla 48 presenta al final de cada fila, un resumen de la clasificación de las datas que se encuentran dentro de los intervalos de confianza al 95%, la leyenda utilizada es :

1 : *Significa que la data se encuentra dentro del Intervalo de Confianza*

0 : *Significa que la data No se encuentra dentro del Intervalo de Confianza.*

Cabe mencionar que dicho indicador servirá como referente para comparar la efectividad de cada modelo en función a la data objetivo.

4.20.2.- Box Plot en función a los modelos del Grupo 2. A continuación en la figura 53, se presenta la performance general del Grupo 2, en función a la data objetivo "X50-2" y los modelos: predecidos teóricos de: {ypred-Kuznetsov-2}, {ypred-Linear-2} y {ypred-ANN-2}.

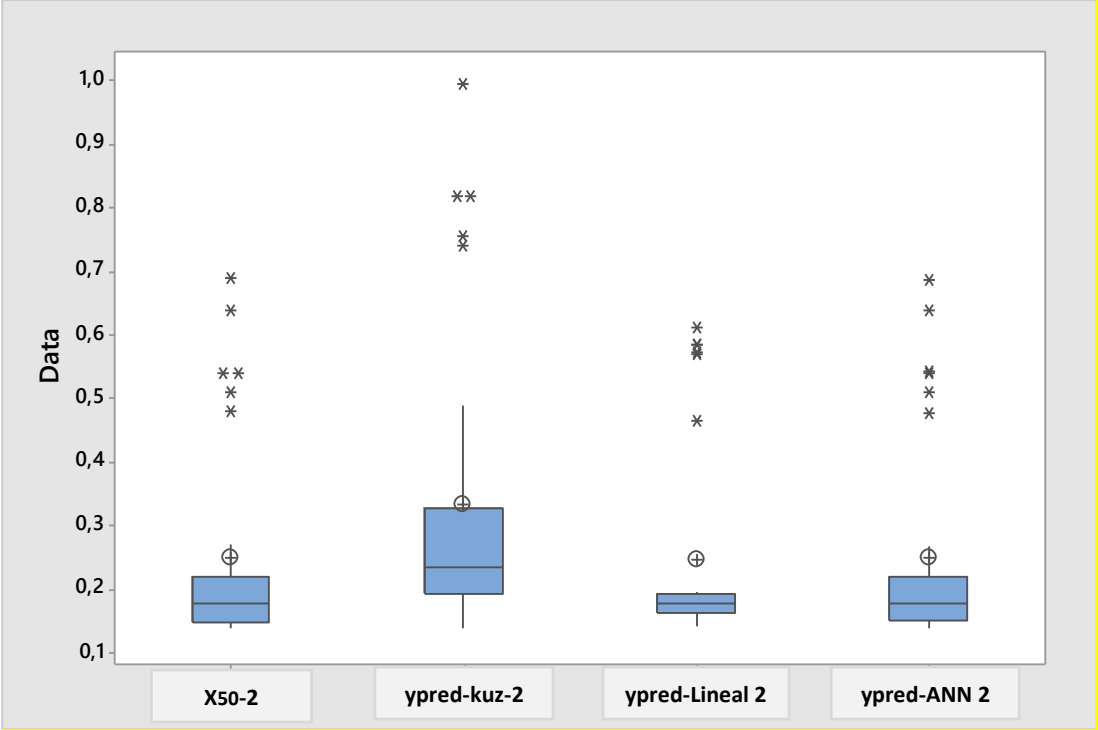

Figura 53. **Performance Box Plot, de los Modelos {ypred-Kuz 2}, {ypred-Linear-2}, {ypred-ANN2}, en función a {X50}**
Fuente. Elaboración propia, (Software Minitab V17).

Interpretación. De los resultados del tratamiento de los diagramas de caja "Box Plot", se verifica que el mejor resultado de aproximación a la función objetivo {X50-2}, pertenece al modelo de ypred-ANN-2. Asi mismo, se observa que dicho diagrama de caja, presentan outlier.

4.20.3.- Perfomance en base a los modelos del grupo 2.

La performance en dicho grupo esta conformada por los siguientes índices de optimización mostradas en la tabla 49.

Tabla 49. **Cuadro resumen de la perfomance del Grupo 2**

Modelo	Variables Ajustadas	Ecuación de Ajuste	Coeficiente Determinación	MAE	RMSE
Kuz	X50 & ypred-kuz-2	fx = 1.3089x+0.0085	R² = 0.8548	0.0750	0.0893
MVR	X50 & ypred-Linear-2	fx = 0.9392x+0.0149	R² = 0.9392	0.0286	0.0395
ANN	X50-ypred-ANN-2	fx = 0.9994x+0.0002	R² = 0.9999	0.0011	0.0015

Fuente : Elaboración propia, (Excel 2016).

Interpretación. Del cuadro resumen de la performance de la tabla 49 del grupo 2. Se determina que el modelo más óptimo pertenece a “ypred-ANN-2”, debido a que tiene un R^2= 0.9999, MAE = 0.0011 y RMSE = 0.015.

Grupo 3. A continuación, se desarrollarán los test para dicho grupo.

4.21.- Análisis y tratamiento de la varianza de un factor.

Las variables utilizadas para el siguiente tratamiento de análisis de varianzas (ANOVA), son: 1{S/B}, 2{H/B}, 3{B/D}, 4{T/B}, 5{Pf}, 6{XB} y 7{E}. Los resultados de dicho tratamiento se presentan en la siguiente tabla 50.

Tabla 50. **Analisis de Varianzas**

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	66947.6	6	11157.9	456.0806	2E-117	2.1419432
Dentro de los grupos	5137.61	210	24.4648			
Total	72085.2	216				

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Interpretación : En dicho tratamiento, se aprecia que el p-valor = 2E-117, es menor que (0.05), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (Ha), lo que indica que si es aceptable hacer un análisis inferencial, a los datos del presente grupo 3

4.22.- Test del Alpha de Cronbach.

El resultado de dicho tratamiento, proporciona un Alpha de Cronbach de (α = -2.304 para 7 variables {S/B}, {H/B}, {B/D}, {T/B}, {Pf}, {XB}, & {E}, por lo tanto, se concluye que la muestra tiene un índice de mala correlación.

4.23.- Box Plot

El diagrama de caja box plot, es una representación gráfica de la variabilidad estadística de los datos por variables en función a su cuartiles, Las variables utilizadas para el siguiente tratamiento son: 1{S/B}, 2{H/B}, 3{B/D}, 4{T/B}, 5{Pf}, 6{XB}, 7{E} y 7{X_{50}}.

A continuación en la figura 54, se presenta los resultados de los tratamientos descritos del grupo 3.

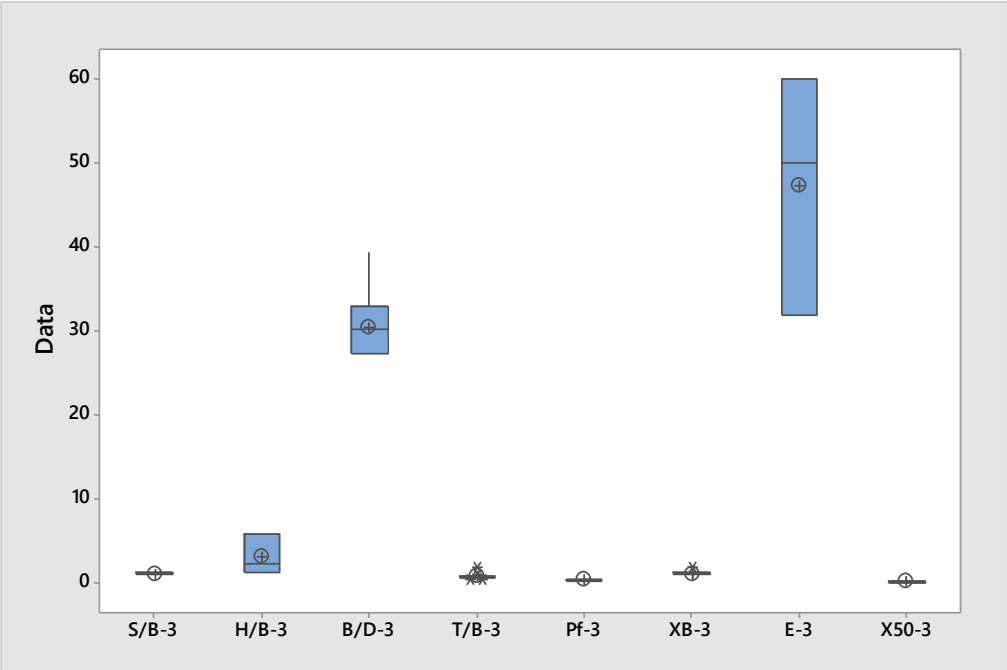

Figura 54. **Perfomance Box Plot, grupo 3,**
Fuente. Elaboración propia, (software Minitab V17).

Interpretación: De la figura del diagrama de caja, se interpreta que la variable {E} tiene la data más dispersa, análogamente la variable {B/D} tiene una dispersión menor que {E}

4.24.- Análisis de Componentes Principales, al Grupo 3.

La finalidad del presente análisis tiene como objetivo determinar mediante la técnica de descomposición espectral, que variable es la que aporta mayor información en el sistema matricial. A continuación, se presenta los resultados del tratamiento.

4.24.1.- **Matriz de varianzas y covarianzas poblacional "S-3"**

0.0112120	0.0433800	-0.0005945	-0.0034697	-0.0095155	0.0052223	-0.1555100
0.0433800	4.1898000	6.1717000	-0.1236200	-0.0176270	0.4153300	-24.7830000
-0.0005945	6.1717000	14.6300000	-0.0696170	-0.1117600	0.6582500	-37.8890000
-0.0034697	-0.1236200	-0.0696170	0.0638530	-0.0074160	0.0314440	1.1585000
-0.0095155	-0.0176270	-0.1117600	-0.0074160	0.0151820	-0.0100250	0.0056559
0.0052223	0.4153300	0.6582500	0.0314440	-0.0100250	0.1179400	-2.1492000
-0.1555100	-24.7830000	-37.8890000	1.1585000	0.0056559	-2.1492000	152.2300000

Autovectores de "S-3"

-0.00093639	-0.00812340	-0.07609100	0.20897000	0.54555000	-0.13830000	0.79607000
-0.15589000	-0.03912700	-0.76883000	0.51885000	-0.03189700	0.30760000	-0.13497000
-0.24579000	0.96785000	0.02942400	0.02354600	0.00768350	0.03636000	0.00727020
0.00689320	0.04519700	-0.39121000	-0.13461000	-0.53951000	-0.68841000	0.24854000
0.00021516	-0.02177600	0.08517800	-0.13265000	-0.56282000	0.61015000	0.53445000
-0.01375500	0.02123000	-0.47654000	-0.80275000	0.30567000	0.18517000	-0.01192800
0.95658000	0.24229000	-0.12186000	0.08026700	0.00571970	0.06682200	-0.02143200

Autovalores de “S-3”

166.04
4.9092
0.22624
0.047336
0.023211
0.0077372
0.00048839

Proporción parcial de “S-3”

0.96955
0.028666
0.0013211
0.00027641
0.00013554
4.52E-05
2.85E-06

Proporción acum. de “S-3”

0.96955
0.99822
0.99954
0.99982
0.99995
1
1

Matriz de Cargas de “S-3”

-0.0120660	-0.0179990	-0.0361920	0.0454660	0.0831160	-0.0121650	0.0175930
-2.0087000	-0.0866930	-0.3656900	0.1128900	-0.0048596	0.0270570	-0.0029829
-3.1672000	2.1444000	0.0139950	0.0051229	0.0011706	0.0031983	0.0001607
0.0888230	0.1001400	-0.1860800	-0.0292870	-0.0821950	-0.0605530	0.0054927
0.0027725	-0.0482490	0.0405150	-0.0288610	-0.0857460	0.0536690	0.0118110
-0.1772400	0.0470390	-0.2266600	-0.1746500	0.0465690	0.0162880	-0.0002636
12.3260000	0.5368300	-0.0579620	0.0174640	0.0008714	0.0058777	-0.0004736

Comunalidad

0.011212
4.1898
14.63
0.063853
0.015182
0.11794
152.23

*** Los resultados de los tratamientos centrados se especifican en la figura 55, 56 y 57.**

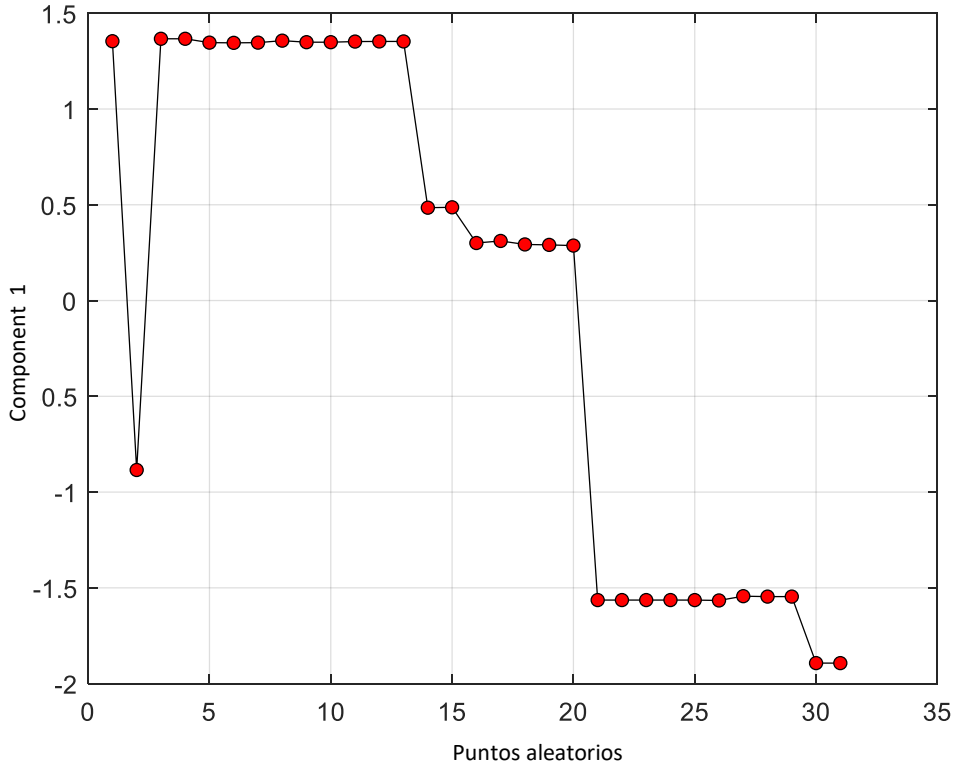

Figura 55. **Perfomance de la 1ra. Componente Principal de "S-3"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

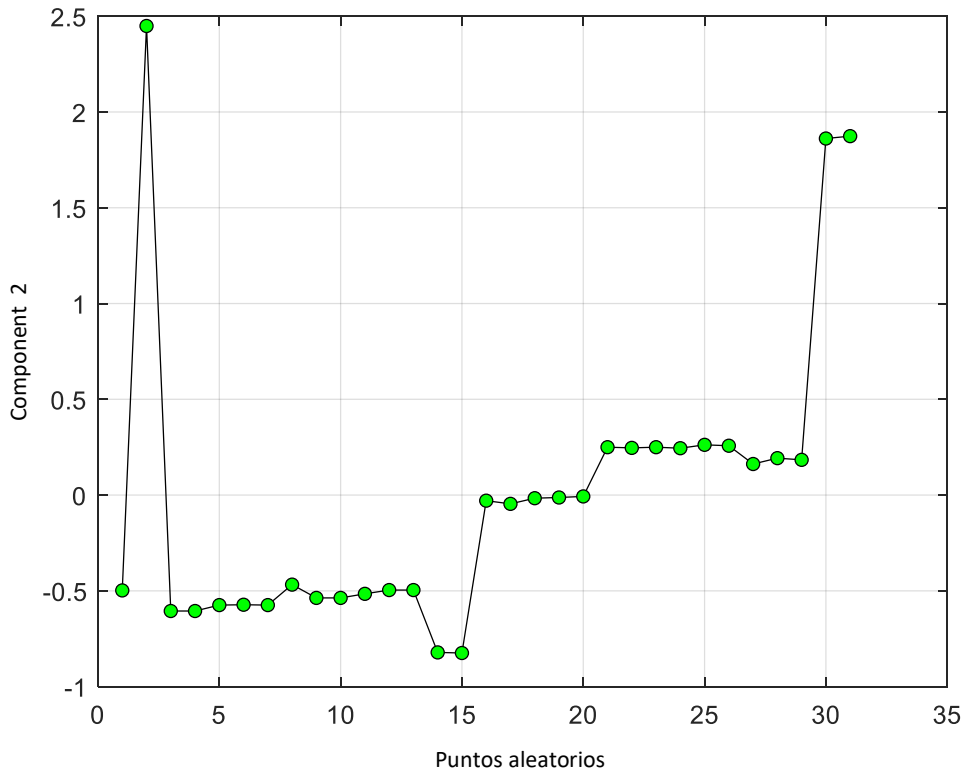

Figura 56. **Perfomance de la 2da. Componente Principal de "S-3"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a).

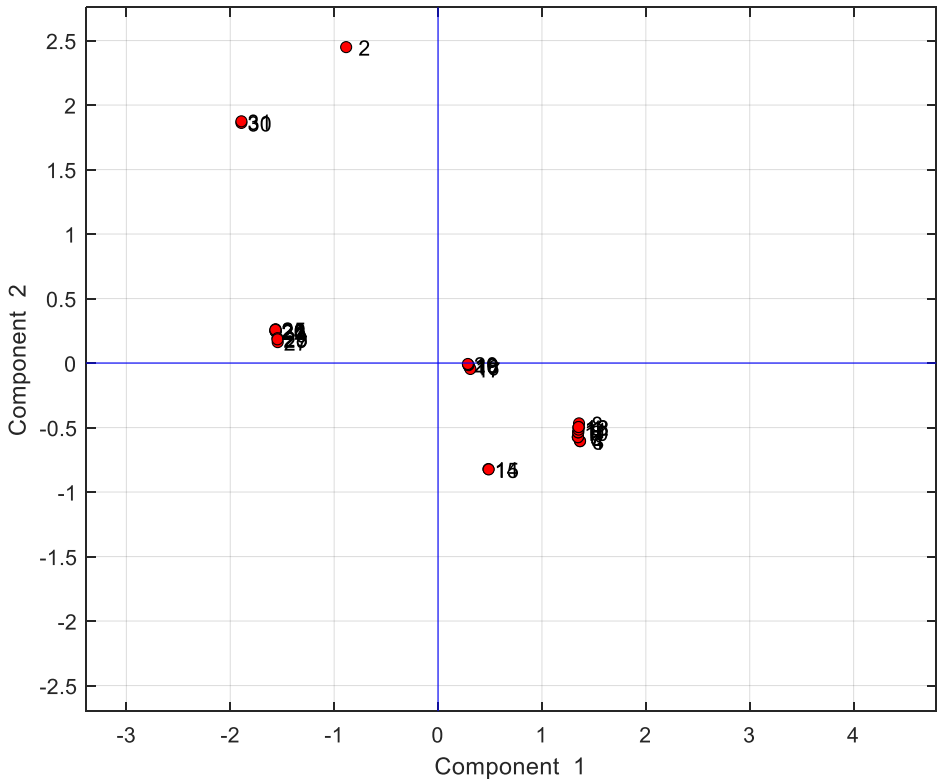

Figura 57. **Perfomance de la 1ra & 2da. Componente Principal de "S-3"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura.

Figura 55. Para la figura de la 1ra. Componente Principal en "S-3", su interpretacion esta en función a los resultados de la matriz de cargas y la proporción de información parcial de "S-3", donde se verifica que la variable {E} es la que mayor información aporta. Por lo tanto, dicha figura esta influenciado por la variable {E}.

Figura 56. Análogamente, para la 2da. Componente Principal en "S-3", dicha figura se interpreta en función a los resultados de la matriz de cargas y la proporción de información parcial de "S-3", donde se verifica que la variable {B/D} tiene la mayor carga. Por lo tanto, dicha figura esta influenciado por la variable {B/D}.

Figura 57. Dicha figura, es la correlación entre la 1ra. Componente Principal y 2da. Componente Principal en un plano bidimensional, cabe acotar que dicha lectura grafica deberá tener una proximidad con la data base. Debido a que la información que aporta es de (99.822%)

4.24.2.- **Matriz de correlación "R-3"**

1.0000000	0.2001500	-0.0014679	-0.1296700	-0.7293100	0.1436100	-0.1190300
0.2001500	1.0000000	0.7882900	-0.2390000	-0.0698880	0.5908400	-0.9813400
-0.0014679	0.7882900	1.0000000	-0.0720290	-0.2371300	0.5011200	-0.8028700
-0.1296700	-0.2390000	-0.0720290	1.0000000	-0.2381800	0.3623400	0.3715700
-0.7293100	-0.0698880	-0.2371300	-0.2381800	1.0000000	-0.2369200	0.0037204
0.1436100	0.5908400	0.5011200	0.3623400	-0.2369200	1.0000000	-0.5072200
-0.1190300	-0.9813400	-0.8028700	0.3715700	0.0037204	-0.5072200	1.0000000

Autovectores de "R-3"

-0.156270	0.552630	-0.481400	0.341660	-0.264280	-0.483880	-0.133100
-0.535250	-0.133740	-0.033950	0.150770	-0.416790	0.202000	0.676180
-0.485610	-0.078376	0.118320	-0.634840	0.130290	-0.569250	-0.002045
0.091372	0.367030	0.716750	-0.071971	-0.563140	-0.027626	-0.141900
0.152160	-0.671930	0.147330	0.413920	-0.231760	-0.521020	-0.084550
-0.383500	0.186220	0.456240	0.527330	0.572930	-0.060655	0.009851
0.524120	0.222920	0.097520	-0.054121	0.200950	-0.353710	0.705460

Autovalores de "R3"

3.2185
1.7528
1.3188
0.47532
0.17967
0.053012
0.0019004

Proporción parcial "R-3"

0.45979
0.2504
0.18839
0.067903
0.025667
0.0075732
0.00027148

Proporción acum "R-3"

0.45979
0.71019
0.89859
0.96649
0.99216
0.99973
1

Matriz de Cargas de "R3".

-0.280360	0.731640	-0.552830	0.235550	-0.112020	-0.111410	-0.005802
-0.960250	-0.177060	-0.038988	0.103940	-0.176670	0.046509	0.029477
-0.871190	-0.103760	0.135870	-0.437680	0.055227	-0.131070	-0.000089
0.163920	0.485920	0.823100	-0.049619	-0.238700	-0.006361	-0.006186
0.272980	-0.889590	0.169200	0.285370	-0.098237	-0.119960	-0.003686
-0.688020	0.246540	0.523930	0.363560	0.242850	-0.013965	0.000429
0.940280	0.295130	0.111990	-0.037313	0.085180	-0.081441	0.030753

Comunalidad

1
1
1
1
1
1
1

*** Los resultados de los tratamientos centrados se especifican en la figura 58, 59 y 60.**

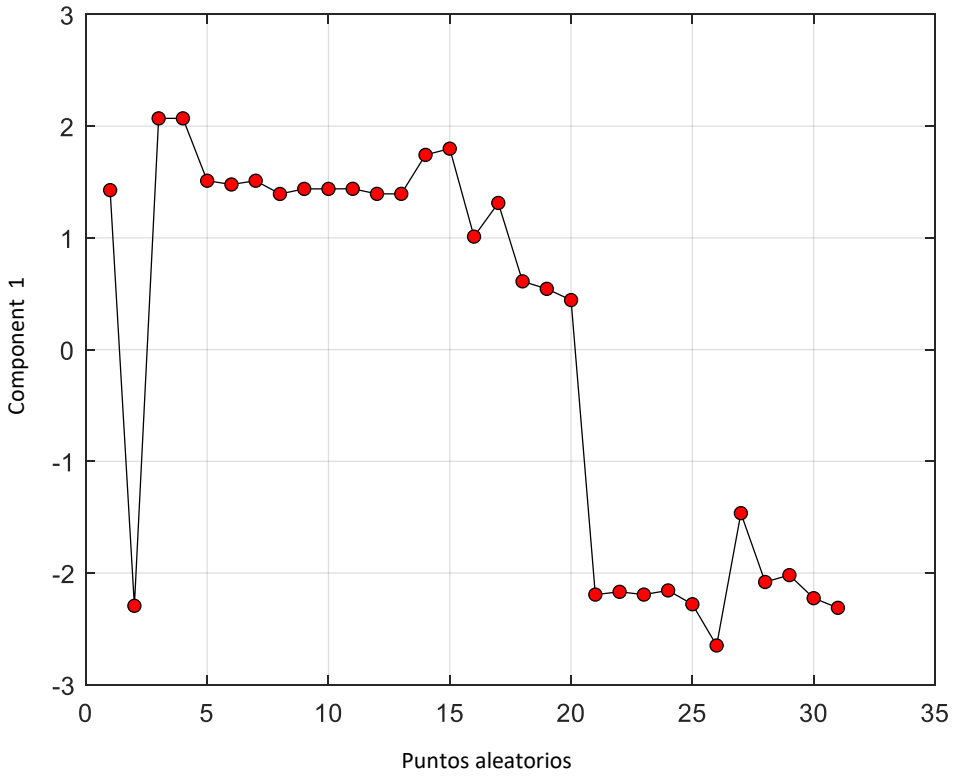

Figura 58. **Perfomance de la 1ra. Componente Principal de "R-3"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a).

Interpretación. La interpretación para la 1ra componente principal en "R-3", esta en función a cuatro variables que interactúan simultáneamente, las cuales son: {H/B}, {B/D}, {T/B}, {X/B}. Esto se interpreta como un Ratio de todas estas variables, Así mismo, su información aportado Pca. es de {45.979%}, que se considera como un aporte de información pobre. Por lo tanto, se deduce que necesita de otra componente, para una adecuada la interpretación de la data. Analogamente se deduce lo mismo con las demás figuras.

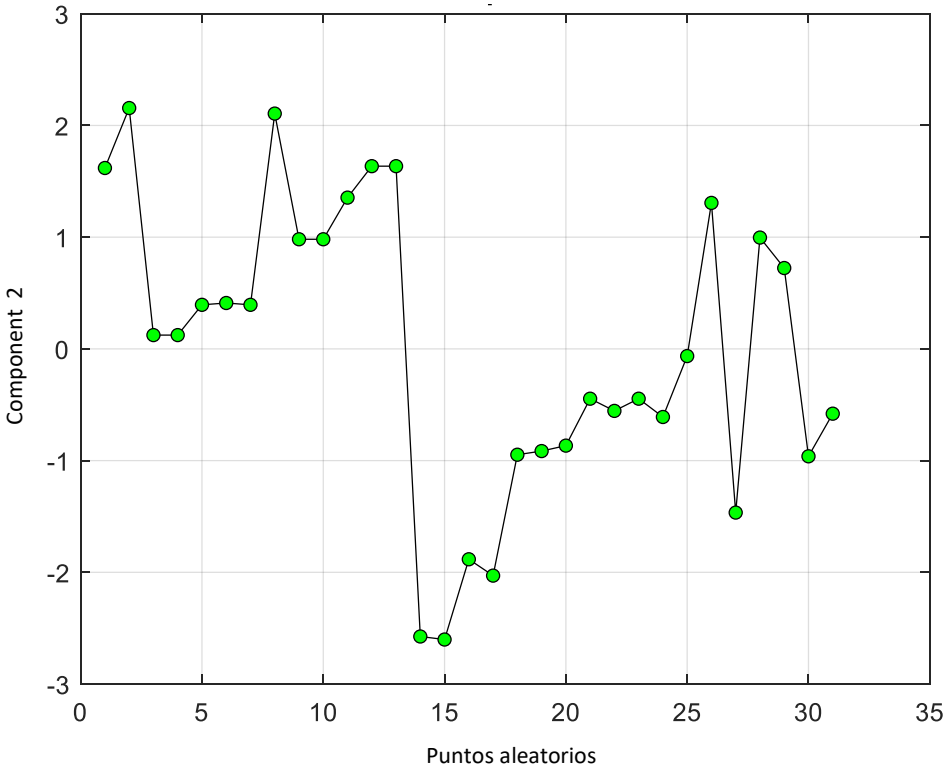

Figura 59. **Perfomance de la 2da. Componente Principal de "R-3"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a).

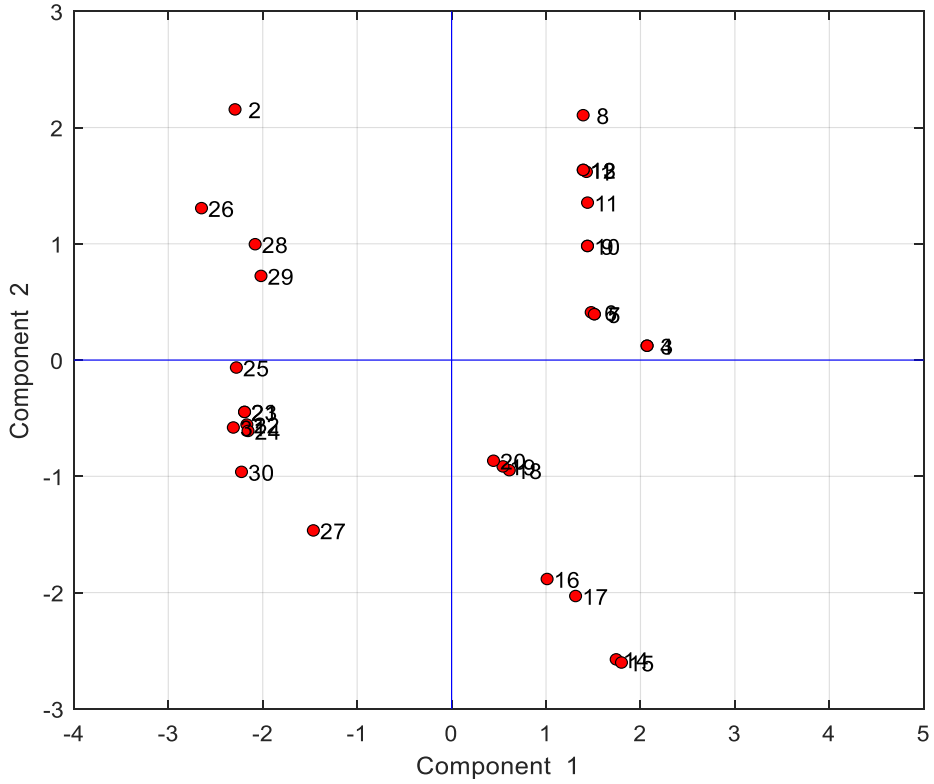

Figura 60. **Perfomance de la 1ra & 2da. Componente Principal de "R-3"**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2019a).

4.25.- **Modelo de kuznetsov & determinación de la fragmentación predecida.**

En el presente acápite, se estará determinando la fragmentación teórica predecida, mediante la ecuación de kuznetsov.{ypred kuz-3}

Tabla 51. **Determinando la fragmentación mediante la ecuación de Kuznetsov.**

		Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	B	S	H	D	T	Vo (m^3)	ANFO	TNT	QT (kg)	ypred-Kuznetsov 3 (m)
1	60	1	**En7**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.08*	*60.00*	*0.64*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	4.7695	150.238	100	115	49.579	0.465
2	61	7	**Ru1**	0.229	*1.13*	*5.00*	*39.47*	*1.93*	*0.31*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	9.0386	10.2137	45.1932	0.2290	17.4446	4172.115	100	115	1293.356	0.842
3	62	1	**En1**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	3.5096	150.238	100	115	72.114	0.367
4	63	2	**En2**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	3.5096	150.238	100	115	72.114	0.367
5	64	3	**En3**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.33*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	3.5096	150.238	100	115	72.114	0.367
6	65	4	**En4**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	3.5096	150.238	100	115	72.114	0.367
7	66	5	**En5**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.46*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	3.5096	150.238	100	115	72.114	0.367
8	67	6	**En6**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.17*	*0.27*	*1.08*	*60.00*	*0.37*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	5.2645	150.238	100	115	40.564	0.528
9	68	7	**En8**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	4.0946	150.238	100	115	61.598	0.406
10	69	8	**En9**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.26*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	4.0946	150.238	100	115	61.598	0.406
11	70	9	**En10**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	4.4546	150.238	100	115	54.086	0.440
12	71	10	**En11**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.31*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	4.7695	150.238	100	115	49.579	0.465
13	72	11	**En12**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.38*	4.4996	5.5794	5.9844	0.1650	4.7695	150.238	100	115	49.579	0.465
14	73	12	**Mg1**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.83*	*50.00*	*0.23*	4.4996	4.4996	12.0138	0.1650	4.0046	243.231	100	115	182.423	0.300
15	74	13	**Mg2**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.78*	*50.00*	*0.25*	4.4996	4.4996	12.0138	0.1650	4.0046	243.231	100	115	182.423	0.300
16	75	14	**Mg3**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*1.02*	*50.00*	*0.27*	4.9995	4.9995	11.9988	0.1650	3.9996	299.910	100	115	182.945	0.354
17	76	15	**Mg4**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*0.75*	*50.00*	*0.30*	4.9995	4.9995	11.9988	0.1650	3.9996	299.910	100	115	182.945	0.354
18	77	16	**Mg5**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.18*	*50.00*	*0.38*	4.9995	5.4995	11.9988	0.1650	3.9996	329.901	100	115	181.446	0.384
19	78	17	**Mg6**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.24*	*50.00*	*0.37*	4.9995	5.4995	11.9988	0.1650	3.9996	329.901	100	115	181.446	0.384
20	79	18	**Mg7**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.33*	*50.00*	*0.38*	4.9995	5.4995	11.9988	0.1650	3.9996	329.901	100	115	181.446	0.384
21	80	19	**Mr1**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	2.4996	2.9996	14.9978	0.0760	1.9997	112.451	100	115	55.101	0.345
22	81	20	**Mr2**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.51*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	2.4996	2.9996	14.9978	0.0760	1.9997	112.451	100	115	57.350	0.337
23	82	21	**Mr3**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	2.4996	2.9996	14.9978	0.0760	1.9997	112.451	100	115	55.101	0.345
24	83	22	**Mr4**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	2.4996	2.9996	14.9978	0.0760	1.9997	112.451	100	115	58.475	0.332
25	84	23	**Mr5**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	2.4996	2.9996	14.9978	0.0760	1.9997	112.451	100	115	47.230	0.381
26	85	24	**Mr6**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.36*	*1.67*	*32.00*	*0.15*	2.4996	3.4995	14.9978	0.0760	1.9997	131.193	100	115	47.230	0.431
27	86	25	**Mr7**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.56*	*1.03*	*32.00*	*0.18*	2.4996	2.9996	14.9978	0.0760	1.4998	112.451	100	115	62.973	0.317
28	87	26	**Mr8**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.30*	*1.03*	*32.00*	*0.19*	2.4996	3.4995	14.9978	0.0760	1.4998	131.193	100	115	39.358	0.483
29	88	27	**Mr9**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.35*	*1.03*	*32.00*	*0.16*	2.4996	3.4995	14.9978	0.0760	1.4998	131.193	100	115	45.918	0.438
30	89	28	**Mr10**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.39*	*1.03*	*32.00*	*0.17*	2.9997	3.4797	14.9986	0.0760	1.4999	156.556	100	115	61.057	0.421
31	90	29	**Mr11**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.32*	*1.03*	*32.00*	*0.21*	2.9997	3.4797	14.9986	0.0760	1.4999	156.556	100	115	50.098	0.478

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).
Leyenda: ypred-kuznetsov-3 (valor determinado)

*** Los resultados de los tratamientos se especifican en la figura 61 y 62.**

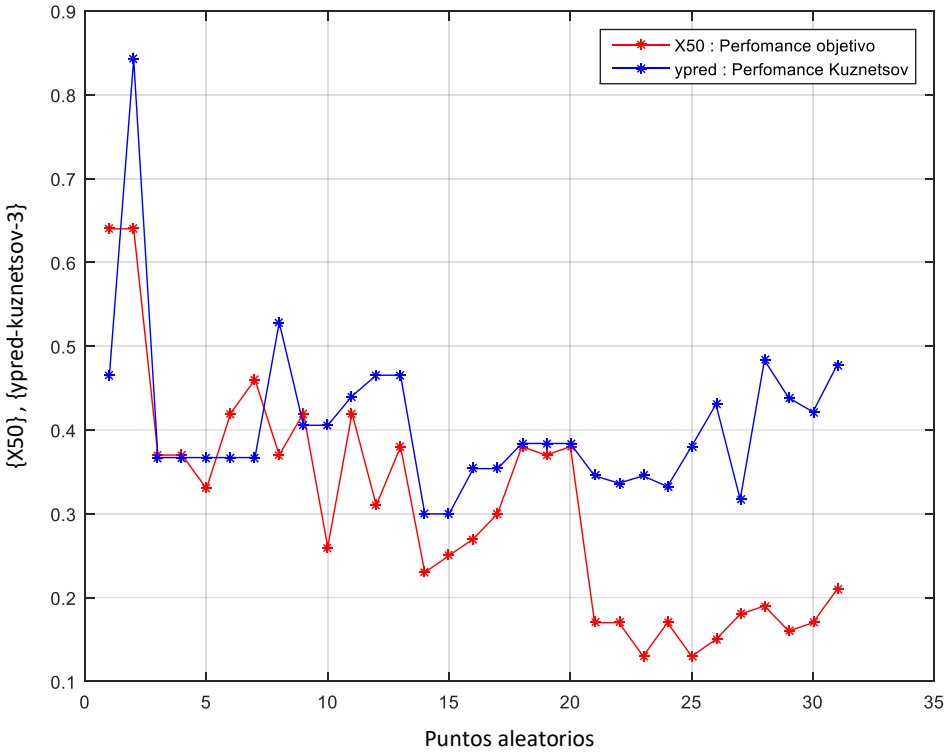

Figura 61. **Perfomance comparativo entre X50, ypred-Kuznetsov-3 & Puntos aleatorios**.
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab R2015a)

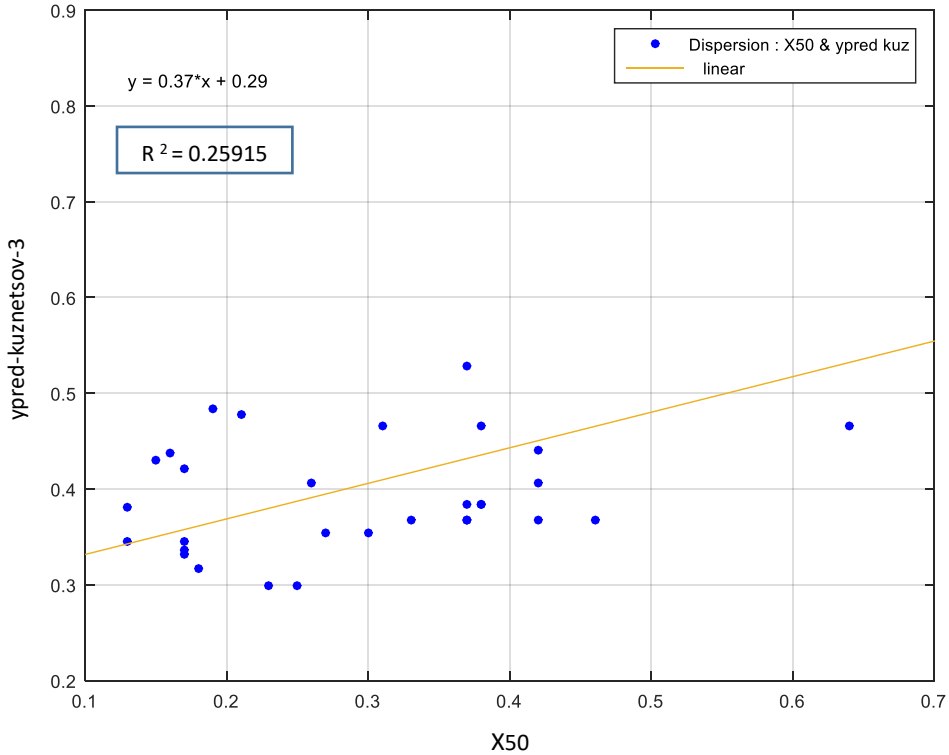

Figura 62. **Perfomance de la dispersión entre X50 & ypred-kuznetsov-3.**
Fuente. Elaboración propia., (Script en Matlab R2015a).

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura.

Figura 61. Dicha figura representa el ploteo de la variable de la {X50} y la variable predecida {ypred-kuznetsov-3} en función a una variable aleatoria numérica de 31 puntos números {1, 2, 3, , , ,31}, la finalidad es verificar su variabilidad en cada punto y su posible secuencia de correlaciónal.

Figura 62. Dicha figura representa el ploteo de la data dispersa entre la variable {X50} y la variable predecida de kuznetsov {ypred-kuz-3}, la finalidad de dicho ploteo es determinar su función lineal y su "coeficiente determinación R^2", indicadores que ayudaran a determinar la función óptima.

4.25.1.- Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% -kuznetsov 3. El presente acápite es una evaluación de la data predecida teórica de kuznetsov {ypred-kuz-3} en función a la data objetivo {X50}, la finalidad es obtener sus Intervalos de Confianza al 95% y análogamente sus Límites de la Predicción al 95%.

A continuación en la siguiente tabla 52, se presenta el análisis predicho.

Tabla 52. **Determinación de los Limites de Confianza al 95% e intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X_{50}} & {ypred-kuz-3}**

		X50	ypred-kuz-3	x²	y²	x*y	y pred[7]	Var +/-	Min1	Max1			Min2	Max2	
1	**En7**	0.640	0.465305229	0.409600	0.216509	0.297795	0.53215	0.08636452	0.446	0.61851	1	0.1970	0.3351	0.7292	1
2	**Ru1**	0.640	0.842423176	0.409600	0.709677	0.539151	0.53215	0.08636452	0.446	0.61851	0	0.1970	0.3351	0.7292	0
3	**En1**	0.370	0.367009505	0.136900	0.134696	0.135794	0.43190	0.03556371	0.396	0.46746	0	0.1806	0.2513	0.6125	1
4	**En2**	0.370	0.367009505	0.136900	0.134696	0.135794	0.43190	0.03556371	0.396	0.46746	0	0.1806	0.2513	0.6125	1
5	**En3**	0.330	0.367009505	0.108900	0.134696	0.121113	0.41705	0.03243541	0.385	0.44948	0	0.1800	0.2370	0.5971	1
6	**En4**	0.420	0.367009505	0.176400	0.134696	0.154144	0.45046	0.04226696	0.408	0.49273	0	0.1820	0.2684	0.6325	1
7	**En5**	0.460	0.367009505	0.211600	0.134696	0.168824	0.46532	0.04907671	0.416	0.51439	0	0.1837	0.2816	0.6491	1
8	**En6**	0.370	0.528363788	0.136900	0.279168	0.195495	0.43190	0.03556371	0.396	0.46746	0	0.1806	0.2513	0.6125	1
9	**En8**	0.420	0.405539959	0.176400	0.164463	0.170327	0.45046	0.04226696	0.408	0.49273	0	0.1820	0.2684	0.6325	1
10	**En9**	0.260	0.405539959	0.067600	0.164463	0.105440	0.39105	0.03342937	0.358	0.42448	1	0.1802	0.2109	0.5712	1
11	**En10**	0.420	0.440357278	0.176400	0.193915	0.184950	0.45046	0.04226696	0.408	0.49273	1	0.1820	0.2684	0.6325	1
12	**En11**	0.310	0.465305229	0.096100	0.216509	0.144245	0.40962	0.03184199	0.378	0.44146	0	0.1799	0.2297	0.5895	1
13	**En12**	0.380	0.465305229	0.144400	0.216509	0.176816	0.43561	0.03669308	0.399	0.47230	1	0.1808	0.2548	0.6164	1
14	**Mg1**	0.230	0.299776523	0.052900	0.089866	0.068949	0.37992	0.03627842	0.344	0.41619	0	0.1807	0.1992	0.5607	1
15	**Mg2**	0.250	0.299776523	0.062500	0.089866	0.074944	0.38734	0.03423965	0.353	0.42158	0	0.1803	0.2070	0.5677	1
16	**Mg3**	0.270	0.353825882	0.072900	0.125193	0.095533	0.39477	0.03277288	0.362	0.42754	0	0.1801	0.2147	0.5748	1
17	**Mg4**	0.300	0.353825882	0.090000	0.125193	0.106148	0.40591	0.0318103	0.374	0.43772	0	0.1799	0.2260	0.5858	1
18	**Mg5**	0.380	0.383855326	0.144400	0.147345	0.145865	0.43561	0.03669308	0.399	0.47230	0	0.1808	0.2548	0.6164	1
19	**Mg6**	0.370	0.383855326	0.136900	0.147345	0.142026	0.43190	0.03556371	0.396	0.46746	0	0.1806	0.2513	0.6125	1
20	**Mg7**	0.380	0.383855326	0.144400	0.147345	0.145865	0.43561	0.03669308	0.399	0.47230	0	0.1808	0.2548	0.6164	1
21	**Mr1**	0.170	0.345172853	0.028900	0.119144	0.058679	0.35764	0.04494782	0.313	0.40258	1	0.1827	0.1750	0.5403	1
22	**Mr2**	0.170	0.336537169	0.028900	0.113257	0.057211	0.35764	0.04494782	0.313	0.40258	1	0.1827	0.1750	0.5403	1
23	**Mr3**	0.130	0.345172853	0.016900	0.119144	0.044872	0.34278	0.05212632	0.291	0.39491	1	0.1846	0.1582	0.5274	1
24	**Mr4**	0.170	0.33242374	0.028900	0.110506	0.056512	0.35764	0.04494782	0.313	0.40258	1	0.1827	0.1750	0.5403	1
25	**Mr5**	0.130	0.380571503	0.016900	0.144835	0.049474	0.34278	0.05212632	0.291	0.39491	1	0.1846	0.1582	0.5274	1
26	**Mr6**	0.150	0.430520362	0.022500	0.185348	0.064578	0.35021	0.04843543	0.302	0.39865	0	0.1836	0.1666	0.5338	1
27	**Mr7**	0.180	0.317181902	0.032400	0.100604	0.057093	0.36135	0.04329571	0.318	0.40465	0	0.1823	0.1791	0.5436	1
28	**Mr8**	0.190	0.483216571	0.036100	0.233498	0.091811	0.36506	0.04171451	0.323	0.40678	0	0.1819	0.1832	0.5470	1
29	**Mr9**	0.160	0.438270446	0.025600	0.192081	0.070123	0.35392	0.0466633	0.307	0.40059	0	0.1831	0.1708	0.5370	1
30	**Mr10**	0.170	0.421473985	0.028900	0.177640	0.071651	0.35764	0.04494782	0.313	0.40258	0	0.1827	0.1750	0.5403	1
31	**Mr11**	0.210	0.477730943	0.044100	0.228227	0.100323	0.37249	0.03879914	0.334	0.41129	0	0.1813	0.1912	0.5538	1
									09 (29.03%)				**30** (93.75%)		

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016). Leyenda: y pred[7] (valor de ajuste a la variable ypred-kuz-3)
Min1, Max1 (Intervalos de confianza al 95%) & Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción al 95%)
Nota. De la tabla 52, se observa que solo 09 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95%, De un total de 31 datas. Por lo tanto, su IEDIC será:29.03%

Interpretación. La presente interpretación estará en función a dicha tabla.

Tabla 52. La interpretación de dicha tabla esta en función a la siguiente leyenda.

Donde:
X50 : Es la data de la función objetivo y/o data de la fragmentación real.
ypred-kuz-3 : Es la data teórica predecida X_{50} mediante el modelo kuznetsov.
Min1 : Es la data mínima determinada del Límite de Confianza al 95%
Max1 : Es la data máxima determinada del Límite de Confianza al 95%
Min2 : Es la data mínima determinada del Limites de la Predicción al 95%
Max2 : Es la data máxima determinada del Límite de la Predicción al 95%

*** Los resultados de los tratamientos de la tabla 52 se especifican en la figura 63.**

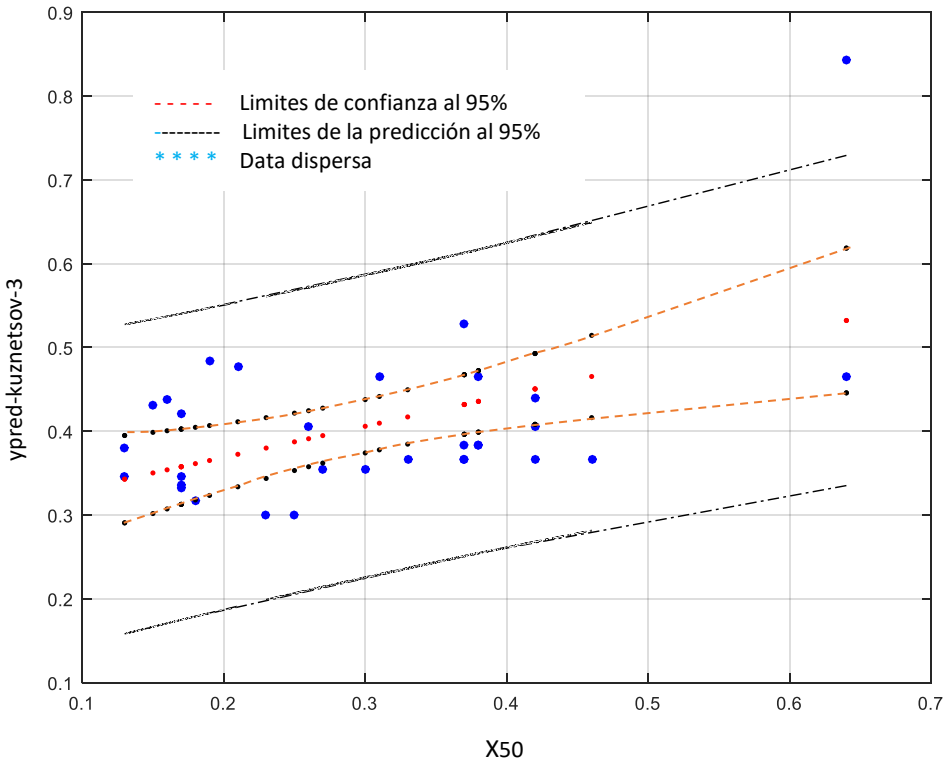

Figura 63. **Ploteo de los limites de Confianza y Predicción al 95%, a la data dispersa de {X50 & ypred-kuz-3}.**
Fuente. Elaboración propia., (Script en Matlab R2015a)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a dicha figura.

Figura 63. Dicha figura representa el ploteo de la dispersión de la data, entre {X50}, los Limites de Confianza al 95% & los Limites de la Predicción al 95%. Cabe acotar que la determinación de los Limites de Confianza al 95%, son también llamados para el caso, Intervalos de Confianza al 95%, data que determina los rangos de la fragmentación predecida.

4.26.- Modelo de Regresión Lineal-3 & determinación de la fragmentación Predecida.

$$y \sim 1 + x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7$$

Los resultados de los tratamientos se presentan en las tablas 53, 54 y figuras 64 y 65.

Tabla 53. **Estimated Coefficients Linear.**

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-1.5837	0.90156	-1.7566	0.092289
x1	0.30891	0.48105	0.64216	0.52712
x2	-0.0088126	0.10096	-0.087284	0.9312
x3	0.023465	0.0092745	2.5301	0.018707
x4	0.17905	0.18831	0.95082	0.35158
x5	0.22332	0.33758	0.66153	0.51484
x6	0.020498	0.064152	0.31953	0.75221
x7	0.011638	0.017497	0.66515	0.51257

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)

Detalles

Number of observations: 31, Error degrees of freedom: 23
Root Mean Squared Error: 0.0727
R-squared: 0.78, Adjusted R-Squared 0.713
F-statistic vs. constant model: 11.6, p-value = 3.04e-06

Regression Equation

```
X50 =   - 1.5837 + 0.30891 S/B - 0.00881 H/B + 0.023465 B/D
        + 0.17905 T/B + 0.22332 Pf  + 0.020498 XB  + 0.011638 E
```

Tabla 54. **Determinando la fragmentación mediante Regresión Lineal "MVR"**

		Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	ypred Lineal-3 Regresion Lineal
1	60	1	**En7**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.08*	*60.00*	*0.64*	0.41146
2	61	7	**Ru1**	0.229	*1.13*	*5.00*	*39.47*	*1.93*	*0.31*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	0.627
3	62	1	**En1**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	0.38457
4	63	2	**En2**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	0.38457
5	64	3	**En3**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.33*	0.39482
6	65	4	**En4**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	0.39543
7	66	5	**En5**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.46*	0.39482
8	67	6	**En6**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.17*	*0.27*	*1.08*	*60.00*	*0.37*	0.41775
9	68	7	**En8**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	0.40308
10	69	8	**En9**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.26*	0.40308
11	70	9	**En10**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*	0.40562
12	71	10	**En11**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.31*	0.41207
13	72	11	**En12**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.38*	0.41207
14	73	12	**Mg1**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.83*	*50.00*	*0.23*	0.26736
15	74	13	**Mg2**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.78*	*50.00*	*0.25*	0.26633
16	75	14	**Mg3**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*1.02*	*50.00*	*0.27*	0.29735
17	76	15	**Mg4**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*0.75*	*50.00*	*0.30*	0.29182
18	77	16	**Mg5**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.18*	*50.00*	*0.38*	0.31812
19	78	17	**Mg6**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.24*	*50.00*	*0.37*	0.31935
20	79	18	**Mg7**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.33*	*50.00*	*0.38*	0.3212
21	80	19	**Mr1**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	0.16522
22	81	20	**Mr2**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.51*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	0.16968
23	82	21	**Mr3**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	0.16522
24	83	22	**Mr4**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	0.17192
25	84	23	**Mr5**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	0.14958
26	85	24	**Mr6**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.36*	*1.67*	*32.00*	*0.15*	0.19797
27	86	25	**Mr7**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.56*	*1.03*	*32.00*	*0.18*	0.13192
28	87	26	**Mr8**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.30*	*1.03*	*32.00*	*0.19*	0.13564
29	88	27	**Mr9**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.35*	*1.03*	*32.00*	*0.16*	0.1468
30	89	28	**Mr10**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.39*	*1.03*	*32.00*	*0.17*	0.22691
31	90	29	**Mr11**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.32*	*1.03*	*32.00*	*0.21*	0.21128

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)

*** Tratamientos de la figura 64 y 65.**

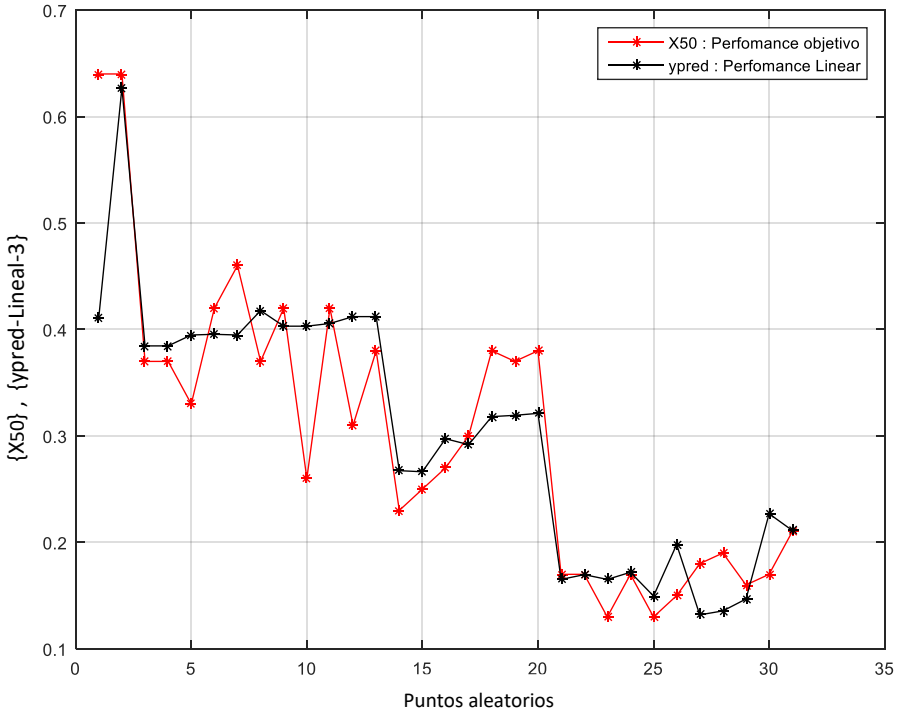

Figura 64. **Perfomance comparativo entre X_{50}, ypred-Lineal-3 & puntos aleatorios**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)

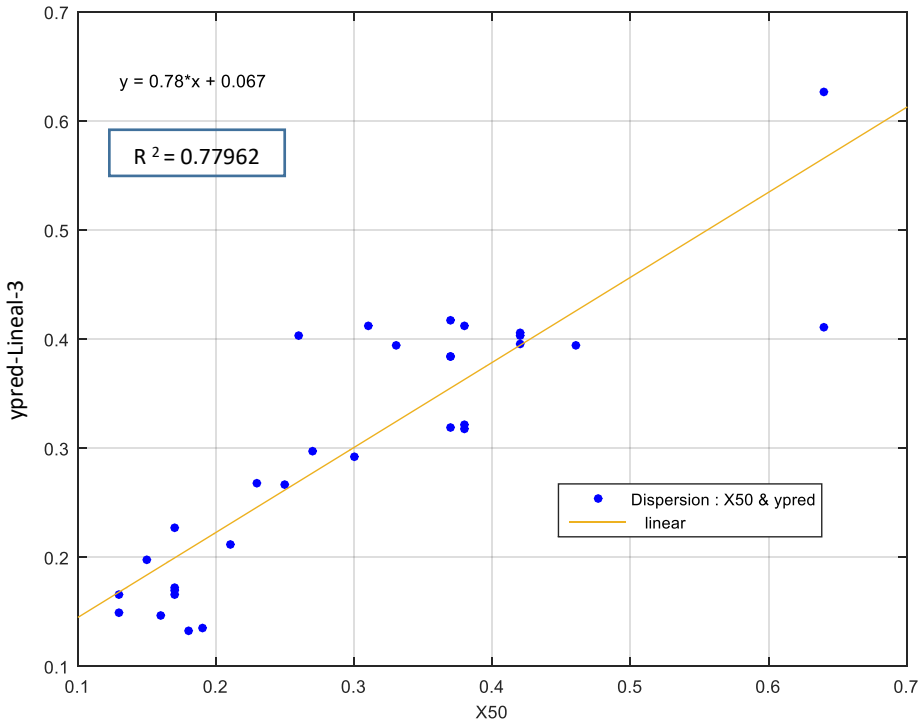

Figura 65. **Perfomance de la dispersión Lineal, entre X_{50} & ypred-Lineal-3.**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)
Leyenda: ypred-Lineal-3, (valor teórico predecido X50 de la Regresión Lineal)

4.26.1.- **Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% -Lineal 3.**
Seguidamente se analizarán dichos limites de confianza al 95%, con el fin de determinar los intervalos de confianza y de la Predicción lineal. Los resultados de los tratamientos se presentan en la tabla 55 y figura 66.

Tabla 55. **Determinación de los Limites de Confianza al 95% e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-Lineal-3}**

		X50	ypred Lineal-3	x²	y²	x*y	y pred[8]	Var +/-	Min1	Max1			Min2	Max2	
1	**En7**	0.640	0.41146	0.409600	0.169299	0.263334	0.56578	0.05702212	0.509	0.62280	0	0.13007	0.43571	0.69585	0
2	**Ru1**	0.640	0.627	0.409600	0.393129	0.401280	0.56578	0.05702212	0.509	0.62280	0	0.13007	0.43571	0.69585	1
3	**En1**	0.370	0.38457	0.136900	0.147894	0.142291	0.35528	0.02348092	0.332	0.37877	0	0.11924	0.23605	0.47452	1
4	**En2**	0.370	0.38457	0.136900	0.147894	0.142291	0.35528	0.02348092	0.332	0.37877	0	0.11924	0.23605	0.47452	1
5	**En3**	0.330	0.39482	0.108900	0.155883	0.130291	0.32410	0.02141546	0.303	0.34552	0	0.11885	0.20525	0.44295	1
6	**En4**	0.420	0.39543	0.176400	0.156365	0.166081	0.39427	0.02790673	0.366	0.42217	1	0.12019	0.27408	0.51445	1
7	**En5**	0.460	0.39482	0.211600	0.155883	0.181617	0.42545	0.03240287	0.393	0.45785	1	0.12131	0.30414	0.54676	1
8	**En6**	0.370	0.41775	0.136900	0.174515	0.154568	0.35528	0.02348092	0.332	0.37877	0	0.11924	0.23605	0.47452	1
9	**En8**	0.420	0.40308	0.176400	0.162473	0.169294	0.39427	0.02790673	0.366	0.42217	1	0.12019	0.27408	0.51445	1
10	**En9**	0.260	0.40308	0.067600	0.162473	0.104801	0.26953	0.02207172	0.247	0.29160	0	0.11897	0.15056	0.38850	0
11	**En10**	0.420	0.40562	0.176400	0.164528	0.170360	0.39427	0.02790673	0.366	0.42217	1	0.12019	0.27408	0.51445	1
12	**En11**	0.310	0.41207	0.096100	0.169802	0.127742	0.30851	0.02102366	0.287	0.32953	0	0.11878	0.18973	0.42729	1
13	**En12**	0.380	0.41207	0.144400	0.169802	0.156587	0.36308	0.02422658	0.339	0.38731	0	0.11939	0.24369	0.48247	1
14	**Mg1**	0.230	0.26736	0.052900	0.071481	0.061493	0.24614	0.02395281	0.222	0.27009	1	0.11933	0.12680	0.36547	1
15	**Mg2**	0.250	0.26633	0.062500	0.070932	0.066583	0.26173	0.02260671	0.239	0.28434	1	0.11907	0.14266	0.38080	1
16	**Mg3**	0.270	0.29735	0.072900	0.088417	0.080285	0.27732	0.02163827	0.256	0.29896	1	0.11889	0.15843	0.39621	1
17	**Mg4**	0.300	0.29182	0.090000	0.085159	0.087546	0.30071	0.02100273	0.280	0.32171	1	0.11878	0.18194	0.41949	1
18	**Mg5**	0.380	0.31812	0.144400	0.101200	0.120886	0.36308	0.02422658	0.339	0.38731	0	0.11939	0.24369	0.48247	1
19	**Mg6**	0.370	0.31935	0.136900	0.101984	0.118160	0.35528	0.02348092	0.332	0.37877	0	0.11924	0.23605	0.47452	1
20	**Mg7**	0.380	0.3212	0.144400	0.103169	0.122056	0.36308	0.02422658	0.339	0.38731	0	0.11939	0.24369	0.48247	1
21	**Mr1**	0.170	0.16522	0.028900	0.027298	0.028087	0.19936	0.02967677	0.170	0.22904	0	0.12061	0.07875	0.31997	1
22	**Mr2**	0.170	0.16968	0.028900	0.028791	0.028846	0.19936	0.02967677	0.170	0.22904	0	0.12061	0.07875	0.31997	1
23	**Mr3**	0.130	0.16522	0.016900	0.027298	0.021479	0.16818	0.03441637	0.134	0.20259	1	0.12186	0.04631	0.29004	1
24	**Mr4**	0.170	0.17192	0.028900	0.029556	0.029226	0.19936	0.02967677	0.170	0.22904	1	0.12061	0.07875	0.31997	1
25	**Mr5**	0.130	0.14958	0.016900	0.022374	0.019445	0.16818	0.03441637	0.134	0.20259	1	0.12186	0.04631	0.29004	1
26	**Mr6**	0.150	0.19797	0.022500	0.039192	0.029696	0.18377	0.03197946	0.152	0.21575	1	0.12120	0.06257	0.30497	1
27	**Mr7**	0.180	0.13192	0.032400	0.017403	0.023746	0.20716	0.02858597	0.179	0.23574	0	0.12035	0.08681	0.32750	1
28	**Mr8**	0.190	0.13564	0.036100	0.018398	0.025772	0.21495	0.02754198	0.187	0.24249	0	0.12010	0.09485	0.33506	1
29	**Mr9**	0.160	0.1468	0.025600	0.021550	0.023488	0.19156	0.03080942	0.161	0.22237	0	0.12090	0.07067	0.31246	1
30	**Mr10**	0.170	0.22691	0.028900	0.051488	0.038575	0.19936	0.02967677	0.170	0.22904	1	0.12061	0.07875	0.31997	1
31	**Mr11**	0.210	0.21128	0.044100	0.044639	0.044369	0.23055	0.02561711	0.205	0.25616	1	0.11968	0.11087	0.35022	1
									14 (45.16%)				**29** (93.548%)		

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016). Leyenda: ypred[8] (valor de ajuste de la Regresión Lineal ypred-Lineal-3)
Min1, Max1 (Intervalos de Confianza al 95%) & Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción al 95%)
Nota. De la tabla 55, se observa que solo 14 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95% de un total de 31 datas. Por lo tanto, su IEDIC será: 45.16%

*** Los resultados de los tratamientos se especifican en la figura 66.**

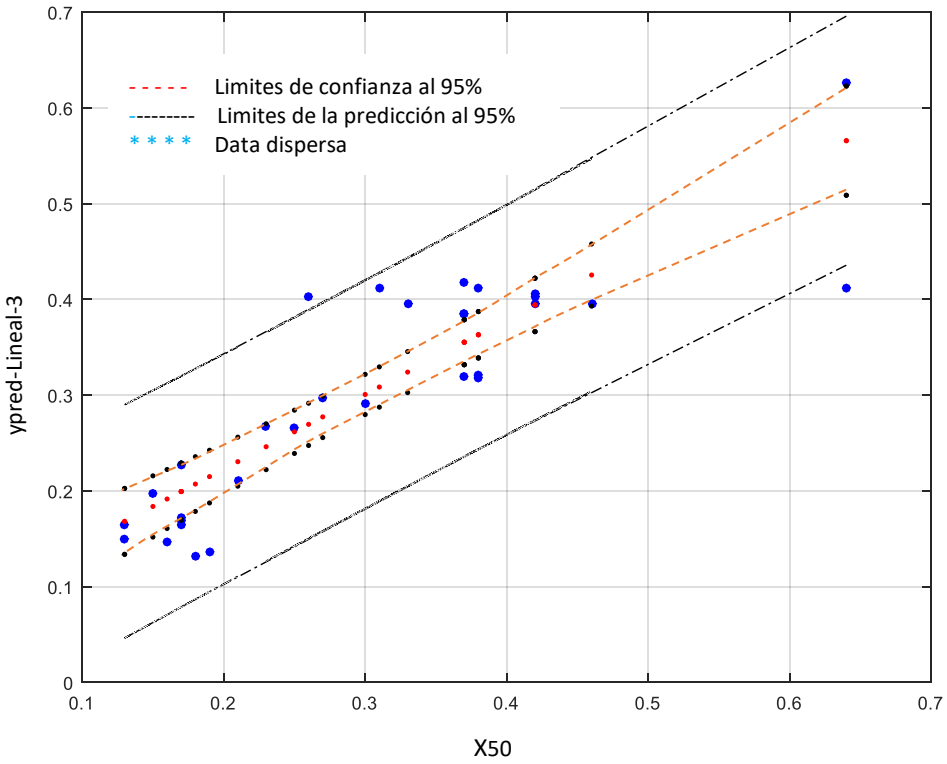

Figura 66. **Ploteo de los Limites de Confianza & Predicción al 95%. A la data dispersa de X50 & ypred-Lineal-3**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a).

4.27.- Modelo heurístico de ANN-3 & determinación de la fragmentación Predecida.

A continuación, se determinarán la fragmentación predecida mediante el modelo de Redes Neuronales y los resultados de los tratamientos se presentan en la tabla 56, figura 67 y 68

Tabla 56. **Determinando la fragmentación mediante el Modelo "ANN"**

		Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	ypred ANN-3
1	60	1	**En7**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.08*	*60.00*	*0.64*	0.64
2	61	7	**Ru1**	0.229	*1.13*	*5.00*	*39.47*	*1.93*	*0.31*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	0.64
3	62	1	**En1**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	0.37
4	63	2	**En2**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	0.37
5	64	3	**En3**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.33*	0.395
6	65	4	**En4**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	0.42
7	66	5	**En5**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.46*	0.395
8	67	6	**En6**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.17*	*0.27*	*1.08*	*60.00*	*0.37*	0.37
9	68	7	**En8**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	0.34
10	69	8	**En9**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.26*	0.34
11	70	9	**En10**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*	0.42
12	71	10	**En11**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.31*	0.345
13	72	11	**En12**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.38*	0.345
14	73	12	**Mg1**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.83*	*50.00*	*0.23*	0.23
15	74	13	**Mg2**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.78*	*50.00*	*0.25*	0.25
16	75	14	**Mg3**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*1.02*	*50.00*	*0.27*	0.27
17	76	15	**Mg4**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*0.75*	*50.00*	*0.30*	0.3

18	77	16	**Mg5**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.18*	*50.00*	*0.38*	0.38
19	78	17	**Mg6**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.24*	*50.00*	*0.37*	0.37
20	79	18	**Mg7**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.33*	*50.00*	*0.38*	0.38
21	80	19	**Mr1**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	0.15
22	81	20	**Mr2**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.51*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	0.17
23	82	21	**Mr3**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	0.15
24	83	22	**Mr4**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	0.17
25	84	23	**Mr5**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	0.13
26	85	24	**Mr6**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.36*	*1.67*	*32.00*	*0.15*	0.15
27	86	25	**Mr7**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.56*	*1.03*	*32.00*	*0.18*	0.18
28	87	26	**Mr8**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.30*	*1.03*	*32.00*	*0.19*	0.19
29	88	27	**Mr9**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.35*	*1.03*	*32.00*	*0.16*	0.16
30	89	28	**Mr10**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.39*	*1.03*	*32.00*	*0.17*	0.17
31	90	29	**Mr11**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.32*	*1.03*	*32.00*	*0.21*	0.21

Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)
Leyenda: ypred-ANN-3 (Valor teórico predecido de X50, mediante Redes Neuronales)

Cabe mencionar que los resultados de la predicción X50 teórico {ypred-ANN-3}, fueron hechas mediante un promedio de cinco corridas, que se presentan en la parte de Anexos (A-3)

* Tratamientos de la figura 67 y 68.

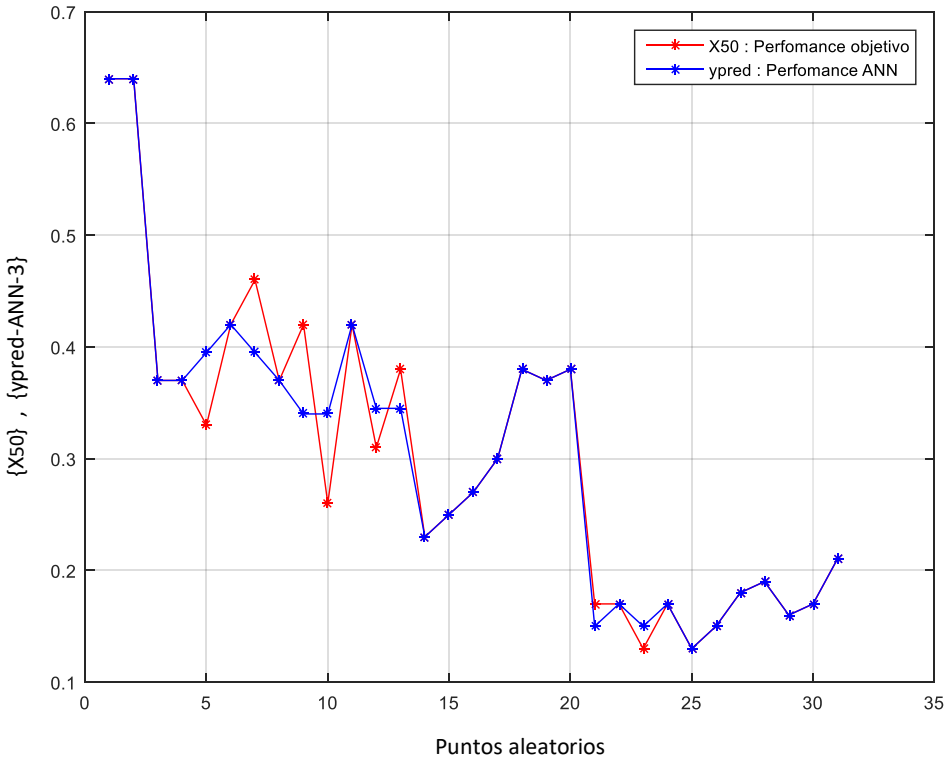

Figura 67. **Perfomance comparativo entre X50, ypred-ANN-3 & Puntos aleatorios**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)

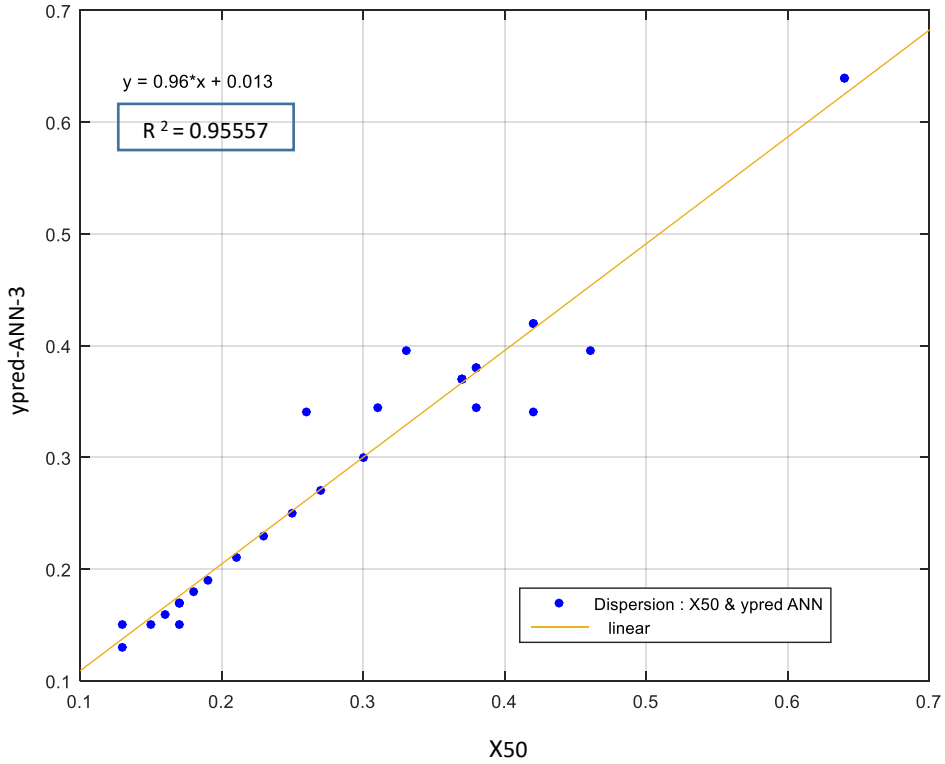

Figura 68. **Perfomance de la dispersión entre X50 & ypred-ANN-3**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a cada figura:

Figura 67. Dicha figura representa el ploteo de la variable de la {X50} y la variable predecida de Redes Neuronales {ypred-ANN-3} en función a una variable aleatoria numérica de 31 números {1, 2, 3, , ,.31}, la finalidad es determinar la variabilidad en cada punto y su posible secuencia correlacional.

Figura 68. Dicha figura representa el ploteo de la dispersión data, entre la variable {X50} y la variable predecida de Redes Neuronales {ypred-ANN-3}, la finalidad de dicho ploteo es ajustar las datas a una función lineal y asi determinar su "coeficiente determinación "R^2", indicador que nos ayudara a determinar el modelo más óptimo.

4.27.1.- **Análisis de Limites de Confianza y de la Predicción al 95% - ANN-3.**
Seguidamente se analizarán y determinarán los Limites de confianza al 95%, con el fin de determinar sus intervalos de confianza y de la predicción, para el modelo de Redes Neuronales del Grupo 3. A continuación, se presenta los resultados de los tratamientos en tabla 57 y figura 69.

Tabla 57. **Determinación de los Limites de Confianza al 95% e Intervalos de la Predicción al 95%. Mediante {X50} & {ypred-ANN-3}**

		X50	ypred ANN 3	x²	y²	x*y	y pred⁹	Var +/-	Min1	Max1			Min2	Max2	
1	**En7**	0.640	0.64	0.409600	0.409600	0.409600	0.62504	0.02834471	0.597	0.65338	1	0.064655312	0.560383119	0.689693742	1
2	**Ru1**	0.640	0.64	0.409600	0.409600	0.409600	0.62504	0.02834471	0.597	0.65338	1	0.064655312	0.560383119	0.689693742	1
3	**En1**	0.370	0.37	0.136900	0.136900	0.136900	0.36703	0.01167196	0.355	0.37871	1	0.059271591	0.307761891	0.426305073	1
4	**En2**	0.370	0.37	0.136900	0.136900	0.136900	0.36703	0.01167196	0.355	0.37871	1	0.059271591	0.307761891	0.426305073	1
5	**En3**	0.330	0.395	0.108900	0.156025	0.130350	0.32881	0.01064525	0.318	0.33946	0	0.059077985	0.269732542	0.387888511	0
6	**En4**	0.420	0.42	0.176400	0.176400	0.176400	0.41481	0.01387195	0.401	0.42868	1	0.059743769	0.355068407	0.474555945	1
7	**En5**	0.460	0.395	0.211600	0.156025	0.181700	0.45304	0.0161069	0.437	0.46914	0	0.060301901	0.392733231	0.513337032	1
8	**En6**	0.370	0.37	0.136900	0.136900	0.136900	0.36703	0.01167196	0.355	0.37871	1	0.059271591	0.307761891	0.426305073	1
9	**En8**	0.420	0.34	0.176400	0.115600	0.142800	0.41481	0.01387195	0.401	0.42868	0	0.059743769	0.355068407	0.474555945	0
10	**En9**	0.260	0.34	0.067600	0.115600	0.088400	0.26192	0.01097147	0.251	0.27289	0	0.059137636	0.202782718	0.321057991	0
11	**En10**	0.420	0.42	0.176400	0.176400	0.176400	0.41481	0.01387195	0.401	0.42868	1	0.059743769	0.355068407	0.474555945	1
12	**En11**	0.310	0.345	0.096100	0.119025	0.106950	0.30970	0.01045049	0.299	0.32015	0	0.059043202	0.250655847	0.368742251	1
13	**En12**	0.380	0.345	0.144400	0.119025	0.131100	0.37659	0.01204261	0.365	0.38863	0	0.059345694	0.317243526	0.435934915	1
14	**Mg1**	0.230	0.23	0.052900	0.052900	0.052900	0.23325	0.01190652	0.221	0.24516	1	0.059318228	0.17393491	0.292571367	1
15	**Mg2**	0.250	0.25	0.062500	0.062500	0.062500	0.25236	0.0112374	0.241	0.26360	1	0.05918755	0.193177066	0.311552166	1
16	**Mg3**	0.270	0.27	0.072900	0.072900	0.072900	0.27148	0.01075601	0.261	0.28223	1	0.059098042	0.212378051	0.330574136	1
17	**Mg4**	0.300	0.3	0.090000	0.090000	0.090000	0.30014	0.01044009	0.290	0.31058	1	0.059041362	0.241101948	0.359184672	1
18	**Mg5**	0.380	0.38	0.144400	0.144400	0.144400	0.37659	0.01204261	0.365	0.38863	1	0.059345694	0.317243526	0.435934915	1
19	**Mg6**	0.370	0.37	0.136900	0.136900	0.136900	0.36703	0.01167196	0.355	0.37871	1	0.059271591	0.307761891	0.426305073	1
20	**Mg7**	0.380	0.38	0.144400	0.144400	0.144400	0.37659	0.01204261	0.365	0.38863	1	0.059345694	0.317243526	0.435934915	1
21	**Mr1**	0.170	0.15	0.028900	0.022500	0.025500	0.17592	0.01475181	0.161	0.19067	0	0.059954172	0.115964533	0.235872877	1
22	**Mr2**	0.170	0.17	0.028900	0.028900	0.028900	0.17592	0.01475181	0.161	0.19067	1	0.059954172	0.115964533	0.235872877	1
23	**Mr3**	0.130	0.15	0.016900	0.022500	0.019500	0.13770	0.01710778	0.121	0.15480	1	0.060576919	0.077118831	0.198272668	1
24	**Mr4**	0.170	0.17	0.028900	0.028900	0.028900	0.17592	0.01475181	0.161	0.19067	1	0.059954172	0.115964533	0.235872877	1
25	**Mr5**	0.130	0.13	0.016900	0.016900	0.016900	0.13770	0.01710778	0.121	0.15480	1	0.060576919	0.077118831	0.198272668	1
26	**Mr6**	0.150	0.15	0.022500	0.022500	0.022500	0.15681	0.01589644	0.141	0.17270	1	0.060246025	0.096561202	0.217053253	1
27	**Mr7**	0.180	0.18	0.032400	0.032400	0.032400	0.18547	0.01420959	0.171	0.19968	1	0.059823067	0.125651378	0.245297511	1
28	**Mr8**	0.190	0.19	0.036100	0.036100	0.036100	0.19503	0.01369064	0.181	0.20872	1	0.059701931	0.135328252	0.254732114	1
29	**Mr9**	0.160	0.16	0.025600	0.025600	0.025600	0.16636	0.01531483	0.151	0.18168	1	0.060095181	0.106267785	0.226458147	1
30	**Mr10**	0.170	0.17	0.028900	0.028900	0.028900	0.17592	0.01475181	0.161	0.19067	1	0.059954172	0.115964533	0.235872877	1
31	**Mr11**	0.210	0.21	0.044100	0.044100	0.044100	0.21414	0.01273382	0.201	0.22688	1	0.059489806	0.154651854	0.273631467	1
									24 (77.42%)				**28** (90.323%)		

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016). Leyenda: ypred⁹ (valor de ajuste a la variable ypred-ANN-3).
Min1, Max1 (Intervalos de Confianza al 95%) & Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción) al 95%.
Nota. De la tabla 57, se observa que solo 24 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95%. de un total de 31 datas. Por lo tanto, su IEDIC será:77.42%

*** Tratamientos de la figura 69.**

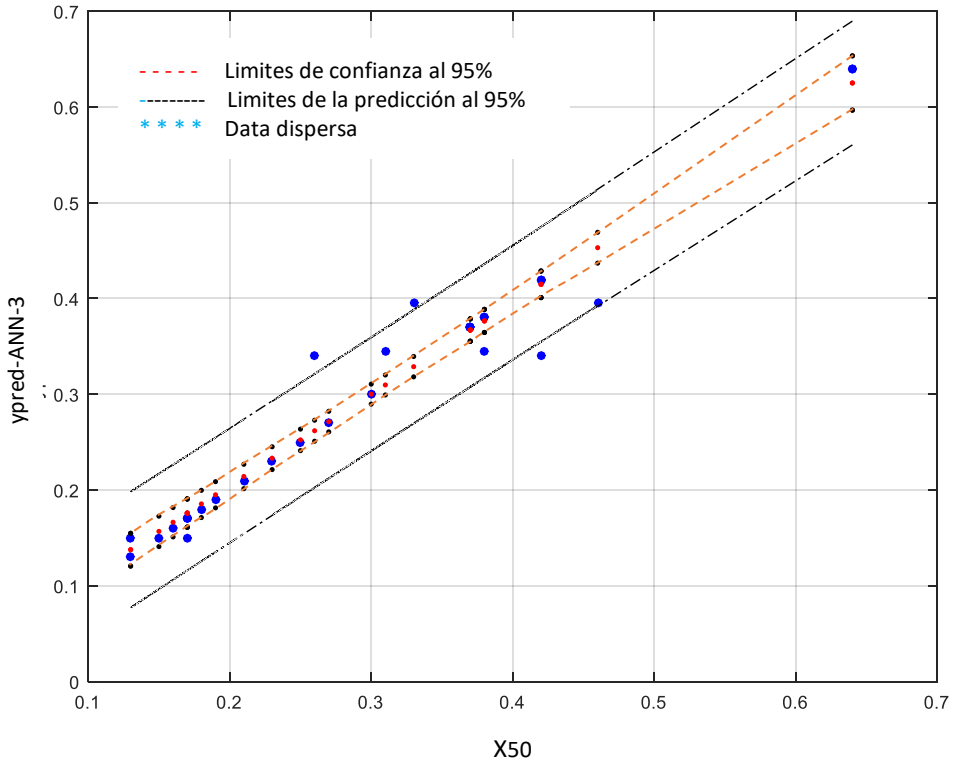

Figura 69. **Ploteo de los limites de Confianza & Predicción al 95%, a la data dispersa de X50 & ypred-ANN-3**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a dicha figura:

Figura 69. Dicha figura representa el ploteo de la dispersión entre la variable {X50} y la variable predecida de Redes Neuronales {ypred-ANN-3}, la finalidad de dicho ploteo es ajustar las datas a una función lineal y asi determinar su coeficiente determinación "R^2", indicador que ayudaran a determinar el modelo óptimo. Así mismo, cabe mencionar que todavía existen, datas fuera de los Limites confianza y de la predicción.

4.28.- Resumen del grupo 3.

A continuación en el siguiente ítem, se presenta el proceso de optimización grafica, donde se aprecia el mejor ajuste lineal predecido por cada modelo de:

a.- ypred kuz-3.

b.- ypred Lineal 3.

c.- ypred ANN 3.

Para una mejor visualización, se presentan ploteados en base a la data dispersa.

* Los resultados de los tratamientos se especifican en la figura 70.

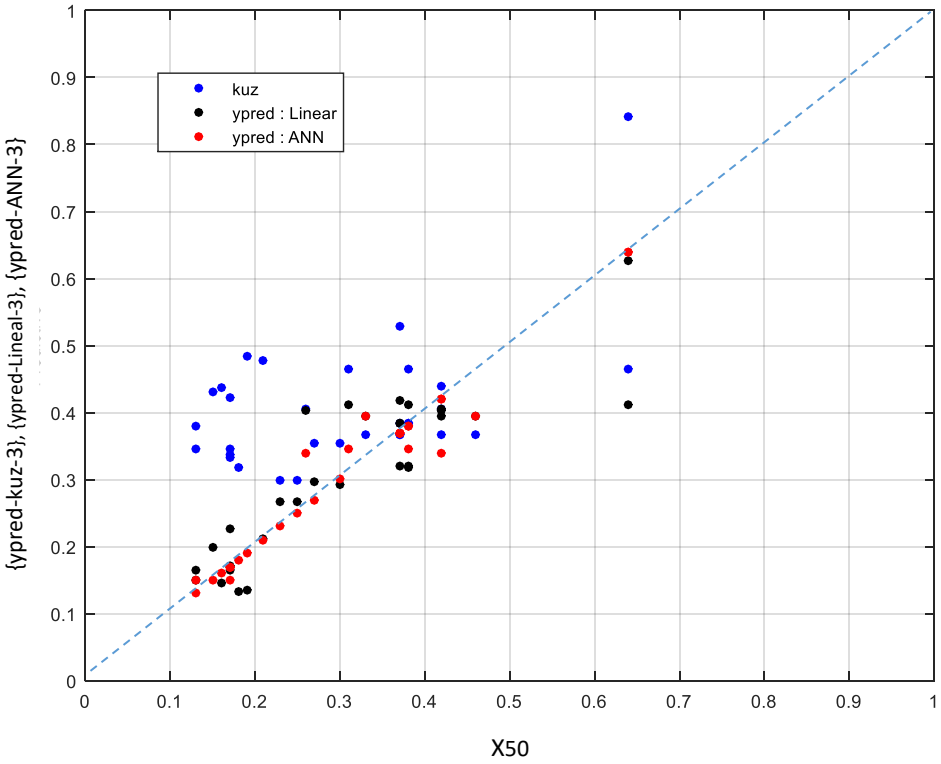

Figura 70. **Ploteo de la data dispersa, entre X50 & kuz-3, Linear-3, ANN-3**
Fuente. Elaboración propia, (Script en Matlab 2015a)

Interpretación. La presente interpretación estará en función a dicha figura:

Figura 70. Dicha figura representa, la perfomance general de la variable de la {X50} en función a todas las variables predecidas por los modelos de: kuznetsov, (ypred-kuz-3), Linear (ypred-Linear-3) & ANN (ypred-ANN-3), donde se aprecia el modelo que tiene el mejor ajuste.

4.28.1.- **Resumen del grupo 3.** En función a sus límites de confianza.

La presente tabla 58, se describe como el copilado de los modelos ypred-kuznetsov 3, ypred-Lineal 3 & ypred-ANN 3, adheridos a estos la clasificación determinada por los Limites de Confianza al 95%. La finalidad es mostrar en un sola tabla, todos los Parámetros utilizados para el cálculo y sus variabilidades. A continuación, se presenta la tabla predicha.

Tabla 58. **Resumen de los métodos kuz-3, Lineal-3, ANN-3, en función a sus Límites de Confianza de 95%**

	Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X50-3	ypred-kuz-3	ypred-Lineal-3	ypred-ANN3		Kuz3	Linear3	ANN3
60	1	**En7**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.08*	*60.00*	*0.64*	93.750	2	0.640	0.465305229	0.41146	0.64	1	1	0	1
61	7	**Ru1**	0.229	*1.13*	*5.00*	*39.47*	*1.93*	*0.31*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	70.313	2	0.640	0.842423176	0.627	0.64	2	0	0	1
62	1	**En1**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	162.162	3	0.370	0.367009505	0.38457	0.37	3	0	0	1
63	2	**En2**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	162.162	3	0.370	0.367009505	0.38457	0.37	4	0	0	1
64	3	**En3**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.33*	181.818	3	0.330	0.367009505	0.39482	0.395	5	0	0	0
65	4	**En4**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	142.857	3	0.420	0.367009505	0.39543	0.42	6	0	1	1
66	5	**En5**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.46*	130.435	3	0.460	0.367009505	0.39482	0.395	7	0	1	0
67	6	**En6**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.17*	*0.27*	*1.08*	*60.00*	*0.37*	162.162	3	0.370	0.528363788	0.41775	0.37	8	0	0	1
68	7	**En8**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	142.857	3	0.420	0.405539959	0.40308	0.34	9	0	1	0
69	8	**En9**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.26*	230.769	3	0.260	0.405539959	0.40308	0.34	10	1	0	0
70	9	**En10**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*	142.857	3	0.420	0.440357278	0.40562	0.42	11	1	1	1
71	10	**En11**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.31*	193.548	3	0.310	0.465305229	0.41207	0.345	12	0	0	0
72	11	**En12**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.38*	157.895	3	0.380	0.465305229	0.41207	0.345	13	1	0	0
73	12	**Mg1**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.83*	*50.00*	*0.23*	217.391	3	0.230	0.299776523	0.26736	0.23	14	0	1	1
74	13	**Mg2**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.78*	*50.00*	*0.25*	200.000	3	0.250	0.299776523	0.26633	0.25	15	0	1	1
75	14	**Mg3**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*1.02*	*50.00*	*0.27*	185.185	3	0.270	0.353825882	0.29735	0.27	16	0	1	1
76	15	**Mg4**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*0.75*	*50.00*	*0.30*	166.667	3	0.300	0.353825882	0.29182	0.3	17	0	1	1
77	16	**Mg5**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.18*	*50.00*	*0.38*	131.579	3	0.380	0.383855326	0.31812	0.38	18	0	0	1
78	17	**Mg6**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.24*	*50.00*	*0.37*	135.135	3	0.370	0.383855326	0.31935	0.37	19	0	0	1
79	18	**Mg7**	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.33*	*50.00*	*0.38*	131.579	3	0.380	0.383855326	0.3212	0.38	20	0	0	1
80	19	**Mr1**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.170	0.345172853	0.16522	0.15	21	1	0	0
81	20	**Mr2**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.51*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.170	0.336537169	0.16968	0.17	22	1	0	1
82	21	**Mr3**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3	0.130	0.345172853	0.16522	0.15	23	1	1	1
83	22	**Mr4**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.170	0.33242374	0.17192	0.17	24	1	1	1
84	23	**Mr5**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3	0.130	0.380571503	0.14958	0.13	25	1	1	1
85	24	**Mr6**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.36*	*1.67*	*32.00*	*0.15*	213.333	3	0.150	0.430520362	0.19797	0.15	26	0	1	1
86	25	**Mr7**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.56*	*1.03*	*32.00*	*0.18*	177.778	3	0.180	0.317181902	0.13192	0.18	27	0	0	1
87	26	**Mr8**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.30*	*1.03*	*32.00*	*0.19*	168.421	3	0.190	0.483216571	0.13564	0.19	28	0	0	1
88	27	**Mr9**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.35*	*1.03*	*32.00*	*0.16*	200.000	3	0.160	0.438270446	0.1468	0.16	29	0	0	1
89	28	**Mr10**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.39*	*1.03*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.170	0.421473985	0.22691	0.17	30	0	1	1
90	29	**Mr11**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.32*	*1.03*	*32.00*	*0.21*	152.381	3	0.210	0.477730943	0.21128	0.21	31	0	1	1
																		(Total de valores dentro del Intervalos de Confianza al 95%)	→	**9**	**14**	**24**

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda : Limites de Confianza al 95% (también llamados IC: Intervalos de Confianza al 95%).& {X50-3} es la función objetivo del Grupo 3

Interpretación. La tabla 58, presenta al final de sus filas un resumen de la clasificación de las datas que se encuentran dentro de los intervalos de confianza al 95%, la leyenda utilizada es :

1 : *Significa que la data se encuentra dentro del Intervalo de Confianza.*

0 : *Significa que la data No se encuentra dentro del Intervalo de Confianza.*

Cabe mencionar que dicho indicador servirá como referente para comparar la efectividad de cada modelo en función a la data objetivo.

4.28.2.- Box Plot en función a los modelos del Grupo 3.

A continuación, en la figura 71, se presenta la performance general del grupo 3, en función a la data objetivo "X50" y los modelos predecidos teóricos de: {ypred-kuznetsov-3}, {ypred-Lineal-3} & {ypred-ANN-3}.

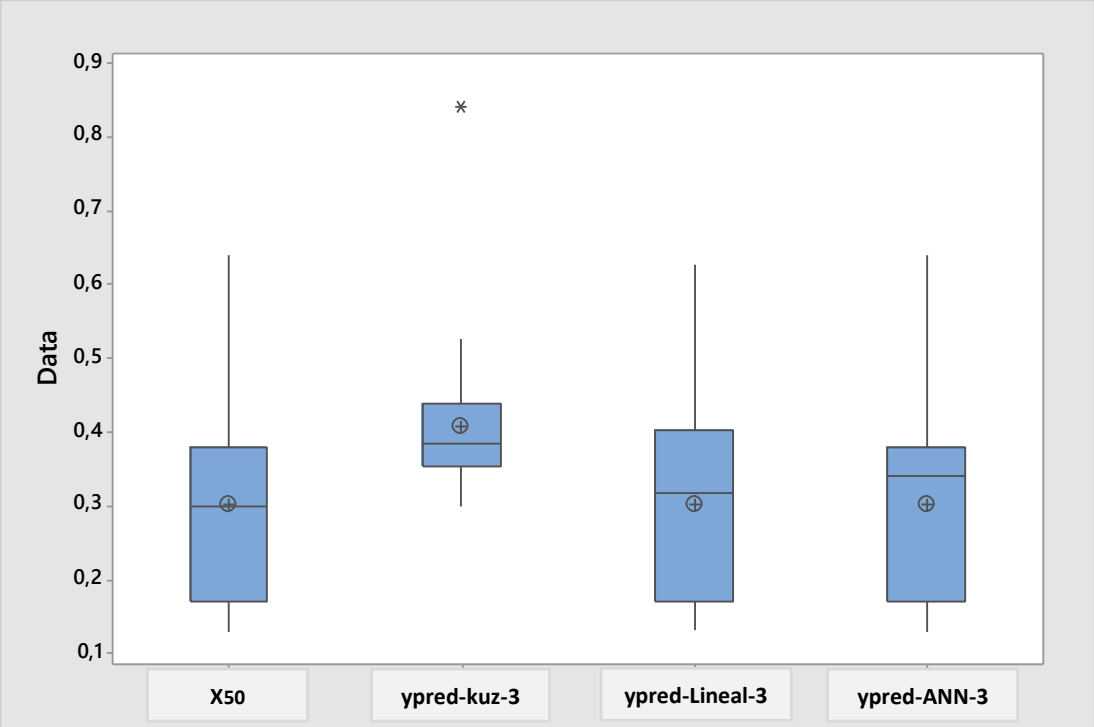

Figura 71. **Perfomance Box plot de los Modelos {ypred-kuz-3}, {ypred-Linear-3}, {ypred-ANN-3}, en función a {X50}**
Fuente. Elaboración propia, (Software Minitab V17).

Interpretación. De los resultados del tratamiento de los diagramas de caja, "Box Plot" se verifica, que el resultado que tiene mayor aproximación a la función objetivo "X50", pertenece al modelo ypred-ANN-3, análogamente el modelo lineal tiende a una proximidad.

4.28.3.- **Perfomance en base a los modelos del grupo 3.**

La performance de dicho grupo esta conformada por los siguientes indices de optimización mostradas en la tabla 59.

Tabla 59. **Cuadro resumen de la perfomance del Grupo 3**

Modelo	Variables Ajustadas	Ecuación de Ajuste	Coeficiente Determinación	MAE	RMSE
Kuz	X50 & ypred-kuz-3	fx = 0.3713x+0.2945	R² = 0.2592	0.0644	0.0866
MVR	X50 & ypred-Linear-3	fx = 0.7796x+0.0668	R² = 0.7796	0.0418	0.0572
ANN	X50 & ypred-ANN-3	fx = 0.9556x+0.0135	R² = 0.9556	0.0162	0.0284

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Interpretación. Del cuadro resumen de la performance de la tabla 59 del grupo 3, se determina que el modelo más óptimo pertenece a Redes Neuronales Artificiales "ypred-ANN-3", debido a que presenta los siguientes índices: R^2= 0.9556; MAE = 0.0162 y RMSE = 0.0284.

4.29.- Análisis de los resultados óptimos de los Grupos.

En el siguiente ítem, se resume los resultados óptimos de cada grupo en función a sus Limites de Confianza al 95%. El objetivo, es contrastar si la función objetivo {X_{50}} esta dentro del rango del IC. (Intervalo de Confianza al 95%)

El resumen de los modelos a desarrollados son:

Grupo 1: **Modelo ypred kuz 1, ypred Lineal 1, ypred ANN 1.**
Grupo 2: **Modelo ypred Kuz 2, ypred Lineal 2, ypred ANN 2.**
Grupo 3: **Modelo ypred kuz 3, ypred Lineal2, ypred ANN3.**

Cabe acotar, que las siguientes tablas que se exponen, pertenecen a un sub resumen de las tablas: 38, 48 y 58. Donde solo se expondrán las datas que se encuentran dentro de los Intervalos de Confianza al 95%.

Grupo 1. Resumen de los Modelos Kuz-1, Lineal-1, ANN-1, en función a los Limites de Confianza al 95% & Limites de la Predicción al 95%

En el siguiente ítem se expone los óptimos de cada modelo, ordenados en función al valor objetivo {X_{50}} de mayor a menor. A continuación, se presenta dicho tratmiento en la tabal 60, 61 y 62.

Tabla 60. **Modelo kuznetsov 1.**

			Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group
1	2	**Rc5**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.31*	*0.29*	*1.56*	*45.00*	*0.96*	46.875	1
2	3	**Rc6**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*	59.211	1
3	1	**Rc4**	0.165	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*	60.000	1
4	4	**Rc9**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*	60.811	1
5	23	**Rc10**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.23*	*0.35*	*1.80*	*45.00*	*0.44*	102.273	2
6	12	**Db8**	0.10	*1.20*	*2.40*	*25.00*	*1.40*	*0.28*	*0.50*	*9.57*	*0.35*	27.343	1
7	13	**Db9**	0.10	*1.40*	*3.20*	*25.00*	*1.40*	*0.31*	*0.50*	*9.57*	*0.29*	33.000	1
8	10	**Db6**	0.10	*1.25*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.33*	*1.00*	*9.57*	*0.23*	41.609	1

X_{50}	ypred-kuz-1	ypred[1]	Min1	Max1	Diff-1	Min2	Max2	Diff-2
0.9600	0.5132	0.4290	0.3118	0.5461	0.2343	0.1756	0.6824	0.5068
0.7600	0.4475	0.4241	0.3426	0.5056	0.1630	0.1851	0.6631	0.4780
0.7500	0.4728	0.4239	0.3441	0.5037	0.1596	0.1854	0.6623	0.4769
0.7400	0.4857	0.4236	0.3455	0.5018	0.1563	0.1858	0.6615	0.4758
0.4400	0.4589	0.4164	0.3728	0.4600	0.0871	0.1875	0.6453	0.4577
0.3500	0.4223	0.4142	0.3692	0.4592	0.0900	0.1850	0.6434	0.4583
0.2900	0.4262	0.4127	0.3631	0.4624	0.0994	0.1826	0.6429	0.4602
0.2300	0.3841	0.4113	0.3548	0.4678	0.1131	0.1796	0.6430	0.4634
03 (37.5 %)						**03** (37.5 %)		

Cantidad de datas de {X50}. Dentro del Intervalo de Confianza y Predicción al 95%.

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: Min1, Max1 (Intervalos de Confianza al 95%); Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción al 95%) & {X50} es la función objetivo "FO".

Tabla 61. **Modelo Lineal 1.**

			Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group
1	3	**Rc6**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*	59.211	1
2	1	**Rc4**	0.165	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*	60.000	1
3	4	**Rc9**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*	60.811	1
4	8	**Db4**	0.10	*1.50*	*5.50*	*20.00*	*1.75*	*0.56*	*1.00*	*9.57*	*0.55*	17.400	1
5	5	**Db1**	0.10	*1.25*	*3.50*	*20.00*	*1.75*	*0.73*	*1.00*	*9.57*	*0.44*	21.750	1
6	11	**Db7**	0.10	*1.25*	*5.00*	*20.00*	*1.75*	*0.44*	*1.00*	*9.57*	*0.40*	23.925	1
7	7	**Db3**	0.10	*1.38*	*3.00*	*20.00*	*1.75*	*0.62*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1
8	9	**Db5**	0.10	*1.75*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.39*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1
9	13	**Db9**	0.10	*1.40*	*3.20*	*25.00*	*1.40*	*0.31*	*0.50*	*9.57*	*0.29*	33.000	1
10	24	**Sm1**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.15*	88.333	2

X_{50}	ypred-Lineal-1	ypred[2]	Min1	Max1	Diff-1	Min2	Max2	Diff-2
0.76	0.6136	0.652	0.5738	0.7300	0.1562	0.4229	0.8810	0.4581
0.75	0.6820	0.645	0.5686	0.7215	0.1530	0.4165	0.8736	0.4570
0.74	0.6612	0.638	0.5633	0.7130	0.1498	0.4102	0.8661	0.4560
0.55	0.5027	0.507	0.4583	0.5563	0.0980	0.2865	0.7282	0.4417
0.44	0.4315	0.432	0.3898	0.4733	0.0835	0.2122	0.6509	0.4387
0.40	0.4325	0.404	0.3625	0.4456	0.0830	0.1847	0.6233	0.4386
0.35	0.3706	0.370	0.3265	0.4128	0.0863	0.1500	0.5892	0.4392
0.35	0.4108	0.370	0.3265	0.4128	0.0863	0.1500	0.5892	0.4392
0.29	0.2964	0.328	0.2807	0.3759	0.0952	0.1077	0.5488	0.4411
0.15	0.1943	0.232	0.1668	0.2970	0.1301	0.0069	0.4568	0.4499
06 (60 %)						**10** (100 %)		

Cantidad de datas de {X50}. Dentro del Intervalo de Confianza y Predicción al 95%.

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: Min1, Max1 (Intervalos de confianza al 95%); Min2, Max2 (Intervalos de la predicción al 95%) & {X50} es la función objetivo"FO".

Tabla 62. **Modelo ANN 1.**

			Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X_{50}	ypred ANN-1	ypred^3	Min1	Max1	Diff-1	Min2	Max2	Diff-2
1	2	**Rc5**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.31*	*0.29*	*1.56*	*45.00*	*0.96*	46.875	1	0.96	0.96	0.9578	0.9423	0.9732	0.0309	0.9243	0.9912	0.0669
2	3	**Rc6**	0.165	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*	59.211	1	0.76	0.76	0.7586	0.7478	0.7693	0.0215	0.7271	0.7901	0.0631
3	6	**Db2**	0.10	*1.25*	*5.10*	*20.00*	*1.75*	*0.70*	*1.00*	*9.57*	*0.76*	12.592	1	0.76	0.76	0.7586	0.7478	0.7693	0.0215	0.7271	0.7901	0.0631
4	1	**Rc4**	0.165	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*	60.000	1	0.75	0.75	0.7486	0.7381	0.7592	0.0211	0.7172	0.7801	0.0629
5	4	**Rc9**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*	60.811	1	0.74	0.74	0.7387	0.7284	0.7490	0.0206	0.7073	0.7700	0.0628
6	22	**Rc8**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.34*	*0.30*	*1.80*	*45.00*	*0.56*	80.357	2	0.56	0.56	0.5594	0.5525	0.5663	0.0138	0.5290	0.5898	0.0609
7	8	**Db4**	0.10	*1.50*	*5.50*	*20.00*	*1.75*	*0.56*	*1.00*	*9.57*	*0.55*	17.400	1	0.55	0.55	0.5494	0.5427	0.5562	0.0135	0.5190	0.5798	0.0608
8	21	**Rc7**	0.165	*1.17*	*1.67*	*26.20*	*1.22*	*0.31*	*1.80*	*45.00*	*0.53*	84.906	2	0.53	0.53	0.5295	0.5230	0.5360	0.0130	0.4992	0.5599	0.0607
9	20	**Rc3**	0.165	*1.17*	*1.58*	*26.20*	*1.22*	*0.28*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	93.750	2	0.48	0.48	0.4797	0.4738	0.4857	0.0119	0.4495	0.5100	0.0605
10	23	**Rc10**	0.165	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.23*	*0.35*	*1.80*	*45.00*	*0.44*	102.273	2	0.44	0.44	0.4399	0.4341	0.4456	0.0115	0.4097	0.4701	0.0604
11	5	**Db1**	0.10	*1.25*	*3.50*	*20.00*	*1.75*	*0.73*	*1.00*	*9.57*	*0.44*	21.750	1	0.44	0.44	0.4399	0.4341	0.4456	0.0115	0.4097	0.4701	0.0604
12	11	**Db7**	0.10	*1.25*	*5.00*	*20.00*	*1.75*	*0.44*	*1.00*	*9.57*	*0.40*	23.925	1	0.4	0.4	0.4001	0.3943	0.4058	0.0114	0.3699	0.4302	0.0604
13	7	**Db3**	0.10	*1.38*	*3.00*	*20.00*	*1.75*	*0.62*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1	0.35	0.35	0.3503	0.3443	0.3562	0.0119	0.3200	0.3805	0.0605
14	9	**Db5**	0.10	*1.75*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.39*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1	0.35	0.35	0.3503	0.3443	0.3562	0.0119	0.3200	0.3805	0.0605
15	12	**Db8**	0.10	*1.20*	*2.40*	*25.00*	*1.40*	*0.28*	*0.50*	*9.57*	*0.35*	27.343	1	0.35	0.35	0.3503	0.3443	0.3562	0.0119	0.3200	0.3805	0.0605
16	19	**Oz6**	0.089	*1.20*	*3.20*	*28.09*	*1.20*	*0.48*	*1.11*	*15.00*	*0.30*	50.000	1	0.3	0.3	0.3005	0.2940	0.3069	0.0129	0.2701	0.3308	0.0607
17	13	**Db9**	0.10	*1.40*	*3.20*	*25.00*	*1.40*	*0.31*	*0.50*	*9.57*	*0.29*	33.000	1	0.29	0.29	0.2905	0.2839	0.2971	0.0131	0.2601	0.3209	0.0607
18	10	**Db6**	0.10	*1.25*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.33*	*1.00*	*9.57*	*0.23*	41.609	1	0.23	0.23	0.2307	0.2233	0.2382	0.0149	0.2002	0.2613	0.0611
19	26	**Ad12**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*2.01*	*16.90*	*0.20*	84.500	2	0.2	0.2	0.2009	0.1929	0.2089	0.0160	0.1702	0.2316	0.0614
20	25	**Sm2**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.19*	69.737	2	0.19	0.19	0.1909	0.1827	0.1991	0.0163	0.1602	0.2217	0.0615
21	27	**Oz2**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.86*	*15.00*	*0.14*	107.143	2	0.14	0.14	0.1411	0.1320	0.1503	0.0183	0.1101	0.1721	0.0621

21 (100 %) **21** (100 %)

Cantidad de datas de {X50}. Dentro del Intervalo de Confianza y Predicción al 95%.

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: Min1, Max1 (Intervalos de confianza al 95%); Min2, Max2 (Intervalos de la predicción al 95%) &{X50} es la función objetivo "FO".

Interpretación : A continuación se da una interpretación de las tablas expuestas.

Tabla 60. Se observa del Modelo kuznetsov-1, en función a los Limites de Confianza al 95%, que solo 03 datas: (Rc10, Db8, Db9) de la FO, {X50}. Se encuentran dentro del IC (Intervalo de Confianza del 95%). Por otra parte, se verifica que dentro los Limites de la Predicción al 95%, se encuentran 04 datas de la FO. {X50}, que están dentro de sus rangos de los Limites de la Predicción, las cuales son: (Rc10, Db8, Db9, Db6). ***Por lo tanto,*** se afirma que el Indice de Efectividad de los valores de la FO {X50}, dentro de los Limites de Confianza al 95% es: (37.5%) & los Limites de la Predicción al 95% es: (37.5%).

Tabla 61. Se observa del Modelo Lineal-1, en función a los Limites de Confianza al 95%, que solo 06 datas: (Db4, Db1, Db7, Db3, Db5, Db9) de la FO. {X50}. Se encuentran dentro del IC (Intervalo de Confianza del 95%). Por otra parte, se verifica que dentro los Limites de la Predicción al 95%, se encuentran 10 datas de la FO..{X50}, que están dentro de sus rangos de los Limites de la Predicción, las cuales son: (Rc6, Rc4, Rc9, Db4, Db1, Db7, Db3, Db5, Db9, Sm1), ***Por lo tanto***, se afirma que el Indice de Efectividad de los valores de la FO {X50}, dentro de los Limites de Confianza al 95% es: (60%) & los Limites de la Predicción al 95% es :(100%).

Tabla 62. Se observa del Modelo ANN-1, en función a los Limites de Confianza al 95%, que solo 21 datas: (Rc5, Rc6, Db2, Rc4, Rc9, Rc8, Db4, Rc7, Rc3, Rc10, Db1, Db7, Db3, Db5, Db8, Oz6, Db9, Db6, Ad12, Sm2, Oz2) de la FO. {X50}, se encuentran dentro del IC (Intervalo de Confianza del 95%). Por otra parte, se verifica que dentro los Limites de la Predicción al 95%, se encuentran 21 datas de la FO., {X50} que están dentro de sus rangos de los Limites de la Predicción las cuales son: (Rc5, Rc6, Db2, Rc4, Rc9, Rc8, Db4, Rc7, Rc3, Rc10, Db1, Db7, Db3, Db5, Db8, Oz6, Db9, Db6, Ad12, Sm2, Oz2). ***Por lo tanto,*** se afirma que el Indice de Efectividad de los valores de la FO {X50}, dentro de los Limites de Confianza al 95% es: (100%) & los Limites de la Predicción al 95% es: (100%).

Finalmente se llega a la conclusión, que para el 1ro. Grupo. La predicción del modelo {X50 ypred ANN-1} será considerado como el **óptimo**, por tener la mayor cantidad de datas dentro sus rangos de los Limites de Confianza & Predicción al 95%

Grupo 2. Resumen de los Modelos Kuz-2, Lineal-2, ANN-2, en función a los Limites de Confianza al 95% & Limites de la Predicción al 95%

*A continuación se exponen el resumen de dicho tratamiento en la tabla 63, 64 y 65

Tabla 63. **Modelo kuznetsov 2.**

			Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X50	ypred-kuz-2	ypred[4]	Min1	Max1	Diff-1	Min2	Max2	Diff-2
1	6	**Ru5**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.11*	*0.35*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	83.333	2	0.54	0.74147	0.7152	0.6478184	0.7827	0.1349	0.5208	0.9097	0.389
2	16	**Ad9**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.68*	*16.90*	*0.18*	93.889	2	0.18	0.21518	0.2441	0.2092238	0.2789	0.0697	0.0584	0.4297	0.371
3	14	**Ad7**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.75*	*1.03*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.15	0.21700	0.2048	0.167253	0.2423	0.0751	0.0186	0.3910	0.372
4	17	**Ad10**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.24*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.15	0.21518	0.2048	0.167253	0.2423	0.0751	0.0186	0.3910	0.372
5	21	**Ad15**	0.089	*1.10*	*3.75*	*21.74*	*1.00*	*1.02*	*1.64*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.15	0.17396	0.2048	0.167253	0.2423	0.0751	0.0186	0.3910	0.372
6	22	**Ad16**	0.089	*1.10*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.86*	*2.35*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.15	0.19479	0.2048	0.167253	0.2423	0.0751	0.0186	0.3910	0.372

00 (0 %) **06** (100 %)

Cantidad de datas de {X50}. Dentro del Intervalo de Confianza y Predicción al 95%

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: Min1, Max1 (Intervalos de confianza al 95%); Min2, Max2 (Intervalos de la predicción al 95%) &{X50} es la función objetivo "FO"

Tabla 64. **Modelo Lineal 2.**

			Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X50	ypred Lineal-2	ypred[5]	Min1	Max1	Diff-1	Min2	Max2	Diff-2
1	5	**Ru4**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*4.67*	*0.22*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	70.313	2	0.64	0.6121	0.6160	0.5781	0.6539	0.0759	0.5268	0.7052	0.1785
2	2	**Rc2**	0.165	*1.17*	*1.50*	*26.20*	*1.12*	*0.30*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	93.750	2	0.48	0.4670	0.4657	0.4404	0.4910	0.0506	0.3811	0.5504	0.1693
3	9	**Ad2**	0.089	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.66*	*0.56*	*16.90*	*0.17*	99.412	2	0.17	0.1862	0.1746	0.1588	0.1904	0.0316	0.0923	0.2569	0.1646
4	25	**Ad19**	0.089	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*1.47*	*16.90*	*0.17*	99.412	2	0.17	0.1842	0.1746	0.1588	0.1904	0.0316	0.0923	0.2569	0.1646
5	14	**Ad7**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.75*	*1.03*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.15	0.1643	0.1558	0.1392	0.1724	0.0333	0.0734	0.2383	0.1649
6	17	**Ad10**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.24*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.15	0.1643	0.1558	0.1392	0.1724	0.0333	0.0734	0.2383	0.1649
7	19	**Ad13**	0.089	*1.12*	*2.80*	*28.09*	*1.00*	*0.54*	*0.96*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.15	0.1678	0.1558	0.1392	0.1724	0.0333	0.0734	0.2383	0.1649
8	21	**Ad15**	0.089	*1.10*	*3.75*	*21.74*	*1.00*	*1.02*	*1.64*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.15	0.1646	0.1558	0.1392	0.1724	0.0333	0.0734	0.2383	0.1649
9	22	**Ad16**	0.089	*1.10*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.86*	*2.35*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.15	0.1685	0.1558	0.1392	0.1724	0.0333	0.0734	0.2383	0.1649
10	29	**Oz3**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.44*	*15.00*	*0.14*	107.143	2	0.14	0.1431	0.1464	0.1293	0.1635	0.0342	0.0639	0.2290	0.1651

10 (100 %) **10** (100 %)

Cantidad de datas de {X50}. Dentro del Intervalo de Confianza y Predicción al 95%.

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: Min1, Max1 (Intervalos de confianza al 95%); Min2, Max2 (Intervalos de la predicción al 95%) &{X50} es la función objetivo "FO"

Tabla 65. **Modelo ANN 2.**

			Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X50	ypred ANN-2	ypred[6]	Min1	Max1	Diff-1	Min2	Max2	Diff-2
1	5	**Ru4**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*4.67*	*0.22*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	70.313	2	0.6400	0.6401	0.6398	0.6383	0.6412	0.0030	0.6363	0.6432	0.0070
2	3	**Ru2**	0.229	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.67*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	83.333	2	0.5400	0.5394	0.5398	0.5387	0.5410	0.0023	0.5365	0.5432	0.0067
3	2	**Rc2**	0.165	*1.17*	*1.50*	*26.20*	*1.12*	*0.30*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	93.750	2	0.4800	0.4792	0.4799	0.4789	0.4808	0.0020	0.4766	0.4832	0.0066
4	1	**Oz1**	0.089	*1.00*	*2.83*	*33.71*	*1.00*	*0.48*	*0.45*	*15.00*	*0.27*	55.556	1	0.2700	0.2695	0.2700	0.2694	0.2706	0.0011	0.2668	0.2732	0.0064
5	13	**Ad6**	0.089	*1.14*	*6.36*	*24.72*	*1.36*	*0.82*	*1.77*	*16.90*	*0.21*	80.476	2	0.2100	0.2102	0.2100	0.2095	0.2106	0.0011	0.2068	0.2132	0.0064
6	28	**Ad22**	0.089	*1.28*	*3.61*	*18.95*	*1.67*	*0.89*	*0.56*	*16.90*	*0.20*	84.500	2	0.2000	0.1999	0.2000	0.1994	0.2006	0.0012	0.1968	0.2032	0.0064
7	30	**Oz4**	0.089	*1.25*	*4.50*	*22.47*	*1.50*	*0.76*	*0.66*	*15.00*	*0.20*	75.000	2	0.2000	0.2001	0.2000	0.1994	0.2006	0.0012	0.1968	0.2032	0.0064
8	26	**Ad20**	0.089	*1.14*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.10*	*1.19*	*16.90*	*0.19*	88.947	2	0.1900	0.1896	0.1900	0.1894	0.1906	0.0012	0.1868	0.1932	0.0064
9	31	**Oz5**	0.089	*1.11*	*3.33*	*30.34*	*1.11*	*0.47*	*0.47*	*15.00*	*0.17*	88.235	2	0.1700	0.1703	0.1700	0.1694	0.1707	0.0012	0.1668	0.1733	0.0064
10	11	**Ad4**	0.089	*1.20*	*4.00*	*28.09*	*1.60*	*0.49*	*0.81*	*16.90*	*0.16*	105.625	2	0.1600	0.1601	0.1601	0.1594	0.1607	0.0013	0.1568	0.1633	0.0064
11	14	**Ad7**	0.089	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.75*	*1.03*	*16.90*	*0.15*	112.667	2	0.1500	0.1501	0.1501	0.1494	0.1507	0.0013	0.1468	0.1533	0.0064
12	18	**Ad11**	0.089	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*0.67*	*16.90*	*0.14*	120.714	2	0.1400	0.1399	0.1401	0.1394	0.1407	0.0013	0.1368	0.1433	0.0065
13	20	**Ad14**	0.089	*1.00*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.56*	*0.83*	*16.90*	*0.14*	120.714	2	0.1400	0.1405	0.1401	0.1394	0.1407	0.0013	0.1368	0.1433	0.0065
14	29	**Oz3**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.44*	*15.00*	*0.14*	107.143	2	0.1400	0.1399	0.1401	0.1394	0.1407	0.0013	0.1368	0.1433	0.0065
15	32	**Oz7**	0.089	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.70*	*0.88*	*15.00*	*0.12*	125.000	3	0.1200	0.1206	0.1201	0.1194	0.1208	0.0014	0.1168	0.1233	0.0065
														15 (100 %)						**15** (100 %)		

Cantidad de datas de {X50} Dentro del Intervalo de Confianza y Predicción al 95%.

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: Min1, Max1 (Intervalos de confianza al 95%); Min2, Max2 (Intervalos de la predicción al 95%) &{X50} es la función objetivo "FO"

Interpretación. A continuación, se da una interpretación de las tablas expuestas.

Tabla 63. Se observa del Modelo kuznetsov-2, en función a los Limites de Confianza al 95%, que ninguna data de la FO, {X50}. Esta dentro del IC (Intervalo de Confianza del 95%). Por otra parte, se verifica que dentro los Limites de la Predicción al 95%, se encuentran 06 datas de la FO. {X50}, que están dentro de sus rangos de los Limites de la Predicción, las cuales son: (Ru5, Ad9, Ad7, Ad10, Ad15, Ad16). ***Por lo tanto,*** se afirma que el Indice de Efectividad de los valores de la FO {X50}, dentro de los Limites de Confianza al 95% es: (00%) & Limites de la Predicción al 95% es: (60%).

Tabla 64. Se observa del Modelo Lineal-2, en función a los Limites de Confianza al 95%, que solo 10 datas: (Ru4, Rc2, Ad2, Ad19, Ad7, Ad10, Ad13, Ad15, Ad16, Oz3), de la FO.{X50}, Se encuentran dentro del IC (Intervalo de Confianza del 95%).

Por otra parte, se verifica que dentro los Limites de la Predicción al 95%, se encuentran 10 datas de la FO.{X50}, que están dentro de sus rangos de los Limites de la Predicción, las cuales son: (Ru4, Rc2, Ad2, Ad19, Ad7, Ad10, Ad13, Ad15, Ad16, Oz3), ***Por lo tanto,*** se afirma que el Indice de Efectividad de los valores de la FO {X50}, dentro de los Limites de Confianza al 95% es: (100%) & los Limites de la Predicción al 95% es :(100%).

Tabla 65. Se observa del Modelo ANN-2, en función a los Limites de Confianza al 95%, que solo 15 datas: (Ru4, Ru2, Rc2, Oz1, Ad6, Ad22, Oz4, Ad20, Oz5, Ad4, Ad7, Ad11, Ad14, Oz3, Oz7) de la FO.{X50}, Se encuentran dentro del IC (Intervalo de Confianza del 95%).

Por otra parte, se verifica que dentro los Limites de la Predicción al 95%, se encuentran 15 datas de la FO.{X50}, que están dentro de sus rangos de los Limites de la Predicción, las cuales son: (Ru4, Ru2, Rc2, Oz1, Ad6, Ad22, Oz4, Ad20, Oz5, Ad4, Ad7, Ad11, Ad14, Oz3, Oz7). ***Por lo tanto,*** se afirma que el Indice de Efectividad de los valores de la FO {X50}, dentro de los Limites de Confianza al 95% es: (100%) & los Limites de la Predicción al 95% es :(100%).

Finalmente, se llega a la conclusión, que para el 2do. Grupo, la predicción del modelo {X50 ypred ANN-2}, será considerado como el ***óptimo,*** por tener la mayor cantidad de datas dentro sus rangos de los Limites de Confianza & Predicción al 95%.

Grupo 3. Resumen de los Modelos Kuz-3, Lineal-3, ANN-3, en función a los Limites de Confianza al 95% & Limites de la Predicción al 95%.

* A continuación se exponen el resumen de dicho tratamiento en la tabla 66, 67 y 68

Tabla 66. **Modelo kuznetsov 3.**

			Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X50	ypred-kuz-3	ypred[7]	Min1	Max1	Diff-1	Min2	Max2	Diff-2
1	1	**En7**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.08*	*60.00*	*0.64*	93.750	2	0.64	0.4653	0.5322	0.4458	0.6185	0.1727	0.3351	0.7292	0.3940
2	11	**En10**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*	142.857	3	0.42	0.4404	0.4505	0.4082	0.4927	0.0845	0.2684	0.6325	0.3641
3	13	**En12**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.38*	157.895	3	0.38	0.4653	0.4356	0.3989	0.4723	0.0734	0.2548	0.6164	0.3616
4	10	**En9**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.26*	230.769	3	0.26	0.4055	0.3911	0.3576	0.4245	0.0669	0.2109	0.5712	0.3604
5	21	**Mr1**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.17	0.3452	0.3576	0.3127	0.4026	0.0899	0.1750	0.5403	0.3654
6	22	**Mr2**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.51*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.17	0.3365	0.3576	0.3127	0.4026	0.0899	0.1750	0.5403	0.3654
7	24	**Mr4**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.17	0.3324	0.3576	0.3127	0.4026	0.0899	0.1750	0.5403	0.3654
8	23	**Mr3**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3	0.13	0.3452	0.3428	0.2907	0.3949	0.1043	0.1582	0.5274	0.3691
9	25	**Mr5**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3	0.13	0.3806	0.3428	0.2907	0.3949	0.1043	0.1582	0.5274	0.3691
														01 (11.11 %)						**04** (44.44 %)		

Cantidad de datas de.{X50}. Dentro del Intervalo de Confianza y Predicción al 95%.

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: Min1, Max1 (Intervalos de confianza al 95%); Min2, Max2 (Intervalos de la predicción al 95%) &{X50} es la función objetivo "FO"

Tabla 67. **Modelo Lineal 3.**

			Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X50	ypred Lineal-3	ypred[8]	Min1	Max1	Diff-1	Min2	Max2	Diff-2
1	7	**En5**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.46*	130.435	3	0.46	0.395	0.425	0.393	0.458	0.065	0.3041	0.5468	0.243
2	6	**En4**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	142.857	3	0.42	0.395	0.394	0.366	0.422	0.056	0.2741	0.5145	0.240
3	9	**En8**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	142.857	3	0.42	0.403	0.394	0.366	0.422	0.056	0.2741	0.5145	0.240
4	11	**En10**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*	142.857	3	0.42	0.406	0.394	0.366	0.422	0.056	0.2741	0.5145	0.240
5	17	**Mg4**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*0.75*	*50.00*	*0.30*	166.667	3	0.30	0.292	0.301	0.280	0.322	0.042	0.1819	0.4195	0.238
6	16	**Mg3**	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*1.02*	*50.00*	*0.27*	185.185	3	0.27	0.297	0.277	0.256	0.299	0.043	0.1584	0.3962	0.238
7	15	**Mg2**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.78*	*50.00*	*0.25*	200.000	3	0.25	0.266	0.262	0.239	0.284	0.045	0.1427	0.3808	0.238
8	14	**Mg1**	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.83*	*50.00*	*0.23*	217.391	3	0.23	0.267	0.246	0.222	0.270	0.048	0.1268	0.3655	0.239
9	31	**Mr11**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.32*	*1.03*	*32.00*	*0.21*	152.381	3	0.21	0.211	0.231	0.205	0.256	0.051	0.1109	0.3502	0.239
10	24	**Mr4**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.17	0.172	0.199	0.170	0.229	0.059	0.0787	0.3200	0.241
11	30	**Mr10**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.39*	*1.03*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.17	0.227	0.199	0.170	0.229	0.059	0.0787	0.3200	0.241
12	26	**Mr6**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.36*	*1.67*	*32.00*	*0.15*	213.333	3	0.15	0.198	0.184	0.152	0.216	0.064	0.0626	0.3050	0.242
13	23	**Mr3**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3	0.13	0.165	0.168	0.134	0.203	0.069	0.0463	0.2900	0.244
14	25	**Mr5**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3	0.13	0.150	0.168	0.134	0.203	0.069	0.0463	0.2900	0.244
														11 (78.57 %)						**11** (100 %)		

Cantidad de datas de.{X50}. Dentro del Intervalo de Confianza y Predicción al 95%.

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: Min1, Max1 (Intervalos de confianza al 95%); Min2, Max2 (Intervalos de la predicción al 95%) &{X50} es la función objetivo "FO"

Tabla 68. **Modelo ANN 3.**

			Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m3)	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Group	X50	ypred ANN-3	ypred[9]	Min1	Max1	Diff-1	Min2	Max2	Diff-2
1	1	**En7**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.08*	*60.00*	*0.64*	93.750	2	0.640	0.64	0.6250	0.5967	0.6534	0.0567	0.5604	0.6897	0.1293
2	2	**Ru1**	0.229	*1.13*	*5.00*	*39.47*	*1.93*	*0.31*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	70.313	2	0.640	0.64	0.6250	0.5967	0.6534	0.0567	0.5604	0.6897	0.1293
3	6	En4	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	142.857	3	0.42	0.42	0.4148	0.4009	0.4287	0.0277	0.3551	0.4746	0.1195
4	11	**En10**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*	142.857	3	0.420	0.42	0.4148	0.4009	0.4287	0.0277	0.3551	0.4746	0.1195
5	18	Mg5	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.18*	*50.00*	*0.38*	131.579	3	0.38	0.38	0.3766	0.3645	0.3886	0.0241	0.3172	0.4359	0.1187
6	20	Mg7	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.33*	*50.00*	*0.38*	131.579	3	0.38	0.38	0.3766	0.3645	0.3886	0.0241	0.3172	0.4359	0.1187
7	3	**En1**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	162.162	3	0.370	0.37	0.3670	0.3554	0.3787	0.0233	0.3078	0.4263	0.1185
8	4	**En2**	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	162.162	3	0.370	0.37	0.3670	0.3554	0.3787	0.0233	0.3078	0.4263	0.1185
9	8	En6	0.165	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.17*	*0.27*	*1.08*	*60.00*	*0.37*	162.162	3	0.37	0.37	0.3670	0.3554	0.3787	0.0233	0.3078	0.4263	0.1185
10	19	Mg6	0.165	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.24*	*50.00*	*0.37*	135.135	3	0.37	0.37	0.3670	0.3554	0.3787	0.0233	0.3078	0.4263	0.1185
11	17	Mg4	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*0.75*	*50.00*	*0.30*	166.667	3	0.3	0.3	0.3001	0.2897	0.3106	0.0209	0.2411	0.3592	0.1181
12	16	Mg3	0.165	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*1.02*	*50.00*	*0.27*	185.185	3	0.27	0.27	0.2715	0.2607	0.2822	0.0215	0.2124	0.3306	0.1182
13	15	Mg2	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.78*	*50.00*	*0.25*	200.000	3	0.25	0.25	0.2524	0.2411	0.2636	0.0225	0.1932	0.3116	0.1184
14	14	Mg1	0.165	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.83*	*50.00*	*0.23*	217.391	3	0.23	0.23	0.2333	0.2213	0.2452	0.0238	0.1739	0.2926	0.1186
15	31	**Mr11**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.32*	*1.03*	*32.00*	*0.21*	152.381	3	0.210	0.21	0.2141	0.2014	0.2269	0.0255	0.1547	0.2736	0.1190
16	28	**Mr8**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.30*	*1.03*	*32.00*	*0.19*	168.421	3	0.190	0.19	0.1950	0.1813	0.2087	0.0274	0.1353	0.2547	0.1194
17	27	**Mr7**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.56*	*1.03*	*32.00*	*0.18*	177.778	3	0.180	0.18	0.1855	0.1713	0.1997	0.0284	0.1257	0.2453	0.1196
18	22	**Mr2**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.51*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.170	0.17	0.1759	0.1612	0.1907	0.0295	0.1160	0.2359	0.1199
19	24	**Mr4**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.170	0.17	0.1759	0.1612	0.1907	0.0295	0.1160	0.2359	0.1199
20	30	**Mr10**	0.076	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.39*	*1.03*	*32.00*	*0.17*	188.235	3	0.170	0.17	0.1759	0.1612	0.1907	0.0295	0.1160	0.2359	0.1199
21	29	**Mr9**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.35*	*1.03*	*32.00*	*0.16*	200.000	3	0.160	0.16	0.1664	0.1510	0.1817	0.0306	0.1063	0.2265	0.1202
22	26	**Mr6**	0.076	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.36*	*1.67*	*32.00*	*0.15*	213.333	3	0.150	0.15	0.1568	0.1409	0.1727	0.0318	0.0966	0.2171	0.1205
23	23	**Mr3**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3	0.130	0.15	0.1377	0.1206	0.1548	0.0342	0.0771	0.1983	0.1212
24	25	**Mr5**	0.076	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.154	3	0.130	0.13	0.1377	0.1206	0.1548	0.0342	0.0771	0.1983	0.1212
														24 (100%)						**24** (100%)		

Cantidad de datas de {X50}. Dentro del Intervalo de Confianza y Predicción al 95%..

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: Min1, Max1 (Intervalos de confianza al 95%); Min2, Max2 (Intervalos de la predicción al 95%) &{X50} es la función objetivo "FO"

Interpretación. A continuación, se da una interpretación de las tablas expuestas.

Tabla 66. Se observa del Modelo kuznetsov-3, en función a los Limites de Confianza al 95%, que solo una data {En10} de la FO.{X50}. Se encuentra dentro del IC (Intervalo de Confianza del 95%).
Por otra parte, se verifica que dentro los Limites de la Predicción al 95%, que solo 04 datas de la FO.{X50}, se encuentran dentro de sus rangos de los Limites de la Predicción al 95%, las cuales son: (En7, En10, En12, En9). ***Por lo tanto,*** se afirma que el Indice de Efectividad de los valores de la FO {X50}, dentro de los Limites de Confianza al 95% es: (11.11%) & los Limites de la Predicción al 95% es: (44.44%).

Tabla 67. Se observa del Modelo Lineal-3, en función a los Limites de Confianza al 95%, que solo 11 datas: (En5, En4, En8, En10, Mg4, Mg3, Mg2, Mg1, Mr11, Mr4, Mr10) de la FO. {X50}, se encuentran dentro del IC (Intervalo de Confianza del 95%).
Por otra parte, se verifica que dentro los Limites de la Predicción al 95%, se encuentran 14 datas de la FO. {X50}, que están dentro de sus rangos de los Limites de la Predicción, las cuales son: (En5, En4, En8, En10, Mg4, Mg3, Mg2, Mg1, Mr11, Mr4, Mr10, Mr6, Mr3, Mr5). ***Por lo tanto***, se afirma que el Indice de Efectividad de los valores de la FO {X50}, dentro de los Limites de Confianza al 95% es: (78.57%) & los Limites de la Predicción al 95% es: (100%).

Tabla 68. Se observa del Modelo ANN-3, en función a los Limites de Confianza al 95%, que solo 24 datas: (En7, Ru1, En4, En10, Mg5, Mg7, En1, En2, En6, Mg6, Mg4, Mg3, Mg2, Mg1, Mr11, Mr8, Mr7, Mr2, Mr4, Mr10, Mr9, Mr6, Mr3, Mr5) de la FO. X50, se encuentran dentro de sus IC (Intervalo de Confianza del 95%).
Por otra parte, se verifica que dentro los Limites de la Predicción al 95%, se encuentran 24 datas de la FO.{X50}, que están dentro de sus rangos de los Limites de la Predicción, las cuales son: (En7, Ru1, En4, En10, Mg5, Mg7, En1, En2, En6, Mg6, Mg4, Mg3, Mg2, Mg1, Mr11, Mr8, Mr7, Mr2, Mr4, Mr10, Mr9, Mr6, Mr3, Mr5). ***Por lo tanto,*** se afirma que el Indice de Efectividad de los valores de la FO {X50}, dentro de los Limites de Confianza al 95% es: (100%) & los Limites de la Predicción al 95% es: (100%).
Finalmente, se llega a la conclusión, que para el 3ro. Grupo, la predicción del modelo {X50 ypred ANN-3} será considerado como el **óptimo**, por tener la mayor cantidad de datas dentro sus rangos de los Limites de Confianza y Predicción al 95%

4.30.- Verificación de la hipótesis general.

Al desarrollar un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la voladura de rocas, se lograra optimizar las operaciones minero metalúrgicas.

La respuesta es positiva y se demuestra en función a los resultados predecidos mediante las técnicas: Kuznetzov {ypred kuz}, Regresiones Multivariantes {ypred Lineal} y Redes Neuronales {ypred ANN}. Cabe acotar, que en la siguiente tabla 69 se han unificado los tres grupos. A continuación, se presenta los resultados de los tratamientos predecidos.

Tabla 69. **Tabla unificada del valor {X50} & {ypred kuz}, {ypred Lineal}, {ypred ANN}.**

	Nro	Tajo	Ø (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf	XB (m)	E (GPa)	X50 (m)	E/X50	Grup	X50 (m)	ypred-kuz (m)	ypred-Lineal (m	ypred-ANN (m)
1	1	**Rc4**	0.17	*1.17*	*1.96*	*26.20*	*1.30*	*0.34*	*1.56*	*45.00*	*0.75*	60.000	1	0.75	0.47282	0.52504	0.75
2	2	**Rc5**	0.17	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.31*	*0.29*	*1.56*	*45.00*	*0.96*	46.875	1	0.96	0.51315	0.55098	0.96
3	3	**Rc6**	0.17	*1.17*	*1.75*	*26.20*	*1.16*	*0.36*	*1.56*	*45.00*	*0.76*	59.211	1	0.76	0.447478	0.50454	0.76
4	4	**Rc9**	0.17	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.29*	*0.32*	*1.80*	*45.00*	*0.74*	60.811	1	0.74	0.48574	0.55106	0.74
5	5	**Db1**	0.10	*1.25*	*3.50*	*20.00*	*1.75*	*0.73*	*1.00*	*9.57*	*0.44*	21.750	1	0.44	0.220753	0.29952	0.44
6	6	**Db2**	0.10	*1.25*	*5.10*	*20.00*	*1.75*	*0.70*	*1.00*	*9.57*	*0.76*	12.592	1	0.76	0.241379	0.3048	0.76
7	7	**Db3**	0.10	*1.38*	*3.00*	*20.00*	*1.75*	*0.62*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1	0.35	0.242568	0.32465	0.35
8	8	**Db4**	0.10	*1.50*	*5.50*	*20.00*	*1.75*	*0.56*	*1.00*	*9.57*	*0.55*	17.400	1	0.55	0.290227	0.31127	0.55
9	9	**Db5**	0.10	*1.75*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.39*	*1.00*	*9.57*	*0.35*	27.343	1	0.35	0.365423	0.33857	0.35
10	10	**Db6**	0.10	*1.25*	*4.75*	*20.00*	*1.75*	*0.33*	*1.00*	*9.57*	*0.23*	41.609	1	0.23	0.384052	0.48351	0.23
11	11	**Db7**	0.10	*1.25*	*5.00*	*20.00*	*1.75*	*0.44*	*1.00*	*9.57*	*0.40*	23.925	1	0.4	0.322831	0.42956	0.4
12	12	**Db8**	0.10	*1.20*	*2.40*	*25.00*	*1.40*	*0.28*	*0.50*	*9.57*	*0.35*	27.343	1	0.35	0.422346	0.37488	0.35
13	13	**Db9**	0.10	*1.40*	*3.20*	*25.00*	*1.40*	*0.31*	*0.50*	*9.57*	*0.29*	33.000	1	0.29	0.42624	0.30951	0.29
14	14	**Sm3**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.23*	57.609	1	0.23	0.513037	0.19352	0.19
15	15	**Sm4**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.22*	60.227	1	0.22	0.513037	0.26267	0.25
16	16	**Sm5**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.24*	55.208	1	0.24	0.513037	0.26267	0.25
17	17	**Sm6**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.26*	50.962	1	0.26	0.513037	0.26267	0.25
18	18	**Sm7**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*1.50*	*13.25*	*0.28*	47.321	1	0.28	0.513037	0.26267	0.25
19	20	**Oz6**	0.09	*1.20*	*3.20*	*28.09*	*1.20*	*0.48*	*1.11*	*15.00*	*0.30*	50.000	1	0.3	0.314949	0.26195	0.3
20	3	**Rc3**	0.17	*1.17*	*1.58*	*26.20*	*1.22*	*0.28*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	93.750	2	0.48	0.515822	0.48806	0.48
21	4	**Rc7**	0.17	*1.17*	*1.67*	*26.20*	*1.22*	*0.31*	*1.80*	*45.00*	*0.53*	84.906	2	0.53	0.488106	0.55067	0.53
22	5	**Rc8**	0.17	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.34*	*0.30*	*1.80*	*45.00*	*0.56*	80.357	2	0.56	0.506006	0.56494	0.56
23	6	**Rc10**	0.17	*1.17*	*1.83*	*26.20*	*1.23*	*0.35*	*1.80*	*45.00*	*0.44*	102.27	2	0.44	0.45894	0.53152	0.44
24	13	**Sm1**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.15*	88.333	2	0.15	0.513037	0.19352	0.19
25	14	**Sm2**	0.21	*1.25*	*2.50*	*28.57*	*0.83*	*0.42*	*0.50*	*13.25*	*0.19*	69.737	2	0.19	0.513037	0.19352	0.19
26	26	**Ad12**	0.09	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*2.01*	*16.90*	*0.20*	84.500	2	0.2	0.232543	0.30189	0.2
27	37	**Oz2**	0.09	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.86*	*15.00*	*0.14*	107.14	2	0.14	0.281943	0.20796	0.14
28	19	**Oz1**	0.09	*1.00*	*2.83*	*33.71*	*1.00*	*0.48*	*0.45*	*15.00*	*0.27*	55.556	1	0.270	0.327908	0.1436	0.2695
29	2	**Rc2**	0.17	*1.17*	*1.50*	*26.20*	*1.12*	*0.30*	*0.68*	*45.00*	*0.48*	93.750	2	0.480	0.48951	0.47029	0.4792
30	8	**Ru2**	0.23	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.67*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	83.333	2	0.540	0.817514	0.62649	0.5394
31	9	**Ru3**	0.23	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.70*	*0.30*	*2.00*	*45.00*	*0.51*	88.235	2	0.510	0.817514	0.62909	0.5115
32	10	**Ru4**	0.23	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*4.67*	*0.22*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	70.313	2	0.640	0.994956	0.75142	0.6401
33	11	**Ru5**	0.23	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.11*	*0.35*	*2.00*	*45.00*	*0.54*	83.333	2	0.540	0.741473	0.55405	0.5439
34	12	**Ru6**	0.23	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*3.22*	*0.34*	*2.00*	*45.00*	*0.69*	65.217	2	0.690	0.755211	0.56837	0.6866
35	15	**Ad1**	0.09	*1.20*	*4.40*	*28.09*	*1.20*	*0.58*	*0.77*	*16.90*	*0.15*	112.67	2	0.150	0.294604	0.1907	0.1520
36	16	**Ad2**	0.09	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.66*	*0.56*	*16.90*	*0.17*	99.412	2	0.170	0.275421	0.13571	0.1667
37	17	**Ad3**	0.09	*1.20*	*4.80*	*28.09*	*1.20*	*0.72*	*0.29*	*16.90*	*0.14*	120.71	2	0.140	0.260654	0.088378	0.1412

Data de contraste de la hipotesis

38	18	**Ad4**	0.09	*1.20*	*4.00*	*28.09*	*1.60*	*0.49*	*0.81*	*16.90*	*0.16*	105.63	2	0.160	0.322642	0.2734	0.1601
39	19	**Ad5**	0.09	*1.14*	*6.82*	*24.72*	*1.36*	*0.84*	*1.43*	*16.90*	*0.21*	80.476	2	0.210	0.233144	0.18864	0.2094
40	20	**Ad6**	0.09	*1.14*	*6.36*	*24.72*	*1.36*	*0.82*	*1.77*	*16.90*	*0.21*	80.476	2	0.210	0.23399	0.22431	0.2102
41	21	**Ad7**	0.09	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.75*	*1.03*	*16.90*	*0.15*	112.67	2	0.150	0.216997	0.22925	0.1501
42	22	**Ad8**	0.09	*1.25*	*3.25*	*22.47*	*1.25*	*0.71*	*0.83*	*16.90*	*0.19*	88.947	2	0.190	0.221904	0.23594	0.1891
43	23	**Ad9**	0.09	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.68*	*16.90*	*0.18*	93.889	2	0.180	0.215184	0.26942	0.1782
44	24	**Ad10**	0.09	*1.25*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.76*	*1.24*	*16.90*	*0.15*	112.67	2	0.150	0.215184	0.23899	0.1525
45	25	**Ad11**	0.09	*1.14*	*3.18*	*24.72*	*1.14*	*0.69*	*0.67*	*16.90*	*0.14*	120.71	2	0.140	0.232543	0.20924	0.1399
46	27	**Ad13**	0.09	*1.12*	*2.80*	*28.09*	*1.00*	*0.54*	*0.96*	*16.90*	*0.15*	112.67	2	0.150	0.282608	0.23325	0.1484
47	28	**Ad14**	0.09	*1.00*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.56*	*0.83*	*16.90*	*0.14*	120.71	2	0.140	0.264132	0.24487	0.1405
48	29	**Ad15**	0.09	*1.10*	*3.75*	*21.74*	*1.00*	*1.02*	*1.64*	*16.90*	*0.15*	112.67	2	0.150	0.17396	0.16776	0.1478
49	30	**Ad16**	0.09	*1.10*	*3.50*	*22.47*	*1.25*	*0.86*	*2.35*	*16.90*	*0.15*	112.67	2	0.150	0.194786	0.30286	0.1515
50	31	**Ad17**	0.09	*1.25*	*3.75*	*17.98*	*1.56*	*1.24*	*1.53*	*16.90*	*0.19*	88.947	2	0.190	0.142806	0.13832	0.1911
51	32	**Ad18**	0.09	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*0.73*	*16.90*	*0.15*	112.67	2	0.150	0.139353	0.13504	0.1507
52	33	**Ad19**	0.09	*1.00*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.26*	*1.47*	*16.90*	*0.17*	99.412	2	0.170	0.139353	0.18621	0.1711
53	34	**Ad20**	0.09	*1.14*	*4.00*	*18.42*	*1.71*	*1.10*	*1.19*	*16.90*	*0.19*	88.947	2	0.190	0.155222	0.21071	0.1896
54	35	**Ad21**	0.09	*1.11*	*4.44*	*18.95*	*1.67*	*1.25*	*1.71*	*16.90*	*0.22*	76.818	2	0.220	0.147087	0.16623	0.2192
55	36	**Ad22**	0.09	*1.28*	*3.61*	*18.95*	*1.67*	*0.89*	*0.56*	*16.90*	*0.20*	84.500	2	0.200	0.180442	0.22383	0.1999
56	38	**Oz3**	0.09	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.53*	*0.44*	*15.00*	*0.14*	107.14	2	0.140	0.281943	0.17892	0.1399
57	39	**Oz4**	0.09	*1.25*	*4.50*	*22.47*	*1.50*	*0.76*	*0.66*	*15.00*	*0.20*	75.000	2	0.200	0.224389	0.20811	0.2001
58	40	**Oz5**	0.09	*1.11*	*3.33*	*30.34*	*1.11*	*0.47*	*0.47*	*15.00*	*0.17*	88.235	2	0.170	0.329611	0.19323	0.1703
59	30	**Oz7**	0.09	*1.20*	*2.40*	*28.09*	*1.00*	*0.70*	*0.88*	*15.00*	*0.12*	125.00	3	0.120	0.236396	0.12814	0.1206
60	1	**En7**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.08*	*60.00*	*0.64*	93.750	2	0.640	0.465305	0.49705	0.64
61	7	**Ru1**	0.23	*1.13*	*5.00*	*39.47*	*1.93*	*0.31*	*2.00*	*45.00*	*0.64*	70.313	2	0.640	0.842423	0.37103	0.64
62	1	**En1**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	162.16	3	0.370	0.36701	0.36655	0.37
63	2	**En2**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*0.58*	*60.00*	*0.37*	162.16	3	0.370	0.36701	0.36655	0.37
64	3	**En3**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.33*	181.82	3	0.330	0.36701	0.40112	0.395
65	4	**En4**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	142.86	3	0.420	0.36701	0.40319	0.42
66	5	**En5**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.78*	*0.48*	*1.08*	*60.00*	*0.46*	130.43	3	0.460	0.36701	0.40112	0.395
67	6	**En6**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.17*	*0.27*	*1.08*	*60.00*	*0.37*	162.16	3	0.370	0.528364	0.53524	0.37
68	7	**En8**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.42*	142.86	3	0.420	0.40554	0.4479	0.34
69	8	**En9**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.91*	*0.41*	*1.11*	*60.00*	*0.26*	230.77	3	0.260	0.40554	0.4479	0.34
70	9	**En10**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*0.99*	*0.36*	*1.08*	*60.00*	*0.42*	142.86	3	0.420	0.440357	0.47665	0.42
71	10	**En11**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.31*	193.55	3	0.310	0.465305	0.49912	0.345
72	11	**En12**	0.17	*1.24*	*1.33*	*27.27*	*1.06*	*0.33*	*1.11*	*60.00*	*0.38*	157.89	3	0.380	0.465305	0.49912	0.345
73	12	**Mg1**	0.17	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.83*	*50.00*	*0.23*	217.39	3	0.230	0.299777	0.27682	0.23
74	13	**Mg2**	0.17	*1.00*	*2.67*	*27.27*	*0.89*	*0.75*	*0.78*	*50.00*	*0.25*	200.00	3	0.250	0.299777	0.27336	0.25
75	14	**Mg3**	0.17	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*1.02*	*50.00*	*0.27*	185.19	3	0.270	0.353826	0.29449	0.27
76	15	**Mg4**	0.17	*1.00*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.61*	*0.75*	*50.00*	*0.30*	166.67	3	0.300	0.353826	0.27582	0.3
77	16	**Mg5**	0.17	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.18*	*50.00*	*0.38*	131.58	3	0.380	0.383855	0.31096	0.38
78	17	**Mg6**	0.17	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.24*	*50.00*	*0.37*	135.14	3	0.370	0.383855	0.31511	0.37
79	18	**Mg7**	0.17	*1.10*	*2.40*	*30.30*	*0.80*	*0.55*	*1.33*	*50.00*	*0.38*	131.58	3	0.380	0.383855	0.32133	0.38
80	19	**Mr1**	0.08	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.24	3	0.170	0.345173	0.21748	0.15
81	20	**Mr2**	0.08	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.51*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.24	3	0.170	0.336537	0.20793	0.17
82	21	**Mr3**	0.08	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.49*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.15	3	0.130	0.345173	0.21748	0.15
83	22	**Mr4**	0.08	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.52*	*1.67*	*32.00*	*0.17*	188.24	3	0.170	0.332424	0.20315	0.17
84	23	**Mr5**	0.08	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.42*	*1.67*	*32.00*	*0.13*	246.15	3	0.130	0.380572	0.25092	0.13
85	24	**Mr6**	0.08	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.80*	*0.36*	*1.67*	*32.00*	*0.15*	213.33	3	0.150	0.43052	0.23306	0.15
86	25	**Mr7**	0.08	*1.20*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.56*	*1.03*	*32.00*	*0.18*	177.78	3	0.180	0.317182	0.12245	0.18
87	26	**Mr8**	0.08	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.30*	*1.03*	*32.00*	*0.19*	168.42	3	0.190	0.483217	0.20013	0.19
88	27	**Mr9**	0.08	*1.40*	*6.00*	*32.89*	*0.60*	*0.35*	*1.03*	*32.00*	*0.16*	200.00	3	0.160	0.43827	0.17625	0.16
89	28	**Mr10**	0.08	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.39*	*1.03*	*32.00*	*0.17*	188.24	3	0.170	0.421474	0.088198	0.17
90	29	**Mr11**	0.08	*1.16*	*5.00*	*39.47*	*0.50*	*0.32*	*1.03*	*32.00*	*0.21*	152.38	3	0.210	0.477731	0.12163	0.21

Data de contraste de la hipótesis

Fuente : Elaboración propia, (Excel 2019).

Para la verificación de la hipótesis general, en base a los resultados de la tabla 69. Cabe acotar que solo se consideran los resultados de la función objetivo {X_{50}}, {ypred kuz}, {ypred Lineal} y {ypred ANN}. Paso a continuación ha presentra el desarrollo.

4.30.1.- Ploteo de la data {X50} Vs. {ypred kuznetsov} y determinación de R^2.

Para la obtención de los resultados del coeficiente determinación R^2. Se plotea el valor de la función objetivo {X50}, versus el valor predecido mediante la ecuación de Kuznetsov {ypred kuz} en un plano cartesiano. En función a estas dos variables (datas), mediante un ajuste lineal se obtiene el coeficiente determinación R^2. A continuación se presenta el tratamiento y los resultados en la siguiente figura 72.

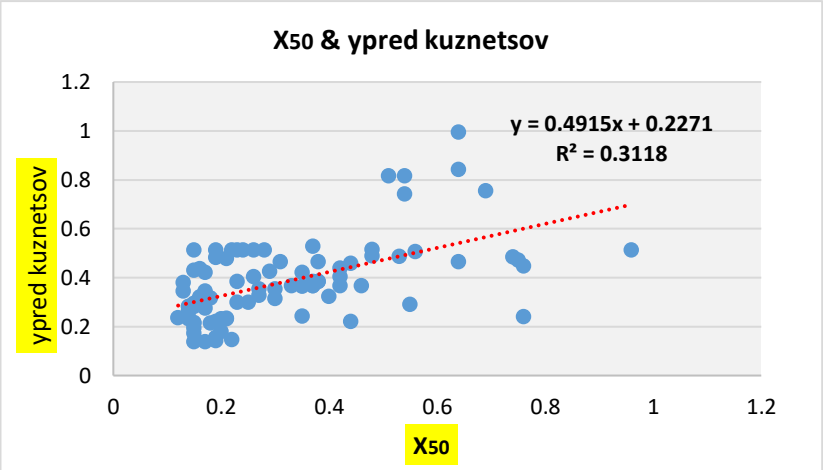

Figura 72. **Ploteo de la data {X50} & {ypred kuznetzov}.**
Fuente. Elaboracion propia, (Excel 2016).

4.30.2.- Análisis de Varianzas de la data de {X50} Vs. {ypred kuznetsov}.

El presente análisis de varianzas esta en función a la data de {X50} & {ypred kuz}, la finalidad es rechazar la hipótesis Nula (Ho), caso contrario aceptar la hipótesis Alternativa (H_A). El contraste de la hipótesis a probar, esta en función a:

$$Ho : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \ldots. \mu_k \quad \text{Las medias son iguales.}$$
$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \ldots. \mu_k \quad \text{Las medias son diferentes.}$$

* El tratamiento de dicho análisis se presenta en la tabla 70.

Tabla 70. Análisis de Varianzas para {X50} Vs. {ypred kuznetsov}.

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	0.19954998	1	0.19954998	6.5291018	0.0114489	3.89423213
Dentro de los grupos	5.44024229	178	0.03056316			
Total	5.63979227	179				

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Interpretación.

Tabla 70. Del tratamiento de la presente tabla 70 (ANOVA). Se obtiene un P-valor de 0.0114489, menor del P-sig (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis Nula (Ho) y se acepta la hipótesis Alternativa (H_A). Esto quiere decir que las medias de dicho análisis difieren, y análogamente de dicha data la predicción es pobre.

Cabe acotar, que para complementar la teoría del análisis ANOVA, ver el apartado 2.4.1.1.

4.30.3.- Ploteo de la data {X_{50}} Vs. {ypred Lineal} y determinación de R^2.

Para el caso de la obtención de los resultados del coeficiente determinación R^2 mediante Regresiones Multivariantes (MVR). Se plotea el valor de la función objetivo {X_{50}} versus el valor predecido mediante el modelo Lineal {ypred Lineal} en un plano cartesiano. En función a estas dos variables (datas), mediante un ajuste lineal se obtiene el coeficiente determinación R^2. A continuación, se presenta el tratamiento y los resultados en la siguiente figura 73.

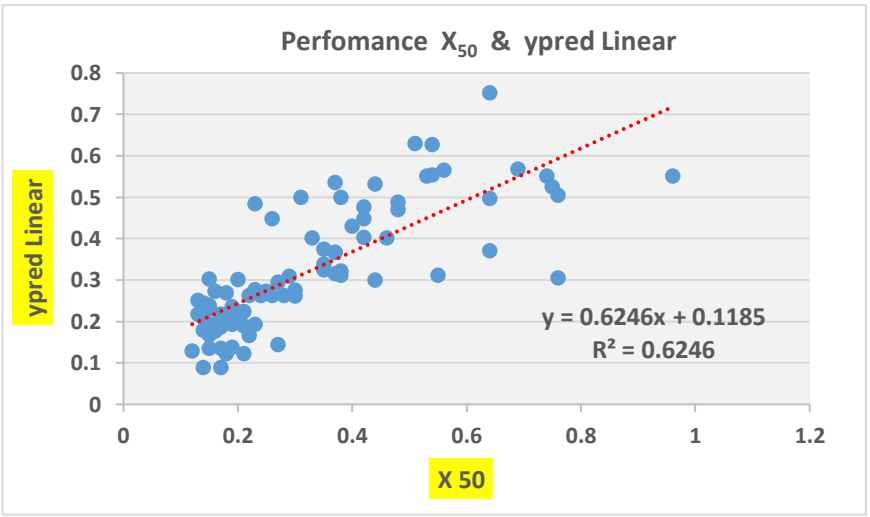

Figura 73. **Ploteo de la data {X_{50}} & {ypred Lineal}.**
Fuente. Elaboracion propia, (Excel 2019).

4.30.4.- Análisis de Varianzas de la data de {X_{50}} Vs. {ypred Lineal}.

El presente análisis de varianzas esta en función a la data de {X_{50}} & {ypred Lineal}, la finalidad es rechazar la hipótesis Nula (Ho), caso contrario aceptar la hipótesis Alternativa (H_A). El contraste de la hipótesis a probar esta en función a:

$$Ho : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \ldots. \mu_k \quad \text{Las medias son iguales.}$$
$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \ldots. \mu_k \quad \text{Las medias son diferentes.}$$

* El resultado del tratamiento de dicho análisis, se presenta en la siguiente tabla 71.

Tabla 71. Análisis de Varianzas para {X50} Vs. {ypred Lineal}.

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	8.5265E-14	1	8.5265E-14	3.0479E-12	0.99999861	3.89423213
Dentro de los grupos	4.97953546	178	0.02797492			
Total	4.97953546	179				

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2019).

Interpretación.

Tabla 71. Del tratamiento de la presente tabla 71 (ANOVA). Se obtiene un P-valor de 0.99999861, mayor del P-sig (0.05). Por lo tanto, se acepta la hipótesis Nula (Ho) y se rechaza la hipótesis Alternativa (HA). Esto quiere decir que las medias de dicho análisis son iguales, y análogamente de dicha data la predicción es muy buena.

Cabe acotar, que para complementar la teoría del análisis ANOVA, ver el apartado 2.4.1.1.

4.30.5.- Ploteo de la data de {X50} Vs. {ypred ANN} y determinación de R^2.

Análogamente para el caso de la obtención de los resultados del coeficiente determinación R^2 mediante Redes Neuronales Artificiales (ANN). Se plotea el valor de la función objetivo {X50} versus el valor predecido mediante el modelo ANN {ypred ANN} en un plano cartesiano. En función a estas dos variables (datas), mediante un ajuste lineal se obtiene el coeficiente determinación R^2. A continuación se presenta el tratamiento y los resultados en la siguiente figura 74.

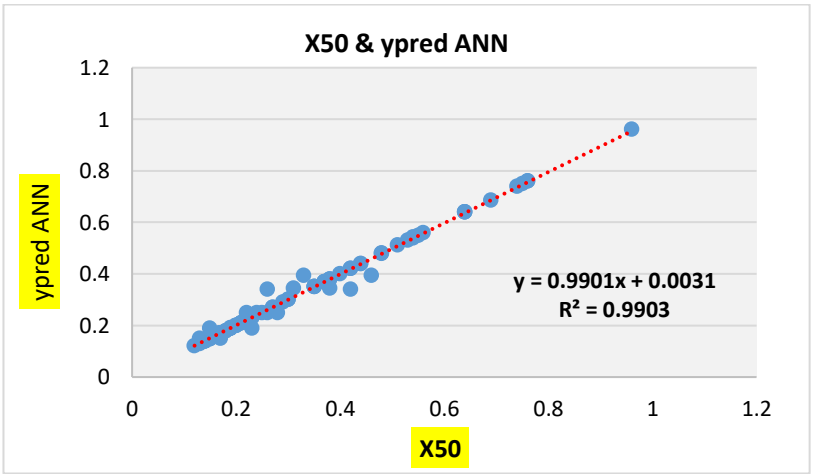

Figura 74. **Ploteo de la data {X50} & {ypred ANN}.**
Fuente. Elaboracion propia, (Excel 2016).

4.30.6.- Análisis de Varianzas de la data de {X50} Vs. {ypred ANN}.

El presente análisis de varianzas esta en función a la data de {X50} & {ypred ANN}, la finalidad es rechazar la hipótesis Nula (Ho), caso contrario aceptar la hipótesis Alternativa (HA). El contraste de la hipótesis a probar esta en función a:

$Ho : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 .... \mu_k$ Las medias son iguales.
$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 .... \mu_k$ Las medias son diferentes.

* El resultado del tratamiento de dicho análisis se presenta en la siguiente tabla 72.

Tabla 72. Análisis de Varianzas para {X50} Vs. {ypred ANN}.

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	3.4737E-12	1	3.4737E-12	1.0137E-10	0.99999198	3.89423213
Dentro de los grupos	6.0993843	178	0.0342662			
Total	6.0993843	179				

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Interpretación.

Tabla 72. Del tratamiento de la presente tabla 72 (ANOVA). Se obtiene un P-valor de 0.99999198, mayor del P-sig (0.05). Por lo tanto, se acepta la hipótesis Nula (Ho) y se rechaza la hipótesis Alternativa (H_A). Esto quiere decir que las medias de dicho análisis son iguales, y análogamente de dicha data, la predicción es muy buena e incluso superior a la regresión lineal.

Cabe acotar, que para complementar la teoría del análisis ANOVA, ver el apartado 2.4.1.1

4.30.7.- Perfomance de la Hipótesis General.

Luego de haber realizado el análisis y tratamientos a los modelos de: Kusnetsov, Regresiones Multivariantes y Redes Neuronales, a continuación se presenta un resumen final de la perfomance en función a: Box plot y un ajuste lineal a los modelos. Paso a presentar los tratamiento en la figura 75.

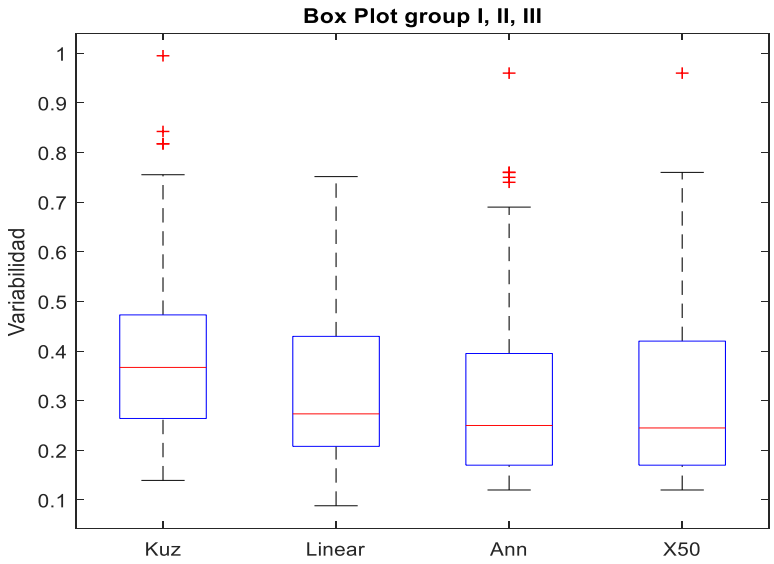

Figura 75. **Perfomance Box plot de los modelos {X50}, {ypred kuz}, {ypred Lineal}, {ypred ANN}.**
Fuente. Elaboración propia, (Software Matlab R2019a).

Interpretación.

Figura 75. La interpretación de dicho tratamiento esta en función a la variabilidad de la data. Por lo tanto, se concluye en el diagrama de caja, que la variabilidad de Redes Neuronales {ypred ANN} & Regresiones Multivariantes {ypred Lineal}, son las que tienen la mayor similaridad a la función objetivo {X50}, esto quiere decir, que la variabilidad entre ambas variables, son insignificantes.

Por otra parte, el resultado del diagrama de caja de kuznetsov {ypred kuz} tiene una significativa diferencia en comparación con la función objetivo {X50}.

A continuación, se spresenta los resultados de dicho tratamiento en la tabla 73.

Tabla 73. **Cuadro resumen de la perfomance a los Modelos de Kuznetsov, Regresiones Lineales (MVR) y Redes Neuronales (ANN).**

Modelo	Variables Ajustadas	Ecuación de Ajuste	Coeficiente Determinación	MAE	RMSE
Kuznetsov	X50 & Kuz	fx = 0.4915x+0.2271	R² = 0.3118	0.1016	0.1363
MVR	X50 & Lineal	fx = 0.6246x+0.1185	R² = 0.6246	0.0656	0.0904
ANN	X50 & ANN	fx = 0.9901x+0.0031	R² = 0.9903	0.0075	0.0183

Fuente : Elaboracion propia, (Excel 2019).

Interpretación.

Tabla 73. Del cuadro de la perfomance unificada, la relevancia se resume en función a los coeficientes determinación R^2, las cuales presentan los siguientes detalles:

a.- Kuznetsov { ypred kuz} R^2 : 0.3118 (el valor difiere)
b.- Regresiones Multivariantes {ypred Lineal} R^2 : 0.6246 (el valor se aproxima)
c.- Redes Neuronales Artificiales {ypred ANN} R^2 : 0.9903 (el valor es similar)

Como conclusión del presente contraste de la **hipótesis general** en función a los resultados de la perfomance. Se obtiene que el Modelo de Redes Neuronales es el más óptimo por presentar un R^2 : 0.9903; MAE: 0.0075 y RMSE: 0.0183.

4.31.- Verificación de las hipótesis específicas.

En el siguiente acápite se desarrollará el contraste de las hipótesis específicas, con el fin de verificar cada hipótesis planteada. A continuación, paso presentar el desarrollo de dichas hipótesis

4.31.1.- Primera hipótesis especifica.

HE1: Al lograr su efectividad de la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitira evaluar y determinar márgenes mas fiables en la fragmentacion

Para demostrar la efectividad de la fragmentación en base a los Limites de Confianza y Prediccion al 95% de la hipótesis específica 1. Primeramente, se toma los valores de la data {X50} & {ypred kuz} de la tabla 69.

Seguidamente se determinan los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%, mediante la siguiente ecuación expuesta en las bases teóricas.

Ecuación de los Limites de Confianza al 95% - (Ec. 23)

$$\hat{y}_o - t_{\alpha/2,\, n-2}\sqrt{\hat{\sigma}^2\left[\frac{1}{n} + \frac{(x_o - \overline{x_1})^2}{Sxx}\right]} \leq y_o \leq \hat{y}_o + t_{\alpha/2,\, n-2}\sqrt{\hat{\sigma}^2\left[\frac{1}{n} + \frac{(x_o - \overline{x_1})^2}{Sxx}\right]}$$

Ecuación de los Limites de Predicción al 95% - (Ec. 27)

$$\hat{y}_o - t_{\alpha/2,\, n-2}\sqrt{\hat{\sigma}^2\left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_o - \overline{x_1})^2}{Sxx}\right]} \leq y_o \leq \hat{y}_o + t_{\alpha/2,\, n-2}\sqrt{\hat{\sigma}^2\left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_o - \overline{x_1})^2}{Sxx}\right]}$$

Cabe acotar, que el presente tratamiento para determinar los Limites de Confianza al 95% y los Limites de la predicción al 95%, están función a un valor de prueba de t-student en base a los grados de libertad de la data. Así mismo dicho valor de t-student se denota como $t_{\alpha/2,\, n-2}$ dentro de las ecuaciones.

A continuación, se presenta el desarrollo del análisis predicho en la tabla 74.

Tabla 74 . **Determinación unificada de los Limites de Confianza al 95%, mediante la Ecuación de kuznetsov**

	Nro	Tajo	X_{50}	ypred-kuz	x^2	y^2	x*y	y pred[10]	Var +-	Min 1	Max 1		Var +-	Min 2	Max 2	
1	1	**Rc4**	0.75	0.47282	0.5625	0.2235592	0.35461537	0.59574	0.073011097	0.523	0.66876	0	0.28053	0.31522	0.87627	1
2	2	**Rc5**	0.96	0.51315	0.9216	0.2633232	0.49262423	0.69896	0.103694986	0.595	0.80266	0	0.29003	0.40893	0.98899	1
3	3	**Rc6**	0.76	0.447478	0.5776	0.2002366	0.34008328	0.60066	0.074437489	0.526	0.67510	0	0.28090	0.31976	0.88156	1
4	4	**Rc9**	0.74	0.48574	0.5476	0.2359433	0.35944754	0.59083	0.07158972	0.519	0.66242	0	0.28016	0.31067	0.87099	1
5	5	**Db1**	0.44	0.220753	0.1936	0.0487319	0.09713138	0.44337	0.034426561	0.409	0.47780	0	0.27304	0.17033	0.71641	1
6	6	**Db2**	0.76	0.241379	0.5776	0.0582639	0.18344809	0.60066	0.074437489	0.526	0.67510	0	0.28090	0.31976	0.88156	0
7	7	**Db3**	0.35	0.242568	0.1225	0.0588393	0.08489883	0.39913	0.029040988	0.370	0.42817	0	0.27241	0.12672	0.67155	1
8	8	**Db4**	0.55	0.290227	0.3025	0.0842319	0.15962501	0.49744	0.046147061	0.451	0.54359	0	0.27476	0.22268	0.77220	1
9	9	**Db5**	0.35	0.365423	0.1225	0.1335341	0.12789809	0.39913	0.029040988	0.370	0.42817	0	0.27241	0.12672	0.67155	1
10	10	**Db6**	0.23	0.384052	0.0529	0.147496	0.08833198	0.34015	0.03147739	0.309	0.37163	0	0.27268	0.06747	0.61283	1
11	11	**Db7**	0.4	0.322831	0.16	0.1042197	0.12913232	0.42371	0.03139109	0.392	0.45510	0	0.27267	0.15104	0.69638	1
12	12	**Db8**	0.35	0.422346	0.1225	0.1783764	0.1478212	0.39913	0.029040988	0.370	0.42817	1	0.27241	0.12672	0.67155	1
13	13	**Db9**	0.29	0.42624	0.0841	0.1816803	0.12360952	0.36964	0.028825894	0.341	0.39847	0	0.27239	0.09725	0.64203	1
14	14	**Sm3**	0.23	0.513037	0.0529	0.2632068	0.11799847	0.34015	0.03147739	0.309	0.37163	0	0.27268	0.06747	0.61283	1
15	15	**Sm4**	0.22	0.513037	0.0484	0.2632068	0.11286811	0.33524	0.032159452	0.303	0.36740	0	0.27276	0.06247	0.60800	1
16	16	**Sm5**	0.24	0.513037	0.0576	0.2632068	0.12312884	0.34507	0.030857883	0.314	0.37592	0	0.27261	0.07245	0.61768	1
17	17	**Sm6**	0.26	0.513037	0.0676	0.2632068	0.13338958	0.35490	0.029821746	0.325	0.38472	0	0.27250	0.08240	0.62739	1
18	18	**Sm7**	0.28	0.513037	0.0784	0.2632068	0.14365032	0.36473	0.029079427	0.336	0.39381	0	0.27242	0.09231	0.63714	1
19	20	**Oz6**	0.3	0.314949	0.09	0.0991927	0.09448464	0.37456	0.02865377	0.346	0.40321	0	0.27237	0.10219	0.64693	1
20	3	**Rc3**	0.48	0.515822	0.2304	0.2660721	0.24759446	0.46303	0.038230505	0.425	0.50126	0	0.27354	0.18949	0.73658	1
21	4	**Rc7**	0.53	0.488106	0.2809	0.2382472	0.25869605	0.48761	0.043758013	0.444	0.53137	1	0.27437	0.21324	0.76198	1
22	5	**Rc8**	0.56	0.506006	0.3136	0.2560417	0.28336313	0.50235	0.047372206	0.455	0.54973	1	0.27497	0.22738	0.77732	1
23	6	**Rc10**	0.44	0.45894	0.1936	0.2106257	0.20193349	0.44337	0.034426561	0.409	0.47780	1	0.27304	0.17033	0.71641	1
24	13	**Sm1**	0.15	0.513037	0.0225	0.2632068	0.07695553	0.30083	0.038368	0.262	0.33920	0	0.27356	0.02727	0.57439	1
25	14	**Sm2**	0.19	0.513037	0.0361	0.2632068	0.097477	0.32049	0.034542247	0.286	0.35503	0	0.27305	0.04744	0.59354	1
26	26	**Ad12**	0.2	0.232543	0.04	0.0540763	0.04650862	0.32541	0.033695708	0.292	0.35910	0	0.27295	0.05246	0.59835	1
27	37	**Oz2**	0.14	0.281943	0.0196	0.0794919	0.03947204	0.29591	0.039418342	0.256	0.33533	1	0.27371	0.02220	0.56963	1
28	19	**Oz1**	0.270	0.327908	0.0729	0.107524	0.08853529	0.35981	0.029412262	0.330	0.38922	0	0.27245	0.08736	0.63226	1
29	2	**Rc2**	0.480	0.48951	0.2304	0.2396205	0.23496504	0.46303	0.038230505	0.425	0.50126	1	0.27354	0.18949	0.73658	1
30	8	**Ru2**	0.540	0.817514	0.2916	0.6683284	0.44145732	0.49252	0.044941783	0.448	0.53747	0	0.27456	0.21796	0.76709	0
31	9	**Ru3**	0.510	0.817514	0.2601	0.6683284	0.41693192	0.47778	0.041462333	0.436	0.51924	0	0.27401	0.20376	0.75179	0

Tabla 74. continuación ….

32	10	**Ru4**	0.640	0.994956	0.4096	0.9899383	0.63677211	0.54168	0.057732693	0.484	0.59941	0	0.27694	0.26473	0.81862	0
33	11	**Ru5**	0.540	0.741473	0.2916	0.5497822	0.40039541	0.49252	0.044941783	0.448	0.53747	0	0.27456	0.21796	0.76709	1
34	12	**Ru6**	0.690	0.755211	0.4761	0.570344	0.52109576	0.56625	0.064569617	0.502	0.63082	0	0.27845	0.28780	0.84470	1
35	15	**Ad1**	0.150	0.294604	0.0225	0.0867916	0.04419062	0.30083	0.038368	0.262	0.33920	1	0.27356	0.02727	0.57439	1
36	16	**Ad2**	0.170	0.275421	0.0289	0.0758566	0.04682154	0.31066	0.0363739	0.274	0.34703	1	0.27329	0.03737	0.58395	1
37	17	**Ad3**	0.140	0.260654	0.0196	0.0679404	0.03649153	0.29591	0.039418342	0.256	0.33533	1	0.27371	0.02220	0.56963	1
38	18	**Ad4**	0.160	0.322642	0.0256	0.1040975	0.05162264	0.30574	0.037352221	0.268	0.34310	1	0.27342	0.03232	0.57917	1
39	19	**Ad5**	0.210	0.233144	0.0441	0.054356	0.0489602	0.33032	0.032900182	0.297	0.36322	0	0.27285	0.05747	0.60317	1
40	20	**Ad6**	0.210	0.23399	0.0441	0.0547514	0.04913792	0.33032	0.032900182	0.297	0.36322	0	0.27285	0.05747	0.60317	1
41	21	**Ad7**	0.150	0.216997	0.0225	0.0470878	0.03254958	0.30083	0.038368	0.262	0.33920	0	0.27356	0.02727	0.57439	1
42	22	**Ad8**	0.190	0.221904	0.0361	0.0492414	0.04216176	0.32049	0.034542247	0.286	0.35503	0	0.27305	0.04744	0.59354	1
43	23	**Ad9**	0.180	0.215184	0.0324	0.0463044	0.03873321	0.31557	0.035436141	0.280	0.35101	0	0.27317	0.04241	0.58874	1
44	24	**Ad10**	0.150	0.215184	0.0225	0.0463044	0.03227767	0.30083	0.038368	0.262	0.33920	0	0.27356	0.02727	0.57439	1
45	25	**Ad11**	0.140	0.232543	0.0196	0.0540763	0.03255604	0.29591	0.039418342	0.256	0.33533	0	0.27371	0.02220	0.56963	1
46	27	**Ad13**	0.150	0.282608	0.0225	0.0798672	0.04239117	0.30083	0.038368	0.262	0.33920	1	0.27356	0.02727	0.57439	1
47	28	**Ad14**	0.140	0.264132	0.0196	0.0697655	0.03697842	0.29591	0.039418342	0.256	0.33533	1	0.27371	0.02220	0.56963	1
48	29	**Ad15**	0.150	0.17396	0.0225	0.030262	0.02609396	0.30083	0.038368	0.262	0.33920	0	0.27356	0.02727	0.57439	1
49	30	**Ad16**	0.150	0.194786	0.0225	0.0379416	0.02921789	0.30083	0.038368	0.262	0.33920	0	0.27356	0.02727	0.57439	1
50	31	**Ad17**	0.190	0.142806	0.0361	0.0203935	0.02713313	0.32049	0.034542247	0.286	0.35503	0	0.27305	0.04744	0.59354	1
51	32	**Ad18**	0.150	0.139353	0.0225	0.0194192	0.02090289	0.30083	0.038368	0.262	0.33920	0	0.27356	0.02727	0.57439	1
52	33	**Ad19**	0.170	0.139353	0.0289	0.0194192	0.02368995	0.31066	0.0363739	0.274	0.34703	0	0.27329	0.03737	0.58395	1
53	34	**Ad20**	0.190	0.155222	0.0361	0.0240937	0.02949209	0.32049	0.034542247	0.286	0.35503	0	0.27305	0.04744	0.59354	1
54	35	**Ad21**	0.220	0.147087	0.0484	0.0216346	0.03235914	0.33524	0.032159452	0.303	0.36740	0	0.27276	0.06247	0.60800	1
55	36	**Ad22**	0.200	0.180442	0.04	0.0325595	0.0360885	0.32541	0.033695708	0.292	0.35910	0	0.27295	0.05246	0.59835	1
56	38	**Oz3**	0.140	0.281943	0.0196	0.0794919	0.03947204	0.29591	0.039418342	0.256	0.33533	1	0.27371	0.02220	0.56963	1
57	39	**Oz4**	0.200	0.224389	0.04	0.0503505	0.04487781	0.32541	0.033695708	0.292	0.35910	0	0.27295	0.05246	0.59835	1
58	40	**Oz5**	0.170	0.329611	0.0289	0.1086436	0.05603391	0.31066	0.0363739	0.274	0.34703	1	0.27329	0.03737	0.58395	1
59	30	**Oz7**	0.120	0.236396	0.0144	0.0558833	0.02836757	0.28608	0.041612161	0.244	0.32770	0	0.27404	0.01205	0.56012	1
60	1	**En7**	0.640	0.465305	0.4096	0.216509	0.29779535	0.54168	0.057732693	0.484	0.59941	0	0.27694	0.26473	0.81862	1
61	7	**Ru1**	0.640	0.842423	0.4096	0.7096768	0.53915083	0.54168	0.057732693	0.484	0.59941	0	0.27694	0.26473	0.81862	0
62	1	**En1**	0.370	0.36701	0.1369	0.134696	0.13579352	0.40896	0.029762827	0.379	0.43873	0	0.27249	0.13647	0.68145	1
63	2	**En2**	0.370	0.36701	0.1369	0.134696	0.13579352	0.40896	0.029762827	0.379	0.43873	0	0.27249	0.13647	0.68145	1
64	3	**En3**	0.330	0.36701	0.1089	0.134696	0.12111314	0.38930	0.028637058	0.361	0.41794	1	0.27237	0.11693	0.66167	1
65	4	**En4**	0.420	0.36701	0.1764	0.134696	0.15414399	0.43354	0.032798168	0.401	0.46634	0	0.27284	0.16070	0.70638	1

Tabla 74. continuación ….

66	5	**En5**	0.460	0.36701	0.2116	0.134696	0.16882437	0.45320	0.036246452	0.417	0.48945	0	0.27327	0.17993	0.72648	1
67	6	**En6**	0.370	0.528364	0.1369	0.2791683	0.1954946	0.40896	0.029762827	0.379	0.43873	0	0.27249	0.13647	0.68145	1
68	7	**En8**	0.420	0.40554	0.1764	0.1644627	0.17032678	0.43354	0.032798168	0.401	0.46634	1	0.27284	0.16070	0.70638	1
69	8	**En9**	0.260	0.40554	0.0676	0.1644627	0.10544039	0.35490	0.029821746	0.325	0.38472	0	0.27250	0.08240	0.62739	1
70	9	**En10**	0.420	0.440357	0.1764	0.1939145	0.18495006	0.43354	0.032798168	0.401	0.46634	1	0.27284	0.16070	0.70638	1
71	10	**En11**	0.310	0.465305	0.0961	0.216509	0.14424462	0.37947	0.028564526	0.351	0.40804	0	0.27236	0.10711	0.65183	1
72	11	**En12**	0.380	0.465305	0.1444	0.216509	0.17681599	0.41388	0.03023624	0.384	0.44412	0	0.27254	0.14134	0.68642	1
73	12	**Mg1**	0.230	0.299777	0.0529	0.089866	0.0689486	0.34015	0.03147739	0.309	0.37163	0	0.27268	0.06747	0.61283	1
74	13	**Mg2**	0.250	0.299777	0.0625	0.089866	0.07494413	0.34998	0.030304771	0.320	0.38029	0	0.27255	0.07743	0.62253	1
75	14	**Mg3**	0.270	0.353826	0.0729	0.1251928	0.09553299	0.35981	0.029412262	0.330	0.38922	1	0.27245	0.08736	0.63226	1
76	15	**Mg4**	0.300	0.353826	0.09	0.1251928	0.10614776	0.37456	0.02865377	0.346	0.40321	1	0.27237	0.10219	0.64693	1
77	16	**Mg5**	0.380	0.383855	0.1444	0.1473449	0.14586502	0.41388	0.03023624	0.384	0.44412	1	0.27254	0.14134	0.68642	1
78	17	**Mg6**	0.370	0.383855	0.1369	0.1473449	0.14202647	0.40896	0.029762827	0.379	0.43873	1	0.27249	0.13647	0.68145	1
79	18	**Mg7**	0.380	0.383855	0.1444	0.1473449	0.14586502	0.41388	0.03023624	0.384	0.44412	1	0.27254	0.14134	0.68642	1
80	19	**Mr1**	0.170	0.345173	0.0289	0.1191443	0.05867938	0.31066	0.0363739	0.274	0.34703	1	0.27329	0.03737	0.58395	1
81	20	**Mr2**	0.170	0.336537	0.0289	0.1132573	0.05721132	0.31066	0.0363739	0.274	0.34703	1	0.27329	0.03737	0.58395	1
82	21	**Mr3**	0.130	0.345173	0.0169	0.1191443	0.04487247	0.29100	0.040500558	0.250	0.33150	0	0.27387	0.01713	0.56487	1
83	22	**Mr4**	0.170	0.332424	0.0289	0.1105055	0.05651204	0.31066	0.0363739	0.274	0.34703	1	0.27329	0.03737	0.58395	1
84	23	**Mr5**	0.130	0.380572	0.0169	0.1448347	0.0494743	0.29100	0.040500558	0.250	0.33150	0	0.27387	0.01713	0.56487	1
85	24	**Mr6**	0.150	0.43052	0.0225	0.1853478	0.06457805	0.30083	0.038368	0.262	0.33920	0	0.27356	0.02727	0.57439	1
86	25	**Mr7**	0.180	0.317182	0.0324	0.1006044	0.05709274	0.31557	0.035436141	0.280	0.35101	1	0.27317	0.04241	0.58874	1
87	26	**Mr8**	0.190	0.483217	0.0361	0.2334983	0.09181115	0.32049	0.034542247	0.286	0.35503	0	0.27305	0.04744	0.59354	1
88	27	**Mr9**	0.160	0.43827	0.0256	0.192081	0.07012327	0.30574	0.037352221	0.268	0.34310	0	0.27342	0.03232	0.57917	1
89	28	**Mr10**	0.170	0.421474	0.0289	0.1776403	0.07165058	0.31066	0.0363739	0.274	0.34703	0	0.27329	0.03737	0.58395	1
90	29	**Mr11**	0.210	0.477731	0.0441	0.2282269	0.1003235	0.33032	0.032900182	0.297	0.36322	0	0.27285	0.05747	0.60317	1

10 (datas dentro del IC de la FO {X_{50}} = 11.11 %) **26** (28.889 %) **85** (94.44 %)

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: ypred[10] (valor de ajuste a la variable ypred-kuznetsov).

Min1, Max1 (Intervalos de Confianza al 95%) & Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción).

Nota. De la tabla 70, se observa que solo 26 datas se encuentran dentro del Intervalo de Confianza al 95% del total de datas tratadas (90).

Por lo tanto, su IEDIC (Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Confianza al 95%). Dado en porcentaje será: 28.889%

Interpretación:

Tabla 74. Del tratamiento de dicha tabla, se obtiene que solo 26 datas de {ypred kuz} están dentro del Intervalo de Confianza al 95%. Esto quiere decir que el índice en porcentaje de las datas dentro del intervalo de confianza en función a 90 datas seria:

Total de datas	= 90
Datas {ypred kuznetsov}, dentro del Intervalo de Confianza al 95%	= 26
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Confianza al 95%	= 28.889 %
Datas {ypred kuznetsov} dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 85
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 94.44 %

La siguiente figura 76 esta en función a la data. {X50} & {ypred kuz} en base a las datas de la tabla 74, la finalidad de dicha figura es visualizar los detalles del ploteo de los Intervalos de confianza al 95% y los Intervalos de la Predicción al 95%.

A continuación, se presenta los resultados de los tratamientos en la figura 76.

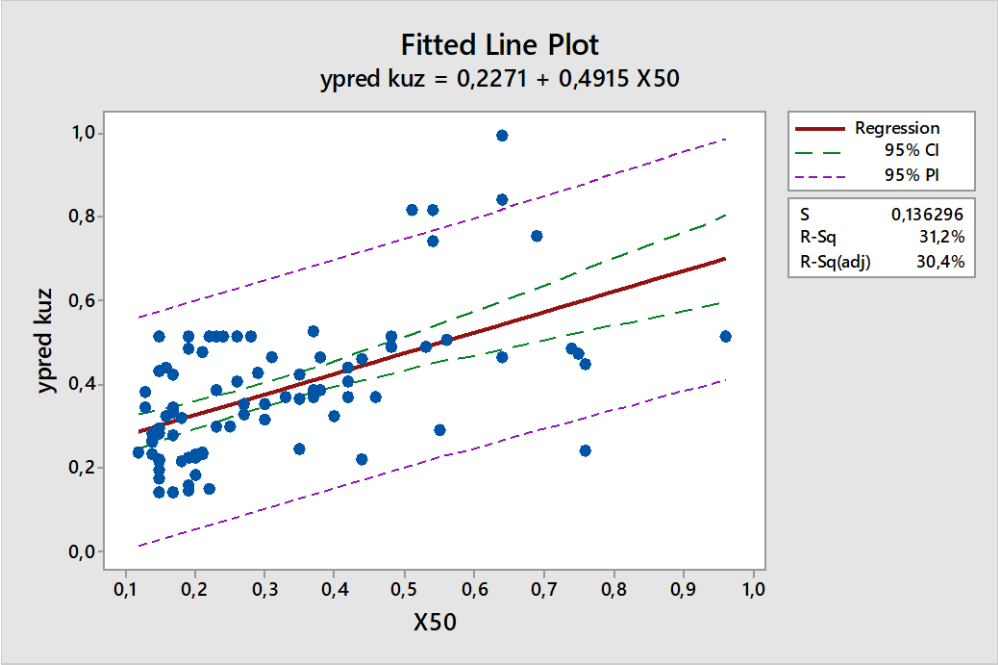

Figura. 76. **Limites de Confianza al 95%, entre {X50} Vs. {ypred-kuz}**
Fuente : Elaboración propia, (Software Minitab V17).

Interpretación:

Figura 76. Dicha figura presenta el ploteo de la data entre {X50} & {ypred kuz}, donde se puede visualizar que los limites del Intervalo de Confianza al 95%, contienen 26 datas y los Limites de la Predicción al 95% contiene 85 datas.

Resumen: Se concluye en función a los resultados obtenidos, que el modelo Kuznetsov presenta una cantidad de 26 datas dentro del IC al 95%. Por lo tanto, se puede considerar a dicho modelo como ***pobre.***

4.31.2.- Segunda hipótesis específica.

HE2: Al lograr su efectividad de la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitira evaluar y determinar márgenes mas fiables en la fragmentacion.

Para demostrar la verificación de dicha hipótesis, primeramente, se determinarán los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Analogamente al igual que la primera hipótesis, mediante las ecuaciones expuestas en las bases teóricas: (***Ecuación de los Limites de Confianza al 95% & Ecuación de los Limites de Predicción al 95%***) se determinan dichos Limites.

Así mismo cabe acotar que de dichas ecuaciones están en función a un valor prueba de t-student, basado en sus grados de libertad de la data.

Seguidamente, a continuación se presenta el desarrollo de dicho tratamiento en la siguiente tabla 75.

Tabla 75 . **Determinación unificada de los Limites de Confianza al 95%, mediante (MVR) Regresiones Lineales**

	Nro	Tajo	X50	ypred-Lineal	x^2	y^2	x*y	y pred[11]	Var +-	Min 1	Max 1		Var +-	Min 2	Max 2	
1	1	**Rc4**	0.75	0.52504	0.5625	0.275667002	0.39378	0.58697	0.04840831	0.539	0.63538	0	0.18600	0.40097	0.77297	1
2	2	**Rc5**	0.96	0.55098	0.9216	0.30357896	0.5289408	0.71814	0.06875255	0.649	0.78690	0	0.19230	0.52585	0.91044	1
3	3	**Rc6**	0.76	0.50454	0.5776	0.254560612	0.3834504	0.59321	0.049354046	0.544	0.64257	0	0.18625	0.40697	0.77946	1
4	4	**Rc9**	0.74	0.55106	0.5476	0.303667124	0.4077844	0.58072	0.047465899	0.533	0.62819	1	0.18575	0.39497	0.76648	1
5	5	**Db1**	0.44	0.29952	0.1936	0.08971223	0.1317888	0.39333	0.022825731	0.371	0.41616	0	0.18103	0.21230	0.57436	1
6	6	**Db2**	0.76	0.3048	0.5776	0.09290304	0.231648	0.59321	0.049354046	0.544	0.64257	0	0.18625	0.40697	0.77946	0
7	7	**Db3**	0.35	0.32465	0.1225	0.105397623	0.1136275	0.33711	0.019254952	0.318	0.35637	1	0.18062	0.15650	0.51773	1
8	8	**Db4**	0.55	0.31127	0.3025	0.096889013	0.1711985	0.46204	0.030596736	0.431	0.49264	0	0.18217	0.27987	0.64422	1
9	9	**Db5**	0.35	0.33857	0.1225	0.114629645	0.1184995	0.33711	0.019254952	0.318	0.35637	1	0.18062	0.15650	0.51773	1
10	10	**Db6**	0.23	0.48351	0.0529	0.23378192	0.1112073	0.26216	0.020870351	0.241	0.28303	0	0.18080	0.08136	0.44295	0
11	11	**Db7**	0.4	0.42956	0.16	0.184521794	0.171824	0.36834	0.020813132	0.348	0.38916	0	0.18079	0.18756	0.54913	1
12	12	**Db8**	0.35	0.37488	0.1225	0.140535014	0.131208	0.33711	0.019254952	0.318	0.35637	0	0.18062	0.15650	0.51773	1
13	13	**Db9**	0.29	0.30951	0.0841	0.09579644	0.0897579	0.29963	0.019112339	0.281	0.31875	1	0.18060	0.11903	0.48024	1
14	14	**Sm3**	0.23	0.19352	0.0529	0.03744999	0.0445096	0.26216	0.020870351	0.241	0.28303	0	0.18080	0.08136	0.44295	1
15	15	**Sm4**	0.22	0.26267	0.0484	0.068995529	0.0577874	0.25591	0.021322577	0.235	0.27723	1	0.18085	0.07506	0.43676	1
16	16	**Sm5**	0.24	0.26267	0.0576	0.068995529	0.0630408	0.26840	0.020459602	0.248	0.28886	1	0.18075	0.08765	0.44915	1
17	17	**Sm6**	0.26	0.26267	0.0676	0.068995529	0.0682942	0.28090	0.019772615	0.261	0.30067	1	0.18067	0.10022	0.46157	1
18	18	**Sm7**	0.28	0.26267	0.0784	0.068995529	0.0735476	0.29339	0.019280438	0.274	0.31267	0	0.18062	0.11277	0.47401	1
19	20	**Oz6**	0.3	0.26195	0.09	0.068617803	0.078585	0.30588	0.018998216	0.287	0.32488	0	0.18059	0.12529	0.48647	1
20	3	**Rc3**	0.48	0.48806	0.2304	0.238202564	0.2342688	0.41832	0.025347847	0.393	0.44366	0	0.18137	0.23695	0.59968	1
21	4	**Rc7**	0.53	0.55067	0.2809	0.303237449	0.2918551	0.44955	0.029012733	0.421	0.47856	0	0.18192	0.26763	0.63146	1
22	5	**Rc8**	0.56	0.56494	0.3136	0.319157204	0.3163664	0.46829	0.03140904	0.437	0.49970	0	0.18231	0.28597	0.65060	1
23	6	**Rc10**	0.44	0.53152	0.1936	0.28251351	0.2338688	0.39333	0.022825731	0.371	0.41616	0	0.18103	0.21230	0.57436	1
24	13	**Sm1**	0.15	0.19352	0.0225	0.03744999	0.029028	0.21218	0.02543901	0.187	0.23762	1	0.18138	0.03080	0.39356	1
25	14	**Sm2**	0.19	0.19352	0.0361	0.03744999	0.0367688	0.23717	0.022902434	0.214	0.26007	0	0.18104	0.05613	0.41821	1
26	26	**Ad12**	0.2	0.30189	0.04	0.091137572	0.060378	0.24342	0.022341156	0.221	0.26576	0	0.18097	0.06245	0.42439	1
27	37	**Oz2**	0.14	0.20796	0.0196	0.043247362	0.0291144	0.20594	0.026135415	0.180	0.23207	1	0.18148	0.02446	0.38742	1
28	19	**Oz1**	0.270	0.1436	0.0729	0.02062096	0.038772	0.28714	0.019501117	0.268	0.30664	0	0.18064	0.10650	0.46778	1
29	2	**Rc2**	0.480	0.47029	0.2304	0.221172684	0.2257392	0.41832	0.025347847	0.393	0.44366	0	0.18137	0.23695	0.59968	1
30	8	**Ru2**	0.540	0.62649	0.2916	0.39248972	0.3383046	0.45579	0.029797604	0.426	0.48559	0	0.18204	0.27375	0.63784	1
31	9	**Ru3**	0.510	0.62909	0.2601	0.395754228	0.3208359	0.43705	0.027490636	0.410	0.46455	0	0.18168	0.25538	0.61873	0
32	10	**Ru4**	0.640	0.75142	0.4096	0.564632016	0.4809088	0.51826	0.03827832	0.480	0.55654	0	0.18362	0.33464	0.70188	0
33	11	**Ru5**	0.540	0.55405	0.2916	0.306971403	0.299187	0.45579	0.029797604	0.426	0.48559	0	0.18204	0.27375	0.63784	1

Tabla 75. Continuación ……

34	12	**Ru6**	0.690	0.56837	0.4761	0.323044457	0.3921753	0.54949	0.042811383	0.507	0.59230	1	0.18462	0.36487	0.73411	1
35	15	**Ad1**	0.150	0.1907	0.0225	0.03636649	0.028605	0.21218	0.02543901	0.187	0.23762	1	0.18138	0.03080	0.39356	1
36	16	**Ad2**	0.170	0.13571	0.0289	0.018417204	0.0230707	0.22468	0.024116869	0.201	0.24879	0	0.18120	0.04348	0.40588	1
37	17	**Ad3**	0.140	0.088378	0.0196	0.007810671	0.01237292	0.20594	0.026135415	0.180	0.23207	0	0.18148	0.02446	0.38742	1
38	18	**Ad4**	0.160	0.2734	0.0256	0.07474756	0.043744	0.21843	0.024765522	0.194	0.24320	0	0.18129	0.03714	0.39972	1
39	19	**Ad5**	0.210	0.18864	0.0441	0.03558505	0.0396144	0.24966	0.0218137	0.228	0.27148	0	0.18091	0.06876	0.43057	1
40	20	**Ad6**	0.210	0.22431	0.0441	0.050314976	0.0471051	0.24966	0.0218137	0.228	0.27148	0	0.18091	0.06876	0.43057	1
41	21	**Ad7**	0.150	0.22925	0.0225	0.052555563	0.0343875	0.21218	0.02543901	0.187	0.23762	1	0.18138	0.03080	0.39356	1
42	22	**Ad8**	0.190	0.23594	0.0361	0.055667684	0.0448286	0.23717	0.022902434	0.214	0.26007	1	0.18104	0.05613	0.41821	1
43	23	**Ad9**	0.180	0.26942	0.0324	0.072587136	0.0484956	0.23092	0.023495109	0.207	0.25442	0	0.18112	0.04981	0.41204	1
44	24	**Ad10**	0.150	0.23899	0.0225	0.05711622	0.0358485	0.21218	0.02543901	0.187	0.23762	0	0.18138	0.03080	0.39356	1
45	25	**Ad11**	0.140	0.20924	0.0196	0.043781378	0.0292936	0.20594	0.026135415	0.180	0.23207	1	0.18148	0.02446	0.38742	1
46	27	**Ad13**	0.150	0.23325	0.0225	0.054405563	0.0349875	0.21218	0.02543901	0.187	0.23762	1	0.18138	0.03080	0.39356	1
47	28	**Ad14**	0.140	0.24487	0.0196	0.059961317	0.0342818	0.20594	0.026135415	0.180	0.23207	0	0.18148	0.02446	0.38742	1
48	29	**Ad15**	0.150	0.16776	0.0225	0.028143418	0.025164	0.21218	0.02543901	0.187	0.23762	0	0.18138	0.03080	0.39356	1
49	30	**Ad16**	0.150	0.30286	0.0225	0.09172418	0.045429	0.21218	0.02543901	0.187	0.23762	0	0.18138	0.03080	0.39356	1
50	31	**Ad17**	0.190	0.13832	0.0361	0.019132422	0.0262808	0.23717	0.022902434	0.214	0.26007	0	0.18104	0.05613	0.41821	1
51	32	**Ad18**	0.150	0.13504	0.0225	0.018235802	0.020256	0.21218	0.02543901	0.187	0.23762	0	0.18138	0.03080	0.39356	1
52	33	**Ad19**	0.170	0.18621	0.0289	0.034674164	0.0316557	0.22468	0.024116869	0.201	0.24879	0	0.18120	0.04348	0.40588	1
53	34	**Ad20**	0.190	0.21071	0.0361	0.044398704	0.0400349	0.23717	0.022902434	0.214	0.26007	0	0.18104	0.05613	0.41821	1
54	35	**Ad21**	0.220	0.16623	0.0484	0.027632413	0.0365706	0.25591	0.021322577	0.235	0.27723	0	0.18085	0.07506	0.43676	1
55	36	**Ad22**	0.200	0.22383	0.04	0.050099869	0.044766	0.24342	0.022341156	0.221	0.26576	1	0.18097	0.06245	0.42439	1
56	38	**Oz3**	0.140	0.17892	0.0196	0.032012366	0.0250488	0.20594	0.026135415	0.180	0.23207	0	0.18148	0.02446	0.38742	1
57	39	**Oz4**	0.200	0.20811	0.04	0.043309772	0.041622	0.24342	0.022341156	0.221	0.26576	0	0.18097	0.06245	0.42439	1
58	40	**Oz5**	0.170	0.19323	0.0289	0.037337833	0.0328491	0.22468	0.024116869	0.201	0.24879	0	0.18120	0.04348	0.40588	1
59	30	**Oz7**	0.120	0.12814	0.0144	0.01641986	0.0153768	0.19345	0.027589976	0.166	0.22104	0	0.18169	0.01175	0.37514	1
60	1	**En7**	0.640	0.49705	0.4096	0.247058703	0.318112	0.51826	0.03827832	0.480	0.55654	1	0.18362	0.33464	0.70188	1
61	7	**Ru1**	0.640	0.37103	0.4096	0.137663261	0.2374592	0.51826	0.03827832	0.480	0.55654	0	0.18362	0.33464	0.70188	1
62	1	**En1**	0.370	0.36655	0.1369	0.134358903	0.1356235	0.34961	0.019733551	0.330	0.36934	1	0.18067	0.16894	0.53027	1
63	2	**En2**	0.370	0.36655	0.1369	0.134358903	0.1356235	0.34961	0.019733551	0.330	0.36934	1	0.18067	0.16894	0.53027	1
64	3	**En3**	0.330	0.40112	0.1089	0.160897254	0.1323696	0.32462	0.018987136	0.306	0.34361	0	0.18059	0.14403	0.50521	1
65	4	**En4**	0.420	0.40319	0.1764	0.162562176	0.1693398	0.38084	0.021746063	0.359	0.40258	0	0.18090	0.19994	0.56174	1
66	5	**En5**	0.460	0.40112	0.2116	0.160897254	0.1845152	0.40582	0.024032367	0.382	0.42986	1	0.18119	0.22464	0.58701	1
67	6	**En6**	0.370	0.53524	0.1369	0.286481858	0.1980388	0.34961	0.019733551	0.330	0.36934	0	0.18067	0.16894	0.53027	0
68	7	**En8**	0.420	0.4479	0.1764	0.20061441	0.188118	0.38084	0.021746063	0.359	0.40258	0	0.18090	0.19994	0.56174	1

Tabla 75. Continuación ……

69	8	En9	0.260	0.4479	0.0676	0.20061441	0.116454	0.28090	0.019772615	0.261	0.30067	0	0.18067	0.10022	0.46157	1
70	9	En10	0.420	0.47665	0.1764	0.227195223	0.200193	0.38084	0.021746063	0.359	0.40258	0	0.18090	0.19994	0.56174	1
71	10	En11	0.310	0.49912	0.0961	0.249120774	0.1547272	0.31213	0.018939045	0.293	0.33107	0	0.18058	0.13154	0.49271	0
72	11	En12	0.380	0.49912	0.1444	0.249120774	0.1896656	0.35585	0.020047436	0.336	0.37590	0	0.18070	0.17515	0.53655	1
73	12	Mg1	0.230	0.27682	0.0529	0.076629312	0.0636686	0.26216	0.020870351	0.241	0.28303	1	0.18080	0.08136	0.44295	1
74	13	Mg2	0.250	0.27336	0.0625	0.07472569	0.06834	0.27465	0.020092874	0.255	0.29474	1	0.18071	0.09394	0.45536	1
75	14	Mg3	0.270	0.29449	0.0729	0.08672436	0.0795123	0.28714	0.019501117	0.268	0.30664	1	0.18064	0.10650	0.46778	1
76	15	Mg4	0.300	0.27582	0.09	0.076076672	0.082746	0.30588	0.018998216	0.287	0.32488	0	0.18059	0.12529	0.48647	1
77	16	Mg5	0.380	0.31096	0.1444	0.096696122	0.1181648	0.35585	0.020047436	0.336	0.37590	0	0.18070	0.17515	0.53655	1
78	17	Mg6	0.370	0.31511	0.1369	0.099294312	0.1165907	0.34961	0.019733551	0.330	0.36934	0	0.18067	0.16894	0.53027	1
79	18	Mg7	0.380	0.32133	0.1444	0.103252969	0.1221054	0.35585	0.020047436	0.336	0.37590	0	0.18070	0.17515	0.53655	1
80	19	Mr1	0.170	0.21748	0.0289	0.04729755	0.0369716	0.22468	0.024116869	0.201	0.24879	1	0.18120	0.04348	0.40588	1
81	20	Mr2	0.170	0.20793	0.0289	0.043234885	0.0353481	0.22468	0.024116869	0.201	0.24879	1	0.18120	0.04348	0.40588	1
82	21	Mr3	0.130	0.21748	0.0169	0.04729755	0.0282724	0.19969	0.026852953	0.173	0.22654	1	0.18158	0.01811	0.38128	1
83	22	Mr4	0.170	0.20315	0.0289	0.041269923	0.0345355	0.22468	0.024116869	0.201	0.24879	1	0.18120	0.04348	0.40588	1
84	23	Mr5	0.130	0.25092	0.0169	0.062960846	0.0326196	0.19969	0.026852953	0.173	0.22654	0	0.18158	0.01811	0.38128	1
85	24	Mr6	0.150	0.23306	0.0225	0.054316964	0.034959	0.21218	0.02543901	0.187	0.23762	1	0.18138	0.03080	0.39356	1
86	25	Mr7	0.180	0.12245	0.0324	0.014994003	0.022041	0.23092	0.023495109	0.207	0.25442	0	0.18112	0.04981	0.41204	1
87	26	Mr8	0.190	0.20013	0.0361	0.040052017	0.0380247	0.23717	0.022902434	0.214	0.26007	0	0.18104	0.05613	0.41821	1
88	27	Mr9	0.160	0.17625	0.0256	0.031064063	0.0282	0.21843	0.024765522	0.194	0.24320	0	0.18129	0.03714	0.39972	1
89	28	Mr10	0.170	0.088198	0.0289	0.007778887	0.01499366	0.22468	0.024116869	0.201	0.24879	0	0.18120	0.04348	0.40588	1
90	29	Mr11	0.210	0.12163	0.0441	0.014793857	0.0255423	0.24966	0.0218137	0.228	0.27148	0	0.18091	0.06876	0.43057	1
			08 (datas dentro del IC de la FO {X_{50}} = 8.888 %)							**28** (31.111 %)				**84** (93.333 %)		

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2019).

Leyenda: ypred[11] (valor de ajuste a la variable ypred-Lineal).

Min1, Max1 (Intervalos de Confianza al 95%) & Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción).

Nota. De la tabla 71 se observa que solo 28 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95%, del total de datas tratadas (90).

Por lo tanto, su IEDIC (Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Confianza al 95%), para el caso dado en porcentaje será: 31.111%

Interpretación:

Tabla 75. Del tratamiento de dicha tabla, se obtiene que solo 28 datas de {ypred Lineal} están dentro del Intervalo de Confianza al 95%. Esto quiere decir que el índice en porcentaje de las datas dentro del intervalo de confianza en función a 90 datas seria:

Total de datas	=	90
Datas {ypred Lineal} dentro del Intervalo de Confianza al 95%	=	28
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Confianza al 95%	=	**31.111 %**
Datas {ypred Lineal} dentro del Intervalo de Predicción al 95%	=	84
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Predicción al 95%	=	93.333 %

La siguiente figura 77 esta en función a la data. {X50} & {ypred Lineal} en base a la tabla 75, la finalidad de dicha figura es visualizar los detalles del ploteo de los Intervalos de confianza al 95% y los Intervalos de la Predicción al 95%.

A continuación se presenta en la figura 77, los tratamientos predichos.

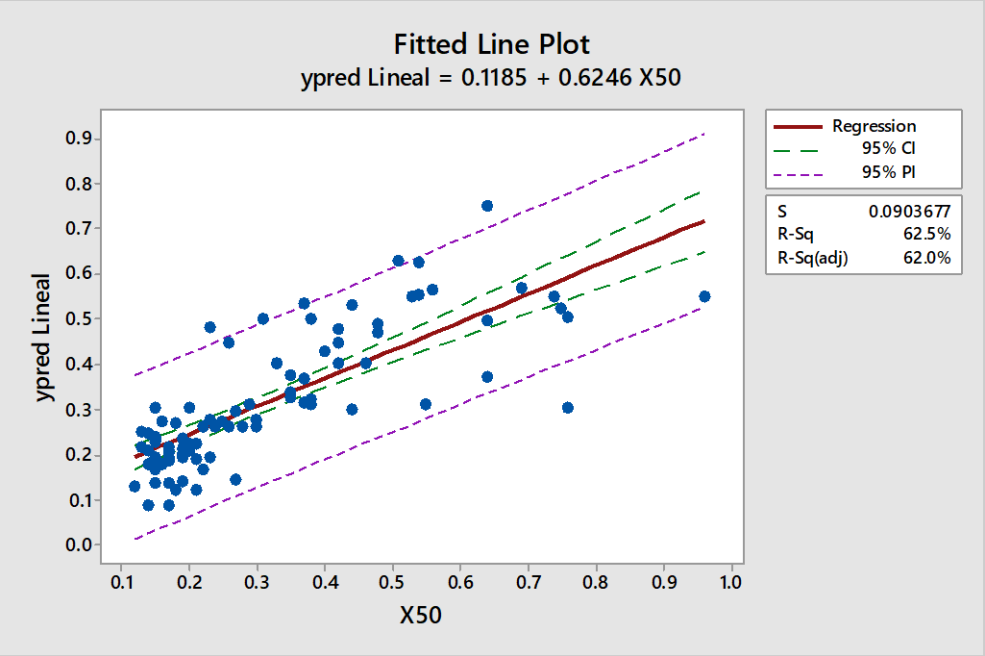

Figura. 77. Limites de Confianza al 95%, entre {X50} Vs. {ypred-Lineal}.
Fuente : Elaboracion propia, (Software Minitab V17).

Interpretación:

Figura 77. Dicha figura presenta el ploteo de la data entre {X50} & {ypred Lineal}, donde se visualiza los limites del Intervalo de Confianza al 95% que contiene 28 datas y los Limites de la Predicción al 95% que contiene 84 datas.

Resumen: Se concluye, en función a los resultados obtenidos del modelo de Regresiones Multivariantes, que solo 28 datas se encuentran dentro del intervalo de confianza "IC" al 95%.. Por lo tanto, se puede considerar a dicho modelo como ***pobre a regular***

4.31.3.- Tercera hipotesis especifica.

HE3: Al lograr su efectividad de la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitira evaluar y determinar márgenes mas fiables en la fragmentacion.

Para demostrar, la verificación de dicha hipótesis para el caso de redes neuronales, primeramente se determinarán los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Analogamente al igual que la anterior hipótesis, mediante las ecuaciones expuestas en las bases teóricas: (***Ecuación de los Limites de Confianza al 95% & Ecuación de los Limites de Predicción al 95%***) se determinan dichos limites.

Así mismo, cabe acotar que dichas ecuaciones están en función a un valor prueba de t-student, basado en sus grados de libertad de la data.

A continuación se presenta el desarrollo de dicho análisis, en la siguiente tabla 76.

Tabla 76 . **Determinación unificada de los Limites de Confianza al 95%, mediante Redes Neuronales Artificiales (ANN)**

	Nro	Tajo	X50	ypred-ANN	x^2	y^2	x*y	y pred[12]	Var +-	Min 1	Max 1		Var +-	Min 2	Max 2	
1	1	**Rc4**	0.75	0.75	0.5625	0.5625	0.5625	0.74572	0.009803631	0.736	0.75552	1	0.03767	0.70805	0.78339	1
2	2	**Rc5**	0.96	0.96	0.9216	0.9216	0.9216	0.95365	0.013923738	0.940	0.96757	1	0.03894	0.91471	0.99259	1
3	3	**Rc6**	0.76	0.76	0.5776	0.5776	0.5776	0.75562	0.009995161	0.746	0.76562	1	0.03772	0.71790	0.79334	1
4	4	**Rc9**	0.74	0.74	0.5476	0.5476	0.5476	0.73582	0.009612774	0.726	0.74543	1	0.03762	0.69820	0.77344	1
5	5	**Db1**	0.44	0.44	0.1936	0.1936	0.1936	0.43878	0.004622658	0.434	0.44340	1	0.03666	0.40211	0.47544	1
6	6	**Db2**	0.76	0.76	0.5776	0.5776	0.5776	0.75562	0.009995161	0.746	0.76562	1	0.03772	0.71790	0.79334	1
7	7	**Db3**	0.35	0.35	0.1225	0.1225	0.1225	0.34966	0.003899505	0.346	0.35356	1	0.03658	0.31308	0.38624	1
8	8	**Db4**	0.55	0.55	0.3025	0.3025	0.3025	0.54769	0.006196438	0.541	0.55389	1	0.03689	0.51080	0.58459	1
9	9	**Db5**	0.35	0.35	0.1225	0.1225	0.1225	0.34966	0.003899505	0.346	0.35356	1	0.03658	0.31308	0.38624	1
10	10	**Db6**	0.23	0.23	0.0529	0.0529	0.0529	0.23084	0.004226655	0.227	0.23507	1	0.03661	0.19423	0.26746	1
11	11	**Db7**	0.4	0.4	0.16	0.16	0.16	0.39917	0.004215067	0.395	0.40338	1	0.03661	0.36256	0.43578	1
12	12	**Db8**	0.35	0.35	0.1225	0.1225	0.1225	0.34966	0.003899505	0.346	0.35356	1	0.03658	0.31308	0.38624	1
13	13	**Db9**	0.29	0.29	0.0841	0.0841	0.0841	0.29025	0.003870623	0.286	0.29412	1	0.03658	0.25368	0.32683	1
14	14	**Sm3**	0.23	0.19	0.0529	0.0361	0.0437	0.23084	0.004226655	0.227	0.23507	0	0.03661	0.19423	0.26746	0
15	15	**Sm4**	0.22	0.25	0.0484	0.0625	0.055	0.22094	0.00431824	0.217	0.22526	0	0.03663	0.18432	0.25757	1
16	16	**Sm5**	0.24	0.25	0.0576	0.0625	0.06	0.24075	0.00414347	0.237	0.24489	0	0.03661	0.20414	0.27735	1
17	17	**Sm6**	0.26	0.25	0.0676	0.0625	0.065	0.26055	0.004004342	0.257	0.26455	0	0.03659	0.22396	0.29714	1
18	18	**Sm7**	0.28	0.25	0.0784	0.0625	0.07	0.28035	0.003904666	0.276	0.28426	0	0.03658	0.24377	0.31693	1
19	20	**Oz6**	0.3	0.3	0.09	0.09	0.09	0.30015	0.003847511	0.296	0.30400	1	0.03657	0.26358	0.33673	1
20	3	**Rc3**	0.48	0.48	0.2304	0.2304	0.2304	0.47838	0.005133436	0.473	0.48351	1	0.03673	0.44165	0.51511	1
21	4	**Rc7**	0.53	0.53	0.2809	0.2809	0.2809	0.52789	0.005875647	0.522	0.53376	1	0.03684	0.49105	0.56473	1
22	5	**Rc8**	0.56	0.56	0.3136	0.3136	0.3136	0.55759	0.006360946	0.551	0.56395	1	0.03692	0.52067	0.59451	1
23	6	**Rc10**	0.44	0.44	0.1936	0.1936	0.1936	0.43878	0.004622658	0.434	0.44340	1	0.03666	0.40211	0.47544	1
24	13	**Sm1**	0.15	0.19	0.0225	0.0361	0.0285	0.15163	0.005151898	0.146	0.15678	0	0.03673	0.11490	0.18837	0
25	14	**Sm2**	0.19	0.19	0.0361	0.0361	0.0361	0.19124	0.004638191	0.187	0.19588	1	0.03666	0.15457	0.22790	1
26	26	**Ad12**	0.2	0.2	0.04	0.04	0.04	0.20114	0.004524522	0.197	0.20566	1	0.03665	0.16449	0.23779	1
27	37	**Oz2**	0.14	0.14	0.0196	0.0196	0.0196	0.14173	0.005292934	0.136	0.14702	1	0.03675	0.10498	0.17848	1
28	19	**Oz1**	0.270	0.2695	0.0729	0.0726195	0.0727596	0.27045	0.003949358	0.267	0.27440	1	0.03658	0.23387	0.30703	1
29	2	**Rc2**	0.480	0.4792	0.2304	0.2296247	0.230012	0.47838	0.005133436	0.473	0.48351	1	0.03673	0.44165	0.51511	1
30	8	**Ru2**	0.540	0.5394	0.2916	0.290929	0.2912643	0.53779	0.006034599	0.532	0.54382	1	0.03687	0.50092	0.57466	1

Tabla 76. Continuación ……

31	9	**Ru3**	0.510	0.5115	0.2601	0.2616391	0.2608684	0.50809	0.005567392	0.503	0.51365	1	0.03679	0.47129	0.54488	1
32	10	**Ru4**	0.640	0.6401	0.4096	0.4097792	0.4096896	0.63680	0.00775211	0.629	0.64456	1	0.03719	0.59962	0.67399	1
33	11	**Ru5**	0.540	0.5439	0.2916	0.2958617	0.2937231	0.53779	0.006034599	0.532	0.54382	0	0.03687	0.50092	0.57466	1
34	12	**Ru6**	0.690	0.6866	0.4761	0.4713623	0.47372525	0.68631	0.008670144	0.678	0.69498	1	0.03739	0.64892	0.72370	1
35	15	**Ad1**	0.150	0.1520	0.0225	0.0231075	0.02280175	0.15163	0.005151898	0.146	0.15678	1	0.03673	0.11490	0.18837	1
36	16	**Ad2**	0.170	0.1667	0.0289	0.0277783	0.02833362	0.17144	0.004884138	0.167	0.17632	1	0.03670	0.13474	0.20813	1
37	17	**Ad3**	0.140	0.1412	0.0196	0.0199261	0.0197624	0.14173	0.005292934	0.136	0.14702	1	0.03675	0.10498	0.17848	1
38	18	**Ad4**	0.160	0.1601	0.0256	0.0256245	0.02561227	0.16153	0.005015503	0.157	0.16655	1	0.03671	0.12482	0.19825	1
39	19	**Ad5**	0.210	0.2094	0.0441	0.0438505	0.04397505	0.21104	0.004417702	0.207	0.21546	1	0.03664	0.17440	0.24768	1
40	20	**Ad6**	0.210	0.2102	0.0441	0.0441861	0.04414305	0.21104	0.004417702	0.207	0.21546	1	0.03664	0.17440	0.24768	1
41	21	**Ad7**	0.150	0.1501	0.0225	0.0225175	0.02250875	0.15163	0.005151898	0.146	0.15678	1	0.03673	0.11490	0.18837	1
42	22	**Ad8**	0.190	0.1891	0.0361	0.0357462	0.03592267	0.19124	0.004638191	0.187	0.19588	1	0.03666	0.15457	0.22790	1
43	23	**Ad9**	0.180	0.1782	0.0324	0.0317707	0.0320838	0.18134	0.00475822	0.177	0.18610	1	0.03668	0.14466	0.21802	1
44	24	**Ad10**	0.150	0.1525	0.0225	0.0232466	0.02287025	0.15163	0.005151898	0.146	0.15678	1	0.03673	0.11490	0.18837	1
45	25	**Ad11**	0.140	0.1399	0.0196	0.0195743	0.01958717	0.14173	0.005292934	0.136	0.14702	1	0.03675	0.10498	0.17848	1
46	27	**Ad13**	0.150	0.1484	0.0225	0.0220339	0.02226575	0.15163	0.005151898	0.146	0.15678	1	0.03673	0.11490	0.18837	1
47	28	**Ad14**	0.140	0.1405	0.0196	0.0197398	0.01966977	0.14173	0.005292934	0.136	0.14702	1	0.03675	0.10498	0.17848	1
48	29	**Ad15**	0.150	0.1478	0.0225	0.021834	0.0221645	0.15163	0.005151898	0.146	0.15678	1	0.03673	0.11490	0.18837	1
49	30	**Ad16**	0.150	0.1515	0.0225	0.0229578	0.02272775	0.15163	0.005151898	0.146	0.15678	1	0.03673	0.11490	0.18837	1
50	31	**Ad17**	0.190	0.1911	0.0361	0.0365039	0.0363014	0.19124	0.004638191	0.187	0.19588	1	0.03666	0.15457	0.22790	1
51	32	**Ad18**	0.150	0.1507	0.0225	0.0227185	0.022609	0.15163	0.005151898	0.146	0.15678	1	0.03673	0.11490	0.18837	1
52	33	**Ad19**	0.170	0.1711	0.0289	0.0292667	0.02908275	0.17144	0.004884138	0.167	0.17632	1	0.03670	0.13474	0.20813	1
53	34	**Ad20**	0.190	0.1896	0.0361	0.0359532	0.03602653	0.19124	0.004638191	0.187	0.19588	1	0.03666	0.15457	0.22790	1
54	35	**Ad21**	0.220	0.2192	0.0484	0.048034	0.04821667	0.22094	0.00431824	0.217	0.22526	1	0.03663	0.18432	0.25757	1
55	36	**Ad22**	0.200	0.1999	0.04	0.0399513	0.03997567	0.20114	0.004524522	0.197	0.20566	1	0.03665	0.16449	0.23779	1
56	38	**Oz3**	0.140	0.1399	0.0196	0.019559	0.01957947	0.14173	0.005292934	0.136	0.14702	1	0.03675	0.10498	0.17848	1
57	39	**Oz4**	0.200	0.2001	0.04	0.0400473	0.04002367	0.20114	0.004524522	0.197	0.20566	1	0.03665	0.16449	0.23779	1
58	40	**Oz5**	0.170	0.1703	0.0289	0.0290044	0.02895213	0.17144	0.004884138	0.167	0.17632	1	0.03670	0.13474	0.20813	1
59	30	**Oz7**	0.120	0.1206	0.0144	0.0145323	0.014466	0.12193	0.005587511	0.116	0.12752	1	0.03680	0.08513	0.15873	1
60	1	**En7**	0.640	0.64	0.4096	0.4096	0.4096	0.63680	0.00775211	0.629	0.64456	1	0.03719	0.59962	0.67399	1
61	7	**Ru1**	0.640	0.64	0.4096	0.4096	0.4096	0.63680	0.00775211	0.629	0.64456	1	0.03719	0.59962	0.67399	1
62	1	**En1**	0.370	0.37	0.1369	0.1369	0.1369	0.36946	0.003996431	0.365	0.37346	1	0.03659	0.33288	0.40605	1
63	2	**En2**	0.370	0.37	0.1369	0.1369	0.1369	0.36946	0.003996431	0.365	0.37346	1	0.03659	0.33288	0.40605	1

64	3	En3	0.330	0.395	0.1089	0.156025	0.13035	0.32986	0.003845267	0.326	0.33370	0	0.03657	0.29329	0.36643	0
65	4	En4	0.420	0.42	0.1764	0.1764	0.1764	0.41897	0.004404004	0.415	0.42338	1	0.03664	0.38234	0.45561	1
66	5	En5	0.460	0.395	0.2116	0.156025	0.1817	0.45858	0.004867025	0.454	0.46344	0	0.03669	0.42188	0.49527	0
67	6	En6	0.370	0.37	0.1369	0.1369	0.1369	0.36946	0.003996431	0.365	0.37346	1	0.03659	0.33288	0.40605	1
68	7	En8	0.420	0.34	0.1764	0.1156	0.1428	0.41897	0.004404004	0.415	0.42338	0	0.03664	0.38234	0.45561	0
69	8	En9	0.260	0.34	0.0676	0.1156	0.0884	0.26055	0.004004342	0.257	0.26455	0	0.03659	0.22396	0.29714	0
70	9	En10	0.420	0.42	0.1764	0.1764	0.1764	0.41897	0.004404004	0.415	0.42338	1	0.03664	0.38234	0.45561	1
71	10	En11	0.310	0.345	0.0961	0.119025	0.10695	0.31006	0.003835528	0.306	0.31389	0	0.03657	0.27348	0.34663	1
72	11	En12	0.380	0.345	0.1444	0.119025	0.1311	0.37937	0.004059998	0.375	0.38343	0	0.03660	0.34277	0.41596	1
73	12	Mg1	0.230	0.23	0.0529	0.0529	0.0529	0.23084	0.004226655	0.227	0.23507	1	0.03661	0.19423	0.26746	1
74	13	Mg2	0.250	0.25	0.0625	0.0625	0.0625	0.25065	0.004069201	0.247	0.25472	1	0.03660	0.21405	0.28724	1
75	14	Mg3	0.270	0.27	0.0729	0.0729	0.0729	0.27045	0.003949358	0.267	0.27440	1	0.03658	0.23387	0.30703	1
76	15	Mg4	0.300	0.3	0.09	0.09	0.09	0.30015	0.003847511	0.296	0.30400	1	0.03657	0.26358	0.33673	1
77	16	Mg5	0.380	0.38	0.1444	0.1444	0.1444	0.37937	0.004059998	0.375	0.38343	1	0.03660	0.34277	0.41596	1
78	17	Mg6	0.370	0.37	0.1369	0.1369	0.1369	0.36946	0.003996431	0.365	0.37346	1	0.03659	0.33288	0.40605	1
79	18	Mg7	0.380	0.38	0.1444	0.1444	0.1444	0.37937	0.004059998	0.375	0.38343	1	0.03660	0.34277	0.41596	1
80	19	Mr1	0.170	0.15	0.0289	0.0225	0.0255	0.17144	0.004884138	0.167	0.17632	0	0.03670	0.13474	0.20813	1
81	20	Mr2	0.170	0.17	0.0289	0.0289	0.0289	0.17144	0.004884138	0.167	0.17632	1	0.03670	0.13474	0.20813	1
82	21	Mr3	0.130	0.15	0.0169	0.0225	0.0195	0.13183	0.005438249	0.126	0.13727	0	0.03677	0.09506	0.16860	1
83	22	Mr4	0.170	0.17	0.0289	0.0289	0.0289	0.17144	0.004884138	0.167	0.17632	1	0.03670	0.13474	0.20813	1
84	23	Mr5	0.130	0.13	0.0169	0.0169	0.0169	0.13183	0.005438249	0.126	0.13727	1	0.03677	0.09506	0.16860	1
85	24	Mr6	0.150	0.15	0.0225	0.0225	0.0225	0.15163	0.005151898	0.146	0.15678	1	0.03673	0.11490	0.18837	1
86	25	Mr7	0.180	0.18	0.0324	0.0324	0.0324	0.18134	0.00475822	0.177	0.18610	1	0.03668	0.14466	0.21802	1
87	26	Mr8	0.190	0.19	0.0361	0.0361	0.0361	0.19124	0.004638191	0.187	0.19588	1	0.03666	0.15457	0.22790	1
88	27	Mr9	0.160	0.16	0.0256	0.0256	0.0256	0.16153	0.005015503	0.157	0.16655	1	0.03671	0.12482	0.19825	1
89	28	Mr10	0.170	0.17	0.0289	0.0289	0.0289	0.17144	0.004884138	0.167	0.17632	1	0.03670	0.13474	0.20813	1
90	29	Mr11	0.210	0.21	0.0441	0.0441	0.0441	0.21104	0.004417702	0.207	0.21546	1	0.03664	0.17440	0.24768	1

90 (datas dentro del IC de la FO {X50} = 100 %) **75** (83.333 %) **84** (93.333 %)

Fuente. Elaboración propia, (Excel 2016).

Leyenda: ypred[12] (valor de ajuste a la variable ypred-ANN).

Min1, Max1 (Intervalos de Confianza al 95%) & Min2, Max2 (Intervalos de la Predicción).

Nota. De la tabla 72 se observa que solo 75 datas se encuentran dentro del Intervalo de confianza al 95% del total de datas tratadas (90).

Por lo tanto, su IEDIC (Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Confianza al 95%). Para el caso, dado en porcentaje será:83.333%

Interpretación.

Tabla 76. Del tratamiento de dicha tabla, se obtiene que solo 75 datas de {ypred ANN} están dentro del Intervalo de Confianza al 95%. Esto quiere decir que el índice en porcentaje de las datas dentro del intervalo de confianza en función a 90 datas seria:

Total de datas	= 90
Datas {ypred ANN} dentro del Intervalo de Confianza al 95%	= 75
Efectividad en función a los Intervalos de Confianza del 95%	= 83.333 %
Datas {ypred Lineal} dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 84
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 93.333 %

La siguiente figura 78 esta en función a la data. {X50} & {ypred ANN}, en base a la data de la tabla 76, la finalidad de dicha figura, es visualizar los detalles del ploteo de los Intervalos de confianza al 95% y los Intervalos de la Predicción al 95%.
A continuación se presenta en la figura 78, los tratamientos predichos.

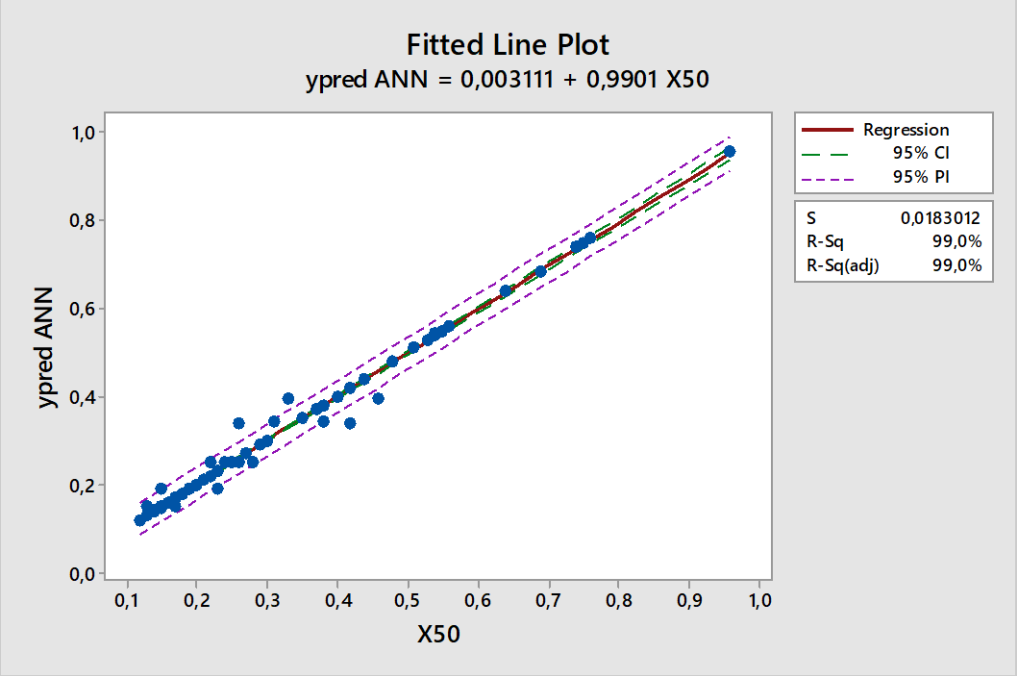

Figura 78. **Ploteo de los Limites de Confianza al 95%, entre {X50} Vs. {ypred-ANN}**
Fuente : Elaboracion propia, (Sotfware Minitab V17).

Interpretación.

Figura 78. Dicha figura presenta el ploteo de la data entre {X50} & {ypred ANN}, donde se visualiza los limites del Intervalo de Confianza al 95% que contiene 75 datas y los Limites de la Predicción al 95% que contiene 84 datas.

Resumen: Se concluye en función a los resultados obtenidos, el modelo de Redes Neuronales Artificiales "ANN", que 75 datas se encuentran dentro del intervalo de confianza "IC" al 95%..Por lo tanto, se considera a dicho modelo como el más ***óptimo***.

CONCLUSIONES.

1.- La presente tesis demuestra en base a un análisis multivariante que se puede predecir la fragmentación teórica mas optima de un proceso de voladura, mediante las técnicas de Kuznetsov, Regresiones Lineales y Redes Neuronales Artificiales. Análogamente se puede predecir la variabilidad granulométrica teórica, mediante el método de los Limites de Confianza al 95% & los Limites de la Predicción al 95%. Paso a continuación a presentar, la formulación y contrastación de las hipótesis.

HG. La hipótesis general.

Al desarrollar un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la voladura de rocas, se lograra optimizar las operaciones minero metalúrgicas.

La verificación de dicha hipótesis esta en función a la optimización de las técnicas del aplicadas como Kuznetsov, Regresiones multivariantes y Redes Neuronales, A continuación se presenta la perfomance obtenida.

Técnica de kuznetsov.

- Del Ploteo de {X_{50}} Vs. (ypred Kuznetsov} se obtiene $R^2 = 0.3118$ (el valor es pobre).
- Del Ploteo de {X_{50}} Vs. (ypred Kuznetsov} se obtiene MAE = 0.1016; RMSE= 0.1363.
- Del análisis ANOVA se rechaza la (Ho) y se acepta la (H_A). Análogamente la predicción en base a dicha data, ***es Pobre.***

Técnica de regresiones Multivariantes.

- Del Ploteo de {X_{50}} Vs. {ypred Lineal}se obtiene $R^2 = 0.6246$ (el valor es buena).
- Del Ploteo de {X_{50}} Vs. {ypred Lineal} se obtiene MAE = 0.0556; RMSE= 0.0904
- Del análisis ANOVA se acepta (Ho) y se rechaza la (H_A). Análogamente la predicción en base a dicha data, ***es Regular.***

Técnica de Redes Neuronales Artificiales.

- Del Ploteo de {X_{50}} Vs. {ypred ANN}se obtiene $R^2 = 0.9903$ (el valor es muy buena)
- Del Ploteo de {X_{50}} Vs. {ypred ANN} se obtiene MAE = 0.0075; RMSE= 0.0183
- Del análisis ANOVA se acepta la (Ho) y se rechaza la (H_A). Análogamente la predicción en base a dicha data, ***es muy buena e incluso superior a la regresion lineal.***

Hipotesis Especifica 1.

Al lograr su efectividad de la técnica de Kuznetsov en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.

El resultado de su Indice de Efectividad en base a los Intervalos de Confianza y Predicción al 95%, se presentan a continuación:

Total de datas	= 90
Datas {ypred kuznetsov}, dentro del Intervalo de Confianza al 95%	= 26
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Confianza al 95%	= 28.889 %
Datas {ypred kuznetsov} dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 85
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 94.44 %

Hipótesis Especifica 2.

Al lograr su efectividad de la técnica de Regresiones Multivariantes en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.

El resultado de su Indice de Efectividad dentro los Intervalos de Confianza y Predicción al 95%, se presentan a continuación:

Total de datas	= 90
Datas {ypred Lineal} dentro del Intervalo de Confianza al 95%	= 28
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Confianza al 95%	= **31.111 %**
Datas {ypred Lineal} dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 84
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 93.333 **%**

Hipótesis Especifica 3.

Al lograr su efectividad de la técnica de Redes Neuronales Artificiales en la voladura de rocas, en base a los Limites de Confianza al 95% y Limites de la Predicción al 95%. Permitirá evaluar y determinar márgenes más fiables en la fragmentación.

El resultado de su Indice de Efectividad dentro los Intervalos de Confianza y Predicción al 95%, se presentan a continuación:

Total de datas	= 90
Datas {ypred ANN} dentro del Intervalo de Confianza al 95%	= 75
Efectividad en función a los Intervalos de Confianza del 95%	= 83.333 %
Datas {ypred Lineal} dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 84
Indice de Efectividad dentro del Intervalo de Predicción al 95%	= 93.333 %

Por lo tanto, en función a su Indice de Efectividad, se concluye que el modelo de Redes Neuronales Artificiales (ANN) es el más óptimo, por contener mas datas dentro de sus intervalos de Confianza y Predicción al 95%

2.- La técnica del análisis discriminante aplicada a los tres grupos preliminares, realiza una reclasificación estadística eficiente (ver tabla 28), donde se observa que clasifica 78 datas de un total de 90 datas, proporcionando un porcentaje de clasificación de (0.866666667%). Por lo cual, las 12 datas mal clasificadas, la técnica predicha, las reubica entre los otros grupos.

3.- De los resultados del Análisis de Componentes Principales, se determina que la mejor interpretación de la data, esta en función a la matriz de varianzas y covarianzas, debido a la información proporcionada en función a dos componentes, A continuación, se presentan los índices en unidades:

- Grupo 1 : Proporción acum. de S-1 = 0.99833. (ver pag. 79).
- Grupo 2 : Proporción acum. de S-2 = 0.98757. (ver pag. 105).
- Grupo 3 : Proporción acum. de S-3 = 0.99822. (ver pag. 130).

4.- De los resultados de la perfomance de los diagramas de caja “Box Plot”,

- Figura 13: Se observa, que la variable de mayor dispersión es la (E), seguida de la variable (B/D) que su vez presenta outlier por encima del Q4
- Figura 16: Se observa, que la variable de mayor dispersión es la (E-1), seguida de la variable (B/D-1).
- Figura 36: Se observa, que la variable de mayor dispersión es la (B/D-2) y la variable (E-2),
  presenta outlier, por encima de Q4
- Figura 54: Se observa, que la variable de mayor dispersión es la variable (E-3), seguida de dos variables de menor dispersión (B/D-3) & (H/B-3).

5.- De las figuras de la perfomance Box Plot (Fig. 35, 53; 71) & Cuadros resumen de la perfomance (Tablas 39; 49 & 59) entre grupos: Se determina promediando sus índices, que el grupo más óptimo pertenece a Redes Neuronales Artificiales “ANN”. Por presentar los siguientes Indicadores: (R^2): 0.97036667; MAE: 0.00793333 & RMSE: 0.01476667.

Así mismo de la perfomance del diagrama de caja “Box Plot”, se interpreta lo siguiente:

- Figura 35: Se observa que la variable {ypred-ANN-1}, es la que tiene mayor similaridad a la función objetivo (X50). Por lo tanto, se afirma que dicha variable predecida es la más óptima.
- Figura 53: Se observa que la variable {ypred-ANN-2}, es la que tiene mayor similaridad a la función objetivo (X50). Por lo tanto, se afirma que dicha variable predecida, es la más óptima. Así mismo se visualiza que todas las variables presentan outlier, por encima del Q4.
- Figura 71: Se observa que la variable {ypred-ANN-3}, es la que tiene mayor similaridad a la función objetivo (X50). Por lo tanto, se afirma que dicha variable predecida, es la más óptima.

RECOMENDACIONES PARA FUTUROS TRABAJOS.

1.- Se recomienda para trabajos futuros, utilizar la metodología implementado mayor cantidad de parámetros del macizo rocoso, (geomecánicas, geofísicas y geoquímicas), con el fin, de que la predicción de la fragmentación sea más objetiva (real).

2.- Se recomienda realizar un análisis completo entre todas las variables con nuevos índices de la fragmentación "FI" con la finalidad de comprobar la correlación y variabilidad entre todas las datas.

3.- Se recomienda sistematizar el nuevo enfoque de la fragmentación en la voladura de rocas, en función a un software con el fin de ahorrar tiempo en sus cálculos.

4.- Se recomienda a los investigadores nacionales realizar nuevas investigaciones & publicaciones en el campo de la fragmentación de rocas, con nuevas técnicas y metodologias de acuerdo al avance científico y tecnológico internacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Bagherpour, R., Monjezi, M., Sayadi, A.R. y Yari, M. (2015). Blasting Operation Management Using Mathematical Methods. *Engineering Geology for Society and Territory*. *1,* 483-493.

[2] Basogain, O.X. (2008). *Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones*. Bilbao, España: Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, Dpto. de Ingenieria de Sistemas y Automatica.

[3] Brown, E.T. y Hoek, E. (1985). *Excavaciones Subterráneas en Roca.* Mexico D.F., Mexico: Mc Graw Hill.

[4] Dindarloo, S.R. (2015). Prediction of Blast Induced Ground Vibrations via Genetic Programming. *International Journal of Mining Sciencie and Technology*, *25*, 1011-1015.

[5] Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid (2013). *Perforación y Voladura de Rocas en Minería*. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid.

[6] Esen, S. (2013). Fragmentation Modelling and the Effects of ROM Fragmentation on Comminution Circuits. *International Mining Congress & Extibition of Turkey, 23rd,* 251-260.

[7] Faramarzi, F., Farsangi, E. y Mansouri, H. (2013). A Rock Engineering Systems Based Model to Predict Rock Fragmentation by Blasting. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 60,* 82-94

[8] Fisne, A., Hudaverdy, T. y Kuzu, C. (2012). Investigation of the blast fragmentation using the mean fragment size and fragmentation index. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, *56*, 136-145

[9] Gutierrez, Cabria S. (1994) *Filosofia de la estadística,* Valencia, Espana.:Universidad de Valencia., Edicion 1.

[10] Holmberg, R. (2005). The Kuz-Ram Fragmentation model 20 years on C.V.B. Cunnigham. *European Federation of Explosives Engineers. ISBN 0-9550290-0-7,* 201-210.

[11] Holdemberg, R., Lee, J. y Persson, A. (1993). *Rock Blasting and Explosive Engineering*. Boca Ranton, London, U.K., New York, Washington D.C. U.S.A.: CRC. Press LLC.

[12] Huang, D., Shi, X. Z., Wei, W., Wu, B.B. y Zhou, J. (2012). Support vector machines approach to mean particle size of rock fragmentation due to bench blasting prediction. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 22*, 432-441.

[13] Hudaverdi, T., Kulatilake, P., Kuzu, C. y Qiong, W. (2010). Mean particle size prediction in rock blast fragmentation using neural networks. *Engineering Geology*, *114*, 298-311.

[14] Hustrulid, W. (1999). *Blasting Principles for Open Pit Mining.* Golden, Colorado, U.S.A.: A.A. Balkema, Rotterdam, Naherlands.

[15] Instituto Geológico y Minero de España (1987). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid, España: IGME. Etimsa.

[16] Jhonson, R.A. & Wicher, D.W. (2007). *Applied Multivariante Estatistical Analysis,* New Jersey, U.S.A.: *Pearson Prentice Hill.- 6ta edition.*

[17] Kihlstrom, B. y Langerfors, U. (1976). *Tecnica Moderna de Voladura de Rocas.* Bilbao, España: Espartero.

[18] López, S.L.M. (2003). *Evaluación de la Energía de los Explosivos Mediante Modelos Termodinámicos de Detonación.* Tesis Doctoral. Universidad Politecnica de Madrid. Recuperado de http://www.oa.upm.es.

[19] Ministerio de Energía y Minas del Perú (2016). *Anuario Minero y Reporte Estadístico.* Recuperado de http: //www.minem.gob.pe.

[20] Rencher, A.C. (2002) *Methods of Multivariate Analysis,* New Jersey, U.S.A.: Wiley Intersciencie :A John Wiley & Sons, Inc. Publication., Second Edition

[21] Taha, H.A. (2012). *Investigación de Operaciones*, Mexico D.F., Mexico: Pearson.

[22] Tejada, M. G. (2017), *Enrutamiento y Secuenciacion Optimos en un Flexible Job Shop Multiobjetivo Mediante Algoritmos Gneticos*. Lima, Peru:Tesis Doctoral, unmsm, FII

[22] Singiresu, S. R. (2009). *Engineering Optimization.* New Jersey, U.S.A.: John Wiley & Sons.

A N E X O S

A-1. Script en “Matlab”, para la determinar la clasificación discriminante y reasignación de Grupos.

```
close all;clear all;clc
format shortg

% Script Para Doctorado de FII- Ingenieria Industrial
% Autor Edito Luis Rojas Linares
% 01-Enero 2018   actualizado al 12/11/2020

% Data base par "E" con, n =  90 variables
%----------------------------------------

Nu=[    1       2       3       4       5       6       7       8
9       10      11      12      13      14      15      16      17
18      19      20      21      22      23      24      25      26
27      28      29      30      31      32      33      34      35
36      37      38      39      40      41      42      43      44
45      46      47      48      49      50      51      52      53
54      55      56      57      58      59      60      61      62
63      64      65      66      67      68      69      70      71
72      73      74      75      76      77      78      79      80
81      82      83      84      85      86      87      88      89
90]';

Group=[ 1       1       1       1       1       1       1       1
1       1       1       1       1       1       1       1
1       1       1       2       2       2       2       2       2
2       2       2       2       2       2       2       2       2
2       2       2       2       2       2       2       2       2
2       2       2       2       2       2       2       2       2
2       2       2       2       2       2       2       3       3
3       3       3       3       3       3       3       3       3
3       3       3       3       3       3       3       3       3
3       3       3       3       3       3       3       3       3
3]';

SB=[    1.17    1.17    1.17    1.17    1.25    1.25    1.38    1.5
1.75    1.25    1.25    1.2     1.4     1.25    1.25    1.25    1.25
1.25    1       1.2     1.24    1.17    1.17    1.17    1.17    1.17
1.13    1.2     1.2     1.2     1.2     1.2     1.25    1.25    1.2
1.2     1.2     1.2     1.14    1.14    1.25    1.25    1.25    1.25
1.14    1.14    1.12    1       1.1     1.1     1.25    1       1
1.14    1.11    1.28    1.2     1.2     1.25    1.11    1.24    1.24
1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24
1       1       1       1       1.1     1.1     1.1      1.2    1.2
1.2     1.2     1.2     1.4     1.2      1.4    1.4     1.16    1.16
1.2]';

HB=[    1.96    1.75    1.75    1.83    3.5     5.1     3       5.5
4.75    4.75    5       2.4     3.2     2.5     2.5     2.5     2.5
2.5     2.83    3.2     1.33    1.5     1.58    1.67    1.83    1.83
5       6       6       6       6       6       2.5     2.5     4.4
4.8     4.8     4       6.82    6.36    3.5     3.25    3.5     3.5
```

```
3.18    3.18    2.8     2.4     3.75     3.5     3.75    4      4
4       4.44    3.61    2.4     2.4      4.5     3.33    1.33   1.33
1.33    1.33    1.33    1.33    1.33     1.33    1.33    1.33   1.33
2.67    2.67    2.4     2.4     2.4      2.4     2.4     6      6
6       6       6       6       6        6       6       5      5
2.4]';

BD=[    26.2    26.2    26.2    26.2    20       20      20     20
20      20      20      25      25       28.57    28.57   28.57  28.57
28.57   33.71   28.09   27.27   26.2     26.2     26.2    26.2   26.2
39.47   32.89   32.89   32.89   32.89    32.89    28.57   28.57  28.09
28.09   28.09   28.09   24.72   24.72    22.47    22.47   22.47  22.47
24.72   24.72   28.09   28.09   21.74    22.47    17.98   18.42  18.42
18.42   18.95   18.95   28.09   28.09    22.47    30.34   27.27  27.27
27.27   27.27   27.27   27.27   27.27    27.27    27.27   27.27  27.27
27.27   27.27   30.3    30.3    30.3     30.3     30.3    32.89  32.89
32.89   32.89   32.89   32.89   32.89    32.89    32.89   39.47  39.47
28.09]';

TB=[    1.3     1.31    1.16    1.29    1.75    1.75    1.75    1.75
1.75    1.75    1.75    1.4     1.4     0.83    0.83    0.83    0.83
0.83    1       1.2     1.06    1.12    1.22    1.22    1.34    1.23
1.93    3.67    3.7     4.67    3.11    3.22    0.83    0.83    1.2
1.2     1.2     1.6     1.36    1.36    1.25    1.25    1.25    1.25
1.14    1.14    1       1       1       1.25    1.56    1.71    1.71
1.71    1.67    1.67    1       1       1.5     1.11    0.78    0.78
0.78    0.78    0.78    1.17    0.91    0.91    0.99    1.06    1.06
0.89    0.89    0.8     0.8     0.8     0.8     0.8     0.8     0.8
0.8     0.8     0.8     0.8     0.6     0.6     0.6     0.5     0.5
1]';


Pf=[    0.34    0.29    0.36    0.32    0.73    0.7     0.62    0.56
0.39    0.33    0.44    0.28    0.31    0.42    0.42    0.42    0.42
0.42    0.48    0.48    0.33    0.3     0.28    0.31    0.3     0.35
0.31    0.3     0.3     0.22    0.35    0.34    0.42    0.42    0.58
0.66    0.72    0.49    0.84    0.82    0.75    0.71    0.76    0.76
0.69    0.69    0.54    0.56    1.02    0.86    1.24    1.26    1.26
1.1     1.25    0.89    0.53    0.53    0.76    0.47    0.48    0.48
0.48    0.48    0.48    0.27    0.41    0.41    0.36    0.33    0.33
0.75    0.75    0.61    0.61    0.55    0.55    0.55    0.49    0.51
0.49    0.52    0.42    0.36    0.56   0.3     0.35    0.39    0.32
0.7]';

XB=[    1.56    1.56    1.56    1.8     1       1       1       1
1       1       1       0.5     0.5     0.5     1.5     1.5     1.5
1.5     0.45    1.11    1.08    0.68    0.68    1.8     1.8     1.8
2       2       2       2       2       2       0.5     0.5     0.77
0.56    0.29    0.81    1.43    1.77    1.03    0.83    1.68    1.24
0.67    2.01    0.96    0.83     1.64   2.35    1.53    0.73    1.47
1.19    1.71    0.56    0.86    0.44    0.66    0.47    0.58    0.58
1.08    1.11    1.08    1.08    1.11    1.11    1.08    1.11    1.11
0.83    0.78    1.02     0.75   1.18    1.24    1.33    1.67    1.67
1.67    1.67     1.67   1.67     1.03   1.03    1.03    1.03    1.03
0.88]';

E=[     45      45      45      45      9.57    9.57    9.57   9.57
9.57    9.57    9.57    9.57    9.57    13.25   13.25   13.25  13.25
13.25   15      15      60      45      45      45      45     45
45      45      45      45      45      45      13.25   13.25  16.9
16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9   16.9
```

```
16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9
16.9    16.9    16.9    15      15      15      15      60      60
60      60      60      60      60      60      60      60      60
50      50      50      50      50      50      50      32      32
32      32      32      32      32      32      32      32      32
15]';

X50=[   0.75    0.96    0.76    0.74    0.44    0.76    0.35    0.55
0.35    0.23    0.4     0.35    0.29    0.23    0.22    0.24    0.26
0.28    0.27    0.3     0.64    0.48    0.48    0.53    0.56    0.44
0.64    0.54    0.51    0.64    0.54    0.69    0.15    0.19    0.15
0.17    0.14    0.16    0.21    0.21    0.15    0.19    0.18    0.15
0.14    0.2     0.15    0.14    0.15    0.15    0.19    0.15    0.17
0.19    0.22    0.2     0.14    0.14    0.2     0.17    0.37    0.37
0.33    0.42    0.46    0.37    0.42    0.26    0.42    0.31    0.38
0.23    0.25    0.27    0.3     0.38    0.37    0.38    0.17    0.17
0.13    0.17    0.13    0.15    0.18    0.19    0.16    0.17    0.21
0.12]';

E_X50=[  60.0000   46.8750   59.2105   60.8108  21.7500   12.5921
27.3429  17.4000   27.3429   41.6087   23.9250  27.3429   33.0000
57.6087  60.2273   55.2083   50.9615   47.3214  55.5556   50.0000
93.7500  93.7500   93.7500   84.9057   80.3571  102.2727  70.3125
83.3333  88.2353   70.3125   83.3333   65.2174  88.3333   69.7368
112.6667 99.4118   120.7143  105.6250  80.4762  80.4762   112.6667
88.9474  93.8889   112.6667  120.7143  84.5000  112.6667  120.7143
112.6667 112.6667  88.9474   112.6667  99.4118  88.9474   76.8182
84.5000  107.1429  107.1429  75.0000   88.2353  162.1622  162.1622
181.8182 142.8571  130.4348  162.1622  142.8571 230.7692  142.8571
193.5484 157.8947  217.3913  200.0000  185.1852 166.6667  131.5789
135.1351 131.5789  188.2353  188.2353  246.1538 188.2353  246.1538
213.3333 177.7778  168.4211  200.0000  188.2353 152.3810 125.0000]';


% Data separada por medio del indice de Fragmentacion "IF=E/X50"

Nu1=[   1       2       3       4       5       6       7       8
9       10      11      12      13      14      15      16      17
18      19      20]';

Grup1=[ 1       1       1       1       1       1       1       1
1       1       1       1       1       1       1       1       1
1       1       1]';

SB1=[   1.17    1.17    1.17    1.17    1.25    1.25    1.38    1.5
1.75    1.25    1.25    1.2     1.4     1.25    1.25    1.25    1.25
1.25    1       1.2]';

HB1=[   1.96    1.75    1.75    1.83    3.5     5.1     3       5.5
4.75    4.75    5       2.4     3.2     2.5     2.5     2.5     2.5
2.5     2.83    3.2]';

BD1=[   26.2    26.2    26.2    26.2    20      20      20      20
20      20      20      25      25      28.57   28.57   28.57
28.57   28.57   33.71   28.09]';

TB1=[   1.3     1.31    1.16    1.29    1.75    1.75    1.75    1.75
1.75    1.75    1.75    1.4     1.4     0.83    0.83    0.83    0.83
0.83    1       1.2]';
```

```
Pf1=[   0.34    0.29    0.36    0.32    0.73    0.7     0.62    0.56
0.39    0.33    0.44    0.28    0.31    0.42    0.42    0.42    0.42
0.42    0.48    0.48]';

XB1=[   1.56    1.56    1.56    1.8     1       1       1       1
1       1       1       0.5     0.5     0.5     1.5     1.5     1.5
1.5     0.45    1.11]';

E1=[    45      45      45      45      9.57    9.57    9.57    9.57
9.57    9.57    9.57    9.57    9.57    13.25   13.25   13.25
13.25   13.25   15      15]';


X501=[  0.75    0.96    0.76    0.74    0.44    0.76    0.35    0.55
0.35    0.23    0.4     0.35    0.29    0.23    0.22    0.24    0.26
0.28    0.27    0.3]';

Nu2=[   1       2       3       4       5       6       7       8
9       10      11      12      13      14      15      16      17
18      19      20      21      22      23      24      25      26
27      28      29      30      31      32      33      34      35
36      37      38      39      40]';

Grup2=[ 2       2       2       2       2       2       2       2
2       2       2       2       2       2       2       2       2
2       2       2       2       2       2       2       2       2
2       2       2       2       2       2       2       2       2
2       2       2       2       2]';

SB2=[   1.24    1.17    1.17    1.17    1.17    1.17    1.13    1.2
1.2     1.2     1.2     1.2     1.25    1.25    1.2     1.2     1.2
1.2     1.14    1.14    1.25    1.25    1.25    1.25    1.14    1.14
1.12    1       1.1     1.1     1.25    1       1       1.14    1.11
1.28    1.2     1.2     1.25    1.11]';

HB2=[   1.33    1.5     1.58    1.67    1.83    1.83    5       6
6       6       6       6       2.5     2.5     4.4     4.8     4.8
4       6.82    6.36    3.5     3.25    3.5     3.5     3.18    3.18
2.8     2.4     3.75    3.5     3.75    4       4       4       4.44
3.61    2.4     2.4     4.5     3.33]';

BD2=[   27.27   26.2    26.2    26.2    26.2    26.2    39.47
32.89   32.89   32.89   32.89   32.89   28.57   28.57   28.09
28.09   28.09   28.09   24.72   24.72   22.47   22.47   22.47
22.47   24.72   24.72   28.09   28.09   21.74   22.47   17.98
18.42   18.42   18.42   18.95   18.95   28.09   28.09   22.47
30.34]';

TB2=[   1.06    1.12    1.22    1.22    1.34    1.23    1.93    3.67
3.7     4.67    3.11    3.22    0.83    0.83    1.2     1.2     1.2
1.6     1.36    1.36    1.25    1.25    1.25    1.25    1.14    1.14
1       1       1       1.25    1.56    1.71    1.71    1.71    1.67
1.67    1       1       1.5     1.11]';

Pf2=[   0.33    0.3     0.28    0.31    0.3     0.35    0.31    0.3
0.3     0.22    0.35    0.34    0.42    0.42    0.58    0.66    0.72
0.49    0.84    0.82    0.75    0.71    0.76    0.76    0.69    0.69
0.54    0.56    1.02    0.86    1.24    1.26    1.26    1.1     1.25
0.89    0.53    0.53    0.76    0.47]';
```

```
XB2=[   1.08    0.68    0.68    1.8     1.8     1.8     2       2
2       2       2       2       0.5     0.5     0.77    0.56    0.29
0.81    1.43    1.77    1.03    0.83    1.68    1.24    0.67    2.01
0.96    0.83    1.64    2.35    1.53    0.73    1.47    1.19    1.71
0.56    0.86    0.44    0.66    0.47]';

E2=[    60      45      45      45      45      45      45      45
45      45      45      45      13.25   13.25   16.9    16.9    16.9
16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9
16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9    16.9
16.9    15      15      15      15]';

X502=[  0.64    0.48    0.48    0.53    0.56    0.44    0.64    0.54
0.51    0.64    0.54    0.69    0.15    0.19    0.15    0.17    0.14
0.16    0.21    0.21    0.15    0.19    0.18    0.15    0.14    0.2
0.15    0.14    0.15    0.15    0.19    0.15    0.17    0.19    0.22
0.2     0.14    0.14    0.2     0.17]';

Nu3=[   1       2       3       4       5       6       7       8
9       10      11      12      13      14      15      16      17
18      19      20      21      22      23      24      25      26
27      28      29      30]';

Grup3=[ 3       3       3       3       3       3       3       3
3       3       3       3       3       3       3       3       3
3       3       3       3       3       3       3       3       3
3       3       3       3]';

SB3=[   1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24
1.24    1.24    1.24    1       1       1       1       1.1     1.1
1.1     1.2     1.2     1.2     1.2     1.2     1.4     1.2     1.4
1.4     1.16    1.16    1.2]';

HB3=[   1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33
1.33    1.33    1.33    2.67    2.67    2.4     2.4     2.4     2.4
2.4     6       6       6       6       6       6       6       6
6       5       5       2.4]';

BD3=[   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27
27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   30.3    30.3    30.3
30.3    30.3    32.89   32.89   32.89   32.89   32.89   32.89
32.89   32.89   32.89   39.47   39.47   28.09]';

TB3=[   0.78    0.78    0.78    0.78    0.78    1.17    0.91    0.91
0.99    1.06    1.06    0.89    0.89    0.8     0.8     0.8     0.8
0.8     0.8     0.8     0.8     0.8     0.8     0.8     0.6     0.6
0.6     0.5     0.5     1]';

Pf3=[   0.48    0.48    0.48    0.48    0.48    0.27    0.41    0.41
0.36    0.33    0.33    0.75    0.75    0.61    0.61    0.55    0.55
0.55    0.49    0.51    0.49    0.52    0.42    0.36    0.56    0.3
0.35    0.39    0.32    0.7]';

XB3=[   0.58    0.58    1.08    1.11    1.08    1.08    1.11    1.11
1.08    1.11    1.11    0.83    0.78    1.02    0.75    1.18    1.24
1.33    1.67    1.67    1.67    1.67    1.67    1.67    1.03    1.03
1.03    1.03    1.03    0.88]';
```

```
E3=[    60      60      60      60      60      60      60      60
60      60      60      50      50      50      50      50      50
50      32      32      32      32      32      32      32      32
32      32      32      15]';

X503=[  0.37    0.37    0.33    0.42    0.46    0.37    0.42    0.26
0.42    0.31    0.38    0.23    0.25    0.27    0.3     0.38    0.37
0.38    0.17    0.17    0.13    0.17    0.13    0.15    0.18    0.19
0.16    0.17    0.21    0.12]';

X1 =[SB1 HB1 BD1 TB1 Pf1 XB1 E1] ;
X2 =[SB2 HB2 BD2 TB2 Pf2 XB2 E2] ;
X3 =[SB3 HB3 BD3 TB3 Pf3 XB3 E3] ;

X4 =[X1; X2; X3] ;

% ----------------------------------

S        =  cov(X4) ; % Covarianza poblacional , Muestral cov(X4,1)
y        =  mean(X4) ;
[n10 p10]   =  size(X4) ;
g           =  Group(n10,1) ;              % Numero de Grupos
N           =  (n10 - Group(n10,1) ) ;     % Numero de Variables


% ----------------------------------
[n1 p1]=size(X1) ;
[n2 p2]=size(X2) ;
[n3 p3]=size(X3) ;

y1 = mean(X1) ;
y2 = mean(X2) ;
y3 = mean(X3) ;

y4 = [y1; y2; y3] ;

y  = mean(y4) ;

fprintf(' \n')
fprintf(' \n')
disp('      ----------------------------------------')
disp('               Determinando la Covarianza ')
disp('      ----------------------------------------')
fprintf(' \n')

S1 = cov(X1)        % Covarianza
%S10 = var(X1)      % Varianza
S2 = cov(X2)
S3 = cov(X3)

S4 = cov(X4) ;

% ------------------------------------------

disp('Determinando el estadistico de Wilks')

m   = (n1*y1+n2*y2+n3*y3)/(n1+n2+n3)
W   = (n1-1)*S1 + (n2-1)*S2 + (n3-1)*S3       % Book of Richards
```

```
B    =  n1*(y1-m)'*(y1-m)+ n2*(y2-m)'*(y2-m)+ n3*(y3-m)'*(y3-m)

Sp   = (((n1-1)*S1)+((n2-1)*S2)+((n3-1)*S3))/(n1+n2+n3-3)


fprintf(' \n')
fprintf(' \n')


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ----------------------------------

T    =  W+B  ;

Lambda    = det(W)/det(T)  ;
Lambda_Wilks  = det(W)/det(W+B)


p  =  p10 ;
q  =  N ;
r  =  g-1 ;

% Lambda_W,p,q,r

[F,m,n]  = wilkstof(Lambda_Wilks,p,q,r)  ;
percentil= finv(0.95,m,n)  ;
p_valor  = 1-fcdf(F,m,n)   ;

disp (' Lambda_Wilks         F              df1           df2
P_valor')

disp('--------------      --------     ---------    ----------     -
-----------')

tabla = [Lambda_Wilks  F   m  n  p_valor ]

% ------------------------------------------

disp(' Determinando el Lambda Parcial de Wilks' )

L_y11 = det(abs(W(1,1)))/(abs( W(1,1)+B(1,1)))';
L_y22 = det(abs(W(2,2)))/(abs( W(2,2)+B(2,2)))';
L_y33 = det(abs(W(3,3)))/(abs( W(3,3)+B(3,3)))';
L_y44 = det(abs(W(4,4)))/(abs( W(4,4)+B(4,4)))';
L_y55 = det(abs(W(5,5)))/(abs( W(5,5)+B(5,5)))';
L_y66 = det(abs(W(6,6)))/(abs( W(6,6)+B(6,6)))';
L_y77 = det(abs(W(7,7)))/(abs( W(7,7)+B(7,7)))';

% ------------------------------------------

tabla11=[ L_y11 L_y22 L_y33 L_y44 L_y55 L_y66 L_y77 ]'


% ------------------------------------------
Lxy = (y1)*(Sp)^-1*(y)' - 1/2*(y1+y2)*Sp^-1*(y1-y2)'  % Ecuacion

%Disdriminante
% ------------------------------------------
```

```
a1 = y1 *Sp^-1  ; % Nos da el coeficiente
a2 = y2 *Sp^-1  ;
a3 = y3 *Sp^-1  ;


%a1 = 347.9    -11.123     10.855     6.7979     231.43     -1.8486
%1.1448
%a2 = 351.58   -10.61      11.36      6.6033     246.88     -3.5434
%1.3346
%a3 = 367.92   -8.7598     11.894     0.37853    259.86     -6.4303
%1.7599

a5  = -1/2*(y1) *inv(Sp)*(y1)' ;
a6  = -1/2*(y2) *inv(Sp)*(y2)' ;
a7  = -1/2*(y3) *inv(Sp)*(y3)' ;

%a5 = -402.92
%a6 = -432.15
%a7 = -484.5


% Funcion lineal con promedios "y1, y2, y3"

z1=a1(1,1)*y1(1,1)+a1(1,2)*y1(1,2)+a1(1,3)*y1(1,3)+a1(1,4)*y1(1,4)+a
1(1,5)*y1(1,5)+a1(1,6)*y1(1,6)+a1(1,7)*y1(1,7)+a5 ;

z2=a2(1,1)*y2(1,1)+a2(1,2)*y2(1,2)+a2(1,3)*y2(1,3)+a2(1,4)*y2(1,4)+a
2(1,5)*y2(1,5)+a2(1,6)*y2(1,6)+a2(1,7)*y2(1,7)+a6 ;

z3=a3(1,1)*y3(1,1)+a3(1,2)*y3(1,2)+a3(1,3)*y3(1,3)+a3(1,4)*y3(1,4)+a
3(1,5)*y3(1,5)+a3(1,6)*y3(1,6)+a3(1,7)*y3(1,7)+a7 ;

tabla_z =[z1 z2 z3]
z =(z1+z2+z3)/3    % Discriminador
% ---------------------------------------

L1y11=a1(1,1)*SB1(:,1)+a1(1,2)*HB1(:,1)+a1(1,3)*BD1(:,1)+a1(1,4)*TB1
(:,1)+a1(1,5)*Pf1(:,1)+a1(1,6)*XB1(:,1)+a1(1,7)*E1(:,1)+a5;

L2y11=a2(1,1)*SB1(:,1)+a2(1,2)*HB1(:,1)+a2(1,3)*BD1(:,1)+a2(1,4)*TB1
(:,1)+a2(1,5)*Pf1(:,1)+a2(1,6)*XB1(:,1)+a1(1,7)*E1(:,1)+a6;

L3y11=a3(1,1)*SB1(:,1)+a3(1,2)*HB1(:,1)+a3(1,3)*BD1(:,1)+a3(1,4)*TB1
(:,1)+a3(1,5)*Pf1(:,1)+a3(1,6)*XB1(:,1)+a1(1,7)*E1(:,1)+a7;

disp('Grupo 1')

tabla=[L1y11 L2y11 L3y11]

% ---------------------------------------

L1y12=a1(1,1)*SB2(:,1)+a1(1,2)*HB2(:,1)+a1(1,3)*BD2(:,1)+a1(1,4)*TB2
(:,1)+a1(1,5)*Pf2(:,1)+a1(1,6)*XB2(:,1)+a1(1,7)*E2(:,1)+a5;

L2y12=a2(1,1)*SB2(:,1)+a2(1,2)*HB2(:,1)+a2(1,3)*BD2(:,1)+a2(1,4)*TB2
(:,1)+a2(1,5)*Pf2(:,1)+a2(1,6)*XB2(:,1)+a1(1,7)*E2(:,1)+a6;
```

```
L3y12=a3(1,1)*SB2(:,1)+a3(1,2)*HB2(:,1)+a3(1,3)*BD2(:,1)+a3(1,4)*TB2
(:,1)+a3(1,5)*Pf2(:,1)+a3(1,6)*XB2(:,1)+a1(1,7)*E2(:,1)+a7;

disp('Grupo 2')

tabla=[L1y12 L2y12 L3y12]

% ---------------------------------------

L1y13=a1(1,1)*SB3(:,1)+a1(1,2)*HB3(:,1)+a1(1,3)*BD3(:,1)+a1(1,4)*TB3
(:,1)+a1(1,5)*Pf3(:,1)+a1(1,6)*XB3(:,1)+a1(1,7)*E3(:,1)+a5;

L2y13=a2(1,1)*SB3(:,1)+a2(1,2)*HB3(:,1)+a2(1,3)*BD3(:,1)+a2(1,4)*TB3
(:,1)+a2(1,5)*Pf3(:,1)+a2(1,6)*XB3(:,1)+a1(1,7)*E3(:,1)+a6;

L3y13=a3(1,1)*SB3(:,1)+a3(1,2)*HB3(:,1)+a3(1,3)*BD3(:,1)+a3(1,4)*TB3
(:,1)+a3(1,5)*Pf3(:,1)+a3(1,6)*SB3(:,1)+a1(1,7)*E3(:,1)+a7;

disp('Grupo 3')

tabla=[L1y13 L2y13 L3y13]
% ---------------------------------------

disp ('Probabilidad')

P11=((exp(L1y11(1,1)))/(exp(L1y11(1,1))+exp(L2y11(1,1))+exp(L3y11(1,
1)) ) );

P12=((exp(L2y11(1,1)))/(exp(L1y11(1,1))+exp(L2y11(1,1))+exp(L3y11(1,
1)) ) );

P13=((exp(L3y11(1,1)))/(exp(L1y11(1,1))+exp(L2y11(1,1))+exp(L3y11(1,
1)) ) );

P21=(exp(L1y11(2,1)))/(exp(L1y11(2,1))+exp(L2y11(2,1))+exp(L3y11(2,1
)));

P22=(exp(L2y11(2,1)))/(exp(L1y11(2,1))+exp(L2y11(2,1))+exp(L3y11(2,1
)));

P23=(exp(L3y11(2,1)))/(exp(L1y11(2,1))+exp(L2y11(2,1))+exp(L3y11(2,1
)));

disp ('Distancias')

D21 = X1(1,1:7)*inv(Sp)*X1(1,1:7)'-X1(1,1:7)*inv(Sp)*y1'
y1*inv(Sp)*X1(1,1:7)'+y1*inv(Sp)*y1';

D211= X1(2,1:7)*inv(Sp)*X1(2,1:7)'-X1(2,1:7)*inv(Sp)*y1'-
y1*inv(Sp)*X1(2,1:7)'+y1*inv(Sp)*y1';

D213= X1(3,1:7)*inv(Sp)*X1(3,1:7)'-X1(3,1:7)*inv(Sp)*y1'-
y1*inv(Sp)*X1(3,1:7)'+y1*inv(Sp)*y1';

D22= X2(1:7)*inv(Sp)*X2(1:7)'-X2(1:7)*inv(Sp)*y1'-
y1*inv(Sp)*X2(1:7)'+y1*inv(Sp)*y1';

D23= X3(1:7)*inv(Sp)*X3(1:7)'-X3(1:7)*inv(Sp)*y1'-
y1*inv(Sp)*X3(1:7)'+y1*inv(Sp)*y1';
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

disp ('Matriz Principal')

MWB = (inv(W)*B)

disp(' Autovector & Autovalor de MWB')

[Vec,Val] = eig(MWB) ;          % ojo

[Vec,Val] = eigsort(MWB)        % ojo

disp(' Informacion en Porcentaje de MWB')

proporcion_parcial =[((Val)*100)/sum(Val)]
proporcion_acum =[cumsum(Val)*100/sum(Val)]

%trace S es la suma de los autovalores

V1 = Vec    ;    %  ojo
D1 = Val    ;    %  ojo

% ----------------------------------------

Spl = W/N ;

aa1 = (sqrt (diag(Spl)) ).* V1(:,1) ;
aa2 = (sqrt (diag(Spl)) ).* V1(:,2) ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ----------------------------------------

disp ('Centros de Gravedad')    % Puntos centros

yy11  = [ V1(:,1)' * y1' ] ;
yy12  = [ V1(:,2)' * y1' ] ;

disp ('Centros de Gravedad P1')
table=[yy11 yy12]


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

yy21  = [ V1(:,1)' * y2' ] ;
yy22  = [ V1(:,2)' * y2' ] ;

disp ('Centros de Gravedad P2')
table=[yy21 yy22]

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

yy31  = [ V1(:,1)' * y3' ] ;
yy32  = [ V1(:,2)' * y3' ] ;

disp ('Centros de Gravedad P3')
table=[yy31 yy32]
```

```
%%%
```

```
YY21 = (yy14-yy11).^2+(yy24-yy12).^2 ;
YY22 = (yy14-yy21).^2+(yy24-yy22).^2 ;
YY23 = (yy14-yy31).^2+(yy24-yy32).^2 ;

tabla103 =[YY21 YY22 YY23]

figure (20)
plot(yy1,yy2,'*r')
hold on
plot(yy13,yy23,'*b')
hold on
plot(yy14,yy24,'*k')
hold on

plot(yy11,yy12,'og','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',10)
hold on

 r = 0.25          ;
 c = [yy11 yy12]   ;
 a = [0,360]       ;
 n = 100           ;

xy = zeros ( 2, n );
aj = linspace ( a(1), a(2), n )';

xy(1,1:n) = c(1) + r * cos ( aj(1:n) * pi / 180.0 );
xy(2,1:n) = c(2) + r * sin ( aj(1:n) * pi / 180.0 );

plot(xy(1,1:end),xy(2,1:end),'','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',10)

grid minor

hold on

plot(yy21,yy22,'og','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',10)
hold on

 r = 0.25          ;
 c = [yy21 yy22]   ;
 a = [0,360]       ;
 n = 100           ;

xy = zeros ( 2, n );
aj = linspace ( a(1), a(2), n )';

xy(1,1:n) = c(1) + r * cos ( aj(1:n) * pi / 180.0 );
xy(2,1:n) = c(2) + r * sin ( aj(1:n) * pi / 180.0 );

plot(xy(1,1:end),xy(2,1:end),'-','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',10)

grid minor

plot(yy31,yy32,'og','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',10)
hold on

 r = 0.25          ;
 c = [yy31 yy32]   ;
 a = [0,360]       ;
 n = 100           ;
```

```
xy = zeros ( 2, n );
aj = linspace ( a(1), a(2), n )';

xy(1,1:n) = c(1) + r * cos ( aj(1:n) * pi / 180.0 );
xy(2,1:n) = c(2) + r * sin ( aj(1:n) * pi / 180.0 );

plot(xy(1,1:end),xy(2,1:end),'-','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',10)

grid minor

grid

legend('P1: yy11 yy12', 'P2 : yy21 yy22', 'P3 : yy31 yy32')


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

A-2. Complemento de la tabla 32.

Resultados de 6 corridas del modelo “ANN-2” y toma su resultado promedio.

		1	2	3	4	5	6	Promedio
1	Oz1	0.26782	0.27025	0.26986	0.2699	0.26924	0.26981	0.269480
2	Rc2	0.4746	0.48153	0.47997	0.48004	0.47906	0.47995	0.479192
3	Ru2	0.53805	0.54058	0.53992	0.53701	0.54023	0.54048	0.539378
4	Ru3	0.51158	0.51405	0.50993	0.51499	0.50803	0.51046	0.511507
5	Ru4	0.6397	0.64296	0.63917	0.63865	0.63902	0.64134	0.640140
6	Ru5	0.55032	0.54136	0.54009	0.54386	0.54803	0.53993	0.543932
7	Ru6	0.68503	0.68927	0.68998	0.68535	0.67994	0.68978	0.686558
8	Ad1	0.14979	0.15232	0.15	0.15155	0.15246	0.15595	0.152012
9	Ad2	0.16908	0.16823	0.16999	0.16864	0.16226	0.16181	0.166668
10	Ad3	0.13889	0.14053	0.13997	0.14132	0.14286	0.14339	0.141160
11	Ad4	0.15951	0.15878	0.16	0.16027	0.15963	0.16227	0.160077
12	Ad5	0.20983	0.20588	0.21001	0.21069	0.2098	0.21022	0.209405
13	Ad6	0.20989	0.21421	0.20999	0.20915	0.20969	0.2083	0.210205
14	Ad7	0.14938	0.15291	0.15001	0.1499	0.14637	0.15178	0.150058
15	Ad8	0.18938	0.18652	0.19013	0.19132	0.19092	0.18613	0.189067
16	Ad9	0.17991	0.17471	0.17997	0.17835	0.17834	0.17818	0.178243
17	Ad10	0.14999	0.1547	0.14988	0.15245	0.15333	0.15446	0.152468
18	Ad11	0.1392	0.13933	0.13989	0.13825	0.1412	0.14158	0.139908
19	Ad13	0.15033	0.15212	0.14997	0.1487	0.14852	0.14099	0.148438
20	Ad14	0.14229	0.13948	0.13998	0.13983	0.13982	0.14159	0.140498
21	Ad15	0.14942	0.1447	0.14999	0.14616	0.14673	0.14958	0.147763
22	Ad16	0.14939	0.1541	0.14999	0.15188	0.15348	0.15027	0.151518
23	Ad17	0.19147	0.19433	0.1899	0.1903	0.19058	0.18978	0.191060
24	Ad18	0.1503	0.1485	0.14994	0.1547	0.1509	0.15002	0.150727
25	Ad19	0.17358	0.17629	0.16997	0.16664	0.16939	0.17058	0.171075
26	Ad20	0.18963	0.18652	0.18995	0.19106	0.18938	0.19114	0.189613
27	Ad21	0.22024	0.21502	0.21998	0.21939	0.22029	0.22008	0.219167
28	Ad22	0.20009	0.2005	0.20019	0.19842	0.20012	0.19995	0.199878
29	Oz3	0.13978	0.1403	0.1399	0.14072	0.14126	0.13716	0.139853
30	Oz4	0.20011	0.20068	0.19994	0.19982	0.20133	0.19883	0.200118
31	Oz5	0.16855	0.17009	0.16994	0.16883	0.17216	0.17227	0.170307
32	Oz7	0.11917	0.11921	0.11996	0.11998	0.12065	0.12433	0.120550

Fuente. Elaboración propia, obtenida mediante el software Matlab 2015a

A-3. Complemento de la tabla 40

Resultados de 5 corridas del Modelo “ANN 3”, y tomando de su resultado promedio.

		1	2	3	4	5	Promedio
1	**En7**	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.640
2	**Ru1**	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.640
3	**En1**	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.370
4	**En2**	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.370
5	**En3**	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395
6	**En4**	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.420
7	**En5**	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395
8	**En6**	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.370
9	**En8**	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.340
10	**En9**	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.340
11	**En10**	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.420
12	**En11**	0.345	0.345	0.345	0.345	0.345	0.345
13	**En12**	0.345	0.345	0.345	0.345	0.345	0.345
14	**Mg1**	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.230
15	**Mg2**	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.250
16	**Mg3**	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.270
17	**Mg4**	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.300
18	**Mg5**	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.380
19	**Mg6**	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.370
20	**Mg7**	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.380
21	**Mr1**	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.150
22	**Mr2**	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.170
23	**Mr3**	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.150
24	**Mr4**	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.170
25	**Mr5**	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.130
26	**Mr6**	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.150
27	**Mr7**	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.180
28	**Mr8**	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.190
29	**Mr9**	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.160
30	**Mr10**	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.170
31	**Mr11**	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.210

Fuente. Elaboración propia, obtenida mediante el software Matlab 2015a

A-4. Script en "Matlab" para la determinación de X_{50} predecida de "ANN" para el Group I.

```
%close all;clear all;clc
format short g
% Script de Edito Luis Rojas Linares para UNMSM, Doctorado FII
% Fecha 23 - 03 -2018
% ----------------------------------------

%  CASO  1 : Para tres grupos de "E" con, n = 90 datas,   Grupo 1


Nu1=[   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15 16
17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27]';

Grup1=[ 1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1  1
1   1   1   2   2   2   2   2   2   2]';
SB1=[   1.17    1.17    1.17    1.17    1.25    1.25    1.38    1.50
1.75    1.25    1.25    1.20    1.40    1.25    1.25    1.25    1.25
1.25    1.20    1.17    1.17    1.17    1.17    1.25    1.25    1.14
1.20]';
HB1=[   1.96    1.75    1.75    1.83    3.50    5.10    3.00    5.50
4.75    4.75    5.00    2.40    3.20    2.50    2.50    2.50    2.50
2.50    3.20    1.58    1.67    1.83    1.83    2.50    2.50    3.18
2.40]';
BD1=[   26.20   26.20   26.20   26.20   20.00   20.00   20.00   20.00
20.00   20.00   20.00   25.00   25.00   28.57   28.57   28.57   28.57
28.57   28.09   26.20   26.20   26.20   26.20   28.57   28.57   24.72
28.09]';
TB1=[   1.30    1.31    1.16    1.29    1.75    1.75    1.75    1.75
1.75    1.75    1.75    1.40    1.40    0.83    0.83    0.83    0.83
0.83    1.20    1.22    1.22    1.34    1.23    0.83    0.83    1.14
1.00]';
Pf1=[   0.34    0.29    0.36    0.32    0.73    0.70    0.62    0.56
0.39    0.33    0.44    0.28    0.31    0.42    0.42    0.42    0.42
0.42    0.48    0.28    0.31    0.30    0.35    0.42    0.42    0.69
0.53]';
XB1=[   1.56    1.56    1.56    1.80    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00    0.50    0.50    0.50    1.50    1.50    1.50
1.50    1.11    0.68    1.80    1.80    1.80    0.50    0.50    2.01
0.86]';
E1=[    45.00   45.00   45.00   45.00   9.57    9.57    9.57    9.57
9.57    9.57    9.57    9.57    9.57    13.25   13.25   13.25   13.25
13.25   15.00   45.00   45.00   45.00   45.00   13.25   13.25   16.90
15.00]';
X501=[  0.75    0.96    0.76    0.74    0.44    0.76    0.35    0.55
0.35    0.23    0.40    0.35    0.29    0.23    0.22    0.24    0.26
0.28    0.30    0.48    0.53    0.56    0.44    0.15    0.19    0.20
0.14]';

%E1X501=[    60.000  46.875  59.211  60.811  21.750  12.592  27.343
17.400  27.343  41.609  23.925  27.343  33.000  57.609  60.227  55.208
50.962  47.321  50.000  93.750  84.906  80.357  102.273 88.333  69.737
84.500  107.143];l
%Nu2=[  1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15
16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32]';
%Grup2=[    1   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2
2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   3]';
```

```
%SB2=[  1.00    1.17    1.20    1.20    1.20    1.20    1.20    1.20
1.20    1.20    1.20    1.14    1.14    1.25    1.25    1.25    1.25
1.14    1.12    1.00    1.10    1.10    1.25    1.00    1.00    1.14
1.11    1.28    1.20    1.25    1.11    1.20]';
%HB2=[  2.83    1.50    6.00    6.00    6.00    6.00    6.00    4.40
4.80    4.80    4.00    6.82    6.36    3.50    3.25    3.50    3.50
3.18    2.80    2.40    3.75    3.50    3.75    4.00    4.00    4.00
4.44    3.61    2.40    4.50    3.33    2.40]';
%BD2=[  33.71   26.20   32.89   32.89   32.89   32.89   32.89   28.09
28.09   28.09   28.09   24.72   24.72   22.47   22.47   22.47   22.47
24.72   28.09   28.09   21.74   22.47   17.98   18.42   18.42   18.42
18.95   18.95   28.09   22.47   30.34   28.09]';
%TB2=[  1.00    1.12    3.67    3.70    4.67    3.11    3.22    1.20
1.20    1.20    1.60    1.36    1.36    1.25    1.25    1.25    1.25
1.14    1.00    1.00    1.00    1.25    1.56    1.71    1.71    1.71
1.67    1.67    1.00    1.50    1.11    1.00]';
%Pf2=[  0.48    0.30    0.30    0.30    0.22    0.35    0.34    0.58
0.66    0.72    0.49    0.84    0.82    0.75    0.71    0.76    0.76
0.69    0.54    0.56    1.02    0.86    1.24    1.26    1.26    1.10
1.25    0.89    0.53    0.76    0.47    0.70]';
%XB2=[  0.45    0.68    2.00    2.00    2.00    2.00    2.00    0.77
0.56    0.29    0.81    1.43    1.77    1.03    0.83    1.68    1.24
0.67    0.96    0.83    1.64    2.35    1.53    0.73    1.47    1.19
1.71    0.56    0.44    0.66    0.47    0.88]';
%E2=[   15.00   45.00   45.00   45.00   45.00   45.00   45.00   16.90
16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90
16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90
16.90   16.90   15.00   15.00   15.00   15.00]';
%X502=[ 0.27    0.48    0.54    0.51    0.64    0.54    0.69    0.15
0.17    0.14    0.16    0.21    0.21    0.15    0.19    0.18    0.15
0.14    0.15    0.14    0.15    0.15    0.19    0.15    0.17    0.19
0.22    0.20    0.14    0.20    0.17    0.12]';
%E2X502=[    55.556  93.750  83.333  88.235  70.313  83.333  65.217
112.667 99.412  120.714 105.625 80.476  80.476  112.667 88.947  93.889
112.667 120.714 112.667 120.714 112.667 112.667 88.947  112.667 99.412
88.947  76.818  84.500  107.143 75.000  88.235  125.000]';


%Nu3=[  1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15
16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31]';
%Grup3=[    2   2   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3
3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3]';
%SB3=[  1.24    1.13    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24
1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.00    1.00    1.00    1.00
1.10    1.10    1.10    1.20    1.20    1.20    1.20    1.20    1.40
1.20    1.40    1.40    1.16    1.16]';
%HB3=[  1.33    5.00    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33
1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    2.67    2.67    2.40    2.40
2.40    2.40    2.40    6.00    6.00    6.00    6.00    6.00    6.00
6.00    6.00    6.00    5.00    5.00]';
%BD3=[  27.27   39.47   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27
27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   30.30   30.30
30.30   30.30   30.30   32.89   32.89   32.89   32.89   32.89   32.89
32.89   32.89   32.89   39.47   39.47]';
%TB3=[  1.06    1.93    0.78    0.78    0.78    0.78    0.78    1.17
0.91    0.91    0.99    1.06    1.06    0.89    0.89    0.80    0.80
0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80
0.60    0.60    0.60    0.50    0.50]';
%Pf3=[  0.33    0.31    0.48    0.48    0.48    0.48    0.48    0.27
0.41    0.41    0.36    0.33    0.33    0.75    0.75    0.61    0.61
```

```
0.55    0.55    0.55    0.49    0.51    0.49    0.52    0.42    0.36
0.56    0.30    0.35    0.39    0.32]';
%XB3=[  1.08    2.00    0.58    0.58    1.08    1.11    1.08    1.08
1.11    1.11    1.08    1.11    1.11    0.83    0.78    1.02    0.75
1.18    1.24    1.33    1.67    1.67    1.67    1.67    1.67    1.67
1.03    1.03    1.03    1.03    1.03]';
%E3=[   60.00   45.00   60.00   60.00   60.00   60.00   60.00   60.00
60.00   60.00   60.00   60.00   60.00   50.00   50.00   50.00   50.00
50.00   50.00   50.00   32.00   32.00   32.00   32.00   32.00   32.00
32.00   32.00   32.00   32.00   32.00]';
%X503=[ 0.64    0.64    0.37    0.37    0.33    0.42    0.46    0.37
0.42    0.26    0.42    0.31    0.38    0.23    0.25    0.27    0.30
0.38    0.37    0.38    0.17    0.17    0.13    0.17    0.13    0.15
0.18    0.19    0.16    0.17    0.21]';
%E3X503=[   93.750  70.313  162.162 162.162 181.818 142.857 130.435
162.162  142.857  230.769  142.857  193.548  157.895  217.391  200.000
185.185  166.667  131.579  135.135  131.579  188.235  188.235  246.154
188.235 246.154 213.333 177.778 168.421 200.000 188.235 152.381]';
% ------------------------------------------------

X    =  [SB1 HB1 BD1 TB1 Pf1 XB1 E1]      ;   % Tratamientos de i
X50  =  [X501]   ;
[n1 p1] =size(X)   ;

disp('ARTIFICIAL NET NEURONAL"')

% Datas

input    = [X]' ;          % Tratamientos en (i,j)

target   = [ X50 ]' ;

% ------------------------------------------------------
% Patrones de aprendizaje y objetivos
% RP trainrp - Resilient Backpropagation
% LM trainlm - Levenberg-Marquardt
% BFG trainbfg - BFGS Quasi-Newton
% SCG trainscg - Scaled Conjugate Gradient
% CGB traincgb - Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts
% CGF traincgf - Fletcher-Powell Conjugate Gradient
% CGP traincgp - Polak-Ribiére Conjugate Gradient
% OSS trainoss - One-Step Secant
% GDX traingdx - Variable Learning Rate Backpropagation
%traincgf
%trainlm
%net=newff(minmax(input),[20,50,50,1],{'tansig','logsig','hardlim','
purelin'},'traincgf');
net=newff(minmax(input),[7,14,1],{'tansig','logsig','purelin'});
%net=newff(minmax(input),[7,14,1],{'tansig','logsig','purelin'},'tra
incgf');
%net=newff(minmax(input),[7,14,1],{'tansig','logsig','purelin'});

net.trainParam.show = 50;
net.trainParam.lr = 0.005;
net.trainParam.lr_inc = 1.05;
net.trainParam.mc = 0.9;
net.trainParam.epochs = 15000;
net.trainParam.goal = 1e-5;
net.performFcn = 'msereg';
net.performParam.ratio = 0.5;
```

```
disp('Ingreso de Pesos Sinapticos : net.IW{1,1} : ')
W1 = net.IW{1,1}  ;
b1 = net.b{1}  ;

disp('Ingreso de Pesos Sinapticos : net.LW {2,1} : ')
W2 = net.LW{2,1}  ;
b2 = net.b{2}  ;

disp('Ingreso de Pesos Sinapticos : net.LW {3,2} : ')
W3 = net.LW{3,2}     ;
b3 = net.b{3}   ;

%disp('Ingreso de Pesos Sinapticos : net.LW {4,3}: ')
%W4=net.LW{4,3};
%b4 = net.b{4};

disp('Entrenando la Red : ')
net = train(net,input,target) ;    % ingreso de datas

disp('Valores entrenados de la Red : ')
output = sim(net,input);    % Predictores Calculados horizontal

datoy1 = [target] ;
datoy2 = [output] ;   % Predictores calculados horizontal
% ---------------------------------------
% ---------------------------------------
figure(2)
x = 1:1:n1 ;
plot(x,X50,'-*r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',5 )
hold on
plot(x,datoy2,'-*b','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',5 )
hold on
grid

xlabel('Puntos','FontSize',10)
ylabel('  ypred-ANN  ','FontSize',10)
title ('  Perfomance of ANN ')
legend('X50 : Perfomance objetivo','ypred : Perfomance ANN')
% ------------------------------------

figure(3)
plot(X50,datoy2,'*b','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',5 );
grid
xlabel('X50','FontSize',10)
ylabel('  ypred-ANN  ','FontSize',10)
title ('  Perfomance of ANN ')
legend('Dispersion : X50 & ANN ' )
hold off
% ------------------------------------

disp('Error de la red: ');
error = target-output ;
disp('Valor entrenado de la red output: ')
output=[datoy2']    % Predictores calculados vertical

disp('Tabla Comparativa, target & output & error : ')
Tabla=[datoy1',datoy2',error']
disp('Suma acumulada del error : ')
sum_acum =sum(error) ;
```

```
disp('Perfomance del MSE : ')
MSE = mse(net,target,error) ;

disp('Coeficiente de Correlacion PEARSON : ')
r=corrcoef(datoy1,datoy2) ;

disp('Coeficiente de Determinacion R^2 : ')
R2=r(1,2)^2

disp('Covarianza : ')
cov(datoy1,datoy2)

fprintf(' \n')
disp('  ------------------------------------------------------------
---------')
disp('         Validando el analisis, comprobacion inversa con dos
datos ')
disp('  ------------------------------------------------------------
---------')
fprintf(' \n')

disp('Validando el Proceso, comprobando con el primer dato "Rc 4" ')
W11 = net.IW{1,1}  ;
W22 = net.LW{2,1}  ;
W33 = net.LW{3,2}  ;

b11 = net.b{1} ;
b22 = net.b{2} ;
b33 = net.b{3} ;

SB1 = 1.17       ;
HB1 = 1.96       ;
BD1 = 26.20      ;
TB1 = 1.30       ;
Pf1 = 0.34       ;
XB1 = 1.56       ;
E1  = 45         ;

P1  = [SB1;HB1;BD1;TB1;Pf1;XB1;E1] ;

disp('La fragmentacion X50 pred  de "Rc4" = ' )
a22 = purelin(W33*logsig( W22* tansig  ( W11*P1 + b11 ) + b22 )+ b33
)

disp('Calculando un X50 pred de Sm1 = ')

SB2 =    1.25        ;
HB2 =    2.50        ;
BD2 =    28.57       ;
TB2 =    0.83        ;
Pf2 =    0.42        ;
XB2 =    0.50        ;
E2  =    13.25       ;

P2 =[SB2;HB2;BD2;TB2;Pf2;XB2;E2]  ;

a33 = purelin(W33*logsig(W22*tansig(W11*P2 + b11) + b22)+ b33)
```

A-5. Script en “Matlab”, para la determinación de la Perfomance, Limites de Confianza al 95% y Limites de la Prediccion al 95% del grupo 1.

```
%close all;clear all;clc
format short g
% Script de Edito Luis Rojas Linares, UNMSM, Doctorado FII
% Fecha  10 Febrero 2018
% ----------------------------------------

%  CASO  1 : Para tres grupos de "E" con, n = 90 datas,   Grupo 1

Nu1=[   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15
16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27]';
Grup1=[ 1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1
1   1   1   1   2   2   2   2   2   2   2   2]';

%Grup_1=[Rc4    Rc5     Rc6     Rc9     Db1     Db2     Db3     Db4
Db5     Db6     Db7     Db8     Db9     Sm3     Sm4     Sm5     Sm6
Sm7     Oz6     Rc3     Rc7     Rc8     Rc10    Sm1     Sm2     Ad12
Oz2];

D1 = [ 0.165    0.165   0.165   0.165   0.10    0.10    0.10    0.10
0.10    0.10    0.10    0.10    0.10    0.21    0.21    0.21    0.21
0.21    0.089   0.165   0.165   0.165   0.165   0.21    0.21
0.089   0.089]';


SB1=[   1.17    1.17    1.17    1.17    1.25    1.25    1.38    1.50
1.75    1.25    1.25    1.20    1.40    1.25    1.25    1.25    1.25
1.25    1.20    1.17    1.17    1.17    1.17    1.25    1.25    1.14
1.20]';
HB1=[   1.96    1.75    1.75    1.83    3.50    5.10    3.00    5.50
4.75    4.75    5.00    2.40    3.20    2.50    2.50    2.50    2.50
2.50    3.20    1.58    1.67    1.83    1.83    2.50    2.50    3.18
2.40]';
BD1=[   26.20   26.20   26.20   26.20   20.00   20.00   20.00
20.00   20.00   20.00   20.00   25.00   25.00   28.57   28.57
28.57   28.57   28.57   28.09   26.20   26.20   26.20   26.20
28.57   28.57   24.72   28.09]';
TB1=[   1.30    1.31    1.16    1.29    1.75    1.75    1.75    1.75
1.75    1.75    1.75    1.40    1.40    0.83    0.83    0.83    0.83
0.83    1.20    1.22    1.22    1.34    1.23    0.83    0.83    1.14
1.00]';
Pf1=[   0.34    0.29    0.36    0.32    0.73    0.70    0.62    0.56
0.39    0.33    0.44    0.28    0.31    0.42    0.42    0.42    0.42
0.42    0.48    0.28    0.31    0.30    0.35    0.42    0.42    0.69
0.53]';
XB1=[   1.56    1.56    1.56    1.80    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00    0.50    0.50    0.50    1.50    1.50    1.50
1.50    1.11    0.68    1.80    1.80    1.80    0.50    0.50    2.01
0.86]';
E1 =[   45.00   45.00   45.00   45.00   9.57    9.57    9.57    9.57
9.57    9.57    9.57    9.57    9.57    13.25   13.25   13.25
13.25   13.25   15.00   45.00   45.00   45.00   45.00   13.25
13.25   16.90   15.00]';
X501=[  0.75    0.96    0.76    0.74    0.44    0.76    0.35    0.55
0.35    0.23    0.40    0.35    0.29    0.23    0.22    0.24    0.26
```

```
0.28    0.30    0.48    0.53    0.56    0.44    0.15    0.19    0.20
0.14]';
%E1X501=[   60.000  46.875  59.211  60.811  21.750  12.592  27.343
17.400  27.343  41.609  23.925  27.343  33.000  57.609  60.227
55.208  50.962  47.321  50.000  93.750  84.906  80.357  102.273
88.333  69.737  84.500  107.143];l


%Nu2=[  1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15
16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31
32]';
%Grup2=[    1   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2
2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2
3]';
%SB2=[  1.00    1.17    1.20    1.20    1.20    1.20    1.20    1.20
1.20    1.20    1.20    1.14    1.14    1.25    1.25    1.25    1.25
1.14    1.12    1.00    1.10    1.10    1.25    1.00    1.00    1.14
1.11    1.28    1.20    1.25    1.11    1.20]';
%HB2=[  2.83    1.50    6.00    6.00    6.00    6.00    6.00    4.40
4.80    4.80    4.00    6.82    6.36    3.50    3.25    3.50    3.50
3.18    2.80    2.40    3.75    3.50    3.75    4.00    4.00    4.00
4.44    3.61    2.40    4.50    3.33    2.40]';
%BD2=[  33.71   26.20   32.89   32.89   32.89   32.89   32.89
28.09   28.09   28.09   28.09   24.72   24.72   22.47   22.47
22.47   22.47   24.72   28.09   28.09   21.74   22.47   17.98
18.42   18.42   18.42   18.95   18.95   28.09   22.47   30.34
28.09]';
%TB2=[  1.00    1.12    3.67    3.70    4.67    3.11    3.22    1.20
1.20    1.20    1.60    1.36    1.36    1.25    1.25    1.25    1.25
1.14    1.00    1.00    1.00    1.25    1.56    1.71    1.71    1.71
1.67    1.67    1.00    1.50    1.11    1.00]';
%Pf2=[  0.48    0.30    0.30    0.30    0.22    0.35    0.34    0.58
0.66    0.72    0.49    0.84    0.82    0.75    0.71    0.76    0.76
0.69    0.54    0.56    1.02    0.86    1.24    1.26    1.26    1.10
1.25    0.89    0.53    0.76    0.47    0.70]';
%XB2=[  0.45    0.68    2.00    2.00    2.00    2.00    2.00    0.77
0.56    0.29    0.81    1.43    1.77    1.03    0.83    1.68    1.24
0.67    0.96    0.83    1.64    2.35    1.53    0.73    1.47    1.19
1.71    0.56    0.44    0.66    0.47    0.88]';
%E2=[   15.00   45.00   45.00   45.00   45.00   45.00   45.00
16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90
16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90
16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   15.00   15.00   15.00
15.00]';
%X502=[ 0.27    0.48    0.54    0.51    0.64    0.54    0.69    0.15
0.17    0.14    0.16    0.21    0.21    0.15    0.19    0.18    0.15
0.14    0.15    0.14    0.15    0.15    0.19    0.15    0.17    0.19
0.22    0.20    0.14    0.20    0.17    0.12]';
%E2X502=[   55.556  93.750  83.333  88.235  70.313  83.333  65.217
112.667 99.412  120.714 105.625 80.476  80.476  112.667 88.947
93.889  112.667 120.714 112.667 120.714 112.667 112.667 88.947
112.667 99.412  88.947  76.818  84.500  107.143 75.000  88.235
125.000]';


%Nu3=[  1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15
16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31]';
%Grup3=[    2   2   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3
3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3]';
%SB3=[  1.24    1.13    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24
1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.00    1.00    1.00    1.00
```

```
1.10    1.10    1.10    1.20    1.20    1.20    1.20    1.20    1.40
1.20    1.40    1.40    1.16    1.16]';
%HB3=[  1.33    5.00    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33
1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    2.67    2.67    2.40    2.40
2.40    2.40    2.40    6.00    6.00    6.00    6.00    6.00    6.00
6.00    6.00    6.00    5.00    5.00]';
%BD3=[  27.27   39.47   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27
27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27
30.30   30.30   30.30   30.30   30.30   32.89   32.89   32.89
32.89   32.89   32.89   32.89   32.89   32.89   39.47   39.47]';
%TB3=[  1.06    1.93    0.78    0.78    0.78    0.78    0.78    1.17
0.91    0.91    0.99    1.06    1.06    0.89    0.89    0.80    0.80
0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80
0.60    0.60    0.60    0.50    0.50]';
%Pf3=[  0.33    0.31    0.48    0.48    0.48    0.48    0.48    0.27
0.41    0.41    0.36    0.33    0.33    0.75    0.75    0.61    0.61
0.55    0.55    0.55    0.49    0.51    0.49    0.52    0.42    0.36
0.56    0.30    0.35    0.39    0.32]';
%XB3=[  1.08    2.00    0.58    0.58    1.08    1.11    1.08    1.08
1.11    1.11    1.08    1.11    1.11    0.83    0.78    1.02    0.75
1.18    1.24    1.33    1.67    1.67    1.67    1.67    1.67    1.67
1.03    1.03    1.03    1.03    1.03]';
%E3=[   60.00   45.00   60.00   60.00   60.00   60.00   60.00
60.00   60.00   60.00   60.00   60.00   60.00   50.00   50.00
50.00   50.00   50.00   50.00   50.00   32.00   32.00   32.00
32.00   32.00   32.00   32.00   32.00   32.00   32.00   32.00]';
%X503=[ 0.64    0.64    0.37    0.37    0.33    0.42    0.46    0.37
0.42    0.26    0.42    0.31    0.38    0.23    0.25    0.27    0.30
0.38    0.37    0.38    0.17    0.17    0.13    0.17    0.13    0.15
0.18    0.19    0.16    0.17    0.21]';
%E3X503=[   93.750  70.313  162.162 162.162 181.818 142.857 130.435
162.162 142.857 230.769 142.857 193.548 157.895 217.391 200.000
185.185 166.667 131.579 135.135 131.579 188.235 188.235 246.154
188.235 246.154 213.333 177.778 168.421 200.000 188.235 152.381]';
% ------------------------------------------------

global X

global kuz

B1 = [BD1.*D1] ;
S1 = [SB1.*B1] ;
H1 = [HB1.*B1] ;
T1 = [TB1.*B1] ;

Vo1 = [B1.*S1.*H1] ;
Qo1 = [Pf1.*Vo1]   ;

%VQ1 = [Vo1./Qo1].^0.8
%Q1  = [Qo1].^(1/6)

kuz_01 = ((10.*((Vo1./Qo1).^0.8).*(Qo1.^(1/6)))./100)  ;

kuz = kuz_01

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%global X50
```

```
X    =  [SB1 HB1 BD1 TB1 Pf1 XB1 E1]        % Tratamientos de i

X50  =  [X501]   ;

% ---------------------------------------

[n1 p1] =size(X)   ;
v       = size(X)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%  KUSNETSOV
% ------------------------------------------
% ------------------------------------------

disp('Calculando la fragmentacion mediante Kuznetsov')

%disp('data')
%kuz =[0.472820494   0.513150241 0.447477997 0.485739912 0.220753126
0.241379067 0.24256808  0.290227285 0.365423122 0.384052067
0.322830807 0.422346273 0.426239736 0.513036842 0.513036842
0.513036842 0.513036842 0.513036842 0.314948801 0.515821796
0.488105761 0.50600559  0.458939757 0.513036842 0.513036842
0.232543109 0.281943165]'

figure(1)

x = 1:1:n1 ;

plot(x,X50,'-*r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',5 );
hold on
plot(x,kuz,'-*b','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',5 );
grid
xlabel(' Puntos','FontSize',10)
ylabel('  data  ','FontSize',10)
title ('  Perfomance of Kuznetsov ')

legend('X50 : Perfomance objetivo','ypred : Perfomance Kuznetsov')

% --------------------------------

% ploteando la dispersion

figure(2)

plot(X50,kuz,'ob','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',4 );
grid

disp ('coef determination kuznetsov')
r2 = corrcoef(X50,kuz) ;
R2 = r2(1,2).^2

xlabel('X50','FontSize',10)
ylabel('  ypred - kuz ','FontSize',10)
title (' " Perfomance of Kuznetsov " ')

legend('Dispersion : X50 & ypred kuz ' )
```

```
% ------------------------------------


disp('Intervalos de confianza al 95% de kuznetsov')

u = ones(n1,1) ;

X10 = [u X50] ;

y10 = [kuz] ;
v10 = X10'*X10 ;
w10 = X10'*y10 ;
B10 = inv (v10)' * w10  ;

X50kuzpred =[ X50 kuz (X50.^2) (kuz.^2) (X50.*kuz)  ]   ;

Sum10 =  sum(X50kuzpred)    ;
m10   =  mean (X50kuzpred)  ;
[n4 p4] = size(X50kuzpred)  ;
Sxx10 = [ Sum10(1,3)-((Sum10(1,1)^2)/n4) ]  ;

Sxy10 = [ Sum10(1,5)-((Sum10(1,1)*Sum10(1,2))/n4) ]  ;
SST10 = [ Sum10(1,4)-((Sum10(1,2)^2)/(n4)) ]  ;
F210  = [ (SST10-(B10(2,1)*(Sxy10)))/(n4-2) ]  ;
ta10  = [2.0595385527533]  ;

yykuzpred10  = [ B10(1,1)+(B10(2,1)*X50(:,1))]  ;
varkuzpred10 = [ ta10.* sqrt( F210*( (1/n4)+ (    ( ( X50(:,1) -
m10(1,1) ).^2 )/(Sxx10)    ) ) ) ] ;

yykuzpredmin10 =[ yykuzpred10-varkuzpred10 ]  ;
yykuzpredmax10 =[ yykuzpred10+varkuzpred10 ]  ;

disp('Limites de confianza al 95 % - Kuznetsov ')
tabla =[ yykuzpredmin10 yykuzpredmax10]

varkuzpred20 = [ ta10.* sqrt( F210*( 1+(1/n4)+ (    ( ( X50(:,1) -
m10(1,1) ).^2 )/(Sxx10)    ) ) ) ] ;
yykuzpredmin20 =[ yykuzpred10-varkuzpred20 ]  ;
yykuzpredmax20 =[ yykuzpred10+varkuzpred20 ]  ;

disp('Limites de prediccion al 95 % - Kusnetsov')
tabla =[ yykuzpredmin20 yykuzpredmax20]

figure(3)

plot(X50,kuz,'ob','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',4 );
hold on
plot(X50,yykuzpred10,'.r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',8 );
hold on
plot(X50,yykuzpredmin10,'ok','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',3 );
hold on
plot(X50,yykuzpredmax10,'ok','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',3 );
hold on

plot(X50,yykuzpredmin20,'.k','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',5 );
hold on
```

```
plot(X50,yykuzpredmax20,'.k','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',5 );
grid

title('Intervalos de Confianza al 95% - Kuznetsov')
xlabel('X50')
ylabel('ykuzpred kuz')

%%%
```

```
disp ('coef determination Linear')
r1 = corrcoef(X50,ypred) ;
R1 = r1(1,2).^2

xlabel('X50','FontSize',10)
ylabel(' " ypred" ','FontSize',10)
title (' " Perfomance  Linear" ')
legend('Dispersion : X50 & ypred ' )
% -------------------------------------

disp ('Intervalos de Confianza al 95% Linear')

u = ones(n1,1) ;

X11 = [u X50] ;

y11 = [ypred] ;
v11 = X11'*X11 ;
w11 = X11'*y11 ;
B11 = inv (v11)' * w11  ;

X50ypred =[ X50 ypred (X50.^2) (ypred.^2) (X50.*ypred)  ]  ;

Sum11 = sum(X50ypred)  ;
m11 =  mean (X50ypred)  ;
[n5 p5]=size(X50ypred)   ;

Sxx11 = [ Sum11(1,3)-((Sum11(1,1)^2)/n5) ]  ;
Sxy11 = [ Sum11(1,5)-((Sum11(1,1)*Sum11(1,2))/n5) ]  ;
SST11 = [ Sum11(1,4)-((Sum11(1,2)^2)/(n5)) ]  ;
F211  = [ (SST11-(B11(2,1)*(Sxy11)))/(n5-2) ]  ;
ta  = [ 2.0595385527533 ]  ;

yypred11  = [ B11(1,1)+(B11(2,1)*X50(:,1))]  ;

varpred11 = [ ta.* sqrt( F211*( (1/n5)+ (    ( ( X50(:,1) - m11(1,1)
).^2 )/(Sxx11)    ) ) ) ] ;

yypredmin11 =[ yypred11-varpred11 ]  ;

yypredmax11 =[ yypred11+varpred11 ]  ;

disp('Limites de confianza al 95 % - Linear')
tabla =[ yypredmin11 yypredmax11]

varpred22 = [ ta.* sqrt( F211*( 1+(1/n5)+ (    ( ( X50(:,1) -
m11(1,1) ).^2 )/(Sxx11)    ) ) ) ] ;
yypredmin22 =[ yypred11-varpred22 ]  ;
yypredmax22 =[ yypred11+varpred22 ]  ;

disp('Limites de la prediccion al 95% - Linear')
tabla =[ yypredmin22 yypredmax22]

figure(6)

plot(X50,ypred,'ob','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',4 );
hold on
plot(X50,yypred11,'.r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',8 );
```

```
hold on
plot(X50,yypredmin11,'ok','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',3 );
hold on
plot(X50,yypredmax11,'ok','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',3 );
hold on

plot(X50,yypredmin22,'-.k','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',12 );
hold on
plot(X50,yypredmax22,'-.k','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',12 );

grid

title('Intervalos de Confianza al 95% - Linear')
xlabel('X50')
ylabel('ypred Linear')

% ---------------------------------------------
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
% ANN  - REDES NEURONALES ARTIFICIALES
% ---------------------------------------------

disp ('Intervalos de Confianza al 95 %  ANN ')

disp('ARTIFICIAL NET NEURONAL"')



input    = [X]' ;          % Tratamientos en (i,j)

target   = [ X50 ]' ;


%net=newff(minmax(input),[20,50,50,1],{'tansig','logsig','hardlim','
purelin'},'traincgf');
net=newff(minmax(input),[7,14,1],{'tansig','logsig','purelin'});
%antiguo
%net=newff(minmax(input),[7,14,1],{'tansig','logsig','purelin'},'tra
incgf');
%net=newff(minmax(input),[7,14,1],{'tansig','logsig','purelin'});

net.trainParam.show = 50;
net.trainParam.lr = 0.005;
net.trainParam.lr_inc = 1.05;
net.trainParam.mc = 0.9;
net.trainParam.epochs = 15000;
net.trainParam.goal = 1e-5;
net.performFcn = 'msereg';
net.performParam.ratio = 0.5;

disp('Ingreso de Pesos Sinapticos : net.IW{1,1} : ')
W1 = net.IW{1,1}  ;
b1 = net.b{1}  ;

disp('Ingreso de Pesos Sinapticos : net.LW {2,1} : ')
W2 = net.LW{2,1}  ;
b2 = net.b{2}  ;
```

```
disp('Ingreso de Pesos Sinapticos : net.LW {3,2} : ')
W3 = net.LW{3,2}  ;
b3 = net.b{3}   ;

%disp('Ingreso de Pesos Sinapticos : net.LW {4,3}: ')
%W4=net.LW{4,3};
%b4 = net.b{4};

disp('Entrenando la Red : ')
net = train(net,input,target) ;    % ingreso de datas

disp('Valores entrenados de la Red : ')
output = sim(net,input);    % Predictores Calculados horizontal

global Ann

datoy1 = [target] ;
datoy2 = [output] ;   % Predictores calculados horizontal

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

disp('Error de la red: ');
error = target-output ;

disp('Valor entrenado de la red output: ')
output=[datoy2']    % Predictores calculados vertical

disp('Tabla Comparativa, target & output & error : ')
Tabla=[datoy1',datoy2',error']

disp('Suma acumulada del error : ')
sum_acum =sum(error) ;

disp('Perfomance del MSE : ')
MSE = mse(net,target,error) ;

disp('Coeficiente de Correlacion PEARSON : ')
r=corrcoef(datoy1,datoy2) ;

disp('Coeficiente de Determinacion R^2 : ')
R2=r(1,2)^2

disp('Covarianza : ')
cov(datoy1,datoy2);

Ann = datoy2'


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%disp('data')
%Ann=[0.75   0.96    0.76    0.74    0.44    0.76    0.35    0.55
0.35    0.23    0.4 0.35    0.29    0.19    0.25    0.25    0.25
0.25    0.3 0.48    0.53    0.56    0.44    0.19    0.19    0.2
0.14]'
```

```
figure(7)

x = 1:1:n1 ;

plot(x,X50,'-*r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',5 );
hold on
plot(x,Ann,'-*b','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',5 );
grid
xlabel(' Puntos','FontSize',10)
ylabel('  data  ','FontSize',10)
title ('  Perfomance of ANN ')

legend('X50 : Perfomance objetivo','ypred : Perfomance ANN')

% ---------------------------------

figure(8)

plot(X50,Ann,'ob','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',4 );
grid

disp ('coef determination of Ann')
r2 = corrcoef(X50,Ann) ;
R2 = r2(1,2).^2

xlabel('X50','FontSize',10)
ylabel('  ypred - Ann ','FontSize',10)
title (' " Perfomance of ANN " ')

legend('Dispersion : X50 & ypred ANN ' )

% -------------------------------------

u = ones(n1,1) ;

X13 = [u X50] ;

y13 = [Ann] ;
v13 = X13'*X13 ;
w13 = X13'*y13 ;
B13 = inv (v13)' * w13  ;

X50YpredA =[ X50 Ann (X50.^2) (Ann.^2) (X50.*Ann) ]  ;

 Sum13 = sum(X50YpredA)   ;
 m13 =  mean (X50YpredA)  ;
 [n7 p7]=size(X50YpredA)  ;

Sxx13 = [ Sum13(1,3)-((Sum13(1,1)^2)/n7) ] ;
Sxy13 = [ Sum13(1,5)-((Sum13(1,1)*Sum13(1,2))/n7) ] ;
SST13 = [ Sum13(1,4)-((Sum13(1,2)^2)/(n7)) ] ;

F3 = [ (SST13-(B13(2,1)*(Sxy13)))/(n7-2) ] ;

ta13= [2.0595385527533]  ;

yypred13 = [ B13(1,1)+(B13(2,1)*X50(:,1))]  ;
```

```
varpred13 = [ ta13.* sqrt( F3*( (1/n7)+ ( ( ( X50(:,1) - m13(1,1)
).^2 )/(Sxx13) ) ) ) ] ;

yypredmin13 =[ yypred13-varpred13 ]  ;
yypredmax13 =[ yypred13+varpred13 ]  ;

disp('Limites de confianza al 95 % - ANN ')
tabla =[ yypredmin13 yypredmax13]

varpred30 = [ ta13.* sqrt( F3*(1+(1/n7)+ ( ( ( X50(:,1) - m13(1,1)
).^2 )/(Sxx13) ) ) ) ] ;
yypredmin30 =[ yypred13-varpred30 ]  ;
yypredmax30 =[ yypred13+varpred30 ]  ;

disp('Limites de prediccion al 95% - ANN ')
tabla =[ yypredmin30 yypredmax30]

figure(9)

plot(X50,Ann,'ob','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',4 );
hold on
plot(X50,yypred13,'.r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',8 );
hold on
plot(X50,yypredmin13,'-.r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',3 );
hold on
plot(X50,yypredmax13,'-.r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',3 );
hold on
plot(X50,yypredmin30,'-.k','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',10 );
hold on
plot(X50,yypredmax30,'-.k','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',10 );
grid

title('Intervalos de Confianza al 95 % - ANN ')
xlabel('X50')
ylabel('ypred ANN')
hold off
% ------------------------------------------------

figure(10)

plot(X50,kuz,'ob','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',4 );
hold on
plot(X50,ypred,'ok','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',4 );
hold on
plot(X50,Ann,'or','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',4 );
grid

axis([0,1,0,1])
xlabel(' X50','FontSize',10)
ylabel('  Predictive  ','FontSize',10)
title ('  Perfomance de la dispersion kuz 1, Linear 1, ANN 1 ')

legend('kuz  ','ypred : Linear','ypred : ANN')
```

A-6. Script en "Matlab", para la determinación de la 1ra. Componente Principal y 2da Componentes Principal en "S-1" & "R-1" del group I.

```
close all;clear all;clc
format short g
% Script de Edito Luis Rojas Linares para la UNMSM, Doctorado FII
% Fecha 20-febrero-2018
% ---------------------------------------

%  CASO  1 : Para tres grupos de "E" con, n = 90 datas, para grupo 1

%  ESTE ES UN TRATAMIENTO SIN CENTRAR LA MATRIZ "S" & "R"

Nu1=[   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15
16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27]';
Grup1=[ 1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1
1   1   1   1   2   2   2   2   2   2   2   2]';
SB1=[   1.17    1.17    1.17    1.17    1.25    1.25    1.38    1.50
1.75    1.25    1.25    1.20    1.40    1.25    1.25    1.25    1.25
1.25    1.20    1.17    1.17    1.17    1.17    1.25    1.25    1.14
1.20]';
HB1=[   1.96    1.75    1.75    1.83    3.50    5.10    3.00    5.50
4.75    4.75    5.00    2.40    3.20    2.50    2.50    2.50    2.50
2.50    3.20    1.58    1.67    1.83    1.83    2.50    2.50    3.18
2.40]';
BD1=[   26.20   26.20   26.20   26.20   20.00   20.00   20.00
20.00   20.00   20.00   20.00   25.00   25.00   28.57   28.57
28.57   28.57   28.57   28.09   26.20   26.20   26.20   26.20
28.57   28.57   24.72   28.09]';
TB1=[   1.30    1.31    1.16    1.29    1.75    1.75    1.75    1.75
1.75    1.75    1.75    1.40    1.40    0.83    0.83    0.83    0.83
0.83    1.20    1.22    1.22    1.34    1.23    0.83    0.83    1.14
1.00]';
Pf1=[   0.34    0.29    0.36    0.32    0.73    0.70    0.62    0.56
0.39    0.33    0.44    0.28    0.31    0.42    0.42    0.42    0.42
0.42    0.48    0.28    0.31    0.30    0.35    0.42    0.42    0.69
0.53]';
XB1=[   1.56    1.56    1.56    1.80    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00    0.50    0.50    0.50    1.50    1.50    1.50
1.50    1.11    0.68    1.80    1.80    1.80    0.50    0.50    2.01
0.86]';
E1=[    45.00   45.00   45.00   45.00   9.57    9.57    9.57    9.57
9.57    9.57    9.57    9.57    9.57    13.25   13.25   13.25
13.25   13.25   15.00   45.00   45.00   45.00   45.00   13.25
13.25   16.90   15.00]';
X501=[  0.75    0.96    0.76    0.74    0.44    0.76    0.35    0.55
0.35    0.23    0.40    0.35    0.29    0.23    0.22    0.24    0.26
0.28    0.30    0.48    0.53    0.56    0.44    0.15    0.19    0.20
0.14]';
%E1X501=[   60.000  46.875  59.211  60.811  21.750  12.592  27.343
17.400  27.343  41.609  23.925  27.343  33.000  57.609  60.227
55.208  50.962  47.321  50.000  93.750  84.906  80.357  102.273
88.333  69.737  84.500  107.143];l


Nu2=[   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15
16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31
32]';
```

```
Grup2=[ 1   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2
2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   2   3]';
SB2=[   1.00    1.17    1.20    1.20    1.20    1.20    1.20    1.20
1.20    1.20    1.20    1.14    1.14    1.25    1.25    1.25    1.25
1.14    1.12    1.00    1.10    1.10    1.25    1.00    1.00    1.14
1.11    1.28    1.20    1.25    1.11    1.20]';
HB2=[   2.83    1.50    6.00    6.00    6.00    6.00    6.00    4.40
4.80    4.80    4.00    6.82    6.36    3.50    3.25    3.50    3.50
3.18    2.80    2.40    3.75    3.50    3.75    4.00    4.00    4.00
4.44    3.61    2.40    4.50    3.33    2.40]';
BD2=[   33.71   26.20   32.89   32.89   32.89   32.89   32.89
28.09   28.09   28.09   28.09   24.72   24.72   22.47   22.47
22.47   22.47   24.72   28.09   28.09   21.74   22.47   17.98
18.42   18.42   18.42   18.95   18.95   28.09   22.47   30.34
28.09]';
TB2=[   1.00    1.12    3.67    3.70    4.67    3.11    3.22    1.20
1.20    1.20    1.60    1.36    1.36    1.25    1.25    1.25    1.25
1.14    1.00    1.00    1.00    1.25    1.56    1.71    1.71    1.71
1.67    1.67    1.00    1.50    1.11    1.00]';
Pf2=[   0.48    0.30    0.30    0.30    0.22    0.35    0.34    0.58
0.66    0.72    0.49    0.84    0.82    0.75    0.71    0.76    0.76
0.69    0.54    0.56    1.02    0.86    1.24    1.26    1.26    1.10
1.25    0.89    0.53    0.76    0.47    0.70]';
XB2=[   0.45    0.68    2.00    2.00    2.00    2.00    2.00    0.77
0.56    0.29    0.81    1.43    1.77    1.03    0.83    1.68    1.24
0.67    0.96    0.83    1.64    2.35    1.53    0.73    1.47    1.19
1.71    0.56    0.44    0.66    0.47    0.88]';
E2=[    15.00   45.00   45.00   45.00   45.00   45.00   45.00
16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90
16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   16.90
16.90   16.90   16.90   16.90   16.90   15.00   15.00   15.00
15.00]';
X502=[  0.27    0.48    0.54    0.51    0.64    0.54    0.69    0.15
0.17    0.14    0.16    0.21    0.21    0.15    0.19    0.18    0.15
0.14    0.15    0.14    0.15    0.15    0.19    0.15    0.17    0.19
0.22    0.20    0.14    0.20    0.17    0.12]';
%E2X502=[   55.556  93.750  83.333  88.235  70.313  83.333  65.217
112.667 99.412  120.714 105.625 80.476  80.476  112.667 88.947
93.889  112.667 120.714 112.667 120.714 112.667 112.667 88.947
112.667 99.412  88.947  76.818  84.500  107.143 75.000  88.235
125.000]';


Nu3=[   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15
16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31]';
Grup3=[ 2   2   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3
3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3   3]';
SB3=[   1.24    1.13    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24
1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.24    1.00    1.00    1.00    1.00
1.10    1.10    1.10    1.20    1.20    1.20    1.20    1.20    1.40
1.20    1.40    1.40    1.16    1.16]';
HB3=[   1.33    5.00    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    1.33
1.33    1.33    1.33    1.33    1.33    2.67    2.67    2.40    2.40
2.40    2.40    2.40    6.00    6.00    6.00    6.00    6.00    6.00
6.00    6.00    6.00    5.00    5.00]';
BD3=[   27.27   39.47   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27
27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27   27.27
30.30   30.30   30.30   30.30   30.30   32.89   32.89   32.89
32.89   32.89   32.89   32.89   32.89   32.89   39.47   39.47]';
TB3=[   1.06    1.93    0.78    0.78    0.78    0.78    0.78    1.17
0.91    0.91    0.99    1.06    1.06    0.89    0.89    0.80    0.80
```

```
0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80    0.80
0.60    0.60    0.60    0.50    0.50]';
Pf3=[   0.33    0.31    0.48    0.48    0.48    0.48    0.48    0.27
0.41    0.41    0.36    0.33    0.33    0.75    0.75    0.61    0.61
0.55    0.55    0.55    0.49    0.51    0.49    0.52    0.42    0.36
0.56    0.30    0.35    0.39    0.32]';
XB3=[   1.08    2.00    0.58    0.58    1.08    1.11    1.08    1.08
1.11    1.11    1.08    1.11    1.11    0.83    0.78    1.02    0.75
1.18    1.24    1.33    1.67    1.67    1.67    1.67    1.67    1.67
1.03    1.03    1.03    1.03    1.03]';
E3=[    60.00   45.00   60.00   60.00   60.00   60.00   60.00
60.00   60.00   60.00   60.00   60.00   60.00   50.00   50.00
50.00   50.00   50.00   50.00   50.00   32.00   32.00   32.00
32.00   32.00   32.00   32.00   32.00   32.00   32.00   32.00]';
X503=[  0.64    0.64    0.37    0.37    0.33    0.42    0.46    0.37
0.42    0.26    0.42    0.31    0.38    0.23    0.25    0.27    0.30
0.38    0.37    0.38    0.17    0.17    0.13    0.17    0.13    0.15
0.18    0.19    0.16    0.17    0.21]';
%E3X503=[   93.750  70.313  162.162 162.162 181.818 142.857 130.435
162.162 142.857 230.769 142.857 193.548 157.895 217.391 200.000
185.185 166.667 131.579 135.135 131.579 188.235 188.235 246.154
188.235 246.154 213.333 177.778 168.421 200.000 188.235 152.381]';
% ------------------------------------------------

    X1  = [SB1 HB1 BD1 TB1 Pf1 XB1 E1]      ;   % Tratamientos de i
%   X1  = [SB1 HB1 BD1 TB1 Pf1 XB1 E1]      ;   % Tratamientos de j
% ------------------------------------------------------------
%   X1  = [SB2 HB2 BD2 TB2 Pf2 XB2 E2]      ;   % Tratamientos de i

% ----------------------------------------
%   X1   =  [SB3 HB3 BD3 TB3 Pf3 XB3 E3]    ;
% ----------------------------------------

[n1,p1] = size(X1) ;
 v      = size(X1) ;

%  ------------------------------------

for i = 1:n1 ,
    lab(i,:) = sprintf('%3g',i)  ;
end

%  ------------------------------------

fprintf(' \n')
disp('      ----------------------------------')
fprintf(' \n')

disp('ANALISIS DE LA MATRIZ DE "S" ')

fprintf(' \n')

S1   = cov(X1)     % matriz de varianzas

media = mean(X1) ;

[autovectores autovalores] = eig(S1) ;

disp('Autovectores & Autovalores, de S , referencia')
```

```
[autovectores autovalores] = eigsort(S1)  % function ordenadanc

pca1 = autovectores ;   % data con autovectores

proporcion_parcial_S =[(autovalores)/trace(S1)]
proporcion_acum_S =[cumsum(autovalores)/trace(S1)]

% trace S es la suma de los autovalores
% ----------------------------------

disp('Analisis Factorial de la MATRIZ S-1' )
% Cargas para f=6 factores comunes (metodo: componente principal)

f = 7 ;
L1 = pca1(:,[1:f]).*(ones(v(2),1)*(sqrt(autovalores([1:f],:)))')
Comunalidad = diag(L1*L1')     % es la suma al cuadrado de L
psi = diag(S1-L1*L1')       ;

%      ------------------------------------
disp(' Resultado de Principales Componentes de "S" ')
%      ------------------------------------

pc3 = pca1(:,1) ;  % Llama al 1er autovectores

y3=pc3(1,1)*X1(:,1)+pc3(2,1)*X1(:,2)+pc3(3,1)*X1(:,3)+pc3(4,1)*X1(:,
4)+pc3(5,1)*X1(:,5)+pc3(6,1)*X1(:,6)+pc3(7,1)*X1(:,7) ;

%   y3  = X1 * pc3  ;     %    resultado difiere de forma parcial
%     ------------------------------------

pc4  = pca1(:,2) ;

y4=pc4(1,1)*X1(:,1)+pc4(2,1)*X1(:,2)+pc4(3,1)*X1(:,3)+pc4(4,1)*X1(:,
4)+pc4(5,1)*X1(:,5)+pc4(6,1)*X1(:,6)+pc4(7,1)*X1(:,7) ;

%   y4   = X1*pc4     ;    %  resultado difiere de forma parcial
%   ----------------------------------------

pc5  = pca1(:,3) ;

y5=pc5(1,1)*X1(:,1)+pc5(2,1)*X1(:,2)+pc5(3,1)*X1(:,3)+pc5(4,1)*X1(:,
4)+pc5(5,1)*X1(:,5)+pc5(6,1)*X1(:,6)+pc5(7,1)*X1(:,7) ;

%   y5   =  X1*pc4   ; %  resultado difiere de forma parcial

% ----------------------------------------
PcaS = X1 * pca1  ;     % resultado general
% ----------------------------------------

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ----------------------------------------
%   Tratamiento centrando la matriz
%   ----------------------------------------
%   ----------------------------------------
%   Data
desv = std(X1)  ;
sqrt(diag(S1))'   ;  % este dato es igual a desv
```

```
% Standarizando

z1 = (X1(:,1)-media(1,1)) / desv(1,1) ;
z2 = (X1(:,2)-media(1,2)) / desv(1,2) ;
z3 = (X1(:,3)-media(1,3)) / desv(1,3) ;
z4 = (X1(:,4)-media(1,4)) / desv(1,4) ;
z5 = (X1(:,5)-media(1,5)) / desv(1,5) ;
z6 = (X1(:,6)-media(1,6)) / desv(1,6) ;
z7 = (X1(:,7)-media(1,7)) / desv(1,7) ;


%  ------------------------------------------
y3  =
pc3(1,1)*z1+pc3(2,1)*z2+pc3(3,1)*z3+pc3(4,1)*z4+pc3(5,1)*z5+pc3(6,1)
*z6+pc3(7,1)*z7
y4  =
pc4(1,1)*z1+pc4(2,1)*z2+pc4(3,1)*z3+pc4(4,1)*z4+pc4(5,1)*z5+pc4(6,1)
*z6+pc4(7,1)*z7
y5  =
pc5(1,1)*z1+pc5(2,1)*z2+pc5(3,1)*z3+pc5(4,1)*z4+pc5(5,1)*z5+pc5(6,1)
*z6+pc5(7,1)*z7

%  ------------------------------------------

D1 = autovalores   ;
s  = sum(D1(1:p1))  ;

for  i=1:p1
    percent1(i)=(D1(i)/s)*100;
    acum1(i)=sum(percent1(1:i));
end

% ----------------------------
% ----------------------------

figure(1)

x = 1:1:n1 ;   % Para  n datas

plot( x , y3 , '-ok','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',5 )   ;
grid ;

xlabel('Puntos','FontSize',10)
ylabel('Perfomance " E " ','FontSize',10)
title ('Firts component in "S"')

%  ----------------------------
figure(2)

plot( x , y4 , '-ok','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',5 )   ;
grid;
xlabel('Puntos','FontSize',10)
ylabel('Perfomance " BD " ','FontSize',10)
title ('Second component in " S "')

% --------------------------------

figure(3)
```

```
plot( x , y5 , '-ok','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',5 );
grid;
xlabel('Puntos','FontSize',10)
ylabel('Perfomance " HB " ','FontSize',10)
title ('thirds component in " S "')

% ----------------------------
figure(4)

plot( y3, y4,'ok','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',5)
%axis([0,35,-2,12])
hold on
plot([-2.5,2],[0,0],'b','MarkerSize',10 )
hold on
plot([0,0],[-2.5,2],'b','MarkerSize',10 )
grid

xlabel('Component  1')
ylabel('Component  2')

title(['P.C.A.  a  partir  de  S
(',num2str(acum1(2)),'%)'],'FontSize',12)

for i = 1:n1 ,
    text( y3(i,1), y4(i,1),lab(i,:) )   % bucle para etiquetas
end

%  ------------------------------
%  ------------------------------

fprintf(' \n')
disp('      ----------------------------------')
fprintf(' \n')

disp(' ANALISIS PARA LA MATRIZ "R-1" ')

fprintf(' \n')

disp(' "Coeficiente de correlación de PEARSON" ')

R = corrcoef(X1)  % matriz de correlacion de pearson

[autovectoresR autovaloresR] = eig(R);

disp('Autovector & Autovalor de referencia de "R" ')
[autovectoresR autovaloresR]= eigsort(R)

pcaR1 = autovectoresR ;

%  ---------------------------------------

proporcion_parcial_R =[(autovaloresR)/trace(R)]
proporcion_acum_R =[cumsum(autovaloresR)/trace(R)] %trace R es la
suma de los autovalores
% ---------------------------------------

disp('Autovector & Autovalor cambiando de signo, baillo en "R" ')
```

```
% condicion solo para dos componentes
if
((sum(sign(autovectoresR(:,1)))<0)&(sum(sign(autovectoresR(:,2)))<0)
);
   autovectoresR = -autovectoresR;
end
% ---------------------------------------

disp('resultados de pca cambiada de signo, Baillo en "R" ')

  pcaBaillo = autovectoresR ;

% princomp_R = pcaBaillo ;   % Data utilizada calculo con
autovalores
% --------------------------------
                                        %  Centra mucho mejor en el
biplot, score
                                        % el codigo trabaja con la
Desv. Muestral
  [coefs,score] = pca(zscore(X1)) ;     % coefs = autovectores = V

   princomp_R = coefs   ;               % Score es una data centrada
                                        % coefs = es una data =
autovector
% ----------------------------------
%  pcaR1 = princomp_R          % Data para cambiar de Auto vectores
% --------------------------------


disp('Analisis Factorial de la MATRIZ R' )
% Cargas para f=6 factores comunes (metodo: componente principal)

f = 7;

L2 = pcaR1(:,[1:f]).*(ones(v(2),1)*(sqrt(autovaloresR([1:f],:)))')
Comunalidad = diag(L2*L2')      % es la sumaal cuadrado de L
psi = diag(R-L2*L2') ;

% --------------------------------
disp('Analisis de principales compnponentes en "R" ')

pcR3 = pcaR1(:,1) ;    % autovectores

yR3=pcR3(1,1)*X1(:,1)+pcR3(2,1)*X1(:,2)+pcR3(3,1)*X1(:,3)+pcR3(4,1)*
X1(:,4)+pcR3(5,1)*X1(:,5)+pcR3(6,1)*X1(:,6)+pcR3(7,1)*X1(:,7) ;

%yR3  = X1 * pcR3   ;

pcR4 = pcaR1(:,2);

yR4=pcR4(1,1)*X1(:,1)+pcR4(2,1)*X1(:,2)+pcR4(3,1)*X1(:,3)+pcR4(4,1)*
X1(:,4)+pcR4(5,1)*X1(:,5)+pcR4(6,1)*X1(:,6)+pcR4(7,1)*X1(:,7) ;

%yR4  = X1*pcR4 ;

pcR5 = pcaR1(:,3) ;
```

```
yR5=pcR5(1,1)*X1(:,1)+pcR5(2,1)*X1(:,2)+pcR5(3,1)*X1(:,3)+pcR5(4,1)*
X1(:,4)+pcR5(5,1)*X1(:,5)+pcR5(6,1)*X1(:,6)+pcR5(7,1)*X1(:,7) ;

%yR5  = X1*pcR5

% ----------------------------

disp('Resultados de Principales Componentes de "R" ' )
PcaR = X1*pcaR1 ;  % Principales componentes de R

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% ----------------------------
D2 = autovaloresR;
s  = sum(D2(1:p1));

for  i=1:p1
    percent1(i)=(D2(i)/s)*100;
    acum2(i)=sum(percent1(1:i));
end

%   ----------------------------------------
fprintf(' \n')
disp(' Score centrado "R-1" ')
fprintf(' \n')
%   ----------------------------------------
%   ----------------------------------------
%   Tratamiento centrando la matriz
%   ----------------------------------------
%   ----------------------------------------
%   Data

desv = std(X1)  ;
sqrt(diag(S1))'   ;  % este dato es igual a desv

% Standarizando

z1 = (X1(:,1)-media(1,1)) / desv(1,1) ;
z2 = (X1(:,2)-media(1,2)) / desv(1,2) ;
z3 = (X1(:,3)-media(1,3)) / desv(1,3) ;
z4 = (X1(:,4)-media(1,4)) / desv(1,4) ;
z5 = (X1(:,5)-media(1,5)) / desv(1,5) ;
z6 = (X1(:,6)-media(1,6)) / desv(1,6) ;
z7 = (X1(:,7)-media(1,7)) / desv(1,7) ;

%z8 = (X1(:,8)-media(1,8)) / desv(1,8) ;
%z9 = (X1(:,9)-media(1,9)) / desv(1,9) ;


yR3  =
pcR3(1,1)*z1+pcR3(2,1)*z2+pcR3(3,1)*z3+pcR3(4,1)*z4+pcR3(5,1)*z5+pcR
3(6,1)*z6+pcR3(7,1)*z7    % +pcR3(8,1)*z8+pcR3(9,1)*z9;
yR4  =
pcR4(1,1)*z1+pcR4(2,1)*z2+pcR4(3,1)*z3+pcR4(4,1)*z4+pcR4(5,1)*z5+pcR
4(6,1)*z6+pcR4(7,1)*z7    % +pcR4(8,1)*z8+pcR4(9,1)*z9;
yR5  =
pcR5(1,1)*z1+pcR5(2,1)*z2+pcR5(3,1)*z3+pcR5(4,1)*z4+pcR5(5,1)*z5+pcR
5(6,1)*z6+pcR5(7,1)*z7;    % +pcR5(8,1)*z8+pcR5(9,1)*z9;
```

```
% ----------------------------
figure(5)

x  = 1:1:n1 ;

plot( x , yR3 , '-ok','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',5 )
grid
xlabel('Puntos','FontSize',10)
ylabel('Perfomance  Pca 1 ','FontSize',10)
title ('Firth component in " R " ')
% ----------------------------

figure(6)

plot( x , yR4 , '-ok','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',5 )
grid
xlabel('Puntos','FontSize',10)
ylabel('Perfomance  Pca 2  ','FontSize',10)
title ('Second component in " R " ')
% ----------------------------

figure(7)

plot( x , yR5 , '-ok','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',5 )
grid
xlabel('Puntos','FontSize',10)
ylabel('Perfomance  Pca 3  ','FontSize',10)
title ('Thirds component in " R " ')


% ----------------------------------------
figure(8)

plot( yR3, yR4,'ok','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',5)
%axis([3,32,-10,6.5])
hold on
plot([-4,3],[0,0],'b','MarkerSize',10 )
hold on
plot([0,0],[-3,3],'b','MarkerSize',10 )
grid

xlabel('Component  1')
ylabel('Component  2')

title(['P.C.A. a  partir de R
(',num2str(acum2(2)),'%)'],'FontSize',12)

for i = 1:n1 ,
    text( yR3(i,1), yR4(i,1),lab(i,:) )   % bucle para etiquetas
end
```