UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIDAD DE POSGRADO

Aplicación de los métodos Taguchi a la mejora de la calidad en la pequeña y microempresa

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería Industrial

AUTOR

Juan Manuel Cevallos Ampuero

ASESOR

Javier Del Carpio Gallegos

Lima – Perú

2000



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

ESCUELA DE POST – GRADO

FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL

UNIDAD DE POST – GRADO

" APLICACION DE LOS METODOS TAGUCHI A LA MEJORA DE LA CALIDAD EN LA PEQUEÑA Y MICROEMPRESA "

AUTOR : ING. JUAN MANUEL CEVALLOS AMPUERO

ASESOR DE TESIS : Ms.Sc. JAVIER DEL CARPIO GALLEGOS

LIMA, PERU

JULIO, 2000

294

INDICE

PAGINA

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

RESUMEN

INTRODUCCION 1

1. MARCO CONCEPTUAL 2

1.1. CONCEPTOS GENERALES 2

1.2. FUNCION PERDIDA 5

1.3. LOS ARREGLOS ORTOGONALES 10

1.4. DISEÑO DE PARAMETROS 19

1.5. APORTES DE OTROS AUTORES 24

1.5.1. PEACE 24

1.5.2. KACKAR 49

1.5.3. ANAND 57

1.5.4. MONTGOMERI 66

1.5.5. BOX Y HUNTER 67

2. METODOLOGIA DE APLICACION DE LOS METODOS TAGUCHI A LAS PEQUEÑAS Y MICROEMPRESAS 69

2.1. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE METODOLOGIA 69

2.2. RESULTADOS DE LA APLICACION DE LA METODOLOGIA PROPUESTA 91

2.2.1. CASO: VELAS ARTESANALES 91

2.2.2. CASO: POP CORN 105

2.3. VENTAJAS DE LA METODOLOGIA PROPUESTA 126

2.4. RESTRICCIONES DE LA PROPUESTA 129

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 131

BIBLIOGRAFIA 133

ANEXOS 136

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
BIBLIOTECA CENTRAL
21189

ANEXO 1. ARREGLOS ORTOGONALES, GRAFICAS LINEALES Y TABLAS TRIANGULARES

ANEXO 2. TABLAS SOBRE RESOLUCION DE LOS ARREGLOS ORTOGONALES

ANEXO 3. TABLAS DE F y Z

ANEXO 4. ANEXO AL ARTICULO DE ANAND SOBRE TECNICAS MULTINIVEL Y DE NIVEL FICTICIO E INTERACCION ENTRE FACTORES DE NIVELES 2 Y

LISTA DE CUADROS

		PAGINA
CUADRO 1.1.	ANVA CON 2 FACTORES CONTROLABLES	9
CUADRO 1.2	ARREGLO ORTOGONAL	11
CUADRO 1.3	ARREGLO ORTOGONAL L8	12
CUADRO 1.4	DATOS DE DESGASTE	21
CUADRO 1.5	ANVA	22
CUADRO 1.6	FORMATO DE COMPARACION DE PROMEDIOS Y RATIO DE SEÑAL DE RUIDO	25
CUADRO 1.7	ARREGLO ORTOGONAL AO L4(2^3)	26
CUADRO 1.8	DE RESPUESTAS S/N	27
CUADRO 1.9	DE ANALISIS DE FACTORES DE RUIDO	28
CUADRO 1.10.	DE DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y DATOS	29
CUADRO 1.11.	ARREGLOS ORTOGONALES	30
CUADRO 1.12.	EXPERIMENTO NUMERO	31
CUADRO 1.13.	DE RESPUESTAS S/N	32
CUADRO 1.14.	VALORES DE S/N	33
CUADRO 1.15.	MATRIZ DE INTERACCION	33
CUADRO 1.16.	CALCULO DE DATOS	34
CUADRO 1.17.	MATRIZ DE INTERACCION	35
CUADRO 1.18.	ARREGLO EXTERNO	36
CUADRO 1.19.	NIVEL 1-2	37
CUADRO 1.20.	CARACTERISTICA DE CALIDAD	40
CUADRO 1.21.	ARREGLO ORTOGONAL CON FACTORES RUIDO	41
CUADRO 1.22.	ARREGLO ORTOGONAL CON RESULTADOS DE MEDIA Y S/N	42
CUADRO 1.23.	DE RESPUESTAS S/N	42
CUADRO 1.24.	MATRIZ DE INTERACCION AXB	44
CUADRO 1.25.	CALCULOS DEL PROMEDIO Y S/N	45
CUADRO 1.26.	DE RESPUESTAS DE MEDIAS	45
CUADRO 1.27.	DE FACTORES	50
CUADRO 1.28.	EL ARREGLO ORTOGONAL L8 Y ALTURAS LIBRES	50
CUADRO 1.29.	RESUMEN DE ESTADISTICOS PARA LOS DATOS DE LA TABLA ANTERIOR	51
CUADRO 1.30.	ANALISIS DE VARIANCIA PARA RESPUESTAS S/N	52
CUADRO 1.31.	ANALISIS DE VARIANCIA PARA RESPUESTAS DE ALTURA LIBRE CUANDO O FACTOR CONTROLABLE	53
CUADRO 1.32.	RESUMEN DE ESTADISTICOS PARA LOS DATOS	55
CUADRO 1.33.	ANALISIS DE VARIANCIA PARA RESPUESTAS DE S/N	55
CUADRO 1.34.	FACTORES Y NIVELES	57
CUADRO 1.35.	ARREGLO ORTOGONAL L16	59
CUADRO 1.36.	AO L16	60
CUADRO 1.37.	RESULTADOS	61
CUADRO 1.38.	ANVA DE LA PRODUCCION	62

PAGINA

CUADRO 1.39. ANVA PARA EL CONTENIDO DE ACEITE 63
CUADRO 1.40. FACTOR/NIVEL 64
CUADRO 1.41. RESPUESTAS 65
CUADRO 1.42. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CONFIRMATORIAS 65
CUADRO 1.43. CALCULOS DE CURVA DE PROBABILIDAD NORMAL 67
CUADRO 1.44. VALORES DE CURVA DE PROBABILIDAD NORMAL 68

CUADRO 2.1. CALCULO DE (J-.5)/N 88
CUADRO 2.2. ANVA DEL EXPERIMENTO 89

CUADRO 3.1. FACTORES CONTROLABLES Y NO CONTROLABLES 94
CUADRO 3.2. GRADOS DE LIBERTAD REQUERIDOS PARA FACTORES 95
CUADRO 3.3. GRADOS DE LIBERTAD REQUERIDOS PARA INTERACCIONES 95
CUADRO 3.4. ARREGLO ORTOGONAL SELECCIONADO 97
CUADRO 3.5. ARREGLO ORTOGONAL CON DATOS A PROBAR EN EL EXPERIMENTO 97
CUADRO 3.6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS 98
CUADRO 3.7. RESULTADOS DE CALCULOS DE Y, s^2 Y S/N 99
CUADRO 3.8. RESULTADOS DE S/N PARA R1 CONSUMO DE VELAS 100
CUADRO 3.9. DATOS DE CURVA DE CONSUMO DE VELAS 101
CUADRO 3.10. DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS SOBRE LAS VELAS 102
CUADRO 3.11. DISEÑO DE PRUBAS DE CONFIRMACION 104
CUADRO 3.12. RESULTADOS DE PRUEBAS DE CONFIRMACION 104
CUADRO 3.13. FACTORES CONTROLABLES Y NO CONTROLABLES PARA LA ELABORACION DE POPCORN 108
CUADRO 3.14. GRADOS DE LIBERTAD REQUERIDOS PARA FACTORES 109
CUADRO 3.15. GRADOS DE LIBERTAD REQUERIDOS PARA INTERACCIONES 109
CUADRO 3.16. ARREGLO ORTOGONAL SELECCIONADO 110
CUADRO 3.17. ARREGLO ORTOGONAL CON DATOS A PROBAR EN EL EXPERIMENTO 111
CUADRO 3.18. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS 112
CUADRO 3.19. RESULTADOS DE PROMEDIO, s^2 Y S/N 113
CUADRO 3.20. RESULTADOS DE S/N PARA R1 EN POPCORN 114
CUADRO 3.21. RESULTADOS DE S/N PARA R2 EN POPCORN 115

PAGINA

CUADRO 3.22. RESULTADOS DE S/N PARA R3 EN POPCORN 116
CUADRO 3.23. RESULTADOS SOBRE FACTOR RUIDO PARA R1,R2 Y R3 117
CUADRO 3.24. DATOS DE CURVA DE POPCORN PARA R1 118
CUADRO 3.25. DATOS DE CURVA DE POPCORN PARA R2 119
CUADRO 3.26. DATOS DE CURVA DE POPCORN PARA R3 120
CUADRO 3.27. ANVA PARA R1 121
CUADRO 3.28. ANVA PARA R2 122
CUADRO 3.29. ANVA PARA R3 123
CUADRO 3.30. S/N DE LOS FACTORES SIGNIFICATIVOS 124
CUADRO 3.31. DISEÑO DE PRUEBAS DE CONFIRMACION 125
CUADRO 3.32. RESULTADOS DE PRUEBAS DE CONFIRMACION 125

LISTA DE FIGURAS

PAGINA

FIGURA 1.1.	FUNCION PERDIDA	5
FIGURA 1.2.	MINIMA PERDIDA PARA LA SOCIEDAD, COSTO DEL PRODUCTOR Y COSTO DEL CLIENTE	6
FIGURA 1.3.	LO MENOR LO MEJOR	7
FIGURA 1.4.	LO MAYOR LO MEJOR	8
FIGURA 1.5.	GRAFICO DE RESPUESTAS DEL RATIO S/N	27
FIGURA 1.6.	ANALISIS DE LA INTERACCION	28
FIGURA 1.7.	GRAFICOS DE RESPUESTAS S/N	32
FIGURA 1.8.	GRAFICO DE INTERACCION	34
FIGURA 1.9.	GARFICO DE INTERACCION	35
FIGURA 1.10.	SOBRE GRAFICOS DE RESPUESTAS S/N	43
FIGURA 1.11.	GRAFICO DE INTERACCION AXB	44
FIGURA 1.12.	GRAFICA DE RESPUESTAS DE MEDIAS	46
FIGURA 1.13.	GRAFICOS LINEALES	50
FIGURA 1.14.	INTERACCION CD	52
FIGURA 1.15.	PLOTEO DEL EFECTO INTERACCION BCO SOBRE S/N	56
FIGURA 1.16.	PLOTEO DEL EFECTO INTERACCION DO SOBRE S/N	56
FIGURA 1.17.	SOBRE INTERACCION ENTRE FACTORES DE 2 Y 4 NIVELES	58
FIGURA 1.18.	SOBRE INTERACCION ENTRE FACTORES DE 2 Y 4 NIVELES	59
FIGURA 1.19.	SOBRE INTERACCION ENTRE FACTORES DE 2 Y 4 NIVELES	60
FIGURA 1.20.	EFECTOS PRINCIPALES E INTERACCIONES	63
FIGURA 1.21.	GRAFICO PROBABILISTICO NORMAL	68
FIGURA 3.1.	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE ELABORACION DE VELAS ARTESANALAES	92
FIGURA 3.2.	DIAGRAMA CAUSA EFECTO	93
FIGURA 3.3.	SOBRE INTERACCIONES DE RESULTADOS PARA R1	100
FIGURA 3.4.	GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL DE LAS VELAS	102
FIGURA 3.5.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE ELABORACION DE POPCORN	106
FIGURA 3.6.	DIAGRAMA CAUSA EFECTO SOBRE POPCORN	107
FIGURA 3.7.	INTERACCIONES PARA R1	114
FIGURA 3.8.	INTERACCIONES PARA R2	115
FIGURA 3.9.	INTERACCIONES PARA R3	116

PAGINA

FIGURA 3.10. GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL DEL POPCORN R1 119
FIGURA 3.11. GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL DEL POPCORN R2 120
FIGURA 3.12. GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL DEL POPCORN R3 121

RESUMEN

La clave del éxito empresarial actual está en el diseño de nuevos productos y en la mejora de los procesos. Desde la década del ochenta, en los países desarrollados, se vienen aplicando de manera creciente los Métodos Taguchi, para dichos efectos. La ventaja que ofrecen los Métodos Taguchi es que permiten obtener conclusiones con menos ensayos, que los que requiere el Diseño de Experimentos. La presente investigación se ocupa de la aplicación de los Métodos Taguchi a las Pequeñas y Microempresas.

Genichi Taguchi, sostiene que la mayoría de problemas con los productos y servicios es su variabilidad; es así que todo el tiempo no son satisfechos los clientes. Para él calidad es la pérdida que un producto causa a la sociedad después de que es despachado. Con base ha dichos conceptos ha desarrollado diseños de experimentos especiales, que son una familia de matrices de Experimentos Fractoriales Fraccionales que puede ser usada en diversas situaciones. Con ellos se puede realizar lo que Taguchi llama experimentos eficientes

Mediante esta investigación se ha desarrollado una Metodología para aplicar los Métodos Taguchi, que contempla los siguientes pasos: 1) Plantear el problema 2) Diseño del experimento 3) Realizar las pruebas 4) Analizar los resultados 5) Confirmación de resultados Cada uno de estos pasos comprende lo siguiente:

1. Plantear el problema, comprende: definir producto o proceso, determinar la característica de calidad y determinar los factores controlables y no controlables.
2. El diseño del experimento, comprende: la selección arreglo ortogonal, la ubicación de factores e interacciones en columnas y la determinación del arreglo interno y externo.
3. El realizar las pruebas, comprende realizar los ensayos de acuerdo a lo establecido en el diseño.
4. Analizar los resultados, comprende:

4.1. Calcular Y promedio, s^2 y S/N para cada fila. Para el cálculo de S/N tiene que tenerse presente que la fórmula varía si se trata de una característica lo mayor lo mejor, lo menor lo mejor ó el valor nominal lo mejor.

4.2. Calcular los efectos de cada factor e interacción y gráficos.

4.3. Elaborar la curva de probabilidad normal de los factores (para determinar factores signficativos).

4.4. Análisis de Variancia ANVA de los factores. Para determinar los efectos significativos, corroborando o no las gráficas de probabilidad normal.

4.5. La definición de efectos significativos, análisis de datos y calculo de ecuación de predicción se puede realizar luego de haber desarrollado 4.1 a 4.4. La ecuación de predicción, se determina sólo con los factores significativos.

5. La confirmación de resultados, comprende la prueba de los valores obtenidos a fin de verificar en la práctica de que lo obtenido permite mejorar lo que antes había.

Luego de determinar la metodología se procedió a aplicarla para dos casos específicos: elaboración de velas artesanales y de pop corn.

En el caso de velas artesanales se llegó a la combinación óptima de los factores: A2 (90% parafina - 10% estearina), B2 (mecha delgada), C1 (molde de latón), D2 (con agitación) y E2 (llama media).

En el caso del Pop Corn se llegó a la combinación óptima de los afctores: A1 (aceite de soya) , B2 (50 cm3 aceite) , C2 (llama alta), D1 (sin precalentamiento) , E2 (con agitación) y F2 (olla oval).

Las principales ventajas de la metodología propuesta son a) Se requieren menos pruebas, b) La elaboración del diseño es más simple, c) Los cálculos son más simples, d) Hay mayor confianza en los resultados, y e) Se confirman los resultados,

Por otra parte, las principales restricciones de la propuesta son que se llega a un 95% de confiabilidad en los resultados, la necesidad de pruebas de confirmación, que un Diseño Factorial Fraccional no puede ofrecer las seguridades que ofrece un Diseño Experimental completo, se requieren numerosos cálculos y gráficos. Asimismo, cuando cada ensayo tiene un costo alto ello puede significar una restricción. Otras restricciones pueden considerarse como la necesidad de conocimiento del proceso o producto que se trate; en algunos casos, obtener las condiciones de los factores no controlables, y que en algunos casos no se puede medir directamente la característica de calidad y por ello se recurre a formas indirectas de medición.

Entre las principales conclusiones y recomendaciones se plantean: 1) Que se ha desarrollado una metodología para la aplicación de los Métodos Taguchi para la pequeña y microempresa, la misma que se ha probado satisfactoriamente, 2) Las ventajas de la metodología desarrollada la hacen recomendable de aplicación para las pequeñas y microempresas e incluso en grandes empresas o en actividades donde se requiera mejorar un proceso, producto o servicio, 3)Se recomienda usar la metodología a los pequeños empresarios y asesores y consultores de pequeñas empresas que quieran mejorar sus procesos y/o sus productos o servicios. 4) En los casos que tengan mayor complejidad se puede aplicar la metodología en etapas sucesivas, obteniendo resultados iniciales que se pueden refinar con análisis posteriores.

Como temas recomendados para futuras investigaciones se plantean: la combinación de Métodos Taguchi y Superficie de Respuesta., la aplicación de Métodos Taguchi a temas relacionados con servicios y temas relacionados con aspectos de gestión empresarial., el desarrollo de Software para Métodos Taguchi según la metodología desarrollada, el desarrollo de diseños de más de tres niveles

y/o más factores, la aplicación sucesiva de los Métodos Taguchi para la mejora de productos y procesos, se recomienda la realización de programas de mejora de procesos y productos para las PYMES, utilizando la metodología desarrollada. Asimismo, se recomienda la enseñanza de la metodología desarrollada y de las técnicas de diseño de experimentos para los profesionales de ingeniería; tanto a nivel pre grado como post grado.

APLICACIÓN DE LOS METODOS TAGUCHI A LA MEJORA DE LA CALIDAD EN LA PEQUEÑA Y MICROEMPRESA

INTRODUCCION

El presente trabajo se ha realizado con el objeto de aportar en la mejora de la calidad de las Micro y Pequeñas Empresas, que en adelante denominaremos PYMES (para el plural, y PYME, para el singular). Para ello se tiene en cuenta que en el mundo actual los aspectos claves del éxito están en el diseño de nuevos productos y en la mejora de los procesos. En las empresas grandes, para dichos temas se ha aplicado tradicionalmente el Diseño de Experimentos, pero desde la década del ochenta, en países como Japón y Estados Unidos de Norteamérica, se vienen aplicando de manera creciente los Métodos Taguchi.

La aplicación del Diseño de Experimentos presenta la limitación que requiere de muchas pruebas para obtener conclusiones, la ventaja que ofrecen los Métodos Taguchi es que permiten obtener conclusiones con menos ensayos.

La difusión del uso de los Métodos Taguchi ha sido restringida en los países en desarrollo, y mucho menos se ha difundido a nivel de las PYMES. Por ello la razón de ser de este trabajo.

En el estudio, se presenta lo fundamental de los Métodos Taguchi, se hace un análisis de los diversos aportes que sobre el tema se han efectuado en los últimos años, y por otra parte se establece una metodología simplificada para su aplicación, en especial en las PYMES y finalmente, se han desarrollado dos casos aplicativos. Luego de ello se describen las ventajas de la metodología y se presentan las restricciones de la metodología y las conclusiones y recomendaciones. Es de destacar que las simplificaciones que se recomiendan también se podrían aplicar en empresas grandes.

Se ha realizado una importante revisión de literatura, pero se presenta sólo lo más sustancial y de manera condensada

El trabajo de investigación que venimos realizando sobre los Métodos Taguchi se remonta desde 1996 y se ha continuado hasta la fecha. Este trabajo es un resumen de lo que hemos avanzado sobre el tema; sin embargo el campo por recorrer es muy grande y se espera que sirva para promover la dedicación al tema de otros profesionales, investigadores y empresarios de pequeñas y grandes empresas. Se espera continuar avanzando sobre el tema, pero se debe considerar también que será de utilidad hacer este alto en el avance para compartir lo avanzado, analizarlo como conjunto y tomar nuevos bríos para avanzar más en el tema del desarrollo de nuevos productos y mejora de procesos.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. CONCEPTOS GENERALES

Los Métodos Taguchi comprenden tres aspectos fundamentales: La Función Pérdida, Los Arreglos Ortogonales y El Diseño de Parámetros; estos temas se tratan en el Marco Conceptual y asimismo se trata sobre aportes que se han efectuado a través de diversos trabajos sobre los Métodos Taguchi. Sin embargo, también, se considera de suma importancia precisar conceptos sobre la definición de PYMES.

SOBRE LAS PYMES

Antes de entrar de lleno al tema de los Métodos Taguchi se considera necesario tratar sobre el concepto de PYMES que se está tomando en cuenta en el estudio. Por una parte está la definición legal. Al respecto tenemos la Ley 27268 Ley General de la Pequeña y Microempresa, del 27-5-2000; que define a las PYMES como "Aquella unidad económica que opera una persona natural o jurídica, bajo cualquier forma de organización o gestión empresarial, que desarrolla actividades de extracción, transformación, producción y comercialización de bienes o prestación de servicios, dentro de los parámetros establecidos en el Reglamento de la Ley, el cual aún no se aprueba. Asimismo, la reciente Ley aprobada, establece las siguientes características:

- El número de trabajadores de la microempresa no excede de 10 (diez) personas y para la pequeña empresa no excede de 40 (cuarenta) personas.
- El Reglamento de la presente Ley define las características de las PYMES, considerando los criterios que para ellas se aplican en los diversos sectores económicos y productos, así como en el Sistema de Estadística Nacional de las PYMES.

Anterior a la presente Ley, regía el Decreto Legislativo 705, del 5-11-91., donde se definía de la siguiente manera:

- Microempresa: Aquella en la cual el propietario labora en la empresa, el número de trabajadores es menor o igual a 10 y el valor total anual de ventas es menor o igual a 12 Unidades Impositivas Tributarias UIT.
- Pequeña Empresa: Aquella en la cual el número de trabajadores es menor o igual a 20 y el valor total anual de las ventas es menor o igual a 25 UIT.

Por otras parte, a pesar de las leyes mencionadas; existen diversas propuestas sobre la definición de micro y pequeña empresa. Es probable, que en la actualidad, en el Perú, lo más aceptado es que los criterios a utilizar para diferenciar entre la pequeña y microempresa son el número de trabajadores, el monto de ventas anuales y el valor del capital fijo. Es así que un estudio realizado por el MITINCI con GTZ, en 1996, establece los criterios de :

Microempresa: hasta 10 trabajadores, ventas anuales hasta 125 000 US $ y activo fijo sin edificaciones de hasta 20 000 US $.

Pequeña Empresa: de 11 a 20 trabajadores, ventas anuales entre 125 000 y 1 500 000 US $ y activo fijo sin edificaciones de 20 001 a 250 000 US $.

En realidad los valores antes dados son relativos y pueden ser variables teniendo en cuenta el sector económico que se trate.

En todo caso para nuestro trabajo son suficientes estas precisiones del estudio del MITINCI con GTZ, que en la práctica pueden significar empresas pequeñas o muy pequeñas con reducido número de personal, de ventas y capital fijo, y que por lo general tienen que buscar ser competitivas de manera permanente, para lo cual un tema importante es la mejora o innovación de sus productos o servicios, temas para los que los Métodos Taguchi son de mucha utilidad.

Por otra parte, los reducidos recursos y la necesidad de optimizarlos lleva a que las pequeñas y microempresas requieran del uso de técnicas de gestión prácticas, que no sean muy costosas y que a la vez sean efectivas.

Precisamente ello se trata de conseguir con el presente estudio. Es decir, simplificar una metodología que se usa en la gran empresa a fin de que se utilice en las PYMES.

No está demás recordar la trascendencia de las PYMES en el Perú, aunque al respecto hay diversas estadísticas y el sector es muy cambiante. Una estadística del MITINCI con GTZ indica:

ESTRATO DE EMPRESAS	NUMERO
PEQUEÑAS	17 496
MICRO	507 335
TOTAL	524 831

Con base al importante número de empresas se puede inferir el significativo número de trabajadores que laboran en las PYMES.

VARIABILIDAD Y CALIDAD

Genichi Taguchi, en la parte inicial de su texto: Introduction to Quality Engineering, 1986, sostiene: La mayoría de problemas con los productos y servicios es su variabilidad: todo el tiempo no son satisfechos los clientes. Así las máquinas se malogran, la energía eléctrica se corta, los trenes llegan tarde, los techos se rajan, etc.

INGENIERIA DE LA CALIDAD: CONTROL DE CALIDAD FUERA DE LA LINEA

Taguchi, G. en su texto "Introduction to Quality Engineering" (1986) sobre este tema plantea:

Los factores que causan variabilidad en las funciones de un producto son llamados factores de error o ruido.

Hay 3 tipos principales de ruido:

1) Ruido Externo: variaciones del ambiente; ejemplo: Temperatura, Humedad Relativa, etc.
2) Ruido de deterioro o ruido interno: cambios de un producto durante su almacenaje o uso.
3) Ruido variacional o ruido de unidad a unidad: diferencia entre productos individuales que son manufacturados con las mismas especificaciones.

Asegurar la calidad significa encontrar medios para reducir el efecto de estos 3 tipos de ruido. El medio más importante es el diseño, el cual es un aspecto de control de calidad fuera de línea.

Las acciones de diseño se pueden tomar en 3 etapas:

1) Diseño del sistema: diseño primario o funcional, centrado en la tecnología pertinente.
2) Diseño de parámetros: diseño secundario, centrado en reducir costos y mejorar calidad; haciendo uso efectivo de métodos de diseño experimental.
3) Diseño de la tolerancia: diseño terciario, medio para controlar las causas que incrementan los costos. Los métodos de diseño experimental pueden ser usados.

DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCION

Los resultados del diseño de sistema, parámetros y tolerancias (por ejemplo por el departamento de diseño) son transmitidos al departamento de producción en la forma de especificaciones. El departamento de producción luego diseña el proceso de manufactura que satisfaga adecuadamente estas especificaciones.

Esta actividad también se realiza en 3 etapas:

1) Diseño del Sistema: en el cual el proceso de manufactura es seleccionado desde el conocimiento de la tecnología pertinente, la cual puede incluir control automático.
2) Diseño de parámetros: en el cual las condiciones de trabajo óptimas para cada uno de los componentes del proceso son decididos , incluyendo, los

materiales y partes óptimos para comprar. El objetivo de este paso es mejorar la capacidad del proceso mediante la reducción de la influencia de factores dañinos.

3) Diseño de tolerancias: en el cual las tolerancias de las condiciones y fuentes de variabilidad del proceso son establecidas. Esto es un medio para suprimir la variación de la calidad por la remoción directa de su causa.

La eficiencia de las etapas 2 y 3 puede, frecuentemente, ser mejorada por el diseño experimental. La etapa 2 es a menudo más importante que la 3.

1.2. LA FUNCION PERDIDA

Ross,P., en su texto "Taguchi Techniques for Quality Engineering", sobre este tema plantea:

La función pérdida es uno de los grandes aportes de Taguchi. Es un concepto que se basa en el criterio crecientemente aceptado que la calidad está íntimamente ligada con la satisfacción de los clientes. Está implícito que debe cumplirse con las especificaciones que satisfagan a los clientes, dentro de las cuales está el desempeño del producto y el menor costo o mínima pérdida para el cliente y para la sociedad.

Para Taguchi calidad es la pérdida que un producto causa a la sociedad después de que es despachado.

El concepto de función pérdida permite determinar que no es suficiente que una característica esté dentro de determinados límites: inferior y superior (tolerancias) sino que cuanto más cerca se esté del valor objetivo será mejor, ya que se estará con la menor pérdida. Ello se puede apreciar en la siguiente figura:

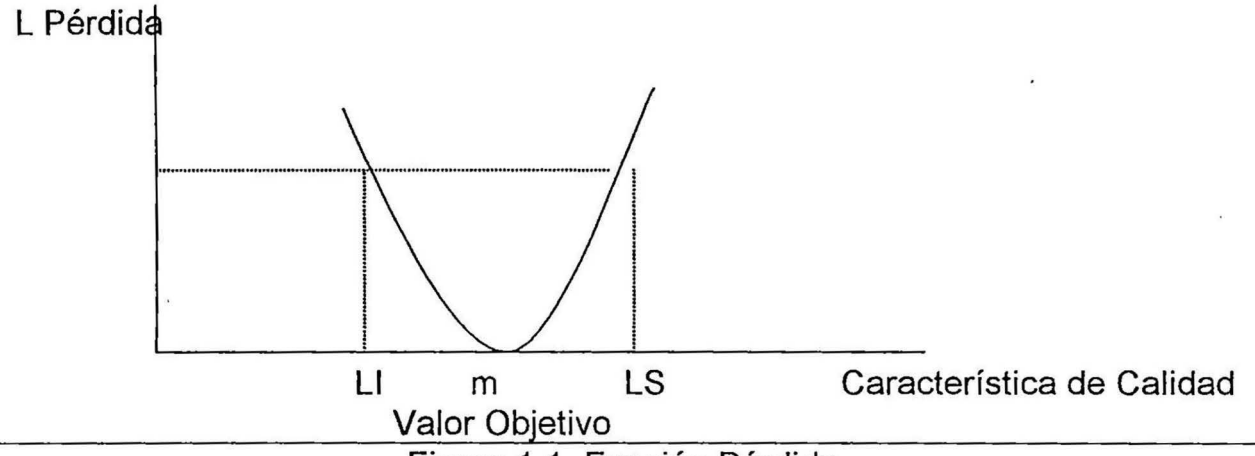


Figura 1.1. Función Pérdida

En la figura se puede ver que si el valor de la característica de calidad es igual al valor objetivo la pérdida es cero, pero si nos alejamos de él: aumenta la pérdida. Hay un momento en que se llega a un valor, alejado del valor objetivo que iguala a la tolerancia y que pasado ello se rechaza el producto, pero que en todo momento se puede determinar la pérdida incluso cuando aún no se llega al valor de la tolerancia.

Este modelo permite cuantificar económicamente las pérdidas debido al empeoramiento de las características de calidad, por muy pequeñas que sea su distancia del valor objetivo o que se sobrepase las tolerancias.

En la siguiente figura se puede apreciar el concepto de mínima pérdida para la sociedad:

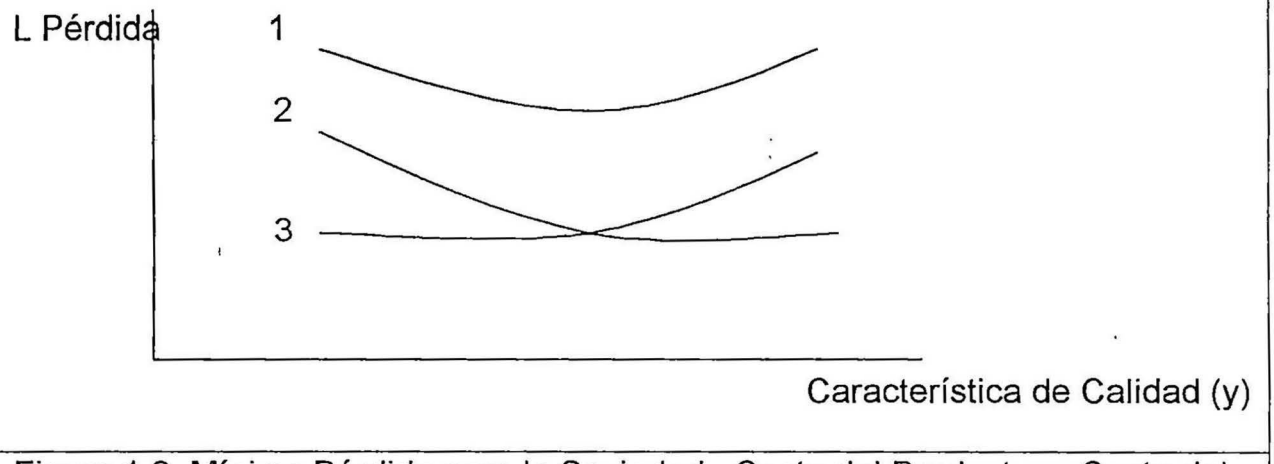


Figura 1.2. Mínima Pérdida para la Sociedad, Costo del Productor y Costo del Cliente

Nota: En la Figura 1.2, la curva 1 es: Pérdida para la Sociedad (costo de hacer y usar el producto); la curva 2 es el Costo del Productor (costo de hacer el producto); y la curva 3 Costo del Cliente (costo de usar el producto).

De la función pérdida se desprende la conveniencia de reducir la variación para disminuir la pérdida, ya que la función cuantifica la variabilidad presente en un proceso. Asimismo, la función pérdida permite apreciar que cuando un productor gana más por alejarse del valor objetivo: la pérdida que sufre el cliente es mayor; y por tanto la sociedad pierde más.

La función pérdida, de acuerdo a las Figuras 1 y 2, se ajusta a la ecuación de la parábola :

$L = k (y-m)^2$ Ecuación 1.1.

Donde:
L = pérdida asociada con un valor particular de y.

m = valor nominal de la especificación
k= constante que depende de la relación entre el costo en los límites de la especificación y la amplitud de la especificación.

LA FUNCION PERDIDA Y LAS ALTERNATIVAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR

Ross, P. en su texto "Taguchi Techniques for Quality Engineering", sobre este tema plantea que se pueden presentar las siguientes alternativas:
CASO LO MENOR LO MEJOR
CASO LO MAYOR LO MEJOR
CASO VALOR NOMINAL LO MEJOR

Veamos cada una de estas alternativas:

CASO LO MENOR LO MEJOR

Ejemplo de lo menor lo mejor es el tiempo de espera en un restaurante de comida rápida. Para este caso la ecuación es: $L = k\ y^2$ (Ecuación 1.2.) ; y su representación gráfica es:

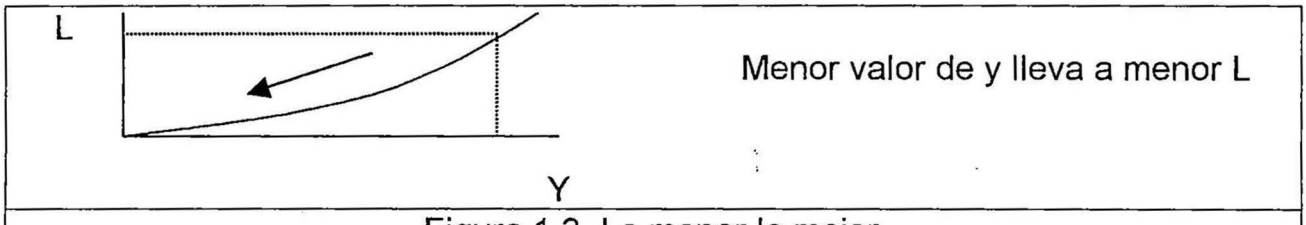


Figura 1.3. Lo menor lo mejor

Nota.- La ecuación de este caso es similar a lo nominal lo mejor, sólo que m = 0, y no hay valores negativos.

El cálculo de la pérdida para un valor de y, en el caso de una distribución, con base a conocer k es:

$$L = k\ [\ S^2 + (\ \bar{y}\ )^2\ ] \qquad \text{Ecuación 1.3.}$$

CASO LO MAYOR LO MEJOR

Ejemplo de lo mayor lo mejor es la cantidad de vitamina C en un jugo de frutas. Para este caso la ecuación es: $L = k\ (1/y^2\ )$ (Ecuación 1.4.). El promedio de pérdida por unidad, en una distribución, puede ser determinado con la siguiente ecuación:

$$L = k\ \left(\frac{1}{\bar{y}^2}\right)\ \left[\ 1 + \left(\frac{3\ S^2}{\bar{y}^2}\right)\ \right] \qquad \text{Ecuación 1.5.}$$

Su representación gráfica de la función pérdida es:

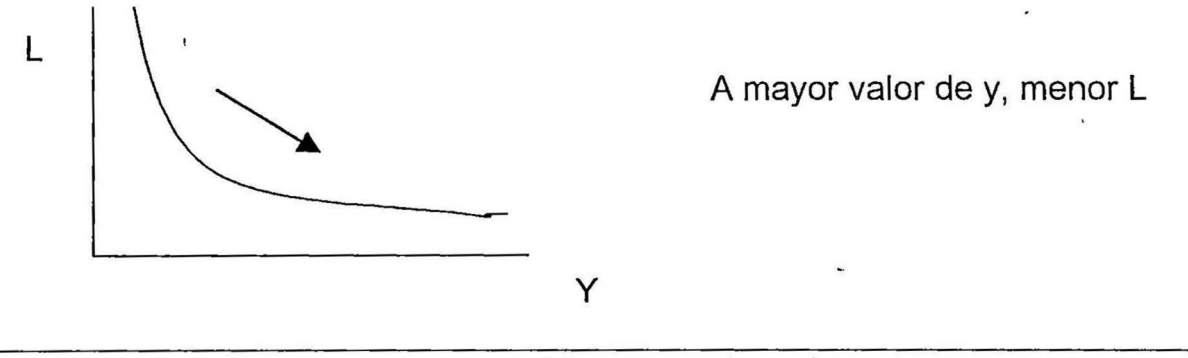


Figura 1.4. Lo mayor lo mejor

CASO VALOR NOMINAL LO MEJOR

Este caso es el que se ha presentado en las primeras páginas del capítulo: $L = k (y - m)^2$. Cuando se analiza la función pérdida general para el caso del valor nominal lo mejor, en una distribución, se tiene:

$$L = k [S^2 + (\bar{y} - m)^2]$$ Ecuación 1.6.

Esta ecuación tiene dos partes: la variancia y el promedio. Para minimizar la pérdida : la característica del producto se debe centrar en el valor nominal (Manufactura: control de calidad en línea) y la variancia debe ser reducida (diseño: control de calidad fuera de la línea).

ANALISIS DE VARIANCIA ANVA

Ross, P. en su texto "Taguchi Techniques for Quality Engineering", sobre este tema plantea:

El objetivo del desarrollo de productos o procesos es mejorar las características de desempeño de productos o procesos relacionados a las necesidades y expectativas de los clientes. El objetivo de la experimentación debe ser reducir y controlar la variación de un producto o proceso; por ello, deben realizarse decisiones sobre parámetros que afectan el desempeño de características del producto o proceso.

La función pérdida cuantifica la magnitud de los factores de diseño que influencian el promedio y variación de una característica de desempeño de un producto o proceso. Mediante un ajuste apropiado del promedio y la reducción de la variación las pérdidas de un producto o proceso son minimizadas.

La variación es una parte importante de la discusión relativa a la calidad, para ello el ANVA es el método estadístico usado para interpretar datos de diseños de experimentos y tomar decisiones. El ANVA sirve para detectar diferencias (variación) en desempeño promedio de grupos de items ensayados.

El tema del análisis de variancia, es fundamental para tratar sobre los Métodos Taguchi, por lo que para mayores detalles se puede revisar información de textos sobre Diseño de Experimentos. Como ejemplo se presenta el cuadro de fórmulas del ANVA con 2 factores controlables.

Datos: $y_1 , y_2 , y_3 , \ldots , y_N$

CUADRO 1.1. ANVA CON 2 FACTORES CONTROLABLES

FUENTE	SS	g.l.	V	F_c
FACTOR (A)	$\left[\sum_{i=1}^{k_A} \frac{A_j^2}{n_{Aj}}\right] - \frac{T^2}{N}$	$K_A - 1$	$SS_A / g.l._A$	V_A / V_e
FACTOR (B)	$\left[\sum_{i=1}^{K_B} \frac{B_j^2}{n_{Bj}}\right] - \frac{T^2}{N}$	$K_B - 1$	$SS_B / g.l._B$	V_B / V_e
FACTOR (A x B)	$\left[\sum_{i=1}^{c} \frac{(AxB)_j^2}{n_{AxBj}}\right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B$	$gl_A \times gl_B$	SS_{AxB} / gl_{AxB}	V_{AxB} / V_e
ERROR (e)	$SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$	$gl_T - gl_A - gl_B - gl_{AxB}$	$SS_e / g.l._e$	
TOTAL (T)	$\left[\sum_{i=1}^{N} y_i^2\right] - \frac{T^2}{N}$	$N - 1$		

Donde:
SS = Suma de cuadrados
g.l. = grados de libertad
V = Variancia ó Cuadrado medio

$$T = \sum_{i=1}^{N} y_i$$

$$\bar{T} = \frac{\Sigma T}{N} = \bar{y}$$

A_i = Suma de observaciones bajo nivel i de A

$\bar{A}_i$ = Promedio de observaciones bajo nivel i de $A = A_i / n_{Ai}$

SS = Suma de cuadrados; $SS_T = SS_m + SS_A + SS_e$
n_{Ai} = número de observaciones bajo nivel i de A
N = número total de observaciones
K_A = número de niveles del factor A
F_c VS F tabla (α = riesgo; $g.l._A$; $g.l._e$)

Si Fc > F tabla implica que hay diferencia significativa
Si Fc < F tabla implica que hay diferencia significativa

F tabla A (α = riesgo; $g.l._{numerador}$; $g.l._{denominador}$)

F tabla B (α = riesgo; $g.l._{numerador}$; $g.l._{denominador}$)

F tabla AB (α = riesgo; $g.l._{numerador}$; $g.l._{denominador}$)

1.3. LOS ARREGLOS ORTOGONALES

Ross, P. , en su texto "Taguchi Techniques for Quality Engineering" sobre este tema plantea:
El diseño y uso de los arreglos ortogonales es un aporte importante de Taguchi.

Como Introducción, al respecto Ross sostiene:

- Se puede mejorar todo producto o proceso.
- Es importante encontrar un parámetro que mejorará alguna característica de un valor aceptable en óptimo.
- También, se busca una alternativa de menor costo.
- Hay diversas estrategias a seguir para intentar mejorar.
- Para mejorar un producto se requiere evaluar el efecto de un parámetro (factor) a diferentes niveles. Lo más simple es un parámetro a dos niveles. Pero cuando tengo varios parámetros y cada uno tiene varios niveles, se tiene una gran cantidad de combinaciones.

- Dada una gran cantidad de combinaciones, se puede reducir el número de pruebas necesarias, con base al concepto de ortogonalidad.
- La ortogonalidad permite que los factores puedan ser evaluados independientemente unos de otros.
- Asimismo, permite que el efecto de un factor no represente también la estimación del efecto de otro factor.
- La ortogonalidad permite que un experimento sea balanceado: que se logre tener un número igual de pruebas bajo las diversas condiciones de tratamiento. (Cada columna es balanceada).

Sobre las Mejores Estrategias, Ross sostiene:

- El experimento factorial es la alternativa, ejemplo de ello se presenta en el Cuadro 1.2 a continuación:

CUADRO 1.2. ARREGLO ORTOGONAL

Factor / Prueba Nº	A	B	DATO Y	
1	1	1	Y_{11}	Y_{12}
2	1	2	Y_{21}	Y_{22}
3	2	1	Y_{31}	Y_{32}
4	2	2	Y_{41}	Y_{42}

- El experimento factorial que se ha presentado en la tabla anterior es ortogonal: " Hay un igual número de pruebas de datos bajo cada nivel de cada factor" (2 A1 y 2 A2 bajo A; y 2 B1 y 2 B2 bajo B).
- Además se nota que A1 se relaciona con 2 niveles de B; A2 con dos niveles de B. De igual forma ocurre con B1 que se relaciona con 2 niveles de A y B2 que se relaciona con 2 niveles de A. Es decir, el arreglo es balanceado, y por tanto el factor A no influye en la estimación de B y viceversa.
- En la matriz se pueden ver todas las posibles combinaciones de los 2 factores y los 2 niveles; luego se pueden estimar los efectos de los factores y de las interacciones. Ello se conoce como un experimento factorial total. El experimento factorial total podría ser aceptable para pocos factores; pero si son muchos no.
- El total de combinaciones de un experimento factorial total, con 2 niveles y f factores, es 2^f. Por lo general en una investigación se involucran 5 ó más factores. Por ejemplo, si se tienen 7 factores y 2 niveles : $2^7 = 128$ es el total de pruebas del experimento factorial total. Es de notar que el arreglo es ortogonal, pero muy caro.
- ¿Qué se puede hacer cuándo se tienen demasiados ensayos? Se debe realizar una prueba más eficiente: LOS EXPERIMENTOS FACTORIALES FRACCIONALES EFF. Estos experimentos usan sólo una parte del total de combinaciones posibles para estimar los efectos de los principales factores y

algunas de las interacciones. Ejemplo:½,¼, $\frac{1}{8}$ y ciertas condiciones son escogidas para mantener la ortogonalidad

- Taguchi ha desarrollado una familia de matrices de EFF que puede ser usada en diversas situaciones: son los arreglos ortogonales AO. Ejemplo. L8; es 1/16 EFF (requiere de sólo 8 de 128 posibles combinaciones). Es similar al arreglo de varios factores, uno a la vez. (Aunque sin muchas de las limitaciones de estos últimos). Nota.- El arreglo de varios factores variando uno a la vez, tiene un factor por columna y todos los experimentos son iguales al patrón pero con uno que varía cada vez. Ello se compara y se sacan conclusiones.
- Los AO de Taguchi, para el caso del AO L8, ver Cuadro 1.3, tienen un factor asignado a cada columna, cada columna tiene un grado de libertad gl. (2 niveles – 1 = 1 gl), los gl del error son trasladados a los gl de los factores y todas las columnas tienen 4 pruebas bajo el Nivel 1 y 4 pruebas bajo el nivel 2. Una de las ventajas del AO es evaluar varios factores con un mínimo de pruebas: EXPERIMENTO EFICIENTE.

CUADRO 1.3. ARREGLO ORTOGONAL L8

ENSAYO Nº	COLUMNA Nº						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

SOBRE LOS PASOS A SEGUIR PARA UN EXPERIMENTO USANDO LOS METODOS TAGUCHI

- Los pasos que se propone para diseñar, conducir y analizar un experimento son:

1º Selección de factores y/o interacciones para ser evaluadas.
2º Selección del número de niveles para los factores.
3º Selección del AO apropiado.
4º Asignación de factores /o interacciones para columnas.
5º Conducción de las pruebas.
6º Análisis de los resultados.
7º Confirmación de los experimentos.

- Asimismo, con respecto a la selección del producto a experimentar se sugiere el uso de técnicas como: Tormenta de ideas, Diagrama de Pareto, Diagrama

de Flujo y Diagramas Causa- Efecto. Estas técnicas también se pueden usar para ordenar y determinar factores.
- Con relación al número de niveles lo más práctico es usar 2 niveles. Si se tienen valores continuos se puede interpolar. Si se tienen valores discretos se requiere considerar las posibilidades que se pueden presentar.

SOBRE LA SELECCIÓN DE UN ARREGLO ORTOGONAL

- La selección del AO depende del número de factores y del número de niveles de interés; con ambos números se determina los gl requeridos para el experimento.
- Los grados de libertad requeridos para el experimento están dados por la suma de:
  a) gl para cada factor = Nº de niveles menos 1
  b) gl para una interacción son el producto de los gl de los factores interactuando

- Los g.l. mínimos requeridos en la experimentación son la suma de todos los gl de los factores e interacciones.
- Los AO más frecuentes de 2 niveles son los AO: L4, L8, L12, L16 y L32. Donde los números son el número de pruebas requeridas (Se presentan en el Anexo 1).
- Los AO más frecuentes de 3 niveles son los AO: L9, L18, L27. Donde los números son el número de pruebas requeridas (Se presentan en el Anexo 1).
- El total de gl disponible de un AO es igual al número de pruebas menos 1.
- La regla a seguir es: LOS GL DE UN AO DEBEN SER MAYORES O IGUALES QUE LOS GL DE LA SUMATORIA DE LOS FACTORES E INTERACCIONES
- Si el número de los gl requeridos cae entre los gl de 2 AO: se escoge el más grande.

SOBRE LOS CALCULOS.-

- Los cálculos del Análisis de Variancia ANVA para los AO son similares a lo tradicional del Diseño de Experimentos Factoriales. Es así que para un AO L4 con 2 factores y 2 niveles se pueden calcular: Suma de Cuadrados Total SS_T , SS_a , SS_b , SS_{axb} , SS_e , etc.

SOBRE LA UBICACIÓN DE LOS FACTORES E INTERACCIONES EN LAS COLUMNAS

- Para ello se utilizan los Gráficos Lineales y Tablas Triangulares. En el Anexo 1 se presentan los Gráficos Lineales y Tablas Triangulares más utilizados.
- Cada AO tiene un conjunto de gráficos lineales y una tabla triangular asociados. Por ejemplo el AO L4: de acuerdo a su gráfico lineal se tiene que

en la col. 1 se coloca el factor A, en la col. 2 el factor B y en la col. 3 el factor interacción. Ello debido a que los GRAFICOS LINEALES indican las columnas para las cuales los factores pueden ser asignados y las columnas para las cuales se asignan las interacciones.

- En los gráficos los círculos representan 1 columna disponible para un factor (ejemplo: 1 factor de 2 niveles, con 1 gl); la línea representa una columna que evaluará la interacción de 2 factores asignados a los extremos (ejemplo:1 interacción de 2 factores con 1 gl)
- LAS TABLAS TRIANGULARES listan todas las posibles relaciones de columnas de interacción que existen para un AO; en los costados están los factores y en el centro las interacciones. Nota.- Cuando son 2 niveles, la interacción se presenta en 1 columna; pero cuando se trata de 3 niveles, la interacción se presenta en 2 columnas.
- Los AO de Plackett y Burman asignan factores a todas las columnas. En estos casos muchas interacciones están confundidas con los efectos principales.
- Los EFF reducen el número de pruebas, pero alguna información es subutilizada.
- Cuando todos los efectos principales y todas las interacciones tienen su columna; es decir, pueden ser estimadas: se tiene un experimento de ALTA RESOLUCION. El PODER DE RESOLUCION indica la claridad por la cual los factores individuales e interacciones pueden ser evaluados en un experimento. Ejemplo: Resolución 4 es mejor que Resolución 3. La Resolución 4 es típica de un experimento factorial total.
- Si todos los efectos principales y todas las interacciones tienen columnas asignadas y se adiciona un efecto principal; luego se confunden automáticamente dicho efecto principal con la interacción que estaba en la columna que se le ha asignado; y cosa parecida ocurrirá con otras columnas e interacciones. Es preferible usar una columna con interacciones que involucren más factores (ejemplo: 3 mejor que 2) ya que es de menor ocurrencia; y si ocurre tendrá una magnitud más pequeña.
- Si hay más confusiones, habrá menor Resolución.
- Se puede presentar que 2 interacciones estén en una col. y no se puedan separar sus efectos.
- Si en un AO (como el antes mencionado: Cuando todos los efectos principales y todas las interacciones tienen su columna) se adiciona otro factor entonces dicho factor ocupa una col de interacción y su poder de resolución cae. Por ejemplo de 2 a 1. Es 1 porque 1 factor está confundido con 1 interacción de 2 factores. (esto es convencional y propio de cada autor. En este caso se trata de lo propuesto por P. Ross en "Taguchi Techniques for Quality Engineering").
- Para casos como el anterior hay una Tabla (D.2) que se presenta en el Anexo 2, que lista las Col asignadas que deben ser usadas para lograr por lo menos una resolución 2 para factores de 2 niveles (una mejor resolución). Nota.- Siempre se debe agregar el nuevo factor a la Columna del AO que tenga la interacción de mayor número de factores considerando, para la comparación,

en cada columna la interacción de menor número de factores. Ejemplo: la columna de interacción de 3 factores es mejor reemplazar que la de 2 factores; así se protege el poder de resolución del experimento.

- La visión de Taguchi sobre las interacciones se fundamenta en que para controlar el efecto interactivo el experimentador debe controlar los efectos principales. Ello teniendo en cuenta que 1 o más efectos principales pueden ser controlados. Por tanto la interacción no causa adicionales complicaciones. Los efectos principales indicarán la combinación adecuada de niveles porque los efectos de interacción son menores que los efectos principales. Por tanto, conocer la interacción puede ser irrelevante. Se necesita conocer la interacción sólo para ser capaz de obtener la respuesta promedio deseada.
- En la práctica todos los factores de un experimento no son igualmente influyentes. Pocos factores son significativos.

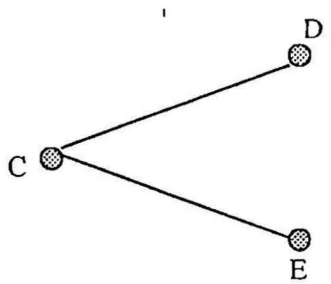
Con los pocos factores significativos se hace el experimento como si fuera un factorial total. El experimento comienza con lo que parece un experimento de baja resolución pero cuando las pruebas son completadas el resultado práctico será un experimento de alta resolución.

MODIFICACION DE GRAFICOS LINEALES.

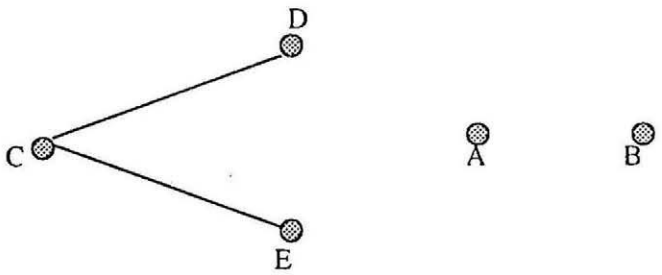
Los gráficos lineales son una gran ayuda en la asignación rápida de columnas para factores e interacciones.

Los gráficos lineales pueden ser modificados. Ejemplo. Si la lista de los factores e interacciones es: A, B, C, D, E, CxD y CxE. Para la asignación de columnas se modifican los gráficos.

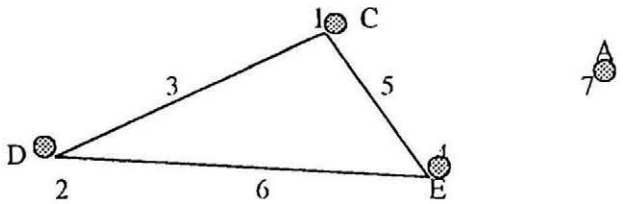
El Primer Paso: es el esquema de gráfico lineal requerido para iniciar el experimento con los factores que tienen interacciones:



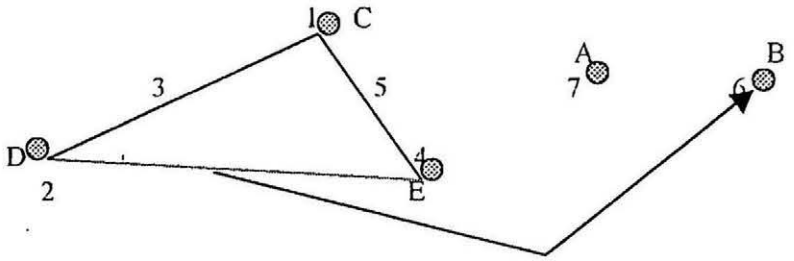
Luego se agregan los factores que no tienen interacciones, en las ubicaciones de columnas adicionales separadas. Por tanto se tiene:



En este gráfico dos factores tienen la posibilidad de una interacción con un tercer factor. Otros 2 factores no tienen interacción de interés. Si los factores son todos de 2 niveles, luego hay 7 gl. Por tanto el AO L8 puede ser utilizado. Por ejemplo, con el gráfico lineal L8 (a) (que se presenta en el Anexo) se tiene:



El gráfico se modifica para adecuarse y así se tiene:



El gl (de la columna 6) puede ser prestado desde una posición del gráfico lineal para crear un nodo extra para un factor sin interacción. Cualquiera de las columnas de interacción puede ser usada. El experimentador debe saber que la columna 6 todavía contiene la interacción DxE, la cual es confundida con el factor B.

Nota.- Los gráficos lineales pueden ser modificados desmantelando ciertas partes y reconstruyendo otras partes, pero obedeciendo las interacciones válidas listadas en las tablas triangulares, que se muestran en el Anexo.

Nota.- El único procedimiento que no debe ser violado es la reconstrucción de acuerdo a la tabla triangular para el AO. Las tablas triangulares listan todas las columnas de relaciones matemáticamente posibles, las cuales existen y no pueden ser cambiadas.

SOBRE LA CONDUCCION DEL EXPERIMENTO.-

- Los factores son asignados a columnas pero las condiciones de las pruebas son establecidas por las filas.
- Las condiciones de interacción no pueden ser controladas ya que son dependientes de los niveles de los factores principales.
- La aleatorización de las pruebas protege de cualquier factor desconocido o no controlado.
- La aleatorización puede ser: a)completa b)repetición simple c)completa por bloques.

ANALISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.

En los AO la variación total puede ser calculada sumando la variación de todas las columnas.

Ejemplo: Un AO L8 que tenga A en la columna 1; B en la columna 2 y AxB en la columna 3.

$$SS_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} \; ; \; A_1 \sum_{j=1}^{N/2} A_{1j} \; ; A_2 \sum_{j=1}^{N/2} A_{2j} \qquad \text{Ecuación 1.7.}$$

$$SS_B = \frac{(B_1 - B_2)^2}{N} \; ; \; B_1 = \sum_{j=1}^{N/2} B_{1j} \; ; B_2 = \sum_{j=1}^{N/2} B_{2j} \qquad \text{Ecuación 1.8.}$$

$$SS_{AxB} = \frac{(3_1 - 3_2)^2}{N} \; ; \; 3_1 = \sum_{j=1}^{N/2} 3_{1j} \; , A_2 = \sum_{j=1}^{N/2} 3_{2j} \qquad \text{Ecuación 1.9.}$$

$$SS_4 + SS_5 + SS_6 + SS_7 = SS_e \qquad \text{Ecuación 1.10}$$

- El total de la suma de cuadrados de las columnas no asignadas es igual a la suma de cuadrados del error.
- El total de todas las sumas de las SS de las columnas es igual al SS_T

$$SS_T = \Sigma \, SS_{col} \qquad \text{Ecuación 1.11}$$

ESTIMADOS DE LA COLUMNA DE LA VARIANCIA DEL ERROR.-

- Cuando hay columnas no asignadas a factores, ellas pueden ser asignadas al error.
- Cuando hay factores asignados a todas las columnas, la variancia del error puede todavía ser estimada. Algunos factores asignados para un experimento no son significativos del todo, aún habiéndolo pensado que fueran antes del

experimento. Esta columna tendrá una pequeña SS porque realmente será una estimación de la variancia del error en lugar de un verdadero efecto.

- Cuando los efectos de columna son pequeños en un AO hay varias posibilidades:

1) Factores o interacciones no asignados; estimado del error verdadero.
2) Efecto de factores y/o interacciones no significativos.
3) Efecto de factores y/o interacciones muy pequeños.
4) Efecto de factores y/o interacciones cancelatorias (no hay)

Estimadores "pooling" de la variancia del error.-

"Pooling" es la combinación de los efectos de columna para estimar mejor la variancia del error. Hay 2 metodologías : "Pooling up" propuesta por Taguchi; y "Pooling down" propuesta por Box - Hunter.

Pooling up.- Se basa en la prueba de F del efecto columna más pequeño contra la siguiente más grande para ver si existe significancia. Si no existe significancia en el ratio F, entonces estos 2 efectos son pooled (juntados) para examinar el efecto de la siguiente columna más grande hasta que exista algún ratio de F significativo.

Pooling down.- Adecua todo en el pooling (excepto el efecto de columna más grande) y compara el efecto de la columna más importante con todo el pool junto. Si el efecto de esa columna es significativo entonces el más grande del pool es removido del pool y entonces los efectos de las 2 columnas son comparados con la prueba F contra todos los otros del pool; así sucesivamente hasta que algún ratio de F no significativo es obtenido.

La estrategia del pooling up tiende a maximizar que el número de columnas juzgadas sean significativas.

La estrategia del pooling down tiende a minimizar que el número de columnas juzgadas sean significativas.

EXPERIMENTO DE CONFIRMACION.-

Luego de la ronda de experimentos y selección de factores significativos se realiza el experimento de confirmación. Para ello las condiciones óptimas son agrupadas en los niveles y factores significativos ensayados. El promedio de los resultados del experimento de confirmación es comparado al promedio anterior.

El requerimiento del cliente es el resultado que se busca con los experimentos. Ello puede ser una sola característica o varias; puede ser cuantitativa o por atributos (cualitativa).

En el caso que se deban considerar otros factores, se debe tener presente que los factores se determinan con base al diagrama de flujo, diagrama causa efecto u otra técnica.

Asimismo, la asignación de factores a columnas se hace tomando en cuenta los gl y las tablas triangulares del Anexo. Con base a ello se selecciona, previamente, un Arreglo ortogonal y se asignan factores a las columnas.

1.4. DISEñO DE PARAMETROS

ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE PARAMETRO

Lo más importante del trabajo de diseño es el establecimiento de los niveles de los parámetros (valores medios y especificaciones) después que el sistema ha sido decidido. Aunque las tolerancias pueden mejorar la función y la calidad, ellas agregan costo. Las tolerancias son un mal necesario que debe ser evitado tanto como se posible técnicamente.

Lo que se presenta a continuación se refiere al diseño de productos, que también puede aplicarse a diseño del proceso producción.

El diseño se realiza en 3 etapas:
1) Diseño del sistema 2) Diseño de parámetros 3) Diseño de tolerancias.

Uno de los aspectos más importantes del diseño de parámetros es que busca los niveles de parámetros en los que las características y se mantienen estables a pesar del uso de componentes y materiales no costosos. Empezar con componentes no costosos y reducir la variabilidad sobre la característica media objetivo y sin aumentar el costo es una técnica de diseño avanzada.

Esta técnica elimina los factores del error que afectan sin cambiar la característica resultante, o permiten que varíe más que antes, pero todavía mantiene estable la característica resultante.

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CARACTERISTICA LO MAS PEQUEÑO MEJOR

LA CARACTERISTICA LO MAS PEQUEÑO MEJOR Y LA FUNCION PERDIDA

En este caso el valor objetivo es cero. La función pérdida L de una característica lo más pequeño mejor es:

$$L = \frac{A_o}{\Delta_o^2}\sigma^2$$ Ecuación 1.12.

donde:

A_o = pérdida para la sociedad cuando se excede el límite de tolerancia superior
σ^2 = error cuadrado medio (variancia)
Δ_o = límite de tolerancia superior del consumidor

En lugar de A_o y Δ_o, en lo sucesivo para los cálculos se usará A y Δ para :

A = especificaciones de despacho
Δ = pérdida en la planta cuando las especificaciones de despacho no son satisfechas.

Como Δ está dado por:

$$\Delta = \sqrt{\frac{A}{A_o}} \times \Delta_o \qquad \text{Ecuación 1.13.}$$

Luego tenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{A}{\Delta^2} = \frac{A_o}{\Delta_o^2} \qquad \text{Ecuación 1.14.}$$

Objetivo: Realizar experimentos para mejorar la característica lo más pequeño mejor y comparar datos.

CALCULO DEL RATIO S/N DE LA CARACTERISTICA LO MAS PEQUEÑO MEJOR

PROBLEMA.-
Los datos de la siguiente tabla muestran las mediciones de desgaste sobre la plancha guía del flujo del aire en una bomba de aire después de un ensayo de durabilidad. Ocho planchas guías fueron construidas bajo cada una de las 2 condiciones de acabado de la superficie:

A1 : papel tiza
A2 : papel lija
Las mediciones son en mm. El desgaste de más de 0.2 mm origina problemas en el uso de la bomba y causa una pérdida de S/.600

CUADRO 1.4. DATOS DE DESGASTE									
									TOTAL
A1	0.09	0.13	0.05	0.04	0.08	0.08	0.07	0.05	0.59
A2	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.01	0.04	0.28

Para una característica lo más pequeño mejor, si los datos de y_1 hasta y_n, la variancia σ^2 puede ser encontrada como sigue:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}(y_1^2 + y_2^2 + \ldots + y_n^2) \qquad \text{Ecuación 1.15.}$$

Mediante la sustitución de los valores de arriba en la ecuación de abajo podemos comparar la calidad obtenida de A1 y A2:

$$L = \frac{A_o}{\Delta_o^2}\sigma^2 \qquad \text{Ecuación 1.16.}$$

Para A1, la pérdida es calculada como:

$$\sigma^2 = \frac{1}{8}(0.09^2 + 0.13^2 + \ldots + 0.05^2) = 0.00616 \text{ mm}^2 \qquad \text{Ecuación 1.17.}$$

$$L = \frac{600}{0.2^2} \times 0.00616 = S/.92.4 \qquad \text{Ecuación 1.18.}$$

Para A2 se obtiene $\sigma^2 = 0.00140 \text{ mm}^2$ y L = S/.21.0

Como se ve A2 es superior en calidad a A1 en :
92.4 - 21.0 = 71.4 (la pérdida con A2 es 21 y con A1 de 92.4)

Si el costo de A1 y A2 es diferente, la diferencia de costo puede ser restada de la diferencia de calidad antes de hacer la comparación. El consumidor usual realiza el siguiente tipo de ANVA sobre los datos de desgaste para A1 y A2:

$$SS_m = \frac{0.87^2}{16} = 0.0473 \quad (gl=1) \qquad \text{Ecuación 1.19.}$$

$$SS_A = \frac{(0.59 - 0.28)^2}{16} = 0.0060 \quad (gl=1) \qquad \text{Ecuación 1.20.}$$

$SS_T = 0.09^2 + 0.13^2 + ... + 0.04^2 = 0.0605$ (gl=16) Ecuación 1.21.

$SS_e = SS_T - SS_A - SS_m = 0.0605 - 0.0473 - 0.0060 = 0.0072$ (gl=14) Ecuación 1.22

Esto da el ANVA que se presenta en el siguiente cuadro:

CUADRO 1.5. ANVA					
FUENTE	gl	SS	V	E(V)	ρ(%)
Media	1	0.0473	0.0473	$\sigma^2 + 16\ m^2$	77.3
A	1	0.0060	0.0060	$\sigma^2 + 8\ \sigma^2_A$	9.1
Error	14	0.0072	0.00051	σ^2	13.6
Total	16	0.0605			100.0

Considerando que el ANVA de la tabla indica los factores significativos, podemos calcular el promedio de desgaste para A1 y A2 como sigue:

$$\bar{A}_2 = \frac{\Sigma A2}{n} \pm \sqrt{\frac{F \times Ve}{n}} = 0.035 \pm 0.017$$ Ecuación 1.23.

Para $\bar{A}_1$ se obtiene 0.074 ± 0.017

El promedio de desgaste para A2 es por lo tanto 0.039 mm menor que para A1 :

0.074 - 0.035 = 0.039 mm.

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CARACTERISTICAS LO MAS GRANDE MEJOR

Se refiere a características que no toman valores negativos y que lo más deseable es el valor infinito. Ejemplo: resistencia, capacidad, eficiencia, etc.

LA FUNCION PERDIDA DE UNA CARACTERISTICA LO MAS GRANDE MEJOR

Si la característica es y con una función pérdida L(y), donde $0 \leq y \leq \infty$. En las cercanías de $y = \infty$; calculando L(y), tomando en cuenta la expresión de Laurent y las simplificaciones respectivas:

$$L = k \times \frac{1}{y^2}$$ Ecuación 1.24.

Si L(yo) para y = yo, entonces el coeficiente k puede calcularse (se supone yo = Δo, además que la pérdida en yo = Ao):

$$K = yo^2 \times L(yo) = \Delta o^2 \times Ao \qquad \text{Ecuación 1.25.}$$

Si hay un nivel más alto de la característica con una especificación límite de no menos que Δo , y la pérdida cuando esta especificación no es satisfecha es Ao, entonces el coeficiente en la función pérdida para esa característica puede ser encontrada con la fórmula:

$$K = \Delta o^2 \, Ao / b^2 \qquad \text{Ecuación 1.26.}$$

Donde b es el coeficiente del efecto sobre el nivel más alto de la característica de cambio e una unidad en el nivel más bajo de la característica.

Luego la función pérdida es:

$$L = \frac{\Delta o^2 \, Ao}{y^2} \quad \text{ó} \quad \frac{\Delta o^2 \, Ao}{y^2} \times \frac{1}{b^2} \qquad \text{Ecuación 1.27.}$$

De esto, las especificaciones de despacho están dadas por las siguientes fórmulas:

$$\Delta = \sqrt{\frac{Ao}{A}} \, \Delta o \quad \text{ó más} \qquad \text{Ecuación 1.28.}$$

ó

$$\Delta = \sqrt{\frac{Ao}{A}} \, \Delta o \times \frac{\Delta o}{b^2} \quad \text{ó más} \qquad \text{Ecuación 1.29.}$$

Ejemplo de Cálculo:

Problema.- Para determinar la especificación de manufactura (la especificación de los dibujos de diseño) para la fuerza de unión de una tubería. Si la fuerza de unión es menos de 12 kg, la tubería fallará durante el uso, y el valor promedio de la pérdida Ao es de cerca de $200 000. La pérdida en planta A cuando la especificación límite no es satisfecha es $ 3000. Encontrar la especificación de manufactura.

Solución:

En este problema el límite de la tolerancia de este caso es: Δo = 12 kg, y la pérdida por la falla es Ao = $ 200 000.- Como la pérdida en planta causada por la no satisfacción de la especificación límite es A = $3000--, la función pérdida

$$L = \Delta o^2 \, Ao \, \frac{1}{y^2} = 12^2 \times 200\,000 \times \frac{1}{y^2} = \frac{28800000}{y^2} \qquad \text{Ecuación 1.30.}$$

La pérdida en planta A cuando la especificación no es satisfecha puede ser sustituida en el lado izquierdo para calcular y:

$$3000 = \frac{28800000}{y^2} \qquad \text{Ecuación 1.31.}$$

De acuerdo a lo planteado, la especificación de diseño Δ para y debe ser:

$$\Delta = \sqrt{\frac{28800000}{3000}} = 98 \qquad \text{Ecuación 1.32.}$$

La fuerza debe ser de por lo menos 98 kg. Subrayando esta solución, por supuesto, es asumir que una tubería con una fuerza de 98 kg puede ser manufacturada. La tarea del diseño es producir un diseño que pueda ser manufacturado al costo A. Diferentes materiales pueden ser usados, y la forma y espesor pueden ser cambiados.

1.5. APORTES DE OTROS AUTORES

En los últimos años, diversos autores han escrito sobre los Métodos Taguchi. Por lo general tratan de presentar estos métodos de manera más didáctica, con ejemplos más simples; y últimamente hay autores que han hecho algunas modificaciones con el objeto de perfeccionar su uso. A continuación se presentan algunos de los principales autores:

1.5.1. Glen S. Peace, en su texto "Taguchi Methods" realiza una presentación bastante detallada y extensa de los métodos, con un conjunto de ejemplos y comentarios que ayudan a comprender mejor los procedimientos a seguir para aplicar los Métodos Taguchi de manera práctica.

Los temas tratados por Peace son:

1. Determinación de la característica de calidad a Optimizar.
2. Selección de variables – Factores Independientes.
3. Arreglos Externos.
4. Análisis sobre nivel promedio.
5. Análisis de Atributos.
6. Análisis: lo más pequeño mejor.
7. Análisis: lo más grande mejor.
8. Análisis: lo nominal mejor.

Dada su aplicación con el presente estudio se tratarán los temas 6, 7 y 8; para mayor información se puede recurrir al texto de Peace.

6. ANALISIS: LO MAS PEQUEÑO LO MEJOR

En este caso se introducen los factores de ruido. El análisis es similar al análisis sobre nivel promedio, aunque se pueden presentar repeticiones y en ese caso se trabaja con los promedios de cada fila. Además, al introducirse el análisis del ratio señal de ruido (s/n) los cálculos tienen en cuenta la media y la variación de un resultado al siguiente. Es así que podemos considerar que en el caso de S/N con 2 dimensiones. Ver cuadro 1.6:

CUADRO 1.6. FORMATO DE COMPARACION DE PROMEDIOS Y RATIO DE SEÑAL DE RUIDO

ANALISIS DE PROMEDIOS									ANALISIS CON RATIO S/N	
EXP Nº	A	B	A x B	DATOS				$\bar{Y}$	SE AGREGA LA COLUMNA	S/N
1	1	1	1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_1		S/N_1
2	1	2	2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_2		S/N_2
3	2	1	2	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_3		S/N_3
4	2	2	1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}	Y_4		S/N_4

1) RATIO SEÑAL SOBRE RUIDO S/N (ó η)

S/N es una forma de medir la robustes.
Los ruidos pueden ser : Externos, internos ó de variación entre unidades.

S/N : S: indica la capacidad del proceso para construir un buen producto o de producto para desempeñarse bien.

N: Introduce el impacto de los factores de ruido sobre proceso o producto.

Luego S/N es un indicador de la capacidad del sistema (proceso ó producto) para desempeñarse bien con relación con el efecto de ruido.
La aplicación de S/N al experimento permite determinar los niveles de los factores controlables que pueden producir la mejor performance (mayor señal) en un proceso o producto mientras se minimiza el efecto de los factores no controlables (ruido) .
La ecuación para calcular S/N para la característica de calidad lo más pequeño lo mejor es una función logarítmica basada en la desviación cuadrática media. (DCM)

El ratio S/N puede escribirse así :

$$S/N = -10 \log. DCM \qquad \text{Ecuación 1.33}$$

La DCM para una característica lo más pequeño lo mejor es :

$$DCM = \frac{Y^2_1 + Y^2_2 + ...+ Y^2_n}{n} \qquad \text{Ecuación 1.34}$$

Por tanto para S/N tendremos :

$$S/N = -10 \log. \frac{Y^2_1 + Y^2_2 + ... Y^2_n}{n} \qquad \text{Ecuación 1.35.}$$

Lo que buscamos es que S/N tenga el mayor valor. Por tanto la mejora de un producto o proceso se puede inferir por el incremento de S/N. Ello significa, en este caso: Lo mejor lo más pequeño, reducir el resultado promedio o mejorar la consistencia de una unidad a otra; así aumenta S/N. En otras palabras, para este caso, lo que buscamos es identificar los factores que produzcan los más consistentemente pequeños valores respuesta.

2) TECNICAS DE ANALISIS:

Al igual que para el análisis sobre niveles promedio se buscará los efectos fuertes y los mejores niveles para cada factor controlable bajo consideración. Las principales herramientas son las tablas de respuestas y gráficos. La diferencia fundamental es que para determinar lo mejor se usará el S/N.
Veamos un ejemplo con los datos de l siguiente cuadro 1.7:

CUADRO 1.7. AO L_4 (2^3)

EXP. Nº	A	B	A x B	N_1	N_2	s/n
1	1	1	1	20	40	-30.00
2	1	2	2	25	35	-28.89
3	2	1	2	15	25	-23.01
4	2	2	1	10	12	-28.82

$$S/N_1 = -10 \text{ LOG } \frac{20^2 + 40^2}{2} = -30.00 \qquad \text{Ecuación 1.36.}$$

Igual se hace para los otros casos, presentándose los resultados en el Cuadro 1.7.

Como se puede ver en el cuadro se agregó S/N en cada fila. El cuadro de respuestas S/N se genera sumando y promediando los valores de cada nivel de cada factor. Así mismo, el efecto de un factor es igual a la diferencia entre los S/N promedio de cada nivel (si dos niveles) o entre el mayor y menor valor (si más de 2 niveles).

Para nuestro cuadro ejemplo, tendremos para A_1 :

$$s/n = \frac{(-30.00) + (-28.89)}{2} = -29.45 \qquad \text{Ecuación 1.37.}$$

Para A_2 se obtiene –25.92

Luego; el efecto de A = $(\bar{A}_1 - \bar{A}_2)$=((-29.45) - (-25.92)) = 3.53 db

Calculando de una manera similar para B y A x B tendremos el cuadro 1.8:

CUADRO 1.8. DE RESPUESTAS S/N

NIVEL	A	B	A x B
1	-29.45	-26.51	-29.41
2	-25.92	-28.86	-25.95
DELTA	3.53	2.35	3.46

Junto con la tabla de respuestas también se pueden elaborar los gráficos de respuestas, ver figura 1.5. Para ello se usan los promedios de S/N.

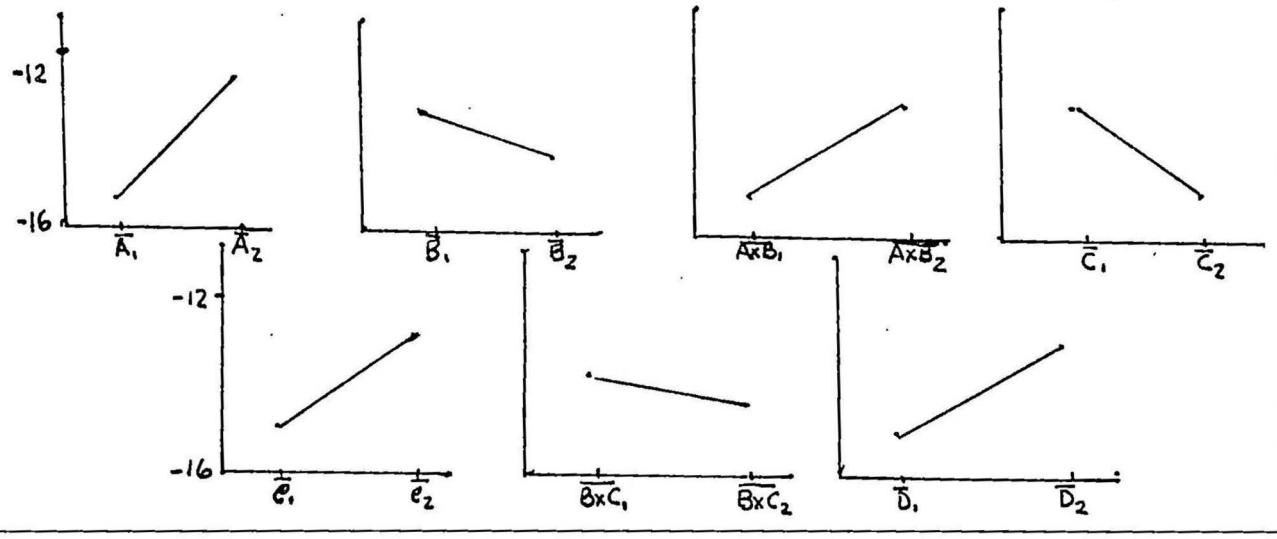


FIGURA 1.5. GRAFICO DE RESPUESTAS DEL RATIO S/N

Asimismo, se usa la regla de seleccionar la mitad de los factores (fuertes) utilizando el cuadro de respuestas y los gráficos.

En el ejemplo L_4 (2^3) se tiene que los factores A y la interacción A x B son los factores con efectos fuertes; y la influencia de B es menor. Lo óptimo se da cuando S es fuerte y N es débil; es decir, cuando s/n es mayor. Por ello en los gráfico se selecciona los puntos más altos de s/n. Cuando no hay mucha diferencia se consideran los costos.En nuestro ejemplo se selecciona: A_2 , pero como B no es fuerte por si sólo se tiene que analizar la interacción.
Para analizar las interacciones se pueden usar la matriz de interacción y el gráfico de interacción. Ver figura 1.6.

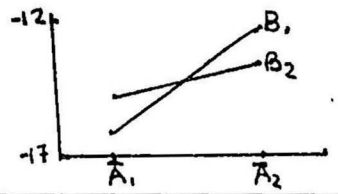
MATRIZ DE INTERACCION			GRAFICO DE INTERACCION
	B1	B2	
A1	-30.00	-28.89	
A2	-23.01	-28.82	

FIGURA1. 6. ANALISIS DE LA INTERACCION

Luego; tendremos que en la interacción se selecciona A_2 x B_1 ; ello coincide con la selección previa de A_2 .
Otro efecto adicional es el del análisis de los factores de ruido. Para ello se suman los valores de cada columna del arreglo externo y se calcula el valor promedio. Ver cuadro 1.9.

CUADRO 1.9. DE ANALISIS DE FACTORES DE RUIDO

L_4 (2^3)

EXP Nº	A	B	A x B	N_1	N_2	S/N
1	1	1	1	20	40	-30.00
2	1	2	2	18	35	-28.89
3	2	1	2	12	16	-23.01
4	2	2	1	25	30	-28.82
Total				75.00	121.00	
Promedio				18.75	30.25	
Delta				11.50		

Así se obtiene 11.50 como impacto de los cambios de los factores ruido. Si la diferencia es muy grande puede ser necesario reducir dicha diferencia. Si se tiene más factores de ruido (3 ó más) se pueden sumar las columnas y sacan los promedios y determinar los factores de ruido más fuertes.
La ecuación de predicción se calcula igual que para el caso de análisis de nivel promedio; pero en lugar de ŭ se calcula η.
De igual manera, como ya se vio, se requiere una corrida de confirmación y el análisis respectivo con la ecuación de predicción.
Con respecto al impacto del experimento, s/n puede dar un estimado de ahorro de costos asociados con los mejores. Por cada 3 decibeles de aumento de η, el costo de calidad se reduce en un 50% :

Costo nuevo = Costo existente (1/2) $^{(\eta \text{ nuevo} - \eta \text{ existente}) / 3}$ Ecuación 1.38

Ahorro de Costo = Costo existente - Costo nuevo. Ecuación 1.39

CASO: CIRCUITO ELECTRONICO " FUERA DE TIEMPO "

PROBLEMA :

Para un dispositivo de control específico, el tiempo requerido por el circuito para cambiar de "On" a " Off" cuando se prende la luz intermitente, es critico. El requisito especificado establece que el cambio no debe demorar más de .005 seg. Sin embargo, ensayos de funcionamiento revelan que un gran porcentaje de las unidades no han cumplido con la especificación del tiempo.

OBJETIVO : Minimizar el tiempo requerido por el dispositivo para cambiar del estado de "on" al de "off". El diseño del experimento y los datos se muestran en el siguiente cuadro 1.10:

CUADRO 1.10: DE DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y DATOS

Y = TIEMPO DE CAMBIO (MILISEGUNDOS)		
FACTORES CONTROLABLES	NIVEL 1	NIVEL 2
A. Tipo de empaque	Tipo 1	Tipo 2
B. Prendido	No	Si
C. Retardo de ensayo	No retardo	Si retardo
D. Proveedor componente	X	Y

Interacciones A x B : Tipo de empaque x prendido B x C : Prendido x Retardo de ensayo		
FACTORES DE RUIDO	NIVEL 1	NIVEL 2
M. Humedad	Baja	Alta
N. Secado	Normal	Pistola Caliente
O. Soldado	Manual	Con ondas

El equipo decidió correr 2 repeticiones para cada combinación de factores de control y ruido. Ver el siguiente cuadro 1.11.

CUADRO 1.11. ARREGLOS ORTOGONALES

EXP Nº	A	B	A x B	C	e	B x C	D	O	1	2	2	1
								N	1	2	1	2
								M	1	1	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	2.62		2.66	10.0	10.0
								2.56		2.56	8.24	10.0
2	1	1	1	2	2	2	2	2.27		2.29	5.65	6.07
								2.30		2.29	10.0	10.0
3	1	2	2	1	1	2	2	2.30		2.27	3.73	4.19
								2.33		2.33	8.09	10.0
4	1	2	2	2	2	1	1	2.61		2.53	6.36	8.10
								2.61		2.59	10.0	8.14
5	2	1	2	1	2	1	2	2.36		2.29	2.28	4.24
								2.29		2.25	4.22	2.25
6	2	1	2	2	1	2	1	2.54		2.58	6.51	6.33
								2.46		2.47	10.0	6.22
7	2	2	1	1	2	2	1	2.53		2.54	4.40	4.51

								2.51	2.52	6.25	8.12
8	2	2	1	2	1	1	2	2.30	2.27	10.0	4.27
								2.21	2.27	2.20	8.05

En el arreglo interno, el factor D fué asignado a la columna 7 y la columna 5 fué vacante (Esta columna se puede usar para la interacción A x C , si hay o para el error).

SOLUCION:

1º Determine s/n para cada fila (corridas experimentales)

Nº 1 S/N =

$$= -10 \log \frac{2.62^2+2.66^2+10.0^2+10.0^2+2.56^2+2.56^2+8.24^2+10.0^2}{8}$$ Ecuación 1.40

S/N = -16.93 db

Nº 2 S/N = -15.59db

... ...

Nº 8 S/N = -14.15db

Después de calcular S/N se puede adicionar a la tabla anterior la siguiente columna de S/N, ver cuadro 1.12.

CUADRO 1.12. EXPERIMENTO. NUMERO	S/N
1	-16.93
2	-15.59
3	-14.36
4	-15.72
5	- 9.24
6	-14.88
7	-13.27
8	-14.15

2º Calcule el promedio S/N para cada nivel de factor e interacción y desarrolle la tabla de respuestas:

$$\bar{A}_1 = \frac{(-16.93) + (-15.59) + (-14.36) + (-15.72)}{4} = -15.65 \qquad \text{Ecuación 1.41}$$

$$\bar{A}_2 = \frac{(-9.24) + (-14.88) + (-13.27) + (-14.15)}{4} = -12.89 \qquad \text{Ecuación 1.42}$$

Efecto de A = ($\bar{A}_1$ - $\bar{A}_2$) = ((-15.65) - (-12.89)) = 2.76 Ecuación 1.43

Para el resto de factores se calculó el efecto, ver cuadro 1.13 de respuestas:

CUADRO 1.13. DE RESPUESTAS S/N

	A	B	A x B	C	error	B x C	D
NIVEL1	-15.65	-14.16	-14.99	-13.45	-15.08	-14.01	-15.20
NIVEL2	-12.89	-14.38	-13.55	-15.09	-13.46	-14.53	-13.33
DELTA	**2.76**	.22	**1.44**	**1.64**	1.62	.52	**1.87**

3º Basado en los promedios de S/N calculados para cada nivel de factor e interacción, construir los gráficos de respuestas s/n. Ver figura 1.7.

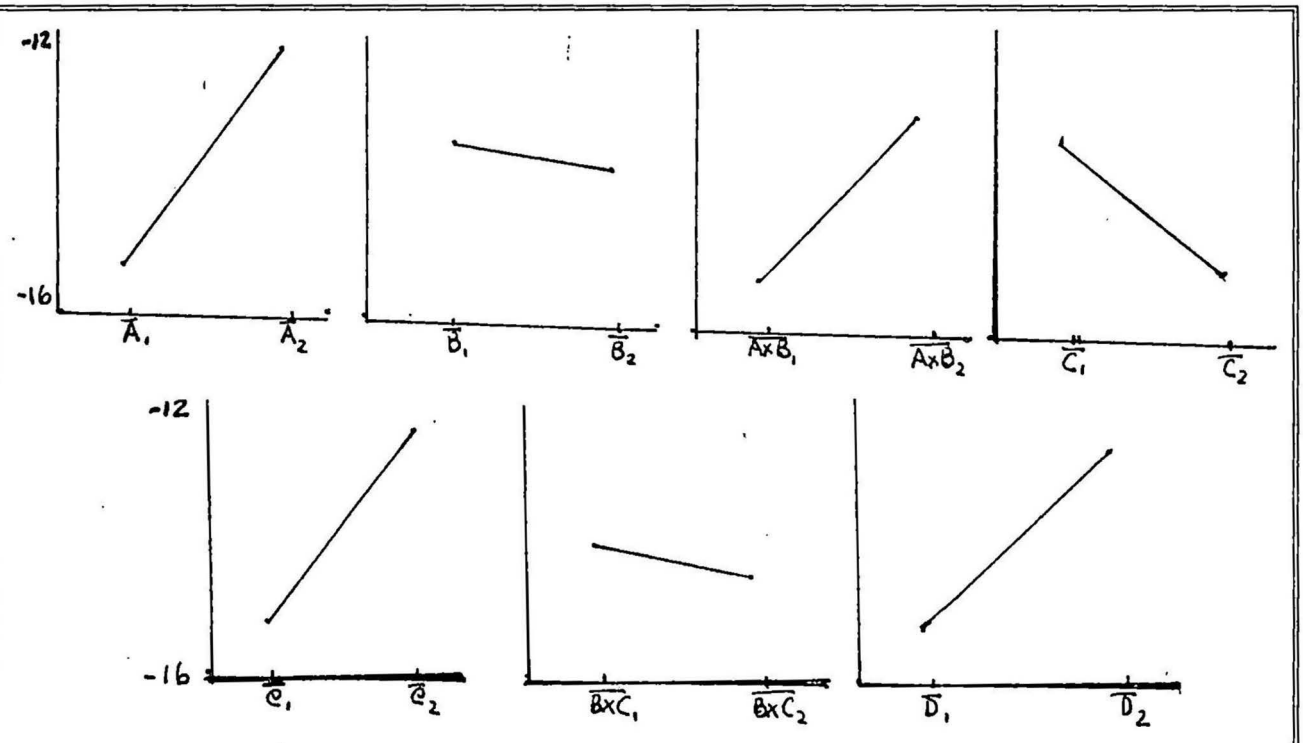


FIGURA 1.7. GRAFICOS DE RESPUESTAS S/N

4º Analice el cuadro de respuestas S/N y los gráficos de respuestas S/N .

El orden de efectos de mayor a menor se hace con base al cuadro de respuestas y gráficos. El factor A tiene el efecto más fuerte (delta = 2.76). El factor D es segundo (delta =1.87); y es seguido de cerca por el factor C (delta=1.64), la columna vacante 5 (delta=1.62) y la interacción A x B .
Los efectos luego caen a la interacción B x C (0.52) y B (.22).
Del análisis comparativo, los efectos fuertes son de los factores A, D y C la interacción A x B y el efecto de la columna 5. Los niveles respectivos son: A_2 ,D_2 Y C_1 .Como la interacción A x B se ha incluido, se requiere construir una matriz de interacción S/N y la gráfica respectiva .

Los cálculos de la matriz 2 x 2 y los puntos para el gráfico de interacción son los que se presentan en el cuadro 1.14:

CUADRO 1.14: VALORES DE S/N

EXP. Nº	A	B	A x B	C	e	B x C	D	S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	-16.93
2	1	1	1	2	2	2	2	-15.59
3	1	2	2	1	1	2	2	-14.36
4	1	2	2	2	2	1	1	-15.72
5	2	1	2	1	2	1	2	-9.24
6	2	1	2	2	1	2	1	-14.88
7	2	2	1	1	2	2	1	-13.27
8	2	2	1	2	1	1	2	-14.15

$$\bar{A}_1 \bar{B}_1 = \frac{(-16.93)+(-15.59)}{2} = -16.26$$ Ecuación 1.44

Igual se calcula para $\bar{A}_1 \bar{B}_2$,$\bar{A}_2 \bar{B}_1$,$\bar{A}_2 \bar{B}_2$; así se obtiene el Cuadro 15.

CUADRO 1.15. MATRIZ DE INTERACCION		
	B1	B2
A1	-16.26	-15.04
A2	-12.06	-13.71

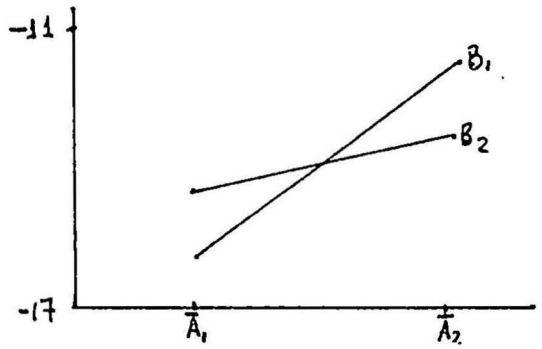


FIGURA 1.8. GRAFICO DE INTERACCION

Allí se aprecia en el gráfico y en la tabla que $\bar{A}_2\ \bar{B}_1$ es la mejor combinación.

Como delta de A x B = 1.44 es menor que la diferencia de la columna 5 (delta = 1.62), por ello también seria conveniente analizar la interacción A x C . Para ello se elabora la matriz, cuadros 1.15 y 1.16 y gráfico respectivo. Ver figura 1.9:

CUADRO 1.16. CALCULO DE DATOS.

EXP.Nº	DATOS	
1	-16.93	$\bar{A}_1\ \bar{C}_1 = \frac{(-16.93)+(-14.36)}{2} = -15.65$
2	-15.59	
3	-14.36	$\bar{A}_1\ \bar{C}_2 = \frac{(-15.59)+(-15.72)}{2} = -15.66$
4	-15.72	
5	- 9.24	$\bar{A}_2\ \bar{C}_1 = \frac{(-9.24)+(-13.27)}{2} = -11.26$
6	-14.88	

7	-13.27	$\bar{A}_2\,\bar{C}_2 = \frac{(-14.88)+(-14.15)}{2} = -14.52$
8	-14.25	

CUADRO 1.17. MATRIZ DE INTERACCION		
	B1	B2
A1	-15.65	-15.66
A2	-11.26	-14.52

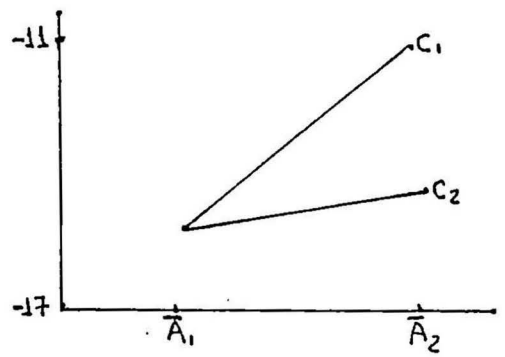


FIGURA 1.9. GRAFICO DE INTERACCION

La gráfica indica las líneas convergen (A x C); es decir, indican suficiente esfuerzo relativo que podría considerarse. Esto es cierto porque el factor A y la interacción A x B fue incorporado en el grupo de efectos fuertes, y la columna 5 demostró un efecto mayor que la interacción A x C. Por lo tanto podemos concluir del análisis de los factores (efectos principales) y la interacción que los efectos fuertes son :

A, AxB, C, AxC, y D

Del cuadro y gráficos de respuestas S/N ; A_2, C_1 y D_2 son recomendados. De la matriz y gráfico de interacción AxB, A_2 B_1 fue la mejor combinación; que refuerza la selección de A_2 y selección B_1. La matriz y gráfica de interacción AxC indica que A_2 C_1 es la combinación preferida. Esto denuevo reafirma a A_2 y C_1 como efectos individuales . En resumen niveles recomendados son :

A_2 ,B_1 ,C_1 ,D_2

Con relación a los factores de ruido tenemos que hacer lo siguiente :
a) Calcular el total para cada columna del arreglo externo y calcular la respuesta promedio. Ver Cuadro 1.18.

CUADRO 1.18.	ARREGLO EXTERNO				
	O	1	2	2	1
	N	1	2	1	2
	M	1	1	2	2
EXPERIMENTO Nº1		2.62	2.66	10.0	10.0
		2.56	2.56	8.24	10.0
EXPERIMENTO Nº2		2.27	2.29	5.65	6.07
		2.30	2.29	10.00	10.00
EXPERIMENTO Nº3		2.30	2.27	3.73	4.19
		2.33	2.33	8.09	10.00
EXPERIMENTO Nº4		2.61	2.53	6.36	8.10
		2.61	2.59	10.00	8.14
EXPERIMENTO Nº5		2.36	2.29	2.28	4.24
		2.29	2.25	4.22	2.25
EXPERIMENTO Nº6		2.54	2.58	6.51	6.33
		2.46	2.47	10.00	6.22
EXPERIMENTO Nº7		2.53	2.54	4.40	4.51
		2.51	2.52	6.25	8.12
EXPERIMENTO Nº 8		2.30	2.27	10.0	4.27
		2.21	2.22	2.20	8.05
TOTALES		38.80	38.66	107.93	110.49
PROMEDIOS		2.43	2.42	6.75	6.91

b)Con los valores promedios de cada columna podemos calcular los valores de los niveles de factores ruido y obtener el promedio de cada factor de ruido:

$$\bar{M}_1 = \frac{2.43 + 2.42}{2} = 2.425 \qquad \bar{M}_2 = \frac{6.75 + 6.91}{2} = 6.830$$

Igual se hace para N_1, N_2 y O_1, O_2

c)Con base a la anterior se puede elaborar el cuadro 19 de respuestas respectiva:

CUADRO 1.19. NIVEL 1-2	M	N	O
1	2.425	4.590	4.670
2	6.830	4.665	4.585
DELTA	4.405	.075	.085

Aquí se aprecia que M (humedad) tiene el efecto mayor. Lo cual nos indica que le debemos dar una atención especial a este tema.

5º Cálculo del estimado de predicción basada en s/n en los niveles seleccionados de los efectos fuertes.

Los efectos fuertes a incluir en la ecuación son: A, A x B, C, A x C, D

La ecuación de predicción se convierte en :

$$\eta = \overline{T} + (\overline{A}_2 - \overline{T}) + ((\overline{A_2B_1} - \overline{T}) - (\overline{A}_2 - \overline{T}) - (\overline{B}_1 - \overline{T})) + (\overline{C}_1 - \overline{T}) + ((\overline{A_2C_1} - \overline{T}) - (\overline{A}_2 - \overline{T}) - (\overline{C}_1 - \overline{T})) + (\overline{D}_2 - \overline{T}) \qquad \text{Ecuación 1.45}$$

Operando llegamos a:

$$\eta = \overline{A_2B_1} - \overline{B}_1 + \overline{A_2C_1} - \overline{A}_2 + \overline{D}_2 \qquad \text{Ecuación 1.46}$$

Luego, sustituyendo:

$$\eta = (-12.06) - (-14.16) + (-11.26) - (-12.89) + (-13.33) = -9.60db$$

6º Realizar una corrida de confirmación y comparar su resultado con lo predicho por la ecuación.

La corrida de confirmación debe elaborar un número de unidades adecuado de acuerdo con los niveles de los factores controlables y de los factores de ruido. Luego de la corrida de confirmación se calcula su η y se compara con el valor predicho = -9.60db. Si el valor obtenido es cercano al predicho, los niveles recomendados pueden ser implementados. Si el η de confirmación es menor, pero los datos (tiempo) son consistentes con la especificación de 5 mseg. Como limite, el equipo puede implementar los cambios mientras estudia el problema para buscar como mejorar. Si la corrida de confirmación valida la hipótesis experimental, se puede estimar el ahorro de costos con la siguiente ecuación:

$$\text{Costo}_{\text{nuevo}} = \text{Costo}_{\text{existente}} \; (1/2)^{(\eta \text{ nuevo} - \eta \text{ existente})/3} \qquad \text{Ecuación 1.47}$$

$$\text{Ahorro en Costo} = \text{Costo}_{\text{existente}} - \text{Costo}_{\text{nuevo}} \qquad \text{Ecuación 1.48}$$

7. ANALISIS : LO MAS GRANDE LO MEJOR

El análisis es muy similar al de lo más pequeño lo mejor; con la diferencia que en el análisis del nivel promedio en lugar de escoger el menor valor se selecciona el mayor.
Para el caso de S/N; es similar (en ambos casos: lo más grande y lo más pequeño) se selecciona el mayor valor. La principal diferencia es en como se calcula el ratio S/N.

1) RATIO S/N.

La fórmula que se utiliza es :

$$s/n = -10\log DCM \qquad \text{Ecuación 1.49.}$$

Pero en este caso la Diferencia Cuadrática Media DCM se calcula con la siguiente fórmula:

$$DCM = \frac{1/y_1^2 + 1/y_2^2 + \ldots\ldots + 1/y_n^2}{n} \qquad \text{Ecuación 1.50.}$$

La mejora en el proceso o producto se logra si aumenta el S/N.

2) TECNICAS DE ANALISIS.

Los análisis son similares que para el caso de lo más pequeño lo mejor, con la diferencia sólo en el cálculo de la Desviación Cuadrática Media.

Es decir se trabaja de manera similar con tablas de respuestas S/N y con gráficas; se calculan los efectos; asimismo, el trabajo es similar para las interacciones, la ecuación de predicción, la corrida de confirmación y los cálculos de los ahorros en costos.

8. ANALISIS : LO NOMINAL ES LO MEJOR

1) CONCEPTOS.

Para mejorar el proceso, lo ideal es seguir una estrategia de 2 etapas:

1º Reducir la variabilidad. Determinando que variables afectan la uniformidad del producto.
2º Ajustar la media. Determinando que variables afectan el resultado promedio.
En el caso de factores discretos se selecciona un nivel que permita el ajuste; para factores continuos se modifican los factores significativos para lograr el ajuste.

2) ECUACIONES SOBRE LO NOMINAL LO MEJOR.

Se requiere determinar la magnitud con la cual cada factor contribuye a la variación del proceso y a la respuesta promedio. Para la variación se debe estudiar el ratio s/n y para la media se debe calcular el resultado medio de cada experimento.

a) Ratio S/N.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$S/N = -10 \log Ve \qquad \text{Ecuación 1.51.}$$

$$\text{donde } Ve = \text{variancia} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Y_i - \bar{Y}^2)}{n-1} = \frac{(Y^2_1 + Y^2_2 + \ldots + Y^2_n) - Sm}{n-1} \qquad \text{Ecuación 1.52.}$$

n = número de piezas (puntos)

$$Sm = n(\bar{Y})^2 = \frac{T^2}{n} \quad ; \text{ Sm = Suma de cuadrados de la media}$$

$$y \quad T = \sum_{i=1}^{n} Yi \quad ; \text{ T = Suma de los datos.}$$

b) Media.

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Y_i}{n}$$

Pero debido a que este valor no refleja la amplitud el Dr. Taguchi derivó la siguiente ecuación:

$$Sm\ db = 10 \log Sm \qquad \text{Ecuación 1.53.}$$

$$Sm = \frac{T^2}{n}$$

CASO : POSTES DE MADERA

PROBLEMA: Los postes de madera producidos por una empresa son inspeccionados al 100%. Numerosos postes han tenido que ser recortados y otros eliminados porque eran muy costosos.
Una muestra de la última área talada muestra un promedio de longitud de 35.20 pulgadas con una desviación standard de .75 pulgadas .

OBJETIVO: Reducir la variabilidad de la longitud de los postes e incrementar la consistencia de su longitud lo más próximo a 36 pulgadas. Ver cuadro 1.20.

CUADRO 1.20. CARACTERISTICA DE CALIDAD	VALOR OBJETIVO	
LONGITUD DE LOS POSTES	36.00 PULGADAS	
FACTORES DE CONTROL	NIVEL 1	NIVEL 2
Metal de la hoja de corte	Acero al carbon	Acero con tunsgteno
Rpm de la sierra	Baja	Alta
Tiempo secado de la madera	1 mes	3 meses
HP del motor	2 hp	3 hp
Angulo de inclinación de la sierra	0°	12°
Operario	Pedro	Juan
INTERACCION		
Metal de la hoja x rpm sierra		
FACTORES DE RUIDO	NIVEL 1	NIVEL 2
Origen de la madera	Norte	Sur
Tiempo de uso hoja	Nueva	20000 Unidades

MATRIZ EXPERIMENTAL :

Basado en los 7 grados de libertad determinados a partir del Número de factores controlables y su correspondiente número de niveles, un arreglo ortogonal L_8 fue seleccionado para arreglo interno. Como los factores de ruido requieren de 2 grados de libertad, el arreglo externo se convierte en L_4 consistiendo de 4 columnas. La siguiente matriz experimental con un total de 32 experimentos (8 filas x 4 col.) se obtuvo el cuadro 1.21:

CUADRO 1.21. ARREGLO ORTOGONAL CON FACTORES RUIDO

EXP. N°	A	B	A X B	C	D	E	F	M_1 N_1	M_1 N_2	M_2 N_1	M_2 N_2
1	1	1	1	1	1	1	1	35.675	36.42	34.805	35.69
2	1	1	1	2	2	2	2	35.72	35.695	35.80	36.76
3	1	2	2	1	1	2	2	35.83	36.275	36.13	35.145
4	1	2	2	2	2	1	1	35.655	35.025	36.22	35.57
5	2	1	2	1	2	1	2	35.805	36.47	35.22	34.765
6	2	1	2	2	1	2	1	36.68	36.115	36.78	36.995
7	2	2	1	1	2	2	1	36.87	36.255	36.985	36.35
8	2	2	1	2	1	1	2	35.54	35.255	35.24	36.125

Cálculos :

1º Determine la media para cada fila (experimento)

$$N°1\ \bar{Y}_1 = \frac{35.675 + 36.42 + 34.805 + 35.69}{4} = 35.6475 \qquad \text{Ecuación 1.54}$$

Igual se determina para los 7 experimentos restantes.

2º Determine el ratio S/N para cada fila (experimento).

$$N°1\ Sm = \frac{(35.675 + 36.42 + 34.805 + 35.69)^2}{4} = 5082.977 \qquad \text{Ecuación 1.55.}$$

$$Ve = \frac{(35.675^2 + 36.42^2 + 34.805^2 + 35.69^2) - 5082.977}{4 - 1} = .436 \qquad \text{Ecuación 1.56.}$$

$$S/N_1 = 10\log\left(\frac{1}{4} x \frac{(5082.977 - .436)}{.436}\right) = 34.645 \qquad \text{Ecuación 1.57}$$

.Igual se determina para los 7 experimentos restantes.

Luego de completar los cálculos de $\bar{Y}$ y S/N se obtuvieron los siguientes resultados del cuadro 1.22:

CUADRO 1.22. ARREGLO ORTOGONAL CON RESULTADOS DE MEDIA Y S/N

EXP Nº	A	B	A x B	C	D	E	F	$\bar{Y}$	s/n
1	1	1	1	1	1	1	1	35.648	34.645
2	1	1	1	2	2	2	2	35.994	36.924
3	1	2	2	1	1	2	2	35.595	31.164
4	1	2	2	2	2	1	1	35.618	37.249
5	2	1	2	1	2	1	2	35.565	33.656
6	2	1	2	2	1	2	1	36.643	39.787
7	2	2	1	1	2	2	1	36.615	40.002
8	2	2	1	2	1	1	2	35.540	38.684

3a. Calcular el promedio de s/n para cada nivel de factor controlable y desarrolle la tabla de respuestas s/n y efectos.

Luego para los S/N :

$$\bar{A}_1 = \frac{34.645 + 36.924 + 31.164 + 37.249}{4} = 34.996$$ Ecuación 1.58.

$$\bar{A}_2 = \frac{33.656 + 39.787 + 40.002 + 38.684}{4} = 38.032$$ Ecuación 1.59

Efecto de A = $(\bar{A}_1 - \bar{A}_2) = (34.996 - 38.032) = 3.036$ Ecuación 1.60.

Se realiza lo mismo hasta F y se obtiene el siguiente cuadro 1.23:

CUADRO 1.23. DE RESPUESTAS S/N

	A	B	A x B	C	D	E	F
NIVEL1	34.996	36.253	37.564	34.867	36.070	36.059	37.921
NIVEL2	38.032	36.775	35.464	38.161	36.958	36.969	35.107
DELTA	3.036	.522	2.100	**3.294**	.888	.910	2.814

3b Con base a los promedios de s/n calculados para cada nivel se construyen los gráficos de respuestas S/N. Ver figura 1.10.

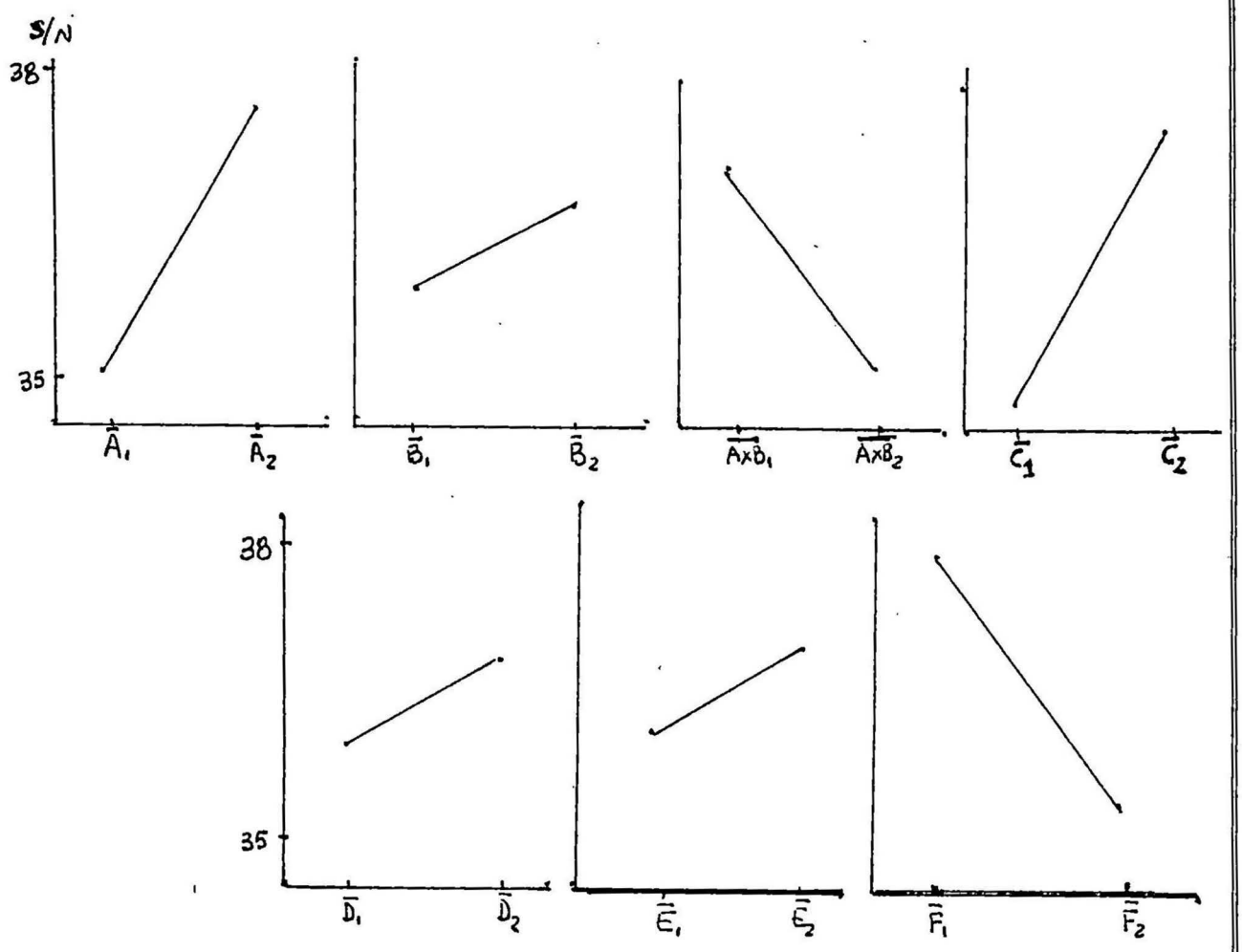


FIGURA 1.10. SOBRE GRAFICOS DE RESPUESTAS S/N

4º Analizar el cuadro de de respuestas S/N y los gráficos respectivos.

Del cuadro se obtiene los factores con mayores efectos (delta). Se seleccionan aproximadamente la mitad de los factores estudiados. El punto exacto de separación de factores se realiza con base a la diferencia relativa de un efecto a otro (como se hizo anteriormente).

En este caso el factor C tiene el mayor efecto: 3.294. Siguen el factor A (3.036) y el F (2.814). La diferencia entre el efecto F y el efecto de interacción A x B es .714 (2.814 - 2.100). La diferencia entre A x B y E es 1.190 (2.100 - .910). Como 1.190 es mayor, éste es el punto de separación lógico. Por lo tanto la interacción A x B debe considerarse como un efecto fuerte y los efectos E y siguientes efectos débiles no deben considerarse como significativos. Debe tenerse presente que S/N

mayor significa mayor robustes y menor variabilidad. Por lo tanto se seleccionan: A_2, C_2 y F_1.
Lo mismo se puede determinar con base a los gráficos; comparando las pendientes. Así se observa que los efectos más fuertes en orden de importancia son : C, A, F y A x B. Además seleccionando el punto más alto de los efectos fuertes tenemos: C_2, A_2 y F_1

Con relación a la interacción A x B, se requiere un estudio adicional. Para analizar la interacción, necesitamos construir una matriz de resultados promedio para cada combinación de los 2 factores de la interacción (matriz 2 x 2) y la correspondiente gráfica.

Los cálculos para la matriz y la gráfica son :

$$\bar{A}_1\bar{B}_1 = \frac{34.645 + 36.924}{2} = 35.785 \qquad \text{Ecuación 1.61}$$

Igual se hace para $\bar{A}_1\bar{B}_2$, $\bar{A}_2\bar{B}_1$, $\bar{A}_2\bar{B}_2$

CUADRO 1.24. MATRIZ DE INTERACCION A X B

	B1	B2
A1	35.785	34.207
A2	36.722	39.343

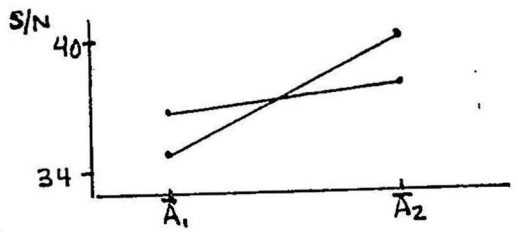


FIGURA 1.11. GRAFICO DE INTERACCION A X B

Tanto en la matriz como en la gráfica como en la gráfica se aprecia que A_2B_2 es la mejor combinación de los factores.
Lo cual concuerda con lo antes seleccionado. A_2 Aunque el factor B no tiene mayor impacto por si mismo; si tiene un impacto mayor cuando se combina con A. Luego tambien debemos seleccionar B_2 .

5a. Calcular el valor promedio de $\bar{Y}$ para cada nivel del factor de control y desarrolle una tabla de respuestas media. Al igual que en 3a, seleccione todos los valores de Y de cada nivel de factor, suma y obtenga el promedio. La diferencia absoluta entre los 2 valores es el efecto del factor sobre la media.

Así tenemos el cuadro 1.25.

CUADRO 1.25: CALCULOS DEL PROMEDIO Y S/N

EXP Nº	A	B	A X B	C	D	E	F	$\bar{Y}$	S / N
1	1	1	1	1	1	1	1	35.648	34.645
2	1	1	1	2	2	2	2	35.994	36.924
3	1	2	2	1	1	2	2	35.595	31.164
4	1	2	2	2	2	1	1	35.618	37.249
5	2	1	2	1	2	1	2	35.565	33.656
6	2	1	2	2	1	2	1	36.643	39.787
7	2	2	1	1	2	2	1	36.615	40.002
8	2	2	1	2	1	1	2	35.540	38.684

Luego :

$$\bar{A}_1 = \frac{35.648 + 35.994 + 35.595 + 35.618}{4} = 35.714 \qquad \text{Ecuación 1.62.}$$

$$\bar{A}_2 = \frac{35.565 + 36.643 + 36.615 + 35.540}{4} = 36.091 \qquad \text{Ecuación 1.63.}$$

$$\text{Efecto de A} = (\bar{A}_1 - \bar{A}_2) = (35.714 - 36.091) = .377 \qquad \text{Ecuación 1.64.}$$

Asi hacer hasta F y se obtiene el siguiente cuadro 1.26.

CUADRO 1.26. DE RESPUESTAS DE MEDIAS

	A	B	A x B	C	D	E	F
NIVEL1	35.714	35.963	35.949	35.856	35.857	35.593	36.131
NIVEL2	36.091	35.842	35.855	35.949	35.948	36.212	35.674
DELTA	.377	.121	.094	.093	.091	.619	.457

5b. Con base a los valores promedios de $\bar{Y}$ para cada nivel de factor elaborar las gráficas respectivas, ver figura 1.12.

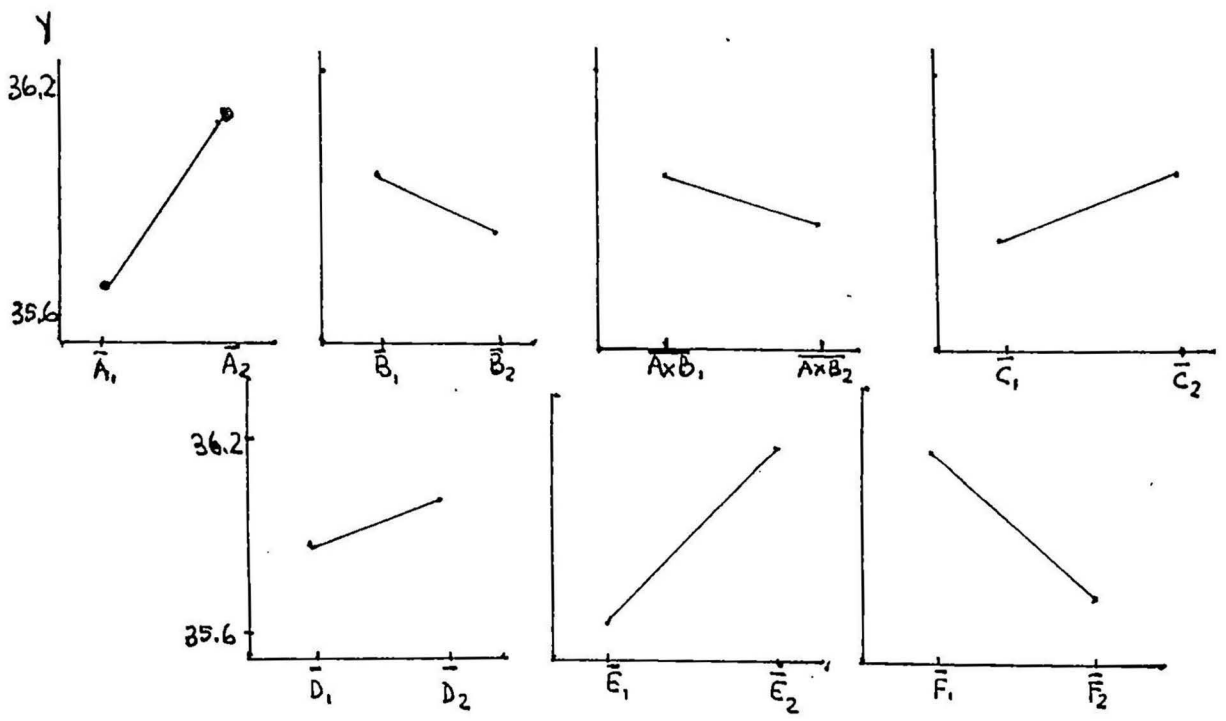


FIGURA 1.12. GRAFICA DE RESPUESTAS DE MEDIAS

6º Analizar el cuadro de respuestas de medias y las gráficas.

Aplicando la metodología vista antes se selecciona los factores que tienen efectos fuertes sobre la media. Asi se obtiene: E, F, A
Luego para la selección de los niveles de factor óptimos, aquellos factores afectan tanto la variación y la media ya se han seleccionado al mejor nivel para reducir la variación. La estrategia, es similar a los otros casos, de 2 pasos: Primero reducir la variación y luego mover el proceso hacia el valor objetivo. Ambos factores A y F caen en esta categoria. Como el factor E sólo afecta la media, es el factor de ajuste. Como el factor D no tiene un efecto fuerte ni para la variación ni la media, el nivel menos costoso se escogerá. En este caso el nº de hp menor.

7º Calcule un estimado de la respuesta de predicción con los niveles de los efectos fuertes.

Por tanto se puede calcular 2 predicciones con S/N e $\bar{Y}$.

Para S/N : Se relaciona con la medida de la robustes, el estimadó para reducir la variación del proceso, y proyectar el ahorro de costos para mejorar el proceso.
Como A, AxB y F son factores con efecto fuerte sobre la variación, la ecuación de

predicción de s/n se convierte en :

$$S/N = \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + ((\bar{A}_2\bar{B}_2 - \bar{T}) - (\bar{A}_2 - \bar{T}) - (\bar{B}_2 - \bar{T})) + (\bar{C}_2 - \bar{T}) + (\bar{F}_1 - \bar{T}) \quad \text{Ecuación 1.65}$$

Esto se reduce a:

$$S/N = \bar{A}_2\bar{B}_2 - \bar{B}_2 + \bar{C}_2 + \bar{F}_1 - \bar{T} \quad \text{Ecuación 1.66}$$

$= 39.343 - 36.775 + 38.161 + 37.921 - 36.514 = 42.136$ decibeles.(s/N nuevo)

Estimado de variabilidad del proceso nuevo:

$$\text{desv. } st_{nueva}^2 = (1/2)^{x/3} \quad \text{desv. } st^2 \text{ existente.} \quad \text{Ecuación 1.67}$$

donde X = s/n nueva - s/n existente Ecuación 1.68

Si de los datos hitóricos s/n = 36.136, se puede estimar la variabilidad del nuevo proceso y calcular la desviación standard asociada:

$$\text{desv.}st^2 = (1/2)^{42.136 - 36.136 / 3} \; X \; .75^2 = .140625 \quad \text{Ecuación 1.69}$$

desv. st = .375

Por otra parte; se conoce que un aumento de 3 db en S/N equivalen a una reducción del 50% de los costos de calidad.

$$\text{Costo}_{\text{nuevo}} = \text{Costo}_{\text{existente}} (1/2)^{\text{s/n nuevo - s/n existente /3}} \quad \text{Ecuación 1.70}$$

Si el costo existente es 80000 y el s/n existente es 36.136; podemos proyectar los ahorros reemplazado y se obtiene: 60000.

PARA $\bar{Y}$: Como los niveles de los factores que afectan variabilidad y media son determinados por el nivel resultante en la menor variación, la ecuación de predicción nos sirve para:

1. Seleccionar los niveles apropiados de los factores discretos que afectan sólo la media (ej. material A ó B)
2. Determinar la cantidad de cambios requeridos en el ajuste de factores, los cuales por definición son variables continuas.

Como A, E y F son los factores con un efecto fuerte sobre la media, la ecuación de predicción de la media se convierte en :

$$= \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{E}_2 - \bar{T}) + (\bar{F}_1 - \bar{T}) \quad \text{Ecuación 1.71}$$

Esto se reduce a :

$$= \bar{A}_2 + \bar{E}_2 + \bar{F}_1 - 2 \text{ X } \bar{T} \quad \text{Ecuación 1.72}$$

Luego: $=36.091 + \bar{E}_? + 36.131 - 2 \times 35.902$

$= \bar{E}_? + .418$ Ecuación 1.73

Como nuestro valor objetivo es 36.000

$36.000 = \bar{E} + .418$ Ecuación 1.74

$\bar{E} = 35.592$ Ecuación 1.75

La respuesta promedio para E en el nivel 1(0^0) es 35.593. Por lo tanto, E debe ser seleccionado para mover la distribución de la respuesta hacia el valor objetivo.
NOTA.- En este caso el nivel específico pudo ser seleccionado; en otros casos se puede requerir la selección de un valor del factor de ajuste el cual esté entre los niveles experimentales.
Si el factor tiene un efecto lineal sobre la variable respuesta, una simple interpolación basada en los resultados obtenidos para cada nivel del factor y el objetivo pueden permitir obtener el nivel de ajuste requerido. Esto no es posible si la relación no es lineal.

$$\text{Nivel de factor de ajuste} = \text{Nivel}_{bajo} + (\text{Nivel}_{alto} - \text{Nivel}_{bajo}) \times \frac{(\text{objetivo} - \text{respuesta}_{baja})}{(\text{respuesta}_{alta} - \text{respuesta}_{baja})}$$ Ecuación 1.76

8º Realice la corrida de confirmación y compare los resultados reales con los predichos.

S/N e $\bar{Y}$ son calculados con base a todos los datos obtenidos en la corrida de confirmación. Si se producen 20 unidades, luego cada una de las 20 respuestas son incluidas en la determinación de la confirmación de Y y n.

$$\bar{Y}_{confirmación} = \frac{(Y_1 + ...+Y_{20})}{20}$$ Ecuación 1.77.

$$s/n_{\ confirmación} = -10\log \frac{1}{20} \frac{(Sm - Ve)}{Ve}$$ Ecuación 1.78.

El que la corrida de confirmación sea exitosa o no depende de:
1. La mejora relativa de los resultados del proceso existente y
2. Su experiencia ingenieril en decidir si los resultados son suficientemente cercaremos a los valores predichos tanto para ȳ como s/n (ŭ y s/n, respectivamente).

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
BIBLIOTECA CENTRAL

1.5.2. Kackar, Raghu, en su artículo "Off Line Quality Control, Parameter Design and the Taguchi Method", publicado por el Journal of Quality Technology, en Octubre de 1985, realiza una presentación de los conceptos de control de calidad fuera de línea y de diseño de experimentos , y seguidamente discute sobre los Métodos Taguchi para realizar experimentos de diseño de parámetros. Sobre los Métodos Taguchi sostiene que los pasos a seguir para el diseño de parámetros para el diseño de productos para maximizar el desempeño son:

1) Identificación inicial del conjunto de parámetros de diseño e identificación de los factores ruido importantes y sus rangos.
2) Construir las matrices diseño y ruido, y planear el experimento de diseño de parámetros.
3) Conducir el experimento y evaluar estadísticamente el desempeño para cda acorrida de ensayo de la matriz de diseño.
4) Usar los valores de estadísticos de desempeño para predecir nuevos conjuntos de parámetros de diseño.
5) Confirmar que el nuevo conjunto de parámetros mejora los estadísticos de desempeño.

Con relación a las ecuaciones que presenta Kackar tenemos:

Función Pérdida: $(y) = k(y - \tau)^2$ ó $L = E[\, l(y)] = k\, E\, [\, (y - \tau)^2\,]$ Ecuación 1.79

donde y es el valor de la característica de desempeño, τ es el valor objetivo, l(y) es la pérdida en $ y k es una constante.

Con respecto al ratio S/N se presentan 3 casos:

1) Lo más pequeño mejor: $S/N = -10 \log (\Sigma\, y_i^2 / n)$ Ecuación 1.80
2) Lo más grande mejor: $S/N = -10 \log (\Sigma\, 1/y_i^2 / n)$ Ecuación 1.81

El valor objetivo lo mejor: en este caso la pérdida es proporcional al Cuadrado Medio del Error $MSE\ (\theta) = E\, [\, (y - \tau_0)^2\,] = \sigma^2\, (\theta) + [\, B(\theta)]^2$ (Ecuación 1.82); donde θ_i = parámetros de diseño.
En la discusión del artículo de Kackar destacan los comentarios de Pignatello,

Pignatello, J. Y Ramberg, John en la discusión del artículo de Kackar presentan mediante un ejemplo real la metodología de Taguchi en un diseño de proceso y ofrecen un enfoque alternativo. El ejemplo trata de un proceso de un "muelle de hoja para camiones". La característica de calidad que e busca es la altura libre de la hoja de muelle en la condición "sin carga". Lo normal son 8" de altura, y valores desviados son indeseables.

Para el diseño se consideran 4 factores controlables: B: T° calentamiento del horno; C: Tiempo de calentamiento; D: Tiempo de transferencia (del horno de calentamiento a la forma arqueada) y E: Tiempo de conservación en caliente.
Además de estos factores principales los ingenieros tuvieron interés en estudiar los efectos de 3 interacciones de 2 factores : BC, BD y CD.

21189

Además se consideró como un factor ruido: la T° del aceite de templado (o), por ser difícil de controlar. Los niveles de los factores estudiados en el experimento son:

CUADRO 1.27. DE FACTORES	NIVEL	
FACTOR	BAJO	ALTO
B (°F)	1840	1880
C(s)	25	23
D(s)	12	10
E(s)	2	3
O(°F)	130-150	150-170

Aplicando los Métodos Taguchi se tiene como arreglo interno el AOL8 (que es un AO, diseño factorial fraccional, 2^{7-4} ,de Resolución III. Ver el siguiente cuadro 1.28:

CUADRO 1.28. EL ARREGLO ORTOGONAL AOL8 Y LAS ALTURAS LIBRES												
1	2	3	4	5	6	7	O^-			O^+		
B	C	BC	D	BD	CD	E						
-	-	+	-	+	+	-	7.78	7.78	7.81	7.50	7.25	7.12
+	-	-	-	-	+	+	8.15	8.18	7.88	7.88	7.88	7.44
-	+	-	-	+	-	+	7.50	7.56	7.50	7.50	7.56	7.50
+	+	+	-	-	-	-	7.59	7.56	7.75	7.63	7.75	7.56
-	-	+	+	-	-	+	7.94	8.00	7.88	7.32	7.44	7.44
+	-	-	+	+	-	-	7.69	8.09	8.06	7.56	7.69	7.62
-	+	-	+	-	+	-	7.56	7.62	7.44	7.18	7.18	7.25
+	+	+	+	+	+	+	7.56	7.81	7.69	7.81	7.50	7.59

Si se denominan los 7 factores con los símbolos 1,2,3,4,5,6,7; así el diseño permite obtener estimados ortogonales de los 7 efectos principales bajo la asunción que todas las posibles interacciones entre los 7 factores son practicamente despreciables. Para este experimento, estamos interesados en 4 efectos principales (B, C, D, y E) y 3 efectos de interacciones de 2 factores (BC, BD y CD). Mediante la asignación de los factores B, C, D y E a las columnas 1, 2, 4 y 7 respectivamente, todos los efectos deseados pueden ser estimados ortogonalmente bajo la asumción que todos los otros efectos son despreciables. Los coeficientes de contraste para los efectos de interacción BC, BD, y CD fueron ubicados en las columnas 3,5 y 6 respectivamente. Ver cuadro.

Por simplicidad y para asegurar que la asignación de efectos a col. no produzca inadvertidamente una confusión indeseable, Taguchi elabora los "Gráficos Lineales". Hay 2 gráficos lineales para el AOL8 (ver figura 1.13).

FIGURA 1.13.GRAFICOS LINEALES



En ambos gráficos lineales se aprecia que el símbolo 3 se ubica en la línea que conecta 1 y 2. Estos gráficos lineales indican que el coeficiente de contraste para estimar el efecto asociado con 3 se obtiene multiplicando los coeficientes de contraste asociados con las col. 1 y 2. Los gráficos lineales muestran que si los 4 efectos principales son asignados a las col. 1,2,4 y 7; los 3 efectos interacción de 2 factores en adición a los 4 efectos principales pueden ser estimados ortogonalmente (nominalmente aquellos efectos de interacción de 2 factores corresponden a 12,14 y 17 ó 24) bajo la asumción de que todos los otros efectos son despreciables. Se considera que estos gráficos lineales Taguchi las desarrollo por prueba y error.

Para este ejemplo podemos considerar el AOL8 de otra manera. Si sustituimos B, C, BC,D,BD,CD y E por 1,2,3,4,5,6, y 7 respectivamente en la Relación de Definición, luego se obtiene una Relación de Definición de I = +BCDE, que es un diseño factorial fraccional 2^{4-1}. De los 7 gl disponibles para estimar efectos, 4 gl son usados para estimar efectos principales y los 3 restantes gl son usados para estimar los efectos interacción. Los efectos principales están confundidos con los efectos interacción de 3 factores. El arreglo externo para este experimento consiste en 3 repeticiones de 2 niveles del factor T° de aceite templado (o). Por tanto el total de observaciones es (8x6 = 48).

Análisis de los Datos:

I. Se calcula el ratio Señal de Ruido (S/N ó Z):

$$S/N = -10 \log [(\bar{y})^2 / s^2] \qquad \text{Ecuación1.83.}$$

donde $\bar{y} = \Sigma y_i / n$, $s^2 = \Sigma (y_i - \bar{y})^2 / (n - 1)$; n = 6. Ecuación sobre lo nominal mejor.

Así con los datos dados en la tabla para cada fila se calcula $\bar{y}$ y s^2 y con base a ello S/N. Ejemplo S/N= 10 log (7.54^2 / 0.09) = 28.00. Así se tiene el siguiente cuadro de valores de promedio de y, s^2, S/N.

CUADRO 1.29. RESUMEN DE ESTADISTICOS PARA LOS DATOS DE LA TABLA ANTERIOR

EXP. N°	$\bar{y}$	s^2	S/N
1	7.54	0.09	28.00
2	7.90	0.07	29.46
3	7.52	0.001	47.70
4	7.64	0.01	38.68
5	7.67	0.09	28.11
6	7.79	0.05	30.59
7	7.37	0.04	31.55
8	7.66	0.02	35.31

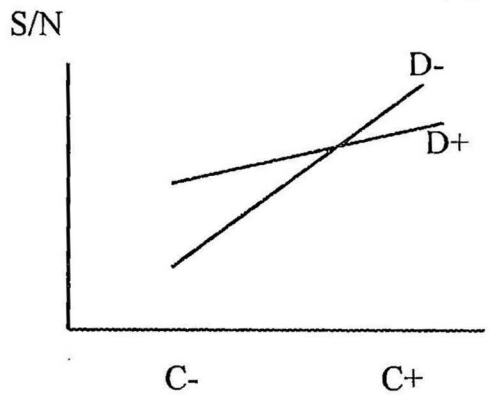
El ANVA para estas respuestas de S/N está en el siguiente cuadro 1.30.

CUADRO 1.30. ANALISIS DE VARIANCIA PARA LAS RESPUESTAS S/N							
FUENTE	SS	%SST	gl	F	P	NOMBRE DE EFECTO	EFECTO MEDIO S/N
B+CDE	0.224	0.07	1	-	-	B+CDE	-0.335
C+BDE	171.810	53.80	1	31.80	0.03	C+BDE	9.269
BC+DE	10.585	3.32	1	-	-	BC+DE	'2.301
D+BCE	41.742	13.07	1	7.72	0.11	D+BCE	-4.569
BD+CE	23.826	7.46	1	4.40	0.17	BD+CE	3.452
CD+BE	53.862	16.86	1	9.96	0.09	CD+BE	-5.190
E+BCD	17.293	5.42	1	3.20	0.21	E+BCD	2.941
ERROR *	10.809		2	5.405			
TOTAL	319.342	100.00	7				

*El error es el resultado de agrupar todos los términos que contribuyen menos del 5% de la suma total de cuadrados, específicamente: B y BC

En la tabla en la columna de efectos medios se aprecia que C es significativo a α = 0.05% y que la interacción CD es significativa a α = 0.10%; el resto de efectos no es significativo. Se concluye que el factor C es importante y que la interacción CD puede también ser importante. Como el estimado del efecto C es positivo (S/N = +9.269), se debería operar al nivel alto de C para maximizar la respuesta (23 segundos). Sin embargo, como la interacción CD es significativa, primero revisar el ploteo de la interacción CD. En la figura 1.14:

FIGURA 1.14:INTERACCION CD



De la figura se aprecia que C+ y D- maximizan S/N.

Taguchi basado en los resultados se dedica a seleccionar la condición óptima de niveles de factor. Sin embargo, recomienda experimento de confirmación y hace esfuerzo para que cada diseño sea sólo un paso en un proceso secuencial para mejorar productos y procesos.

II. Segundo paso del análisis de datos es estudiar el efecto de los factores sobre la respuesta actual (altura libre de hoja de muelle) que deseamos controlar en 8 pulgadas. Nuestro propósito, en este caso, es determinar si hay factores entre aquellos que no afectan significativamente a S/N los cuales puedan ser usados para ajustar la altura media de la hoja de muelle. En este análisis estudiamos el efecto de la T° del aceite templado mediante la inclusión del factor ruido o con los 4 factores controlables. Así estudiaremos 5 factores con varios efectos de interacciones.

Hay ahora 16 configuraciones experimentales (L16) (puntos de diseño) con 3 repeticiones para cada configuración. Esto es, para cada punto de diseño en el arreglo interno original, hay ahora 2 puntos de diseño (uno para O- y el otro para O+) y cada nivel de factor combinado con los 5 factores es observado 3 veces. No hay razón para agrupar cualquier suma de cuadrados aquí dado que ya tenemos 32 gl en la suma de cuadrados de errores (puros). Sin embargo, el concepto de aleatorización es extremadamente importante aquí. Si estas son 3 observaciones consecutivas en lugar de 3 verdaderas repeticiones (al azar), no tendremos una adecuada medida del error. Una revisión de la tabla siguiente indica que la medida de la variancia del error parece razonable para estos datos debido a muchos de los efectos "despreciables" tienen cuadrado de media que son comparables con el cuadrado de la media del error.

CUADRO 1.31. ANALISIS DE VARIANCIA PARA RESPUESTAS DE ALTURA LIBRE CUANDO O ES TRATADO COMO UN FACTOR CONTROLABLE

FUENTE	SS	gl	MS	F	P	NOM- BRE DE EFECTO	EFECTO MEDIO Y
B+CDE	0.587	1	0.587	35.44	0.000001	B+CDE	0.221
C+BDE	0.373	1	0.373	22.52	0.0004	C+BDE	-0.176
BC+DE	0.004	1	0.004	0.24	0.63	BC+DE	-0.017
D+BCE	0.010	1	0.010	0.60	0.44	D+BCE	-0.029
BD+CE	0.005	1	0.005	0.30	0.69	BD+CE	-0.020
CD+BE	0.015	1	0.015	0.91	0.35	CD+BE	-0.035
E+BCD	0.129	1	0.129	7.79	0.01	E+BCD	0.104
O+BCDEO	0.809	1	0.809	48.85	<0.000001	O+BCDEO	-0.260
BO+CDEO	0.086	1	0.086	5.19	0.03	BO+CDEO	0.085
CO+BDEO	0-328	1	0-328	19.80	0.0001	CO+BDEO	0.165
BCO+DEO	0.001	1	0.001	0.06	0.81	BCO+DEO	-0.010
DO+BCEO	0.035	1	0.035	2.11	0.16	DO+BCEO	-0.054
BDO+CEO	0.020	1	0.020	1.21	0.26	BDO+CEO	0.040
CDO+BEO	0.027	1	0.027	1.63	0.21	CDO+BEO	-0.047
EO+BCDO	0.009	1	0.009	0.54	0.47	EO+BCDO	0.027
ERROR*	0.530	32	0.017				
TOTAL	2.97	47					

El efecto más importante es aquel del factor ruido O. Otros factores que también son significativos en el nivel $\alpha = 0.01$ son (en orden de importancia) B,C,CO y E. Así el factor ruido es importante y su control debe ser considerado. (Nota.- Ello, por supuesto, sólo si es posible controlarlo). Como el estimado del efecto de O es negativo (-0.260), la T° del aceite templado más baja (130-150°F) da la mayor altura libre mientras que la mayor T° (150-170°F da la menor altura libre).

Por lo tanto, ninguna de las interacciones inicialmente propuestas (BC,BD y CD) fue significativa, aún con $\alpha = 0.10$. Como B y E fueron significativos en el análisis del ANVA con (16 corridas) pero no lo fueron con el análisis de S/N (8 corridas) concluimos que los factores B y/o E podrían ser usados para controlar la altura libre de la hoja de muelle sin tener un efecto que vaya en detrimento sobre la variabilidad del proceso. Así, si una gráfica de control indica que la media del proceso estuvo fuera de control los factores B y/o E son los factores de ajuste para traer de vuelta la media del proceso dentro del control sin afectar la variabilidad del proceso. Porque ambos estimados de los efectos de B y E son positivos (+0.22 y +0.104, respectivamente). Luego al aumentar tanto B y E causaran un aumento en la media de la altura libre mientras que si tanto B ó E disminuyen: la media del proceso también lo hará. Por lo tanto, como E es la variable del proceso más fácil de cambiar, sería usada para la puesta a punto o control de aspectos pequeños del proceso.

Se ha visto como operar un proceso que en simultáneo reduce la variabilidad y ajusta la media al valor objetivo de 8"; pero hay un dilema ¿continuar tratando a O como un factor de ruido o intentar algún medio para controlar el factor O. Se analizó y decidió por el nivel bajo de T° de O (130-150°F). Se decide por considerar O como un factor controlable debido a la fuerza de su efecto, ello era más útil en comparación con estrategias alternativas.

En este punto un experimento complementario fue realizado usando la T° de aceite templado sólo en su rango bajo. Este no es un experimento de confirmación en el sentido usual porque la T° del aceite templado fue mantenida en el rango menor.

La alta significancia de C observada originalmente, en el ANVA de S/N no estuvo presente en estas corridas. Como el rango alto de T° (150-170°F) no se incluyó en estas corridas, esto sugiere que allí puede estar una interacción entre los factores C y O. Así el factor C puede ser incluida a la lista de factores de ajuste que ya incluye B y E.

Si las fluctuaciones de T° de aceite templado ocurren también tenemos una estrategia para controlar su efecto sobre la variabilidad de la altura de los muelles: aumentar C para minimizar el efecto sobre la variabilidad inducidas por la variación en la T° del aceite templado y simultáneamente ajustar B y/o E así que la altura media es alcanzada sobre el objetivo.

Considerando O como factor controlable y calculando S/N para cada uno de los 16 puntos de diseño con 3 réplicas. Para el primer punto de diseño (ej. B,C,D,E,O en sus niveles más bajos) los cálculos son:

$\bar{y} = (7.78 + 7.78 + 7.81) / 3 = 7.79$ Ecuación 1.84

$S^2 = [(7.78 - 7.79)^2 + (7.78 - 7.79)^2 + (7.81 - 7.79)^2] / (3-1) = 0.0003$ Ecuación 1.85

$S/N = 10 \log (7.79^2 / 0.0003) = 53.06$ Ecuación 1.86

Luego dichos valores se presentan en el siguiente cuadro 1.32:

CUADRO 1.32. RESUMEN DE ESTADISTICOS PARA LOS DATOS CUANDO O ES CONSIDERADO COMO UN FACTOR CONTROLABLE

B	C	D	O	E	$\bar{y}$	S^2	S/N
-	-	-	-	-	7.79	0.0003	53.06
+	-	-	-	+	8.07	0.0273	33.78
-	+	-	-	+	7.52	0.0012	46.73
+	+	-	-	-	7.63	0.0104	37.47
-	-	+	-	+	7.94	0.0036	42.43
+	-	+	-	-	7.95	0.0496	31.05
-	+	+	-	-	7.54	0.0084	38.31
+	+	+	-	+	7.69	0.0156	35.77
-	-	-	+	-	7.29	0.0373	31.54
+	-	-	+	+	7.73	0.0645	29.67
-	+	-	+	+	7.52	0.0012	46.73
+	+	-	+	-	7.65	0.0092	38.02
-	-	+	+	+	7.40	0.0048	40.47
+	-	+	+	-	7.62	0.0042	41.38
-	+	+	+	-	7.20	0.0016	45.02
+	+	+	+	+	7.63	0.0254	33.60

Además el ANVA nuevo para S/N se presenta en el siguiente cuadro 1.33:

CUADRO 1.33. ANALISIS DE VARIANCIA PARA RESPUESTAS DE S/N CUANDO O ES TRATADO COMO UN FACTOR CONTROLABLE

FUENTE	SS	%SST	gl	F	P	NOMBRE DE EFECTO	EFECTO MEDIO S/N
B+CDE	253.208	38.97	1	20.35	<0.000001	B+CDE	-7.956
C+BDE	20.634	3.18	1	-	-	C+BDE	2.271
BC+DE	0.003	-	1	-	-	BC+DE	-0.026
D+BCE	4.917	0.76	1	-	-	D+BCE	-1.109
BD+CE	13.304	2.05	1	-	-	BD+CE	1.824
CD+BE	34.899	5.37	1	2.81	0.12	CD+BE	-2.954

E+BCD	2.698	0.42	1	-	-	E+BCD	-0.821
O+BCDEO	9.105	1.40	1	-	-	O+BCDEO	-1.509
BO+CDEO	28.276	4.35	1	-	-	BO+CDEO	2.659
CO+BDEO	30.941	4.76	1	-	-	CO+BDEO	2.781
BCO+DEO	89.918	13.84	1	7.23	0.02	BCO+DEO	-4.741
DO+BCEO	90.678	13.96	1	7.29	0.02	DO+BCEO	4.761
BDO+CEO	13.414	2.06	1	-	-	BDO+CEO	-1.831
CDO+BEO	56.663	8.72	1	4.56	0.06	CDO+BEO	-3.764
EO+BCDO	1.108	0.17	1	-	-	EO+BCDO	-0.526
ERROR*	124.397		10				
TOTAL	649.766	100.00	15				

Los resultados son sorprendentemente diferentes de los observados en el primer análisis de S/N y explican las condiciones del experimento seguido. Note que B es significativo a $\alpha = 0.01$ y DO y BCO son significativos a $\alpha = 0.05$. La interacción BCO se presenta en la figura siguiente y DO en la misma figura. Note que aunque C no es significativa, eso no puede dejado de lado porque BCO es significativa.

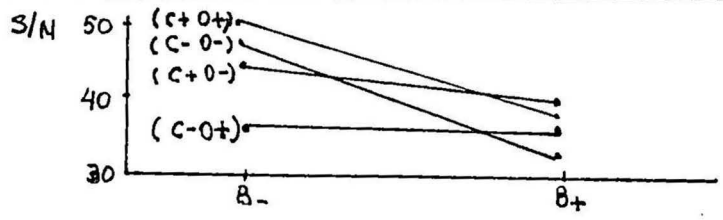


FIGURA 1.15. PLOTEO DEL EFECTO INTERACCION BCO SOBRE S/N

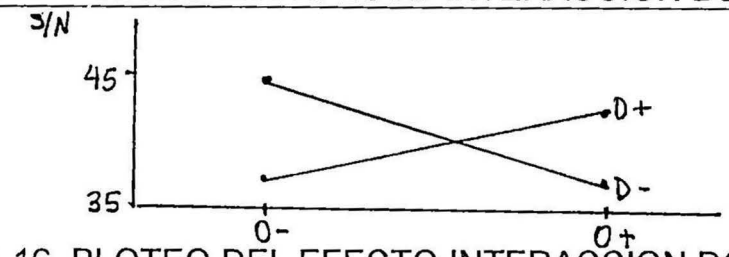


FIGURA 1.16. PLOTEO DEL EFECTO INTERACCION DO SOBRE S/N

Hay 2 estrategias alternativas que se podrían seguir en este punto. Si la T° del aceite templado (O) no puede ser controlada durante la producción normal, entonces los factores C y D deben ser considerados en C+, D- para controlar la variabilidad de la altura de la hoja de muelle. Los factores B y E deben entonces ser usados para mover la altura media libre de la hoja de muelle hacia el valor objetivo. Por otra parte, si la T° del aceite templado (O) puede ser controlada durante la producción, entonces los factores B,C,D y O deben todos ser considerados en sus niveles más bajos para reducir la variabilidad del proceso. Esta combinación de niveles de factor es seleccionada porque produce una respuesta máxima para el modelo fijado con sólo los términos B, BCO, DO y CDO (Note que esta combinación es también la mejor si el modelo productivo incluye CD) . El factor E puede entonces ser ajustado para controlar la altura media libre a 8". Para ambas estrategias, debemos cuidarnos de la confusión de los efectos

estimados (ej. efecto estimado de la interacción CD está confundido con el efecto estimado BE), y por lo tanto , experimentos de confirmación son necesarios priorizar para implementar tales recomendaciones.
Alternativa.- Finalmente el autor sugiere que para que en el análisis se contemple más la variabilidad y que no interfiera el valor medio; se utiliza la siguiente fórmula de S/N: S/N = log S^2. Además que los factores no controlables se consideren dentro del arreglo interno.

1.5.3. ANAND, K.N. SOBRE EL USO DE GRAFICOS LINEALES; MULTINIVELES Y 2 RESULTADOS A LA VEZ
En su artículo "Mejora de la producción de Cera de Parafina a través de la optimización del Proceso usando el Método Taguchi de Experimentación", entre otros sostiene:

1. Experimentación en la Industria.- Se ha simplificado con el uso de Experimentos Factoriales Fraccionales EFF los cuáles involucran confusión de las interacciones de orden elevado. Los EFF pueden ser construidos por el uso de arreglos ortogonales. esto ha sido investigado por Rao, Kempthorne, Plackett y Burman, Addelman y Taguchi. El proceso de asignación de un arreglo ortogonal a un experimento específico se facilita con el uso de gráficas, llamados "gráficos lineales" desarrollados por Taguchi para representar interacciones entre pares de columnas en un arreglo ortogonal.

2. Diseño de la Investigación.- Luego del análisis del proceso y del conocimiento que se tiene del tema se llega a plantear la necesidad de optimizar: 5 factores (4 de 2 niveles y 1 de 3 niveles). El factorial total requeriría: 2 x 2 x 2 x 2 x 3 = 48 pruebas. Se adopta el enfoque ortogonal para reducir el Número de pruebas. Se estableció la importancia de analizar 5 efectos principales (A,B,C,D y E) y las interacciones AxB, AxC, AxD y AxE.

Se usó la técnica de gráficos lineales inventada por Taguchi para el diseño de experimentos.

CUADRO 1.34. FACTORES	NIVELES 1	2	3
A.TEMP.AGUA DE ENTRADA	65	55	-
TIEMPO EN MIN DE PRESION A:			
B.1100 psi	20	28	-
C.1550 psi	10	7	-
D.1800 psi	6	3	-
E.2100 psi	0	1	2

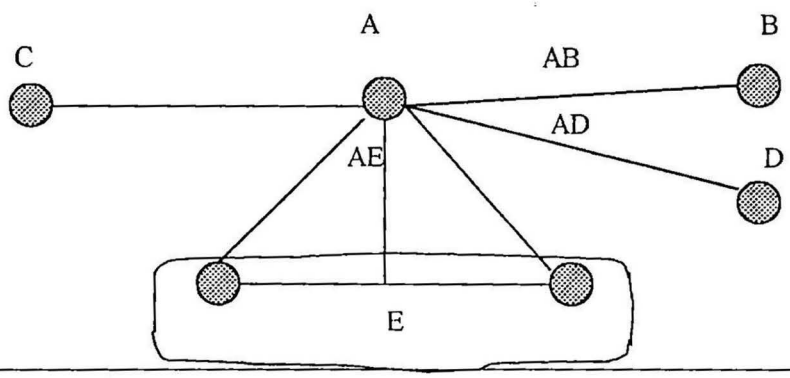
3. Gráficos Lineales.- Facilitan la asignación de factores e interacciones a columnas de un AO, pero para ello requieren de las "tablas triangulares de interacciones". Las columnas de un AO están representadas por los nodos y líneas.
a. Cuando 2 nodos están conectados por una línea significa que la interacción de las 2 columnas representadas por los nodos están confundidas con la columna representada por la línea. En un gráfico lineal, cada nodo y cada línea tiene asociado con él un número de columna distinto. Por lo tanto, la columna del arreglo es representada en su gráfico lineal una y sólo una vez.

Los gráficos lineales son útiles para crear columnas de 4 y 3 niveles en un AO de 2 niveles. Un factor de 4 niveles en un AO de 2 niveles es representado por 2 nodos y una línea que los una.
La asignación de un factor de 3 niveles en un AO de 2 niveles es hecha mediante una primera generación de 1 columna de 4 niveles mediante la técnica multinivel y luego uno de los niveles es hecho un nivel ficticio (ver anexo 4)

SELECCION DEL DISEñO USANDO GRAFICOS LINEALES

Los pasos seguidos en la selección de la distribución son:
1o. Expresar lo requerido por medio de un gráfico lineal: nodos (efectos principales) y líneas (interacciones).
2o. Calcular el No. total de g.l. requeridos para calcular todos los efectos factoriales que son de interés. El mínimo No. de corridas experimentales es igual al total de g.l. requeridos más 1. Luego escoger el AO más cercano al tamaño del experimento así determinado.
3o. Comparar el gráfico lineal standard del AO escogido con el gráfico lineal requerido obtenido en el paso 1o.
4o. Modificar el gráfico lineal estandard mediante supresión de líneas que juntan un par de nodos o mediante unión de nodos desconectados como se requiera para así hacer el correspondiente gráfico estandard para el gráfico lineal requerido. Así cada efecto factorial del gráfico lineal requerido es hecho corresponder con cada No. de columna del gráfico lineal estandard o modificado, respectivamente.
5o. Asignar cada factor a la columna respectiva de la tabla ortogonal estandard.
Ejemplo.
El gráfico lineal requerido para el presente experimento es el de la siguiente figura:

FIGURA 1.17. SOBRE INTERACCION ENTRE FACTORES DE 2 Y 4 NIVELES



Los g.l. requeridos para estimar el número de efectos principales y las interacciones AB, AC, AD y AE es 11:

4 (2 niveles) = 4 x 1 = 4 g.l. (factores A,B,C,D)
1 (3 niveles*) = 3 - 1 = 2 g.l. (factor E)
(*gl requeridos es No. niveles - 1)
AB (1 x 1*) = 1 g.l.
(*gl requeridos es el producto de los gl individuales)
AC (1x1) = 1 g.l.
AD (1x1) = 1 g.l.
AE (1x2) = 2 g.l.
Total: 11 g.l.

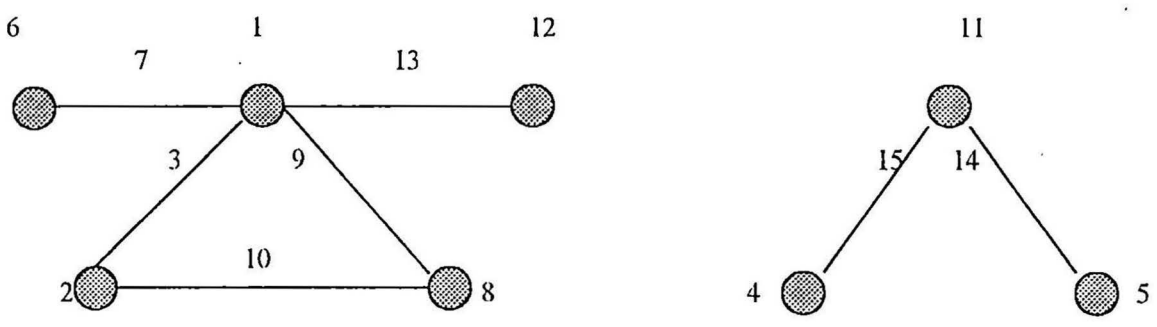
Luego el mínimo número de corridas experimentales es 11 + 1 = 12 y el AO más cercano es AO L16 (2^{15})
Luego, el experimento es diseñado como un AO L16, cuya distribución es: (ver cuadros) (16 filas y 15 columnas)

CUADRO 1.35. ARREGLO ORTOGONAL L16 (2^{15})

EXP	COLUMNA														
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

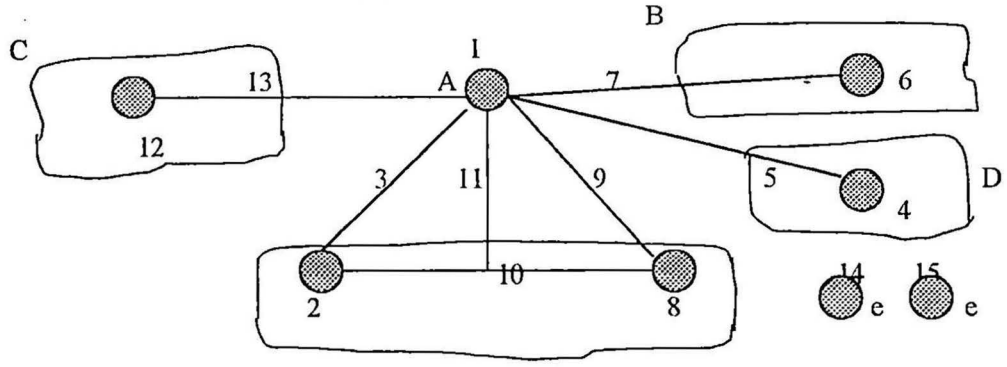
y gráfico lineal estándar, ver figura 1.18:

FIGURA 1.18 SOBRE INTERACCION ENTRE FACTORES DE 2 Y 4 NIVELES



Considerando el gráfico lineal estandard: eliminamos las líneas 14 y 15; 5 columnas: 4,5,11,14,y 15 quedan libres. La columna 11 se usa para la interacción 1-10. El nodo 1 se une al 4 porque la col.5 (interacción 1-4) está libre. Las no utilizadas columnas 14 y 15 son usadas para estimar el error. El gráfico lineal para el presente experimento está dado en la figura 1.19:

FIGURA 1.19. SOBRE INTERACCION ENTRE FACTORES DE 2 Y 4 NIVELES



La asignación de factores a las columnas fue hecha en la figura anterior. La distribución del experimento está dada en el cuadro 1.36:

CUADRO 1.36. L 16 (2^{15})

EXP.	A (1)	D (4)	B (6)	E (2,8,10)	C (12)
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2
3	1	2	2	1	2
4	1	2	2	2	1
5	1	1	2	3	1
6	1	1	2	2	2
7	1	2	1	3	2
8	1	2	1	2	1
9	2	1	1	1	1
10	2	1	1	2	2
11	2	2	2	1	2
12	2	2	2	2	1
13	2	1	2	3	1
14	2	1	2	2	2
15	2	2	1	3	2
16	2	2	1	2	1

Respuestas:
Las respuestas consideradas durante el experimento fueron:
(i) producción y (ii) contenido de aceite de la parafina deodorizado.

Conducción del Experimento:
Resultados:

CUADRO 1.37. RESULTADOS

EXP	T °C	MIN B	MIN C	MIN D	MIN E	MASA kg CERA LIQ	CERA DEOD	CERA DEOD	CONT CERA DEOD POR MUESTRA 1	2
1	65	20	10	6	0	96.5	60.8	63.0	2.80	3.05
2	65	20	7	6	1	96.0	62.2	64.7	2.85	3.19
3	65	28	7	3	0	96.0	59.3	61.7	2.70	3.10
4	65	28	10	3	1	96.0	58.5	60.9	2.70	2.90
5	65	28	10	6	2	95.0	57.0	60.0	2.55	2.80
6	65	28	7	6	1	96.5	59.5	61.6	2.90	3.10
7	65	20	7	3	2	98.0	62.0	63.2	2.95	3.19
8	65	20	10	3	1	95.5	60.0	62.8	2.76	3.15
9	55	20	10	6	0	95.0	64.5	67.8	3.53	3.73
10	55	20	7	6	1	96.5	69.5	72.0	3.28	3.45
11	55	28	7	3	0	96.5	72.5	75.1	3.45	3.20
12	55	28	10	3	1	97.0	68.0	70.1	3.28	3.06
13	55	28	10	6	2	100.5	68.0	67.6	3.12	2.95
14	55	28	7	6	1	96.0	69.5	72.4	3.12	3.25
15	55	20	7	3	2	96.5	68.0	70.4	3.19	3.32
16	55	20	10	3	1	96.0	64.0	66.6	3.40	3.25
COL	1 A	6 B	12 C	4 D	2810 E					

ANALISIS Y RESULTADOS

Ejemplo de cálculos para la columna A:

$$SSa = \frac{(A_1-A_2)^2}{N} \qquad A_1 = \text{Suma } A_{1j} \quad A_2 = \text{Suma } A_{2j}$$

Ecuación 1.87

$A_1 = 498.23$ $A_2 = 562.35$

$$= \frac{(64.12)^2}{16} = 256.96$$

A continuación se presenta en ANVA para la producción:

CUADRO 1.38. ANVA DE LA PRODUCCION

FUENTE VARIAC	g.l.	SUMA CUA DRADOS	MEDIA SU MA CUA DRADOS	F	R (%)
A	1	256.96	256.96	428.27a	77.8
B	1	0.10	0.10*		
C	1	31.42	31.42	52.37[a]	9.2
D	1	0.19	0.19*		
E	2	5.38	2.69	4.48c	1.3
AXB	1	19.76	19.76	32.93[a]	5.8
AXC	1	10.50	10.50	17.50[a]	3.0
AXD	1	0.58	0.58*		
AXE	2	1.71	0.86*		
ERROR	4	2.80	0.70		
TOTAL	15	329.40			97.11
ERROR AGREGADO	9	5.38	0.60		

Ejemplo de cálculo del %:

$$\% = \frac{256.96 - 0.60}{329.4} \times 100 = 77.8$$ Ecuación 1.88.

a: significativo al 1%
c: significativo al 5%
De la Tabla de F:
F1,6 a 0.05 = 5.99; a 0.01 = 13.74
V1= 1; V2= 6 (15-9)

F2,6 a 0.05 = 5.14; a 0.01 = 10.92
F2,9 a 0.05 = 4.26; a 0.01 = 8.02

Factores A,C y E e interacciones AxB y AxC son significativas. R da el % de los factores críticos. 97% del total de variación es explicada por los factores críticos.

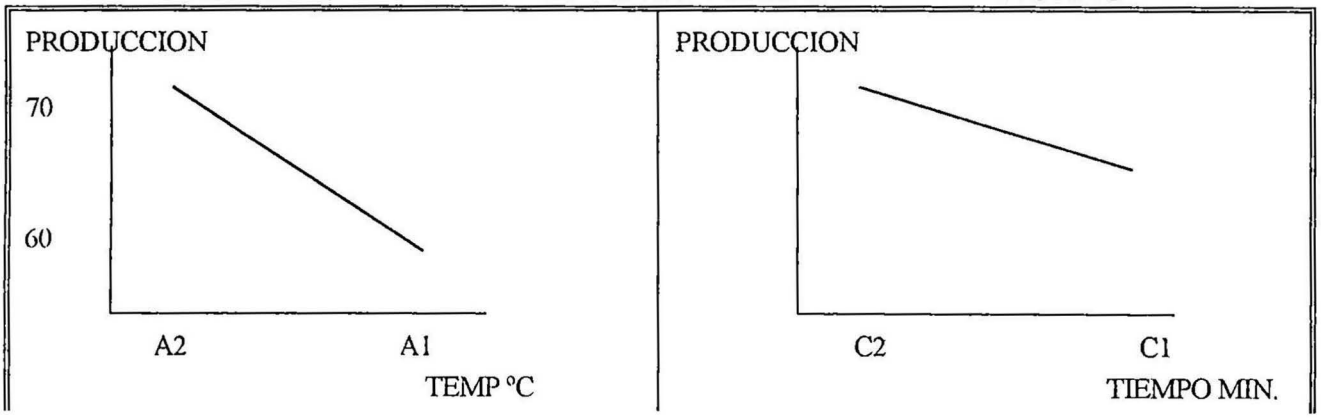
A continuación se presenta el ANVA para el contenido de aceite, en el cuadro 1.39 .

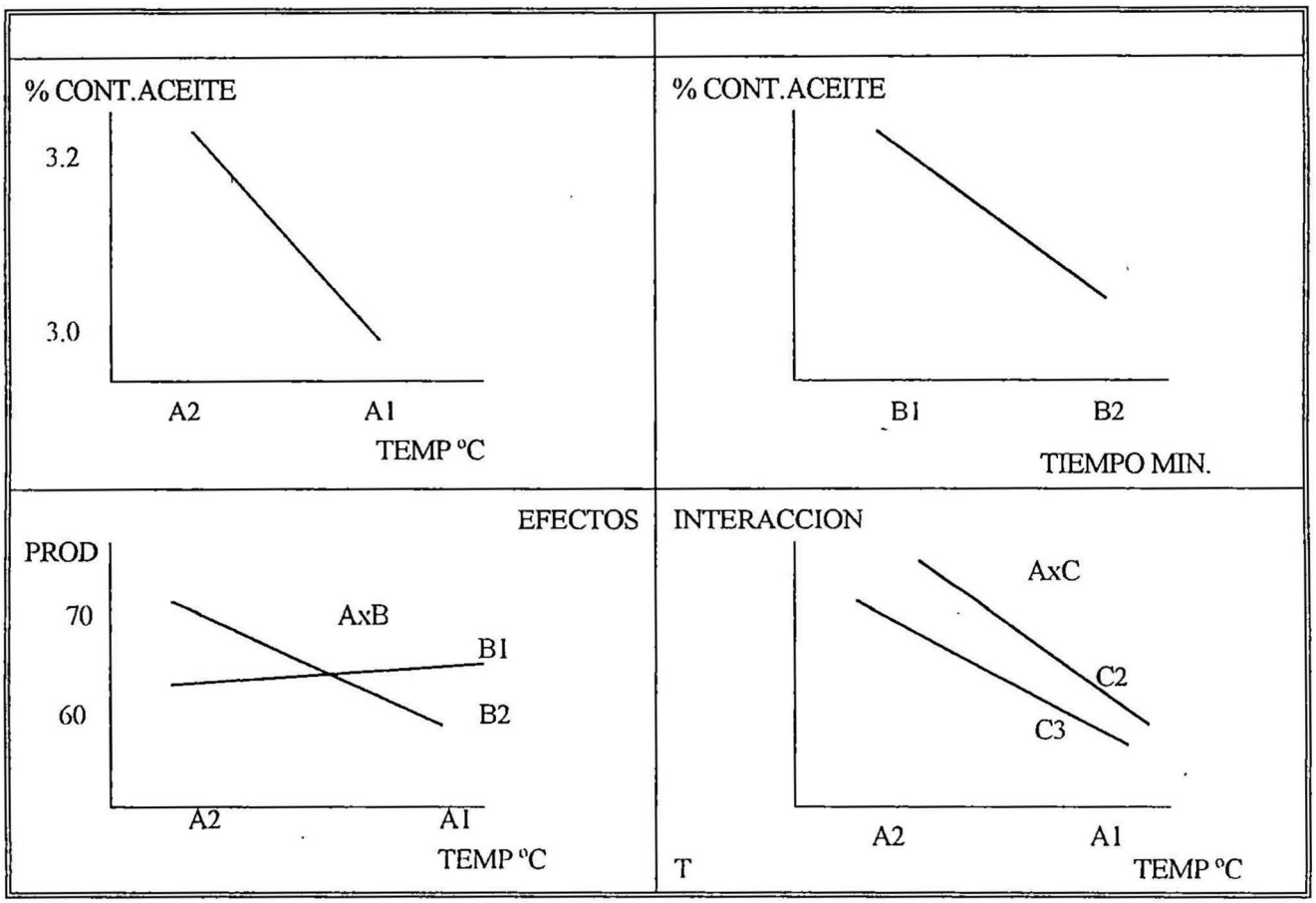
CUADRO 1.39. ANAV PARA EL CONTENIDO DE ACEITE

FUENTE VARIAC	g.l.	SUMA CUA DRADOS	MEDIA SU MA CUA DRADOS	F	R (%)
A	1	1.08413	1.08413	47.28a	47.8
B	1	0.26463	0.26463	11.54[a]	10.9
C	1	0.04575	0.04575	2.00	
D	1	0.00011	0.00011b		
E	2	0.13880	0.06940	3.03	
AXB	1	0.00883	0.00883b		
AXC	1	0.05533	0.05533	2.41	
AXD	1	0.00756	0.00756b		
AXE	2	0.10610	0.0530b	2.31	
ERROR 1	4	0.03334	0.00833	N.S.c	
TOTAL 1	15	1.74455			
ERROR 2	16	0.47765	0.02985		
TOTAL	31	2.22220			97.11
ERROR AGREGADO	23	0.52749	0.02293		

a: Significativo al 1%
b: Parte de Error Agrupado
c: N.S. No significativo
Error 1 no es significativo; luego se estima 1 error agrupado y los efectos principales e interacciones son evaluados contra este error agrupado Error 2 y Error Agrupado.
A continuación se presentan las curvas de los efectos sobre la producción y el contenido de aceite: Efectos principales e interacciones.

FIGURA 1.20. EFECTOS PRINCIPALES E INTERACCIONES





Seguidamente se calcula el cuadro 1.40 de Respuestas Promedio de factores significativos.

CUADRO 1.40. FACTOR/ NIVEL	PRODUCCION %	CONT. ACEITE %
A1	62.28	2.92
A2	70.29	3.29
B1		3.19
B2		3.01
C1	64.88	
C2	67.69	
A1B1	63.47	
A1B2	61.09	
A2B1	69.26	
A2B2	71.32	
A1C1	61.69	
A1C2	62.87	
A2C1	68.08	

A2C2	72.50	
E1	66.95	
E2	66.72	
E3	65.35	

Mejores niveles de los Factores Críticos:

CUADRO 1.41. RESPUESTAS	MEJORES NIVELES DE FACTORES CRITICOS
PRODUCCION	A2, B2, C2, E1
CONTENIDO ACEITE	A1, B2

COMBINACION OPTIMA

Un examen del mejor nivel de los factores significativos en el análisis de arriba revela un área de conflicto. El primer nivel del factor A (temperatura del agua de ingreso) se ha encontrado ser mejor para el contenido de aceite, pero el segundo nivel de A es mejor para la producción. Porque la producción es mayor a A2 y el contenido de aceite a A2 es 3.29% lo cual es bueno dentro del límite máximo especificado en la norma(3.5%), luego es preferible el nivel A2. La interacción AB y AC fue significativa, y la producción máxima fue obtenida por la combinación de A2B2 y A2C2. Los niveles B2 y C2 se convierten en la elección correcta para los factores B y C, respectivamente. Los niveles para los factores no críticos (D) fue escogido como D2, el menor tiempo para la presión. Así la combinación óptima obtenida es A2B2C2D2E1

El resultado esperado con respecto a la producción y contenido de aceite para la combinación óptima está dado por:

$$\text{Producción} = \overline{A2B2C2} + \overline{E1} - \overline{T} = 73.76 + 66.95 - 66.28 = 74.3\% \quad \text{Ecuación 1.89}$$

$$\text{Aceite} = \overline{A2} + \overline{B2} - \overline{T} = 3.2 + 3.01 - 3.10 = 3.2\% \quad \text{Ecuación 1.90.}$$

ENSAYOS CONFIRMATORIOS

Los resultados de las 2 pruebas confirmatorias realizados con la combinación óptima (A2B2C2D2E1) son dados en el cuadro:

CUADRO 1.42. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CONFIRMATORIAS			
RESPUESTA A PRUEBA	PRODUCCION % EN MASA	CONTENIDO DE ACEITE % EN MASA POR MUESTRA	
		1	2
I	71.43	3.10	2.95
II	73.95	3.12	3.00
PROMEDIO	72.69	3.04	

Así la recuperación de aceite deodorizado se incrementó desde 58.5% (datos iniciales) al nivel promedio de 72.7% y también el promedio de contenido de aceite está por debajo del máximo especificado.

IMPLEMENTACION

La combinación óptima así alcanzada es implementada por la planta de manera regular y ha incrementado la recuperación de cera de parafina del inicial 30-40% a sobre 60% (producción final). El reciclaje de la cera de parafina para alto contenido de aceite es totalmente eliminado. Así, ha sido posible realizar un ahorro aproximado de cerca de un millón de Rs. (moneda hindú) (40000 dólares por año).

CONCLUSION

Se ha demostrado que un experimento factorial fraccional usando el arreglo ortogonal desarrollado por Taguchi ha ayudado a identificar los parámetros críticos del proceso y sus mejores niveles para mejorar su producción así como su calidad (contenido de aceite). La producción de cera de parafina ha mejorado hasta un nivel muy cercano a lo teóricamente esperado. El 10-15% de reciclaje de los materiales por exceso de aceite es totalmente eliminado.

La experimentación ha sido bastante económica porque los resultados son logrados con sólo 16 pruebas, cuando un experimento factorial total habría requerido de 48 ensayos. Aún algunas de las interacciones de primer orden, las cuales se considera que podrían ser significativas, podrían ser estudiadas.

La experimentación ha sido altamente exitosa para la mejora de a producción, así toda a variación (97%) es explicada por los efectos principales e interacción significativos. Así un alto porcentaje de la variación explicada resultó en resultados altamente reproducibles con respecto a la producción. Asimismo, se logró un resultado de utilidades de 6.5%

En el Anexo 4 se presenta el Anexo del Artículo de ANAND.

1.5.4. MONTGOMERI,E. SOBRE GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL Y DETERMINACION DE FACTORES SIGNIFICATIVOS

En su texto "Estadística General" propone el siguiente procedimiento para elaborar un Gráfico de Probabilidad Normal:

1o. Los datos se ponen en orden ascendente.

2o. Se calcula (j-.5)/n y se completa el cuadro de datos:

CUADRO 1.43. CALCULOS DE LA CURVA DE PROBABILIDAD NORMAL

j	Xij	(j-.5)/n
1	-1.390	.05
2	-.801	.15
3	-.563	.25
4	-.314	.35
5	-.179	45
6	.504	.55
7	.863	.65
8	1.080	.75
9	1.153	.85
10	1.436	.95

3o. Los pares Xj y (j-.5)/n se grafican en papel de probabilidad normal; Xj en la horizontal y 100 (j-.5)/n en la vertical derecha.

4o. Una línea recta se dibuja a partir de los puntos graficados.

5o. Los puntos que caen lejos de la recta no siguen la distribución normal, luego, son significativos sus efectos.

Nota.- La gráfica puede construirse sobre papel gráfico ordinario graficando los valores normales estandarizados Zj contra Xj donde los valores normales estandarizados satisfacen: $(j-.5)/n = P(Z \leq Zj) = Þ(Zj)$

Por ejemplo se busca .05 en la tabla de Z y a los costados se ubica 1.64; como Xij = -1.390 luego Zj = -1.64 y así sucesivamente se continua con todo el cuadro.

1.5.5. Box y Hunter, en su texto "Estadística para Investigadores", presenta un acápite sobre Análisis de factoriales utilizando Papel Probabilístico Normal. Allí se sugiere representar los gráficos probabilísticos normales con P% en el extremo izquierdo y en la horizontal el valor respectivo. La escala probabilística normal se elabora con una tabla especial donde hay escalas para N= 16,32,64; 15,31,63. Correspondiendo a $Pi = 100(i-.5)/m$, para i= 1,2,...m

Por ejemplo un experimento 2^4 ; con m = 15 efectos (aspectos principales e interacciones) que representan 15 contrastes entre pares de medias que contienen 8 observaciones cada una. Al hacer un gráfico en papel probabilístico normal producirían una recta. Para ello se ordena los 15 efectos en el cuadro siguiente.

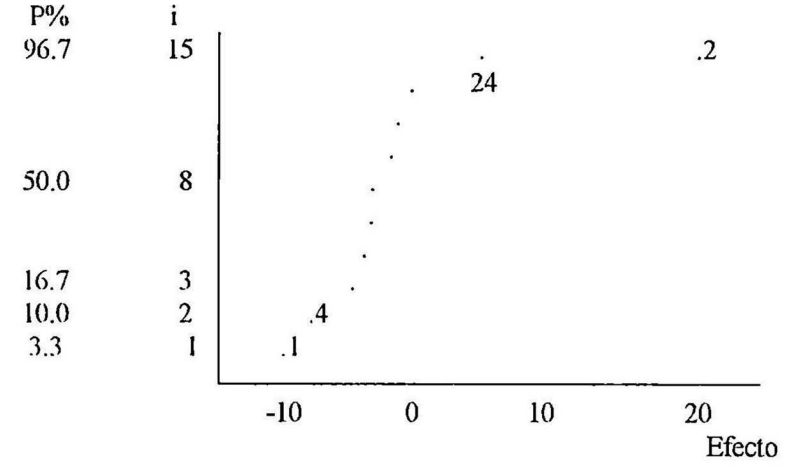
CUADRO 1.44. VALORES PARA GRAFICO PROBABILISTICO NORMAL

No.Orden i	1	2	3	4	5	6	7
EfectoValor	-8.0	-5.5	-2.25	-1.25	-.75	-.75	-.25
Identidad Efecto Col	1	4	3	23	123	234	34
P=100(i-.5) /15	3.3	10.0	16.7	23.3	30.0	36.7	43.3

8	9	10	11	12	13	14	15
-.25	-.025	0.0	.50	.75	1.0	4.5	24.0
134	1234	14	124	13	12	24	2
50.0	56:7	63.3	70.0	76.7	83.3	90.0	96.7

Luego se hace el gráfico con la escala de la tabla E para m=15

FIGURA 1.21. GRAFICO PROBABILISTICO NORMAL



Nota.- En el ejemplo el efecto principal más pequeño es del factor 1 (es -8.0) = 1/15 = 6.7% de la distribución acumulada y se dibuja en 1/2 (1/15) = 3.3%. El siguiente efecto más grande es del efecto principal del factor 4, que se dibujará a 1.5/15 = 10%. En el gráfico se ve que 11 efectos se ajustan a una línea recta y que los efectos 1,4,24,2 no se pueden explicar por el ruido.

Asimismo, Box, G.; Hunter, W y Hunter, J.S. en su texto "Estadística para Investigadores", en un ejemplo sobre Diseños Factoriales Fraccionales a 2 niveles presentan el ejemplo de un reactor ; en donde se aprecia que el gráfico normal de un diseño factorial 2^5 completo presenta como efectos distinguibles del ruido los efectos principales 2,4,5 y las interacciones 24 y 45. Luego se elabora la media fracción y se gráfica y se encuentra los mismos efectos distinguibles del ruido.

2. METODOLOGIA DE APLICACIÓN DE LOS METODOS TAGUCHI A LAS PEQUEÑAS Y MICROEMPRESAS.

2.1. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE METODOLOGIA

Luego de analizar la vasta información bibliográfica obtenida, se elaboró el marco conceptual fundamental, que se presenta en la primera parte del presente estudio.

En el capítulo de bibliografía se puede apreciar la gran cantidad de información revisada, de la cual se tomo aquellas propuestas que permitían comprender mejor los Métodos y simplificar algunos pasos que son complejos y laboriosos, tal como los plantea el Dr. Taguchi en sus textos y publicaciones.

Se tomó como base para la metodología la propuesta de Taguchi, pero además se incluyeron los aportes de autores recientes. Es así que lo referente al esquema de la metodología general se toma de Glen Peace, en su texto "Taguchi Methods", con base a lo indicado por Taguchi. El texto de Peace es muy extenso y tiene la virtud de explicar los diversos pasos de manera detallada, cosa que no se encuentra en los textos de Taguchi. Por otra parte Peace se ha dado el trabajo de presentar diversos ejemplos de experimentación, incluyendo los diversos pasos que se deben seguir en toda investigación, es más explica cada uno de ellos. Con base a dichos considerandos es que se utilizó lo propuesto por Peace como base del esquema general del método. Aspectos como los de planteamiento de problema, determinación del producto o proceso a estudiar y las características respectivas son temas que se plantean en nuestra propuesta de manera simplificada, pero según el enfoque de Peace. La selección de los factores controlables y no controlables se hace con base a lo expuesto por Taguchi y Peace, en sus respectivos textos.

Lo referente al trabajo de selección del arreglo ortogonal y la asignación de columnas se toma de lo propuesto por Ross en su texto " Taguchi Techniques for Quality Engineering", y en el artículo de Kackar "Off-Line Quality Control, Parameter Design and Taguchi Methods" y lo aportado por Pignatello, que es mencionado por Kackar. Si bien es cierto los arreglos ortogonales son propuestos por Taguchi, los otros autores tienen la virtud de haber presentado ejemplos simplificados y detalles de selección de arreglos ortogonales y selección de columnas, que no se aprecian muy claramente en los textos de Taguchi. Lo mismo ocurre con los arreglos internos y externos, la explicación de Peace en este caso es muy apropiada, para nuestros usos para las PYMES.

Lo referente a los cálculos y el análisis se sigue con base a lo planteado por Pignatello y Anand. El ejemplo que presenta Pignatello como parte del artículo de Kackar es muy didáctico sobre los cálculos a realizar. Allí se dan detalles que no

se aprecian muy claros en los textos de Taguchi. Por otra parte el ejemplo de Anand, en su artículo " Improving Parafin Wax Yield Trough Process Optimization Using Taguchi´s Method of Experimentation" es muy didáctico sobre los cálculos en general y en especial en el caso que se trabaje con multiniveles y dos resultados (características) a la vez. De la bibliografía revisada, es el único caso en que de manera detallada se hacen los cálculos sobre dos características que se quieren mejorar a la vez.

Un aspecto que no se considera en la metodología de Taguchi, presentada en sus textos, pero que en los autores recientes se contempla como un mecanismo de comprobar los resultados es el uso de la gráfica de probabilidad normal. Diversos autores presentan esta herramienta como una técnica de comprobación de los resultados, sin embargo, la mayoría de estos autores no detalla los cálculos y pasos para usar esta técnica. Por ello se toma lo propuesto por Montgomeri y Box y Hunter, en sus textos sobre Estadística, que si son muy didácticos al respecto.

Otro aspecto importante es el referente a los cálculos sobre el Análisis de variancia, que nuevamente Taguchi los presenta de manera muy concreta y rápidamente procede a discutir sobre los resultados de los ANVA. Por ello para una mayor claridad de la metodología se recurrió al texto de Ross y al artículo de Anand, que al respecto son muy didácticos y nos sacan de muchas dudas

Finalmente, lo referente a la confirmación se toma de lo propuesto por Peace. Peace presenta una serie de ejemplos y en ellos nunca falta lo referente al experimento de confirmación, incluso introduce explicaciones sobre fórmulas que presenta Taguchi, y que no están muy explicadas en los textos de Taguchi.

Como se puede ver se ha mantenido lo fundamental de la metodología de Taguchi, pero se ha mejorado y simplificado con los aportes de otros autores más recientes. Sin lugar a dudas que si se tomara toda la metodología de Taguchi, el trabajo a realizar es más complejo., pero los resultados son similares, tal como lo demuestran los autores más recientes.

El trabajo realizado no desvirtúa el mérito de Genichi Taguchi, que es muy grande al haber desarrollado una metodología original y muy práctica, en su momento. Lo que pasa es que con los años diversos autores más recientes han mejorado y simplificado la metodología, y además dan mayores seguridades de los resultados a fin de aumentar el grado de confianza, con pruebas adicionales.

Por otro lado se tenía como objetivo en llegar a una metodología práctica que permita aplicar lo fundamental de los Métodos Taguchi, pero que simplifique, en lo posible, a fin de que se pueda aplicar a las PYME con resultados satisfactorios.

Lo obtenido y que se presenta a continuación se considera satisface el objetivo perseguido, y se considera que es un aporte en la corriente de trabajo sobre la aplicación de los Métodos Taguchi a las diversas actividades productivas y de servicios, con el objeto de mejorar productos y procesos.

La Metodología plantea los siguientes pasos:

Paso 1. Plantear el Problema.

Paso 2. Diseño del Experimento.

Paso 3. Realizar las pruebas.

Paso 4. Analizar Resultados.

Paso 5. Confirmación de Resultados.

METODOLOGIA DE APLICACIÓN DE LOS METODOS TAGUCHI EN LAS PYME
1.PLANTEAR EL PROBLEMA
2.DISEÑO DEL EXPERIMENTO
3.REALIZAR LAS PRUEBAS
4.ANALIZAR RESULTADOS
5.CONFIRMACION DE RESULTADOS

Las acciones de cada paso y su detalle son:

Paso 1. Plantear el Problema.

1.1. Determinación del Producto o Proceso objeto de mejora y describir sus características.

La obtención de un entendimiento básico del proceso y/o producto bajo estudio es esencial para un efectivo planeamiento del experimento. El definir el producto o proceso sobre el que se va a trabajar es importante, ya que todo el esfuerzo posterior podría ser tiempo perdido si se elige un proceso o producto que no es importante o que es muy difícil de mejorar.

Para esta actividad se recomienda utilizar herramientas de análisis como :
a. Tormenta de ideas
b. Diagrama de Pareto
c. Diagrama de flujo del proceso
d. Diagrama Causa Efecto
e. Análisis de árbol de fallas
f. Análisis de efecto y tipos de fallas FMEA.

El detalle de estas técnicas esta bastante desarrollado en textos de calidad de total, por lo que no nos ocuparemos de ellos en detalle en este estudio.

Lo importante es seleccionar un producto o proceso cuya mejora produzca una mejora significativa para los intereses de la PYME que está buscando mejorar.

1.2. Determinar la Característica (s) de Calidad y su unidad de medida que se espera mejorar (variable dependiente). Ello se puede hacer usando el diagrama causa – efecto o alguna técnica similar.

Luego de seleccionar el producto o proceso por mejorar se requiere determinar la característica de calidad a mejorar Para ello también se pueden utilizar las mismas herramientas que se indicaron en el paso anterior. Sin embargo con relación a la determinación de la característica para el diseño de un experimento debe hacerse un trabajo en equipo y tenerse presente:

1) Definición clara de los objetivos en términos que cada uno de los miembros del equipo puedan entenderlos.

2) Asegurar que todos los miembros del equipo estén de acuerdo y van a apoyar los objetivos seleccionados por la mayoría del equipo

3) Llegar a acuerdo sobre los criterios para medir la habilidad para lograr los objetivos

4) Establecer comunicación que asegure que todo el personal afectado estará al tanto de cualquier cambio en los objetivos o la característica de la calidad

5) Proveer la oportunidad de responder a cualquier cambio para así continuar el aseguramiento del acuerdo y apoyo por todos los miembros del equipo.

Asimismo, se requieren de consideraciones a tener en cuenta sobre la característica de calidad, como son:

1) Definida en términos claros y medibles.
2) Selección de Unidades de medida y mediciones a realizarse
3) Instrumentos de medición: disponibilidad; exactitud.
4) Toma de muestras, según criterios adecuados.
5) Característica de aditividad.

Significado de Aditividad .- El impacto de factores significativos puede ser combinado (agregado ó adicionado) para determinar el efecto total de los factores importantes.

Las características de calidad se pueden considerar en 3 categorías:

1) Características Medibles
2) Características Atributos
3) Características Dinámicas

Para nuestro estudio de PYMES sólo nos ocuparemos de las dos primeras:

LAS CARACTERISTICAS MEDIBLES

Son aquellas cuyo resultado final pueden ser medidas en una escala continua. Ejemplo : Dimensiones, peso, presión, etc.

Se pueden clasificar en 3 grupos:

A) Lo Nominal Lo Mejor:

Se refiere a una característica con una meta numérica específica o valor objetivo. Ejemplo: Altura, Longitud, Ancho, etc.

B) Lo Más Pequeño - Lo Mejor.

Se refiere a que la meta deseada es obtener un valor de cero. Ejemplo : desgaste de máquina, residuos, porcentaje de contaminación, etc.

Los Defectos son características discretas. Sin embargo, si hay suficiente variabilidad o una muestra suficientemente grande, el Nº de defectos puede enfocarse como continuo y ser definido como una característica de calidad "lo más pequeño: lo mejor". Pero debe tenerse cuidado debido a que los defectos en si tienen poca aditividad, por lo general, y deben ser definidos muy cuidadosamente y dentro de un estrecho margen.

C) Lo Más Grande: Lo Mejor.

Es para lograr el más grande valor posible. El infinito es el objetivo último. Ejemplos :Tensión, millas / galón, vida útil, Tª de ignición, etc.

LAS CARACTERISTICAS ATRIBUTO

Son características que no se pueden medir en una escala continua. Consisten en clases cuyo resultado final puede ser agrupado.
Ejemplo: Huevos. Grado A Pequeño
Grado B Medio
Grado C Grande

Grado D Extra Grande
Grado E Jumbo

Lo más simple sobre atributos es: Pasa - No Pasa; Aprobado - Fallado; Bueno - Malo.

Ejemplos de Medición de calidad de Atributos: Porcentaje de rechazos, porcentaje de desperdicios, rendimiento, Nº de defectos; Aceptable / no aceptable.

La desventaja que se tiene es que se requiere mayor número de muestras para obtener similar información que en el caso de características medibles (continuas) .

Otros ejemplos sobre atributos son: Porcentaje de contaminación, porcentaje de oxidación, porcentaje dañados, grado de daño de partes, clasificación de sabor, etc.

La característica de Calidad debe ser Medible.-

Un aspecto fundamental sobre la característica de calidad es que sea medible. Es muy importante para el plan del experimento determinar como se mediran los resultados .Temas como : qué será medido, dónde, cuándo, cómo , y quién lo hará deben precisarse.

Por otra parte, demoras y pérdidas de tiempo se pueden producir si no contamos con el medio de medición adecuado en el momento oportuno. Tambien, por problemas de medición, se pueden producir pérdidas de oportunidades de conocer más sobre los procesos y de resolver sus problemas.

Muchas veces el uso de medios de medición inadecuados pueden llevar a conclusiones erróneas; excesivas variaciones en las mediciones pueden llevar a deducciones erróneas ; la inexperiencia del operador puede traer errores ; etc.

La presencia de los problemas antes indicados son muestra de falta de planeamiento de las mediciones. En necesario considerar en la metodología como superar estos problemas , lo referente a la selección del medio de medición y su relación con los objetivos y características de calidad del experimento.

Se requiere planear la medición y para ello es fundamental,delegar en miembros del equipo de trabajo (de experimentación) lo referente a la disponibilidad del medio de medición , la exactitud de la medición, el tipo de operador, los costos de muestreo y los procedimientos a seguir. Para una PYME ello debe ser lo más simple posible, pero no por ello se puede obviar este tema.

De ser necesario, para ello los miembros del equipo pueden consultar con un

especialista en mediciones (metrólogo) o revisar información metrológica sobre su tema. Con base a la información que se obtenga, el equipo de experimentación deberá decidir sobre :

- El medio de medición a usar .
- El operario que efectuará las mediciones

Si no se tiene el medio de medición adecuado deberá cambiarse la característica de calidad a evaluar: seleccionar algo más factible de medir.

La importancia del planeamiento de las mediciones es más importante cuando se trata de estudiar un nuevo proceso o una nueva característica, que previamente no ha sido medida.

Muchas veces es recomendable trabajar con muestras de prueba antes del experimento; ello debido a :

1° Da buena información sobre la relación entre lo que está siendo medido y el objetivo que se está tratando de lograr.
2° Se determina si la característica de calidad es fácil medir
3° Se determina la sensibilidad a factores extraños.
4° Se obtiene información sobre la repetibilidad del proceso y sistema de medición.

Es de destacar si las mediciones dan mucha variabilidad debe redefinirse el método de medición o la característica de calidad a fin de lograr una mayor confiabilidad. Si la variabilidad es inherente al proceso, se requerirá controlar variables adicionales.

La disponibilidad del medio de medición.- Es importante y para ello se debe hacer, entre otras, las siguientes interrogantes:

¿ Existe el medio de medición apropiado y está disponible ?
¿ Qué medio de Medición se viene usando en la actualidad ?
¿ Cuáles son las unidades de medida ?
¿ Dichas Unidades tienen relación con los objetivos y son indicadores adecuados de la característica de calidad de interés?

Debe tenerse en cuenta que si la medición es muy sofisticada toma demasiado tiempo, se debe reanalizar la situación y redefinir medio de medición y característica de calidad.

Dada la importancia del tema, este se debe tratar lo más pronto posible.

La Resolución del Medio de Medición.-

Una vez obtenido el medio de medición, se debe evaluar su capacidad para indicar pequeños incrementos de variaciones de la dimensión a medir con relación al valor objetivo.

Asimismo, es importante el número de decimales con que se obtiene la lectura del medio de medición con escala de lectura esto es conocido como sensibilidad. En equipos con dispositivos digitales se conoce como resolución.

Por tanto se debe comparar el nivel de resolución del equipo con el requerido para el experimento.

Se requiere cierto conocimiento sobre el tema para determinar la resolución adecuada. Para ello sirven las especificaciones que dé el cliente, los datos históricos de la empresa, las publicaciones científicas más recientes, etc. Por ejemplo no es conveniente utilizar equipo que da resultados con 0.01 cm cuando las normas industriales y los requerimientos del cliente se dan en 0.0001 cm.

En conclusión: El medio de medición debe tener la sensibilidad o resolución que corresponda a los requisitos especificados.

1.3. Determinar los factores controlables e interacciones y factores no controlables, y sus niveles; que afectan a la característica de calidad. Ello se puede hacer mediante el diagrama causa – efecto o alguna técnica similar.

Después de determinar el producto o proceso objetivo de mejora y definir la característica de calidad por la cual se medirá la posibilidad de alcanzar el objetivo, se necesita seleccionar los factores controlables o variables independientes que puedan tener un impacto significativo sobre su magnitud. Podemos pensar en la característica de calidad como la variable dependiente y que cada una de las influencias que la afectan como una variable independiente. El Dr. Taguchi y otros adoptan su metodología propia y usan el término factores en lugar de variables independientes, y por ello tomaremos esta convención .

En la discusión de la determinación de una apropiada característica de calidad, se enfatizó que no debe ser tomada a la ligera y que considerable análisis debe ser dedicado a ello.

Para el desarrollo y selección de factores a ser ensayados por su influencia sobre la característica de calidad, se debe dar la misma atención. Típicamente la tarea de seleccionar variables del proceso (factores) y asignar apropiados niveles de factor es lo que toma más tiempo y concentración exhaustiva en el planeamiento del experimento.

Sin embargo disciplinándose para realizar una investigación de los factores potenciales que puedan afectar la característica de calidad seleccionada se logrará un buen resultado. La selección cuidadosa de factores del proceso y producto ayudará a detectar aquellos efectos que tiene una influencia significativa sobre el resultado final que se está interesado. Por otra parte, análisis de costos pueden llevar a conclusiones falsas y requerir que se repitan los estudios. Muchas veces, cuando los experimentos dan resultados insatisfactorios, la causa por lo general se relaciona con este tema. Pero siguiendo ciertas reglas y procedimientos standard, la potencial omisión de factores críticos puede ser reducida grandemente.

Pasos a seguir, para evitar la omisión de factores críticos:

1.- Listado de las variables interés.
2.- Tamizado de la lista de variables.
3.- Clasificación de variables (factores controlables; factores de ruido)
4.- Establecer especificaciones de los factores (número de niveles y sus valores)
5.- Tratar lo relativo a interacciones potenciales. (Sin interacción; interacción débil, interacción fuerte)

COMENTARIOS SOBRE CADA UNO DE LOS PASOS A SEGUIR EN LA SELECCIÓN DE FACTORES

1.- LISTADO DE VARIABLES DE INTERES

En la generación del listado de potenciales factores fuertes (influyentes), el uso de la tormenta de ideas es muy útil . Se puede usar con otras de las herramientas básicas del control de calidad para ganar un entendimiento del proceso y específicamente para definir los objetivos del experimento .La tormenta de ideas es aplicable para idemtificar factores a considerar y para determinar cuales incluir dentro del experimento.

Las otras herramientas que pueden utilizarse son : Diagramas causa - efecto, análisis de dispensión , diagrama de flujo , diagrama de pareto , etc.

En el desarrollo de la lista de factores, varios enfoques que utilizan estas herramientas pueden ser considerados. Por ejemplo, el diagrama causa-efecto puede ser seleccionado debido a que provee una estructura sistemática para la creación de la lista de factores y es fácil de usar y entender. Digamos que un diagrama causa efecto inicial es desarrollado por un subgrupo del equipo de trabajo entre la sesión inicial y las siguientes.

La construcción del diagrama se puede basar en agrupar factores dentro los

mayores tipos de factores (análisis de dispersión) o factores relacionadas a ubicaciones específicas sobre el diagrama de flujo del proceso (clasificación del proceso de producción).El equipo podría hacer una tormenta de ideas para agregar ideas adicionales a la lista. El aspecto negativo potencial de este enfoque es que puede inducir a miembros del equipo a limitar el objetivo de su pensamiento y prevenir la generación de ideas originales y la inclusión de factores únicos y así distorsionar el principal propósito de la tormenta de ideas.

Un segundo y a menudo más efectivo enfoque es hacer que el equipo desarrolle la lista de factores a través de la tormenta de ideas, y luego tener miembros específicos del equipo que desarrollen el diagrama causa-efecto (enumeración de causas) obteniendo la lista para la siguiente reunión. En la siguiente sesión, el subgrupo presenta el diagrama mostrando los factores arreglados de una manera organizada y lógica. El diagrama es usado, luego, para promover ideas adicionales y para agregarlas a la lista de factores.

Con relación a la participación del equipo, aquellos miembros que tienen experiencia sobre el proceso y material relacionado deben estar allí para esta parte del plan del experimento. Sin embargo, operarios que son necesarios en producción pueden no estar disponibles para asistir a todas las sesiones de tormenta de ideas. Una forma de enfrentar esta situación es analizar cada caso específico del proceso, uno cada vez. Cuando Ud. da un paso donde un operario tiene conocimiento específico , pide que esa persona venga para ese momento y retorne a sus deberes después de dar sus aportes .

En el desarrollo de una lista de factores que pueden inpactar sobre la característica de calidad seleccionada, hay algunas sugerencias adicionales específicamente aplicables al planeamiento del experimento . Tener los objetivos del equipo colocados donde todos puedan verlo . Desde que Ud. esta trabajando para generar una lista de factores que afecten un resultado específico ,esta característica de calidad también debe ser colocada de tal manera que recuerde constantemente y sirva de referencia.

Estas son las reglas básicas para aplicar tormenta de ideas para generar la lista de factores potenciales que puedan tener un efecto sobre la característica de calidad seleccionada. Pasos adicionales se trataran para refinar la lista .

2.-TAMIZADO DE LA LISTA DE VARIABLES (FACTORES)

Luego de terminar la lista de factores mediante la tormenta de ideas , el siguiente paso es revisar cada factor sugerido y determinar que factores deben ser incorporados en el estudio y cuales deben dejarse para consideración posterior.

No eliminar los otros factores; posteriormente Ud. puede darse cuenta que ha dejado de lado factores significativos , y debe tener una información básica a la cual recurrir. También si su participación en un futuro experimento involucra el

mismo proceso , esta misma información puede ser considerada para generar una nueva lista de factores. Aquellos factores que no son pertinentes a la característica de calidad en estudio hoy pueden ser importantes en el estudio de la otra .

El propósito de este tamizado preliminar es eliminar lo obviamente redundante y los aspectos inaplicables. Con la lista más pequeña se continua la discución de cada uno de los factores que quedan.

Esta lista es su lista tamizada sin embargo en esta aplicación, el equipo esta tratando de reducir el grupo de ideas o factores, no a uno solo.

Se pueden dar consideraciones adicionales en el tamizado de la lista de factores; ello sobre posibles debates entre los miembros del equipo sobre el que debe o no incluirse en el estudio.

Esto debe ser dirigido adecuadamente por el líder del equipo. Obviamente, ciertas personas son mas expresivas e insistentes que otras .

3.- CLASIFICACION DE LAS VARIABLES (FACTORES)

Los factores que quedaron en la lista tamizada se clasifican en : Factores controlables y Factores de ruido. En un proceso se tiene un sistema que tiene ciertos ingresos y que son transformados en productos deseados. Los medios para realizar esta transformación son los factores controlables .

Sin embargo, influencias adicionales sobre el sistema hacen que el resultado final difiera uno de otro .Si el impacto de estas influencias se convierte en demasiado grande, las diferencias entre una unidad final y la siguiente son demasiado grandes para que el producto sea aceptable .

La razón de las diferencias entre cada una de las unidades finales puede ser explicada de la siguiente manera . Estas diferencias pueden ser por :

*Características funcionales :desempeño del producto y características que afectan su desempeño. Ej. uso neumático, porcentaje de humedad ,etc.

*Características descriptivas: incluye dimensiones, peso y otros aspectos visuales

Cuando nuestros clientes evalúan el producto, comparan su ideal o valor deseado con una escala asociada a la característica de interés. La bondad de un producto es medida en términos de consistencia y cercanía a este objetivo ¿Pero porqué cada unidad no tiene o no está cerca al valor deseado, y porqué las unidades son inconsistentes una de otra ?

La respuesta es que ciertos efectos , a los cuales podemos referirnos como

ruidos, causan desviaciones de las características funcionales y descriptivas.

Ejemplos de factores de ruido se dan en la siguiente tabla:

TABLA DE EJEMPLOS TIPICOS DE FACTORES DE RUIDO

GENERAL

Tiempo (clima)	Cambio
T°ambiente	Operario
Humedad	Ambiente de operación
Vibración	Usuario

MATERIA PRIMA

Compresión del material	Propiedades del material
Contenido de humedad	Porcentaje de quebrados
Proveedor	Nº lote
Código de fecha	

MECÁNICOS

Tipo de máquina	Nº de máquina
Antiguedad de máquina	Uso de herramienta
Matriz	Diseño fijo de herramienta
Limpieza	

ELECTRÓNICOS

Interface del motor	Densidad de componente
Aislamiento eléctrico	Tipo de Componente
Oxidación	Grosor de panel del circuito

FABRICACIÓN DEL PANEL DEL CIRCUITO

Temperatura del agua	Tiempo de espera entre tanques

PLASTICOS

Contenido de humedad	Porcentaje de quebrados
Estampado de metales	
Rugosidad del material	Grosor del material
Nivel de aceite	

Los Factores de Ruido se puede clasificar en :

1. Ruidos externos
2. Ruidos internos
3. Ruidos entre productos

Ruidos Externos .- Se refiere a la variación por fuerzas externas. Dentro del proceso de manufactura , podemos pensar en la temperatura de la habitación , humedad relativa y polvo como ejemplos típicos de ruidos externos que pueden afectar al producto final .

Ruidos Internos .-Se seleccionan a aquellas causas de variación que son una consecuencia de aquellos elementos constitutivos del producto en si . Mas específicamente,los ruidos internos consisten de aquellas causas de desviación funcional y descriptiva que son un resultado de la naturaleza de los ingredientes que permiten elaborar el producto final. La variación del material que hace que el producto se descomponga es un ejemplo de ruido interno.

Ruidos entre productos.- Se refiere a las diferencias entre una unidad completa y otra .Estas diferencias tienden a venir como un resultado de imperfecciones de manufactura y son a menudo referidas a variaciones pieza a pieza. Por ejemplo el N° de serie 000001 no opera o luce exactamente igual que el N° de serie 999999. Números de lote , fecha de producción ,y localización de batch son todos ejemplos ruidos entre productos.

La identificación del factor de ruido y el conocimiento del tipo de factor de ruido que se puede presentar nos ayuda a entender mejor como tratar con su influencia sobre las características de calidad que nos interesan. Dentro de los parámetros de diseño nos interesa minimizar el efecto de estos factores de ruido.

Librarse de ellos puede no ser posible ni práctico, pero deseamos insensibilizar el proceso o el producto final frente a ellos. Esto es lo que el Dr. Taguchi conoce como robustez. El proceso o producto resultante exhibe robustez hacia estos factores de ruido; significa que tienen pequeño efecto sobre las características de interés.

4.- ESTABLECIMIENTO DE PARAMETROS ESPECIFICOS

Después de separar los factores de interés entre factores controlables y de ruido, el siguiente paso es decidir sobre el número de niveles de cada factor y especificar los factores de cada nivel

En el proceso de establecer los valores se puede presentar que descubra que no lo puede controlar y por lo tanto deberá redefinirlo como factor de ruido. También pude encontrar que determinado el valor permanece constante y en tal caso lo deberá eliminar del estudio. Por lo tanto, el proceso de tamizado de factores,

clasificación de ellos como controlables o de ruido y la asignación de valores son procesos iteractivos.

4.1.- FACTORES CONTROLABLES

Antes de determinar los valores , debe determinarse el número de niveles, a forma de tratar este asunto depende de si se trata valores continuos o discretos .

El Número apropiado de niveles para un factor discreto generalmente será claro a partir de los objetivos del experimento y el conocimiento del factor en si .Si desea determinar el mejor proveedor para una materia prima, el número de niveles será igual al número de proveedores disponible. En estudios de matrices de herramientas, el número de niveles se puede determinar con base al número de matrices disponibles.

Escoger el número apropiado de niveles para un factor con valores continuos es una tarea más difícil y requiere de consideraciones adicionales .El objetivo del experimento provee algunas indicaciones. Si el objetivo del experimento es exploratorio, dos niveles a los extremos de los valores factibles de operación puede ser suficiente para determinar si ese factor tiene alguna importancia. Dos niveles por lo general son adecuados para tamizar diseños en los cuales su resultado inmediato no es para determinar el valor óptimo, pero si para conocer que factores son importantes si necesitan ser considerados en estudios posteriores. Si su interés básico es que necesita ser monitoreado y controlado, dos niveles son, por lo general, suficientes.

Además de obtener acuerdo sobre el Nº de niveles para cada factor, debemos determinar el rango de valores. Asumir una relación lineal,el mayor espaciamiento entre el menor y mayor valor, lo qué más desearía que sea exitoso en el descubrimiento del efecto real de la variable sobre la característica de calidad. Sin embargo, expandir el rango de los niveles del factor puede ser que la asumción de linealidad sea menos razonable. Esta dificultad es una razón adicional para usar 3 niveles que sean económicamente factibles. Tres niveles ayudan a tomar conclusiones sobre no linealidad.

La amplitud del rango también depende de si el objetivo del experimento es exploratorio sobre una gran "región" o es la puesta a punto para lograr las condiciones óptimas.

Si el objetivo es ganar nuevos conocimientos, es especialmente destacar los niveles de factor, tanto con factores discretos como con continuos. Mediante estos experimentos también se puede llegar a secretos empresariales, que sean únicos y propios de la empresa en sus procesos o productos.

Otra importante consideración para el establecimiento de los valores de los niveles de los factores es que los niveles de los factores deben estar dentro de

las limitaciones físicas. Si uno de los 2 valores de un factor es tan bajo que resultará un mal producto y el otro factor se pone tan alto que también resultará un mal producto; por tanto poco conocimiento será ganado. Así aparte de destruir buena materia prima y usar tiempo de producción valioso, poco hubiera sido aprendido sobre los valores óptimos excepto la identificación de los valores que deben ser evitados.

4.2 FACTORES DE RUIDO

El objetivo de establecer niveles de factores de ruido es simular variaciones posibles en los factores de ruido y consecuentemente asegurar robustez ante esta variabilidad de situaciones. Efectivamente Ud. requiere ampliar el rango de variación de los factores de ruido de tal manera que el cambio en la característica de calidad sea mínimo.

Como la meta de establecer factores de ruido es simular las peores condiciones que realístamente podrían ocurrir, no todos los factores de ruido potenciales necesitan ser incorporados. Es más importante incluir los factores de ruido potencialmente más fuertes.

Otro método de asegurar economía de escala sin perder cualquier información valiosa con relación a la robustez es una mezcla de factores de ruido .

Como la idea detrás del diseño de parámetros es hacer el proceso robústo a cualquiera de los valores típicos de factor de ruido, este método inherentemente sugerido robustece a cualquier combinación de valores de factor de ruido típicos. Si realizamos el experimento con la mejor combinación y la peor combinación de niveles de ruido y son capaces de hacer el proceso robusto a estos dos extremos, entonces el proceso será robusto para cualquier combinación de factores de ruido entre los valores experimentados. Este resultado es la lógica detrás de la mezcla de factores de ruido.

5.- TRATAMIENTO DE LO RELATIVO A LAS INTERACCIONES POTENCIALES

Una interacción ocurre cuando dos o más factores actuando juntos tiene un efecto diferente sobre la característica de calidad que el efecto de cada factor actuando individualmente
Veamos un ejemplo:

a) Un paciente toma 1 píldora rosada para bajar la presión. Una píldora amarilla para el insomnio. Sin embargo, si el paciente toma ambas píldoras ,el paciente se siente mal .El resultado final de tomar ambas píldoras es distinto del resultado esperado si una u otra de las píldoras las toma solas .Esto es interacción.

El concepto de interacción es una importante consideración en el planeamiento efectivo de un experimento . Fallar en el reconocimiento de la presencia de una

interacción puede llevar a error de interpretación de los datos y fallas que sean importantes consideraciones en la optimización del proceso.

No todas las interacciones son malas .Además de ganar la presencia de posibles fuentes de problemas, Ud. también puede obtener ventajas por una interacción que trabaje a su favor.

PASO 1.PLANTEAR EL PROBLEMA		
1.1. PRODUCTO O PROCESO	1.2. CARACTERISTICA DE CALIDAD	1.3.FACTORES CONTROLABLES Y NO CONTROLABLES

Paso 2. Diseño del Experimento.

2.1. Selección del Arreglo Ortogonal AO apropiado (del conjunto de AO propuestos por Taguchi (Ver Anexo).

Ello se realiza con las siguientes acciones:

1° Determinar los grados de libertad requeridos: g.l. = grados de libertad.
a) g.l. requeridos para cada factor = N° niveles que tiene menos 1.
b) g.l. requeridos para una interacción = producto de los g.l. de los factores interactuantes.

Total de g.l. requeridos (como mínimo) = suma de los g.l. para cada factor + g.l. para cada interacción.

2° Grados de libertad disponibles por un AO: el total de g.l. disponibles por un AO es igual al N° de pruebas menos 1.

Regla 1. Los g.l. disponibles en un AO deben ser mayores o iguales que la sumatoria de los g.l. de los factores e interacciones.

Regla 2. Si el N° de g.l. requeridos cae entre los g.l. disponibles de 2 AO; se escoge el mayor valor.

2.2. Ubicación de Factores y/o Interacciones en las columnas. Para ello se usan los Gráficos Lineales y Tablas Triangulares, propuestas por Taguchi (ver Anexo):

a) Cada AO tiene uno o varios gráficos lineales y una tabla triangular asociada.
b) Los gráficos lineales indican las columnas en las cuáles los factores e interacciones pueden ser asignados. En dichos gráficos cada círculo representa el N° de columnas disponibles para un factor; y cada línea

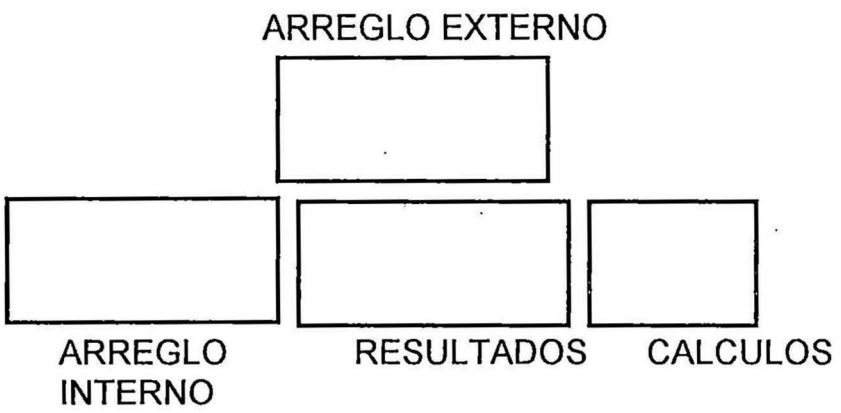
representa el Nº de columnas disponibles para la interacción de los 2 factores asignados a los extremos.

c) Las Tablas Triangulares listan todas las posibles relaciones de columnas de interacción que existen en un AO; en los costados están los factores y en el centro las interacciones.
d) El Poder de Resolución de un Diseño Experimental indica la claridad con la cual los factores individuales e interacciones pueden ser evaluados en un experimento. Resolución 4 es mejor que Resolución 3., y así sucesivamente.
e) Si todos los efectos y todas las interacciones tienen columnas asignadas y se adiciona un efecto principal, luego se confunde automáticamente dicho efecto principal con la interacción que estaba en la columna que se le ha asignado. Cosa parecida ocurre con las otras columnas e interacciones. Si hay más confusiones habrá menor Resolución.

Nota.- Si un gráfico no se ajusta a lo requerido; los gráficos se pueden modificar (Ver Revisión de Literatura)

2.3.Arreglo Interno y Externo

a) El Arreglo Interno es para factores controlables y el Arreglo Externo es para factores no controlables.
b) El Arreglo Interno se coloca al lado izquierdo y el Arreglo Externo se coloca en la parte superior; formándose un "producto de arreglos ortogonales". El número de resultados viene dado por el producto de ambos arreglos ortogonales.



2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO		
2.1. SELECCIÓN ARREGLO ORTOGONAL	2.2.UBICACIÓN DE FACTORES E INTERACCIONES EN COLUMNAS	2.3. ARREGLO INTERNO Y EXTERNO

Paso 3. Realizar las pruebas.

a) Las condiciones para realizar las pruebas son establecidas por las filas.
b) Son convenientes las repeticiones. Si cada prueba es muy costosa se recomienda sólo hacer una repetición. Sino, hacer al menos 2 ó más.
c) La aleatorización protege de cualquier factor desconocido o no controlado.

En este paso es muy importante considerar la estrategia experimental. Es así que las razones por las que queremos realizar un experimento pueden clasificarse en cinco:

1.- Experimento Simple : Ud. quiere obtener un mayor entendimiento sobre como trabaja el proceso ó los factores importantes del proceso ó que causa cambios en el producto final.

2.- Experimento Continuo : Ud. esta trabajando con el mejoramiento continuo . Aqui se pueden presentar dos situaciones, dependiendo de su conocimiento del proceso .

a) Si conoce la variación dentro del proceso : Puede tratar de reducir la variación -Ej. Cpk muy bajo; Límites de control muy amplios

b) Si no conoce mucho la variación existente; sabe que es inaceptable .Trata de reducirla.

3.- Experimento de Tamizado : Se requiere cuando el proceso acaba de ser instalado (iniciado) ó cuando se está en la etapa de establecerlo. Ej. un proceso complicado , sobre el que se conoce poco.Ud. está interesado en afinar la lista de factores del proceso.

4.- Experimento Focalizado: El objetivo del experimento se dirige a resolver un problema.

5.- Experimento Secuencial: Se aplica cuando el proceso consiste de muchos pasos con numerosos factores en cada etapa. Se segmenta el proceso ; y se estudia la primera sección y luego la segunda y así hasta el final del proceso.

UD. debe determinar cual estrategia se debe aplicar a su situación .

Paso 4. Analizar Resultados.

Para ello se deben calcular:

4.1. $\bar{Y}$, s^2 y S/N para cada fila. Pueden presentarse con factores de ruido o sin factores de ruido.

Las ecuaciones a utilizar son las de:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Y_i}{n} \qquad \text{Ecuación 2.1.}$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}$$; ó con otras fórmulas equivalentes sobe la variancia Ec.2.2.

S/N =

Si menor valor lo mejor:

$$S/N = -10 \log \frac{\Sigma Y_i^2}{n} \qquad \text{Ecuación 2.3.}$$

Si mayor valor lo mejor:

$$S/N = -10 \log \frac{\Sigma 1/Y_i^2}{n} \qquad \text{Ecuación 2.4.}$$

Si valor objetivo lo mejor:

$$S/N = 10 \log (\bar{Y}^2 / s^2) \qquad \text{Ecuación 2.5.}$$

4.2. Calcular los efectos de cada factor e interacción y ecuación de predicción y gráficos

Los efectos de cada factor e interacción se calculan luego de realizar todos los experimentos. Se suman los resultados de cada experimento que corresponden a un determinado nivel del factor y se comparan con los de otro (s) nivel (es) del mismo factor. Si sólo son dos niveles basta con restar, y la diferencia da la magnitud del efecto. A mayor diferencia: mayor efecto. Si son 3 o más niveles, restando los extremos (el mayor menos el menor) se obtiene la magnitud del efecto. Los efectos se pueden considerar significativos y no significativos, dependiendo de la magnitud de la diferencia.

4.3 Elaborar curva de probabilidad normal de los factores (para determinar factores signficativos).

La curva se construye siguiendo los pasos siguientes:

1o. Los datos se ponen en orden ascendente.

2o. Se calcula (j-.5)/n y se completa el cuadro de datos:

CUADRO 2.1. CALCULO DE (j-.5)/n

j	Xj	(j-.5)/n
1		
2		
...		

3o. Los pares Xj y (j-.5)/n se grafican en papel de probabilidad normal; Xj en la horizontal y 100 (j-.5)/n en la vertical derecha. La gráfica puede construirse sobre papel gráfico ordinario graficando los valores normales estandarizados Zj contra Xj donde los valores normales estandarizados satisfacen: (j-.5)/n = P ($Z \leq Zj$) = Þ (Zj)

4o. Una línea recta se dibuja a partir de los puntos graficados.

5o. Los puntos que caen lejos de la recta se considera no siguen la distribución normal, y por tanto se estima que son significativos sus efectos.

4.4. Análisis de Variancia ANVA de los factores. Determinar efectos significativos, corroborando o no las gráficas de probabilidad normal.

Se realiza siguiendo los lineamientos de elaboración de los ANVA de los textos de Diseño de Experimentos. El esquema del cuadro de ANVA a elaborar es:

CUADRO 2.2. ANVA DEL EXPERIMENTO

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE LA SUMA DE CUADRADOS	F
A				
B				
AB				
...				
ERROR				
TOTAL				
ERROR AGRUPADO				

Los Grados de Libertad son iguales al número de niveles del factor menos 1.
La Suma de Cuadrados se calcula siguiendo los lineamiento estadísticos respectivos. Por ejemplo: sea el factor A que tenga 2 niveles; se suman todos los resultados obtenidos con el nivel A1 y se les resta la suma de todos los resultados obtenidos con el nivel A2; dicho valor se eleva al cuadrado y luego se divide entre el número de experimentos.

La Media de la Suma de Cuadrados se calcula dividiendo la Suma de Cuadrados entre los grados de libertad.

Cuando hay valores asignados a todas las columnas la Media de la Suma de Cuadrados del Error puede ser estimada con base a los factores no significativos (Error Agrupado).

Para determinar la significancia se calculan los valores de F dividiendo la Media de la Suma de Cuadrados respectiva entre el valor del Error Agrupado. Dicho F calculado se compara con el F tabular con 99% y 95% de confianza.

4.5. DEFINICION DE EFECTOS SIGNIFICATIVOS, ANALISIS DE DATOS Y CALCULO DE ECUACION DE PREDICCION

Luego de haber desarrollado 4.1 a 4.4. se procede a definir los factores con efectos significativos.

Seguidamente se determina la ecuación de predicción, sólo con los factores significativos.

Se elabora la ecuación de predicción de la forma:

$$\mu = \bar{T} + (\bar{Ax} - \bar{T}) + (\bar{Dy} - \bar{T})....$$ Ecuación 2.6.

Con la información obtenida se tiene: la propuesta de niveles óptimos de los factores, el conocimiento de los factores significativos y no significativos, y la ecuación de predicción.

4. ANALIZAR RESULTADOS			
4.1. CALUCULO DE $\bar{Y}$, s^2 y S/N	4.2.CALCULO DE EFECTOS	4.3.GRAFICA DE PROBALIDAD NORMAL	4.4.ANVA
4.5. DEFINICION DE EFECTOS SIGNIFICATIVOS, ANALISIS DE DATOS Y CALCULO DE ECUACION DE PREDICCION			

Paso 5. Confirmación de Resultados.

Con base a la información obtenida en 4.5. se procede a diseñar por lo menos dos pruebas con los niveles óptimos encontrados.

Luego se realizan las pruebas, y los resultados y el valor calculado de S/N se compara con los obtenidos anteriormente en las tablas y en la ecuación de predicción.

Nota.- Es de destacar que los resultados pueden implicar una sola característica o más de una.

2.2. RESULTADOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PROPUESTA

La metodología propuesta se ha aplicado a dos casos, en el período de noviembre y diciembre de 1999, en las instalaciones de dos microempresas, siendo una del rubro de librería que eventualmente produce velas artesanales y la otra de un joven microempresario informal que produce popcorn. Para las pruebas se tuvo que adquirir diversos implementos para realizar las mediciones, los materiales y demás. La selección de las microempresas se realizó básicamente debido a que son conocidos del investigador de la tesis y por ello accedieron a dar las facilidades del caso.

Con base a los resultados obtenidos se plantean, en otros capítulos, las ventajas de la metodología propuesta, restricciones de la propuesta y las conclusiones y recomendaciones.

2.2.1. CASO: VELAS ARTESANALES

El tema de velas artesanales se escogió debido a la facilidad que se conocía a una microempresaria que elaboraba este producto para su venta para la navidad y que estaba dispuesta a apoyar con su conocimiento e infraestructura y a seguir las pruebas.

Asimismo, por el tipo de proceso de elaboración de las velas artesanales, éste se presta a una aplicación del método. Se trata de un proceso simple, que se puede probar varias veces, que su replica no tiene un costo muy alto y que los implementos para realizarlo tampoco requerían una inversión muy elevada. Por otro lado se tiene la ventaja que su elaboración no requiere de mucho tiempo lo cual es una facilidad adicional.

La microempresaria es la Sra. Delia Noriega, que tiene su local ubicado en Calle Libertad 866 Magdalena.

El procedimiento seguido fue:

Paso 1. Plantear el Problema.

1.PLANTEAR EL PROBLEMA		
1.1. PRODUCTO O PROCESO	1.2. CARACTERISTICA DE CALIDAD	1.3.FACTORES CONTROLABLES Y NO CONTROLABLES

Paso 1. - 1.1. Determinación Producto o Proceso objeto de mejora y describir sus características.

El proceso de elaboración de las velas artesanales fue seleccionado para el experimento. Estas velas se usan como adornos y para proporcionar iluminación; también se pueden usar con otros fines relacionados con los antes indicados. Para este experimento se formó un equipo de trabajo de 4 personas, que tenían conocimiento del tema.

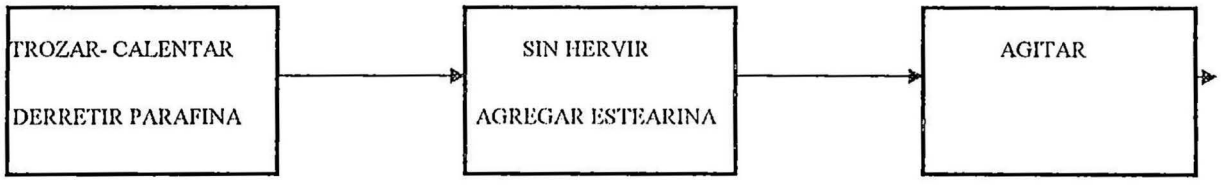
Proceso:

Los insumos necesarios para el proceso son: parafina, estearina (puede o no haber), mecha (diversos grosores), moldes (metal ó plástico - pvc), utensilios (cucharón, guantes protectores, bandejas de metal, lavatorios, baldes), cocina, cilindros metálicos para calentar. Todos estos insumos se pueden conseguir en tiendas que venden insumos para la elaboración de velas artesanales.

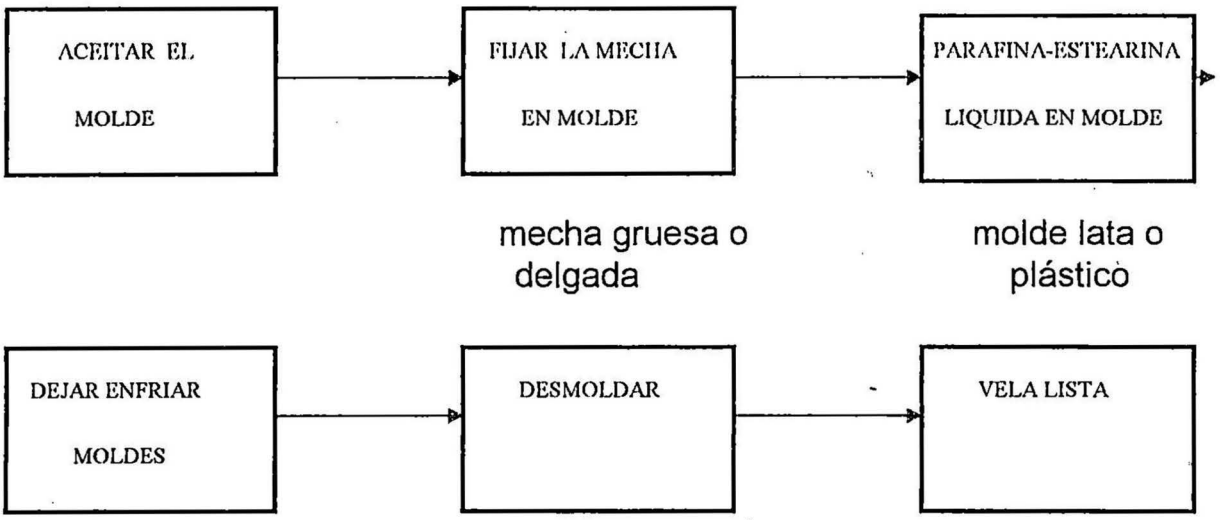
Los pasos a seguir para la elaboración de velas artesanales son:

1) Romper el bloque de parafina en trozos pequeños, y luego calentar y derretir la parafina. Para ello se puede usar cocina con llama alta o media.
2) Durante el calentamiento se puede agregar estearina con mucho cuidado, ello en el caso que se considere en la formulación el agregado de estearina. En dicho caso se considera un 10% de estearina con respecto al total de parafina.
3) Durante el calentamiento se pueden presentar dos posibilidades con o sin agitación.
4) Aceitado del molde que se usará para las velas.
5) Fijar la mecha en el molde. La mecha puede ser delgada o gruesa. Estas mechas, son expendidas en las tiendas que venden insumos para la elaboración de velas.
6) Poner la parafina derretida en el molde de la vela. Los moldes pueden ser de material: metal, o plástico - pvc.
7) Enfriar los moldes con la parafina.
8) Desmoldar, que consiste en sacar las vela de los moldes, evitando se dañen las velas.
9) Las velas están listas para ser usadas o para seguir un proceso adicional de mejora de su presentación: color, formas, etc.

FIGURA 3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE VELAS ARTESANALES.



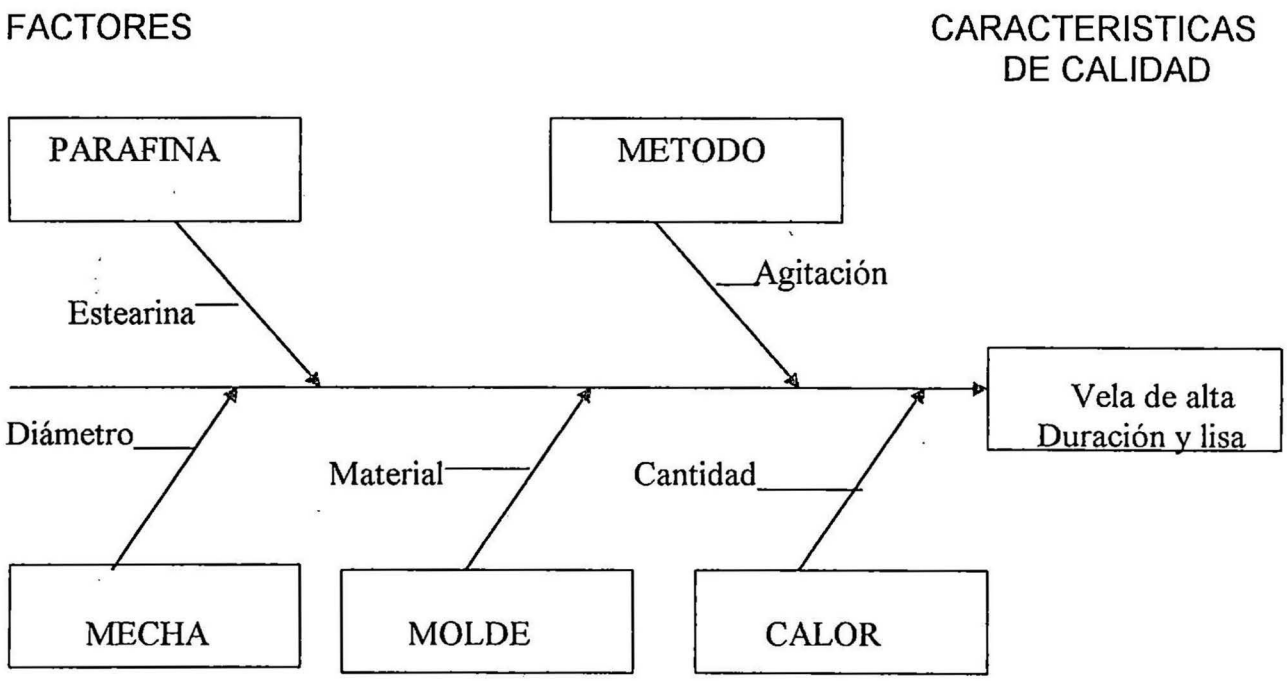
llama alta o media sin o con 10%estearina con o sin



Paso 1. -1.2. Determinar la Característica (s) de Calidad y su unidad de medida que se espera mejorar (variable dependiente). Ello se puede hacer usando el diagrama causa – efecto o alguna técnica similar.

Diagrama Causa – Efecto, elaborado con la participación del equipo de trabajo, se aprecia en la figura 3.2.

FIGURA 3.2. DIAGRAMA CAUSA EFECTO



Factor Ruido: Presencia o ausencia de sol.

Mediante el Diagrama Causa Efecto se ha podido determinar los factores principales que influencian el proceso y las características de calidad que esperan los clientes.

Las características de calidad son:

a. Duración de la vela, o consumo de la misma. La unidad de medida es : volumen / tiempo. Por ejemplo: cm^3 / min. Los compradores esperan que las velas duren el mayor número de horas.
b. Tipo de Superficie exterior de las velas. La unidad de medida será: lisa hasta áspera. Pudiendo ser calificada según el caso en: toda lisa, lisa con partes ásperas, toda áspera. Los compradores aprecian que la vela sea totalmente lisa al tacto.

Paso 1. - 1.3. Determinar los factores controlables e interacciones y factores no controlables, y sus niveles; que afectan a la característica de calidad. Ello se puede hacer mediante el diagrama causa – efecto o alguna técnica similar.

Mediante al Diagrama Causa Efecto de 1.2. se ha determinado los factores controlables y ruido (no controlables), y con el equipo de trabajo se determinaron los niveles. Se determinaron 5 factores, 2 interacciones y un factor no controlable, según se puede apreciar en el cuadro 3.1.:

CUADRO 3.1. FACTORES CONTROLABLES Y NO CONTROLABLES PARA LA ELABORACION DE VELAS ARTESANALES

FACTOR	NIVEL 1	NIVEL 2
A.PARAFINA-ESTEARINA	100-0%	100-10%
B.MECHA	GRUESA	DELGADA
C.MOLDE	LATON	PLASTICO
D.AGITACION	SIN	CON
E.CALOR	LLAMA ALTA	LLAMA MEDIA
INTERACCIONES		
A X B		
A X D		
FACTORES NO CONTRALABLES		
F.SOL	CON	SIN

Los factores determinados fueron la sustancia de base para elaborar la vela, que puede ser de sólo estearina o de una mezcla de estearina-parafina donde la estearina es el 10% de la parafina. Según la literatura la estearina permite aumentar la duración de la vela y por otra parte hace que la superficie sea más lisa. El problema de la estearina es el costo, ya que es más caro que la parafina.

La mecha se consideró en la medida que se estima influye sobre la duración de la vela, así se opinó que cuanto más gruesa la mecha su consumo sería más rápido. Los moldes se consideraron importantes por lo referente a la transferencia de calor que se puede dar durante el enfriamiento y la forma como podrían afectar a la superficie de las velas. Por ello se consideraron moldes de dos materiales distintos: latón y plástico – pvc. El factor de agitación se consideró en la medida que facilita la transferencia de calor durante el calentamiento y también facilita la mezcla de estearina con la parafina. Con respecto a la cantidad de calor se consideró que podría influir el hecho de trabajar con llama alta o con llama media, en la cocina. Las interacciones que se estimó que deberían estudiarse son las de la sustancia base con el grosor de la mecha y con la agitación, era de interés conocer hasta que punto estos factores inter actuaban entre sí.

Paso 2. Diseño del Experimento.

2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO		
2.1. SELECCIÓN ARREGLO ORTOGONAL	2.2.UBICACIÓN DE FACTORES E INTERACCIONES EN COLUMNAS	2.3. ARREGLO INTERNO Y EXTERNO

Paso 2.- 2.1. Selección del Arreglo Ortogonal AO apropiado (del conjunto de AO propuestos por Taguchi. (Ver Anexo)

1º Determinar los grados de libertad requeridos: g.l. = grados de libertad.

a) g.l. requeridos para cada factor = Nº niveles que tiene menos 1.

CUADRO 3.2. GRADOS DE LIBERTAD REQUERIDOS PARA FACTORES

FACTOR	A	B	C	D	E	TOTAL
g.l.	1	1	1	1	1	5

b) g.l. requeridos para una interacción = producto de los g.l. de los factores interactuando.

CUADRO 3.3. GRADOS DE LIBERTAD REQUERIDOS PARA INTERACCIONES

g.l. A x D	1 x 1	1
g.l. A x E	1 x 1	1
TOTAL		2

Total de g.l. requeridos (como mínimo) = suma de los g.l. para cada factor + suma de los g.l. para cada interacción. = 5 + 2 = 7

2º Grados de libertad disponibles por un AO: el total de g.l. disponibles por un AO es igual al Nº de pruebas menos 1.

Regla 1. Los g.l. disponibles en un AO deben ser mayores o iguales que la sumatoria de los g.l. de los factores e interacciones.

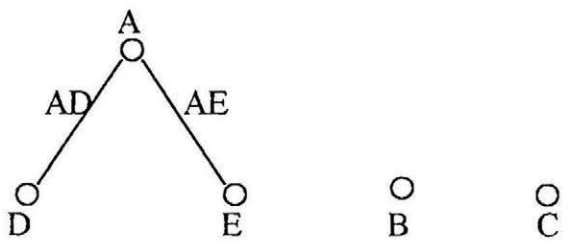
Regla 2. Si el Nº de g.l. requeridos cae entre los g.l. disponibles de 2 AO; se escoge el mayor valor.

AO L8 = 8 pruebas – 1 = 7 g.l.

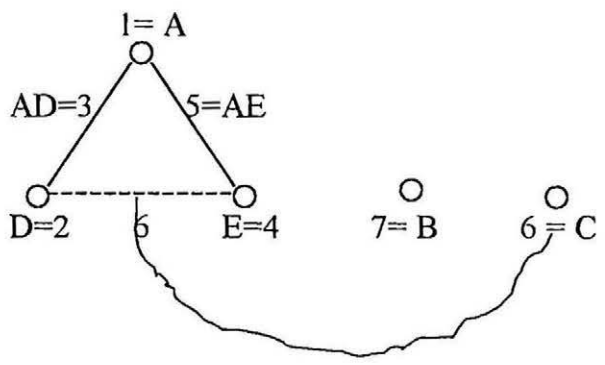
Paso 2.- 2.2. Ubicación de Factores y/o Interacciones en las columnas. Para ello se usan los Gráficos Lineales y Tablas Triangulares, por puestas por Taguchi (Ver Anexo)

1ºDe la revisión de los gráficos del AO L8 se deduce que los gráficos no se ajustan a lo requerido, luego se aplica el procedimiento seguido por Anand (Ver Revisión de Literatura).

a. Representación Gráfica de lo requerido



c. Modificación de la gráfica estándar

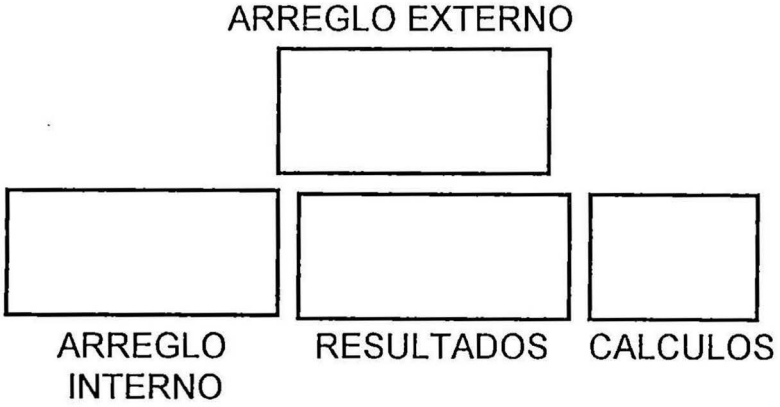


Además considerando la tabla triangular de interacciones (Ver Anexo), se tiene:

CUADRO 3.4.ARREGLO ORTOGONAL SELECCIONADO

EXP.	COLUMNAS							Factor Ruido	
	1 A	2 D	3 AD	4 E	5 AE	6 C	7 B	F1	F2
1	1	1	1	1	1	1	1		
2	1	1	1	2	2	2	2		
3	1	2	2	1	1	2	2		
4	1	2	2	2	2	1	1		
5	2	1	2	1	2	1	2		
6	2	1	2	2	1	2	1		
7	2	2	1	1	2	2	1		
8	2	2	1	2	1	1	2		

Paso 2.- 2.3.Arreglo Interno y Externo



CUADRO 3.5. ARREGLO ORTOGONAL CON DATOS A PROBAR EN EL EXPERIMENTO

EXP	COLUMNAS							Factor Ruido	
	1 A Paraf- Estear	2 D AGITA CION	3 AD	4 E CALOR LLAMA	5 AE	6 C	7 B	F1 Con Sol	F2 Sin Sol
1	100-0	NO	1	ALTA	1	LATON	GRUESA		
2	100-0	NO	1	MEDIA	2	PLASTICO	DELGADA		
3	100-0	SI	2	ALTA	1	PLASTICO	DELGADA		
4	100-0	SI	2	MEDIA	2	LATON	GRUESA		
5	90-10	NO	2	ALTA	2	LATON	DELGADA		
6	90-10	NO	2	MEDIA	1	PLASTICO	GRUESA		
7	90-10	SI	1	ALTA	2	PLASTICO	GRUESA		
8	90-10	SI	1	MEDIA	1	LATON	DELGADA		

Las características a evaluar son:

R1 = la cantidad de centímetros cúbicos de vela que se consumen dado un tiempo determinado.
R2 = la superficie exterior, que puede ser todo lisa, lisa con partes ásperas, ó toda áspera.

La medición de R1 (el consumo de las velas) se realizará con base a conocer el volumen de las velas al inicio y el volumen al final de un período determinado, el mismo para todos los experimentos.

La medición de R2 (la superficie de las velas) se realizará de manera visual.

Paso 3. Realizar las pruebas.

Luego de acondicionar los diversos elementos e insumos necesarios, se procedió a realizar las pruebas. Los resultados de realizar las pruebas fueron:

CUADRO 3.6.: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

Nº PRUEBA	F1 CON SOL		F2 SIN SOL	
	R1 cm^3	R2 Aspera/Lisa	R1 cm^3	R2 Aspera/Lisa
1	16.71	Aspera	15.91	Aspera
2	11.88	Aspera	11.20	Aspera
3	13.07	Aspera	12.50	Aspera
4	13.54	Aspera	13.12	Aspera
5	10.80	Lisa	10.20	Lisa
6	13.74	Lisa	13.15	Lisa
7	15.80	Lisa	15.10	Lisa
8	9.07	Lisa	8.87	Lisa

El tiempo que se utilizó para realizar las pruebas fue de 39 minutos. El volumen inicial de las velas fue de 51.22 cm^3. Luego del tiempo respectivo se volvió a determinar el volumen y por diferencia se obtuvo el volumen consumido.

Paso 4. Analizar Resultados.

4. ANALIZAR RESULTADOS			
4.1. CALCULO DE $\bar{Y}$, s^2 y S/N	4.2.CALCULO DE EFECTOS	4.3.GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL	4.4.ANVA
4.5. DEFINICION DE EFECTOS SIGNIFICATIVOS, ANALISIS DE DATOS Y CALCULO DE ECUACION DE PREDICCION			

Paso 4.- 4.1. $\bar{Y}$, s^2 y S/N para cada fila.

CUADRO 3.7.: RESULTADOS DE CALCULOS DE $\bar{Y}$, s^2 y S/N

Nº P	R1 MINIMO CONSUMO VELAS					R2 LISO				
	CON SOL	SIN SOL	$\bar{Y}$	s^2	S/N	CON SOL	SIN SOL	$\bar{Y}$	s^2	S/N
1	16.71	15.91	16.31	0.56	-24.25	ASP.	ASP.	ASP.	0	0
2	11.88	11.20	11.54	0.48	-21.25	ASP.	ASP.	ASP.	0	0
3	13.07	12.50	12.79	0.40	-22.14	ASP.	ASP.	ASP.	0	0
4	13.54	13.12	13.33	0.30	-22.50	ASP.	ASP.	ASP.	0	0
5	10.80	10.20	10.50	0.42	-20.43	LISA	LISA	LISA	0	0
6	13.74	13.15	13.45	0.42	-22.57	LISA	LISA	LISA	0	0
7	15.80	15.10	15.45	0.49	-23.78	LISA	LISA	LISA	0	0
8	9.07	8.87	8.97	0.14	-19.06	LISA	LISA	LISA	0	0

Nota.- Para el cálculo de S/N se usó la fórmula para menor valor lo mejor (Ver Metodología)

Con relación a la superficie (R2) es evidente que cuando se agrega estearina la superficie de las velas es lisa y cuando no se agrega es áspera. Por tanto el análisis sobre R2 (superficie) es suficiente hasta este paso. La conclusión es que si se quiere la superficie lisa debe usarse estearina. Sin embargo el análisis sobre R1 continúa.

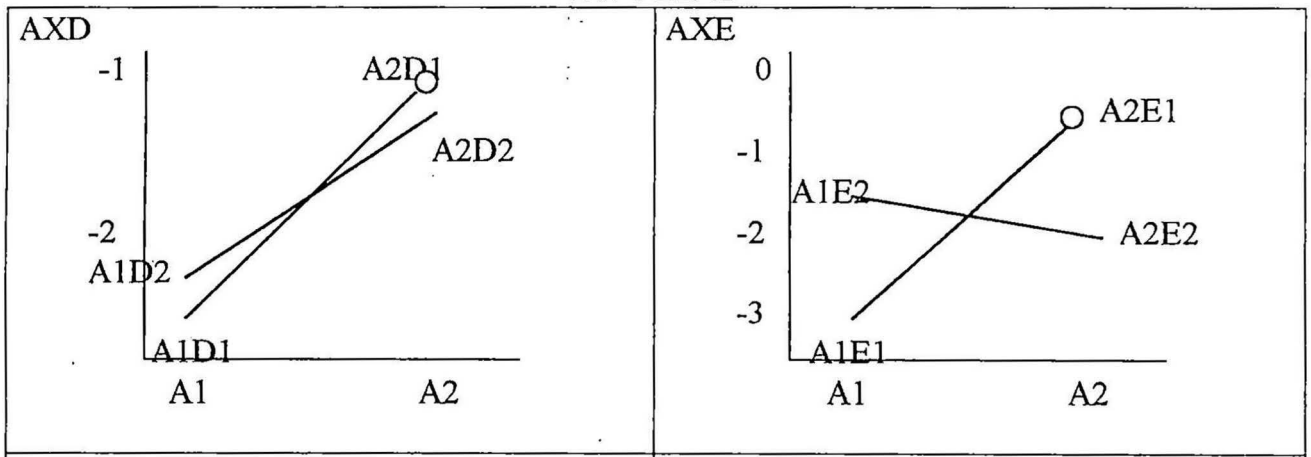
Con relación a los valores de S/N , para simplificar los cálculos se puede sumar +20 a todos los valores.

Paso 4.- 4.2. Calcular los efectos de cada factor e interacción y ecuación de predicción y gráficos

CUADRO 3.8.:RESULTADOS DE S/N PARA R1 CONSUMO DE VELAS

Nº P	1 A	2 D	3 AD	4 E	5 AE	6 C	7 B	R1 S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	-4.25
2	1	1	1	2	2	2	2	-1.25
3	1	2	2	1	1	2	2	-2.14
4	1	2	2	2	2	1	1	-2.50
5	2	1	2	1	2	1	2	-0.43
6	2	1	2	2	1	2	1	-2.57
7	2	2	1	1	2	2	1	-3.78
8	2	2	1	2	1	1	2	+0.94
ΣEf 1	-10.14	-8.5	-8.34	-10.6	-8.02	-6.24	-13.1	
ΣEf 2	-5.84	-7.48	-7.64	-5.38	-7.96	-9.74	-2.88	
Dif.	-4.3	-1.02	-0.70	-5.22	-0.06	+3.50	-10.22	
Nivel Seleccionado	A2	D2	AxD2	E2	AxE2	C1	B2	

FIGURA 3.3. SOBRE INTERACCIONES DE RESULTADOS PARA R1 CONSUMO DE VELAS



	D1	D2
A1	-2.75	-2.32
A2	-1.42	-1.50

	E1	E2
A1	-3.20	-1.88
A2	-0.82	-2.11

De las tablas y de las gráficas se tiene:

La combinación óptima es A2, D2, AxD 2, E2, AxE 2, C1, B2 donde los efectos de las interacciones (las 2) son débiles (0.70, 0.06).

Del Análisis de AxD: el mayor valor el de S/N es A2D1, que coincide con A2 de la combinación óptima pero no con D1. Se tiene que D2 es un efecto mayor (1.02) que el de la interacción por tanto seleccionamos D2.

Del Análisis de AxE: el mayor valor el de S/N es A2E1, que coincide con A2 de la combinación óptima pero no con E1. Se tiene que E2 es un efecto mayor (5.22) que el de la interacción por tanto seleccionamos E2.

Conclusión: La combinación óptima es A2 , D2, E2, C1, B2

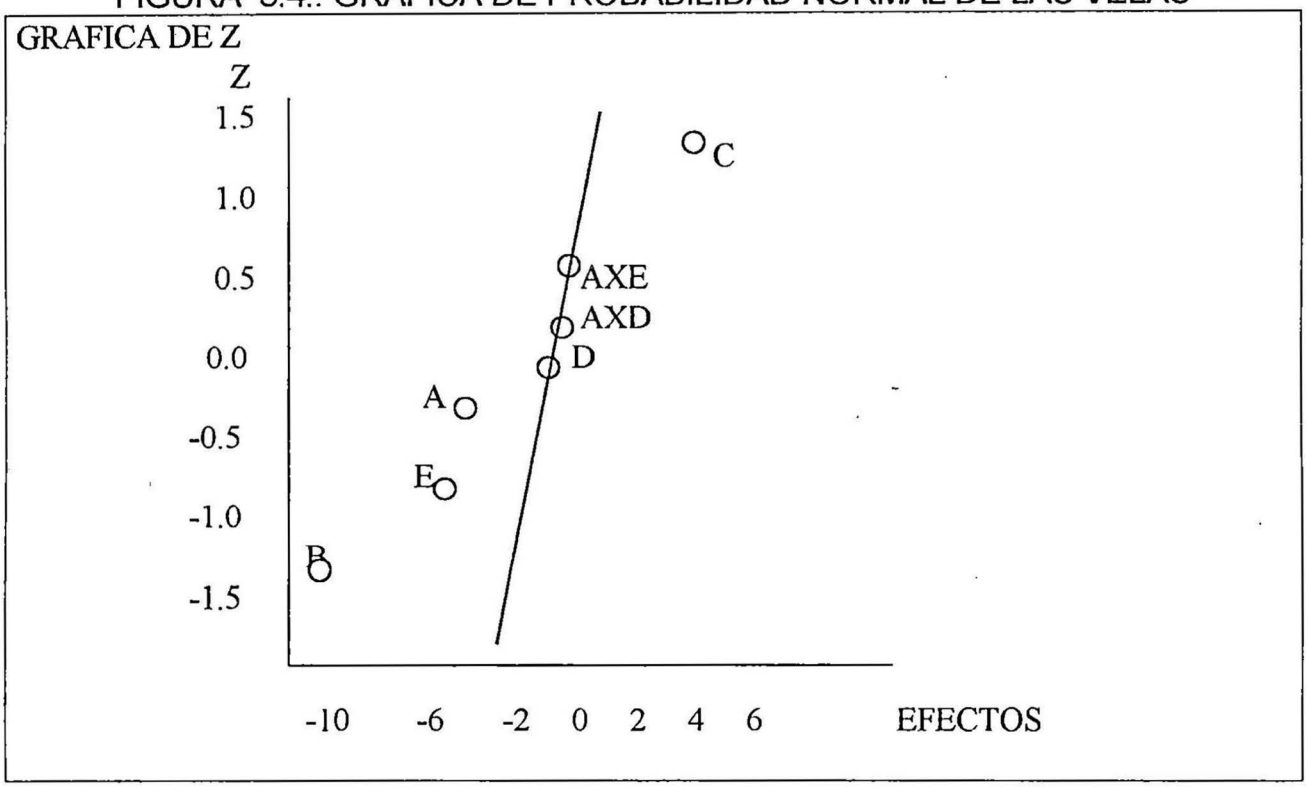
Paso 4.- 4.3. Elaborar la curva de probabilidad normal de los factores (para determinar factores significativos).

El cuadro de datos para la curva sobre el consumo de las velas (R1) son:

CUADRO 3.9.. : DATOS DE CURVA DE CONSUMO DE VELAS

EFECTOS ORDENADOS	LETRA DE FACTOR	ORDEN J	PERCENTIL (j-.5)/n	VALOR DE Z
-10.22	B	1	.0714	-1.46
-5.22	E	2	.2143	-.79
-4.3	A	3	.3571	-.36
-1.02	D	4	.5000	0.00
-0.70	AXD	5	.6429	.36
-0.06	AXE	6	.7857	.79
3.50	C	7	.9286	1.46

FIGURA 3.4.: GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL DE LAS VELAS



En la gráfica se pueden apreciar los siguientes factores significativos B, E, A, C

Paso 4.- 4.4. Análisis de Variancia ANVA de los factores. Determinar efectos significativos, corroborando o no las gráficas de probabilidad normal.
Los valores del ANVA calculados son:

CUADRO 3.10.: DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS SOBRE LAS VELAS

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE SUMA DE CUADRADOS	F	ρ(%)
A	1	2.31	2.31	36.7 a	11.27
B	1	13.06	13.06	207.3 a	63.71
C	1	1.53	1.53	24.3 a	7.46
D	1	0.13*			
E	1	3.41	3.41	54.1 a	16.63
A x D	1	0.06*			
A x E	1	0.00045*			
ERROR	0				
TOTAL	7	20.50	2.93		99.07
ERROR AGRUPADO	3	0.19045	0.063		

La suma de cuadrados se calculó con la siguiente ecuación:

$$SC\ a = \frac{(A_1 + A_2)^2}{n} = \frac{(-10.14 - (-5.84))^2}{8} = 2.31 \qquad \text{Ecuación 3.1.}$$

Así se aplica para el resto de factores e interacciones.

De la Tabla de F se obtiene el nivel de significación a 1% y 5%
F (1,4) a 0.05 = 7.71
F (1,4) a 0.01 = 21.20

Los factores significativos a 1% son: A, B, C, E. (Si son significativos al 1%, también lo son al 5%.

Nota.- La simbología que se pone al costado es la letra a, que indica significativo a 1%; sí solo lo fueran al 5% se pondría la letra c.

Paso 4.- 4.5. DEFINICION DE EFECTOS SIGNIFICATIVOS, ANALISIS DE DATOS Y CALCULO DE ECUACION DE PREDICCION

De los cálculos realizados se determinan los siguientes efectos de factores significativos: A, B, C y E.

Sus efectos S/N son:

A = -5.84	C = -6.24
B = -2.88	E = 5.38

La combinación óptima es: A2, B2, C1, D2, E2,

La ecuación de predicción, sólo con los factores significativos, es:

$$S/N = \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{B}_2 - \bar{T}) + (\bar{C}_1 - \bar{T}) + (\bar{E}_2 - \bar{T}) \qquad \text{Ecuación 3.2.}$$

$$\bar{T} = \frac{\Sigma\ S/N}{n} = \frac{-15.98}{8} = -2.00 \qquad \text{Ecuación 3.3.}$$

$$S/N = -2 + (-5.84/4 - (-2)) + (-2.88/4 - (-2)) + (-6.24/4 - (-2)) + (-5.38/4 - (-2)) = 0.915$$

Paso 5. Confirmación de Resultados.

Con base a la información obtenida en 4.5. se procedió a diseñar dos pruebas con los niveles óptimos encontrados. Estas pruebas fueron para:

CUADRO 3.11.DISEÑO DE PRUEBAS DE CONFIRMACION

FACTOR-NIVEL	DESCRIPCION
A2	90% PARAFINA- 10% ESTEARINA
B2	MECHA DELGADA
C1	LATON
D2	CON AGITACION
E2	LLAMA MEDIA

Luego de realizar las pruebas los resultados fueron:

CUADRO 3.12. RESULTADOS DE PRUEBAS DE CONFIRMACION

Resultados/consumo	CON SOL	SIN SOL	$\bar{Y}$	s^2	S/N
	9.05 cm^3	8.84 cm^3	8.98	0.12	-19.03
Resultados/superficie	Lisa	Lisa			

Si a S/N sumamos +20, tendremos +0.97 que es cercano al valor de la ecuación de predicción y además es mayor (a los valores de S/N calculados en 4.2 en las tablas y de la ecuación de predicción), por lo que es aceptable el resultado obtenido.

Con los resultados se corrobora lo obtenido del análisis. Se ha encontrado un proceso que da los mejores resultados.

RESULTADOS OBTENIDOS:

El proceso óptimo de elaboración de las velas artesanales se consigue si se consideran los siguientes parámetros del proceso:

1) La formulación de 90% de parafina y 10% de estearina.
2) El uso de mecha larga para las velas.
3) El uso de moldes de latón.
4) Se realiza agitación durante el calentamiento de la parafina y estearina.
5) Se utiliza llama media en el calentador de la parafina y estearina.

2.2.2. CASO: POP CORN.

El tema de popcorn se escogió debido a la facilidad que se conocía a un microempresario que elaboraba este producto para su venta y que estaba dispuesto a apoyar con su conocimiento e infraestructura y a seguir las pruebas.

Asimismo, por el tipo de proceso de elaboración del popcorn, éste se presta a una aplicación del método. Se trata de un proceso simple, que se puede probar varias veces, que su replica no tiene un costo muy alto y que los implementos para realizarlo tampoco requerían una inversión muy elevada. Por otro lado se tiene la ventaja que su elaboración no requiere de mucho tiempo lo cual es una facilidad adicional.

El microempresario es el Sr. Polo Albornoz, que tiene su ubicación de venta en las inmediaciones de la Av San Juan en San Juan de Miraflores.

El procedimiento seguido fue:

Paso 1. Plantear el Problema.

1.PLANTEAR EL PROBLEMA		
1.1. PRODUCTO O PROCESO	1.2. CARACTERISTICA DE CALIDAD	1.3.FACTORES CONTROLABLES Y NO CONTROLABLES

Paso 1. - 1.1. Determinación Producto o Proceso objeto de mejora y describir sus características.

El proceso de elaboración de pop corn fue seleccionado para ser mejorado mediante el experimento. El pop corn es una golosina o bocadito, especialmente para niños. Para este experimento se formó un equipo de trabajo de 4 personas, que tenían conocimiento del tema.

Proceso:

Los insumos necesarios para el proceso son: maíz para pop corn, aceite (de soya o compuesto), olla (plana, oval), utensilios (cucharón, guantes protectores, envases de plástico), medidor volumétrico de plástico, cocina. Todos estos insumos se pueden conseguir en supermercados y mercados de abasto.

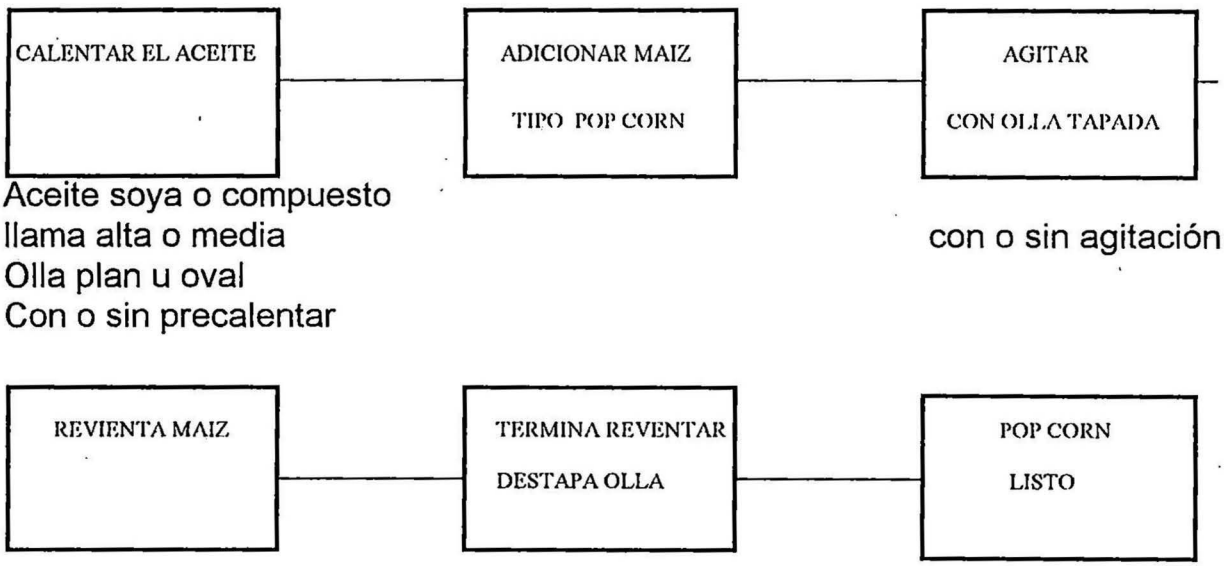
Los pasos a seguir para la elaboración de pop corn son:

1) Agregar aceite en una sartén u olla para precalentarlo y luego agregar el maíz (1 a 2 minutos) ; o agregar el aceite y el maíz a continuación, sin precalentamiento. La cantidad de aceite varió entre 25 y 50 cm^3.
   En nuestro caso se usaron dos tipos de aceite: de soya y compuesto. Asimismo, se usaron dos tipos de ollas, de base plana y de base oval. El calentamiento se realizó de dos maneras: llama alta y llama media.
2) A continuación se adiciona el maíz. Para el experimento se utilizó maíz nacional que se expende a granel por kilos. Se contaron los granos: 100 para cada experimento.
3) Durante el calentamiento se tapa la olla y se puede agitar o no agitar a los maíces en calentamiento.
4) Se revienta el maíz, manteniendo la olla tapada.
5) Una vez que han dejado de reventar los maíces, se saca la tapa.
6) Se tiene los pop corn listos.

En las condiciones de trabajo se tuvo un factor no controlable que fue la presencia y ausencia de viento.

Diagrama de Bloques del proceso de Elaboración de Pop Corn, se presenta en la figura 3.5:

FIGURA 3.5. DIAGRAMA DE BLOQUES DE ELABORACION DE POPCORN



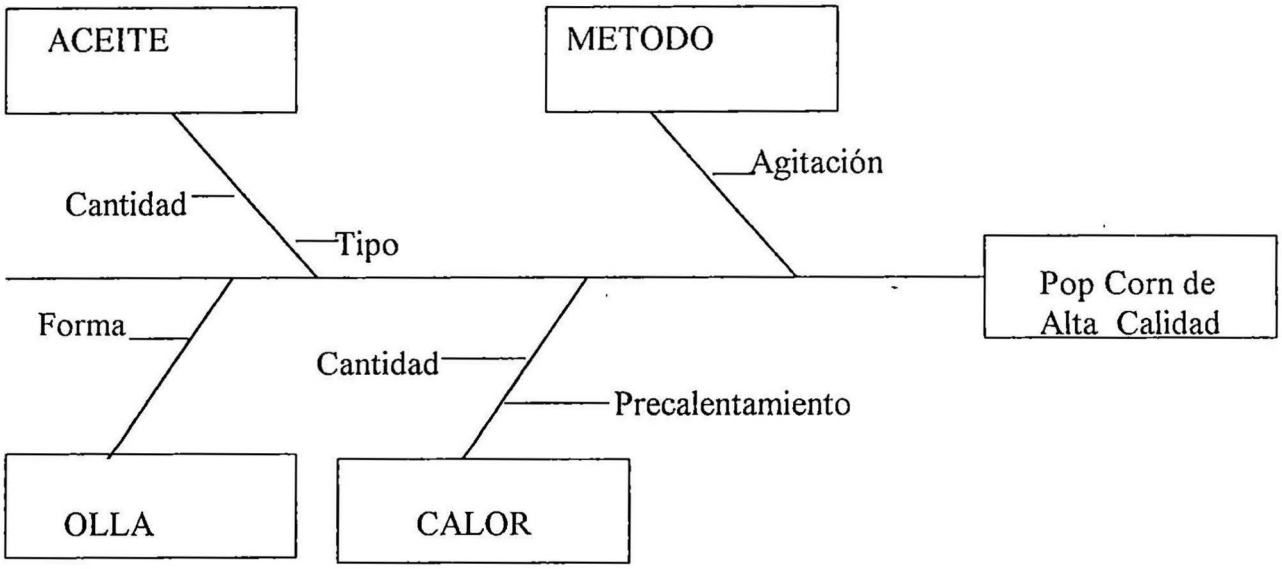
Paso 1. -1.2. Determinar la Característica (s) de Calidad y su unidad de medida que se espera mejorar (variable dependiente). Ello se puede hacer usando el diagrama causa – efecto o alguna técnica similar.

Diagrama Causa – Efecto, elaborado con la participación del equipo de trabajo, ver figura 3.6.

FIGURA 3.6. DIAGRAMA CAUSA EFECTO SOBRE EL POPCORN

FACTORES

CARACTERISTICAS DE CALIDAD



Factor Ruido: Presencia o ausencia de viento.

Mediante el Diagrama Causa Efecto se ha podido determinar los factores principales que influencian el proceso y las características de calidad que esperan los clientes.

Las características de calidad son:

a. Número de semillas de maíz que no reventaron o se quemaron luego del proceso. (Nº)
b. Volumen que ocupa el pop corn que reventó. (cm^3)
c. Crocancia típica (textura). (sí o no)

Paso 1. - 1.3. Determinar los factores controlables e interacciones y factores no controlables, y sus niveles; que afectan a la característica de calidad. Ello se puede hacer mediante el diagrama causa – efecto o alguna técnica similar.

Mediante al Diagrama Causa Efecto de 1.2. se ha determinado los factores controlables y ruido (no controlables), y con el equipo de trabajo se determinaron los niveles. Se determinaron 6 factores, 1 interacción y un factor no controlable, según se puede apreciar en el cuadro 3.13.:

CUADRO 3.13.FACTORES CONTROLABLES Y NO CONTROLABLES PARA LA ELABORACION DE POPCORN

FACTOR	NIVEL 1	NIVEL 2
A.TIPO DE ACEITE	SOYA	COMPUESTO
B. CANTIDAD DE ACEITE	POCO 25 cm3	BASTANTE 50 cm3
C.CANTIDAD DE CALOR	LLAMA MEDIA	LLAMA ALTA
D.PRECALENTAMIENTO	NO	SI
E.AGITACION	NO	SI
F.FORMA DE OLLA	PLANA	OVAL
INTERACCIONES		
A X C		
FACTORES NO CONTRALABLES		
G. VIENTO	CON	SIN

Los factores determinados fueron el tipo de aceite, el cual puede ser de soya o compuesto. Otro factor considerado fue la cantidad de aceite, se consideraron dos cantidades distintas: 25 y 50 centímetros cúbicos. La cantidad de aceite se consideró importante debido a su influencia en la cocción y a la vez en el costo.

Con relación al calor se contemplaron dos factores; el primero fue el usar llama alta o llama media. Asimismo, se contempló la existencia o no de precalentamiento.

Durante el proceso un aspecto importante es la necesidad o no de agitación; este fue otro factor considerado.

De acuerdo a la literatura sobre el tema se tomó en consideración la forma de la olla, la cual puede ser de base plana u oval. De acuerdo a la información existente sería más conveniente el uso de ollas ovales debido a que se daría una mayor transferencia de calor.
La interacción que se estimó que debería estudiarse fue la que se da entre el tipo de aceite y la cantidad de aceite.

Paso 2. Diseño del Experimento.

2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO		
2.1. SELECCIÓN ARREGLO ORTOGONAL	2.2.UBICACIÓN DE FACTORES E INTERACCIONES EN COLUMNAS	2.3. ARREGLO INTERNO Y EXTERNO

Paso 2.- 2.1. Selección del Arreglo Ortogonal AO apropiado (del conjunto de AO propuestos por Taguchi. (Ver Anexo)

1° Determinar los grados de libertad requeridos: g.l. = grados de libertad.

a) g.l. requeridos para cada factor = N° niveles que tiene menos 1.

CUADRO 3.14. : GRADOS DE LIBERTAD REQUERIDOS PARA FACTORES

FACTOR	A	B	C	D	E	F	TOTAL
g.l.	1	1	1	1	1	1	6

a) g.l. requeridos para una interacción = producto de los g.l. de los factores interactuando.

CUADRO 3.15. : GRADOS DE LIBERTAD REQUERIDOS PARA INTERACCIONES

g.l. A x B	1 x 1	1
TOTAL		1

Total de g.l. requeridos (como mínimo) = suma de los g.l. para cada factor + suma de los g.l. para cada interacción. = 6 + 1 = 7

2° Grados de libertad disponibles por un AO: el total de g.l. disponibles por un AO es igual al N° de pruebas menos 1.

Regla 1. Los g.l. disponibles en un AO deben ser mayores o iguales que la sumatoria de los g.l. de los factores e interacciones.

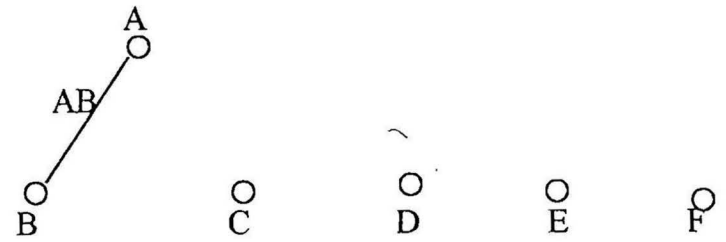
Regla 2. Si el N° de g.l. requeridos cae entre los g.l. disponibles de 2 AO; se escoge el mayor valor.

AO L8 = 8 pruebas – 1 = 7 g.l.

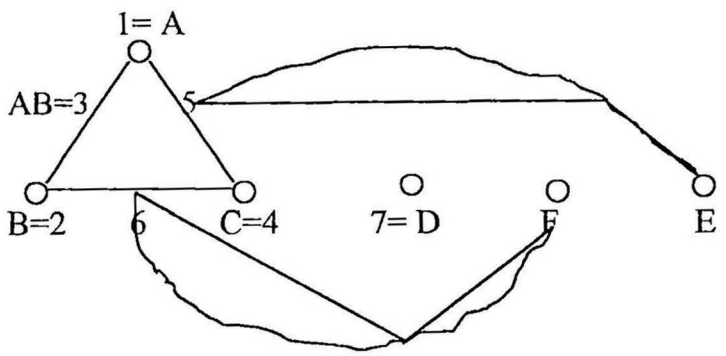
Paso 2.- 2.2. Ubicación de Factores y/o Interacciones en las columnas. Para ello se usan los Gráficos Lineales y Tablas Triangulares, por puestas por Taguchi (Ver Anexo)

1°De la revisión de los gráficos del AO L8 se deduce que los gráficos no se ajustan a lo requerido, luego se aplica el procedimiento seguido por Anand (Ver Revisión de Literatura).

a. Representación Gráfica de lo requerido



a. Modificación de la gráfica estándar

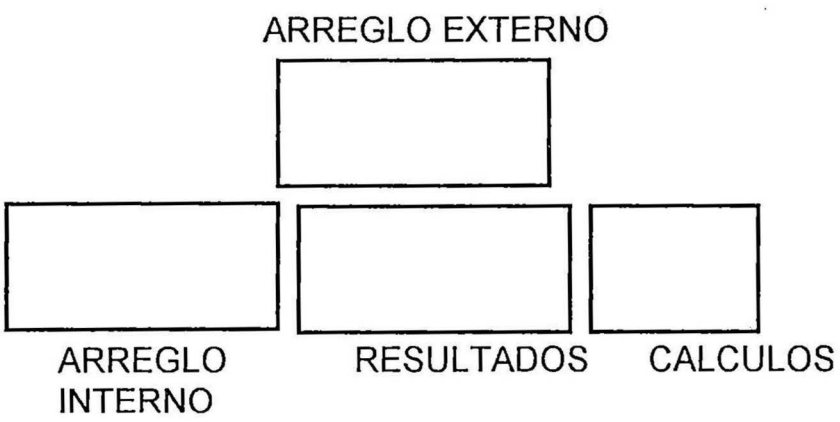


Además considerando la tabla triangular de interacciones (Ver Anexo), se tiene:

CUADRO 3.16..ARREGLO ORTOGONAL SELECCIONADO

EXP.	COLUMNAS							Factor Ruido	
	1 A	2 B	3 AXB	4 C	5 E	6 F	7 D	G1	G2
1	1	1	1	1	1	1	1		
2	1	1	1	2	2	2	2		
3	1	2	2	1	1	2	2		
4	1	2	2	2	2	1	1		
5	2	1	2	1	2	1	2		
6	2	1	2	2	1	2	1		
7	2	2	1	1	2	2	1		
8	2	2	1	2	1	1	2		

Paso 2.- 2.3.Arreglo Interno y Externo



CUADRO 3.17. ARREGLO ORTOGONAL CON DATOS A PROBAR EN EL EXPERIMENTO

EXP	COLUMNAS							Factor Ruido	
	1 A TIPO ACEITE	2 B CANTIDAD cm3	3 AB	4 C CALOR LLAMA	5 E AGITACION	6 F FORMA OLLA	6 D PRECALENTAMIENTO	G1 Con Viento	G2 Sin Viento
1	SOYA	25	1	MEDIA	NO	PLANA	NO		
2	SOYA	25	1	ALTA	SI	OVAL	SI		
3	SOYA	50	2	MEDIA	NO	OVAL	SI		
4	SOYA	50	2	ALTA	SI	PLANA	NO		
5	Compu.	25	2	MEDIA	SI	PLANA	SI		
6	Compu.	25	2	ALTA	NO	OVAL	NO		
7	Compu.	50	1	MEDIA	SI	OVAL	NO		
8	Compu.	50	1	ALTA	NO	PLANA	SI		

Las características a evaluar son:

R1 = Nº de semillas que no revientan + quemadas.
R2 = Volumen pop corn (cm de alto de envase plástico cilíndrico de 10 cm de diámetro)
R3 = Crocancia (si ó no)

La medición de R1 (el Nº de semillas que no revientan + quemadas) se realizará contando de manera manual en la olla luego de terminado el proceso.

La medición de R2 (volumen que ocupa el pop corn) se realizará de mediante la medición de la altura del pop corn vertido en el recipiente cilíndrico de 10 cm de diámetro.

La medición de R3 (crocancia) se realizará de manera manual, determinando si el pop corn está crocante o no.

Paso 3. Realizar las pruebas.

Luego de acondicionar los diversos elementos e insumos necesarios, se procedió a realizar las pruebas. Los resultados de realizar las pruebas fueron:

CUADRO 3.18.:RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

NºPrueba	G1 CON VIENTO			G2 SIN VIENTO		
	R1 Nº Semillas	R2 Cm alto en medidor	R3 Nº No crocante	R1 Nº Semillas	R2 Cm alto en medidor	R3 Nº No crocante
1	11	6.5	25	9	6.7	21
2	4	6.8	24	3	6.8	20
3	29	5.4	26	25	5.4	24
4	2	8.1	20	1	8.1	18
5	29	5.4	41	25	5.4	37
6	4	7	22	3	7	20
7	3	6.5	27	2	6.5	25
8	12	7	31	10	7	29

El número de semillas utilizadas fue de 100 por experimento. Luego del proceso respectivo se determinó los valores de Nº de semillas R1, cm de alto que ocupa el pop corn en un recipiente cilíndrico de 10 cm de diámetro R2 y Nº de granos de pop corn no crocantes R3.

Paso 4. Analizar Resultados.

4. ANALIZAR RESULTADOS			
4.1. CALCULO DE $\bar{Y}$, s^2 y S/N	4.2.CALCULO DE EFECTOS	4.3.GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL	4.4.ANVA
4.5. DEFINICION DE EFECTOS SIGNIFICATIVOS, ANALISIS DE DATOS Y CALCULO DE ECUACION DE PREDICCION			

Paso 4.- 4.1. $\bar{Y}$, s^2 y S/N para cada fila.

CUADRO 3.19. RESULTADOS DE PROMEDIO, s^2 y S/N

Nº P	R1 MINIMO NO REVIEN.O QUEMA.					R2 MAXIMO ALTO- VOLUMEN				
	CON Viento	SIN Viento	$\bar{Y}$	s^2	S/N	CON Viento	SIN Viento	$\bar{Y}$	s^2	S/N
1	11	9	10	2	-20.04	6.5	6.7	6.6	0.02	16.45
2	4	3	3.5	0.5	-10.97	6.8	6.8	6.9	0.02	16.77
3	29	25	27	8	-28.65	5.4	5.4	5.5	0.02	14.80
4	2	1	1.5	0.5	-3.98	8.1	8.1	8.2	0.02	18.27
5	29	25	27	8	-28.65	5.4	5.4	5.5	0.02	14.80
6	4	3	3.5	0.5	-10.97	7	7	7.1	0.02	17.02
7	3	2	2.5	0.5	-8.13	6.5	6.5	6.6	0.02	16.45
8	12	10	11	2	-20.43	7	7	7.1	0.02	17.02

Nº P	R3 MINIMO NO CROCANTES				
	CON Viento	SIN Viento	$\bar{Y}$	s^2	S/N
1	25	21	23	8	-26.86
2	24	20	22	8	-26.45
3	26	24	25	2	-27.79
4	20	18	19	2	-25.35
5	41	37	39	8	-31.60
6	22	20	21	2	-26.24
7	27	25	26	2	-28.13
8	31	29	30	2	-29.40

Nota.- Para el cálculo de S/N se usó la fórmula para menor valor lo mejor ó para mayor valor lo mejor, según corresponda. (Ver Metodología)

Con relación a los valores de S/N , para simplificar los cálculos se puede sumar +20 a todos los valores de R1, restar 15 de los valores de R2 y sumar +30 de los valores de R3..

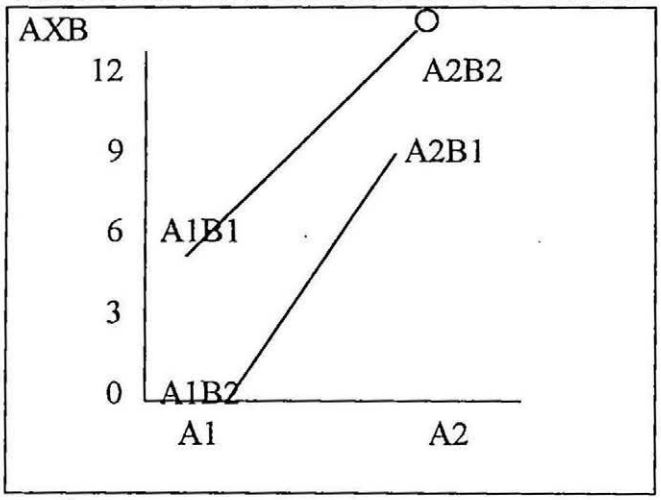
Paso 4.- 4.2. Calcular los efectos de cada factor e interacción y ecuación de predicción y gráficos

Para R1

CUADRO 3.20. :RESULTADOS DE S/N PARA R1 EN POPCORN

Nº P	1 A	2 B	3 AxB	4 C	5 E	6 F	7 D	R1 S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	-0.04
2	1	1	1	2	2	2	2	9.03
3	1	2	2	1	1	2	2	-8.65
4	1	2	2	2	2	1	1	16.02
5	2	1	2	1	2	1	2	-8.65
6	2	1	2	2	1	2	1	9.03
7	2	2	1	1	2	2	1	11.87
8	2	2	1	2	1	1	2	-0.43
ΣEf 1	16.36	9.37	20.43	-5.47	-0.09	6.9	36.88	(+20)
ΣEf 2	11.82	18.81	7.75	33.65	28.27	21.28	-8.7	
Dif.	4.54	-9.44	12.68	-39.12	-28.36	-14.38	45.58	
Nivel Seleccionado	A1	B2	AxB 1	C2	E2	F2	D1	

FIGURA 3.7.:INTERACCIONES PARA R1



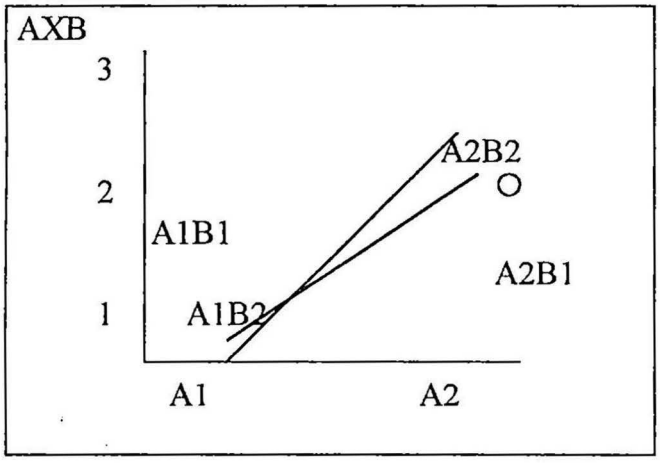
	B1	B2
A1	4.495	3.685
A2	0.19	11.44

Para R2

CUADRO 3.21. :RESULTADOS DE S/N PARA R2 EN POPCORN

Nº P	1 A	2 B	3 AxB	4 C	5 E	6 F	7 D	R1 S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	1.45
2	1	1	1	2	2	2	2	1.77
3	1	2	2	1	1	2	2	-0.20
4	1	2	2	2	2	1	1	3.27
5	2	1	2	1	2	1	2	0.20
6	2	1	2	2	1	2	1	2.02
7	2	2	1	1	2	2	1	1.45
8	2	2	1	2	1	1	2	2.02
ΣEf 1	6.29	5.44	6.69	2.90	5.29	6.94	8.19	(-15)
ΣEf 2	5.69	6.54	5.29	9.08	6.69	5.04	3.79	
Dif.	0.60	1.10	1.40	6.18	1.40	1.90	4.40	
Nivel Seleccionado	A1	B2	AxB 1	C2	E2	F1	D1	

FIGURA 3.8:INTERACCIONES PARA R2



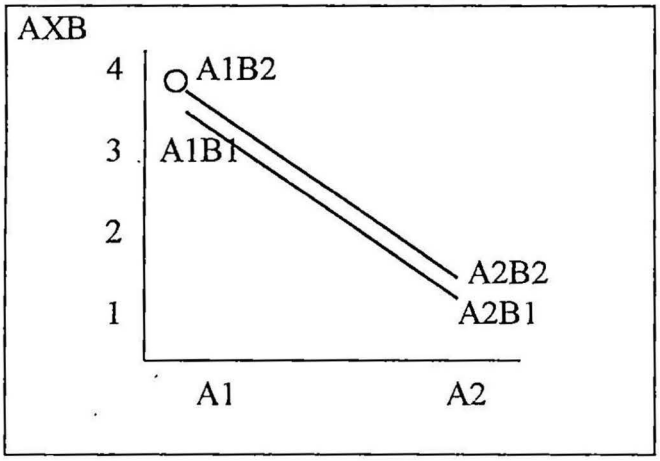
	B1	B2
A1	1.61	1.535
A2	1.11	1.735

Para R3

CUADRO 3.22. :RESULTADOS DE S/N PARA R3 EN POPCORN

Nº P	1 A	2 B	3 AxB	4 C	5 E	6 F	7 D	R1 S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	3.14
2	1	1	1	2	2	2	2	3.55
3	1	2	2	1	1	2	2	2.21
4	1	2	2	2	2	1	1	4.65
5	2	1	2	1	2	1	2	-1.60
6	2	1	2	2	1	2	1	3.76
7	2	2	1	1	2	2	1	1.87
8	2	2	1	2	1	1	2	0.60
ΣEf 1	13.55	8.85	9.16	5.62	9.71	6.79	13.42	(+30)
ΣEf 2	4.63	9.33	9.02	12.56	8.47	11.39	4.76	
Dif.	8.92	-0.48	0.14	-6.94	1.24	-4.60	8.66	
Nivel Seleccionado	A1	B2	AxB 1	C2	E1	F2	D1	

FIGURA 3.9: INTERACCIONES PARA R3



	B1	B2
A1	3.345	3.43
A2	1.08	1.235

Con relación al factor ruido o no controlable:

CUADRO 3.23. :RESULTADOS SOBRE FACTOR RUIDO PARA R1,R2 Y R3:

		G1 CON VIENTO	G2 SIN VIENTO
R1	SUMA	94	78
	PROMEDIO	11.75	9.75
	DIFERENCIA	2	
R2	SUMA	52.7	54.3
	PROMEDIO	6.58	6.78
	DIFERENCIA	0.20	
R3	SUMA	216	194
	PROMEDIO	27	24.25
	DIFERENCIA	2.75	

De los cuadros y de las gráficas se tiene:

Con R1:

La combinación óptima es A1, B2, AxB 1, C2, E2, F2, D1 donde el efecto de la interacción es fuerte (12.62).

Del Análisis de AxB: el mayor valor el de S/N es A2B2, que coincide con B2 de la combinación óptima pero no con A1. Se tiene que el efecto mayor es el de la interacción con respecto a A (4.54) por tanto seleccionamos A2. Además A2 es más barato (aceito compuesto)

Con R2:

La combinación óptima es A1, B2, AxB 1, C2, E2, F1, D1 donde el efecto de la interacción es más fuerte (1.40) que A ó B.

Del Análisis de AxB: el mayor valor el de S/N es A2B2, que coincide con B2 de la combinación óptima pero no con A1. Se tiene que el efecto mayor es el de la

interacción con respecto a A (0.60) por tanto seleccionamos A2. Además A2 es más barato (aceito compuesto).

Con respecto a F hay diferencia entre el análisis con R1 y R2; pero el efecto de F es mayor con R1 (14.38 vs.1.90) por tanto se selecciona F2.

Con R3:

La combinación óptima es A1, B2, AxB 1, C2, E2, F2, D1 donde el efecto de la interacción es más débil (0.14) que A ó B.

Del Análisis de AxB: el mayor valor el de S/N es A1B2, que coincide con A1 y B2 de la combinación óptima .

Conclusión: La combinación óptima es A1, B2, C2, E1, F2 y D1.

Con relación al efecto del factor no controlable que su efecto es mayor sobre la crocancia y es mínimo sobre el volumen.

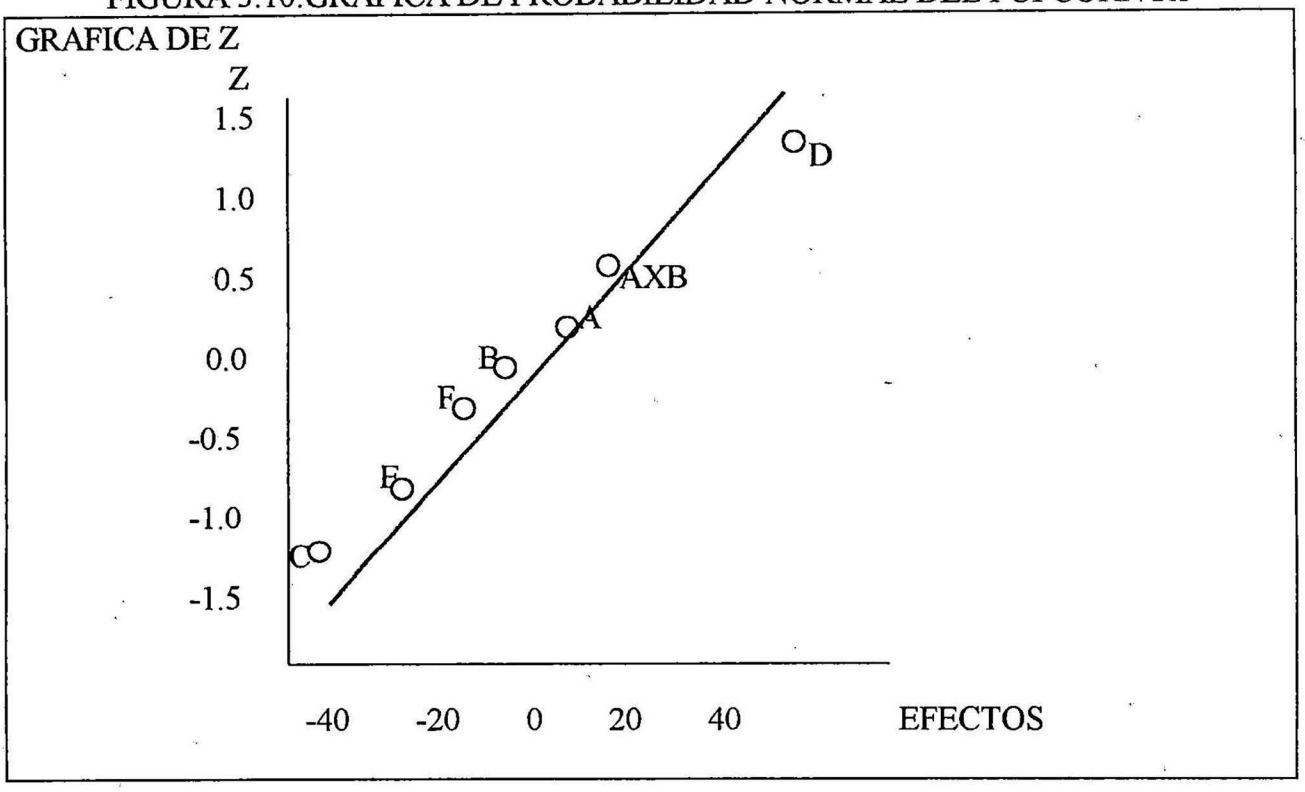
Paso 4.- 4.3. Elaborar la curva de probabilidad normal de los factores (para determinar factores significativos).

Sobre R1: El cuadro de datos para la curva sobre el número de semillas que no revientan o que se queman (R1) son:

CUADRO 3.24.DATOS DE CURVA DE POPCORN PARA R1

EFECTOS ORDENADOS	LETRA DE FACTOR	ORDEN J	PERCENTIL (j-.5)/n	VALOR DE Z
-39.12	C	1	(I-.5)/7=.0714	-1.46
-28.36	E	2	.2143	-.79
-14.38	F	3	.3571	-.36
-9.44	B	4	.5000	0.00
4.54	A	5	.6429	.36
12.68	AXB	6	.7857	.79
45.58	D	7	.9286	1.46

FIGURA 3.10:GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL DEL POPCORN R1



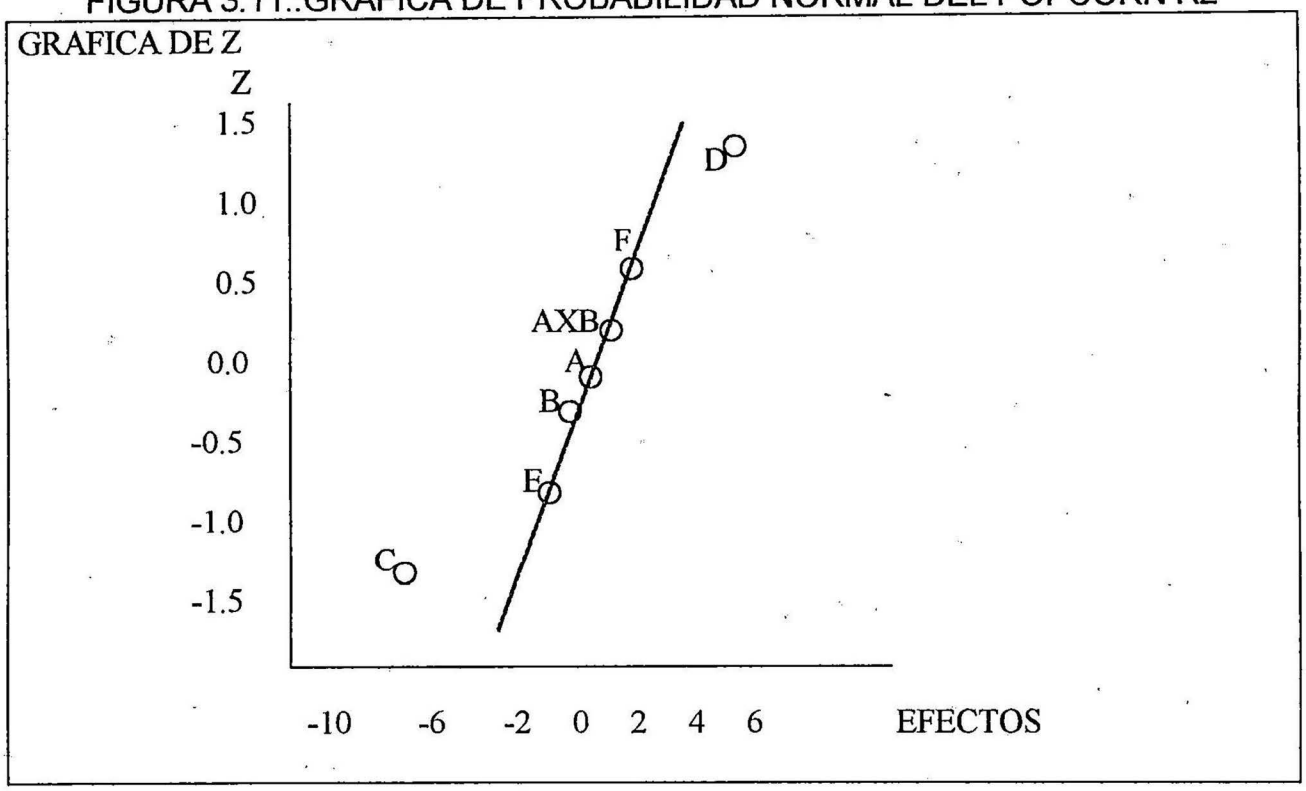
En la gráfica se pueden apreciar los siguientes factores significativos C y D

Sobre R2: El cuadro de datos para la curva sobre el volumen que ocupan los pop corn (R2) son:

CUADRO 3.25.DATOS DE CURVA DE POPCORN PARA R2:

EFECTOS ORDENADOS	LETRA DE FACTOR	ORDEN J	PERCENTIL (j-.5)/n	VALOR DE Z
-6.18	C	1	(i-.5)/7=.0714	-1.46
-1.40	E	2	.i143	-.79
-1.10	B	3	.3571	-.36
0.60	A	4	.5000	0.00
1.40	AXB	5	.6429	.36
1.90	F	6	.7857	.79
4.40	D	7	.9286	1.46

FIGURA 3.11.:GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL DEL POPCORN R2



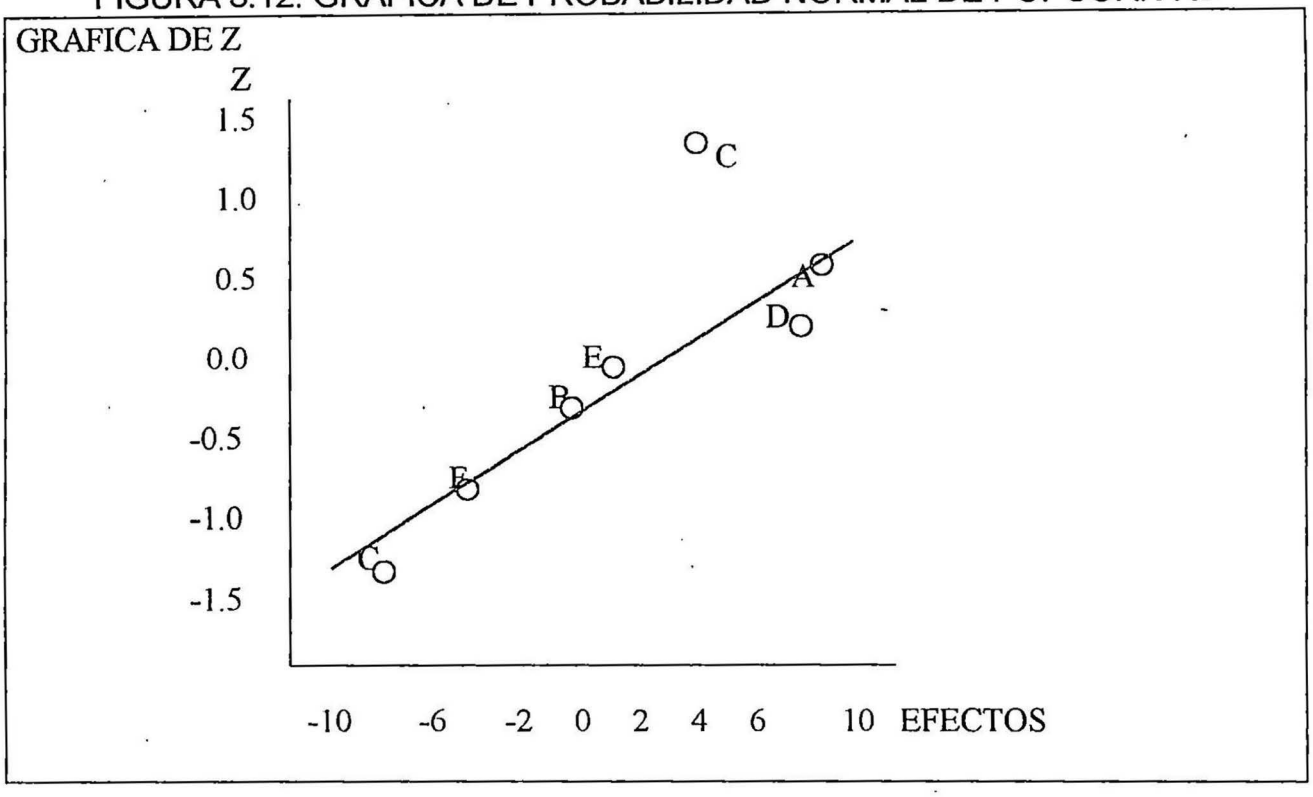
En la gráfica se pueden apreciar los siguientes factores significativos C y D.

Sobre R3: El cuadro de datos para la curva sobre los granos de pop corn crocantes (R3) son:

CUADRO 3.26.DATOS DE CURVA DE POPCORN PARA R3

EFECTOS ORDENADOS	LETRA DE FACTOR	ORDEN J	PERCENTIL (j-.5)/n	VALOR DE Z
-6.94	C	1	(i-.5)/7=.0714	-1.46
-4.60	F	2	.2143	-.79
-0.48	B	3	.3571	-.36
0.14	AXB	4	.5000	0.00
1.24	E	5	.6429	.36
8.66	D	6	.7857	.79
8.92	A	7	.9286	1.46

FIGURA 3.12: GRAFICA DE PROBABILIDAD NORMAL DE POPCORN R3



En la gráfica se pueden apreciar los siguientes factores significativos C y D.

Paso 4.- 4.4. Análisis de Variancia ANVA de los factores. Determinar efectos significativos, corroborando o no las gráficas de probabilidad normal.

Los valores del ANVA calculados son:

Para R1:

CUADRO 3.27. :ANVA PARA R1

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE SUMA DE CUADRADOS	F	ρ(%)
A	1	2.58*	2.58		
B	1	11.14*	11.14		
C	1	191.30	191.30	12.82 c	31.30
D	1	259.69	259.69	17.40 c	42.49
E	1	100.54	100.54	6.74	16.45
F	1	25.85*	25.85		
A x B	1	20.10*	20.10		
ERROR	0				

TOTAL	7	611.20	87.31		90.24
ERROR AGRUPADO	4	59.67	14.92		

La suma de cuadrados se calculó con la siguiente ecuación:

$$SC\ a = \frac{(A_1 + A_2)^2}{n} = \frac{(16.36 - 11.82)^2}{8} = 2.58$$ Ecuación 3.4.

Así se aplica para el resto de factores e interacciones.

De la Tabla de F se obtiene el nivel de significación a 1% y 5%
F (1,3) a 0.05 = 10.13
F (1,3) a 0.01 = 34.12

Los factores significativos al 5% son: C y D.

Nota.- La simbología que se pone al costado es la letra a, que indica significativo a 1%; sí solo lo fueran al 5% se pondría la letra c.

Para R2: Volumen (altura en cm en envase)

CUADRO 3.28. ANVA PARA R2

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE SUMA DE CUADRADOS	F	ρ(%)
A	1	0.045*	0.045		
B	1	0.151*	0.151		
C	1	4.774	4.774	48.71 a	57.30
D	1	2.420	2.420	24.69 a	29.05
E	1	0.245	0.245	2.50	2.94
F	1	0.451	0.451	4.60	5.41
A x B	1	0.245	0.245	2.50	2.94
ERROR	0				
TOTAL	7	8.331			97.64
ERROR AGRUPADO	2	0.196	0.098		

La suma de cuadrados se calculó con la siguiente ecuación:

$$SC\ a = \frac{(A_1 + A_2)^2}{n} = \frac{(6.29 - 5.69)^2}{8} = 0.045$$ Ecuación 3.5.

Así se aplica para el resto de factores e interacciones.

De la Tabla de F se obtiene el nivel de significación a 1% y 5%
F (1,5) a 0.05 = 6.61
F (1,5) a 0.01 = 16.26

Los factores significativos al 1% son: C y D. (incluye al 5%)

Para R3: Crocancia, número de pop corn no crocantes.

CUADRO 3.29. ANVA PARA R3

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE SUMA DE CUADRADOS	F	ρ(%)
A	1	9.95	9.95	134.46 a	35.27
B	1	0.03	0.03		
C	1	6.02	6.02	81.35 a	21.34
D	1	9.37	9.37	126.62 a	33.21
E	1	0.19	0.19		
F	1	2.65	2.65	35.81 a	9.39
A x B	1	0.002	0.002		
ERROR	0				
TOTAL	7	28.212			
ERROR AGRUPADO	3	0.222	0.074		

La suma de cuadrados se calculó con la siguiente ecuación:

$$SC\ a = \frac{(A_1 + A_2)^2}{n} = \frac{(13.55 - 4.63)^2}{8} = 9.95 \qquad \text{Ecuación 3.6.}$$

Así se aplica para el resto de factores e interacciones.

De la Tabla de F se obtiene el nivel de significación a 1% y 5%
F (1,4) a 0.05 = 7.71
F (1,4) a 0.01 = 21.20

Los factores significativos al 1% son: A, C, D y F.

Paso 4.- 4.5. DEFINICION DE EFECTOS SIGNIFICATIVOS, ANALISIS DE DATOS Y CALCULO DE ECUACION DE PREDICCION

De los cálculos realizados se tiene la siguiente información sobre los factores significativos:

CUADRO 3.30.. S/N DE LOS FACTORES SIGNIFICATIVOS		
	FACTORES SIGNIFICATIVOS	FACTORES NO SIGNIFICATIVOS
R1		
C,D	C2=33.65;D1=36.88	A2,B2,E2,F2
R2		
C,D	C2=9.08; D1=8.19	A1,B2,E2,F1
R3		
A,C,D,F	A1=13.55; C2=12.56 D1=13.42; F2=11.39	B2,E1

Considerando los efectos S/N de los tres resultados se tienen los siguientes efectos significativos:
A1=13.55;
C2=33.65 + 12.56 + 9.08 = 55.29/3=18.43
D1=36.88+13.42+8.19=58.49/3=19.50
F2=11.39
La combinación óptima es:
Efectos Significativos: A1,C2,D1,F2
Efectos No Significativos: B2, E2

La ecuación de predicción, sólo con los factores significativos, es:

$$S/N = \bar{T} + (\bar{A}_1 - \bar{T}) + (\bar{C}_2 - \bar{T}) + (\bar{D}_1 - \bar{T}) + (\bar{F}_2 - \bar{T}) \qquad \text{Ecuación 3.7.}$$

$$\bar{T} = \frac{\Sigma\, S/N}{n} = \frac{59.94}{24} = 2.50 \qquad \text{Ecuación 3.8.}$$

S/N = 2.50 + (13.55/4 – 2.50) + (18.43/4 – 2.50) + (19.50/4 – 2.50) + (11.39/4 – 2.50)
= 2.50 + 0.89 + 2.11 + 2.38 + 0.35 = 8.23

Paso 5. Confirmación de Resultados.

Con base a la información obtenida en 4.5. se procedió a diseñar dos pruebas con los niveles óptimos encontrados. Estas pruebas fueron para:

CUADRO 3.31.:DISEÑO DE PRUEBAS DE CONFIRMACION

FACTOR-NIVEL	DESCRIPCION
A1	ACEITE DE SOYA
B2	50 cm3 ACEITE
C2	LLAMA ALTA
D1	SIN PRECALENTAMIENTO
E2	CON AGITACION
F2	OLLA OVAL

Luego de realizar las pruebas los resultados fueron:

CUADRO 3.32. RESULTADOS DE PRUEBAS DE CONFIRMACION

	CON VIENTO	SIN VIENTO	$\bar{Y}$	s^2	S/N
Resultados/ No reventados + quemados	2	1	1.5	0.5	-3.98 +20=16.02
Resultados/ Volumen , en cm alto	8.2	8.5	8.35	0.045	18.43 -15=3.43
Resultados/ No Crocantes	18	15	16.5	4.5	-24.38 +30=5.62

Si sumamos los 3 S/N tendremos: 25.07 y dividido entre 3 tendremos: +8.36 que es cercano al valor de la ecuación de predicción y además es mayor (al valor de S/N calculado en la ecuación de predicción), por lo que es aceptable el resultado obtenido.

Con los resultados se corrobora lo obtenido del análisis. Se ha encontrado un proceso que da los mejores resultados.

RESULTADOS OBTENIDOS:

El proceso óptimo de elaboración de popcorn se consigue si se consideran los siguientes parámetros de proceso:

1) Uso de aceite de soya
2) Uso de 50 cm3 en la olla
3) Uso de llama alta
4) Trabajar sin precalentamiento de la olla
5) Trabajar con agitación.
6) Usar olla oval.

2.3. VENTAJAS DE LA METODOLOGIA PROPUESTA

a) MENOS PRUEBAS

La cantidad de pruebas que se requieren realizar se reduce de manera considerable cuando se utiliza la metodología propuesta.

Es así que sólo se requieren 8 pruebas en lugar de la cantidad de $2^7 = 128$ pruebas para evaluar 7 factores a 2 niveles, ello en el caso que las interacciones no sean significativas. Las 128 pruebas equivaldrían a un factorial completo, el diseño propuesto por Taguchi equivale a un factorial fraccional 1/16.
Sin embargo el número de pruebas podría ser mayor 16 ó 32 dependiendo del número de interacciones que se requiera considerar en el análisis.

El conocimiento del tema de trabajo por parte de los experimentadores permite estas importantes simplificaciones del número de pruebas y allí radica la base de la propuesta de Taguchi: el haber observado que cuando se conoce un tema, el número de pruebas se puede reducir de manera significativa, ya que muchas interacciones se pueden obviar del análisis y sólo se requiere considerar las que influyen de manera significativa o que se sospecha que influyen.

DISEñO DE EXPERIMENTOS TRADICIONAL	METODOS TAGUCHI
MUCHAS PRUEBAS	POCAS PRUEBAS

b) MAS SIMPLE ELABORACION DEL DISEñO

El tener los diseños específicos recomendados, estandarizados, por Taguchi es una simplificación que evita tener que dominar a teoría del diseño de experimentos.

La simplificación es tal que sólo se requiere conocer los factores, sus niveles y probables interacciones y con ello se puede seleccionar el Arreglo Ortogonal; y con la ayuda de los gráficos y las tablas triangulares se asignan las columnas a los diversos factores.

Un trabajo que podría requerir de varias horas de un experto en diseño de experimentos se reduce a unos minutos de un experto en la materia de estudio. En otras palabras, el experto en la materia de estudio puede realizar su experimento sin requerir de un especialista en estadística. Es muy probable que en casos muy complejos se tenga que requerir del apoyo de un estadístico, pero para los casos de las PYMES, que nos ocupa, en la mayoría de las ocasiones ello no sería necesario.

DISEñO DE EXPERIMENTOS TRADICIONAL	METODOS TAGUCHI
REQUIERE DE UN ESPECIALISTA EN ESTADISTICA	UN ESPECIALISTA EN LA MATERIA DE INVESTIGACION LOS PUEDE APLICAR

c) CALCULOS MAS SIMPLES

Los cálculos que se necesitan realizar requieren dominar sólo las operaciones matemáticas elementales, y el uso de algunas tablas como F y Z.

Los cálculos son simples y sólo requieren de seguir los pasos indicados en el procedimiento.

Además dado que en el diseño de experimentos tradicional se requieren considerar los factores y muchas interacciones el número de cálculos se complica demasiado. Ello no ocurre con los Métodos Taguchi, debido a que se consideran los factores y pocas interacciones, por tanto el número de cálculos se reduce considerablemente y asimismo, se reduce la complejidad para la interpretación de los resultados.

DISEñO DE EXPERIMENTOS TRADICIONAL	METODOS TAGUCHI
REQUIERE UTILIZAR OPERACIONES COMPLEJAS Y EN GRAN CANTIDAD. INTERPRETACION MAS COMPLEJA	REQUIERE UTILIZAR OPERACIONES SIMPLES Y POCAS. INTERPRETACION MAS SIMPLE.

d) MAYOR CONFIANZA EN LOS RESULTADOS

El hecho de considerar los factores que uno conoce y en los niveles que estima se pueden presentar, y todo ello manejado por un conocedor en el tema nos lleva a que el experimentador tenga mayor confianza en lo que está trabajando.

Además; el analizar lo referente a los factores significativos a través de dos formas complementarias: Gráfica Normal y Análisis de Variancia ANVA, permite tener una mayor seguridad sobre los factores significativos.

El hecho de considerar el ratio S/N para los análisis es una ventaja con relación a sólo considerar la desviación estandard o la media por separado. Al calcular el ratio S/N se están integrando los dos indicadores estadísticos.

El uso del ANVA permite diferenciar entre los factores significativos y muy significativos (99% y 95% de confianza).

DISEñO DE EXPERIMENTOS TRADICIONAL	METODOS TAGUCHI
SOLO USA EL ANVA, PERO DADO EL GRAN NUEMRO DE FACTORES E INTERACCIONES EL ANVA NO ES FACIL DE ENTENDER	USAN EL ANVA (CON LOS FACTORES Y POCAS INTERACCIONES) Y LA GRAFICA NORMAL. EN ESTE CASO EL ANVA ES FACIL DE ENTENDER

e) SE CONFIRMAN LOS RESULTADOS

El realizar la prueba de confirmación después de los cálculos y de haber determinado la combinación óptima de factores, nos permite tener una confirmación de las conclusiones que se han obtenido.

La confirmación permite que el investigador pueda apreciar, en concreto, un resultado superior a los que venía obteniendo.

La confirmación es una forma de asegurarse que los resultados de los cálculos y análisis son ciertos. Esto es factible de hacer y comprobar dado a que se tienen pocas pruebas; de tal forma que por simple comparación con los resultados anteriores se aprecia la bondad de lo que se propone como combinación óptima de factores.

DISEñO DE EXPERIMENTOS TRADICIONAL	METODOS TAGUCHI
LA CONFIRMACION ES MAS COMPLEJA DADO QUE LA COMPARACION SE TIENE QUE HACER CON MUCHOS MAS RESULTADOS	LA CONFIRMACION ES MAS SIMPLE DEBIDO A QUE FACILMENTE SE COMPARA SUS RESULTADOS CON LOS PREVIOS

2.4. RESTRICCIONES DE LA PROPUESTA

Es de destacar que la metodología propuesta se basa en los trabajos del Dr Genichi Taguchi, el mismo que en 1999 fue reconocido con el máximo premio que otorga la Asociación Americana de la Calidad ASQ (la organización de profesional más grande del mundo y además la más grande sobre el tema de la calidad). Los premios y distinciones del Dr Taguchi recibidas en diversos países del mundo dan testimonio de lo significativo de los Métodos Taguchi.

Sin embargo, los Métodos Taguchi y la propuesta presentada presentan algunas restricciones que es necesario mencionar a fin de que el investigador y el pequeño empresario tenga el cuidado debido.

En primer lugar debe mencionarse que los Métodos Taguchi, en la práctica son Diseños Factoriales Fraccionales seleccionados de manera magistral por su creador: el Dr Taguchi, los mismos que se presentan como los Arreglos Ortogonales. Por tanto dichos diseños experimentales presentan las limitaciones propias de este tipo de herramientas estadísticas. De acuerdo a los estudios de Taguchi, él sostiene que se garantiza un 95% de confiabilidad en los resultados. Ello indudablemente está supeditado a seguir las indicaciones que establece la metodlogía. Por ello la necesidad de las pruebas de confirmación y el uso de las curvas de probabilidad normal. Ambas herramientas le dan mayor seguridad a los resultados.

Como se mencionó anteriormente, las pruebas de confirmación son un aporte de diversos autores posteriores, entre los que destaca Glen Peace. Lo referente al uso de las curvas de probabilidad normal son una herramienta que plantea usar Box y Hunter en su texto de "Estadística para Investigadores", pero para diversos tipos de diseños. Por ello, como resultados del trabajo realizado por la presente investigación, se considera conveniente adicionar esta herramienta a la aplicación de los Métodos Taguchi.

Un Diseño Factorial Fraccional no puede ofrecer las seguridades que ofrece un Diseño Experimental completo, sin embargo, las ventajas en costo y oportunidad son muy significativas. En opinión de muchos expertos, en especial de las empresas, lo que se pueda perder en exactitud y precisión se compensa por la oportunidad de usar estas herramientas, de lo contrario no se utilizarían por lo elevado de los costos. En los últimos años diversos autores vienen realizando estudios por mejorar los Métodos Taguchi, pero ello aún no se ha aceptado pro la comunidad científica y las empresas; tan es así que los Métodos Taguchi se siguen usando con muchos resultados satisfactorios

Una restricción de la Metodología propuesta es que si bien es cierto que para su aplicación sólo se realizan las operaciones fundamentales y se elaboran gráficos sencillos; ellos son numerosos y requiere de cierta lectura y estudio el poder aplicar la metodología. Cualidades que es poco probable tenga un pequeño empresario que no tenga una formación académica intermedia y una voluntad de aprender. El empresario de PYMES que no tenga una formación de por lo menos secundaria, es probable que tenga dificultades por la aplicación de la metodología.

Por el tipo de investigación realizada y la presentación de la misma se podría pensar que es muy laborioso el método y que habría muchas personas que tendrían dificultad para su aplicación. Sin embargo es de destacar que existen diversos autores, en especial en Estados Unidos, que han elaborado manuales muy didácticos y simples sobre su aplicación. Ello mismo se podrá hacer con la metodología propuesta y por tanto se conseguirá una simplificación mayor y una mayor posibilidad de aplicación por empresarios de PYMES, que no tengan una formación académica intermedia o superior.

La restricción del costo si se mantiene, en especial cuando cada ensayo tiene un costo alto. Por más simplificación que se ha hecho se puede apreciar que entre 10 o 20 pruebas, por lo menos se requerirán hacer. Por supuesto, que contra mayor número de pruebas y aplicándose con la estrategia experimental más conveniente, los resultados son mejores.

En el mundo actual que se viene hablando mucho sobre la innovación, los Métodos Taguchi constituyen una herramienta eficaz para poder probar diversas propuestas y obtener resultados medibles.

Una restricción inevitable es la necesidad que las personas que apliquen los Métodos Taguchi sean conocedores del proceso o producto que se trate. Si no se conoce la tecnología de manera adecuada los resultados no pueden ser muy buenos. Cuanto mayor es el conocimiento de la tecnología de los procesos o productos mejores serán la selección de los factores y sus niveles y mejor la interpretación de interacciones y resultados.

En algunos casos es difícil obtener las condiciones de los factores no controlables, como se requiere para la metodología. Por ello se debe tener mucho cuidado en seleccionar factores no controlables, para el estudio, que sena posibles obtener y medir.

La determinación de características de calidad muchas veces no se puede hacer directamente, y por ello se recurre a formas indirectas de medición o al trabajo con características dinámicas, lo cual complica los cálculos y requiere una experticia adicional.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se ha desarrollado una metodología para la aplicación de los Métodos Taguchi para la pequeña empresa, la misma que se ha probado satisfactoriamente.

2. Las ventajas de la metodología desarrollada la hacen recomendable de aplicación para las pequeñas empresas e incluso en grandes empresas o en actividades donde se requiera mejorar un proceso, producto o servicio.

3. La metodología desarrollada requiere que las personas que la apliquen conozcan del tema que se investiga a fin de poder determinar los efectos, sus niveles y las interacciones a contemplar.

4. Además de la metodología se requiere contar con los arreglos ortogonales de Taguchi, sus gráficas lineales y las tablas triangulares.

5. Los pasos que comprende la metodología se han precisado en detalle en la propuesta y provienen de la revisión de literatura revisada, y las opiniones y crietrios del autor. La metodología desarrollada es una simplificación de la metodología completa de los Métodos Taguchi. No se contrapone a las propuestas de Taguchi, sólo selecciona los aspectos fundamentales, evitando refinamientos de cálculo y análisis mayores que se consideran no indispensables para las pequeñas empresas.

6. Se recomienda usar la metodología a los pequeños empresarios y asesores y consultores de pequeñas empresas que quieran mejorar sus procesos y/o sus productos o servicios.

7. En los casos que tengan mayor complejidad se puede aplicar la metodología en etapas sucesivas, obteniendo resultados iniciales que permiten refinar el análisis posterior.

8. La bibliografía sobre los Métodos Taguchi es bastante grande, se ha revisado los autores más reconocidos, en especial los que han efectuado aplicaciones en actividades productivas. De dicha revisión se ha desprendido la metodología propuesta en este trabajo, pero es evidente que las diversas investigaciones revisadas aperturan nuevos temas de estudio, adicionales al tea de esta investigación.

9. Temas recomendados para futuras investigaciones son:

- La combinación de Métodos Taguchi y Superficie de Respuesta.

- La aplicación de Métodos Taguchi a temas relacionados con servicios y temas relacionados con aspectos de gestión empresarial.

- El desarrollo de Software para Métodos Taguchi según la metodología desarrollada.

- El desarrollo de diseños de más de tres niveles y/o más factores.

- La aplicación sucesiva de los Métodos Taguchi para la mejora de productos y procesos.

10. Se recomienda la realización de programas de mejora de procesos y productos para las PYMES, utilizando la metodología desarrollada.

11. La enseñanza de la metodología desarrollada y de las técnicas de diseño de experimentos para los profesionales de ingeniería; tanto a nivel pre grado como post grado.

12. Efectuar un forum sobre experiencias de aplicación del diseño de experimentos en mejora de procesos y productos, con profesionales de diversas especialidades a fin de sistematizar el conocimiento a nivel del país.

BIBLIOGRAFIA

1. ANAND, K.N. (1993) **"Improving Parafin Wax Yield Through Process Optimization Using Taguchi´s Method of Experimentation"** Quality Engineering , Páginas 39-56. Ed. Quality Press. EEUU.

2. BARREAU A., ET AL. (1999) **"Taguchi´s Parameter Design: An Improved Alternative Approach"**. Proceedings of 53rd Anual Quality Congress of ASQ, realizado en EEUU. Páginas 400-404 y Anexos. EEUU.

3. BOX, G., BISGARD, S. Y FUNG C. (1988) **"An Explanation and Critique of Taguchi´s Contributions to Quality Emgineering".** Quality and Reliability Engineering International. Páginas 123-131.Ed. Quality Press. . EEUU.

4. BOX, G.E., HUNTER W. G. Y HUNTER ;J.S. (1993) **"Estadística para Investigadores".** De. Reverté.. Expaña.

5. CROSSFIELD R.T. Y DALE B.G. (1991) **" Applying Taguchi Methods to the Design Improvement Process of Turbochargers"** Quality Engineering 1991, Páginas 501-516. De. Quality Press. EEUU.

6. GUNST R. Y MASON R. (1991) **"How to Construct Fractional Factorial Experiments".** De. American Society for Quality ASQ. EEUU.

7. HAMADA, M. (1992) **"Reliability Improvement Via Taguchi´s Robust Design".** Ed. The Institute for Improvement in Quality and Productivity of the University of Waterloo.. Canada.

8. HEDAYAT.A.S. (1999) **"Compound Orthogonal Arrays".** Technometrics. Ed. American Society for Quality ASQ and American Statistical Association.. EEUU.

9. KACKAR , R. N. (1985) **" Off-Line Quality Control, Parameter Design and Taguchi Method ".** Ed. Journal of Quality Technology. Páginas 176-209.. EEUU.

10. LAWSON J., MADRIGAL J.L. Y ERJAVEC J. (1992) **"Estrategias Experimentales para el Mejoramiento de la Calidad en la Industria".** Ed Grupo Editorial Iberoamérica. México.

11. LEÓN, R.V. Y WU C.F.J. (1989) **"A Theory of Performance Measures in Parameter Design".** Ed The Institute for Improvement in Quality and Productivity of the University of Waterloo.. Canda.

12. MONTGOMERY D. C. Y HINES W. (1993) **"Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración"**. Ed CECSA.. México

13. MONTGOMERY, D. (1991) **"Using Fractional Factorial Designs for Robust Process Development".** Ed Quality Engineering Páginas 193-205. EEUU.

14. NAIR, V.N., ET AL. (1992) **"Taguchi´s Parameter Design: A Panel Discussion".** Ed The Institute for Improvement in Quality and Productivity of the University of Waterloo. Canada.

15. PEACE G.S. (1992) **"Taguchi Methods"** . Ed Addison Wesley. EEUU.

16. PHADKE M.S. Y DEHNAD K. (1988) **"Optimization of Product and Process Design for Qualityand Cost".** Ed Quality and Reliability Engineering International. Páginas 105-112. EEUU.

17. PUGH G. A. (1994) **"Industrial Experiments Without Statistical Pain."** Ed American Society for Quality ASQ. EEUU.

18. ROBINSON, G.K. (1993) **"Improving Taguchi´s Packaging of Fractional Factorial Designs".** Ed Journal of Quality Technology. EEUU.

19. ROSS. PHILLIP J. (1988) **"Taguchi Techniques for Quality Engineering".** Ed Mc Graw Hill. EEUU.

20. SANJIV, S. (1997) **"Enseñanza de los Métodos Taguchi sobre Diseño de Parámetros".** Ed Quality Progress.. EEUU.

21. SCHMIDT S. R. Y LAUNSBY R. G. (1994) **"Understanding Industrial Designed Experiments".** Ed Air Academy Press..EEUU.

22. SHINA S. A. (1991) **"The Successful Use of the Taguchi Method to Increase Manufacturing Process Capability"** Ed Quality Engineering 1991, Páginas 333-349. EEUU.

23. SHOEMAKER, A.C., TSUI K. Y WU C.F. J. (1989) **"Economical Experimentation Methods for Robust Parameter Design"** . Ed The Institute for Improvement in Quality and Productivity of the University of Waterloo.. Canada.

24. TAGUCHI, G. (1993) **"Taguchi Methods. Design of Experiments. Volume 4"** Ed American Supplier Institute.. EEUU.

25. TAGUCHI, G. Y KONISHI S. (1987) **"Taguchi Methods. Orthogonal Arrays And Linear Graphs".** Edl American Supplier Institute. EEUU.

26. TAGUCHI, G. Y PHADKE M.S.. (1987) **" Selection of Quality Characteristics and S/N Ratios for Robust Design".** Proceedings of IEEE Globecom-87.1987. Páginas26.3.1-6. EEUU y Japón.

27. TAGUCHI, GENICHI. (1986) **"Introduction to Quality Engineering.".** Ed Asian Productivity Organization. Japón.

28. VINING G. G. Y MYERS R.H. (1990) **"Combining Taguchi and Response Surface Philosophies: A Dual Response Approach"** Ed Journal of Quality Technology. EEUU:

ANEXOS

ANEXO 1.

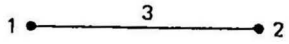
ARREGLOS ORTOGONALES, GRAFICAS LINEALES Y TABLAS TRIANGULARES

Two-Level Orthogonal Arrays

L4 Array*

Trial no.	Column no. 1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

L4 LINEAR GRAPH



● Main effect (factor)
— Interaction

L4 Triangular Table (Interactions)

Column no.	Column no. 2	3
1	3	2
2		1

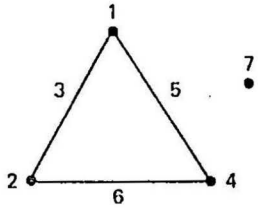
L8 Array

Trial no.	Column no. 1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

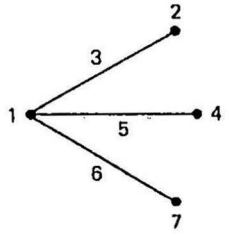
L8 Triangular Table (Interactions)

Column no.	Column no. 2	3	4	5	6	7
1	3	2	5	4	7	6
2	—	1	6	7	4	5
3	—	—	7	6	5	4
4	—	—	—	1	2	3
5	—	—	—	—	3	2
6	—	—	—	—	—	1

L8 LINEAR GRAPHS



(a)



(b)

L12 Array

	Column no.										
Trial no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

CAUTION. An interaction of two columns is confounded with the remaining columns; assign only main effects to this array.

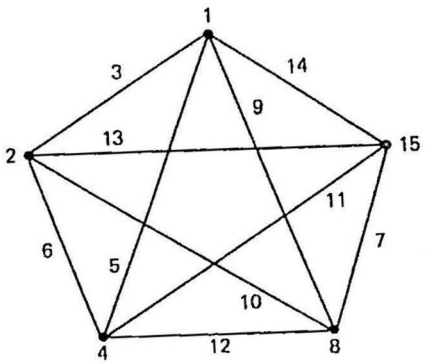
L16 Array

	Column no.														
Trial no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

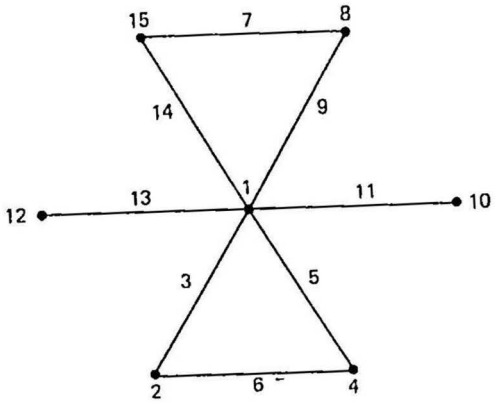
L16 Triangular Table (Interactions)

	Column no.													
Column no.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14
2	—	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13
3	—	—	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12
4	—	—	—	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11
5	—	—	—	—	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10
6	—	—	—	—	—	1	14	15	12	13	10	11	8	9
7	—	—	—	—	—	—	15	14	13	12	11	10	9	8
8	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3	4	5	6	7
9	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2	5	4	7	6
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	6	7	4	5
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	6	5	4
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1

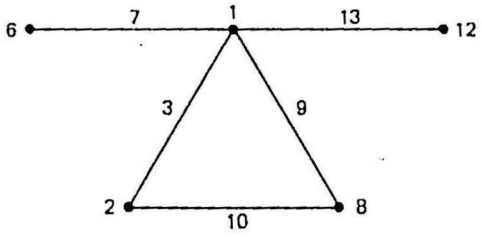
L16 LINEAR GRAPHS

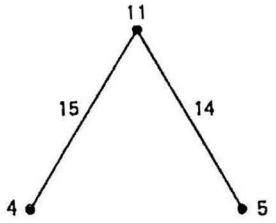


(a)

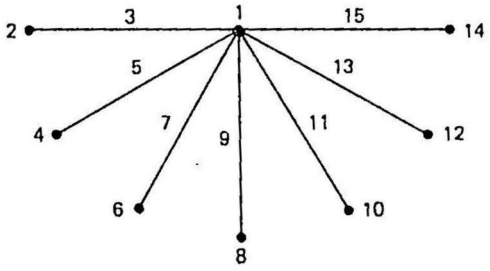


(b)

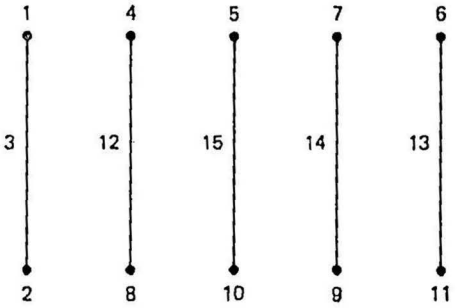




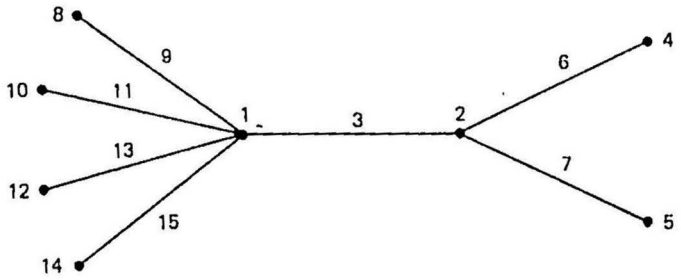
(c)



(d)



(e)



(f)

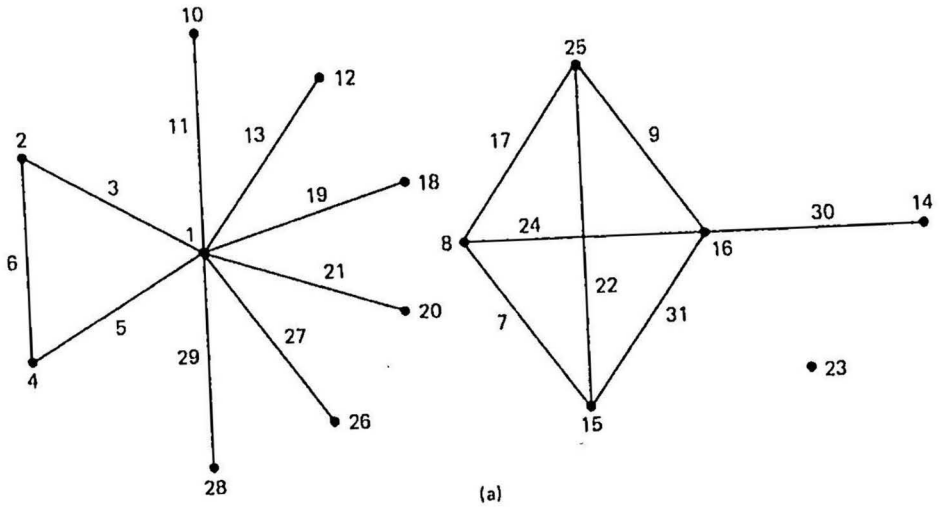
L32 Array

Trial no.	Column no. 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
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	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
3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
6	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
8	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
9	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
10	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
11	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
12	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2
13	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
14	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2
15	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
16	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
18	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
19	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
20	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2
21	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
22	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
23	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
24	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1
25	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
26	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
27	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
28	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1
29	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
30	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1
31	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1
32	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2

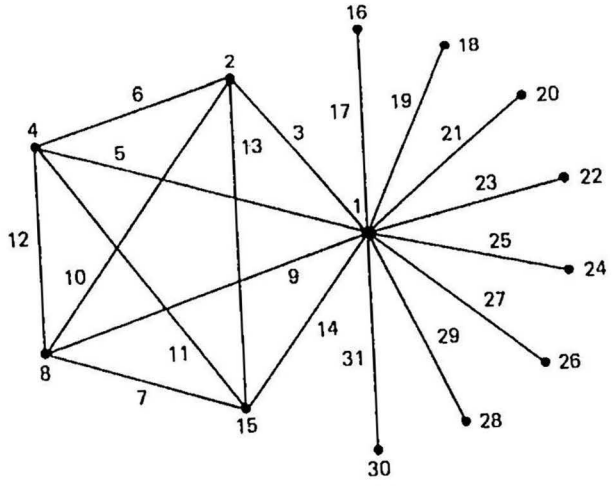
L32 Triangular Table (Interactions)

Column no.	Column no. 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
1	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14	17	16	19	18	21	20	23	22	25	24	27	26	29	28	31	30
2	—	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13	18	19	16	17	22	23	20	21	26	27	24	25	30	31	28	29
3	—	—	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12	19	18	17	16	23	22	21	20	27	26	25	24	31	30	29	28
4	—	—	—	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11	20	21	22	23	16	17	18	19	28	29	30	31	24	25	26	27
5	—	—	—	—	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10	21	20	23	22	17	16	19	18	29	28	31	30	25	24	27	26
6	—	—	—	—	—	1	14	15	12	13	10	11	8	9	22	23	20	21	18	19	16	17	30	31	28	29	26	27	24	25
7	—	—	—	—	—	—	15	14	13	12	11	10	9	8	23	22	21	20	19	18	17	16	31	30	29	28	27	26	25	24
8	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3	4	5	6	7	24	25	26	27	28	29	30	31	16	17	18	19	20	21	22	23
9	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2	5	4	7	6	25	24	27	26	29	28	31	30	17	16	19	18	21	20	23	22
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	6	7	4	5	26	27	24	25	30	31	28	29	18	19	16	17	22	23	20	21
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	6	5	4	27	26	25	24	31	30	29	28	19	18	17	16	23	22	21	20
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3	28	29	30	31	24	25	26	27	20	21	22	23	16	17	18	19
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2	29	28	31	30	25	24	27	26	21	20	23	22	17	16	19	18
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	30	31	28	29	26	27	24	25	22	23	20	21	18	19	16	17
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14
18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11
21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	14	15	12	13	10	11	8	9
23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	14	13	12	11	10	9	8
24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3	4	5	6	7
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2	5	4	7	6
26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	6	7	4	5
27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	6	5	4
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3
29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1

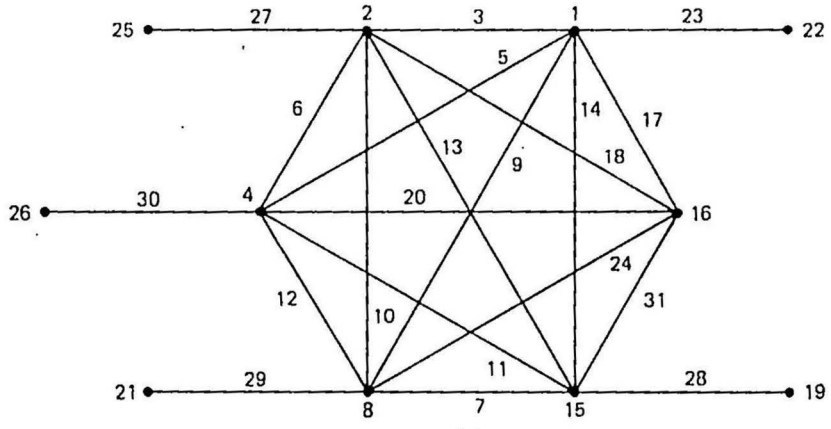
L32 LINEAR GRAPHS



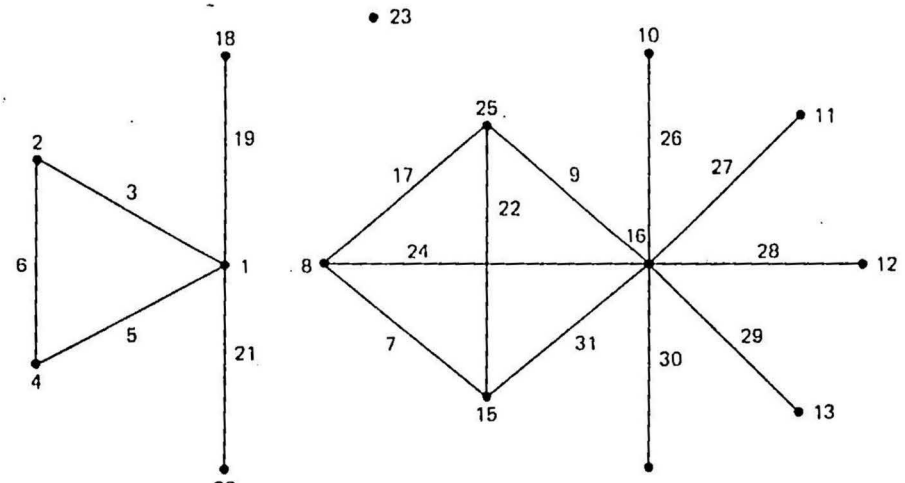
(a)

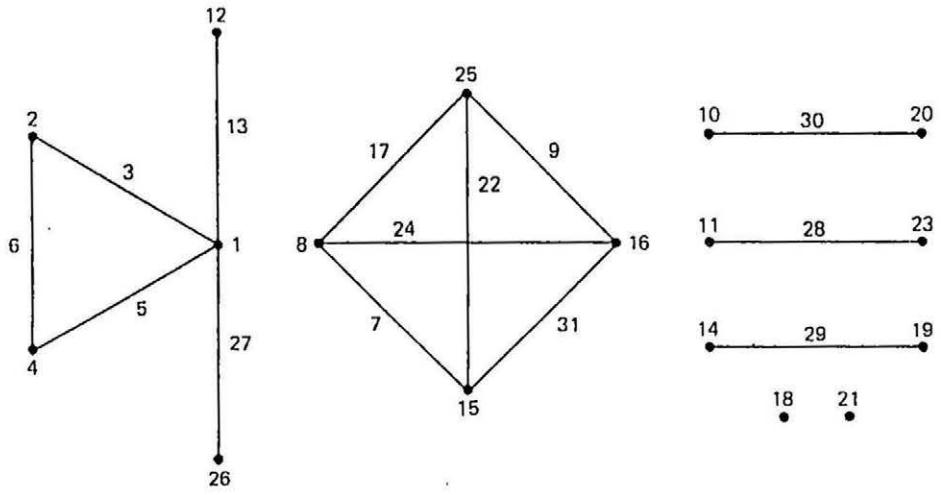


(b)

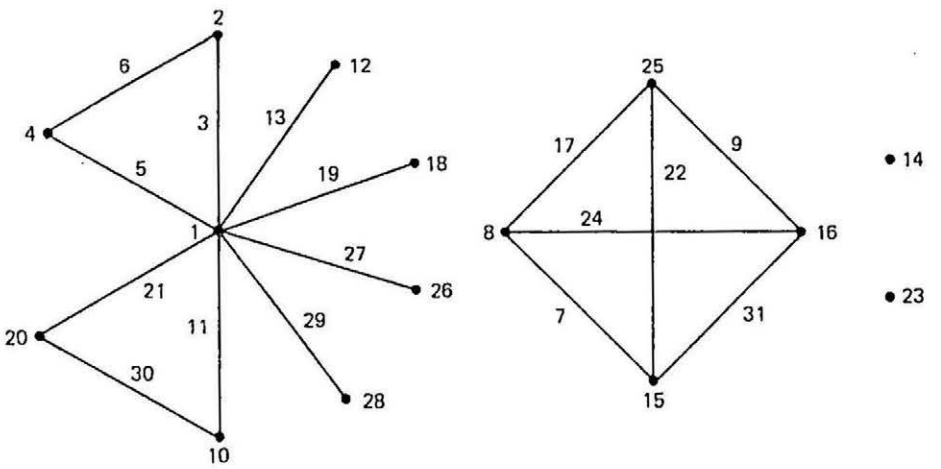


(c)

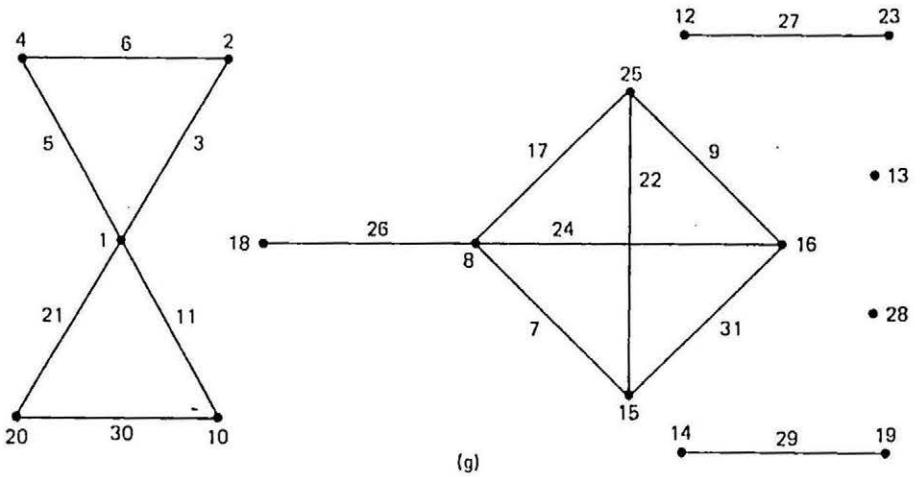



12
13
2
3
6
1
5
27
4
26
25
17
9
22
24
8
16
7
31
15
10
30
20
11
28
23
14
29
19
18
21

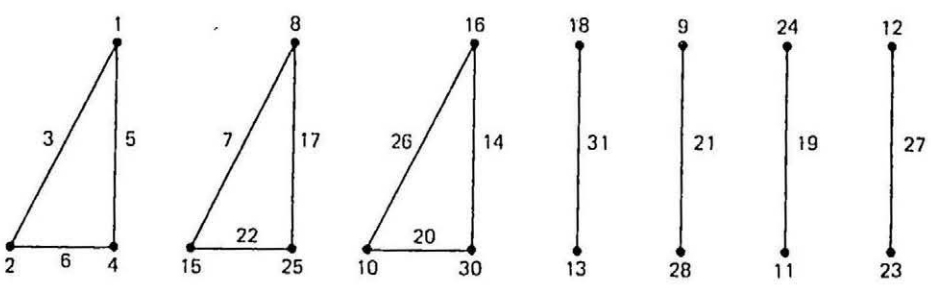
(e)


2
6
12
4
3
13
5
19
18
1
27
26
21
11
29
20
30
28
10
25
17
9
22
14
24
8
16
23
7
31
15

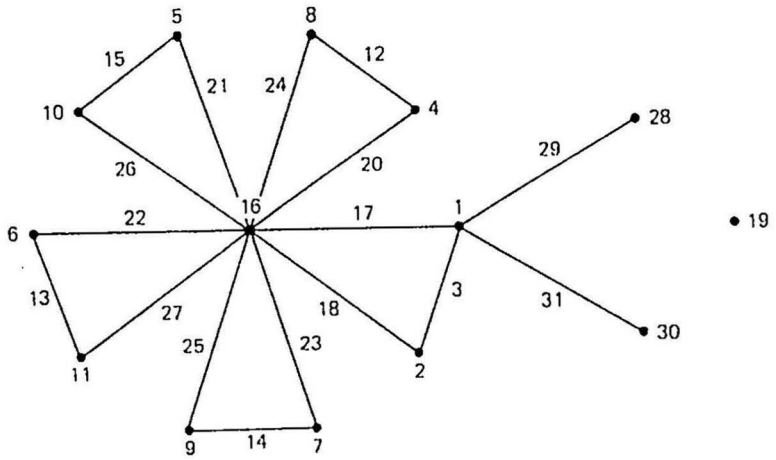
(f)


4
6
2
5
3
1
21
11
20
30
10
12
27
23
25
17
9
22
13
18
26
24
16
8
7
31
28
15
14
29
19

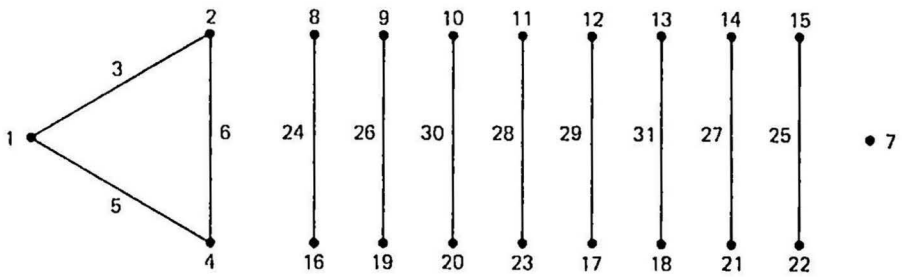
(g)


1
3
5
2
6
4
8
7
17
22
15
25
16
26
14
20
10
30
18
31
13
9
21
28
24
19
11
12
27
23
29

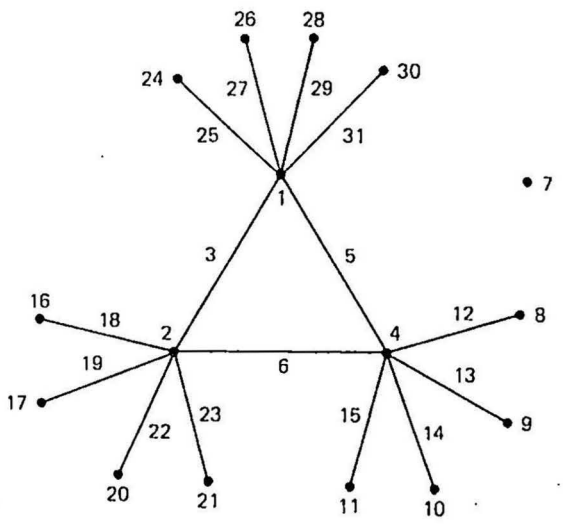
(h)


5
8
15
12
21
24
10
4
28
29
26
20
16
1
22
17
19
6
13
27
18
3
31
25
23
30
11
2
9
14
7

(i)

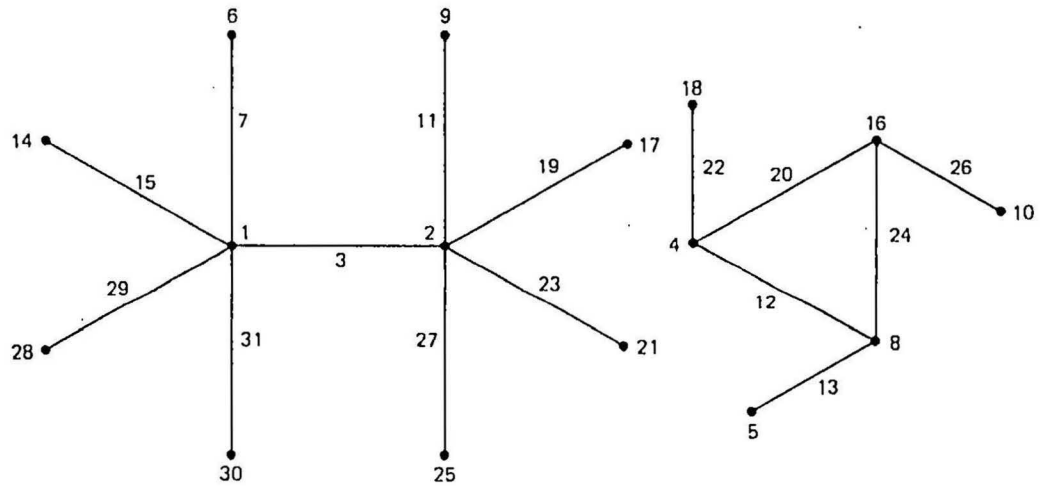

2
8
9
10
11
12
13
14
15
3
1
6
24
26
30
28
29
31
27
25
7
5
4
16
19
20
23
17
18
21
22

(j)

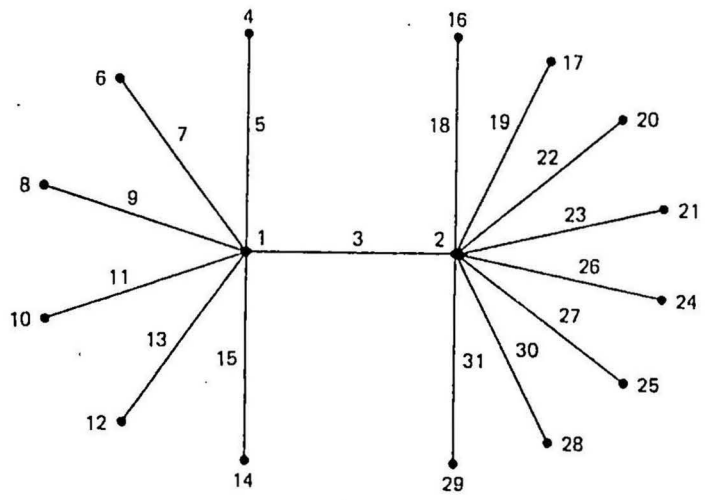

26
28
24
27
29
30
25
31
7
1
3
5
16
18
2
4
12
8
19
6
13
17
9
22
23
15
14
20
21
11
10

(k)

L32 Linear Graphs (Continued)



(l)



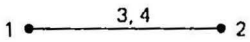
(m)

Three-Level Orthogonal Arrays

L9 Array*

Trial no.	Column no. 1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

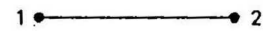
L9 Linear Graph



L18 Array

Trial no.	Column no. 1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

L18 Linear Graph



Two-way ANOVA of columns 1 and 2 for *only* 1 interaction which has 2 d.f. associated with it.

L27 Array

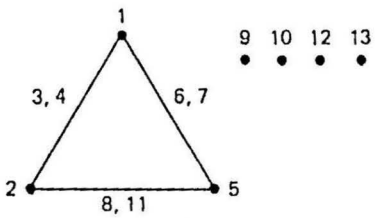
Trial no.	Column no. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

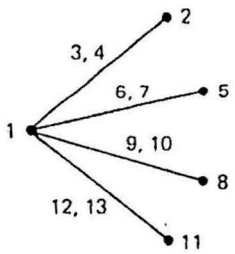
L27 Triangular Table (Interactions)

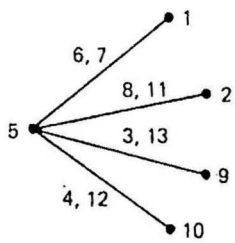
Column no.	Column no. 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	3*	2	2	6	5	5	9	8	8	12	11	11
	4*	4	3	7	7	6	10	10	9	13	13	12
2	—	1	1	8	9	10	5	6	7	5	6	7
	—	4	3	11	12	13	11	12	13	8	9	10
3	—	—	1	9	10	8	7	5	6	6	7	5
	—	—	2	13	11	12	12	13	11	10	8	9
4	—	—	—	10	8	9	6	7	5	7	5	6
	—	—	—	12	13	11	13	11	12	9	10	8
5	—	—	—	—	1	1	2	3	4	2	4	3
	—	—	—	—	7	6	11	13	12	8	10	9
6	—	—	—	—	—	1	4	2	3	3	2	4
	—	—	—	—	—	5	3	12	11	10	9	8
7	—	—	—	—	—	—	3	4	2	4	3	2
	—	—	—	—	—	—	12	11	13	9	8	10
8	—	—	—	—	—	—	—	1	1	2	3	4
	—	—	—	—	—	—	—	10	9	5	7	6
9	—	—	—	—	—	—	—	—	1	4	2	3
	—	—	—	—	—	—	—	—	8	7	6	5
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	4	2
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	7	7
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13	12
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11

*Pairs of numbers indicate columns that contain the total interaction.

L27 Linear Graphs







ANEXO 2.

TABLAS SOBRE RESOLUCION DE LOS ARREGLOS ORTOGONALES

TABLE D.1 Resolution of Experimental Arrays

Number of trials	Number of levels	Number of factors	Resolution
4	2	1	4
4	2	2	4
4	2	3	1
8	2	1–3	4
8	2	4	2
8	2	5–7	1
9	3	1	4
9	3	2	4
9	3	3	1
9	3	4	1
16	2	1–4	4
16	2	5	3
16	2	6–8	2
16	2	9–15	1
18	3	1–8	1
27	3	1–3	4
27	3	4–13	1
32	2	1–5	4
32	2	6	3
32	2	7–16	2
32	2	17–31	1

Resolution Code:

1 = Only main factors can be estimated (main effects are all confounded with any order interaction). Low resolution.

2 = All main factors and groups of two-factor interactions may be estimated (all main effects are unconfounded with two-factor interactions; two-factor interactions are confounded with each other).

3 = All main factors and two-factor interactions can be estimated (all main effects and two-factor interactions are unconfounded).

4 = All main effects and all interactions can be estimated. High resolution.

TABLE D.2 Resolution Two-Column Assignments

Factor	L8	L16	L32
A	1	1	1
B	2	2	2
C	4	4	4
D	7	7	7
E		8	8
F		11	11
G		13	13
H		14	14
I			17
J			18
K			20
L			23
M			24
N			27
O			29
P			30

ANEXO 3

TABLAS DE F Y Z

TABLE D.4 *F* Values

$F_{.10;\nu_1;\nu_2}$ 90% confidence†

Degrees of freedom for the denominator (ν_2)	Degrees of freedom for the numerator (ν_1)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	39.9	49.5	53.6	55.8	57.2	58.2	58.9	59.4	59.9	60.2
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42
10	3.28	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76
50	2.81	2.41	2.20	2.06	1.97	1.90	1.84	1.80	1.76	1.73
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71
80	2.77	2.37	2.15	2.02	1.92	1.85	1.79	1.75	1.71	1.68
100	2.76	2.36	2.14	2.00	1.91	1.83	1.78	1.73	1.70	1.66
200	2.73	2.33	2.11	1.97	1.88	1.80	1.75	1.70	1.66	1.63
500	2.72	2.31	2.10	1.96	1.86	1.79	1.73	1.68	1.64	1.61
∞	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60

TABLE D.4 *F* Values (Continued)

$F_{.05;\nu_1;\nu_2}$ 95% confidence[†]

Degrees of freedom for the denominator (ν_2)	Degrees of freedom for the numerator (ν_1)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
11	4.84	2.98	3.50	3.36	3.20	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.32	3.47	3.07	2.82	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.30	3.44	3.05	2.84	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.16	2.11	2.06
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97
80	3.96	3.11	2.73	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95

TABLE D.4 *F* Values (Continued)

$F_{.05;\nu_1;\nu_2}$ 95% confidence[†]

Degrees of freedom for the denominator (ν_2)	Degrees of freedom for the numerator (ν_1)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91
150	3.90	3.08	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26	2.14	2.06	1.98	1.93	1.88
300	3.87	3.03	2.63	2.40	2.24	2.13	2.04	1.97	1.91	1.86
500	3.86	3.01	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85
1000	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.11	2.02	1.95	1.89	1.84
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83

$F_{.01;\nu_1;\nu_2}$ 99% confidence[*]

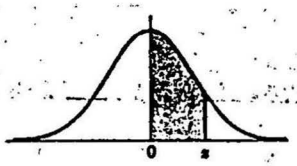
Degrees of freedom for the denominator (ν_2)	*Multiply the numbers of the first row (ν_2 = 1) by 10*									
1	405	500	540	563	576	596	598	598	602	606
2	93.5	99.0	99.3	99.3	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4
3	34.1	30.8	20.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2
4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5
5	16.8	13.2	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1
6	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.28	8.10	7.98	7.87
7	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.94	6.72	6.62
8	11.3	8.65	7.89	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81
9	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26
10	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.30	4.30
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10
14	8.86	6.51	5.58	5.04	4.70	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94
15	8.68	6.26	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80
16	8.53	6.22	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69
17	8.60	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59
18	8.20	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.68	3.52	3.43
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26
23	7.86	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09
27	7.66	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00
30	7.56	5.39	4.51	4.03	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98

TABLE D.4 *F* Values (Continued)

$F_{.01;\nu_1;\nu_2}$ 99% confidence*

Degrees of freedom for the denominator (ν_2)	Degrees of freedom for the numerator (ν_1)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
32	7.50	5.34	4.46	3.97	3.65	3.43	3.26	3.13	3.02	2.93
34	7.44	5.29	4.42	3.93	3.61	3.39	3.23	3.09	2.96	2.89
36	7.40	5.25	4.36	3.89	3.57	3.35	3.18	3.05	2.95	2.86
38	7.35	5.21	4.34	3.86	3.54	3.32	3.15	3.02	2.92	2.83
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.80	2.80
42	7.28	5.15	4.29	3.80	3.49	3.27	3.10	2.97	2.86	2.78
44	7.25	5.12	4.26	3.78	3.47	3.24	3.08	2.95	2.84	2.75
46	7.22	5.10	4.24	3.76	3.44	3.22	3.06	2.93	2.82	2.73
48	7.19	5.08	4.22	3.74	3.43	3.20	3.04	2.91	2.80	2.72
50	7.17	5.06	4.20	3.72	3.41	3.19	3.02	2.89	2.79	2.70
55	7.12	5.01	4.16	3.68	3.37	3.15	2.98	2.85	2.75	2.66
60	7.08	4.98	4.12	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63
65	7.04	4.95	4.10	3.62	3.31	3.09	2.93	2.80	2.69	2.61
70	7.01	4.92	4.08	3.60	3.29	3.07	2.91	2.78	2.67	2.59
80	6.98	4.88	4.04	3.56	3.26	3.04	2.87	2.74	2.64	2.55
90	6.93	4.85	4.01	3.54	3.23	3.01	2.84	2.72	2.61	2.52
100	6.90	4.83	3.96	3.51	3.21	2.99	2.82	2.69	2.59	2.50
125	6.84	4.78	3.94	3.47	3.17	2.95	2.79	2.66	2.55	2.47
150	6.81	4.75	3.92	3.45	3.14	2.92	2.76	2.63	2.53	2.44
200	6.76	4.71	3.88	3.41	3.11	2.89	2.73	2.60	2.50	2.41
300	6.72	4.68	3.85	3.38	3.08	2.86	2.70	2.57	2.47	2.36
500	6.69	4.65	3.82	3.36	3.05	2.84	2.68	2.55	2.44	2.36
1000	6.66	4.63	3.80	3.34	3.04	2.82	2.66	2.53	2.43	2.34
∞	6.66	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32

AREAS BAJO LA CURVA NORMAL TIPIFICADA DE 0 a z



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0754
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2258	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2518	0,2549
0,7	0,2580	0,2612	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2996	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990
3,1	0,4990	0,4991	0,4991	0,4991	0,4992	0,4992	0,4992	0,4992	0,4993	0,4993
3,2	0,4993	0,4993	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4995	0,4995	0,4995
3,3	0,4995	0,4995	0,4995	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4997
3,4	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4998
3,5	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998
3,6	0,4998	0,4998	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,7	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,8	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,9	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000

ANEXO 4.

ANEXO AL ARTICULO DE ANAND SOBRE TÉCNICAS MULTINIVEL Y DE NIVEL FICTICIO E INTERACCIÓN ENTRE FACTORES DE NIVELES 2 Y 4

ANEXO AL ARTICULO DE ANAND SOBRE TÉCNICAS MULTINIVEL Y DE NIVEL FICTICIO E INTERACCIÓN ENTRE FACTORES DE NIVELES 2 Y 4

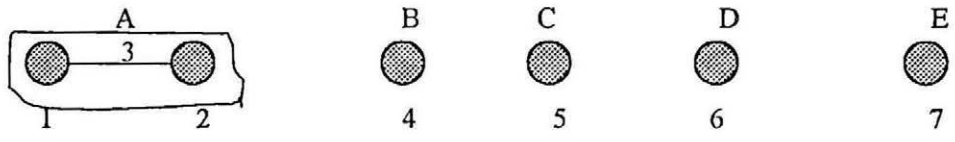
1. Sobre la Técnica Multinivel:

Consideremos acomodar un factor de 4 niveles en un AO de 2 niveles. En el gráfico lineal, la representación de un factor de 4 niveles es hecha mediante 2 nodos y la línea que los une (es decir, se usan 3 col.). Las col. correspondientes a los 2 nodos dan 4 posibles combinaciones de niveles: (1,1); (1,2) (2,1) y (2,2). Se usa la siguiente correspondencia de 1 a 1 para obtener los niveles correspondientes del factor de 4 niveles:

(1,1) - 1 (1,2) - 2
(2,1) - 3 (2,2) - 4

Se asume que A tiene 4 niveles; B,C,D y E tienen 2 niveles cada uno. La asignación del gráfico lineal se muestra en la figura siguiente:

FIGURA 1. GRAFICO LINEAL PARA DISEÑO 4 X 2^4



El cuadro siguiente da la asignación para un AO:

CUADRO 1. DE ASIGNACION DEL DISEñO 4 X 2^4 EN AO L8(2^7). USANDO LA TECNICA MULTINIVEL

EXP.Nº	1 2 3	A 1 2 3	B 4	C 5	D 6	E 7
1	1 1 1	1	1	1	1	1
2	1 1 1	1	2	2	2	2
3	1 2 2	2	1	1	2	2
4	1 2 2	2	2	2	1	1
5	2 1 2	3	1	2	1	2
6	2 1 2	3	2	1	2	1
7	2 2 1	4	1	2	2	1
8	2 2 1	4	2	1	1	2

2. Sobre la Técnica del Nivel Ficticio

La técnica del nivel ficticio es útil para acomodar factores de 2 niveles en un AO de 3 niveles o factores de 3 niveles en AO de 4 niveles. En el ejemplo anterior se supone que el factor A tiene 3 niveles. Con la ayuda de la técnica multinivel, se asegura primero una col. de 4 niveles (1,2,3). Como el factor A consiste de 4 niveles, el nivel más importante de A es repetido donde aparece el símbolo 4 en la columna. Ejemplo, si el primer nivel de A es más importante, entonces este nivel es repetido más a menudo. Por ejemplo:

A1 = A1 , A2 = A2 , A3 = A3 , A4 = A1

La tabla 95 siguiente da la asignación del diseño 3×2^4 en un AO L8 (2^7) usando la técnica de nivel ficticio.

CUADRO 2. ASIGNACION DE DISEÑO 3×2^4 EN AO L8 (2^7) USANDO LA TECNICA DE NIVEL FICICIO

EXP Nº	A 1 2 3	B 4	C 5	D 6	E 7
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	2	1	1	2	2
4	2	2	2	1	1
5	3	1	2	1	2
6	3	2	1	2	1
7	1´	1	2	2	1
8	1´	2	1	1	2

Nota.- 1´ : es el nivel ficticio.

3. Sobre la interacción entre factores de 2 y 4 niveles:

La interacción entre 1 factor de 2 niveles y 1 factor de 4 niveles es representada por la interacción de 3 col. obtenidas juntando el nodo representativo del factor de 2 niveles con los 2 nodos y la línea que une a los 2 nodos que representan el factor de 4 niveles.

Sea la columna 1 que representa el factor de 2 niveles, digamos A, y las col. 2,4 y 6 que representan el factor de 4 niveles, digamos B. Considere el triángulo cuyos vértices son 1,2 y 4. La interacción entre las col.1 y 2 es la col. 3; la interacción entre las col.2 y 4 es la col. 6; la interacción entre las col. 1 y 4 es la col. 5; y la interacción entre las col. 1 y 6 es la col. 7.

Esta información se puede representar gráficamente en la siguiente figura 48, dibujando una perpendicular del nodo 1 a la base (2,4). La interacción A x B está dada por las col. 3,5 y 7

FIGURA 2. SOBRE INTERACCION ENTRE FACTORES DE 2 Y 4 NIVELES

