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

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

Modelo de gestión de mantenimiento de clase mundial y la calidad de la solución en la etapa de purificación de una refinería de zinc en el Perú

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Gestión de Empresas

AUTOR

Jose Luis BLANCAS HIDALGO

ASESOR

Pedro Pablo ROSALES LÓPEZ

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

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

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

Referencia bibliográfica

Blancas, J. (2026). *Modelo de gestión de mantenimiento de clase mundial y la calidad de la solución en la etapa de purificación de una refinería de zinc en el Perú*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jose Luis Blancas Hidalgo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44641819
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-3068-3451
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Dr. Pedro Pablo Rosales López
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10419269
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8115-6431
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Dr. Julio Alejandro Salas Bacalla
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08468620
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Dr. Orestes Cachay Boza
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08446599
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Dr. Vidal Sixto Aramburú Rojas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08608364
Datos de investigación	
Línea de investigación	Calidad, mejora y optimización de la producción ODS 12: Producción y consumo responsables C 17.0.12
Grupo de investigación	No aplica

Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Calle: Calle Germán Amézaga N° 375 Latitud: -12.0577 Longitud: -77.0804
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2021 – Diciembre 2021
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de producción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.03 Ingeniería industrial https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN N°030-UPG-FII-2026

SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN GESTIÓN DE EMPRESAS

En la ciudad de Lima del día veintiuno del mes de setiembre del año dos mil veintiséis, siendo las doce horas, se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **"MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL Y LA CALIDAD DE LA SOLUCIÓN EN LA ETAPA DE PURIFICACIÓN DE UNA REFINERÍA DE ZINC EN EL PERÚ",** presentado por el **Mg. JOSE LUIS BLANCAS HIDALGO,** para optar el Grado Académico de **DOCTOR EN GESTIÓN DE EMPRESAS.**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido APROBADO con la calificación de CATORCE (14) APROBADO.

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de **DOCTOR EN GESTIÓN DE EMPRESAS al Mg. JOSE LUIS BLANCAS HIDALGO.**

En señal de conformidad, siendo las 13:00 **horas** se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.

DR. JULIO ALEJANDRO SALAS BACALLA
Presidente

DR. ORESTES CACHAY BOZA
Miembro

DR. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS
Miembro

DR. PEDRO PABLO ROSALES LOPEZ
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **PEDRO PABLO ROSALES LÓPEZ** en mi condición de asesor(a) acreditado(a) mediante **DICTAMEN N°504-UPG-FII-2025** de la tesis, cuyo título es: **"MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL Y LA CALIDAD DE LA SOLUCIÓN EN LA ETAPA DE PURIFICACIÓN DE UNA REFINERÍA DE ZINC EN EL PERÚ",** presentado por el(la) magíster **JOSE LUIS BLANCAS HIDALGO** para optar el grado académico de **DOCTOR EN GESTIÓN DE EMPRESAS**, **CERTIFICO** que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **09%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado académico de **DOCTOR EN GESTIÓN DE EMPRESAS.**

Lima, 14 de julio de 2026

UNMSM
Firmado digitalmente por ROSALES LOPEZ Pedro Pablo FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.07.2026 09:02:12 -05:00

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: **PEDRO PABLO ROSALES LÓPEZ**

DNI: **10419269**

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi apreciada familia por darme fuerza, aliento y motivo para salir adelante en mi formación personal y profesional, y agradezco a Dios por brindarme luz y guiar mis pasos siempre por el horizonte del bien. A mis abuelos Don Alfonso Hidalgo y Doña Leda Contreras quienes me iluminan desde el cielo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA i
ÍNDICE DE FIGURAS v
INDICE DE TABLAS vi
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS vii
RESUMEN ix
SUMMARY x

1

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Situación problemática 1
1.2. Formulación del problema 6
1.2.1. Problema general 6
1.2.2. Problemas específicos 6
1.3. Justificación de la investigación 7
1.3.1. Justificación teórica 7
1.3.2. Justificación práctica 8
1.3.3. Justificación económica 8
1.3.4. Justificación de seguridad y medio ambiente 9
1.3.5. Justificación profesional 9
1.4. Delimitación de la investigación 9
1.4.1. Delimitación espacial 9
1.4.2. Delimitación temporal 9
1.5. Objetivos de la investigación 9
1.5.1. Objetivo general 9
1.5.2. Objetivos específicos 10
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO 11
2.1. Marco Filosófico 11
2.2. Antecedentes del problema 14
2.3. Bases Teóricas 20
2.3.1. Mantenimiento de clase mundial (world class maintenance, WCM) 20

2.3.2. Características del mantenimiento de clase mundial 23
2.3.3. Guía para el Mantenimiento de clase mundial 25
2.3.4. Implantación del mantenimiento de clase mundial 27
2.3.5. Auditoría en la gestión de mantenimiento 28
2.3.6. Análisis Estadístico Multivariado 29
2.3.7. Análisis Factorial 29
2.3.8. Análisis Factorial Exploratorio 30
2.3.9. Análisis Factorial Confirmatorio 30
2.3.10. Ecuaciones Estructurales 32
2.3.11. Proceso de refinería de zinc 34
2.4. Glosario 37

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA 44
3.1. Tipo y diseño de investigación 44
3.2. Hipótesis y Variables 44
3.2.1. Hipótesis General 44
3.2.2. Hipótesis Específicas 44
3.3. Identificación de variables 45
3.4. Operacionalización de las Variables 45
3.5. Matriz de consistencia 45
3.6. Población y Muestra 48
3.6.1. Unidad de análisis 48
3.6.2. Población de estudio 48
3.6.3. Tamaño de muestra 48
3.6.4. Selección de muestra 49
3.7. Técnicas de recolección de datos 49
3.8. Instrumento de Medición: Encuestas 49

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 53
4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados 53
4.1.1. Asignación de códigos a los instrumentos de medición 53
4.1.2. Constructo factorial de los instrumentos de medición y su validez 55
4.1.3. Caracterización de la muestra 56

4.1.4. Análisis de media y desviación estándar de la información 57
4.2. Análisis Factorial 59
4.2.1. Análisis de fiabilidad 59
4.2.2. Prueba de Normalidad (p-valor) 63
4.2.3. Análisis de correlación de Spearman 66
4.2.4. Análisis factorial exploratorio 70
4.2.5. Análisis factorial confirmatorio 73
4.2.6. Modelo de ecuaciones estructurales 73
4.3. Identificación del modelo 74
4.3.1. Indicadores de bondad del ajuste 76
4.3.2. Medidas de ajuste absoluto. 76
4.3.3. Medidas de ajuste incremental 77
4.3.4. Medidas de ajuste de parsimonia. 78
4.4. Evaluación del modelo de medida 79
4.4.1. Evaluación del modelo estructural inicial 79
4.4.2. Evaluación del modelo de ecuación estructural modificado 84
4.4.3. Modelo de ecuación estructural de 2do orden 92
4.4.4. Modelo AFC de segundo orden modificado 97
4.5. Prueba de hipótesis 103
4.5.1. Hipótesis general 103
4.5.2. Hipótesis específica 1 106
4.5.3. Hipótesis específica 2 107
4.5.4. Hipótesis específica 3 109
4.5.5. Hipótesis específica 4 111
4.6. Presentación de resultados 113

CONCLUSIONES 120
RECOMENDACIONES 122
REFERENCIAS BIBILIOGRÁFICAS 123
ANEXOS 131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas de proceso productivo de una refinería de zinc..... 2
Figura 2 Órdenes de trabajo por tipo de actividad..... 4
Figura 3 Cumplimiento porcentual del mantenimiento preventivo. 5
Figura 4 Temperatura de tanques agitadores de purificación. 6
Figura 5 Paradigma de cambio en mantenimiento 13
Figura 6 Aspectos del mantenimiento de clase mundial. 22
Figura 7 Pilares del mantenimiento y confiabilidad según SMRP 26
Figura 8 Modelo AFE con nuevo variables y 3 factores correlacionados. ... 31
Figura 9 Modelo AFC con nueve variables y 3 factores correlacionados. ... 33
Figura 10 Variable latente y variables observadas. 33
Figura 11 Etapa de Tostación de una refinería de zinc. 34
Figura 12 Etapa de Lixiviación de una refinería de zinc. 35
Figura 13 Etapa de purificación de una refinería de zinc. 36
Figura 14 Etapa de Electrólisis de una refinería de zinc. 36
Figura 15 Etapa de Fundición de una refinería de zinc en lingotes y jumbos.37
Figura 16 Población encuestada por área de trabajo. 57
Figura 17 Gráfica de normalidad para datos de gestión de MCM. 65
Figura 18 Gráfica de normalidad para datos de calidad de solución pura..... 66
Figura 19 *Representación gráfica de correlación Rho* 69
Figura 20 Representación en diagrama de caminos del modelo en AMOS. . 75
Figura 21 Diagrama de caminos del modelo inicial en AMOS. 80
Figura 22 Representación en diagrama de caminos del modelo ajustado 86
Figura 23 Diagrama de caminos del modelo de segundo orden 93
Figura 24 Diagrama de caminos del modelo de segundo orden modificado. 98
Figura 25 Correlación entre MCM y CSolP. 105
Figura 26 Correlación entre EGM y CCP. 107
Figura 27 Correlación entre CE y CCP. 108
Figura 28 Correlación entre LO y CCP. 110
Figura 29 Correlación entre GT y CCP. 112

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Costo (USD) de consumo de materiales 2021. 4
Tabla 2 Operacionalización de las variables 46
Tabla 3 Matriz de consistencia 47
Tabla 4 Valoración en escala de Likert 50
Tabla 6 Cuestionario de investigación de la variable dependiente..... 52
Tabla 7 Asignación de códigos a los instrumentos de Gestión de MCM.... 53
Tabla 8 Asignación de códigos del instrumento de Calidad de solución 55
Tabla 9 KMO, Prueba de Bartlett, variable dependiente e independiente.. 55
Tabla 10 Resultado de prueba de KMO y Bartlett del conjunto de datos. 56
Tabla 11 Medias y Desviaciones estándar de la gestión de MCM. 57
Tabla 12 Medias y desviaciones estándar de la gestión de MCM..... 58
Tabla 13 Análisis de Fiabilidad, Alfa de Cronbach 59
Tabla 14 Análisis de Fiabilidad, Alfa de Cronbach de variable independiente 59
Tabla 15 Análisis de Fiabilidad, Alfa de Cronbach de variable dependiente 60
Tabla 16 Estadísticas de elementos omitidos 60
Tabla 17 Estadísticas totales y de elementos de gestión de MCM. 61
Tabla 18 Estadísticas totales y de elementos de calidad de solución. 63
Tabla 19 Prueba de Normalidad de datos..... 64
Tabla 20 Matriz de correlación de Rho Spearman 67
Tabla 21 Instrucción en Matlab para correlación Spearman. 70
Tabla 22 Matriz de Componente Rotado en SPSS V26. 72
Tabla 23 Índices de ajuste inicial del modelo AFC. 78
Tabla 24 Índices de ajuste inicial del modelo AFC. 79
Tabla 25 Pesos de regresión en el modelo inicial. 81
Tabla 26 Covarianzas de las dimensiones de las variables en el modelo inicial. 82
Tabla 27 Correlaciones de dimensiones de las variables en el modelo inicial. 83
Tabla 28 Estimación de las varianzas en el modelo inicial. 84
Tabla 29 Índice de ajuste optimizado del modelo AFC. 86

Tabla 30 Pesos de regresión en el modelo modificado. 87
Tabla 31 Covarianzas en las variables latentes del modelo modificado. 88
Tabla 32 Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado. ... 89
Tabla 33 Varianzas en las variables observadas del modelo modificado. ... 89
Tabla 34 Segundo orden, Índices de ajuste del modelo AFC. 92
Tabla 35 Pesos de regresión en el modelo de segundo orden. 93
Tabla 36 Covarianza del modelo AFC de segundo orden. 94
Tabla 37 Correlación de las variables en el modelo AFC segundo orden. ... 95
Tabla 38 Varianzas (errores) en las variables del modelo de segundo orden. 95
Tabla 39 Índices de modificación en el modelo AFC de segundo orden. 96
Tabla 40 Índice de ajuste optimizado del modelo AFC segundo orden 97
Tabla 41 Pesos de regresión en el modelo modificado de segundo orden. . 99
Tabla 42 Covarianzas del modelo de segundo orden modificado. 100
Tabla 43 Correlaciones del modelo de segundo orden modificado. 100
Tabla 44 Varianzas del modelo de segundo orden modificado 101
Tabla 45 Comparación de índices de bondad de 4 modelos. 104
Tabla 46 Correlaciones de variable dependiente e independiente. 105
Tabla 47 Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado. . 106
Tabla 48 Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado. . 109
Tabla 49 Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado. . 109
Tabla 50 Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado. . 111
Tabla 51 Índices de ajuste de modelo de ecuación estructural. 114
Tabla 52 Pesos de regresión estandarizados - modelo 2do orden modificado. 117
REFERENCIAS BIBILIOGRÁFICAS 123
ANEXOS 131

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

AFC Análisis Factorial Confirmatorio

AFE	Análisis Factorial Exploratorio
Cd	Cadmio
CMMS	Sistema de administración de mantenimiento computarizado Computerized
DS	Decreto supremo
ERP	Planificación de recursos empresariales (Enterprise Resource Planning)
ICPMP	Índice de cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
ICPOM	Índice de cumplimiento del programa de órdenes de mantenimiento.
ICPPD	Índice de cumplimiento del programa de predictivo.
KPI	Indicador clave de rendimiento (Key performance indicator)
LCC	Costo de ciclo de vida (Life Cost cycle)
MC	Mantenimiento correctivo
MTBF	Tiempo medio entre fallos (Mean time between failures).
MTTR	Tiempo medio para reparar (Mean time to repair)
NFPA	Asociación Nacional de protección contra el fuego (National Fire Protection Association)
NPR	Nivel ponderado de riesgo
PM	Mantenimiento preventivo
RCM	Mantenimiento basado en confiabilidad (Reliability Centered Maintenance)
SMRP	Sociedad de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad (Society Maintenance Reliability Professionals)
SSMA	Seguridad salud y medio ambiente
WCM	Mantenimiento de clase mundial (World Class Maintenance)
Zn	zinc

RESUMEN

La presente investigación hace referencia al mantenimiento con enfoque estratégico de clase mundial, como gestión de activos en muchas organizaciones y procesos industriales en la actualidad, y su influencia sobre la gestión de la etapa de purificación de una refinería de zinc, en esta oportunidad con presencia en el Perú, con la perspectiva de representar su contribución a la generación de valor y sostenibilidad a través del uso de ecuaciones estructurales para el modelado requerido.

El objetivo es representar la gestión del mantenimiento de clase mundial mediante un modelo factorial que guarde relación con la gestión de dicha etapa de purificación de una refinería de zinc en el sector peruano, en el cual la población investigada lo constituyó el equipo humano de los departamentos de mantenimiento, operación y seguridad industrial. En el desarrollo de la investigación se evaluó la consistencia de la información recolectada desde una encuesta, a continuación de estudio descriptivo de correlación en los pilares de clase mundial propios del mantenimiento. El procesamiento de datos se utilizó el software SPSS V26 y se aplicó la técnica estadística de análisis factorial y multivariante. Finalmente, se obtiene un modelado de ecuaciones estructurales desde los pilares del mantenimiento con enfoque de clase mundial y a la gestión del proceso mencionado.

Palabras claves: Mantenimiento clase mundial, ecuaciones estructurales, mantenimiento preventivo, mantenimiento autónomo, indicadores de rendimiento, purificación, calidad de solución, buenas prácticas.

SUMMARY

This research addresses world-class strategic maintenance as an asset management approach in many organizations and industrial processes today, and its influence on the management of the purification stage of a zinc refinery, specifically one located in Peru. The aim is to represent its contribution to value creation and sustainability through the use of structural equation modeling.

The objective is to represent world-class maintenance management through a factorial model that relates to the management of this purification stage in a zinc refinery in the Peruvian sector. The study population consisted of the personnel from the maintenance, operations, and industrial safety departments. The research involved evaluating the consistency of the information collected from a survey, followed by a descriptive correlation study of the world-class pillars of maintenance. Data processing was performed using SPSS V26 software, and the statistical techniques of factorial and multivariate analysis were applied. Finally, a structural equation model is obtained from the pillars of maintenance with a world-class approach and the management of the aforementioned process.

Key words: World-class maintenance, structural equations, preventive maintenance, autonomous maintenance, performance indicators, purification, solution quality, good practices.

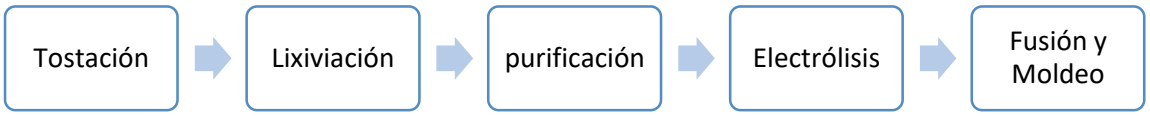
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

En un proceso de producción de una refinería de zinc se menciona que se encuentra conformada por las etapas de tostación, lixiviación, purificación, electrometalurgia y fusión & moldeo, como se muestra en la Figura 1. (adaptado de Sun Metals, s.f.) donde se afirma:

> El óxido de zinc (llamado calcina) es lixiviado por electrolitos que contienen ácido sulfúrico en reactores. Los sólidos que quedan de la etapa de lixiviación consisten principalmente en compuestos de zinc y hierro llamados ferritas. Estos sólidos se eliminan de la etapa de lixiviación mediante filtrado en un filtro de alta presión. La solución que contiene el sulfato de zinc se bombea a la planta de purificación. La etapa de purificación elimina elementos menores de la solución de sulfato de zinc antes de la etapa de electrólisis. La purificación se logra mediante la adición de polvo de zinc (producido en la planta de fundición), promoviendo reacciones de cementación. Como resultado, los metales impuros se convierten en forma sólida y se separan de la solución de sulfato de zinc mediante filtrado. La solución se enfría en la torre de enfriamiento para precipitar el yeso y la solución purificada clara se bombea a la planta de electrólisis (p.1).

Figura 1
Etapas de proceso productivo de una refinería de zinc



Nota. Adaptado de *the-refining-process* por Sun Metals, s.f., (https://www.sunmetals.com.au/community/the-refining-process/).

Así también señala que, siendo la tercera etapa, purificación, para el enfoque del proyecto de investigación, ésta se basa en que todos los elementos a eliminar tienen un potencial electroquímico más elevado que el Zn; esto significa teóricamente que, mediante la adición de zinc metálico a la solución, las impurezas se cementan por reducción en la purificación en frío, según el esquema siguiente:

$$MSO_4 + ZN \rightarrow ZnSO_4 + Metal \qquad (1)$$

Para este fin, en la refinería del Perú, la etapa de purificación se conforma por activos físicos como filtros prensa, filtros US, balanzas dosificadoras, tanques agitadores, sistemas de bombeo, sistemas eléctricos y de instrumentación, no obstante, presenta el siguiente problema fundamental en la gestión de su mantenimiento:

1. En el área de mantenimiento, no existe una gestión de clase mundial para la etapa de purificación. Actualmente se basa en el método tradicional de priorización de atención de órdenes de mantenimiento correctivos y de emergencia operacional.

2. Los indicadores actuales de desempeño y de gestión no inciden positivamente al control y análisis de mantenimiento de los equipos en la etapa de purificación de la refinería de zinc, siendo así los siguientes:

- ICPMP, Índice de cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
- ICPPD, Índice de cumplimiento del programa de predictivo.
- ICPOM, Índice de cumplimiento del programa de órdenes de mantenimiento.
- %Emergencia., Porcentaje de emergencia respecto a la cantidad de órdenes.
- %ICPHH, Índice de cumplimiento de programa de horas hombre.
- Backlog, valor porcentual de lista de tareas pendientes para alcanzar los objetivos.

Mueller (2002) define que el mantenimiento debe considerar los siguientes indicadores para ser conceptualizado como de clase mundial:

- El cumplimiento del programa de mantenimiento es superior al 90 por ciento.
- Las horas extraordinarias de mantenimiento (%).
- El trabajo directo de mantenimiento (%).
- El trabajo de mantenimiento planificado (%).
- El cumplimiento del horario de PM (%).
- El porcentaje de trabajo cubierto por una orden de trabajo (%).
- Las horas reales de la orden de trabajo / las horas de la orden de trabajo planificadas (%).
- La disponibilidad de equipos (%).
- La productividad del equipo (%).
- La efectividad general del equipo (%).

3. Se incrementó notablemente el costo por mantener los equipos operativos de purificación. En efecto, para los meses en muestreo indicados en la Tabla 1 se tiene que el costo presupuestado es menor al costo real.

4. No se cuenta con un plan definido para el mantenimiento autónomo, sólo se tiene registrado tareas del mantenimiento preventivo y predictivo. Por ejemplo, la Figura 2 ilustra cómo están distribuidas las órdenes de trabajo de mantenimiento del programa de la semana-20: 104 actividades de mantenimiento preventivo (PL01), 15 de inspección (RT01) y 6 de metrología (CA01), siendo nula la cantidad de tareas de tipo autónomo:

Tabla 1

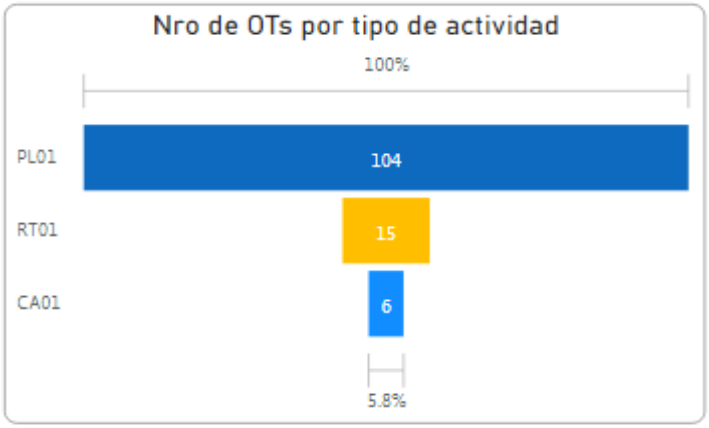
Costo (USD) de consumo de materiales 2021.

Mes	Costo Presupuestado	Costo Real
Junio	$ 39,800	$ 75,926
Mayo	$ 32,788	$ 104,989
Setiembre	$ 36,570	$ 60,292
Octubre	$ 29,490	$ 42,042

Nota: Tabla desarrollada por el autor.

Figura 2

Órdenes de trabajo por tipo de actividad

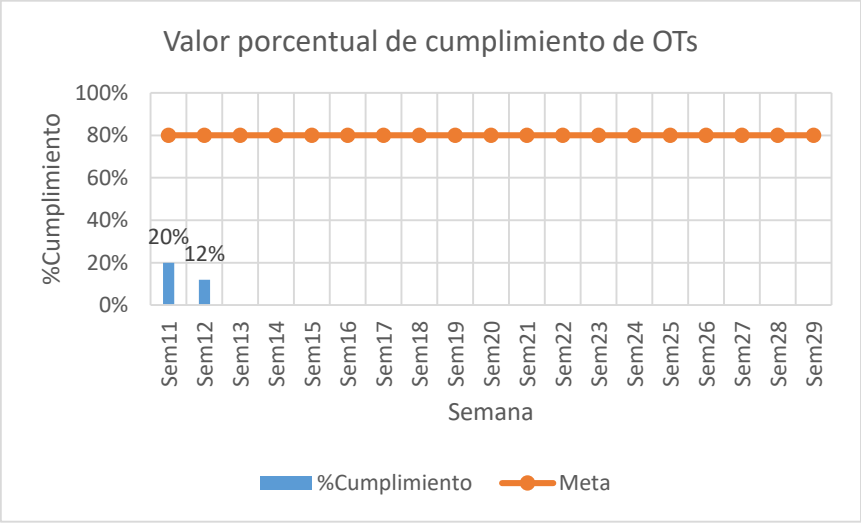


Nota. Gráfico de barras editado por el autor.

Bozağaç (2010) menciona que, “el mantenimiento autónomo es reconocido como estrategia clave en una manufactura inteligente y por ende en los modelos de manufactura de clase mundial. Así también, el mantenimiento autónomo es una metodología que tiene como objetivo el incremento de la disponibilidad de los activos físicos, incrementar de la calidad y el lugar limpio de trabajo” (p.7).

5. El número de paradas no programadas de los equipos se ha incrementado en las últimas semanas, en consecuencia, también la atención de órdenes de trabajos (OTs) correctivos, como resultado el valor porcentual semanal de las órdenes de mantenimiento preventivo ejecutadas está considerablemente debajo de la meta como se ilustra en la Figura 3, semana 11 = 20%, semana 12 = 12%, siendo la meta 80% establecida por la organización.

Figura 3
Cumplimiento porcentual del mantenimiento preventivo.



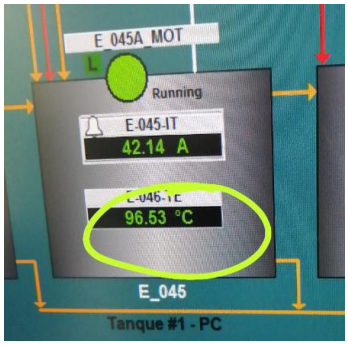
Nota: Figura elaborada por el autor.

6. Siendo la etapa de purificación de tipo químico con reacciones a temperaturas altas (90ºC), Figura 4, la ocurrencia de falla de los equipos impacta con reboses de tanques agitadores, genera riesgos de roturas de líneas de flujo, riesgos de producirse explosiones en salas eléctricas, lo que se ha ido reflejando en el aumento progresivo del riesgo laboral para la operación y el

mantenimiento. No obstante, según el DS Nº 024-2016 y la modificatoria DS-023-2017-EM menciona que “los riesgos originados por las condiciones o actos sub-estándares reportados deben ser controlados oportunamente” (p.59).

Figura 4

Temperatura de tanques agitadores de purificación.



Nota. SCADA de purificación de refinería de Zn.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

En consecuencia, debido la realidad problemática anteriormente mencionada se formulan las siguientes cuestiones de investigación:

¿De qué manera, en una refinería de zinc en el Perú, el modelo de gestión de mantenimiento de clase mundial influye en la calidad de solución en la etapa de purificación?

1.2.2. Problemas específicos

Problema específico 1

¿En qué medida, en una refinería de zinc en el Perú, la estrategia y gestión de mantenimiento de clase mundial incide en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación?

Problema específico 2

¿De qué forma, en una refinería de zinc en el Perú, la confiabilidad de equipos influye en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación?

Problema específico 3

¿De qué manera, en una refinería de zinc en el Perú, el liderazgo y la organización en la gestión de mantenimiento de clase mundial influye sobre la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación?

Problema específico 4

¿Cómo impacta, en una refinería de zinc en el Perú, la gestión de trabajo y CMMS del mantenimiento de clase mundial sobre la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación?

1.3. Justificación de la investigación

La justificación de la presente investigación se centra en la necesidad de analizar y comprender la situación actual en el Perú, de la gestión de mantenimiento en la etapa de purificación de una refinería de zinc, del cual su importancia recae en los siguientes puntos:

1.3.1. Justificación teórica

El concepto de mantenimiento de clase mundial (WCM) es un enfoque integral para realizar mantenimiento de activos que comprende para todos los participantes en una organización industrial:

> Mediante este enfoque (WCM) se crean oportunidades que los procesos de trabajo sean más eficientes y efectivos de una manera que sean universalmente aplicables para aumentar la seguridad, la economía y la eficiencia general de los activos. En la gestión de mantenimiento el eje principal es el WCM por el cual el proceso es considerado efectivo y eficiente. Habiendo logrado la implementación del WCM, las organizaciones industriales aseguran las actividades correctas utilizando los recursos de manera óptima. En consecuencia, dichas organizaciones

pueden alcanzar un mayor rendimiento de seguridad, salud y medio ambiente (HSE) y el rendimiento de los activos operativos. (Imam et al., 2013)

1.3.2. Justificación práctica

A fin de lograr una planta operativa, se hace necesario la aplicación de actividades a fin de asegurar el funcionamiento de los elementos que lo constituyen. Así también, de mitigar la probabilidad de ocurrencia de accidentes con daño personal, daño de equipos y alteración al medio ambiente, minimizar a su vez, los costes originados por la implementación. Las acciones que se dedican a mantener y restablecer sugieren la aplicación de nuevas estrategias y metodologías para hacer de ellas altamente eficientes. El nivel óptimo de resultados y gastos de aplicación es aquel logrado mediante una tarea de mantenimiento eficiente. (Cárcel, 2012).

> Imam (2012) sostiene que “el nuevo paradigma de mantenimiento es el aseguramiento de la capacidad del equipo, es decir, funcionar el equipo a su capacidad de diseño durante la mayor parte de su tiempo de operación. Asegurar la confiabilidad del equipo es la responsabilidad más vital de la función de mantenimiento. Cuando la función es correctamente desarrollada y gestionada, puede lograr un nivel mundial de competitividad y es vital entender los conceptos básicos del mantenimiento para avanzar hacia nuevos enfoques” (p. 2).

1.3.3. Justificación económica

El rol que cumple el mantenimiento en el aseguramiento de que el equipo realice su función prevista a un costo óptimo como “La clave para cero fallas es determinar y rectificar anomalías ocultas que a menudo pasan sin ser percibidas. Este es el concepto fundamental de mantenimiento” (Imam, 2012)

1.3.4. Justificación de seguridad y medio ambiente

Evalúa y propone estándares de seguridad muy altos, generando relación consistente entre las mejores prácticas en el mantenimiento industrial y el rendimiento en seguridad de un proceso productivo. (Idhammar (s.f.))

Fomenta y cumple con las reglas básicas de procedimientos de trabajo prudente, mantenimiento y seguridad de las instalaciones como aspecto esencial para la seguridad de los empleados. (NFPA 70E, 2021)

1.3.5. Justificación profesional

> Propone al equipo de trabajo, de mantenimiento y operaciones, a tener un alto nivel de habilidades, plantea también planificar y programar el trabajo, identificar las brechas de capacitación individual, organizar esta capacitación, asesorar en el análisis de la causa raíz del fracaso y generar actividades de empoderamiento. Idhammar (s.f.)

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Delimitación espacial

La investigación se centra en la situación actual del mantenimiento en una refinería de zinc del Perú, de forma específica en la etapa de purificación.

1.4.2. Delimitación temporal

El desarrollo de este proyecto de investigación se lleva a cabo en el año 2021.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Establecer, en una refinería de zinc en el Perú, la influencia de un modelo de gestión de mantenimiento de clase mundial en la calidad de solución en la etapa de purificación.

1.5.2. Objetivos específicos

En el presente proyecto de investigación se tiene como objetivos específicos:

Objetivo específico 1

Determinar, en una refinería de zinc en el Perú, la incidencia de la estrategia y gestión de mantenimiento de clase mundial en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.

Objetivo específico 2

Determinar, en una refinería de zinc en el Perú, la influencia de la confiabilidad de equipos en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.

Objetivo específico 3

Demostrar, en una refinería de zinc en el Perú, la influencia del liderazgo y la organización en la gestión de mantenimiento con enfoque de clase mundial sobre la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.

Objetivo específico 4

Demostrar que, en una refinería de zinc en el Perú, la gestión de trabajo y CMMS del mantenimiento de clase mundial causa un impacto significativo sobre la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Filosófico

Moubray (1997) hace mención que:

> Desde hace 20 años, el mantenimiento mostró cambios, tal vez aún más que otras disciplinas. Ello debido principalmente al basto incremento numérico y en la variedad de activos. (equipos, edificaciones, planta industrial) los cuales deben ser mantenidos, elaboración de diseños más complejos, nuevas metodologías del mantenimiento, y una mira cambiante en la organización y asignación de responsabilidades. Esto incluye una concientización para la evaluación de los efectos de las fallas de los equipos en referencia a la seguridad y también del medio ambiente; conciencia en cuanto al mantenimiento y a la calidad de producción, así como también de la presión que se genera para lograr altos niveles de disponibilidad mantenimiento un costo optimizado. Este cambio propone llevar al límite la habilidad y actitud alrededor de todas las disciplinas de la industria.
>
> Las personas que conforman el equipo de mantenimiento se obligan a adoptar nuevas maneras de pensar, y actuar con enfoque de ingeniería y también gerencial. A la misma vez se evidencia limitaciones en los sistemas de mantenimiento.

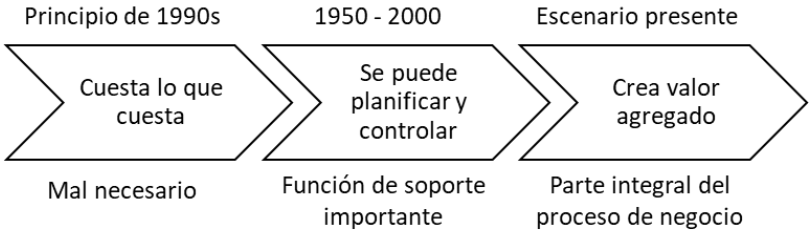
> Ante los constantes cambios de la actualidad, la gerencia en el mundo se encuentra en la búsqueda de un enfoque renovado en el mantenimiento, así también buscan un cambio de estrategia que eviten fallas durante el arranque, estrategias que sinteticen el desarrollo de modelos, evaluarlos y luego aplicarlos con el fin de satisfacer las necesidades de la compañía. (p. 1)

Según Cárcel (2012) asevera:

> A partir de los años 70, se dio inicio al uso de estrategias de mantenimiento, tales como el mantenimiento basado en fiabilidad, así como también el mantenimiento proactivo, efectivo, el de clase mundial, el mantenimiento centrado en riesgo, y otros modelados cuyo uso fue intensificado en el contexto de las grandes empresas. (p. 593).

Parida y Kumar (2006), menciona que “la medición del rendimiento de mantenimiento ha recibido una gran atención de investigadores y profesionales en los últimos años debido a un cambio de paradigma en el mantenimiento, como se explica en la Figura 5. Antes de principios de 1900, el mantenimiento se consideraba un mal necesario. La tecnología no estaba en un estado de desarrollo avanzado, no había alternativa para evitar el fracaso, y la actitud general hacia el mantenimiento era: "Cuesta lo que cuesta". Con la llegada de los cambios tecnológicos y después de la II Guerra Mundial, el mantenimiento migró a ser considerado como una importante función de soporte para la producción y la fabricación. Entre 1950 y 1980, con el advenimiento de técnicas como el mantenimiento preventivo y el monitoreo de la condición, la percepción del costo de mantenimiento cambió a: "Se puede planificar y controlar". Hoy en día, el mantenimiento se considera una parte integral del proceso empresarial y se percibe como: "Crea valor agregado". La medición del rendimiento del mantenimiento también se ha convertido en un requisito esencial para la industria actual” (p. 239-240)

Figura 5
Paradigma de cambio en mantenimiento



Nota. Adaptado de “Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges” (p. 240), por A. Parida y U. Kumar, 2006, *Journal of Quality in Maintenance, 12 (3).*

Manenzhe (2023), refiere que “la gestión de procesos en el ámbito del mantenimiento propicia un cambio de una orientación funcional a una orientación hacia los procesos. La actitud de los gerentes de mantenimiento en los principios de 1900 era “arreglar cuando el equipo falle”, también conocido como mantenimiento correctivo. Podría decirse que la no estuvo en un estado avanzado, sin alternativa para la eliminación de defectos en los equipos. En las décadas de 1950 – 1980, la tecnología avanzó, y la administración del mantenimiento fue entonces considerado una función crítica para la manufactura y la producción. El mantenimiento preventivo a través de la monitorización del estado de los equipos cambió la percepción de “arreglar cuando el equipo falle” a “el trabajo de mantenimiento se puede planificar y controlar”. En la década de 2000, la gestión del mantenimiento se percibe como una parte integral de la estrategia y los procesos empresariales, con la percepción de que "el trabajo de mantenimiento crea valor sostenible", y esto reforzó la percepción de planificación y control del trabajo de mantenimiento. En las empresas con nivel significativo de inversión en activos, el mantenimiento guarda una función de soporte esencial para alcanzar los objetivos de la organización. Así también, Los costes de mantenimiento representan entre el 12 y el 23 % de los costes operativos totales en la fabricación, y entre el 30 y el 60% de los costos operativos totales en la industria minera mecanizada. La mayoría de los departamentos de

mantenimiento consisten en hasta el 30% de la dotación total de personal en las refinerías" (p. 89)

Cárcel (2012), explica que "al surgir las definiciones de fiabilidad en la Primera Guerra Mundial, y más aún en la segunda, la disciplina de mantenimiento no solo busca halla la solución a las averías que se producen en el funcionamiento de los equipos, sino también cómo prevenir. Con ello surge la necesidad de crear nuevas funciones en el departamento de mantenimiento, quienes estudian las tareas que deben realizarse para incrementar el rendimiento del servicio, con sustento más organizacional, preciso y de carácter científico.

Con el conocimiento desarrollado se encamina el incremento de la producción, así como de la fiabilidad en el proceso, mitigar las pérdidas por fallas funcionales y los costes económicos generados.

Diversas metodologías de mantenimiento hacen su aparición tras un análisis mucho más profundo asociado al conocimiento y a la experiencia desarrollado, estas metodologías son aplicados de acuerdo con las necesidades de cada proceso productivo, entre ellas están: el mantenimiento preventivo que refiere a las revisiones y limpieza con carácter periódico, el predictivo cuyo análisis profundo de las variables físicas que componen el proceso permite llevar el estado de los equipos en su etapa de vida, el mantenimiento productivo total, así como la gestión del mantenimiento con asistencia computarizada y también el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Este último como técnica de gestión del mantenimiento, se soporta en el conocimiento de los activos físicos, en los modos de falla y su análisis utilizando técnicas de estadística y aplicación de tecnología para la detección de las mismas" (p. 594)

2.2. Antecedentes del problema

Muchos investigadores afirman:

González (2006), mención que "en su trabajo investigación con etorno de desarrollo en la Minera Spence S.A. cuyo objetivo fue implementar las

prácticas más resaltantes en la gestión de activos, se identificó que el valor de la confiabilidad es el factor clave para la excelencia de la operación. Por dicho motivo, en la Gerencia del área de Mina se estructuró una estrategia similar al de clase mundial, que utiliza conceptos del "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad" y replicándolo a un modelo estratégico de la Operación basada en la confiabilidad. Por otro lado, definió nuevos indicadores para la gestión relacionados con la confiabilidad y con la calidad productiva. Como sustento a la estrategia de la fiabilidad de la operación, se concretó un método de mejora continua basado en dos ciclos de acción paralela, divergentes en lo concerniente a su alcance y también coincidente en su objetivo, es decir, la planificación cuenta con tareas claras de mejora. Concluye en que estos recientes indicadores de gestión hacen posible el control y también el análisis del cumplimiento de la planificación de la producción, la capacidad y demanda de producción, y finalmente la probabilidad para dar continuidad con el cumplimiento esperado de la funcionalidad del proceso" (p. 2)

Bozağaç (2010), sostiene "los efectos del mantenimiento autónomo (AM) en la productividad de manufactura; sus aplicaciones que son las básicas de la Manufactura de Clase Mundial (traducido al inglés: World Class Manufacturing, WCM) y el mantenimiento preventivo total (traducido al inglés: Total Preventive Maintenance, TPM). Por tanto, inicialmente en su estudio se introdujo un sistema WCM, luego se reemplazó por aplicaciones de mantenimiento autónomo y esto fue estudiado paso a paso. En la parte de aplicación, tanto los efectos de las aplicaciones de AM en taller como la importancia de AM en las mejoras de equipos se han intentado enfatizar con las aplicaciones realizadas en el taller de Producción de Prensas en el cual es líder del sector automotriz en Turquía" (p. 3)

Gardella (2011), comenta sobre "los criterio fundamentales para poder implementar el mantenimiento preventivo y predictivo, a partir del análisis

de modos y efecto de falla AMFEC[1]., así como también de la personalización de los pasos de la metodología RCM[2].

La metodología del RCM le fue útil para la identificación de las tareas proactivas y reactivas, con la finalidad de optimizar la fiabilidad de los equipos (activos físicos). Su investigación tuvo como objetivo primordial de ayudar en la implementación de una metodología de gestión económica y a la vez técnica de los activos, soportado en RCM, en el mantenimiento predictivo y también en los indicadores claves. De este método, el logro a alcanzar sería de optimizar el mantenimiento en la industria. No obstante, con la metodología que fue adoptado, se centró en realizar un análisis a todos los componentes que integran el RMC; su impacto en el mantenimiento preventivo, en el mantenimiento predictivo y los indicadores clave que desempeñan la gestión" (p. 13)

Cárcel (2012) revela "la problemática que representa la implementación e integración de herramientas para el mantenimiento dentro del campo de la eficiencia energética en la empresa. Para este fin, realiza un estudio que comprende observar las etapas de generación, transmisión y utilización del conocimiento, y del impacto sobre las actividades que conforman la estrategia de los procesos industriales, y analizar el impacto sobre la mantenibilidad, sobre la operación industrial en función a la eficiencia de energía" (p.6)

Imam (2012), menciona que "el mantenimiento con concepto de clase mundial (traducido al inglés: World Class Maintenance, WCM), de manera singular, es el proceso de negocio que en la actualidad no es costoso, por lo contrario, genera retorno. En Noruega el término de WCM fue utilizado para entendimiento de su definición en la industria. El objetivo fue enfocado para el desarrollo analítico de indicadores clave de WCM. Para

[1] "AMFEC", Análisis de Modos de Fallos Efectos y Criticidad.

[2] "RCM", o Reliability Centered Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad).

dicho propósito, el estudio de WCM se focalizó en: identificar los indicadores, encontrar las tendencias en la industria de Noruega, e identificar la brecha entre las prácticas mantenimiento de la actualidad y el estándar propio de la Clase mundial. El estudio de investigación se basó en la literatura existente y el conocimiento de expertos que mostraron que, en base a la continuidad de desarrollo dentro del paradigma de mantenimiento, existe una necesidad real para un concepto de mantenimiento ampliado y eficaz como WCM. Concluye su estudio con los indicadores WCM con carácter medible, todos basados en las buenas prácticas en las industrias conocidas. Este estudio contrasta las buenas prácticas de mantenimiento en Noruega con los estándares del WCM. Mediante estos resultados, se propuso un marco de trabajo que sirvió a modo de base para el análisis posterior de brechas. Al final, presentó una serie de recomendaciones que sean dirigidos al sector petrolero noruego." (p. 4)

García, Romero y Noriega (2012), expresan que "el mantenimiento productivo total comprende una metodología ampliamente usada en los sectores de producción con el objetivo de incrementar la disponibilidad de los activos físicos y optimizar los beneficios de carácter económico de las empresas. No obstante, aún no se han determinado con precisión los factores administrativos que aseguren el éxito de ser implementados. En su artículo presentaron los resultados de una encuesta en base a una escala de Likert, ello aplicado a 203 representantes de la gerencia y supervisión en el departamento de mantenimiento en la Ciudad de Juarez, la evaluación se dio en veinte actividades y en tres beneficios. Tras la validación del instrumento con el índice de alfa de Cronbach, con ello se aplicó un análisis factorial exploratorio combinando el método de componentes principales. De los resultados se determinaron tres factores que explican el 66.06% del valor de varianza total. En consecuencia, las

relaciones entre los mencionados factores, las actividades y los beneficios se modelaron a través de ecuaciones estructurales.” (p. 173)

Izaguirre (2014), propone “el estudio planteado de la implementación de un modelo con base en el ERP SPA R/3 a fin de optimizar la planificación y la programación del mantenimiento en una empresa siderúrgica en Ancash, Perú, de esta forma atenuando las deficiencias del sistema de gestión de dicho momento. El análisis de viabilidad de este sistema se realizó a través de una encuesta dirigida a los futuros usuarios tomando en cuenta la usabilidad y la confianza con la herramienta para una gestión eficiente del mantenimiento. El resultado de la encuesta fue positiva, confirmando la confianza en el ERP y su aplicación, en consecuencia, el diseño de indicadores de gestión mediante la información que se recopile del ERP. Concluye que los resultados positivos son obtenidos a través de los indicadores que sean controlados, corroborando de esta forma su hipótesis.” (p. 12)

Mishra et al. (2015), refieren “al diseño de una estrategia para implementar un sistema de mantenimiento con nivel de clase mundial mediante la metodología de Modelado Estructural Interpretativo (ISM), de donde presentó una descripción detallada sobre cómo una organización puede implementar WMS. Con este objetivo, se facilitó una plantilla estándar para describir la implementación de todos y cada uno de los elementos y sus relaciones contextuales también se describen mediante la metodología ISM que muestra el poder impulsor y la dependencia de cada elemento. Se cree que esa presentación normativa del marco beneficiaría a los administradores al proporcionar orientación y dirección adecuadas durante la aplicación del sistema de gestión de las existencias de material” (p. 424)

Varela-Geis (2018), hace mención a: “el mantenimiento en las válvulas motorizadas basados en nuevas contribuciones de ingeniería, estrategias

y tecnologías más apropiadas para asegurar la operatividad de las mismas. A fin de minimizar el mantenimiento correctivo propuso una estrategia con menor incidencia posible en el mantenimiento preventivo. En efecto, en los últimos años la Ingeniería de mantenimiento ha venido desarrollando y aplicando tecnologías a fin de lograrlo. No obstante, su propósito principal de su trabajo de investigación fue innovar en el sector naval de los buques en la relación entre el mantenimiento de las válvulas motorizadas con las nuevas tecnologías. La estrategia fue el mantenimiento centrado en la condición, cuyas recomendaciones basan en actividades de mantenimiento predictivo, con aplicaciones de medición, monitoreo y análisis de variables para obtener el diagnóstico de la condición o estado" (p. 3)

Díaz (2018), utiliza "la aplicación del modelado de ecuaciones estructurales para medir del efecto de ciertos factores críticos (FCE) sobre los beneficios obtenidos de la implementación de dos herramientas de manufactura esbelta, Single Minute Exchange of Dies (SMED) y Mantenimiento Preventivo Total (TPM). Esto se llevó a cabo mediante la elaboración de dos cuestionarios basados en la información de bases de datos, para posteriormente ser modelados en el software WarpPls 5.0" (p. 1)

Arrustico (2020), presenta "para el año 2020, ofrece una propuesta para el sector petrolero del Perú, de una gestión de mantenimiento de nivel de clase mundial, con el objetivo de garantizar la operatividad y seguridad de los sistemas de producción, como clave de los objetivos estratégicos de la organización, así también mejorar la eficiencia del mantenimiento, rentabilidad y la productividad. Su metodología de su investigación fue mixta, con nivel explicativo causal, con sentido hipotético y de carácter deductivo, soportado de un diseño no experimental y transversal, basado en revisiones documentales, observaciones directas, y finalmente en

encuesta realizadas a 107 colaboradores de un total de población de 147 personas de dicho sector petrolero. Como conclusión

una Gestión de Mantenimiento de Clase Mundial en refinerías de petróleo en el Perú para el año 2020, buscando lograr mantener los equipos y los sistemas de producción más operativos, disponibles y seguros, de esta manera cumplir con los objetivos estratégicos, mejorar la efectividad del mantenimiento, la productividad y la rentabilidad. La metodología de trabajo para esta investigación mixta, de nivel explicativa causal, hipotético deductivo, de diseño no experimental transversal, se basó en teorías y estudios de investigación, revisión documental, observación directa y encuesta de una muestra de 107 colaboradores de una población de 147 trabajadores de las refinerías de petróleo en el Perú. La investigación concluye que la propuesta de un sistema de mantenimiento de clase mundial basado en mantenimiento preventivo y autónomo incrementaría de forma significativa la productividad" (p. 2)

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Mantenimiento de clase mundial (world class maintenance, WCM)

Acerca del mantenimiento de clase mundial, algunos autores afirman:

> Define a la técnica de mantenimiento con erradicación de pérdidas (desperdicios), se estructura tomando en cuenta el análisis de brechas identificadas entre en estado de operatividad actual del equipo o sistema respecto al nivel óptimo. Se enfoca en la anticipación a la ocurrencia de eventos futuros, cuya función fundamental es transformar las reparaciones o modificaciones en tareas planificadas y programadas que resguarde la continuidad de la operación. (Cárcel, 2012, p. 121)

> Las etapas primordiales para implementar una estrategia de nivel de clase mundial son: planear, prevenir, programar, anticipar, optimizar la fiabilidad, analizar las pérdidas con respecto a repuestos y a los efectos en la

> producción, con la información técnica oportuna, análisis de pérdidas de producción y de repuestos, soporte simultáneo de un cambio de cultura organizacional, y finalmente con el respaldo de sistemas computarizados. (Cárcel, 2012, p. 121)
>
> El nivel de clase mundial hace referencia a un conjunto de prácticas, estándares y resultados sólidos, modelados y dimensionados de forma correcta. Según lo define el Centro internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1998), en el sector petrolero de Venezuela, esta filosofía de mantenimiento constituye una serie de mejores prácticas de mantenimiento y operación con visión de negocio. La coordinación estos enfoques organizaciones dan forma a un marco de optimización de costos significativos e incremento de la productividad. (Rivas, 2006, p. 69)

Así también, Cárcel (2012) focaliza los siguientes aspectos para la categoría de clase mundial como se muestra en la Figura 6:

- Excelencia en los procesos de característica medular.
- Rentabilidad y la calidad de los productos.
- La satisfacción y motivación de las personas y de los clientes.
- Máximo nivel de confiabilidad.
- Logro de la meta de requerimiento de la producción.
- Máxima nivel seguridad de las personas.
- Máxima nivel protección del medio ambiente. (p. 121)

Chica y Hernández (2009), hace mención especial de los principios estratégicos en la técnica de clase mundial, son:

- El mantenimiento de nivel de clase mundial es una secuencia a largo plazo, lo resultados no son esperados en el menor tiempo.

- Implantación de la estrategia de WCM en un entorno real de la organización.
- La efectividad y durabilidad de un modelo simple es mayor que un modelo complejo, por lo que requiere de menos capacitación.
- Un cambio de cultura organizacional necesita de entrenamiento y práctica.
- Mientras la estrategia sea la idónea, el resultado esperado será el mejor.
- El lanzamiento de la iniciativa de la estrategia de clase mundial debe formar parte de una planificación.
- Las normas y la resolución de problemas son base para la táctica de clase mundial.
- Los empleados desempeñan alto nivel de compromiso en el WCM. La implementación de la táctica debe ser de forma voluntaria, de manera que exista motivación por lograrlo. (p. 54).

Figura 6
Aspectos del mantenimiento de clase mundial.



Nota. Imagen editada por el autor.

2.3.2. Características del mantenimiento de clase mundial

El mantenimiento de nivel de clase mundial se fundamente en:

Organización basada en equipos

“Los equipos de trabajo de una organización son reconocidos por realizar análisis de procesos y por solucionar problemas de entorno multidisciplinario.” (Bustamante, 2006, p. 7).

Contratistas enfocados en la productividad

“El retorno económico a los contratistas se relaciona de acuerdo con los objetivos de producción, de optimizar los costos, de generar mejoras en la eficiencia operativa. Así como en la planificación de las actividades, con la definición clara de los alcances conforme al presupuesto, de modo que la variación de las horas hombre se encuentren regulados de manera controlada” (Bustamante, 2006, p. 7)

Integración de proveedores de servicios y de materiales

“Los proveedores administrar directamente el inventario de los recursos materiales, esto con el propósito de garantizar la demanda exacta de materiales en el momento preciso con un costo optimizado. Para hacerlo viable se debe contar con una base de datos de proveedores cuyos canales de comunicación estén alineados e integrados con el área usuaria” (Bustamante, 2006, p. 7-8)

Visión y soporte gerencial

“La mejora continua viene impulsada desde la gerencia, así como también la preparación del personal, programa de reconocimientos, evaluación continua y programas de desarrollo de línea de carrera” (Bustamante, 2006, p. 8).

Programación y Planificación proactiva

“En el mantenimiento el proceso de la planificación y la programación están orientados a lograr altos niveles de eficacia de los activos a través de su

disponibilidad operativa, de extender su vida útil y asegurar altos niveles de calidad del producto, lo que puede interpretarse como una operación eficiente con costos optimizados. Esta planificación y programación debe asociar actividades a corto, mediano y largo periodo, bajo un esquema metódico orientado a la confiabilidad del activo" (Bustamante, 2006, p. 8)

Procesos enfocados a la mejora continua

"Refiere a identificar la mejora continua en las tareas y en cada proceso, con impulso y reconocimiento por parte de la gerencia. Dicha filosofía trasciende como cultura a todos los integrantes de la organización" (Bustamante, 2006, p. 9).

Disciplina en la gestión de materiales

"Hace referencia a la estrategia de abastecimiento de materiales a través de procedimientos y estándares, que aseguren los mejores proveedores, garanticen la calidad de los materiales, tiempo de entrega mediante el uso de plataformas tecnológicas y maximización la eficiencia de los costos de suministro" (Bustamante, 2006, p. 9).

Integrar sistemas en la organización

"En la organización, los sistemas estandarizados deben guardar coordinación con los procesos, de manera que se facilite la recuperación, uso y registro de la información destinado para la toma de decisiones" (Bustamante, 2006, p. 9).

Gerencia disciplinada de paradas de plantas

"La planificación de las paradas de planta se deben realizar con antelación de 12 a 18 meses, involucrando a todas las áreas, soportados de los procedimientos documentados y establecidos para dicho propósito" (Bustamante, 2006, p. 9).

Producción basada en confiabilidad

“Con el objetico de predecir y anticipar comportamientos de los activos se deben utilizar tecnologías avanzadas como: ultrasonido, balanceo, análisis de aceite, análisis de vibración, alineamiento, entre otras, bajo un esquema sistemático” (Bustamante, 2006, p. 10).

2.3.3. Guía para el Mantenimiento de clase mundial

Según la Sociedad para Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad (Society for Maintenance & Reliability Professionals [SMRP], s.f.), se muestra en la Figura 6, la Guía para el cuerpo de conocimientos sobre Mantenimiento y Confiabilidad, como una ayuda para los profesionales nuevos y experimentados que buscan una hoja de ruta para un desempeño de clase mundial, constituyéndose así en cinco pilares, Figura 7, mencionados a continuación:

Pilar 1. El negocio y la administración

“Define las competencias usadas para alinear los objetivos de la empresa en las metas de confiabilidad y mantenimiento que aseguren los resultados y el éxito del negocio” (SMRP, 2009)

Pilar 2. Confiabilidad del proceso de manufactura

“Asocia las tareas de confiabilidad y mantenimiento con el proceso productivo de la empresa a fin de asegurar que las tareas de mantenimiento y de confiabilidad aporten al proceso de manufactura con mejora continua” (SMRP, 2009)

Pilar 3. Confiabilidad de equipos

“En primer lugar se ubican aquellas tareas que permiten la evaluación de la capacidad actual de los activos y procesos en concepto de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad. En segundo punto, se encuentran las tareas utilizadas para la selección y aplicación de las mejores prácticas de mantenimiento, de tal manera que los procesos y activos continúen aportando su capacidad proyectada de modo seguro y con posibilidad de retorno” (SMRP, 2009)

Pilar 4. Organización y liderazgo

“Describe procesos para garantizar que el equipo de mantenimiento y confiabilidad sean los de mejor calificación y mejor asignado para lograr los objetivos de mantenibilidad y confiabilidad de la organización” (SMRP, 2009).

Pilar 5. Administración del trabajo

Esta área temática se basa en las habilidades empleadas para ejecutar las tareas de mantenimiento y confiabilidad. Esto abarca actividades de planificar y programar, asegurar la calidad de las tareas de mantenimiento.

Figura 7

Pilares del mantenimiento y confiabilidad según SMRP.



Nota. Adaptado de *Body of Knowledge* Sociedad para Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad, s.f., SMRP (https://smrp.org/SMRP-Library/Body-of-Knowledge)

2.3.4. Implantación del mantenimiento de clase mundial

Idhammar (s.f.), califica el uso que se hace en su planta sobre los sistemas y las prácticas, utilizando una escala valorada de 0 a 10, en donde 10 hace referencia que es tan bueno y probable que no sería necesario hacer mejoras en esta área. Mientras tanto 5 significa que se percibe que hace una buena labor, en tanto que un cero refiere a que su rendimiento es desastroso.

- Los activos son especificados, diseñados y comprados de acuerdo al costo de ciclo de vida (LCC), mas no al costo más bajo.
- El equipo directivo conformado por: mantenimiento, operaciones, ingeniería y tiendas avanzan juntos hacia un objetivo en común.
- La política de mantenimiento y de confiabilidad se desarrollan y documenta incluyendo un plan de mejora a mediano y largo plazo.
- Los artesanos destacan por su nivel de destrezas, esto exige que la supervisión ajuste su estilo de liderazgo.
- Las tareas de los artesanos de mantenimiento se ajustan a sus capacidades, mas no por normas rígidas.
- La planificación y programación logran un nivel destacado.
- El trabajo se prioriza de modo correcto.
- Las prácticas de mantenimiento preventivo (PM) e importancia del cuidado esencial con monitoreo de condición (ECCM) se encuentran establecidas de forma correcta.
- El cumplimiento de las tareas de PM / ECCM es alcanza el 100%.
- El suministro de los repuestos y materiales en el área de trabajo alcanzan niveles de 85%.
- La valoración del servicio de las tiendas de repuestos logra niveles del 97%.
- El contenido de la base de datos técnicos logra un nivel de fiabilidad del 95%.

- Se implementan las definiciones básicas del mantenimiento.
- El nivel de cumplimiento de los estándares de seguridad es alto.
- Se aplica el análisis de causa raíz para identificar el origen de fallas.

2.3.5. Auditoría en la gestión de mantenimiento

La Metodología refiere al Método cuantitativo BHP GMN Capability Assurance Evaluation Mind Maps, según Jeffs (2000), el cual consiste en 22 elementos de evaluación según los ítems mostrados:

- **Ítem 1.** Seguridad
- **Ítem 2.** Medio Ambiente
- **Ítem 3.** Alineamiento con el negocio y visión de empresa
- **Ítem 4.** Desarrollo del trabajador
- **Ítem 5.** Organización
- **Ítem 6.** Conocimiento del proceso y condición del equipo
- **Ítem 7.** Organización del trabajo
- **Ítem 8.** Planeamiento
- **Ítem 9.** Programación
- **Ítem 10.** Asignación de tareas y ejecución
- **Ítem 11.** Cierre de tareas y registro
- **Ítem 12.** Gestión de paradas
- **Ítem 13.** Gestión de contratistas
- **Ítem 14.** Gestión de materiales
- **Ítem 15.** Presupuestos y control de costos
- **Ítem 16.** Medición del desempeño

- **Ítem 17.** Mejora desempeño en aseguramiento de disponibilidad
- **Ítem 18.** Determinación de causa raíz de pérdidas operacionales
- **Ítem 19.** Gestión del sistema de información de mantenimiento
- **Ítem 20.** Facilidad, equipos y herramientas
- **Ítem 21.** Planos y documentación
- **Ítem 22.** Adquisición de planta y modificaciones

2.3.6. Análisis Estadístico Multivariado

"En el análisis factorial confirmatorio (AFC) se emplea el método de estimación de máxima verosimilitud, los modelos analizados fueron comparados mediante los índices de bondad de ajuste: cociente entre el estadístico Chi-cuadrado y sus correspondiente grados de libertad (minimum discrepancy of confirmatory factor analysis divided by degrees of freedom [CMIN/DF], 2020), el índice de bondad de ajuste (Goodness Fit Index [GFI], 2020), la raíz cuadrática media estandarizada residual (Standardized Root Mean Square Residual [SRMR], 2020), el índice de ajuste comparativo (Comparative Fit Index [CFI], 2020), y el error cuadrático medio de aproximación raíz (Root Mean Square Error of Approximation [RMSEA], 2020)" (Trujillo et al., 2020, p. 62).

2.3.7. Análisis Factorial

Díaz (2018) menciona que:

> El análisis factorial es un conjunto de procedimientos para examinar las relaciones entre un grupo de variables aleatorias observadas, contadas o medidas para cada individuo de un grupo, un individuo puede ser hacer referencia a una persona, algún otro organismo, un objeto o cualquier entidad. Adicionalmente, el análisis factorial simplifica un conjunto de variables en una cantidad reducida de variables (factores), revela dimensiones subyacentes entre las variables medidas y los constructos latentes, ello proporciona la formación y el refinamiento de la teoría y

establece la evidencia sólida de validez de constructo para escalas de auto informe (p. 14).

2.3.8. Análisis Factorial Exploratorio

Thompson (2004) menciona:

> El análisis factorial exploratorio (AFE) en realidad implica una secuencia lineal de decisiones, cada una de las cuales involucra un menú de varias opciones disponibles. Dado que hay cinco decisiones principales, con muchas opciones en cada punto de decisión, el número de combinaciones de análisis diferentes que están disponibles para el investigador es bastante grande. Estas cinco decisiones, abordan las siguientes cuestiones:
>
> 1. ¿Qué matriz de coeficientes de asociación se debe analizar?
> 2. ¿Cuántos factores se deben extraer?
> 3. ¿Qué método se debe utilizar para extraer los factores?
> 4- ¿Cómo se deben rotar los factores?
> 5. ¿Cómo se deben calcular las puntuaciones de los factores si las puntuaciones de los factores son de interés? (p. 27)

En la Figura 8, se presenta la declaración del modelo gráfico de entrada implícita en un AFE que incluye nueve variables medidas y tres factores correlacionados.

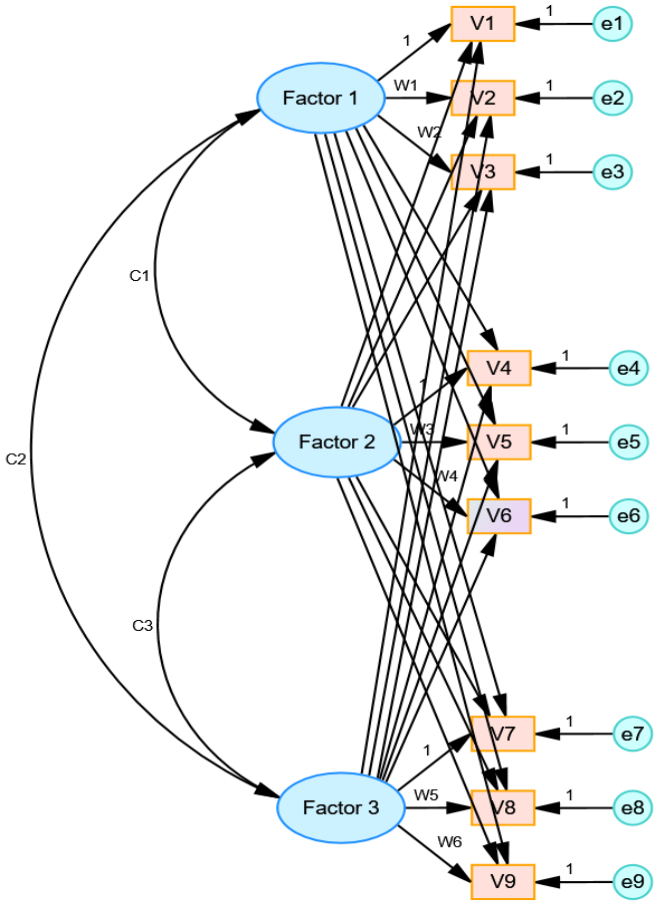
2.3.9. Análisis Factorial Confirmatorio

Ho (2006) afirma que, “Un análisis factorial confirmatorio (AFC) permite determinar el ajuste global de un modelo de medición. El ajuste de este modelo es extremadamente importante en el sentido de que todos los modelos estructurales de variables latentes están anidados dentro de él. La obtención de un ajuste deficiente en esta etapa indica la necesidad de un mayor refinamiento del modelo de medición e impide pasar a investigar modelos estructurales de variables latentes” (p. 304)

Thompson (2004) afirma que, “la diferencia básica en AFC es que uno o más modelos subyacentes (es decir, cuántos factores, qué variables medidas se cree que reflejan qué variables latentes, si los factores están correlacionados) deben especificarse incluso para ejecutar el análisis. También hay análisis estadísticos que son posibles en el AFC, pero imposibles en el AFE (por ejemplo, permitir correlacionar las varianzas de error). Así, algunos procedimientos que son rutinarios en la AFE, como la rotación de factores, son irrelevantes en la AFC.

Figura 8

Modelo AFE con nuevo variables y 3 factores correlacionados.



Nota. Gráfico desarrollado por el autor.

Esto se debe a que los propios modelos a priori suelen especificar una estructura simple, restringiendo ciertos coeficientes del patrón factorial para que sean cero

Adicionalmente, el análisis factorial confirmatorio es un componente muy importante dentro de una clase más amplia de métodos llamados modelos de ecuaciones estructurales (SEM), o, a veces, análisis de estructura de covarianza. El AFC especifica los "modelos de medición" que delinean cómo las variables medidas reflejan ciertas variables latentes. Una vez que estos modelos de medición se consideran satisfactorios, el investigador puede explorar modelos de trayectoria (llamados modelos estructurales) que vinculan las variables latentes. Una vez que estos modelos de medición se consideran satisfactorios, el investigador puede explorar modelos de trayectoria (llamados modelos estructurales) que vinculan las variables latentes" (p. 109).

La Figura 9, representa "el modelo de entrada de CFA relacionado suponiendo que cada una de las nueve variables medidas está asociada con un solo factor, tres variables medidas por factor. La ausencia de trayectorias entre pares seleccionados de variables medidas y latentes (por ejemplo, entre VI y el Factor II, entre V2 y el Factor II) implica que estos coeficientes del patrón factorial se han restringido a cero" (p. 111).

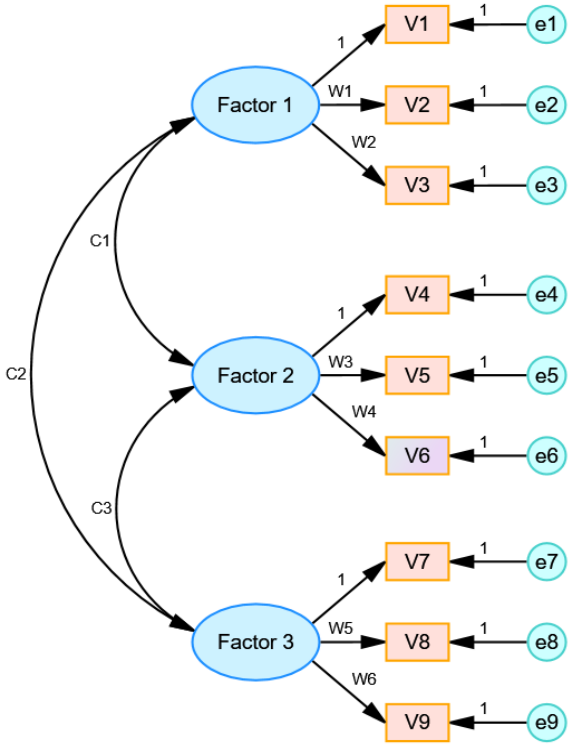
2.3.10. Ecuaciones Estructurales

Díaz (2018) menciona que:

> en el modelado de ecuaciones estructurales (SEM) se aplican diferentes modos de análisis para explicar las relaciones entre las variables observadas, con el mismo propósito de contrastar cuantitativamente un modelo teórico hipotético. En el SEM hay dos tipos fundamentales de variables, las observadas y las latentes como se ilustra en la Figura 10. La variable observada refiere a los datos, es decir, las variables para las cuales se recolectó puntajes y a la vez ha sido ingresado a una base de datos. Entonces, las variables observadas pueden ser categóricas, ordinales o continuas, no obstante, las variables latentes en SEM son continuas, las variables latentes en SEM por lo general corresponden a constructos o factores (p.16).

Figura 9

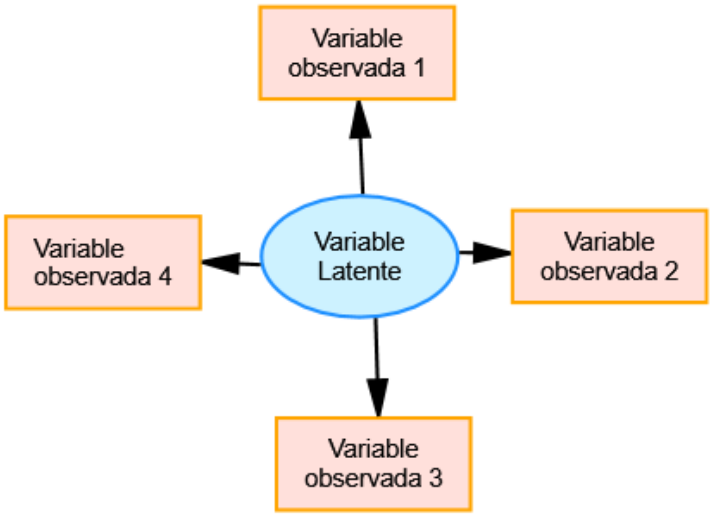
Modelo AFC con nueve variables y 3 factores correlacionados.



Nota. Gráfico desarrollado por el autor.

Figura 10

Variable latente y variables observadas.



Nota. Gráfico desarrollado por el autor.

2.3.11. Proceso de refinería de zinc

Una planta de proceso típica de refinado de zinc lo conforman las siguientes etapas:

- **Etapa tostación**

Según Sun Metals (2024) los concentrados de zinc:

> se reciben tanto por ferrocarril como por camión en el sitio. Los concentrados se introducen en el tostador de lecho fluidizado y se tuestan con oxígeno a 950 °C. El objetivo de la etapa de tostado es convertir el sulfuro de zinc en óxido de zinc soluble en ácido y gas de dióxido de azufre. El material de óxido de zinc recolectado se canaliza a la etapa de lixiviación, mientras que el dióxido de azufre es enviado a la planta de ácido sulfúrico por medio de la planta de limpieza de gases, donde es procesado para luego convertirlo en ácido sulfúrico para venderlo. En la Figura 11, se ilustra una imagen física de la etapa del proceso (p. 1).

Figura 11
Etapa de Tostación de una refinería de zinc.



Nota. Adaptado de *the refining process* [Fotografía], por Sun Metals, s.f., (https://www.sunmetals.com.au/community/the-refining-process)

- **Etapa de lixiviación**

El óxido de zinc (llamado calcina) “es lixiviado por electrolitos que contienen ácido sulfúrico en reactores. Los sólidos que quedan de la etapa de lixiviación consisten principalmente en compuestos de zinc y hierro llamados ferritas. Estos sólidos se eliminan de la etapa de lixiviación mediante filtrado en un filtro de alta presión. En la Figura 12, se muestra una imagen física de la etapa del proceso” (Sun Metals, 2024s p.2).

- **Etapa de purificación**

La solución que contiene el sulfato de zinc se bombea a la planta de purificación. La etapa de purificación elimina los elementos espejo de la solución de sulfato de zinc antes de la electrólisis. La purificación se logra mediante adición de polvo de zinc (producido en la planta de fundición), promoviendo reacciones de cementación. Como resultado, los metales impuros se convierten en forma sólida y se separan de la solución de sulfato de zinc mediante filtrado. La solución se enfría en torres de enfriamiento para precipitar yeso y la solución purificada clara se bombea a la planta de electrólisis. En la Figura 13, se muestra una imagen física de la etapa del proceso. (Sun Metals, s.f.)

Figura 12

Etapa de Lixiviación de una refinería de zinc.



Nota. Adaptado de *the refining process* [Fotografía], por Sun Metals, s.f., (https://www.sunmetals.com.au/community/the-refining-process)

Figura 13
Etapa de purificación de una refinería de zinc.

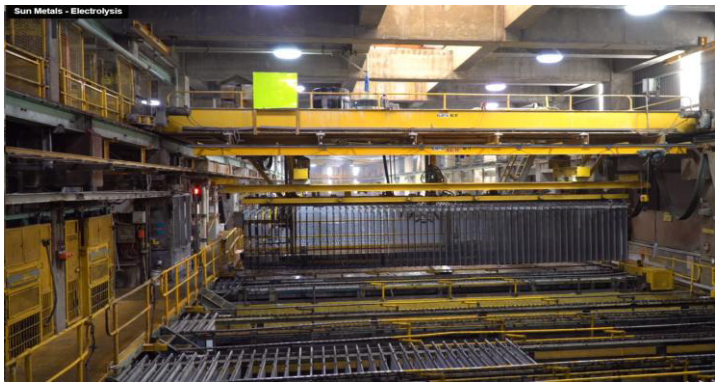


Nota. Adaptado de *the refining process* [Fotografía], por Sun Metals, s.f., (https://www.sunmetals.com.au/community/the-refining-process)

- **Etapa de electrólisis**

El zinc se recupera del sulfato de zinc en las celdas de electrólisis mediante un proceso de electro-obtención en el que el zinc se deposita en cátodos de aluminio: “Los depósitos de zinc se extraen de los cátodos de aluminio y se transfieren a la planta de fundición. El ácido sulfúrico producido durante el proceso de electro-obtención se devuelve a la planta de lixiviación para lixiviar óxido de zinc (calcina)” (Sun Metals, 2024, p. 2). En la Figura 14, se muestra una imagen física de la etapa del proceso.

Figura 14 .
Etapa de Electrólisis de una refinería de zinc.



Nota. Adaptado de *the refining process* [Fotografía], por Sun Metals, s.f., (https://www.sunmetals.com.au/community/the-refining-process)

- **Etapa de fundición**

El zinc metálico de la electrólisis se funde en un horno eléctrico y luego se funde en lingotes y jumbos para la venta. “Se pueden agregar varios otros metales, como aluminio y antimonio, a las aleaciones producidas para cumplir con los requisitos específicos del cliente. También se produce polvo de zinc que se utiliza en la planta de purificación como reactivo” (Sun Metals, 2024, p. 3). En la Figura 15, se muestra una imagen física del producto obtenido en esta etapa del proceso.

Figura 15

Etapa de Fundición de una refinería de zinc en lingotes y jumbos.



Nota. Adaptado de *the refining process* [Fotografía], por Sun Metals, s.f., (https://www.sunmetals.com.au/community/the-refining-process)

2.4. Glosario

Activo

Constituye un recurso con valor que una empresa aprovecha como fuente de explotación para obtener beneficios.

Calidad

Grado de que un producto cumpla con las especificaciones de la cual fue diseñada. Estos son valores deseados por una organización de determinadas características de un bien o servicio contando con los requisitos del cliente o usuario.

Ciclo de vida

Es el periodo durante el cual un activo físico mantiene su funcionalidad. Esto comprende desde su adquisición hasta el momento de su sustitución o restauración.

Computerized maintenance management system (CMMS)

Es una aplicación de software para computadora, en donde el usuario puede programar una actividad de mantenimiento, ver qué trabajo fue desarrollado y cuál es el rendimiento del equipo. Esta aplicación debe permitir al usuario la flexibilidad de generar reportes.

Confiabilidad

Es el valor probabilístico que define la funcionalidad de un componente o sistema de manera que no falle bajo condiciones operativas definidas en un periodo de tiempo establecido.

Coste directo de mantenimiento

Es el coste de la disponibilidad, derivado de la mano de obra propia, materiales, repuestos, servicios externos y supervisión utilizados para la reparación de fallas o reposición de ítems.

Coste indirecto de mantenimiento

Es el coste de la indisponibilidad, generado de las pérdidas de producción, disminución del rendimiento y calidad, junto a los impactos a la seguridad y ambiente, ocasionado por la falla de un activo físico.

Disponibilidad

Es el valor probabilístico de que un componente o sistema desempeñe su función en las condiciones operativas definidas en un momento específico de tiempo dado.

Análisis crítico de modos y efectos de falla

Es una herramienta de análisis para evaluar productos y procesos en el ámbito de prevención de falla o deficiencia en el funcionamiento.

Fallo

Conocida con avería. Es la interrupción de la capacidad de un ítem para desempeñar su función determinada.

Gestión de mantenimiento

Medidas adoptadas por la dirección de Mantenimiento acorde a una política específica.

Mantenimiento

Garantizar que los activos físicos mantengan su funcionalidad que sus usuarios esperan, a través de procedimientos técnicos y administrativos destinados a conservarlos, o restituirlos a condiciones óptimas que aseguren el cumplimiento de su función.

Mantenimiento autónomo

Consiste en la corresponsabilidad entre los operadores de los activos físicos y el personal de mantenimiento, orientado al correcto funcionamiento de los equipos.

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Constituye una metodología sistemática, diseñado para desarrollar y optimizar los programas de mantenimiento preventivo, adaptándose a la necesidad del sector industrial.

Mantenimiento correctivo

Es el mantenimiento realizado cuando se haya materializado una falla en un ítem, con el propósito de devolverlo a un estado de operación segura de

funcionamiento. El Mantenimiento Correctivo puede ejecutarse de modo planificado o de manera reactiva.

Mantenimiento de tipo emergencia

Es la intervención reactiva que debe tratarse de manera prioritaria con el objetivo de mitigar consecuencias graves o catastróficas.

Mantenimiento durante la operación

Son las intervenciones de mantenimiento que se llevan a cabo sin necesidad de detener o alterar la continuidad operativa del equipo.

Mantenimiento planificado

Son las actividades organizadas y realizadas con anticipación y un monitoreo controlado.

Mantenimiento predictivo

Es estrategia preventiva fundamentada en el monitoreo periódico y continuo de sus parámetros específicos. La ejecución de trabajos de mantenimiento se ve condicionado ante la detección temprana a alguna anomalía en el funcionamiento del activo físico.

Mantenimiento preventivo

Es un conjunto de acciones cuya aplicación permite evitar que las fallas se materialicen. Esta metodología aprovecha las intervenciones para corregir defectos menores en su fase inicial, bajo un esquema de atención y alerta temprana, plasmados en un plan de mantenimiento con tiempos óptimos de ejecución y al menor costo posible.

Mantenimiento proactivo

Son aquellas intervenciones cuyo propósito es detectar y corregir las causas que producen el desgaste y se convierten de averías de los activos físicos.

Representa a una estrategia de diagnóstico y análisis con tecnologías de carácter predictivo con el propósito de incrementar el ciclo de vida de los activos físicos.

Mantenimiento según condición

Es el equivalente al mantenimiento de carácter predictivo. Sostiene sus actividades mediante el monitoreo constante o frecuente de alguna variable crítica del sistema.

Mantenimiento de seguridad

Son aquellas actividades cuyo propósito es mitigar los riesgos que puedan afectar la integridad de la persona y/o del medio ambiente.

Modelo estructural

El modelo estructural constituye una parte del modelo general que representa las relaciones causales entre variables latentes. Las variables observadas se incluyen siempre en cuando no operan como indicadores de dichas variables latentes.

Plan de mantenimiento

Es el conjunto de acciones sistematizados de mantenimiento que un activo físico requiere durante periodos de tiempo definidos.

Programa mantenimiento

Es aquel documento que representa la fecha predeterminada para la ejecución de las tareas de mantenimiento.

Purificación de zinc

Etapa del proceso de obtención de zinc donde se extrae el cadmio, el cobalto, el cobre y níquel de la solución química que proviene de la etapa de lixiviación a mediante el uso de polvo de zinc.

Repuesto

Es aquella parte, componente o elemento que pertenece a un activo físico de rama superior, el cual es sustituible por efectos de consumo, de desgaste físico o por daño interno.

Solución purificada

Solución química (ZnSO4+H2O) libre de cobre, cadmio, cobalto y níquel, producto en la etapa de purificación.

Terotecnología

Es el conjunto de acciones de gestión, financieras, de técnicas aplicables a los activos físicos a fin de disminuir los costes durante su ciclo de vida. Abarca la especificación y el diseño de ítems considerando su construcción, instalación, mantenibilidad, fiabilidad, reparación, operación y mejora, con su retroalimentación sobre su desempeño y costes.

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Representa el tiempo promedio de operación entre fallas continuas de un ítem caracterizado por ser reparable. Su valor equivale al inverso de la tasa de fallas. (SMRP, 2009)

$$MTBF = \frac{Operating\ time\ (hours)}{Number\ of\ Failures} \quad ; \qquad (2)$$

Tiempo medio para reparar (MTTR)

Representa el tiempo promedio utilizado para que un ítem sea reparado. Se denota como MTTR; (SMRP, 2009)

$$MTTR = \frac{Total\ repair\ or\ replacement\ time\ (hours)}{Number\ of\ repair/replacement\ events} \qquad (3)$$

Tiempo de parada

Refiere a aquel periodo de tiempo durante el cual un activo físico permanece fuera de servicio.

TPM

Se trata de un esquema de trabajo en el cual el operador del activo físico ejecuta actividades básicas del mantenimiento, tales como limpieza, lubricación, ajustes, inspecciones sensoriales, mientras que las tareas de mayor complejidad los realiza el área de mantenimiento.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La situación existente se abordó con el enfoque cualitativo con diseño cuasi experimental tal es así que se relaciona la causa efecto entre la variable independiente "*Modelo de gestión de mantenimiento de clase mundial*" y variable dependiente de "*la calidad de solución en la etapa de purificación de una refinería de zinc*" como contexto en el sector industrial del Perú. Según Espinoza (2014) la técnica empleada para la captación de datos fue empírica, ello facilita la interacción con el objeto de estudio y permite la obtención de testimonios, según (Espinoza, 2014) "permiten contrastar la teoría con la práctica en el esfuerzo de alcanzar la verdad. En consecuencia, se utilizará la observación, entrevista y encuesta que permitan obtener información de primera mano para describir o explicar la problemática" (p. 108).

3.2. Hipótesis y Variables

3.2.1. Hipótesis General

En una refinería de zinc en el Perú, el modelo de gestión de mantenimiento de clase mundial influirá en la calidad de solución en la etapa de purificación.

3.2.2. Hipótesis Específicas

H1: En una refinería de zinc en el Perú, la estrategia y gestión de mantenimiento de clase mundial inciden en la calidad y confiabilidad del proceso en la etapa de purificación.

H2: En una refinería de zinc en el Perú, la confiabilidad de equipos influye en la calidad y confiabilidad del proceso en la etapa de purificación.

H3: En una refinería de zinc en el Perú, el liderazgo y la organización en la gestión de mantenimiento de clase mundial inciden en la calidad y confiabilidad del proceso en la etapa de purificación.

H4: En una refinería de zinc en el Perú, la gestión de trabajo causa un impacto significativo en la calidad y confiabilidad del proceso en la etapa de purificación.

3.3. Identificación de variables

En el desarrollo de las hipótesis específicas intervienen las siguientes variables:

Variable Independiente:

VI : Implementación del Modelo de gestión de clase mundial.

D1: Percepción de Estrategia y gestión de Mantenimiento (Pilar 1) (SMRP,2009)

D2: Percepción de Confiabilidad de equipos (Pilar 3) (SMRP,2009)

D3: Percepción de Liderazgo y Organización (Pilar 4) (SMRP, 2009)

D4: Percepción de Gestión del trabajo y CMMS (Pilar 5) (SMRP, 2009)

Variable dependiente

VD: Percepción de calidad de la solución en la etapa de purificación de una refinería de zinc del sector industrial en el Perú. (Pilar 2) (SMRP, 2009)

3.4. Operacionalización de las Variables

La Tabla 2 ilustra cómo se operacionalizan las variables y su modo de relación.

3.5. Matriz de consistencia

La matriz de consistencia se encuentra representada en la Tabla 3.

Tabla 2

Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala de medida
Variable Independiente					
Implementación del Modelo de gestión de clase mundial	"La gestión de mantenimiento de clase mundial significa el arte y la ciencia de administrar los recursos de mantenimiento realizados por las mejores industrias de su clase en todo el mundo" (Ángeles, 2009, p. 113).	"El concepto de mantenimiento de clase mundial (WCM) se considera como un enfoque integrado para realizar el mantenimiento de activos comprensible para todos los participantes en una organización industrial" (Imam et al., 2013)	Estrategia y gestión de Mantenimiento (Pilar 1) (SMRP,2009)	Percepción de Estrategias de mantenimiento.	Ordinal
			Confiabilidad de equipos (Pilar 3) (SMRP,2009)	Percepción del Nivel de confiabilidad de equipos	Ordinal
			Liderazgo y Organización (Pilar 4) (SMRP, 2009)	Percepción de Estrategia de liderazgo	Ordinal
			Gestión del trabajo y CMMS (Pilar 5) (SMRP, 2009)	Percepción de Competencias y habilidades en el trabajo.	Ordinal
Variable Dependiente					
Percepción de calidad de la solución	"La etapa de purificación de la solución es un paso esencial en hidrometalurgia de zinc. El rendimiento de la purificación de la solución afecta directamente el funcionamiento normal y los beneficios económicos de la hidrometalurgia del zinc" (Sun et al., 2018, p. 564).	"La función de la purificación de la solución, que sirve de enlace entre la lixiviación y la electro-obtención, es precisamente reducir la concentración de las impurezas a rangos aceptables" (Sun et al., 2018, p. 564).	Calidad y confiabilidad del proceso (Pilar 2) (SMRP,2009)	Percepción del Nivel de calidad en el proceso.	Ordinal

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Tabla 3

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Técnica de procesamiento de datos
Problema General	**Objetivo general**	**Hipótesis general**			
¿De qué manera, en una refinería de zinc en el Perú, el modelo de gestión de mantenimiento de clase mundial influye en la calidad de solución en la etapa de purificación?	Establecer, en una refinería de zinc en el Perú, la influencia de un modelo de gestión de mantenimiento de clase mundial en la calidad de solución en la etapa de purificación.	En una refinería de zinc en el Perú, el modelo de gestión de mantenimiento de clase mundial influirá en la calidad de solución en la etapa de purificación.	**VI:** Implementación del Modelo de gestión de clase mundial **VD:** Percepción de calidad de la solución		SPSS Versión 26 AMOS Versión 24 Matlab Microsoft Power BI Microsoft Excel Minitab V20 Statistical
Problemas específicos	**Objetivos específicos**	**Hipótesis específicas**			
¿En qué medida, en una refinería de zinc en el Perú, la estrategia y gestión de mantenimiento de clase mundial incide en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación?	Determinar, en una refinería de zinc en el Perú, la incidencia de la estrategia y gestión de mantenimiento de clase mundial en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.	**H1.** En una refinería de zinc en el Perú, la estrategia y gestión de mantenimiento de clase mundial inciden en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.		**D1:** Percepción de Estrategia y gestión de Mantenimiento. VD: Percepción de calidad de la solución.	**Técnica recolección de datos:** Cuestionario, entrevista.
¿De qué forma, en una refinería de zinc en el Perú, la confiabilidad de equipos influye en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación?	Determinar, en una refinería de zinc en el Perú, la influencia de la confiabilidad de equipos en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.	**H2.** En una refinería de zinc en el Perú, la confiabilidad de equipos influye en la calidad y confiabilidad de proceso de la etapa de purificación.		**D2:** Percepción de Confiabilidad de equipos. VD: Percepción de calidad de la solución	
¿De qué manera, en una refinería de zinc en el Perú, el liderazgo y la organización en la gestión de mantenimiento de clase mundial influye sobre la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación?	Demostrar, en una refinería de zinc en el Perú, la influencia del liderazgo y la organización en la gestión de mantenimiento de clase mundial sobre la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.	**H3**. En una refinería de zinc en el Perú, el liderazgo y la organización en la gestión de mantenimiento de clase mundial inciden en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.		**D3:** Percepción de Liderazgo y Organización. VD: Percepción de calidad de la solución.	
¿Cómo impacta, en una refinería de zinc en el Perú, la gestión de trabajo y CMMS del mantenimiento de clase mundial sobre la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación?	Demostrar que, en una refinería de zinc en el Perú, la gestión de trabajo y CMMS del mantenimiento de clase mundial causa un impacto significativo sobre la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.	**H4**. En una refinería de zinc en el Perú, la gestión de trabajo y CMMS del mantenimiento de clase mundial causa un impacto significativo en la calidad y confiabilidad en la etapa de purificación.		D4: Percepción de Gestión del trabajo y CMMS. VD: Percepción de calidad de la solución.	

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

3.6. Población y Muestra

3.6.1. Unidad de análisis

La investigación se fundamenta en el análisis de la gestión de mantenimiento dentro del sector industrial peruano, particularmente en una refinería de zinc, contando como unidad de análisis al profesional que labora en la etapa de purificación de dicho proceso.

3.6.2. Población de estudio

La población es la totalidad de los profesionales de una refinería de zinc del sector peruano quienes trabajan en la etapa de purificación de dicho proceso. Por tanto, la muestra de la investigación se encuentra delimitado en dicha etapa del proceso:

- 72 profesionales de los departamentos de operaciones, mantenimiento y seguridad, salud ocupacional y medio ambiente (SSMA), en la etapa de purificación de una refinería de zinc.

3.6.3. Tamaño de muestra

La determinación del tamaño de la muestra se relaciona al tamaño de la población.
El tamaño de muestra fue establecido y calculado con el muestreo probabilístico aleatorio simple aplicando la fórmula indicada debajo (Izaguirre, 2014):

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{(N-1) * e^2 + z^2 * p * q} \qquad (4)$$

De donde tenemos que:

n: Tamaño de la muestra a elegir.

N: Población total, para el presente caso es la cantidad de personal de los departamentos operativos del área de purificación de una refinería de zinc en el sector industrial peruano.

Z: Valor de la distribución normal estandarizada correspondiente al nivel de confianza seleccionado. Para este estudio se toma 95% lo que corresponde a 1.960 (Quezada, 2015, p. 100). (Tabla de relación inversa para intervalos de confianza).

p= valor porcentual de la población con el atributo buscado.

q= valor porcentual de la población carente del atributo buscado(1-p).

e= valor máximo permitido de error de estimación.

Tomando como referencia la población de 72 profesionales conforme a la situación del último año, se calculó la muestra con la ecuación 4, considerando el valor de confianza del 95% (Z=1.96), p=50%, q=50% Y e=5% (Quezada, 2010, p. 99).

$$n = \frac{1.96^2 * 50\% * 50\% * 72}{(72-1) * 5\%^2 + 1.96^2 * 50\% * 50\%} = 60.7$$

Por lo tanto, para el caso específico en una refinería de zinc del sector peruano, el tamaño óptimo de la muestra se considerará a 61 colaboradores de las áreas mencionadas en la etapa de purificación.

3.6.4. Selección de muestra

El cálculo del tamaño de muestra se realizó conforme al muestreo al método probabilístico aleatorio Simple. Del mismo modo, la clasificación de los elementos que conforman la muestra fue aleatoria simple. (Izaguirre, 2014):

3.7. Técnicas de recolección de datos

La técnica utilizada para la captación de datos se “centrará en la técnica empírica mediante encuesta, la cual hace viable la observación y la interacción directa con el objeto de análisis, y la recolección de testimonios para contrastar la teoría con la práctica durante la identificación de la verdad” (Espinoza, 2014).

3.8. Instrumento de Medición: Encuestas

Con fundamento en los 5 pilares de mantenimiento (SMRP, s.f.), se construyó un instrumento de medición (encuesta) que posibilitó adquirir, en una refinería de zinc en el Perú, los datos sobre gestión de mantenimiento con nivel de clase mundial y la calidad de solución como producto principal en la etapa de purificación. El instrumento

se ilustra en la Tabla 5 y Tabla 6. La validación de la encuesta se validó con especialista, se muestra en el Anexo 1.

La encuesta consiste en 38 preguntas, como se muestra en la Tabla 5 y Tabla 6, variable independiente y dependiente, de X1 a X26 y de X32 a, agrupadas por categoría según el tema de investigación, siendo la calificación de cada una en escala de Likert, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Valoración en escala de Likert

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	**2**	**3**	**4**	**5**

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Tabla 5

Cuestionario de investigación de la variable independiente.

ID	ítem
X01	1. ¿El conocimiento y habilidades del personal son suficientes para mantener y operar los activos físicos?
X02	2. ¿El entrenamiento permite evitar la ocurrencia de fallas en los activos físicos?
X03	3. ¿El entrenamiento nos permite operar y mantener los activos físicos de forma correcta?
X04	4. ¿Se está utilizando Indicadores de rendimiento de resultado, clase mundial? (costo de mantenimiento por unidad producida, frecuencia de falla, confiabilidad (MTBF), tiempo de mantenimiento (MTTR), disponibilidad, utilización)?
X05	5. ¿Se está utilizando indicadores de rendimiento de proceso, clase mundial? (trabajos retrasados (backlog), cumplimiento de la programación, eficiencia de la mano de obra, % trabajos planeados, % demoras de trabajo, H-H de mantenimiento por horas de operación, % paradas, % fallas)
X06	6. ¿El uso de indicadores de clase mundial permiten la optimización de los recursos de mantenimiento? (frecuencia de falla, costo de mantenimiento por

ID	ítem
	unidad producida, confiabilidad (MTBF), tiempo de mantenimiento (MTTR), disponibilidad, utilización)
X07	7. ¿Los indicadores de clase mundial permitirían adoptar nuevas estrategias de mantenimiento y operación de la planta?
X08	8. ¿Realizar ajustes básicos y limpieza disminuiría el número de fallas de los activos físicos?
X09	9. ¿El operador juega un papel importante en establecer condiciones básicas de equipos tomando cuidado de su activo físico?
X10	10. ¿Si las inspecciones se realizan de forma continua se tendría mayor control de condiciones básicas del equipo y proceso?
X11	11. ¿Las actividades rutinarias realizadas actualmente ayudan a tener una condición básica del activo físico?
X12	12. ¿Los activos físicos son dispuestos de forma disciplinada para su mantenimiento preventivo?
X13	13. ¿El cumplimiento del mantenimiento preventivo ayuda a disminuir las fallas de activos físicos?
X14	14. ¿Las actividades del mantenimiento preventivo actuales son suficientes para garantizar la operatividad de los activos físicos?
X15	15. ¿La disponibilidad de repuestos ayudaría la rápida atención de fallas de los activos físicos?
X16	16. ¿El uso de repuestos acondicionados contribuyen a mantener operativos los activos físicos?
X17	17. ¿La sustitución de los activos físicos se realiza al culminar su ciclo de vida?
X18	18. ¿En la planta industrial existen activos físicos que ya concluyeron con su ciclo de vida útil?
X19	19. ¿En la planta industrial se suele registrar el ciclo de vida de todos los activos físicos?
X20	20. ¿El uso de indicadores de clase mundial permitiría mejorar la estrategia de mantenimiento de los activos físicos? Indicadores: Tiempo Medio Entre Fallas, Tiempo Medio para Reparar, Disponibilidad, Utilización.
X21	21. ¿Los indicadores actuales son suficientes y apropiados como estrategias de negocio para el aseguramiento de la capacidad de los activos físicos?
X22	22. ¿Realizar análisis de falla de forma frecuente ayudaría a reducir las paradas no programas en el proceso?
X23	23. ¿Se realiza análisis de falla y causa raíz en la refinería de forma frecuente?
X24	24. ¿De acuerdo a la condición o necesidad del proceso es cuando se realiza el mantenimiento de los activos físicos?
X25	25. ¿Priorizar el mantenimiento predictivo y proactivo en lugar de la correctiva y preventiva ayudaría a evitar fallas en los activos físicos?

ID	ítem
X26	26. ¿Conocer los modos y efectos de falla de los activos físicos críticos ayudaría a prevenir las fallas funcionales?
X27	27. ¿El uso correcto del sistema computarizado de mantenimiento permitiría mejorar la gestión del mantenimiento?
X28	28. ¿El uso de CMMS en mantenimiento y operación es el adecuado?
X29	29. ¿Si se implementaran actividades de mejora en las inspecciones de seguridad se mitigaría el riesgo laboral?
X30	30. ¿Las inspecciones de seguridad ayudan a tener una mejor condición de seguridad para operar y mantener en planta?
X31	31. ¿Todo el personal de operación y mantenimiento conoce de los riesgos existentes en la planta de purificación?

Nota. Cuadro desarrollado por el autor

Tabla 6

Cuestionario de investigación de la variable dependiente

ID	Ítem
X32	32. ¿Si los activos físicos fallaran menos se disminuiría las pérdidas de stock de volumen (metro cúbico) de solución purificada?
X33	33. ¿Si los activos físicos fallaran menos se tendría menos defecto en el proceso (contaminación del proceso)?
X34	34. ¿Si se cumpliera el mantenimiento preventivo se tendría menos alteraciones de proceso (reboses de solución química de los tanques)?
X35	35. ¿Si los activos físicos fallaran menos se puede asegurar una temperatura correcta de la solución purificada?
X36	36. ¿Si los activos físicos fallaran menos se puede garantizar la concentración requerida de zinc, Cadmio, Cobalto, Cobre, Antimonio y Fierro?
X37	37. ¿El mantenimiento y operación de planta con nivel bajo de riesgo de seguridad evitaría pérdidas de stock de solución purificada?.
X38	38. ¿El nivel de calidad de la solución purificada normalmente reúne la especificación química requerida por el proceso?

Nota. Cuadro desarrollado por el autor

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

El análisis de la información recolectada, en una refinería de zinc en el Perú, se realizó con los softwares SPSS V26, Minitab V20 y AMOS 24, con ello se realizó el análisis de fiabilidad, análisis de correlación, análisis factorial exploratorio, análisis factorial confirmatorio, y finalmente explicar, a través de ecuaciones estructurales, cómo se relaciona la gestión del mantenimiento de nivel de clase mundial con la calidad de solución en la etapa de purificación. En el proceso de interpretación se contó con las herramientas Microsoft Excel, Microsoft Power BI y Matlab.

4.1.1. Asignación de códigos a los instrumentos de medición

En la Tabla 7 y Tabla 8, se muestran la codificación de las preguntas usadas en el instrumento de medición, aplicados en una refinería de zinc en el Perú, haciendo relación a la gestión de mantenimiento con característica de clase mundial (MCM) y la calidad de solución en la etapa de purificación.

Tabla 7

Asignación de códigos a los instrumentos de Gestión de MCM.

Dimensión	ID	Ítem
Indicadores clave de rendimiento	X01	Conocimiento y habilidad del personal para mantener y operar activos físicos.
	X02	Entrenamiento para evitar fallas en los activos físicos.
	X03	Entrenamiento para operar y mantener los activos físicos.

Dimensión	ID	Ítem
de clase mundial	X04	Indicadores de rendimiento de resultado, clase mundial
	X05	Indicadores de rendimiento de proceso, clase mundial
	X06	La optimización de los recursos de mantenimiento y los indicadores de clase mundial.
	X07	Las nuevas estrategias de mantenimiento y operación, y los indicadores de clase mundial.
Mantenimiento Autónomo	X08	Los activos físicos y sus ajustes básicos.
	X09	Los activos físicos y su cuidado básico.
	X10	Inspección rutinaria.
	X11	Los activos físicos y las inspecciones de cuidado básico.
Mantenimiento Preventivo	X12	Disponibilidad de los activos físicos destinado para realización del mantenimiento preventivo.
	X13	Cumplimiento de la ejecución del mantenimiento preventivo.
	X14	La operatividad de los activos físicos y el mantenimiento preventivo.
	X15	Disponibilidad de repuestos
	X16	Los repuestos de los activos físicos y su operatividad.
Confiabilidad	X17	El ciclo de vida de los activos físicos.
	X18	La planta industrial y el ciclo de vida útil de sus activos físicos.
	X19	La planta industrial y la gestión del ciclo de vida de todos sus activos físicos.
	X20	Indicadores de clase mundial y la estrategia de mantenimiento de los activos físicos.
	X21	Efectividad de los indicadores actuales para el aseguramiento de la capacidad de los activos físicos.
	X22	Análisis de falla y paradas no programadas.
	X23	Recurrencia del análisis de falla.
Mantenimiento centrado en confiabilidad	X24	El mantenimiento y la condición de los activos físicos.
	X25	Importancia del mantenimiento predictivo y proactivo.
	X26	Los modos y efectos d falla de los activos físicos críticos y las fallas funcionales.
CMMS	X27	CMMS y la gestión del mantenimiento.
	X28	CMMS y su importancia en el mantenimiento y operación de la planta.
Seguridad Industrial	X29	Inspección de seguridad y el riesgo laboral.
	X30	Inspección de seguridad y su importancia en el mantenimiento y operación de la planta
	X31	Conocimiento del riesgo en el mantenimiento y operación de la planta.

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Tabla 8

Asignación de códigos del instrumento de Calidad de solución

Dimensión	ID	Ítem
Gestión de Calidad en la etapa de purificación de una refinería de zinc	X32	Operatividad de los activos físicos y el stock de volumen de solución purificada.
	X33	Operatividad de los activos físicos y los defectos en el proceso.
	X34	Mantenimiento preventivo y control de proceso.
	X35	Operatividad de equipos y la temperatura del proceso.
	X36	Operatividad de equipos y la concentración de zinc, Cadmio, Cobalto, Cobre, Antimonio y Fierro.
	X37	Nivel de riesgo en el mantenimiento y operación, y el stock de volumen de solución purificada.
	X38	Nivel de calidad de solución purificada según sus especificaciones.

Nota. Contenido creado por el autor.

4.1.2. Constructo factorial de los instrumentos de medición y su validez

Se realizó la medida de adecuación Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y prueba de esfericidad de Bartlett, como se puede ver en la Tabla 9 para la primera variable el valor de KMO es 0.892, y 0.823 para la segunda variable, por separado, no obstante, al ser mayor a 0.6 se puede considerar bueno para la aplicación (Pizarro y Martínez, 2020).

Tabla 9

KMO, Prueba de Bartlett, variable dependiente e independiente

Constructo (Variable)	Medida KMO de adecuación de muestreo	Prueba de esfericidad de Bartlett		
		Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.
Gestión de mantenimiento de clase mundial	.892	1329.255	465	.000

Calidad de solución en la etapa de purificación de una refinería de zinc	.823	160.915	21	.000

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

En la Tabla 10 se muestra el resultado de la Prueba de KMO del conjunto total de datos de la investigación con el uso de software SPSS V26. Siendo así, el valor de KMO considerado como adecuado (0.869), cercano a 1 (Pizarro y Martínez, 2020). Así también, el valor del Chi-cuadrado es significativa 1706.700.

Tabla 10

Resultado de prueba de KMO y Bartlett del conjunto de datos.

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser- adecuación de muestreo Meyer-Olkin de		.869
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	1706.700
	gl	703
	Sig.	.000

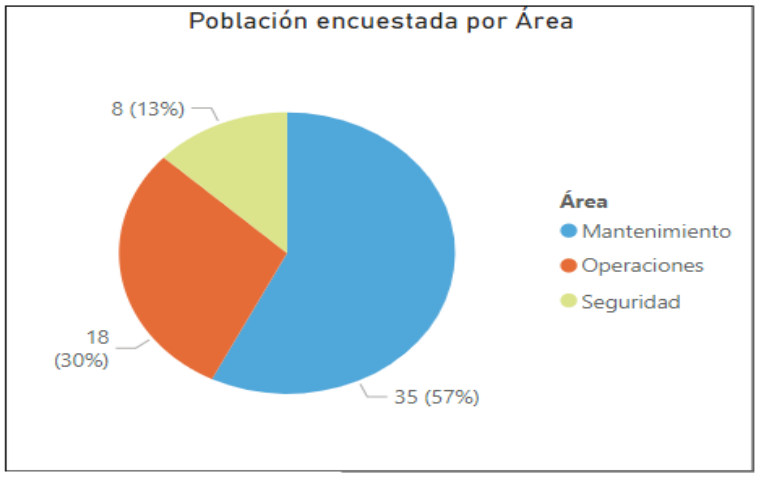
Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

4.1.3. Caracterización de la muestra

En la Figura 16 se determina que el mayor porcentaje de personas encuestadas corresponden al área de mantenimiento; seguido de operaciones.

Figura 16

Población encuestada por área de trabajo.



Nota. Gráfico desarrollado por el autor.

4.1.4. Análisis de media y desviación estándar de la información

Con el uso del software Minitab V20 se determinó las medias, desviación estándar y varianza de cada ítem que conforman las dimensiones de gestión de Mantenimiento de clase mundial (MCM), con el contexto de una refinería de zinc del sector industrial peruano:

Tabla 11

Medias y Desviaciones estándar de la gestión de MCM.

Variable	N	Media	Desv.Est.	Varianza
X01	61	3.049	1.189	1.414
X02	61	2.951	1.117	1.248
X03	61	2.934	1.167	1.362
X04	61	3.016	1.271	1.616
X05	61	3.049	1.132	1.281
X06	61	3.148	1.209	1.461
X07	61	2.951	1.175	1.381
X08	61	3.180	1.298	1.684
X09	61	2.836	1.083	1.173
X10	61	3.082	1.215	1.477
X11	61	2.984	1.088	1.183
X12	61	2.934	1.167	1.362

Variable	N	Media	Desv.Est.	Varianza
X13	61	3.180	1.103	1.217
X14	61	3.098	1.121	1.257
X15	61	2.951	1.161	1.348
X16	61	3.098	1.136	1.290
X17	61	2.967	1.291	1.666
X18	61	2.951	1.203	1.448
X19	61	2.836	1.267	1.606
X20	61	3.180	1.133	1.284
X21	61	3.164	1.186	1.406
X22	61	2.967	1.140	1.299
X23	61	2.852	1.123	1.261
X24	61	3.033	1.211	1.466
X25	61	2.984	1.245	1.550
X26	61	3.066	1.109	1.229
X27	61	2.902	1.165	1.357
X28	61	3.000	0.983	0.967
X29	61	3.180	1.041	1.084
X30	61	3.115	1.185	1.403
X31	61	3.115	1.199	1.437

Nota. Obtenido por el autor con uso de software en mención.

Posteriormente, en la Tabla12, se puede ver las medias, desviación estándar y varianza de cada ítem que conforman las dimensiones para calidad de solución en la etapa de purificación de una refinería en mención, determinado mediante el uso del software Minitab V20.

Tabla 12

Medias y Desviaciones estándar de la gestión de MCM.

Variable	N	Media	Desv.Est.	Varianza
X32	61	3.016	1.176	1.383
X33	61	2.885	1.066	1.137
X34	61	2.934	1.250	1.562
X35	61	3.230	0.973	0.946
X36	61	3.000	0.894	0.800
X37	61	2.918	1.242	1.543
X38	61	3.066	1.124	1.262

Nota. Obtenido por el autor con uso de software en mención.

4.2. Análisis Factorial

4.2.1. Análisis de fiabilidad

Para obtener el análisis de Fiabilidad de la información recolectada en el cuestionario, verificamos el estadístico Alpha de Cronbach con uso del software SPSS V 26.

El estadístico de Alpha de Conbach, se trata de un coeficiente de correlación único que es una estimación de la media de todos los coeficientes de correlación de los ítems de una prueba. Si el valor de alfa es alto (0,80 o superior), esto sugiere que todos los elementos son fiables y que toda la prueba es internamente coherente. Si el valor de alfa es bajo, entonces al menos uno de los ítems no es confiable y debe identificarse a través del procedimiento de análisis de ítems. (Ho, 2006)

En la aplicación del software SPSS V26 se obtuvo como resultado un valor de Alfa de Cronbach de 0.973, como se ve en la Tabla 13, considerado como relación muy alta (Tavakol y Dennick, 2011).

Tabla 13

Análisis de Fiabilidad, Alfa de Cronbach

Estadísticas de Fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
.973	.972	38

Nota. Obtenido por el autor con uso de software en mención.

Para los 31 ítems seleccionados que integran las dimensiones de la gestión de mantenimiento de nivel de clase mundial en una refinería de zinc del sector peruano, se observa en la Tabla 14, el valor obtenido del Alpha de Cronbach, desde el análisis realizado en el software SPSS V26.

Tabla 14

Análisis de Fiabilidad, Alfa de Cronbach de variable independiente

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
.968	31

Nota. Obtenido por el autor con uso de software en mención.

En la Tabla 15, se muestra el resultado de Alpha de Cronbach para los 7 ítems que integran las dimensiones para calidad de solución en la etapa de purificación del mismo contexto de estudio, soportado del software SPSS V26.

Tabla 15

Análisis de Fiabilidad, Alfa de Cronbach de variable dependiente

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
.850	7

Nota. Obtenido por el autor con uso de software en mención.

En la siguiente Tabla 16, se muestran los valores de Alfa Cronbach, la media, desviación estándar, la correlación total de los elementos ajustada por elemento, en caso se omita un elemento del instrumento; para el presente análisis realizado en Minitab V20, se determinó que no es necesario omitir debido a que el valor de Alfa de Cronbach global es cercano a 1.

Tabla 16

Estadísticas de elementos omitidos

Variable omitida	Media total ajustada	Desv.Est. total ajustada	Correlación total ajustada por elemento	Correlación múltiple cuadrada	Alfa de Cronbach
X01	111.75	30.09	0.7119	0.7761	0.9715
X02	111.85	30.20	0.6625	0.8021	0.9717
X03	111.87	30.13	0.6955	0.7981	0.9716
X04	111.79	30.03	0.7137	0.8369	0.9715
X05	111.75	30.24	0.6126	0.7530	0.9719
X06	111.66	30.09	0.6984	0.8181	0.9715
X07	111.85	30.06	0.7478	0.8447	0.9713
X08	111.62	29.98	0.7406	0.8375	0.9714
X09	111.97	30.29	0.6013	0.6794	0.9720
X10	111.72	30.02	0.7598	0.7957	0.9713
X11	111.82	30.26	0.6222	0.7405	0.9719
X12	111.87	30.14	0.6856	0.8509	0.9716
X13	111.62	30.22	0.6540	0.7692	0.9717

Variable omitida	Media total ajustada	Desv.Est. total ajustada	Correlación total ajustada por elemento	Correlación múltiple cuadrada	Alfa de Cronbach
X14	111.70	30.19	0.6698	0.7352	0.9717
X15	111.85	30.14	0.6907	0.8557	0.9716
X16	111.70	30.17	0.6793	0.7659	0.9716
X17	111.84	29.97	0.7553	0.8033	0.9713
X18	111.85	29.99	0.7881	0.8109	0.9712
X19	111.97	29.97	0.7671	0.8806	0.9713
X20	111.62	30.17	0.6796	0.7303	0.9716
X21	111.64	30.05	0.7518	0.8155	0.9713
X22	111.84	30.18	0.6617	0.7474	0.9717
X23	111.95	30.25	0.6109	0.7812	0.9719
X24	111.77	30.10	0.6901	0.8372	0.9716
X25	111.82	30.07	0.6996	0.7389	0.9715
X26	111.74	30.18	0.6860	0.7623	0.9716
X27	111.90	30.12	0.6995	0.7790	0.9715
X28	111.80	30.28	0.6726	0.7994	0.9717
X29	111.62	30.29	0.6285	0.7879	0.9718
X30	111.69	30.08	0.7309	0.7872	0.9714
X31	111.69	30.08	0.7208	0.7242	0.9715
X32	111.79	30.14	0.6751	0.8159	0.9716
X33	111.92	30.29	0.6033	0.7248	0.9719
X34	111.87	29.99	0.7599	0.8404	0.9713
X35	111.57	30.34	0.6204	0.7859	0.9719
X36	111.80	30.44	0.5620	0.6827	0.9721
X37	111.89	30.06	0.7066	0.7935	0.9715
X38	111.74	30.31	0.5535	0.7562	0.9722

Nota. Obtenido por el autor con uso de software en mención.

En la siguiente Tabla 17, se muestran la media y desviación estándar de cada elemento que conforman las dimensiones de gestión de mantenimiento de clase mundial, realizado en Minitab V20.

Tabla 17

Estadísticas totales y de elementos de gestión de MCM.

Variable	Conteo total	Media	Desv.Est.
X01	61	3.049	1.189
X02	61	2.951	1.117
X03	61	2.934	1.167

Variable	Conteo total	Media	Desv.Est.
X04	61	3.016	1.271
X05	61	3.049	1.132
X06	61	3.148	1.209
X07	61	2.951	1.175
X08	61	3.180	1.298
X09	61	2.836	1.083
X10	61	3.082	1.215
X11	61	2.984	1.088
X12	61	2.934	1.167
X13	61	3.180	1.103
X14	61	3.098	1.121
X15	61	2.951	1.161
X16	61	3.098	1.136
X17	61	2.967	1.291
X18	61	2.951	1.203
X19	61	2.836	1.267
X20	61	3.180	1.133
X21	61	3.164	1.186
X22	61	2.967	1.140
X23	61	2.852	1.123
X24	61	3.033	1.211
X25	61	2.984	1.245
X26	61	3.066	1.109
X27	61	2.902	1.165
X28	61	3.000	0.983
X29	61	3.180	1.041
X30	61	3.115	1.185
X31	61	3.115	1.199
Total	61	93.754	25.898

Nota. Resultados obtenidos por el autor.

En la Tabla 18, se muestran la media y desviación estándar de cada elemento de la variable dependiente: Calidad de solución en la etapa de purificación de una refinería de zinc en el Perú, realizado en Minitab V20.

Tabla 18

Estadísticas totales y de elementos de calidad de solución.

Variable	Conteo total	Media	Desv.Est.
X32	61	3.016	1.176
X33	61	2.885	1.066
X34	61	2.934	1.250
X35	61	3.230	0.973
X36	61	3.000	0.894
X37	61	2.918	1.242
X38	61	3.066	1.124
Total	61	21.049	5.637

Nota. Cuadro estadístico elaborado por el autor.

4.2.2. Prueba de Normalidad (p-valor)

La distribución de probabilidad continua más relevante es la normal estándar, cuya gráfica o curva adopta la forma de campana descrita por la media y la desviación estándar; no obstante, los valores extremos presentes en el conjunto de datos no presentan un impacto significativo en el valor medio. (Mishra et al., 2019)

Con el objetivo de definir si los datos no guardan una distribución normal, se realiza la comparación del valor p con el nivel de significancia. Generalmente, un nivel de significancia (denotado como α o alfa) de 0.05 es adecuado. Un nivel de significancia de 0.05 indica un riesgo de 5% de concluir que los datos no se ajustan a una distribución normal. (Soporte de Minitab® 21, s.f.)

Valor p ≤ α: (Rechaza Ho)

Los datos no cumplen una distribución normal

Si el valor p resulta menor que o igual al valor del nivel de significancia, entonces la decisión es se rechaza la hipótesis nula y se determina que los datos no cumplen una distribución normal (Soporte de Minitab® 21, s.f.).

Valor p > α: (No puede rechazar Ho)

No se concluye que datos no cumplen una distribución normal

Si el valor p resulta mayor que el valor del nivel de significancia, la decisión es no rechazar la hipótesis nula. Con ello, no se cuenta con suficiente evidencia

para determinar que los datos no cumplen una distribución normal. (Soporte de Minitab® 21, s.f.)

Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov

Se utilizó el método de Kolmogorov-Smirnov debido a que la muestra es 61, es decir mayor a 50 (Mishra et al., 2019). Por tanto, en el contraste de la hipótesis se tiene:

p-valor ≥α Los datos cumplen con una distribución normal. Se acepta H0

p-valor < α Los datos no cumplen con una distribución normal. Se acepta H1.

Los datos de p-valor se obtuvieron de la aplicación con SPSS V26, siendo así que son menores a α=5%, tal como se observa en la Tabla 19., por tanto, se existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula (H0) y aceptar la hipótesis alternativa. Este resultado confirma que, en una refinería de zinc del sector peruano, los datos de las variables de Gestión de Mantenimiento de Clase Mundial en relación con los datos de calidad de solución en la etapa de purificación no provienen de una distribución normal, en tal sentido, la técnica estadística a utilizar es la no paramétrica y por tanto el siguiente paso de prueba de correlación será con Spearman. (IBM, 2009)

Tabla 19

Prueba de Normalidad de datos

Pruebas de Normalidad Kolmogorov-Smirnov							
	Estadístico	gl	Sig.		Estadístico	gl	Sig.
X01	.205	61	.000	X20	.219	61	.000
X02	.190	61	.000	X21	.198	61	.000
X03	.165	61	.000	X22	.167	61	.000
X04	.151	61	.001	X23	.175	61	.000
X05	.206	61	.000	X24	.183	61	.000
X06	.186	61	.000	X25	.167	61	.000
X07	.205	61	.000	X26	.179	61	.000
X08	.212	61	.000	X27	.190	61	.000

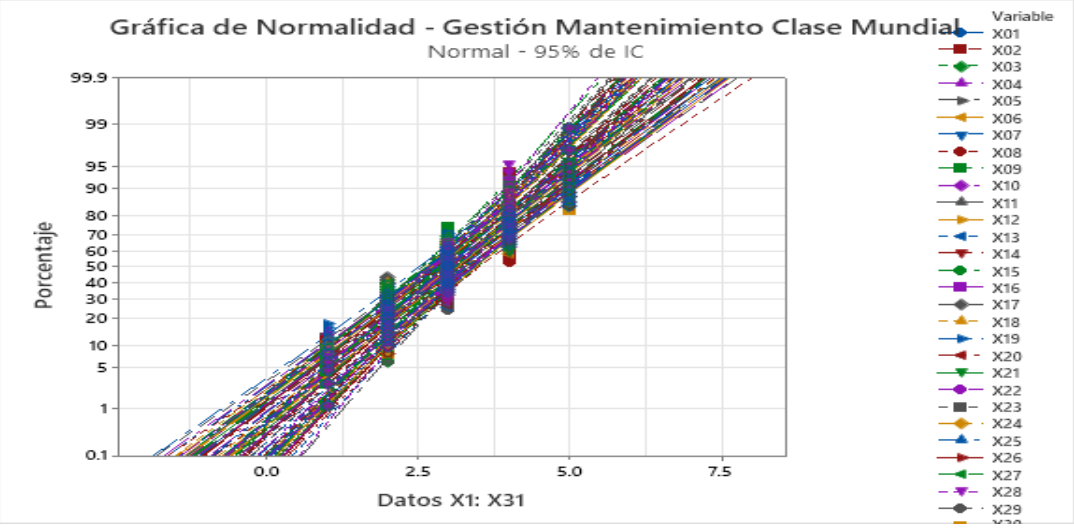
Pruebas de Normalidad Kolmogorov-Smirnov							
	Estadístico	gl	Sig.		Estadístico	gl	Sig.
X09	.194	61	.000	X28	.221	61	.000
X10	.158	61	.001	X29	.241	61	.000
X11	.178	61	.000	X30	.211	61	.000
X12	.178	61	.000	X31	.177	61	.000
X13	.189	61	.000	X32	.210	61	.000
X14	.183	61	.000	X33	.174	61	.000
X15	.187	61	.000	X34	.160	61	.000
X16	.223	61	.000	X35	.233	61	.000
X17	.216	61	.000	X36	.254	61	.000
X18	.195	61	.000	X37	.163	61	.000
X19	.170	61	.000	X38	.207	61	.000

Nota. Resultados desarrollados por el autor.

La gráfica de normalidad de los datos de las dimensiones de gestión de mantenimiento de nivel de clase mundial se muestra en la Figura 17, en la cual se concluye que no se encuentran alineados a la línea de normalidad.

Figura 17

Gráfica de normalidad para datos de gestión de MCM.

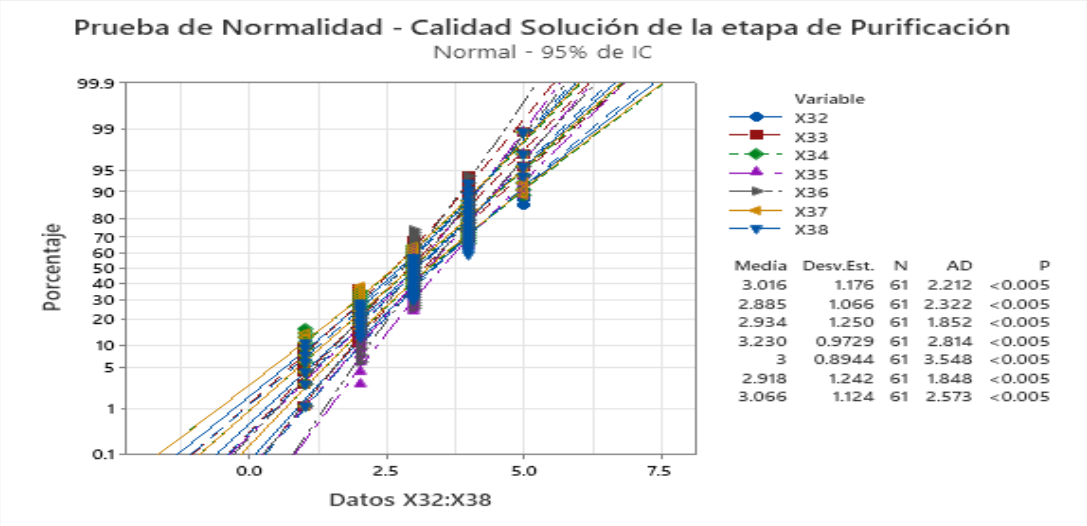


Nota. Gráfico desarrollado por el autor.

No obstante, en la Figura 18 se evidencia que, en una refinería de zinc del entorno peruano, la gráfica de normalidad de los datos de las dimensiones de calidad de solución en la etapa de purificación, donde los datos no tienen tendencia a una distribución normal, a la vez que los valores de p-valor son menor a 0.05.

Figura 18

Gráfica de normalidad para datos de calidad de solución pura.



Nota. Gráfico desarrollado por el autor.

4.2.3. Análisis de correlación de Spearman

Se utilizó la prueba no paramétrica de correlación de Spearman debido a que la muestra la distribución de datos no son normales (IBM, 2009). La hipótesis para contrastar es:

p-valor ≥α H0 : ρ1=0 (No existe correlación en los datos)

p-valor < α H1 : ρ≠0 (Si existe correlación)

En la Tabla 20, se puede visualizar que los valores de correlación (Rho de Spearman) son diferentes de 0, por tanto, se determina que, en una refinería de zinc en el Perú, se manifiesta una relación significativa entre los elementos de las dimensiones de

gestión de mantenimiento de clase mundial y Calidad en la etapa de purificación de una refinería de zinc en el Perú con un valor de nivel de significancia α < 0.05.

Tabla 20

Matriz de correlación de Rho Spearman

Correlaciones

	X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	X08	X09	X10	X11	X12
X02	0.515											
X03	0.592	0.494										
X04	0.562	0.611	0.617									
X05	0.461	0.418	0.480	0.657								
X06	0.669	0.523	0.531	0.568	0.515							
X07	0.630	0.451	0.644	0.545	0.464	0.602						
X08	0.606	0.565	0.658	0.559	0.543	0.427	0.594					
X09	0.408	0.465	0.407	0.533	0.538	0.468	0.508	0.440				
X10	0.561	0.503	0.450	0.627	0.586	0.606	0.527	0.624	0.555			
X11	0.377	0.499	0.419	0.518	0.328	0.485	0.437	0.405	0.291	0.400		
X12	0.459	0.348	0.360	0.435	0.336	0.434	0.460	0.434	0.370	0.479	0.506	
X13	0.485	0.381	0.476	0.405	0.399	0.529	0.522	0.499	0.391	0.500	0.556	0.605
X14	0.448	0.463	0.399	0.468	0.383	0.595	0.515	0.453	0.358	0.493	0.548	0.594
X15	0.504	0.554	0.480	0.541	0.296	0.553	0.423	0.482	0.399	0.438	0.559	0.660
X16	0.460	0.501	0.461	0.526	0.407	0.442	0.358	0.466	0.364	0.609	0.520	0.587
X17	0.506	0.435	0.518	0.423	0.357	0.529	0.542	0.453	0.302	0.582	0.429	0.600
X18	0.565	0.484	0.564	0.559	0.500	0.624	0.656	0.594	0.403	0.616	0.522	0.508
X19	0.557	0.440	0.515	0.403	0.515	0.500	0.513	0.596	0.374	0.600	0.473	0.562
X20	0.417	0.465	0.524	0.473	0.360	0.524	0.527	0.462	0.422	0.441	0.514	0.505
X21	0.535	0.509	0.429	0.507	0.419	0.472	0.536	0.547	0.440	0.554	0.407	0.574
X22	0.495	0.446	0.448	0.343	0.386	0.478	0.433	0.553	0.401	0.502	0.402	0.426
X23	0.535	0.319	0.484	0.337	0.332	0.456	0.482	0.496	0.281	0.453	0.269	0.421
X24	0.426	0.340	0.514	0.364	0.370	0.434	0.548	0.594	0.431	0.567	0.466	0.530
X25	0.490	0.430	0.507	0.442	0.434	0.511	0.593	0.624	0.389	0.516	0.398	0.383
X26	0.489	0.443	0.472	0.600	0.436	0.405	0.552	0.596	0.429	0.542	0.321	0.437
X27	0.422	0.536	0.416	0.510	0.416	0.364	0.600	0.586	0.480	0.600	0.390	0.374
X28	0.513	0.381	0.456	0.536	0.362	0.396	0.592	0.543	0.418	0.599	0.402	0.425
X29	0.367	0.414	0.470	0.469	0.437	0.289	0.382	0.547	0.486	0.546	0.382	0.560
X30	0.442	0.490	0.502	0.604	0.510	0.542	0.655	0.544	0.429	0.590	0.513	0.524
X31	0.431	0.605	0.514	0.561	0.488	0.439	0.525	0.550	0.440	0.481	0.516	0.402
X32	0.496	0.619	0.573	0.508	0.305	0.487	0.510	0.579	0.297	0.517	0.384	0.519

X33	0.311	0.402	0.334	0.455	0.365	0.327	0.447	0.485	0.348	0.471	0.432	0.459
X34	0.564	0.458	0.501	0.551	0.422	0.462	0.586	0.616	0.517	0.559	0.464	0.498
X35	0.334	0.450	0.349	0.379	0.474	0.485	0.405	0.488	0.396	0.508	0.295	0.495
X36	0.484	0.197	0.404	0.451	0.395	0.378	0.377	0.357	0.309	0.468	0.258	0.441
X37	0.543	0.444	0.525	0.440	0.421	0.424	0.454	0.466	0.407	0.539	0.407	0.500
X38	0.531	0.380	0.413	0.386	0.272	0.478	0.534	0.292	0.422	0.431	0.228	0.469
	X13	**X14**	**X15**	**X16**	**X17**	**X18**	**X19**	**X20**	**X21**	**X22**	**X23**	**X24**
X14	0.471											
X15	0.591	0.577										
X16	0.549	0.437	0.484									
X17	0.580	0.566	0.597	0.591								
X18	0.561	0.638	0.614	0.464	0.644							
X19	0.607	0.544	0.552	0.622	0.723	0.651						
X20	0.405	0.426	0.495	0.475	0.571	0.497	0.568					
X21	0.377	0.617	0.561	0.520	0.562	0.640	0.596	0.460				
X22	0.384	0.522	0.471	0.299	0.532	0.582	0.566	0.360	0.599			
X23	0.464	0.401	0.438	0.376	0.536	0.481	0.603	0.417	0.580	0.513		
X24	0.509	0.594	0.506	0.433	0.586	0.542	0.680	0.451	0.649	0.510	0.510	
X25	0.428	0.393	0.502	0.392	0.481	0.588	0.569	0.468	0.524	0.587	0.379	0.396
X26	0.321	0.396	0.422	0.487	0.519	0.503	0.457	0.536	0.471	0.352	0.282	0.418
X27	0.399	0.561	0.403	0.403	0.537	0.578	0.524	0.430	0.599	0.561	0.472	0.551
X28	0.416	0.469	0.518	0.452	0.566	0.593	0.562	0.404	0.443	0.368	0.485	0.475
X29	0.413	0.372	0.436	0.478	0.497	0.457	0.546	0.500	0.424	0.427	0.195	0.553
X30	0.471	0.544	0.531	0.467	0.505	0.687	0.458	0.489	0.506	0.388	0.332	0.457
X31	0.449	0.497	0.530	0.521	0.552	0.568	0.539	0.617	0.502	0.428	0.363	0.516
X32	0.284	0.469	0.554	0.479	0.535	0.582	0.452	0.540	0.630	0.456	0.355	0.425
X33	0.311	0.374	0.347	0.484	0.495	0.454	0.498	0.422	0.467	0.381	0.231	0.372
X34	0.461	0.379	0.517	0.489	0.639	0.650	0.521	0.554	0.643	0.544	0.421	0.545
X35	0.419	0.383	0.355	0.487	0.497	0.473	0.440	0.381	0.546	0.555	0.406	0.393
X36	0.413	0.294	0.367	0.535	0.486	0.416	0.455	0.320	0.399	0.270	0.513	0.305
X37	0.426	0.439	0.414	0.470	0.582	0.545	0.651	0.542	0.511	0.524	0.528	0.520
X38	0.280	0.396	0.379	0.344	0.442	0.427	0.466	0.397	0.378	0.383	0.324	0.345
	X25	**X26**	**X27**	**X28**	**X29**	**X30**	**X31**	**X32**	**X33**	**X34**	**X35**	**X36**
X26	0.546											
X27	0.526	0.520										
X28	0.464	0.616	0.623									
X29	0.407	0.474	0.524	0.473								
X30	0.534	0.635	0.575	0.621	0.439							
X31	0.529	0.558	0.588	0.491	0.529	0.524						
X32	0.493	0.495	0.457	0.325	0.416	0.493	0.455					
X33	0.491	0.437	0.398	0.368	0.396	0.538	0.507	0.570				

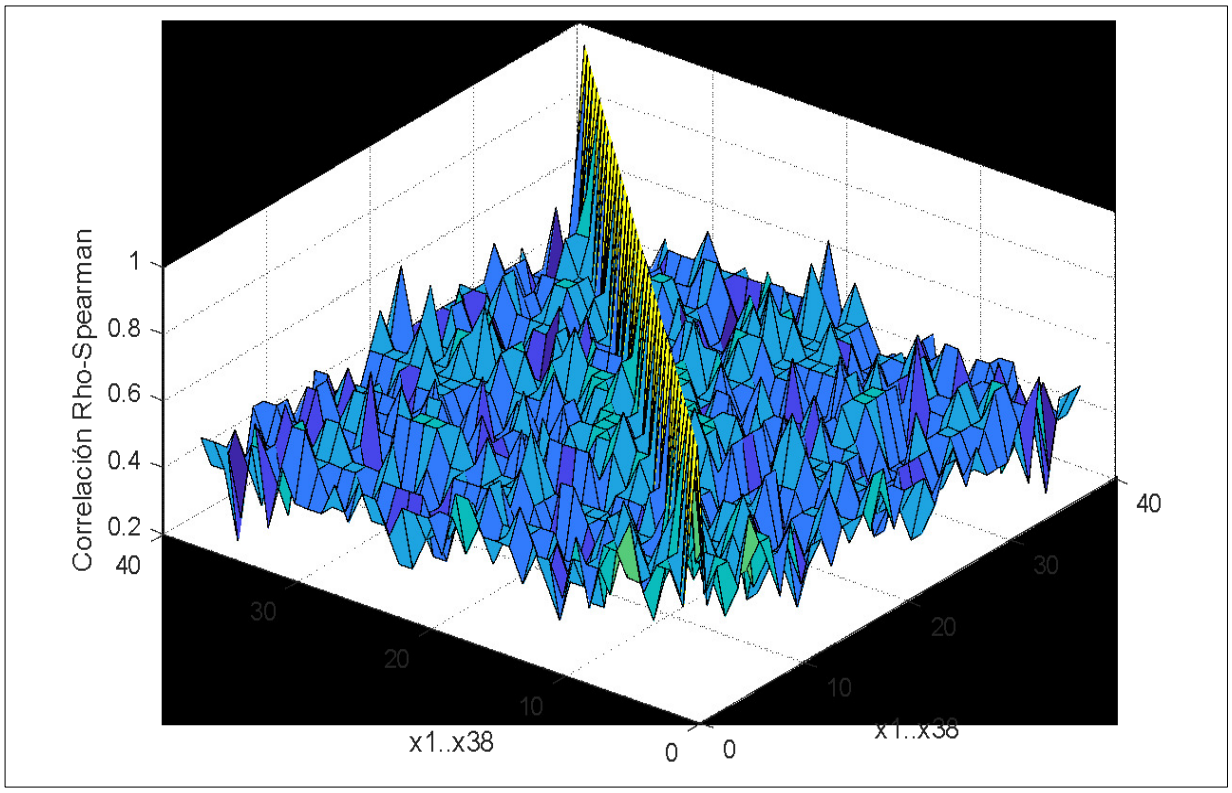
X34	0.601	0.619	0.528	0.465	0.439	0.518	0.607	0.602	0.652			
X35	0.520	0.402	0.447	0.319	0.389	0.509	0.386	0.491	0.465	0.510		
X36	0.333	0.451	0.379	0.475	0.426	0.386	0.346	0.333	0.214	0.384	0.463	
X37	0.493	0.532	0.461	0.591	0.537	0.469	0.492	0.439	0.414	0.556	0.439	0.434
X38	0.422	0.450	0.365	0.422	0.278	0.416	0.310	0.455	0.351	0.423	0.194	0.302

	X37
X38	0.634

Nota. Matriz desarrollada por el autor.

Con la ejecución de una instrucción en Matlab, se determina que el valor máximo de correlación es 1 de forma simétrica de elemento por elemento, y el mínimo 0.1940, correlación entre los elementos X35 y X38, los valores son representados en la Figura 19.

Figura 19
Representación gráfica de correlación Rho.



Nota. Gráfico elaborado por el autor.

Tabla 21

Instrucción en Matlab para correlación Spearman.

```
clc;
A=input('introduce la matriz de correlación de Spearman');
[m,n]=size(A);
Amin=A(1,1);
Amax=A(1,1);
filamax=1;
filamin=1;
colmax=1;
colmin=1;
for i=1:m
    for j=1:n
        if A(i,j)>Amax
            Amax=A(i,j);
            filamax=i;
            colmax=j;

            end
        if A(i,j)<Amin
            Amin=A(i,j);
            filamin=i;
            colmin=j;
        end

    end
end
disp('El valor máximo de correlación es: '); disp(Amax);
disp('Fila : '); disp(filamax);
disp('columan :'); disp(colmax);
disp('El valor mínimo de correlación es: '); disp(Amin);
disp('Fila : '); disp(filamin);
disp('columan :'); disp(colmin);
```

Nota. Instrucción generada por el autor.

4.2.4. Análisis factorial exploratorio

Se define el análisis factorial exploratorio (AFE) según Méndez y Rondón (2012) como:

> Refiere a una técnica estadística de interdependencia que se distingue por ser versátil. En comparación a muchos modelos de regresión, en los cuales existen variables independientes y una variable respuesta, en esta técnica se analizan todas las variables de manera conjunta. La finalidad fundamental es determinar

> una estructura subyacente entre las variables analizadas, mediante correlaciones que se establecen entre ellas. Es decir, busca determinar grupos de variables llamados factores, altamente correlacionados entre ellos. Además, es empelado para simplificar la complejidad de un número basto de variables, reduciéndolas de manera significativa a un conjunto pequeño, con el propósito de explicar un fenómeno de modo más detallado. (p. 198)

Cudeck y MacCallum (2007), detalla que, en el análisis factorial de un grupo determinado de variables de respuesta $x_1, \dots, x_p$ se anhela identificar un grupo de factores latentes con característica subyacente $\xi_1, \dots, \xi_k$, menos en cantidad numérica a las variables observadas. Se supone que estos factores latentes explican las intercorrelaciones de las variables de respuesta, en el sentido de que cuando los factores se separan parcialmente de las variables observadas, ya no debería quedar ninguna correlación entre ellas.

Si tanto las variables de respuesta observadas como los factores latentes se miden en desviaciones de sus medias, esto conduce al modelo de análisis factorial lineal:

$$x_i = \lambda_{i1}\xi_1 + \lambda_{i2}\xi_2 + \cdots + \lambda_{ik}\xi_k + \delta_i, \qquad i = 1, 2, \dots, p, \qquad (5)$$

donde δ_i, la parte única de x_i, no está correlacionada con $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ y con δ_i para $j \neq i$. En notación matricial, ecuación 2 es:

$$x = \Lambda\xi + \delta, \qquad (6)$$

Donde $x = (x_1, x_2, \dots x_p)'$, $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)'$y $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_p)'$, son vectores aleatorios y Λ es una matriz de orden $p\ x\ k$ de parámetros llamados factores de carga. La finalidad del análisis factorial es precisar el número de factores k y estimar los factores de carga λ_{ij}. (p. 48)

En la Figura 19, se puede ver la escala de valores de las correlaciones Rho de Spearman, donde se observa que existe correlación entre ellos con cargas bajas, en consecuencia, se usa la técnica de rotación Varimax para la matriz de componente rotado (International Business Machines Corporation [IBM], s.f.). En la Tabla 22, se

observa 7 componentes, donde la sexta y séptima dimensión quedan sin efecto debido a que sólo cuenta con un número de reactivos menor a 3 (Lloret et al., 2014), por tanto, se trabaja con 5 dimensiones.

Tabla 22

Matriz de Componente Rotado en SPSS V26.

	Componente						
	1	2	3	4	5	6	7
X04	0.73						
X05	0.65						
X06	0.62						
X03	0.59						
X07	0.58						
X01	0.56						
X02	0.55				0.51		
X08							
X09							
X10							
X11		0.72					
X15		0.69					
X13		0.64					
X12		0.6					
X14		0.59					
X16		0.5					
X17							
X19							
X18							
X20							
X22			0.73				
X21			0.58				
X23			0.58				
X24			0.55				
X25							
X26				0.59			
X28				0.58			
X29				0.58			
X27			0.5	0.58			
X30				0.5			
X31							
X32					0.67		
X33					0.66		
X35					0.53		
X34					0.5		
X36						0.74	
X38							0.84
X37							0.5

Nota. Matriz desarrollada por el autor.

La hoja de ruta hacia un rendimiento de clase mundial constituye la guía de selección de cinco pilares: gestión y negocio, confiabilidad de proceso de fabricación, confiabilidad de equipos, liderazgo y organización, y gestión de trabajo (SMRP, s.f.). En consecuencia, la selección de componentes del análisis factorial se realizó en función a esta guía:

Estrategia y gestión de Mantenimiento	(Pilar 1)	: X11. X12. X13. X14. X15. X16
Calidad y confiabilidad del proceso	(Pilar 2)	: X32. X33. X34. X35
Confiabilidad de equipos	(Pilar 3)	: X21. X22. X23. X24
Liderazgo y Organización	(Pilar 4)	: X01. X02. X03. X04. X05. X06. X07
Gestión del trabajo y CMMS	(Pilar 5)	: X26. X27. X28. X29. X30

4.2.5. Análisis factorial confirmatorio

En el análisis factorial confirmatorio se evalúa “hasta qué nivel un grupo de factores organizados de forma teórica logran ajustarse a los datos” (Méndez y Rondón, 2012, p. 199).

En el análisis factorial de tipo confirmatorio se usó el software AMOS. Por motivo de facilidad de entendimiento, se indica las siglas de las dimensiones del constructo de la investigación:

Estrategia y gestión de Mantenimiento	(Pilar 1)	: EGM
Calidad y confiabilidad del proceso	(Pilar 2)	: CCP
Confiabilidad de equipos	(Pilar 3)	: CE
Liderazgo y Organización	(Pilar 4)	: LO
Gestión del trabajo y CMMS	(Pilar 5)	: GT

4.2.6. Modelo de ecuaciones estructurales

Cudeck y MacCallum (2007), mencionan que el análisis factorial se utiliza para investigar las variables latentes que se supone que subyacen a un conjunto de variables manifiestas. El objetivo principal del análisis factorial tradicional es interpretar la estructura y el significado de las variables latentes en relación con sus variables

manifiestas. Tras haberse definido un grupo de factores, es habitual continuar adelante y emplearlos como predictores o como variables de resultado para nuevos análisis. En resumen, este es el propósito del modelado de ecuaciones estructurales. Otra extensión del modelo clásico de análisis factorial es dejar que los factores además de correlacionarse, como en el análisis factorial confirmatorio, también permitan que algunas variables latentes dependan de otras variables latentes. (p. 62)

Para describir la combinación entre el análisis factorial y análisis de trayectoria se hace uso de la técnica multivariante de modelado de ecuaciones estructurales. (Ho, 2006, p. 281)

4.3. Identificación del modelo

En esta sección, se identifica el modelo de ecuación estructural que represente a un conjunto de ecuaciones lineales, según Calvopina (2017) “aplicados para definir la situación a partir sus variables de causa y efecto” (p. 57)

Mediante el modelado de ecuaciones estructurales según Ho (2006):

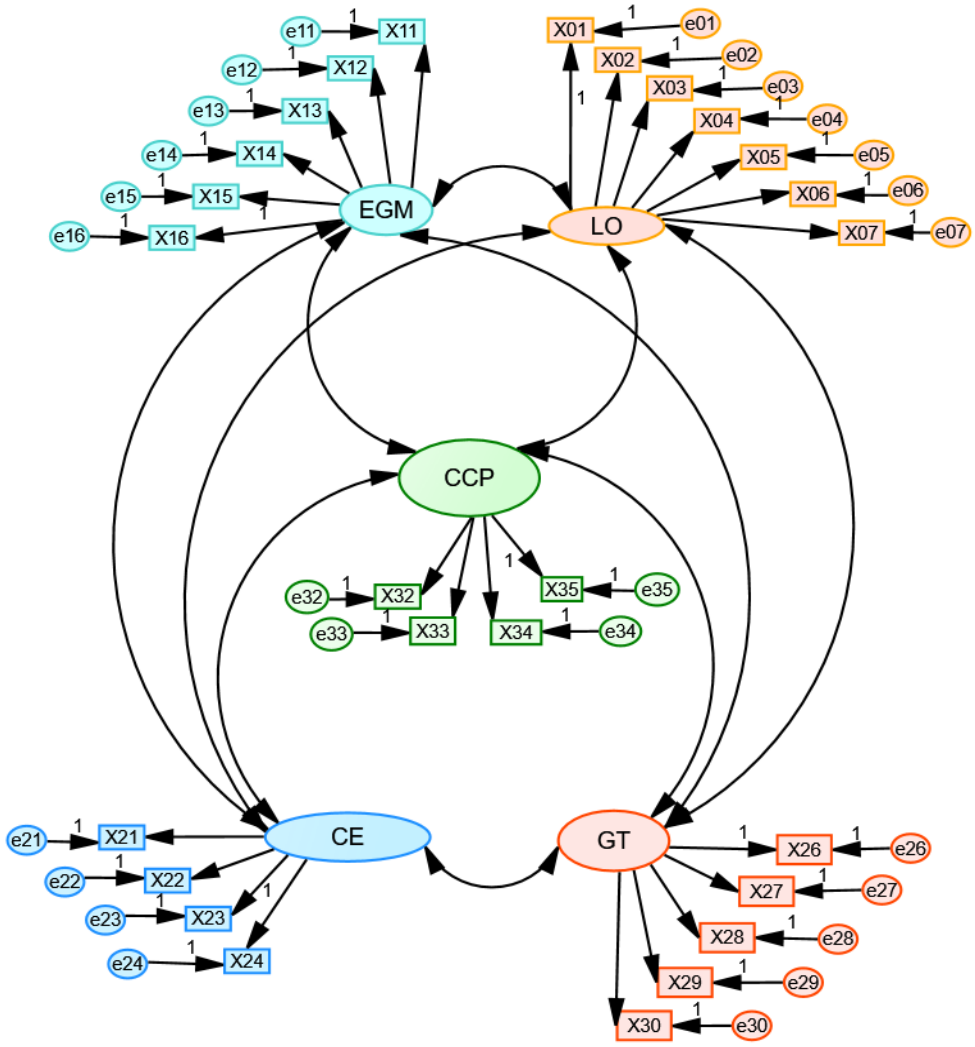
> el análisis se centra en el tratamiento simultáneo de las relaciones entre variables exógenas y variables endógenas. La variable exógena se entiendo como aquella cuya variabilidad proviene de factores fuera del modelo, en tanto que, una variable endógena es aquella cuya variabilidad debe explicarse mediante las variables exógenas y otras endógenas dentro del mismo modelo. (p. 281).

En la Figura 20, se puede ver el modelo de ecuación estructural conformada por 5 dimensiones,

EGM: 6 variables observadas, con 6 errores
LO : 7 variables observadas, con 7 errores
CCP : 4 variables observadas, con 4 errores
CE : 4 variables observadas, con 4 errores
GT : 5 variables observadas, con 5 errores

Figura 20

Representación en diagrama de caminos del modelo en AMOS.



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

Variables latentes

Exógenas:

Factor: Estrategia y gestión de mantenimiento (ξ1),

Factor: Liderazgo y organización (ξ2),

Factor: Confiabilidad de equipos (ξ3)

Factor: Gestión del trabajo y CMMS (ξ4)

Endógenas:

Factor: Calidad y confiabilidad de proceso (n1).

Variables observadas

Exógenas X01, X02, X03, X04, X05, X06, X07, X11, X12, X13, X14, X15, X16, X21, X22, X23, X24, X26, X27, X28, X29, X30

Endógenas X32, X33, X34, X35

Errores de medida

Exógenas e01, e02, e03, e04, e05, e06, e07, e11, e12, e13, e14, e15, e16, e21, e22, e23, e24, e26, e27, e28, e29, e30

Endógenas e32, e33, e34, e35.

4.3.1. Indicadores de bondad del ajuste

A continuación, para comprender la asociación entre el modelo de covarianza observada y el modelo de covarianza estimada para Sahoo (2019, “es determinante identificar las diferentes medidas que conforman los índices de bondad como condición de ajuste” (p. 270).

4.3.2. Medidas de ajuste absoluto.

Índice de Chi-cuadrado

Chi-cuadrado (χ2), en la práctica, es más considerado como una medida de ajuste que como un estadístico de prueba. En esta vista, para Jöreskog y Sörbom (1993):

> El chi-cuadrado constituye una medida del ajuste global en el modelado de datos representado por la distancia o desviación entre la matriz de covarianza (o correlación) obtenida de la muestra elegida y la matriz de covarianza estimada. Chi-cuadrado se interpreta como una medida de discrepancia en el sentido de que un chi-cuadrado de valor reducido representa a contar con buen ajuste y un chi-cuadrado de valor superior determina que el ajuste es malo o deficiente. (p. 122).

Índice de bondad de ajuste (GFI)

GFI: Se trata de una medida (no estadística) que varía entre cero (mal ajuste) a 1 (ajuste perfecto). Aun cuando los valores más altos reflejan un mejor ajuste, no se han establecido criterios para determinar un nivel umbral aceptable. (Ho, 2006, p. 285).

Índice de la media cuadrática del error de la aproximación (RMSEA)

RMSEA: Los valores comprendidos entre 0.05 a 0.08 es considerado un ajuste aceptable, mientras que los que se sitúan entre 0.08 a 0.10 reflejan un ajuste regular, y los superiores a 0.10 demuestran un ajuste malo (Browne y Cudek, 1992, p. 239).

Índice de mínima discrepancia

El índice CMIN/DF debe ser un valor pequeño, a menor índice mejor ajuste, los valores aceptables son de 2 a 5; (García et al., 2021), así también, otro autor menciona que χ2/df menor a 5 indica buen ajuste (Hair et al., 2010, p. 691).

Índice de Residuo estandarizado cuadrático medio

Un índice SRMR según Flores et al. (2017) “inferior a 0,05 demuestra un buen ajuste, y uno que se sitúa entre 0,05 y 0,08 se define como aceptable” (p. 257).

4.3.3. Medidas de ajuste incremental

Índice de ajuste normalizado (NFI), según Pacheco (2017) “Este índice muestra la cuánto es el nivel de reducción en el ajuste al pasar de un modelo nulo hacia el modelo propuesto. El rango de este índice oscila 0 y 1, siendo aceptable tener valores superiores a 0.9” (p. 111).

Índice de ajuste no normalizado (NNFI o TLI): es un índice que “sobrepasa las limitaciones del NFI al incluir los grados de libertas del modelo propuesto y del modelo nulo, con una relación débil con el tamaño de muestra. Este índice oscila entre valores de 0 a 1” (p.111), se sugiere que los valores sean superiores a 0.9.

Índice de ajuste comparativo (CFI): “evalúa la mejora en la valoración de la no centralidad de un modelo. Este índice fluctúa entre 0 para un modelo con mal ajuste y 1 para un modelo con buen ajuste” (Pacheco, 2017, p. 111).

4.3.4. Medidas de ajuste de parsimonia.

Criterio de información de Akaike (AIC):”es un indicador que compara modelos, una valoración próxima a 0 representa un ajuste bueno” (Pacheco, 2017, p. 112).

Índice de ajuste parsimónico normalizado (PNFI):

> Es una variante del NFI representada por la razón entre los grados de libertad de los dos modelos alternativo comparables. A valores superiores del PNFI mejor es el ajuste. Para indicar cambios relevantes en los modelos es necesario contar con diferencias menores de 0,06 a 0,09. (Pacheco, 2017, p. 112)

Índice de bondad del ajuste parsimónico (PGFI): Pacheco (2017) menciona que, “es una variante del Índice de bondad del ajuste (GFI). Su valoración oscila de 0 a 1, los valores cercanos a 1 representan mejor equilibrio (parsimonia) en el modelo” (p. 112).

De acuerdo con lo definido en los párrafos anteriores, en la Tabla 23, se muestra los valores de ajuste recomendados en el análisis factorial confirmatorio de la presente tesis.

Tabla 23

Índices de ajuste inicial del modelo AFC.

Índices	χ2/df	GFI	AGFI	SRMR	RMSEA	CFI	NFI	TLI
Esperado	<5	0.90 - 1	0.90 - 1	0.05 – 0.08	<0.08	0.90 - 1	0.90 - 1	0.90 - 1

Nota. Elaboración propia del autor.

4.4. Evaluación del modelo de medida

4.4.1. Evaluación del modelo estructural inicial

Se realizó el modelado en AMOS, en la Tabla 24, se detallan los índices de ajuste como característica inicial del modelo. En comparación a los valores esperados se concluye que los valores permiten un ajuste adecuado para el AFC, con un valor de Chi-cuadrado de 340.4. En el Anexo 3, se muestra el resultado completo de la evaluación en mencionado software. En la Figura 21, se muestra el diagrama de caminos del modelo inicial obtenido en AMOS.

Tabla 24

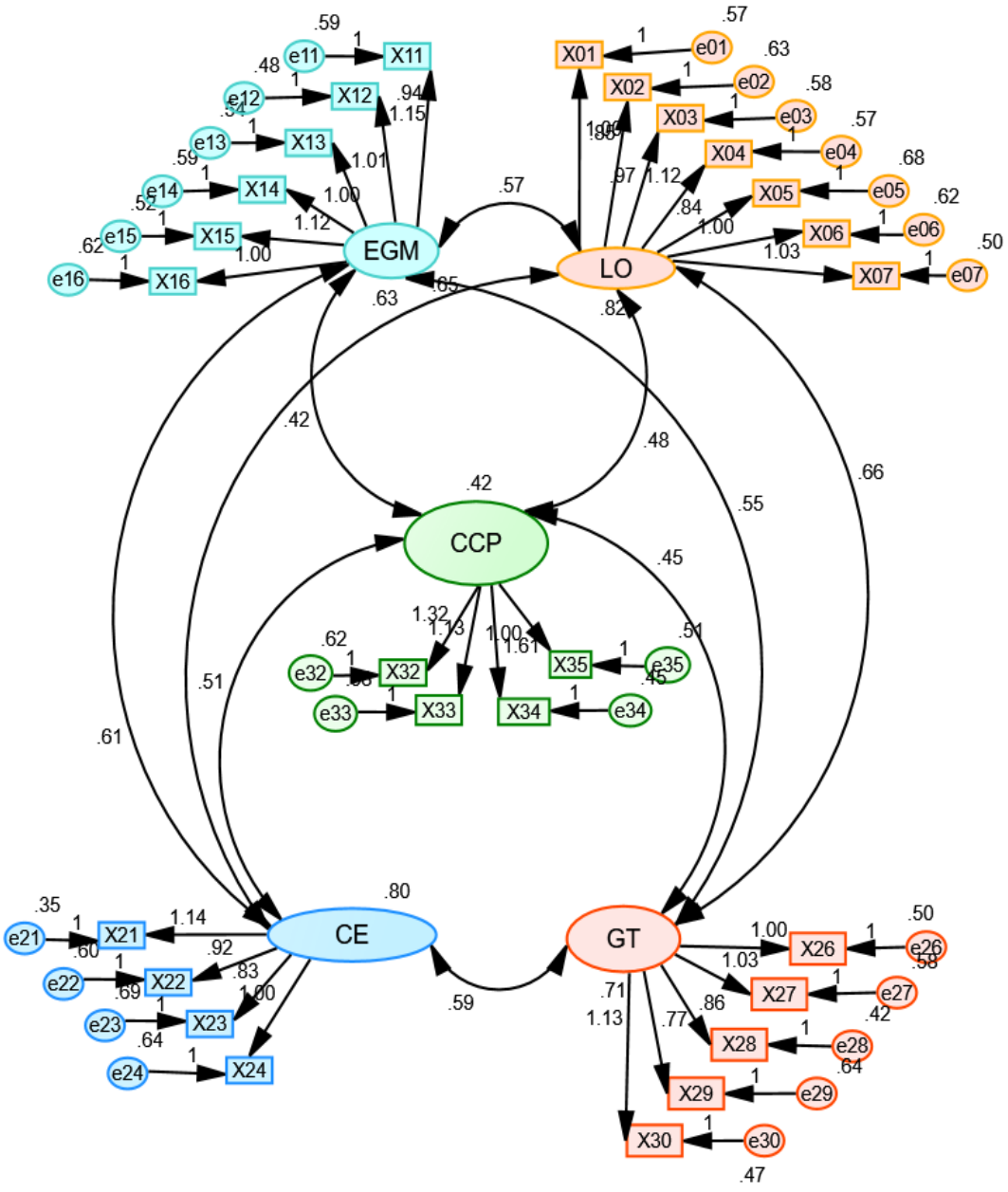
Índices de ajuste inicial del modelo AFC.

Índices	**χ2/df**	**GFI**	**AGFI**	**SRMR**	**RMSEA**	**CFI**	**NFI**	**TLI**
Esperado	<5	0.90 - 1	0.90 - 1	0.05 – 0.08	<0.08	0.90 - 1	0.90 - 1	0.90 - 1
Ajustado	1.178	0.734	0.678	0.078	0.054	0.944	0.726	0.937

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

En la Tabla 25, se representa los pesos de regresión del modelo inicial. Es decir, estos valores, como menciona Calvopiña (2017), “establecen la dirección de la relación entre las dimensiones; observándose que todas son positivas y con valores próximos a 1; que en otras palabras implica que entre las dimensiones existe una dependencia directa (positiva)” (p. 156).

Figura 21
Diagrama de caminos del modelo inicial en AMOS.



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

Siendo la relación con mayor peso de regresión: $X34 \leftarrow Calidad\ y\ confiabilidad\ del\ proceso = 1.608$, y el menor: $X29 \leftarrow Gestión\ del\ trabajo\ y\ CMMS = 0.772$.

Tabla 25

Pesos de regresión en el modelo inicial.

		V. observada <--- V. latente	Estimate
X04	<---	Liderazgo y Organización	1.116
X03	<---	Liderazgo y Organización	.967
X02	<---	Liderazgo y Organización	.851
X01	<---	Liderazgo y Organización	1.000
X07	<---	Liderazgo y Organización	1.025
X06	<---	Liderazgo y Organización	.998
X11	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.939
X12	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.153
X13	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.008
X14	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.001
X15	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.116
X16	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.000
X21	<---	Confiabilidad de Equipos	1.139
X22	<---	Confiabilidad de Equipos	.922
X24	<---	Confiabilidad de Equipos	1.000
X33	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.130
X30	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.130
X29	<---	Gestión del trabajo y CMMS	.772
X28	<---	Gestión del trabajo y CMMS	.861
X27	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.030
X26	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.000
X32	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.324
X35	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.000
X34	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.608
X05	<---	Liderazgo y Organización	.840
X23	<---	Confiabilidad de Equipos	.831

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

En la Tabla 26 se expone las covarianzas entre las variables latentes del modelo inicial, esto valores al ser positivos implica que "valores por encima del promedio en una variable se corresponden con valores mayores en la otra variable." (Soporte de Minitab® 21, s.f.). Se observa que la relación con mayor valor de covarianza es: $Liderazgo\ y\ organización \leftrightarrow Gestión\ del\ trabajo\ y\ CMMS = 0.657$; y el de menor valor de covarianza: $Estrategia\ y\ gestión\ de\ mantenimiento \leftrightarrow Calidad\ y\ confiabilidad\ del\ proceso = 0.415$.

Tabla 26

Covarianzas de las dimensiones de las variables en el modelo inicial.

Variables latentes			Estimate
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Confiabilidad de Equipos	.605
Liderazgo y Organización	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.657
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.545
Liderazgo y Organización	<-->	Confiabilidad de Equipos	.634
Liderazgo y Organización	<-->	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.572
Confiabilidad de Equipos	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.589
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.415
Liderazgo y Organización	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.483
Gestión del trabajo y CMMS	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.451
Confiabilidad de Equipos	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.508

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

En la Tabla 27, se presentan los valores positivos en los coeficientes de correlación entre las variables latentes en el modelo inicial. No obstante, la covarianza genera dependencia al coeficiente de correlación, “debido a que la correlación se obtiene de la división entra la covarianza entre el producto de las desviaciones estándar de las variables. En consecuencia, si la covarianza es positiva entonces producirá siempre una correlación positiva, y de manera similar, una covarianza negativa generará del mismo modo una correlación negativa”. (Soporte de Minitab® 21, s.f.) Siendo la correlación con mayor valor: $Confiabilidad\ de\ equipos \leftrightarrow Calidad\ y\ confiabilidad\ del\ proceso = 0.875$; y el de menor valor de correlación: $Confiabilidad\ de\ equipos \leftrightarrow Gestión\ del\ trabajo\ y\ CMMS = 0.78.$ No obstante, las diferencias en las correlaciones son mínimas.

Tabla 27

Correlaciones de dimensiones de las variables en el modelo inicial.

Variables latentes			Estimate
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Confiabilidad de Equipos	.842
Liderazgo y Organización	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.862
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.804
Liderazgo y Organización	<-->	Confiabilidad de Equipos	.784
Liderazgo y Organización	<-->	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.787
Confiabilidad de Equipos	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.782
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.795
Liderazgo y Organización	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.823
Gestión del trabajo y CMMS	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.824
Confiabilidad de Equipos	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.875

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

4.4.2. Evaluación del modelo de ecuación estructural modificado

En Tabla 28 se muestran las varianzas (error) de las variables observadas en el modelo modificado “permiten identificar que cuando el valor de la medida de dispersión es mayor entonces se dará una variabilidad mayor; mientras tanto, cuando el valor es menor, existe una homogeneidad mayor” (Calvopiña, 2017, p.157). Siendo así que las varianzas de mayor variabilidad con de e05 y e23, cuyos valores son 0.683 y 0.689, respectivamente. También es posible realizar el ajuste de los índices excluyendo del modelo las variables observadas cuyos errores resultaron mayores respecto al conjunto de datos, por ejemplo, X05 y X23 cuyos errores son 0.683 y 0.689, respectivamente.

Tabla 28

Estimación de las varianzas en el modelo inicial.

Error de Variable observada	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Liderazgo y Organización	.818	.238	3.436	***	par_32
Estrategia Mantenimiento	.647	.209	3.088	.002	par_33
Confiabilidad	.799	.245	3.257	.001	par_34
Gestión del trabajo y CMMS	.711	.209	3.405	***	par_35
Calidad y confiabilidad del proceso	.421	.149	2.833	.005	par_36
e16	.622	.126	4.919	***	par_37
e15	.519	.112	4.639	***	par_38
e14	.589	.120	4.886	***	par_39
e13	.540	.112	4.822	***	par_40
e12	.481	.107	4.510	***	par_41
e11	.594	.120	4.962	***	par_42
e26	.498	.107	4.657	***	par_43
e27	.581	.123	4.733	***	par_44
e28	.424	.089	4.766	***	par_45
e29	.642	.126	5.103	***	par_46

Error de Variable observada	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
e30	.472	.108	4.361	***	par_47
e07	.498	.106	4.699	***	par_48
e02	.634	.125	5.058	***	par_49
e01	.573	.119	4.835	***	par_50
e03	.575	.118	4.879	***	par_51
e04	.571	.122	4.671	***	par_52
e06	.623	.127	4.889	***	par_53
e21	.347	.096	3.632	***	par_54
e22	.599	.125	4.807	***	par_55
e24	.643	.136	4.740	***	par_56
e32	.622	.132	4.724	***	par_57
e33	.580	.118	4.893	***	par_58
e34	.446	.116	3.855	***	par_59
e35	.509	.103	4.959	***	par_60
e05	**.683**	.134	5.099	***	par_61
e23	**.689**	.138	5.008	***	par_62

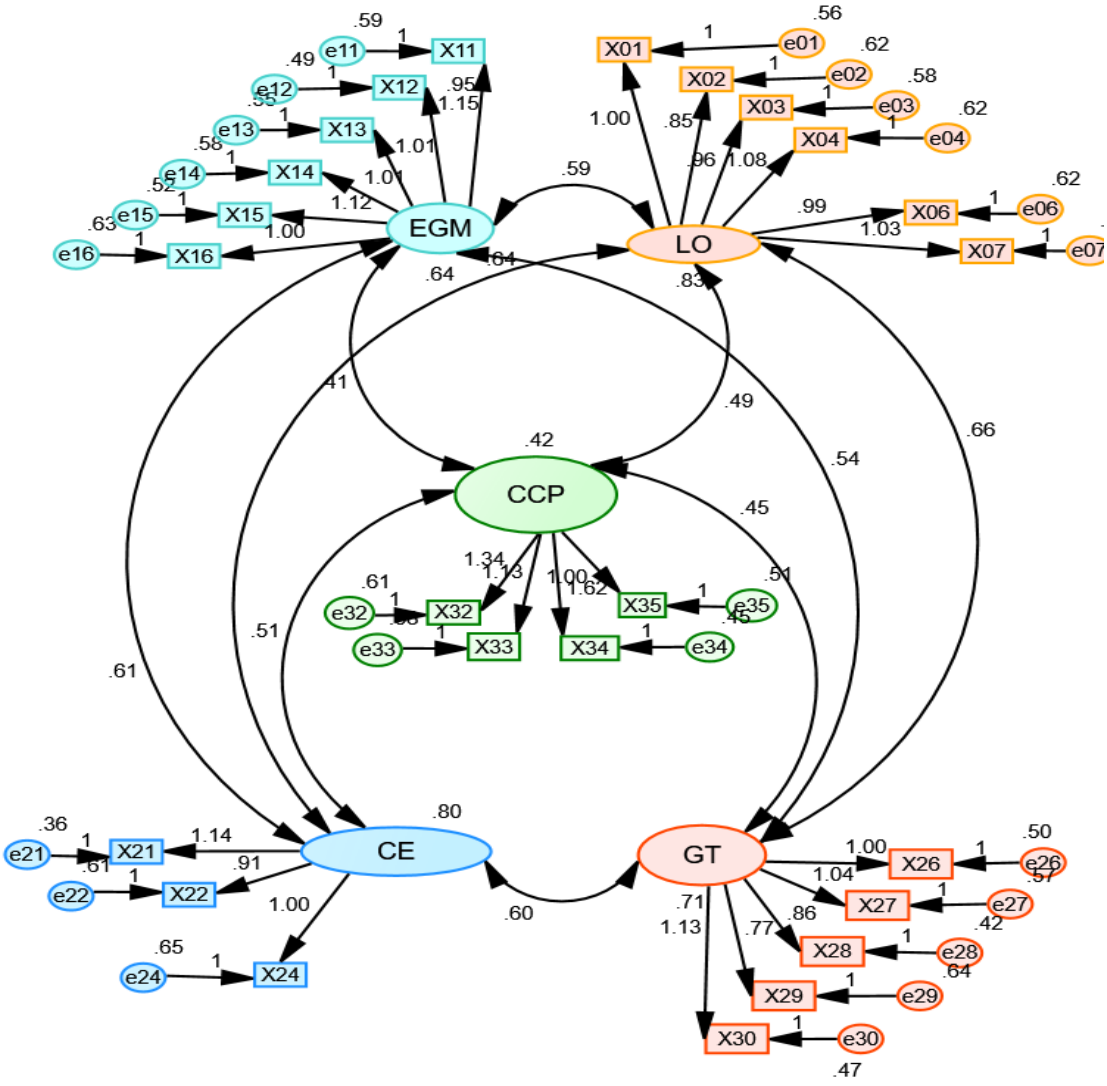
*** valor menor que 0.001

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

La representación en AMOS del diagrama simplificado de constructos y variables se muestra en la Figura 22. Siendo ésta el modelo optimizado y con mejor ajuste., cuyo valor Chi-cuadrado es 289.1. Los nuevos valores de índices con ajuste optimizado por motivo de la exclusión de las variables X05 y X23 se presentan en la Tabla 29. El resultado completo de la evaluación modificada en AMOS se detalla en el Anexo 4.

Figura 22

Representación en diagrama de caminos del modelo ajustado



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

Tabla 29

Índice de ajuste optimizado del modelo AFC.

Índice	χ2/df	GFI	AGFI	SRMR	RMSEA	CFI	NFI	TLI
Esperado	<5	0.90 - 1	0.90 - 1	0.05 – 0.08	<0.08	0.90 - 1	0.90 - 1	0.90 - 1
Ajustado	**1.195**	0.751	0.692	**0.076**	**0.057**	**0.945**	0.744	0.937

Nota. Cuadro elaborado por el autor

En el modelo modificado, los valores de los pesos de regresión que vinculan de forma respectiva a las variables observadas con las variables latentes se exponen en la Tabla 30. Para la representación en AMOS se utilizó la estimación de máxima verosimilitud. Se identificó que la relación con mayor peso de regresión es: $X34 < -Calidad\ y\ confiabilidad\ del\ proceso = 1.616,$ y el menor: $X29 < -Gestión\ del\ trabajo\ y\ CMMS = 0.773.$

Tabla 30

Pesos de regresión en el modelo modificado.

V. observada	<---	V. latente	Estimate
X04	<---	Liderazgo y Organización	1.081
X03	<---	Liderazgo y Organización	.955
X02	<---	Liderazgo y Organización	.852
X07	<---	Liderazgo y Organización	1.026
X06	<---	Liderazgo y Organización	.989
X11	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.946
X12	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.151
X13	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.006
X14	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.010
X15	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.123
X16	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.000
X21	<---	Confiabilidad de Equipos	1.136
X22	<---	Confiabilidad de Equipos	.914
X24	<---	Confiabilidad de Equipos	1.000
X33	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.134
X30	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.131
X29	<---	Gestión del trabajo y CMMS	.773
X28	<---	Gestión del trabajo y CMMS	.863
X27	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.036
X26	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.000
X32	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.341
X35	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.000
X34	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.616
X01	<---	Liderazgo y Organización	1.000

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

En el modelo modificado, se exponen en la Tabla 31 las covarianzas que vinculan a las variables latentes; de donde se identifica que los valores de covarianza resultan positivos, lo que significa que los valores superiores del promedio de una variable están relacionados con los valores superiores de la otra variable (Soporte de Minitab® 21, s.f.). La relación con mayor valor de covarianza es: $Liderazgo\ y\ organización \leftrightarrow Gestión\ del\ trabajo\ y\ CMMS = 0.660$; y el de menor valor de covarianza: $Estrategia\ y\ gestión\ de\ mantenimiento \leftrightarrow Calidad\ y\ confiabilidad\ del\ proceso = 0.411$.

Tabla 31

Covarianzas en las variables latentes del modelo modificado.

Variables latentes			Estimate
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Confiabilidad de Equipos	.607
Liderazgo y Organización	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.660
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.543
Liderazgo y Organización	<-->	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.585
Confiabilidad de Equipos	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.595
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.411
Liderazgo y Organización	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.490
Gestión del trabajo y CMMS	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.448
Confiabilidad de Equipos	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.515
Liderazgo y Organización	<-->	Confiabilidad de Equipos	.636

Nota. Elaboración propia del autor.

En la Tabla 32 del modelo modificado se detallan los coeficientes de correlación positivos entre las variables latentes.Sin embargo, el coeficiente de corrlación está definido por la covarianza, debido a que corresponde a la covarianza dividida entre el producto de las desviaciones estándar de las variables. De esta forma, una covarianza positiva siempre dará espacio a una correlación de carácter positivo, mientras que una covarianza negativa generará del mismo modo una correlación negativa.” (Soporte de Minitab® 21, s.f.). Siendo la correlación con mayor valor: $Confiabilidad\ de\ equipos \leftrightarrow Calidad\ y\ confiabilidad\ del\ proceso = 0.894$; y el de menor valor de correlación:

$Liderazgo\ y\ organización \leftrightarrow Confiabilidad\ de\ equipos = 0.782$. No obstante, las diferencias en las correlaciones son mínimas.

Tabla 32

Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado.

Variables latentes			Estimate
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Confiabilidad de Equipos	.850
Liderazgo y Organización	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.860
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.804
Liderazgo y Organización	<-->	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.801
Confiabilidad de Equipos	<-->	Gestión del trabajo y CMMS	.793
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.795
Liderazgo y Organización	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.832
Gestión del trabajo y CMMS	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.824
Confiabilidad de Equipos	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.894
Liderazgo y Organización	<-->	Confiabilidad de Equipos	.782

Nota. Cuadro elaborado por el autor.

En el modelo modificado, las varianzas (error) de cada variable observada se muestra en la Tabla 33. “estos resultados permiten definir que a mayor valor de la medida de dispersión entonces corresponde una variabilidad mayor; mientras tanto, a menor valor, existe una homogeneidad mayor” (Calvopiña, 2017, p.157). Siendo la varianza (error) con mayor valor: $e24 = 0.647$; y el de menor error: $e21 = 0.358$.

Tabla 33

Varianzas en las variables observadas del modelo modificado.

Varianza (error)	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Liderazgo y Organización	.831	.240	3.468	***	par_30
Estrategia y Gestión Mantenimiento	.642	.209	3.074	.002	par_31
Confiabilidad de Equipos	.795	.246	3.234	.001	par_32
Gestión del trabajo y CMMS	.708	.209	3.393	***	par_33
Calidad y confiabilidad del proceso	.417	.148	2.815	.005	par_34
e16	.627	.127	4.929	***	par_35
e15	.515	.111	4.631	***	par_36
e14	.581	.119	4.873	***	par_37
e13	.546	.113	4.839	***	par_38
e12	.488	.108	4.537	***	par_39
e11	.589	.119	4.955	***	par_40
e26	.501	.108	4.657	***	par_41

Varianza (error)	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
e27	.574	.122	4.710	***	par_42
e28	.424	.089	4.757	***	par_43
e29	.643	.126	5.100	***	par_44
e30	.474	.109	4.360	***	par_45
e07	.484	.105	4.598	***	par_46
e02	.623	.124	5.010	***	par_47
e01	.560	.118	4.757	***	par_48
e03	.582	.120	4.847	***	par_49
e04	.619	.131	4.716	***	par_50
e06	.625	.129	4.848	***	par_51
e21	.358	.102	3.492	***	par_52
e22	.614	.128	4.788	***	par_53
e24	.647	.138	4.688	***	par_54
e32	.612	.130	4.718	***	par_55
e33	.582	.119	4.913	***	par_56
e34	.448	.115	3.895	***	par_57
e35	.514	.103	4.982	***	par_58

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Debajo se muestran las ecuaciones estructurales que representan al modelo de medida:

Ecuaciones para la variable latente: Liderazgo y Organización

$X01 = 1.000 * LO + 0.56$ *(7)*

$X02 = 0.852 * LO + 0.623$ *(8)*

$X03 = 0.955 * LO + 0.582$ *(9)*

$X04 = 1.081 * LO + 0.619$ *(10)*

$X06 = 0.989 * LO + 0.625$ *(11)*

$X07 = 1.026 * LO + 0.484$ *(12)*

Ecuaciones para la variable latente: Estrategia de Mantenimiento

$X11 = 0.946 * EM * +0.589$ *(13)*

$X12 = 1.151 * EM + 0.488$ *(14)*

$X13 = 1.006 * EM + 0.546$ *(15)*

$X14 = 1.010 * EM + 0.581$ *(16)*

$X15 = 1.123 * EM + 0.515$ *(17)*

$X16 = 1.000 * EM + 0.627$ *(18)*

Ecuaciones para la variable latente: Confiabilidad de equipos

$X21 = 1.136 * CE + 0.102$ *(19)*

$X22 = 0.914 * CE + 0.614$ *(20)*

$X24 = 1.000 * CE + 0.647$ *(21)*

Ecuaciones para la variable latente: Gestión de Trabajo

$X26 = 1.000 * GT + 0.501$ *(22)*

$X27 = 1.036 * GT + 0.574$ *(23)*

$X28 = 0.861 * GT + 0.424$ *(24)*

$X29 = 0.773 * GT + 0.643$ *(25)*

$X30 = 1.131 * GT + 0.474$ *(26)*

Ecuaciones para la variable latente: Calidad de solución

$X32 = 1.341 * LO + 0.612$ *(27)*

$X33 = 1.134 * LO + 0.582$ *(28)*

$X34 = 1.616 * LO + 0.448$ *(29)*

$X35 = 1.000 * LO + 0.514$ *(30)*

En el modelo estructural de diagrama de caminos se obtienen las ecuaciones estructurales mostradas debajo:

$EM = CE * 0.850$ *(31)*

$LO = GT * 0.860$ *(32)*

$EM = GT * 0.804$ *(33)*

$LO = EM * 0.801$ *(34)*

$CE = GT * 0.793$ *(35)*

$EM = CCP * 0.795$ *(36)*

$LO = CCP * 0.832$ *(37)*

$GT = CCP * 0.824$ *(38)*

$CE = CCP * 0.894$ *(39)*

$LO = CE * 0.782$ *(40)*

4.4.3. Modelo de ecuación estructural de 2do orden

En función al modelo de segundo orden se busca la correlación de la variable independiente de la gestión de mantenimiento con característica de nivel de clase mundial y la variable dependiente de la calidad de solución como principal elemento en la etapa de purificación, en el contexto de una refinería de zinc del sector peruano. El diagrama de caminos del modelo de segundo orden, desarrollado en AMOS, se muestra en la Figura 23, donde el valor Chi-cuadrado es 344.7. La valoración de índices con ajuste en la Tabla 34. El resultado completo de índices de ajuste de bondad para el caso del modelo de segundo orden, desarrollado en AMOS, se muestra en el Anexo 5.

Tabla 34

Segundo orden, Índices de ajuste del modelo AFC.

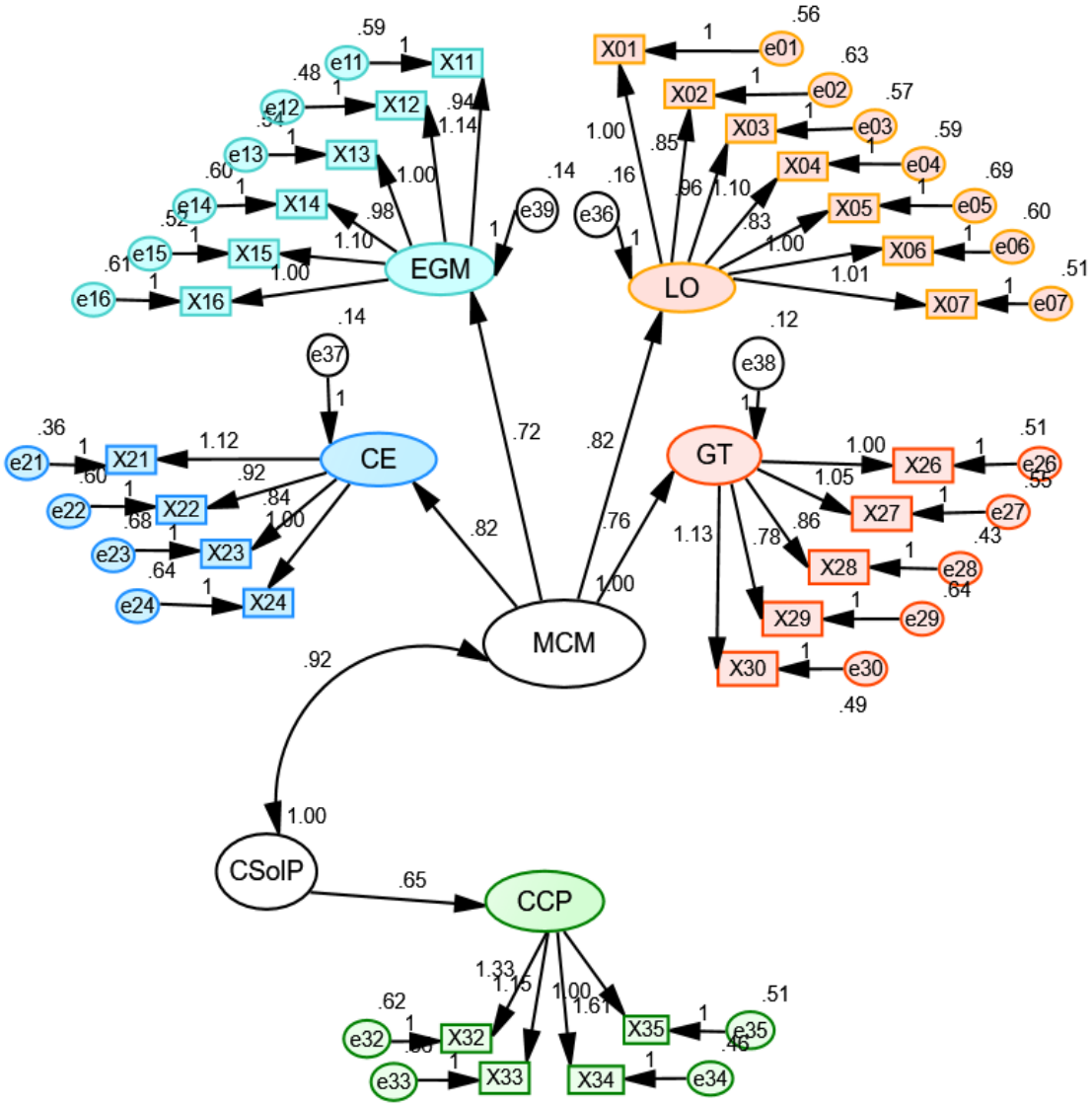
Índices	χ2/df	GFI	AGFI	SRMR	RMSEA	CFI	NFI	TLI
Esperado	<5	0.90 - 1	0.90 - 1	0.05 – 0.08	<0.08	0.90 - 1	0.90 - 1	0.90 - 1
Ajustado	1.173	0.743	0.682	0.079	0.054	0.945	0.723	0.939

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

En AMOS se utilizó la estimación de máxima verosimilitud para la representación. La valoración de pesos de regresión que vinculan a las variables observadas y variables latentes en el modelo de segundo orden se muestran en la Tabla 35. La relación con mayor peso de regresión es: $X34 < -Calidad\ y\ confiabilidad\ del\ proceso = 1.611$, mientras tanto el menor es: $X29 < -Gestión\ del\ trabajo\ y\ CMMS = 0.782$.

Figura 23

Diagrama de caminos del modelo de segundo orden



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

Tabla 35

Pesos de regresión en el modelo de segundo orden.

Variable observada < -- Variable latente			Estimate
Calidad y confiabilidad del proceso	<---	Calidad solución Purif	.645
Gestión del trabajo y CMMS	<---	Mantenimiento clase mundial	.761
Liderazgo y Organización	<---	Mantenimiento clase mundial	.819
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<---	Mantenimiento clase mundial	.720

Variable observada < -- Variable latente			Estimate
Confiabilidad de Equipos	<---	Mantenimiento Clase mundial	.816
X04	<---	Liderazgo y Organización	1.099
X03	<---	Liderazgo y Organización	.962
X02	<---	Liderazgo y Organización	.846
X07	<---	Liderazgo y Organización	1.012
X06	<---	Liderazgo y Organización	1.001
X11	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.936
X12	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.143
X13	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.003
X14	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.981
X15	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.104
X16	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.000
X21	<---	Confiabilidad de Equipos	1.125
X22	<---	Confiabilidad de Equipos	.918
X24	<---	Confiabilidad de Equipos	1.000
X33	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.154
X30	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.127
X29	<---	Gestión del trabajo y CMMS	.782
X28	<---	Gestión del trabajo y CMMS	.861
X27	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.053
X26	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.000
X32	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.333
X35	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.000
X34	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.611
X05	<---	Liderazgo y Organización	.829
X23	<---	Confiabilidad de Equipos	.837
X01	<---	Liderazgo y Organización	1.000

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

La covarianza que asocia a la variable latente en el modelo de segundo orden se expone en la Tabla 36, resaltando la única relación de covarianza: $Calidad\ de\ Solución\ Purificación \leftrightarrow Mantenimiento\ de\ Clase\ Mundial = 0.921$.

Tabla 36

Covarianza del modelo AFC de segundo orden.

			Estimate
Calidad_solución_Purif	<-->	Mantenimiento_Clase_Mundial	.921

Nota. Elaboración propia del autor.

En la Tabla 37, Los valores de coeficientes de correlación con característica positiva entre las variables latentes en el modelo modificado son mostrados en la Tabla 37, destacando como única correlación: $Calidad\ y\ confiabilidad\ del\ proceso \leftrightarrow Mantenimiento\ Clase\ Mundial = 0.921$.

Tabla 37

Correlación de las variables en el modelo AFC segundo orden.

			Estimate
Calidad solución Purif	<-->	Mantenimiento Clase Mundial	.921

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Las varianzas (error) de cada variable observada en el modelo modificado se detallan en la Tabla 38, resaltando las varianzas (error) con mayor valor: $e24 = 0.689$ y $e21 = 0.676$.

Tabla 38

Varianzas (errores) en las variables del modelo de segundo orden.

Varianza (error)	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Mantenimiento Clase Mundial	1.000				
Calidad solución Purif	1.000				
e36	.160	.067	2.370	.018	par_28
e39	.139	.061	2.264	.024	par_29
e38	.125	.060	2.067	.039	par_30
e37	.140	.072	1.963	.050	par_31
e16	.612	.125	4.893	***	par_32
e15	.524	.113	4.642	***	par_33
e14	.604	.123	4.908	***	par_34
e13	.535	.111	4.804	***	par_35
e12	.480	.107	4.498	***	par_36
e11	.588	.119	4.946	***	par_37
e26	.506	.109	4.655	***	par_38
e27	.555	.119	4.646	***	par_39
e28	.430	.090	4.763	***	par_40
e29	.636	.125	5.082	***	par_41
e30	.487	.111	4.383	***	par_42
e07	.508	.108	4.710	***	par_43
e02	.633	.125	5.049	***	par_44

Varianza (error)	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
e01	.561	.117	4.799	***	par_45
e03	.572	.118	4.862	***	par_46
e04	.587	.125	4.693	***	par_47
e06	.605	.125	4.847	***	par_48
e21	.364	.099	3.674	***	par_49
e22	.599	.125	4.772	***	par_50
e24	.636	.136	4.686	***	par_51
e32	.621	.132	4.700	***	par_52
e33	.564	.116	4.840	***	par_53
e34	.455	.118	3.868	***	par_54
e35	.515	.104	4.956	***	par_55
e05	.689	.135	5.100	***	par_56
e23	.676	.136	4.962	***	par_57

Nota. Cuadro elaborado por el autor.

En la siguiente tabla se muestran los índices de modificación como recomendación para la mejora del ajuste del modelo, los pares destacados son: $e12 \leftrightarrow e29: 6.035$ y $e13 \leftrightarrow e32: 6.182$.

Tabla 39

Índices de modificación en el modelo AFC de segundo orden.

Varianzas (error)			M.I.	Par Change
e02	<-->	e32	7.811	.249
e07	<-->	e38	5.526	.123
e28	<-->	Calidad_solución_Purif	5.337	-.133
e27	<-->	e37	4.815	.133
e26	<-->	e34	5.549	.180
e12	<-->	e36	5.728	-.133
e12	<-->	e29	6.035	.197
e13	<-->	e32	6.182	-.209
e13	<-->	e21	4.334	-.152
e14	<-->	e37	4.600	.133
e14	<-->	e34	4.439	-.172
e14	<-->	e27	4.147	.171
e15	<-->	e07	4.945	-.169
e16	<-->	e22	4.105	-.179

Nota. Elaboración propia del autor.

4.4.4. Modelo AFC de segundo orden modificado

Como se puede ver en la Tabla 39, es posible realizar el ajuste de los índices excluyendo del modelo de segundo orden, aquellas variables observadas cuyos errores resultaron mayores respecto al conjunto de datos, por ejemplo, X05 y X23 dichos errores fueron 0.689 y 0.676, respectivamente. Adicionalmente, según la Tabla de índices de modificación de covarianzas, se trazan los caminos de doble flecha en las relaciones entre $e02 \leftrightarrow e32$ con índice de modificación 7.811, $e12 \leftrightarrow e29: 6.035$ y $e13 \leftrightarrow e32: 6.182$, como se muestra en la Figura 24, así donde también se visualiza el diagrama modificado de constructos y variables. Desarrollado en AMOS, siendo ésta el modelo de segundo orden optimizado y con mejor ajuste., cuyo valor Chi-cuadrado es 278.5. Los nuevos valores de índices con ajuste optimizado por motivo de la exclusión de las variables X05 y X23 y aplicación de los índices de modificación, se presentan en la Tabla 40. El resultado completo de la evaluación modificada en AMOS se detalla en el Anexo 6.

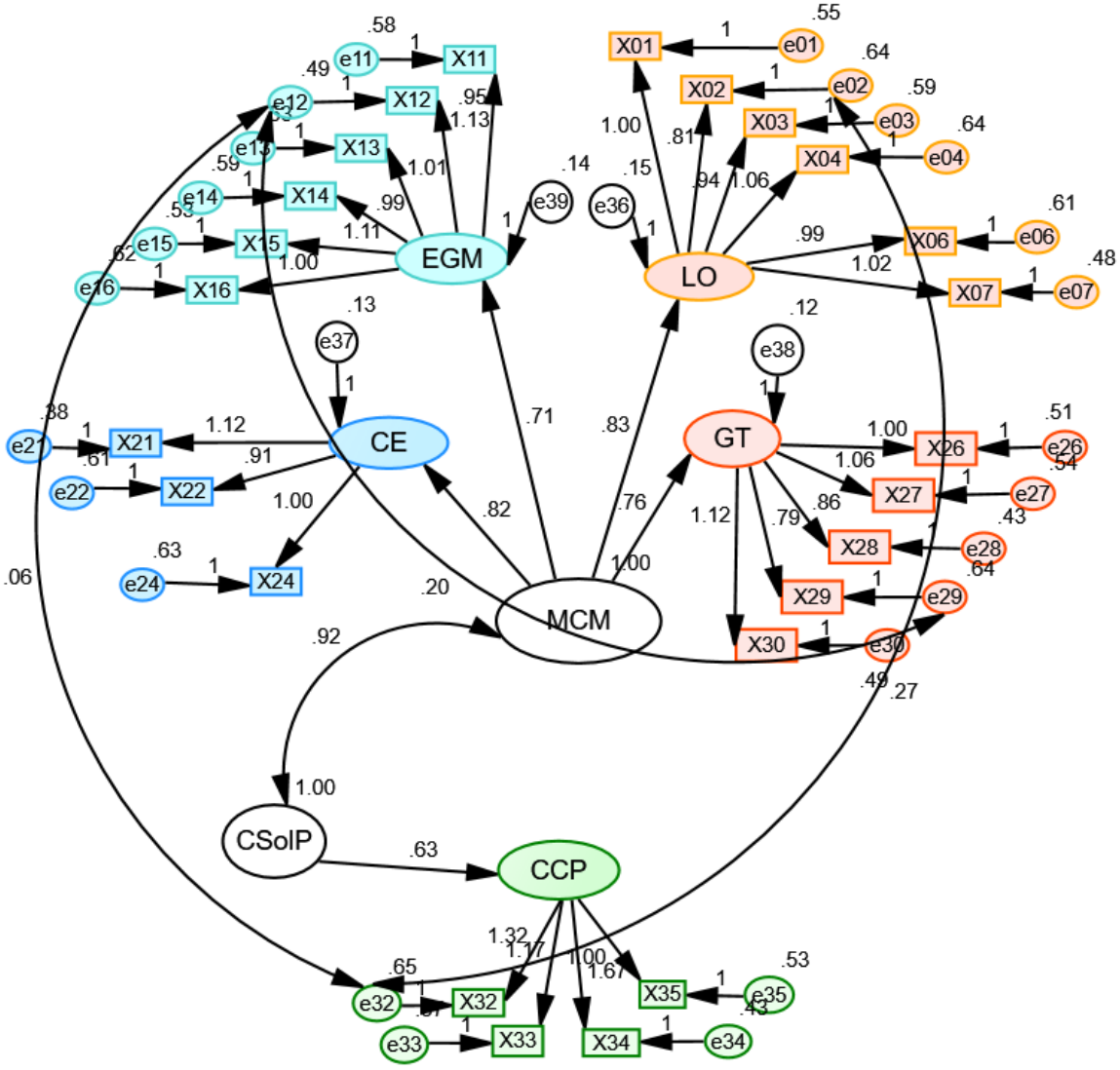
Tabla 40

Índice de ajuste optimizado del modelo AFC segundo orden

Índices	Chisq	χ2/df	GFI	AGFI	SRMR	RMSEA	CFI	NFI	TLI
Esperado	-	<5	0.90 - 1	0.90 - 1	0.05 – 0.08	<0.08	0.90 - 1	0.90 - 1	0.90 - 1
Ajustado 2do O. inicial	344.7	1.173	0.743	0.682	0.079	0.054	0.945	0.723	0.939
Ajustado 2do orden modificado	278.5	1.141	0.762	0.708	0.076	0.049	0.960	0.754	0.954
Ajustado 1er O. inicial	340.4	1.178	0.734	0.678	0.078	0.054	0.944	0.726	0.937
Ajustado 1er orden modificado	**289.1**	**1.195**	0.751	0.692	**0.076**	**0.057**	**0.945**	0.744	0.937

Nota. Elaboración propia del autor.

Figura 24 Diagrama de caminos del modelo de segundo orden modificado.
Diagrama de caminos del modelo de segundo orden modificado.



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

La estimación de máxima verosimilitud fue base para su representación en AMOS. En la Tabla 41, se detallan la valoración de pesos de regresión en el modelo modificado, que vinculan a las variables observadas y las latentes, de forma respectiva, de la cual la relación con peso mayor de regresión es: $X34 < -Calidad\ y\ confiabilidad\ del\ proceso = 1.669$, y el menor: $X29 < -Gestión\ del\ trabajo\ y\ CMMS = 0.790$.

Tabla 41

Pesos de regresión en el modelo modificado de segundo orden.

Variables observadas	< --	Variables latentes	Estimate
Calidad y confiabilidad del proceso	<---	Calidad solución Purif	.631
Gestión del trabajo y CMMS	<---	Mantenimiento Clase Mundial	.761
Liderazgo y Organización	<---	Mantenimiento Clase Mundial	.834
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<---	Mantenimiento Clase Mundial	.713
Confiabilidad de Equipos	<---	Mantenimiento Clase Mundial	.824
X04	<---	Liderazgo y Organización	1.062
X03	<---	Liderazgo y Organización	.942
X02	<---	Liderazgo y Organización	.807
X07	<---	Liderazgo y Organización	1.018
X06	<---	Liderazgo y Organización	.990
X11	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.947
X12	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.131
X13	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.010
X14	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	.994
X15	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.109
X16	<---	Estrategia y Gestión Mantenimiento	1.000
X21	<---	Confiabilidad de Equipos	1.116
X22	<---	Confiabilidad de Equipos	.908
X24	<---	Confiabilidad de Equipos	1.000
X33	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.175
X30	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.125
X29	<---	Gestión del trabajo y CMMS	.790
X28	<---	Gestión del trabajo y CMMS	.861
X27	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.060
X26	<---	Gestión del trabajo y CMMS	1.000
X32	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.319
X35	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.000
X34	<---	Calidad y confiabilidad del proceso	1.669
X01	<---	Liderazgo y Organización	1.000

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

En el modelo modificado, las covarianzas que asocian a las variables latentes se muestran en la Tabla 42; siendo así que, “las covarianzas obtenidas son positivas, lo cual hace referencia que los valores superiores al promedio de una variable están relacionados con los valores superiores del promedio de la otra variable” (Soporte de Minitab® 21, s.f.), no obstante, la relación representativa es: $Calidad\ Solución\ Purificación \leftrightarrow Mantenimiento\ Clase\ Mundial = 0.923$;

Tabla 42

Covarianzas del modelo de segundo orden modificado.

Varianzas (error)			Estimate
Calidad solución Purif	<-->	Mantenimiento Clase Mundial	.923
e12	<-->	e32	.057
e12	<-->	e29	.196
e02	<-->	e32	.271

Nota. Cuadro elaborado por el autor.

En el modelo modificado, la Tabla 43 expone los coeficientes de correlación positivos entre las variables latentes. No obstante, el coeficiente de correlación depende de la covarianza, el mismo que se obtiene al dividir la covarianza entre el producto de las desviaciones estándar de las variables. De esta forma, una covarianza positiva dará lugar siempre a una correlación positiva, en tanto que una covarianza negativa a una correlación negativa" (Soporte de Minitab® 21, s.f.). El resultado para la correlación representativa es: $Calidad\ de\ solución\ Purificación \leftrightarrow Mantenimiento\ Clase\ Mundial = 0.923$.

Tabla 43

Correlaciones del modelo de segundo orden modificado.

Varianzas (error)			Estimate
Calidad solución Purif	<-->	Mantenimiento Clase Mundial	.923
e12	<-->	e32	.101
e12	<-->	e29	.351
e02	<-->	e32	.421

Nota. Desarrollado por el autor.

En la Tabla 44 del modelo de segundo orden modificado se detallan las varianzas (error) de cada variable observada, "dichos valores concluyen que a un valor mayor de la medida de dispersión entonces corresponde una homogeneidad mayor" (Calvopiña, 2017, p.157). adicionalmente, la varianza (error) con mayor valor es: $e24 = 0.633$; y el de menor error: $e21 = 0.376$.

Tabla 44

Varianzas del modelo de segundo orden modificado.

Varianzas (error)	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Mantenimiento Clase Mundial	1.000				
Calidad solución Purif	1.000				
e36	.147	.066	2.242	.025	par_29
e39	.140	.061	2.295	.022	par_30
e38	.123	.059	2.070	.038	par_31
e37	.130	.075	1.729	.084	par_32
e16	.620	.126	4.907	***	par_33
e15	.528	.113	4.650	***	par_34
e14	.595	.122	4.890	***	par_35
e13	.535	.111	4.802	***	par_36
e12	.487	.107	4.541	***	par_37
e11	.582	.118	4.933	***	par_38
e26	.507	.109	4.661	***	par_39
e27	.545	.118	4.623	***	par_40
e28	.430	.090	4.766	***	par_41
e29	.640	.126	5.078	***	par_42
e30	.492	.112	4.407	***	par_43
e07	.484	.106	4.585	***	par_44
e02	.639	.126	5.055	***	par_45
e01	.548	.116	4.719	***	par_46
e03	.592	.122	4.856	***	par_47
e04	.639	.135	4.743	***	par_48
e06	.612	.127	4.813	***	par_49
e21	.376	.107	3.515	***	par_50
e22	.611	.129	4.725	***	par_51
e24	.633	.138	4.590	***	par_52
e32	.646	.135	4.797	***	par_53

Varianzas (error)	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
e33	.569	.117	4.863	***	par_54
e34	.429	.114	3.752	***	par_55
e35	.533	.107	5.006	***	par_56

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

A continuación, se detallan las ecuaciones estructurales correspondiente al modelo de medida:

Ecuaciones para la variable latente: Liderazgo y organización

$X01 = 1.000 * LO + 0.548$ *(41)*

$X02 = 0.807 * LO + 0.639$ *(42)*

$X03 = 0.924 * LO + 0.592$ *(43)*

$X04 = 1.062 * LO + 0.639$ *(44)*

$X06 = 0.990 * LO + 0.612$ *(45)*

$X07 = 1.018 * LO + 0.484$ *(46)*

Ecuaciones para la variable latente: Estrategia de mantenimiento

$X11 = 0.947 * EM * +0.582$ *(47)*

$X12 = 1.131 * EM + 0.487$ *(48)*

$X13 = 1.010 * EM + 0.535$ *(49)*

$X14 = 0.994 * EM + 0.595$ *(50)*

$X15 = 1.109 * EM + 0.528$ *(51)*

$X16 = 1.000 * EM + 0.620$ *(52)*

Ecuaciones para la variable latente: Confiabilidad de equipos

$X21 = 1.116 * CE + 0.376$ *(53)*

$X22 = 0.908 * CE + 0.611$ *(54)*

$X24 = 1.000 * CE + 0.633$ *(55)*

Ecuaciones para la variable latente: Gestión de trabajo

$X26 = 1.000 * GT + 0.507$ *(56)*

$X27 = 1.060 * GT + 0.545$ *(57)*

$X28 = 0.861 * GT + 0.430$ *(58)*

$X29 = 0.790 * GT + 0.640$ *(59)*

$X30 = 1.125 * GT + 0.492$ *(60)*

Ecuaciones para la variable latente: Calidad de solución

$X32 = 1.319 * LO + 0.612$ *(61)*

$X33 = 1.175 * LO + 0.582$ *(62)*

$X34 = 1.669 * LO + 0.448$ *(63)*

$X35 = 1.000 * LO + 0.514$ *(64)*

Adicionalmente, en el modelo estructural del diagrama de caminos se cuentan con las siguientes ecuaciones estructurales:

$CCP = CSolP * 0.631$ *(65)*

$GT = MCM * 0.761$ *(66)*

$LO = MCM * 0.834$ *(67)*

$EGM = MCM * 0.713$ *(68)*

$CE = MCM * 0.824$ *(69)*

4.5. Prueba de hipótesis

A continuación, con el uso del modelo de ecuaciones estructurales, es posible comprobar la hipótesis general y las específicas, debido al análisis del comportamiento de las variables latentes y observables.

4.5.1. Hipótesis general

Por tanto, para la hipótesis general tomando como contexto en una refinería de zinc en el Perú, se tiene que:

H0: No existe influencia, entre el modelo de gestión de mantenimiento con característica de clase mundial y la calidad de solución en la etapa de purificación.

H1: El modelo de gestión de mantenimiento con característica de clase mundial influye en la calidad de solución en la etapa de purificación.

Los índices de ajustes en los cuatro modelos presentados se exponen en la Tabla 45, como resultado el modelo de segundo orden modificado es el que tiene el mejor ajuste. En la Figura 25, se observa que en una refinería de zinc la correlación entre Gestión de Mantenimiento con nivel de Clase Mundial y la Calidad de solución en la etapa de purificación mantiene una correlación positiva y de influencia directa entre variables latentes cuyo valor es de 0.923, como se aprecia en la Tabla 46, con ello la hipótesis general de la investigación resulta corroborada.

Tabla 45

Comparación de índices de bondad de 4 modelos.

Índices	**Chisq**	**χ2/df**	**GFI**	**AGFI**	**SRMR**	**RMSEA**	**CFI**	**NFI**	**TLI**
Esperado	-	<5	0.90 - 1	0.90 - 1	0.05 – 0.08	<0.08	0.90 - 1	0.90 - 1	0.90 - 1
Ajustado 2do O. inicial	344.7	1.173	0.743	0.682	0.079	0.054	0.945	0.723	0.939
Ajustado 2do orden modificado	278.5	1.141	0.762	0.708	0.076	0.049	0.960	0.754	0.954
Ajustado 1er O. inicial	340.4	1.178	0.734	0.678	0.078	0.054	0.944	0.726	0.937
Ajustado 1er orden modificado	**289.1**	**1.195**	0.751	0.692	**0.076**	**0.057**	**0.945**	0.744	0.937

Nota. Cuadro elaborado por el autor.

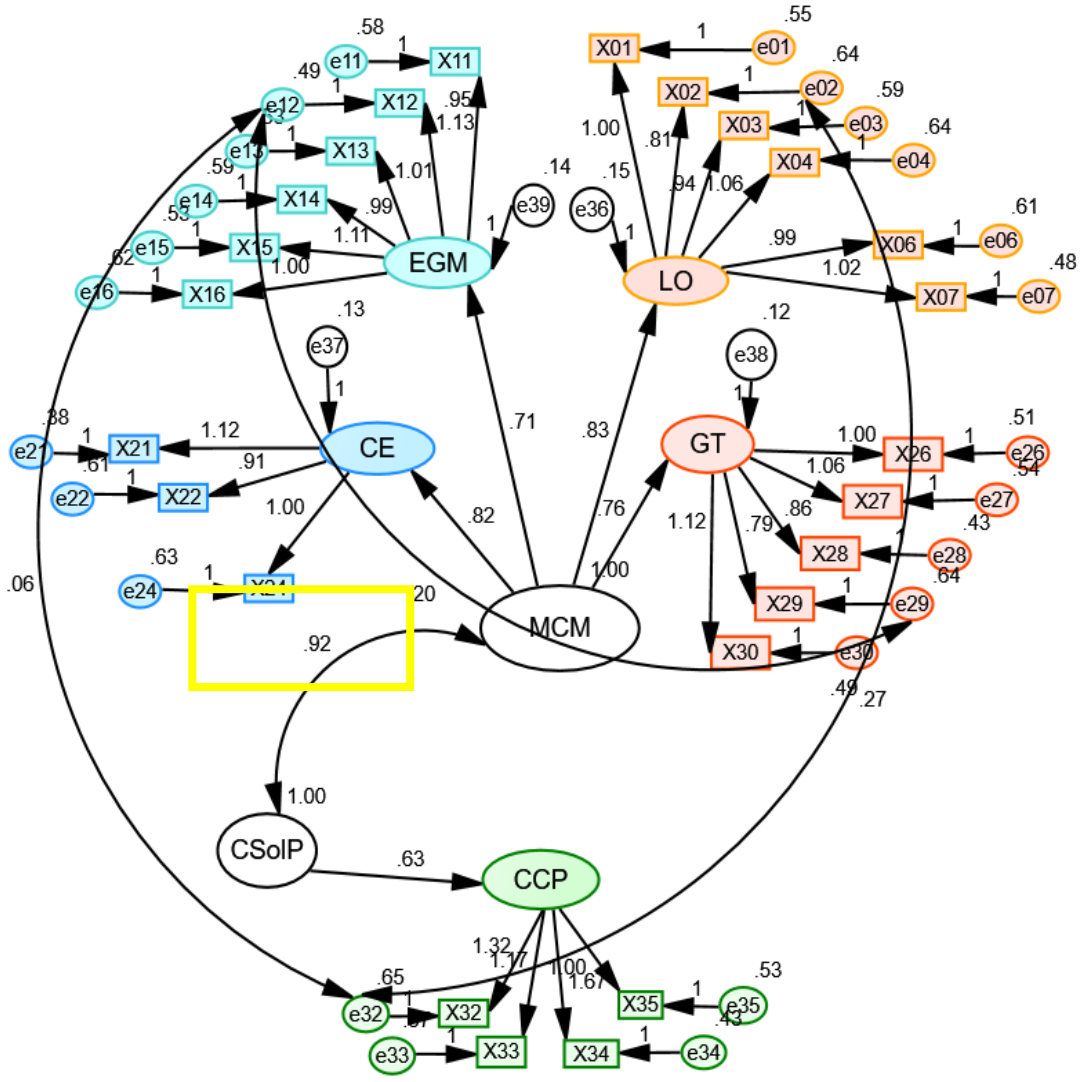
Tabla 46

Correlaciones de variable dependiente e independiente.

Varianzas (error)			Estimate
Calidad solución Purif	<-->	Mantenimiento Clase Mundial	.923
e12	<-->	e32	.101
e12	<-->	e29	.351
e02	<-->	e32	.421

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Figura 25 Correlación entre MCM y CSolP.
Correlación entre MCM y CSolP.



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

4.5.2. Hipótesis específica 1

Como contexto en una refinería de zinc en el Perú, se tiene que:

H0: La estrategia y gestión de mantenimiento de clase mundial no inciden en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.
H1. La estrategia y gestión de mantenimiento de clase mundial inciden en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.

Para corroborar la incidencia de las variables se verifica el valor de correlación logrado en el modelo de primer orden modificado, por tanto, en la Figura 26 se muestra que la correlación entre Estrategia y gestión de mantenimiento con la Calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación guardan una relación positiva de 0.80, con ello se comprueba la hipótesis específica de la presente investigación.

Así también, de la simulación con SPSS V26 se obtuvo el p-valor, cuyos valores son menores a α=5%, tal como se observa en la Tabla 47, lo cual es suficiente para dar como rechazada la hipótesis nula (H0) por ende, dar como aceptada la hipótesis alternativa H1.

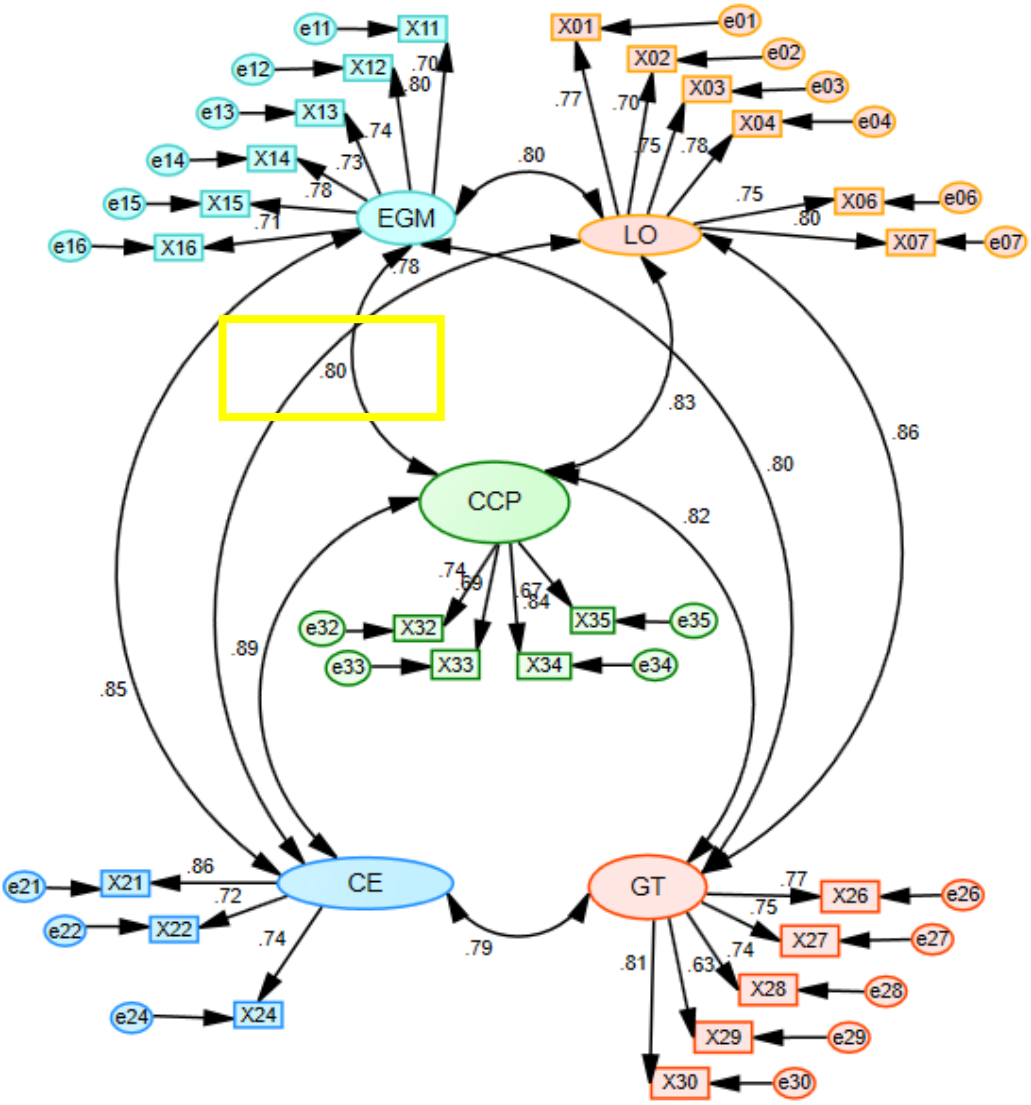
Tabla 47

Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado.

Variables latentes			Estimate
Estrategia y Gestión Mantenimiento	<-->	Calidad y confiabilidad del proceso	.795 (0.8)

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Figura 26
Correlación entre EGM y CCP.



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

4.5.3. Hipótesis específica 2

Como contexto en una refinería de zinc en el Perú, se tiene que:

H0: La confiabilidad de equipos no influye en la calidad y confiabilidad de proceso de la etapa de purificación en la etapa de purificación.

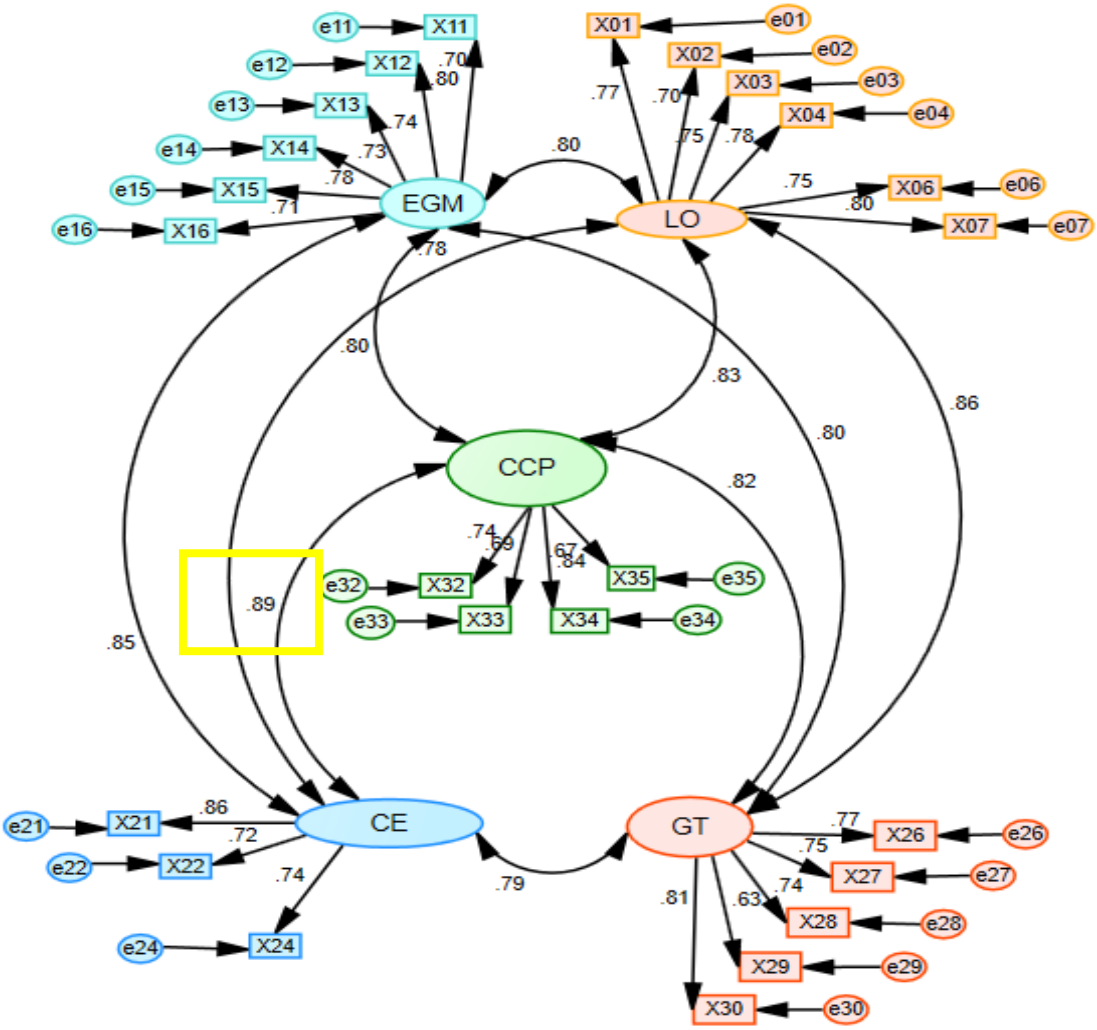
H2: La confiabilidad de equipos influye en la calidad y confiabilidad de proceso de la etapa de purificación en la etapa de purificación.

Para comprobar la influencia de las variables se verifica el valor de correlación obtenido en el modelo de primer orden modificado, siendo así que, la correlación entre Confiabilidad de Equipos y la calidad y confiabilidad de proceso de la etapa de purificación guardan un valor positivo de 0.894, como se muestra en la Figura 27, con ello se corrobora la hipótesis específica de la investigación.

El p-valor, menores a α=5%, mostrado en la Tabla 48, en consecuencia, esta evidencia es suficiente para dar como rechazado a la hipótesis nula (H0) y aceptado la hipótesis alternativa H2.

Figura 27

Correlación entre CE y CCP.



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

Tabla 48

Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado.

Variables latentes			Estimate
Confiabilidad_de_Equipos	<-->	Calidad_y_confiabilidad_del_proceso	.894

Nota. Cuadro elaborado por el autor.

4.5.4. Hipótesis específica 3

Como contexto en una refinería de zinc en el Perú, se tiene que:

H0: El liderazgo y la organización en la gestión de mantenimiento de clase mundial no inciden en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.

H3: El liderazgo y la organización en la gestión de mantenimiento de clase mundial inciden en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.

Para comprobar la incidencia de las variables se evalúa el valor de correlación obtenido en el modelo de primer orden modificado. En efecto, en la Figura 28, se expone que el valor de correlación entre Liderazgo y organización y la calidad y confiabilidad de proceso de la etapa de purificación mantienen un valor positivo de 0.832, en consecuencia, es comprobada la hipótesis específica de la investigación.

Así también, de la simulación con SPSS V26 se obtuvo el p-valor, cuyos valores son menores a α=5%, tal como se expone en la Tabla 49, por tanto, hay evidencia suficiente para dar por rechazada a la hipótesis nula (H0) y tomar por aceptada a la hipótesis alternativa H3.

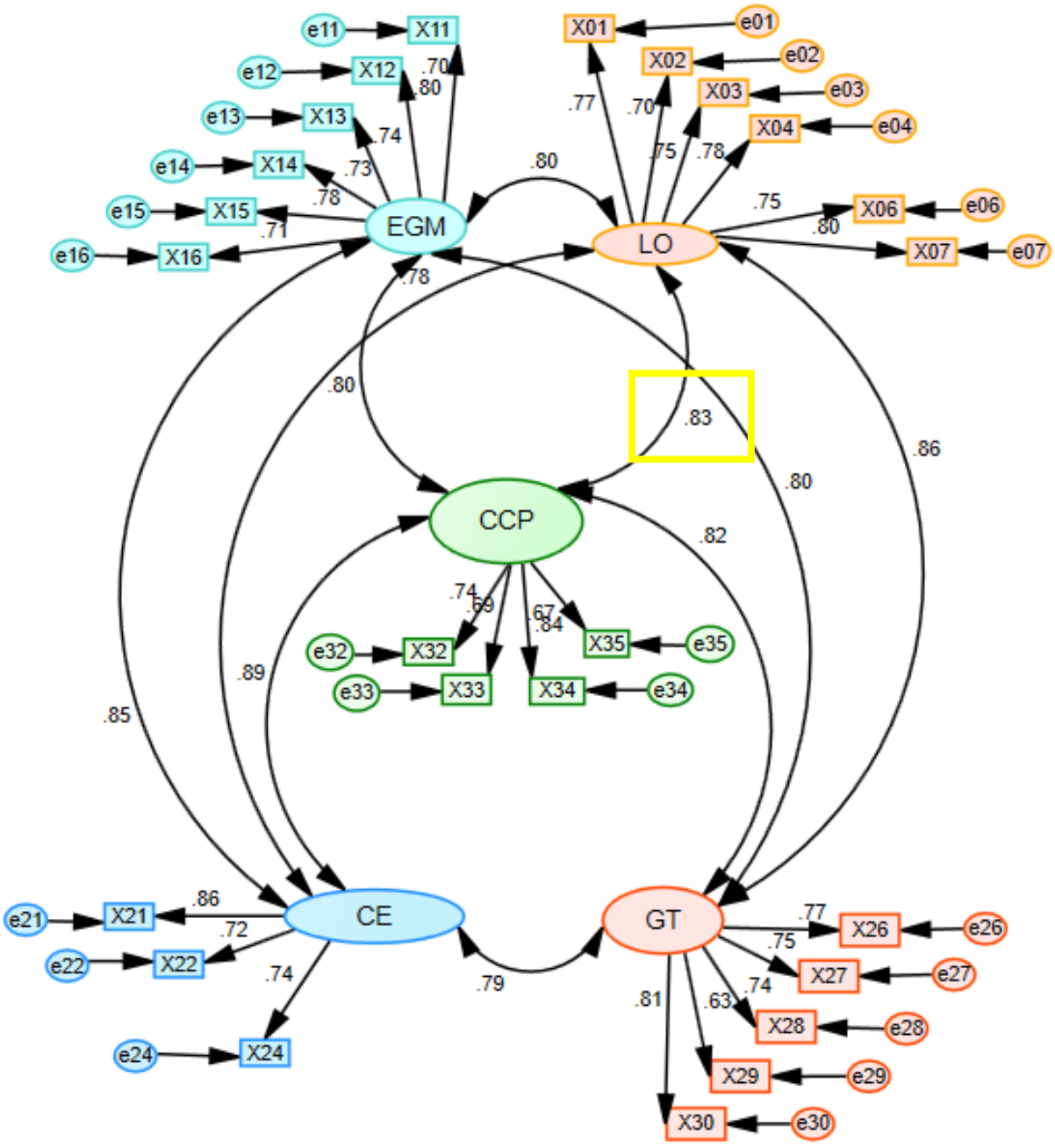
Tabla 49

Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado.

Variables latentes			Estimate
Liderazgo_y_Organización	<-->	Calidad_y_confiabilidad_del_proceso	.832

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Figura 28
Correlación entre LO y CCP.



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

4.5.5. Hipótesis específica 4

Como contexto en una refinería de zinc en el Perú, se tiene que:

H0: La gestión de trabajo y CMMS del mantenimiento de clase mundial no causa un impacto significativo en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.

H4: La gestión de trabajo y CMMS del mantenimiento de clase mundial causa un impacto significativo en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación.

En la comprobación de la incidencia de las variables se evalúa la correlación obtenida en el modelo de primer orden modificado. En la Figura 29 se expone que la correlación entre Gestión del trabajo y CMMS, y la calidad y confiabilidad de proceso de la etapa de purificación presentan un valor positivo de 0.824, con ello se comprueba la hipótesis específica generada en la investigación.

Así también, de la simulación realizada con SPSS V26 se obtuvo el p-valor, cuyos valores son menores a α=5%, como se presenta en la Tabla 50, en consecuencia, hay evidencia suficiente para dar por rechazada la hipótesis nula (H0) y dar por aceptada la hipótesis alternativa H4.

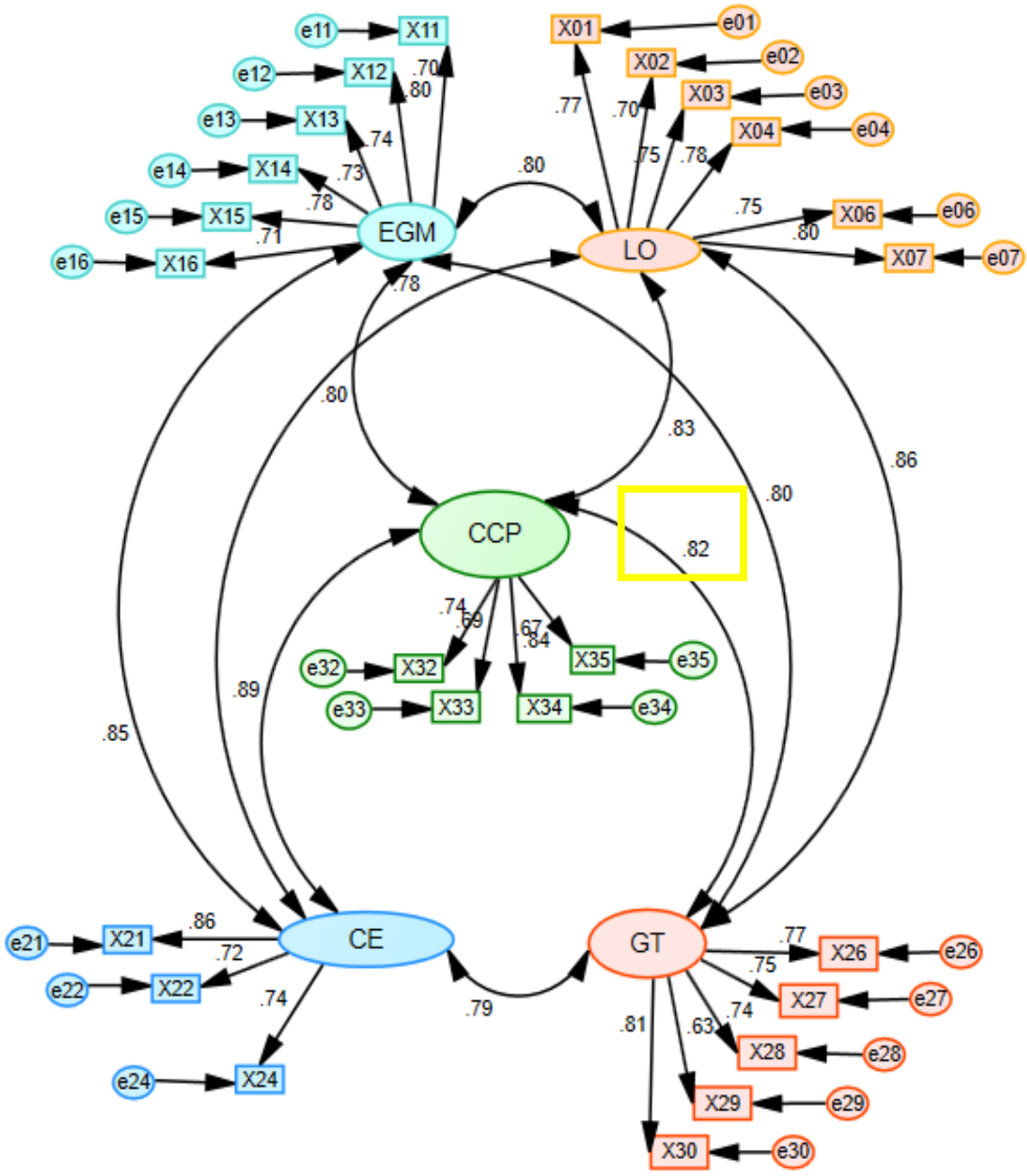
Tabla 50

Correlaciones en las variables latentes del modelo modificado.

Variables latentes			Estimate
Gestión_del_trabajo_y_CMMS	<-->	Calidad_y_confiabilidad_del_proceso	.824

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Figura 29
Correlación entre GT y CCP.



Nota. Gráfico de modelo creado desarrollado por el autor.

4.6. Presentación de resultados

A continuación, se detalla los resultados hallados en el presente capítulo:

En el análisis factorial exploratorio se obtuvo siete dimensiones de los cuales se definió cinco de acuerdo la cantidad de reactivos asociados al factor, según Lloret et al. (2014) en su trabajo de investigación señaló que, quedan sin efecto las dimensiones que cuentan con un número de reactivos menor a 3. En efecto, la selección de dimensiones se basó en los cinco pilares que señala la SMRP (s.f.), dichos componentes son: gestión y negocio, confiabilidad de proceso de fabricación, confiabilidad de equipos, liderazgo y organización, y gestión de trabajo.

La fuente principal de adquisición de datos corresponde al empleo del instrumento de medición, en este caso una encuesta con retroalimentación del personal del área de mantenimiento, operación y seguridad industrial de una refinería de zinc en el Perú. Para determinar la validez de dicho instrumento se realizó el análisis de fiabilidad relacionando el coeficiente de alfa de Cronbach, donde se obtuvo un valor de 0.973. Dicho resultado, en comparación a lo señalado por Ho (2006), un valor de alfa alto (0,80 o superior), esto sugiere que todos los elementos son fiables y que toda la prueba es internamente coherente. Si el valor de alfa es bajo, entonces al menos uno de los ítems no es confiable y debe identificarse a través del procedimiento de análisis de ítems. Así también, en concordancia a lo indicado por Tavakol y Dennick (2011), dicho valor logrado del coeficiente es considerado como una relación muy alta. Por ende, se comprobó un instrumento fiable.

Para la validez del instrumento se realizó la prueba de KMO del conjunto total de datos de la investigación con el uso de software SPSS V26, donde se obtuvo el valor de KMO de 0.869, considerado como adecuado en comparación a lo indicado por Pizarro y Martínez (2020). En consecuencia, se comprobó un instrumento válido.

En la presente investigación, en la ejecución del modelo de ecuaciones estructurales, se lograron los índices de ajuste de bondad: Chi-cuadrado, CMIN/df, GFI, AGFI, SRMR, RMSEA, CFI, TLI, NFI, los cuales con mostrados en la Tabla 51. En concordancia con Sahoo (2019) dichos valores son útiles para entender la vinculación entre el modelo de covarianza observada y el modelo de covarianza estimada, por ello es necesario conocer las medidas de dichos índices.

Tabla 51

Índices de ajuste de modelo de ecuación estructural.

Índices	Chisq	χ2/df	GFI	AGFI	SRMR	RMSEA	CFI	NFI	TLI
Esperado	-	<5	0.90 - 1	0.90 - 1	0.05 – 0.08	<0.08	0.90 - 1	0.90 - 1	0.90 - 1
Ajustado 2do orden modificado	278.5	1.141	0.762	0.708	0.076	0.049	0.960	0.754	0.954

Nota. Cuadro elaborado por el autor.

El resultado de índice de Chi-cuadrado conseguido fue 278.5. Así, en el trabajo de Jöreskog y Sörbom (1993), sobre *LISREL 8: Structural Equation Modeling with the SIMPLIS Command Language,* corroboraron que un valor de chi-cuadrado pequeño representa un ajuste bueno y un valor de chi-cuadrado grande a un mal ajuste. De esta forma, se comprueba el buen ajuste del índice.

El resultado logrado de índice de mínima discrepancia (CMIN/DF) fue 1.141. En comparación a la investigación de García et al. (2021) el valor de CMIN/DF debe ser un valor pequeño, a menor índice mejor ajuste, los valores aceptables son de 2 a 5; así también, Hair et al. (2010) mencionan que mientras el χ2/df sea menor a 5 indica buen ajuste. De esta forma, se comprueba la validez del índice de ajuste.

El resultado alcanzado fue de 0.762, si bien Ho (2006) menciona en su libro que, el valor de GFI oscila de 0 (mal ajuste) a 1 (ajuste perfecto), se puede señalar que hay

cercanía al valor de ajuste perfecto, por tanto, se comprueba que el índice de ajuste es aceptable.

El valor de índice alcanzado de RMSEA fue de 0.049; no obstante, Browne y Cudek (1992) en su trabajo de investigación mencionan que, su rango de valor de 0.05 a 0.08 es considerado aceptable, valores que oscilan entre 0.08 a 0.10 representan un ajuste regular, y los valores mayores a 0.10 corresponden a un ajuste deficiente. Por tanto, se demuestra que el índice de ajuste es aceptable.

El resultado logrado del índice SRMR fue 0.076. Así, en el trabajo de investigación de Flores et al. (2017) expresan que, los valores inferiores a 0,05 representan un buen ajuste, y los que oscilan entre 0,05 y 0,08 corresponden a aceptable. En consecuencia, se comprueba que el índice de ajuste es aceptable.

El valor de índice alcanzado de NFI fue 0.754. No obstante, en el trabajo de investigación de Pacheco (2017), expresa que, la valoración de este índice oscila entre 0 y 1, se considera como aceptables aquellos valores superiores a 0.9. En consecuencia, se puede señalar que hay cercanía al valor de ajuste aceptable, por tanto, se comprueba la validez del índice de ajuste.

El resultado obtenido de TLI fue de 0.954. Así, Pacheco (2017) en su trabajo de investigación expresa que este índice oscila de 0 y 1, siendo valores superiores a 0.9 considerados como recomendables. De este modo, se comprueba que el índice de ajuste es aceptable.

El valor de índice obtenido de CFI fue 0.960. No obstante, Pacheco (2017) en su trabajo de investigación indica que el valor oscila desde 0 para un modelo con ajuste malo y 1 para un modelo con buen ajuste. De esta forma, se comprueba que el índice de ajuste es aceptable.

De lo expuesto en párrafos anteriores, en el desarrollo del modelo de ecuación estructural con aplicación de segundo orden se obtuvieron los índices con el mejor

ajuste. No obstante, para el contexto desarrollado en una refinería de zinc del sector industrial peruano, se observó que la correlación entre Gestión de Mantenimiento de Clase Mundial con respecto a la Calidad de solución en la etapa de purificación, conserva una correlación positiva, con influencia directa entre variables latentes cuyo valor es de 0.923, lo cual corrobora lo señalado por Cubdeck y MacCallum (2007) en su libro *Factor Analysis at 100* que, la correlación es consistente cuando es cercano a 1.00. Así también, esto comprueba lo señalado por Imam (2012) en su trabajo de investigación, que cuando la función de mantenimiento se desarrolla y gestiona adecuadamente, puede alcanzar una competitividad de clase mundial y es vital comprender los conceptos básicos del mantenimiento para avanzar hacia nuevos enfoques.

Las principales variables observadas para cada constructo se muestran en la Tabla 52 (valores estandarizados):

En la variable gestión de mantenimiento, con nivel de clase mundial, se detalla lo siguiente:

- X21: La suficiencia que desempeñan los indicadores actuales como estrategia de negocio para el aseguramiento de los activos físicos en cuanto a su capacidad, 0.853.
- X07: Los indicadores de clase mundial permitirían adoptar nuevas estrategias de mantenimiento y operación de la planta, 0.802.
- X12: Los activos físicos son dispuestos de forma disciplinada para su mantenimiento preventivo, 0.794
- X01: El conocimiento y habilidades del personal son suficientes para mantener y operar los activos físicos, 0.778.
- X15: La disponibilidad de repuestos ayudaría la rápida atención de fallas de los activos físicos, 0.776

En la variable de calidad de solución en la etapa de purificación, en el contexto de una refinería de zinc en el sector industrial peruano:

- X34: Cumplimiento del mantenimiento preventivo para disminuir las alteraciones de proceso 0.849.
- X30: Las inspecciones de seguridad y su incidencia en la mejor condición de seguridad para operar y mantener en planta 0.802.

Tabla 52

Pesos de regresión estandarizados - modelo 2do orden modificado.

Variables observadas < --	Variables latentes		Estimate
Calidad_y_confiabilidad_del_proceso	<--	Calidad_solución_Purif	1
Confiabilidad_de_Equipos	<--	Mantenimiento_CLASE_Mundial	0.916
Gestión_del_trabajo_y_CMMS	<--	Mantenimiento_Clase_Mundial	0.908
Liderazgo_y_Organización	<--	Mantenimiento_Clase_Mundial	0.908
Estrategia_y_Gestión_Mantenimiento	<--	Mantenimiento_Clase_Mundial	0.885
X21	<--	Confiabilidad_de_Equipos	0.853
X34	<--	Calidad_y_confiabilidad_del_proceso	0.849
X07	<--	Liderazgo_y_Organización	0.802
X30	<--	Gestión_del_trabajo_y_CMMS	0.802
X12	<--	Estrategia_y_Gestión_Mantenimiento	0.794
X01	<--	Liderazgo_y_Organización	0.778
X15	<--	Estrategia_y_Gestión_Mantenimiento	0.776
X04	<--	Liderazgo_y_Organización	0.773
X27	<--	Gestión_del_trabajo_y_CMMS	0.769
X26	<--	Gestión_del_trabajo_y_CMMS	0.762
X06	<--	Liderazgo_y_Organización	0.758
X24	<--	Confiabilidad_de_Equipos	0.749

Variables observadas < --	Variables latentes		Estimate
X03	<--	Liderazgo_y_Organización	0.747
X13	<--	Estrategia_y_Gestión_Mantenimiento	0.744
X28	<--	Gestión_del_trabajo_y_CMMS	0.74
X22	<--	Confiabilidad_de_Equipos	0.723
X14	<--	Estrategia_y_Gestión_Mantenimiento	0.72
X32	<--	Calidad_y_confiabilidad_del_proceso	0.719
X16	<--	Estrategia_y_Gestión_Mantenimiento	0.715
X11	<--	Estrategia_y_Gestión_Mantenimiento	0.707
X33	<--	Calidad_y_confiabilidad_del_proceso	0.701
X02	<--	Liderazgo_y_Organización	0.68
X35	<--	Calidad_y_confiabilidad_del_proceso	0.654
X29	<--	Gestión_del_trabajo_y_CMMS	0.638

Nota. Cuadro desarrollado por el autor.

Como contexto en una refinería de zinc en el Perú, se tiene que:
La correlación entre Estrategia y gestión de mantenimiento y la Calidad y confiabilidad de la etapa de purificación conservan un valor de 0.795, este valor es considerado como una correlación fuerte y perfecta, tal como es señalado por Martínez (2009) en su revista *El Coeficiente de Correlación de los Rangos de Spearman.*

La correlación entre Confiabilidad de Equipos y la Calidad y confiabilidad de la etapa de purificación mantienen un valor positivo de 0.894, es decir cuanto más se acerque el coeficiente a 1 más fuerte será la asociación en conformidad a lo indicado por Mendivelso y Rodríguez (2021) en su revista *Prueba no paramétrica de correlación de Spearman.*

La correlación entre Liderazgo y organización y la Calidad y confiabilidad de la etapa de purificación guardan un valor positivo de 0.832, lo cual corrobora lo señalado por

Cubdeck y MacCallum (2007) en su libro *Factor Analysis at 100* que, la correlación es consistente cuando es cercano a 1.00.

La correlación entre Gestión del trabajo y CMMS, y la Calidad y confiabilidad de la etapa de purificación guardan un valor positivo de 0.824, este valor es considerado como una correlación fuerte y perfecta, tal como es señalado por Martínez (2009) en su revista *El Coeficiente de Correlación de los Rangos de Spearman.*

CONCLUSIONES

1. En la prueba de validez del instrumento de medición se utilizó la prueba de KMO, obteniendo como resultado el valor de 0.869, siendo éste considerado como adecuado, cercano a 1 (Pizarro y Martínez, 2020). Así también, para el análisis de fiabilidad de los datos obtenidos del instrumento se utilizó el estadístico de Alpha de Cronbach con uso de software SPSS V26, dando como resultado el valor de Alfa de Cronbach de 0.973, considerado como relación muy alta (Tavakol y Dennick, 2011). Con la aplicación de ecuaciones estructurales y análisis factorial se logró demostrar la influencia positiva y directa de los factores: liderazgo y organización, confiabilidad de equipos, gestión de trabajo y CMMS, y estrategia y gestión de mantenimiento, en la gestión de mantenimiento de clase mundial, por tanto, corrobora a lo considerado por SMRP (s.f.) como pilares de mantenimiento de clase mundial.

   Se probaron la hipótesis general e hipótesis específicas de la investigación, desarrollado en el contexto de una refinería de zinc en el Perú, mediante el uso de la técnica de análisis factorial y ecuaciones estructurales:
   Hipótesis General:
   HG: Mediante el modelo de ecuación estructural de segundo orden se logró demostrar el nivel de correlación existente entre la gestión de mantenimiento de clase mundial (MCM) y la calidad de solución en la etapa de purificación, dicho valor es 0.923, mostrado en la Figura 25 y Tabla 43, este valor es considerado como una correlación fuerte y perfecta. Por tanto, la hipótesis queda confirmada.

   Hipótesis específicas:

- H1: La estrategia y gestión de mantenimiento de clase mundial inciden en la calidad y confiabilidad de proceso en la etapa de purificación de forma positiva con un valor de 0.795 (0.80), como se muestra en la Figura 26 y en la ecuación (36) EM=CCP*0.795. En consecuencia, la hipótesis resulta confirmada.

- H2: Así mismo, la confiabilidad de equipos influye en la calidad y confiabilidad de proceso de la etapa de purificación, con un valor de 0.894, mostrado en la Figura 27 y en la ecuación (39) CE= CCP*0.894. En efecto, la hipótesis resulta confirmada.

- H3: Por otro lado, el liderazgo y la organización en la gestión de mantenimiento de clase mundial inciden en la calidad y confiabilidad en la etapa de purificación, con un valor de 0.832, señalado en la Figura 28 y en la ecuación (37) LO=CCP*0.832. Con esto, la hipótesis resulta confirmada.

- H4: No obstante, la gestión de trabajo y CMMS del mantenimiento de clase mundial causa un impacto significativo en la calidad y confiabilidad en la etapa de purificación, con un valor de 0.824, remarcado en la Figura 29 y en la ecuación (38) GT=CCP*0.824. Por tanto, la hipótesis llega a ser confirmada.

RECOMENDACIONES

Sensibilizar a la gestión actual de mantenimiento en una refinería de zinc en el Perú respecto al impacto e influencia que representa la relación entre la gestión de mantenimiento con nivel de clase mundial con la calidad de solución en la etapa de purificación.

El método de análisis factorial y ecuaciones estructurales permitieron visualizar en una refinería de zinc en el Perú, la influencia del mantenimiento con nivel de clase mundial en la etapa de purificación, por tanto, se recomienda repetir estas técnicas en las demás etapas como Tostación, Lixiviación, electrometalurgia y Fusión y moldeo.

En la investigación se halló la correlación entre los pilares de mantenimiento y su influencia en la calidad de solución en la etapa de purificación, por tanto, bajo dichas correlaciones positivas y directas se recomienda fortalecer los cinco pilares de mantenimiento en la gestión del mantenimiento de la refinería de zinc en el Perú.

REFERENCIAS BIBILIOGRÁFICAS

Ángeles, R. (2009). *World Class Maintenance Management The 12 disciplines.* Editorial Rolly Angeles.

Arrustico J. (2020). Propuesta de una gestión de mantenimiento de clase mundial para incrementar la productividad en refinerías de petróleo en el Perú-2020. [Tesis Maestría. Universidad Privada del Norte. Lima]. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26149.

Bozağaç, I. (2010) *World Class Manufacturing o automobile industry and applications of autonomous maintenance in press shop* [Tesis de Maestría, Institute of Naturel and Applied Sciences, Adana – Turquía]. http://libratez.cu.edu.tr/tezler/7878.pdf

Browne, M.W. y Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. *Sage Journals*, 21(2), 230-258. https://doi.org/10.1177/004912419202100

Bustamante G. (2006). *Situación actual e implementación de mejoras en el mantenimiento mecánico de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso de planta San Miguel de Cementos Progreso S.A.* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0480_M.pdf

Calvopiña, D.M. (2017). *Modelo de gestión de calidad de los servicios turísticos de Rioabamba orientado a la competitividad y al desarrollo sostenible del Ecuador* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://hdl.handle.net/20.500.12672/7135

Cárcel, J. (2012). *Modelo de Mantenimiento Operativo en Explotación, orientado a la mejora de la Fiabilidad, basado en Técnicas de Gestión del Conocimiento*

[Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16549/tesisUPV3860.pdf

Chica G. (2009). *Modelo para Implementación de PMO (Planned Maintenance Optimization)* [Tesis de grado, Universidad EAFIT, Medellín – Colombia]. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4331/Gustavo_Chica_JuanGuillermo_Hernandez_2009.pdf

Contreras, R. (2010). *Modelo de Optimización en la Generación de Plantas Industriales, considerando las actividades de Mantenimiento y las condiciones ambientales mediante el uso de la Metodología de los algoritmos genéticos* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia – España]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7344/tesisUPV3166.pdf

Cudeck, R. y MacCallum, R.C. (2007). *Factor analysis at 100* (libro). London, Inglaterra: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Díaz, J. (2018). *Modelado de procesos de producción con ecuaciones estructurales: casos de estudio en la industria maquiladora* (México) [Tesis Doctoral, Universidad de La Rioja, España]. https://documat.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=184760

Espinoza C. (2014). *Metodología de Investigación Tecnológica, Pensando en Sistemas*. Segunda edición. Universidad Nacional del Centro del Perú.

Flores, O., Lajo Y., Zevallos, A., Rondán, P. L., Lizaraso, F. y Jorquiera, T. (2017). Análisis psicométrico de un cuestionario para medir el ambiente educativo en una muestra de estudiantes de medicina en Perú*. Rev Peru Med Exp Salud Pública*, *34*(2), 255-60. https://doi.org/10.17843/rpmesp.2017.342.2642

García, J. A., Flores, Y., Trujillo, P. E., Ávila, H., Gutiérrez, J. M. (2021). Análisis factorial confirmatorio del Cuestionario Integral de Practicas de Alimentación en madres mexicanas de niños preescolares. *Nutr Hosp*, 38(4), 827-832. DOI: http://dx.doi.org/10.20960/nh.03523

García, J., Romero, J. y Noriega, S. 2012. El éxito del mantenimiento productivo total y su relación con los factores administrativos. *Revista de Contaduría y Administración*, *57*(4), 173-196. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39524375009

Gardella M. (2011). *Mejora de Metodología RCM a partir del AMFEC e Implantación de Mantenimiento Preventivo y Predictivo en Plantas de Procesos.* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia – España]. https://riunet.upv.es/handle/10251/9686

González R. (2006), *Diseño Estrategia Operación Centrada en Confiabilidad para Minera Spence S.A.* [Tesis Maestría, Universidad de Chile, Santiago de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102824

Hair, J. F., Anderson, R. E., Babin, B. J., y Black, W. C. (2010). *Multivariate data analysis* (libro). Seventh Edition. Upper Saddle River, USA: Pearson Prentice Hall.

Ho, R. (2006). *Handbook of Univariate and Multivariate Data Analysis and Interpretation with SPSS* (libro). Rockampton, Australia: Chapman & Hall/CRC.

International Business Machines Coporation (s.f.). *SPSS Statistics*. Recuperado el 17 de noviembre de 2023 de https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/25.0.0?topic=analysis-factor-rotation

International Business Machines Coporation (s.f.). *SPSS Statistics*. Recuperado el 05 de Diciembre de 2023 de https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/27.0.0?topic=correlations-power-analysis-one-sample-spearman-correlation-test

Idhammar, C. (2019). *What Constitutes World-Class Reliability and Maintenance? An 18-Point Guide. (Artículo).* Carolina del Norte - Estados Unidos. https://www.reliableplant.com/Read/212/world-class-maintenance

Imam, S. F. (2012). *Developing Framework to Analyze World-Class Maintenance (WCM) Indicators: GAP Analysis to Highligth Challenges and Opportunities for the Norwegian Petroleum Industry* [Tesis Maestría, University of Stavanger. Noruega]. https://uis.brage.unit.no/uisxmlui/bitstream/handle/11250/182960/Imam%2C%20Syeda%20Fahmida.pdf

Imam S. F., Raza, J. y Chandima, R. (2013). *World Class Maintenance (WCM): Measurable indicators creating Opportunities for the Norwegian Oil and Gas industry.* Stavanger, Noruega: University of Stavanger. https://www.academia.edu/50051475/World_Class_Maintenance_WCM_Measurable_indicators_creating_opportunities_for_the_Norwegian_Oil_and_Gas_industry

Izaguirre R. (2014). *Propuesta para mejorar la planificación y Programación del Mantenimiento aplicado a la Empresa Siderúrgica del Perú.* [Tesis doctoral, Perú]. https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/800

Jöreskog, K.G. and Sörbom, D. (1993). *LISREL 8: Structural Equation Modeling with the SIMPLIS Command Language*. Hillsdale. USA: Lawrence Erlbaum Associates.

Lloret, S., Ferreres, A., Hernández, A. y Tomás, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de psicología*, *30*(3), 1151-1169. http://dx.doi.org/10.6018/analesps.30.3.199361

Manenzhe, M.T., Telukdarie, A. and Munsamy, M. (2023). Maintenance work management process model: incorporating system dynamics and 4IR technologies. *Journal of Quality in Maintenance, 29*(5), 88-119. https://doi.org/10.1108/JQME-10-2022-0063

Maya J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM.* [Tesis Maestría, Medellín – Colombia). https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/64727/98702383.2018.pdf

Martínez, R. M., Tuya, L. C., Martínez, M., Pérez, A. y Cánovas, A.M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman. *Revista Habanera de Ciencias Médicas,* *8*(2). https://revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/1531

Méndez, C. Rondón, M.A. (2012). Introducción al análisis factorial exploratorio. *Revista Colombiana de Psiquiatría, 41*(1), 197-207. DOI: 10.1016/S0034-7450(14)60077-9

Mendivelso, F. y Rodríguez, M. (2021). Prueba no paramétrica de correlación de Spearman. *Revista Médica Sanitas,* *24*(1), 42-45. https://doi.org/10.26852/01234250.578

Mishra, R., Babu, R., Gupta, G. y Mundra, N. (2015). Development of a framework for implementation of World-class Maintenance Systems using Interpretive

Structural Modeling approach. *Elsevier B.V., 26*, 424-429. https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.174

Mishra, P., Pandey, C.M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C. y Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Ann Card Anaesth*, *22*(1), 67-72. https://doi.org/10.4103/aca.aca_157_18

Moubray, J. (1997). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance)* (libro). 2da. Edición. Asheviille, North Carolina, USA. Editorial Aladon LLC.

Muller S. (2002). *How to Define World –class Maintenance. Artículo. Daniel Penn Associates.* Maryland, Estados Unidos. https://www.reliableplant.com/Read/29941/world-class-maintenance

NFPA 70E (2018). *Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo*. Edición 2018.

PDVSA, CIED. (1998). *Inspección basada en Riesgo.* Taller dictado en el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA. Caracas – Venezuela.

Parida, A. Kumar, U. (2006). Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *12*(3), pp. 239-251. https://doi.org/10.1108/13552510610685084

Pacheco, H. (2017). *Modelo de clima organizacional y su relación con el desempeño laboral en las PYMES hoteleras de Riobamba* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú]. https://hdl.handle.net/20.500.12672/6880

Pizarro, K. y Martínez, O. (2020). Análisis factorial exploratorio mediante el uso de las medidas de adecuación muestral KMO y Esfericidad de Bartlett para determinar factores principales. *Journal of Science and research*, 5, 903-924. https://doi.org/10.5281/zenodo.4453224

Quezada, N. (2010). *Metodología de investigación* (libro). 1era Edición. Lima, Perú. Editorial Macro E.I.R.L.

Ramos J. (2017). Modelo de Gestión de Calidad a través de la mejora continua en la manufactura de transformadores de distribución y potencia. [Tesis doctoral, Perú]. https://hdl.handle.net/20.500.12672/6781

Rivas E. (2006). *Modelo teórico de un Sistema de Gestión de Mantenimiento basado en los principios de la Gerencia de Proyectos.* [Tesis de Maestría, Caracas – Venezuela]. http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAQ9426.pdf

Sahoo, M. (2019). Structural Equation Modeling: Threshold Criteria for Assessing Model Fit. *Methodological Issues in Management Research: Advances, Challenges, and the Way* Ahead, 269-276. https://doi.org/10.1108/978-1-78973-973-220191016

Shivananda, N. K. (2015). *World Class Maintenance Management* (libro). New Delhi, India. Editorial McGraw Hill Education.

Smith A. y Hinchcliffe G. (2004). *"RCM – Gatewal to World Class Maintenance"* (libro). Burlington, USA. Editorial Elsevier Butterworth–Heinemann. PP337.

Society for Maintenance and Reliability Professionals (s.f.). *Guide to the Maintenance and Reliability body of knowledge*. Recuperado el 16 de noviembre de 2023 de https://smrp.org/SMRP-Library/Body-of-Knowledge

Society for Maintenance and Reliability Professionals (2009). *Guide to the Maintenance and Reliability body of knowledge* [Archivo PDF]. https://smrp.org

Soporte de Minitab® 21 (s.f.). *Estadística básica.* Recuperado el 12 de diciembre de 2023 de https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/normality-test/interpret-the-results/key-results/

Sun, B., Yang, C., Zhu, H., Li, Y. y Gui, W. (2018). Modeling, Optimization, and Control of Solution Purification Process in zinc Hydrometallurgy. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, *5*(2), 564-576. https://www.ieee-jas.net/en/article/doi/10.1109/JAS.2017.7510844

Sun Metals (s.f.). The Refining Process. https://www.sunmetals.com.au/

Thompson, B. (2004). *Exploratory and confirmatory Factor Analysis* (libro). Primera edición. Editorial British Library Cataloguing-in-Publication Data.

Trujillo, P.E., Flores, Y. Gomez, D.A., García, J.A., y Lara, B.J. (2020). Análisis de las Propiedades Psicométricas de la Escala de Comer Emocional (Emotional Eating Scale [EES-C]) en Adolescentes Mexicanos. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, *25*(1), 58-68. https://doi.org/10.14306/renhyd.25.1.1071

Tavakol, M. y Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, *2*, 53-55. https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd

Varela – Geis Á. (2018). *Innovación y desarrollo tecnológico de los procesos y técnicas de mantenimiento para las válvulas en buques de la última generación.* [Tesis doctoral, Catalunya – España]. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/121197

ANEXOS

Anexo 1. *Validación de instrumento de medición (encuesta).*

FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
UNIDAD DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Nombres y apellidos del validador: ELMER JAVIER FRANCO GONZALES
1.2. Institución donde labora: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa dentro del recuadro (X), según la calificación que asigna a cada uno de los indicadores.

1. Deficiente (Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador)
2. Regular (Si entre el 31% y 70% de los ítems cumplen con el indicador)
3. Buena (Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador)

Criterios	Aspectos de validación del instrumento Indicadores	1 D	2 R	3 B	Observaciones Sugerencias
Pertinencia	Los ítems ayudan a la medición de lo previsto en los objetivos de investigación			X	
Coherencia	Los ítem responden a lo que se debe medir en la variable y sus dimensiones			X	
Congruencia	Los ítems son congruentes entre sí y con el concepto que mide			X	
Suficiencia	Los ítems son suficientes en cantidad para medir la variable			X	
Objetividad	Los ítems se expresen en comportamientos y acciones observables			X	
Consistencia	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de la variable			X	
Organización	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores			X	
Claridad	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible para los sujetos a evaluar			X	
Formato	Los ítem están escritos respetando aspectos técnicos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez)			X	
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones, consigna opcionaes de repuesta bien definidas			X	
CONTEO TOTAL (Realizar conteo de acuerdo a puntuaciones asignadas a cada indicador)		A	B	C	Total

Coeficiente de validez: $\frac{A+B+C}{30} = \frac{0+0+30}{30} = 1$

Intervalos	Resultado
0,00 - 0,49	Validez nula
0,50 - 0,59	Validez muy baja
0,60 - 0,69	Validez baja
0,70 - 0,79	Validez aceptable
0,80 - 0,89	Validez buena
0,90 - 1,00	Validez muy buena

1

III. CALIFICACIÓN GLOBAL

Ubicar el coeficiente de validez obtenido en el intervalo respectivo y escribe sobre el resultado.

Lima, Setiembre de 2022

FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
UNIDAD DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Nombres y apellidos del validador : *José Luis Osorio Mayta*
1.2. Institución donde labora : *Refinería de Zinc en el Perú*

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa dentro del recuadro (X), según la calificación que asigna a cada uno de los indicadores.

1. Deficiente (Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador)
2. Regular (Si entre el 31% y 70% de los ítems cumplen con el indicador)
3. Buena (Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador)

Criterios	Aspectos de validación del instrumento Indicadores	1 D	2 R	3 B	Observaciones Sugerencias
Pertinencia	Los ítems ayudan a la medición de lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
Coherencia	Los ítem responden a lo que se debe medir en la variable y sus dimensiones.			X	
Congruencia	Los ítems son congruentes entre sí y con el concepto que mide.			X	
Suficiencia	Los ítems son suficientes en cantidad para medir la variable.			X	
Objetividad	Los ítems se expresen en comportamientos y acciones observables.			X	
Consistencia	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de la variable.			X	
Organización	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.			X	
Claridad	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible para los sujetos a evaluar.			X	
Formato	Los ítem están escritos respetando aspectos técnicos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).			X	
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones, consigna opcionaes de repuesta bien definidas.			X	
CONTEO TOTAL (Realizar conteo de acuerdo a puntuaciones asignadas a cada indicador)		A	B	C	Total

Coeficiente de validez: $\frac{A+B+C}{30} = \frac{0+0+30}{30} = 1$

Intervalos	Resultado
0,00 - 0,49	Validez nula
0,50 - 0,59	Validez muy baja
0,60 - 0,69	Validez baja
0,70 - 0,79	Validez aceptable
0,80 - 0,89	Validez buena
0,90 - 1,00	Validez muy buena
	1

III. CALIFICACIÓN GLOBAL

Ubicar el coeficiente de validez obtenido en el intervalo respectivo y escribe sobre el resultado.

Lima, Setiembre de 2022

Anexo 2. *Base de datos de la investigación.*

Encuestado	X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	X08	X09	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38	Area
Encuestado 01	3	4	3	1	1	2	2	4	2	2	4	5	5	4	5	4	5	3	4	5	5	5	5	5	3	3	4	3	5	2	5	5	2	4	5	4	5	1	Operaciones
Encuestado 02	4	4	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	2	3	4	3	4	3	4	4	2	2	2	3	3	2	2	2	2	3	3	3	4	3	Seguridad
Encuestado 03	3	4	4	5	5	3	3	5	3	4	3	4	3	3	3	4	5	3	3	5	4	4	3	3	3	5	5	3	5	4	5	5	4	5	5	3	3	3	Mantenimiento
Encuestado 04	1	2	3	1	1	1	3	3	3	1	1	3	3	2	1	3	3	2	1	2	1	1	1	3	1	2	2	1	3	2	1	3	3	3	3	3	1	3	Mantenimiento
Encuestado 05	3	4	2	4	3	2	3	4	4	3	2	2	4	2	3	2	3	2	3	4	2	2	2	2	4	4	3	3	3	2	4	2	3	4	2	2	3	3	Mantenimiento
Encuestado 06	4	3	4	3	5	5	5	5	4	5	3	4	5	4	3	5	5	4	5	5	4	4	5	4	4	5	4	4	3	5	5	3	3	5	5	5	4	4	Operaciones
Encuestado 07	2	1	1	3	3	1	3	1	2	1	3	3	2	2	2	2	1	2	1	2	3	2	2	1	2	3	3	3	3	3	1	2	1	2	1	3	2	2	Operaciones
Encuestado 08	3	4	4	4	2	2	2	4	4	4	4	3	3	3	4	4	2	2	2	3	2	4	2	3	3	4	4	4	4	3	3	3	2	3	2	3	3	4	Seguridad
Encuestado 09	5	4	5	5	3	5	4	5	3	5	5	3	4	5	5	5	5	5	5	4	5	3	3	5	5	3	4	4	5	3	5	5	4	5	3	4	3	3	Operaciones
Encuestado 10	2	3	1	3	2	1	2	2	2	2	2	1	1	3	1	3	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3	3	3	3	2	3	2	3	1	3	3	2	2	Seguridad
Encuestado 11	3	3	2	3	3	4	2	4	2	4	4	2	3	2	2	3	2	3	2	3	2	4	2	2	4	2	2	2	3	3	2	3	4	4	4	3	4	4	Mantenimiento
Encuestado 12	5	4	4	4	3	5	5	3	5	3	5	5	5	4	4	5	5	3	4	5	4	3	3	3	3	3	3	5	5	5	3	3	5	3	4	3	5	4	Mantenimiento
Encuestado 13	3	1	1	1	3	2	1	3	1	1	2	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	3	1	1	3	2	2	2	3	1	3	1	3	1	2	3	1	3	Mantenimiento
Encuestado 14	4	4	4	4	4	4	3	4	2	4	4	2	4	4	2	4	4	4	4	2	4	4	3	4	2	3	3	2	2	3	3	4	4	4	3	2	2	2	Mantenimiento
Encuestado 15	5	3	3	5	4	4	5	5	4	5	3	4	3	4	4	3	3	4	3	5	5	5	3	5	5	5	5	4	4	5	3	4	4	5	4	3	3	3	Mantenimiento
Encuestado 16	2	3	1	1	1	3	2	1	3	2	2	1	2	3	2	2	2	1	2	3	3	3	1	2	2	3	2	1	1	2	1	3	3	2	3	1	1	3	Mantenimiento
Encuestado 17	3	3	3	3	2	3	4	2	3	2	4	4	3	4	4	3	3	3	2	4	4	3	2	4	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	2	2	2	4	Seguridad
Encuestado 18	5	5	4	4	4	3	3	5	3	4	4	4	3	5	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	5	3	4	3	5	5	4	5	4	3	4	3	4	3	Operaciones
Encuestado 19	3	2	3	2	3	2	3	2	2	2	3	1	3	1	2	3	2	1	1	3	2	1	3	1	3	1	2	2	1	1	3	2	2	3	2	2	1	2	Seguridad
Encuestado 20	2	2	4	2	3	2	4	4	2	3	3	2	3	2	2	3	3	4	3	4	2	3	2	2	4	4	2	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	2	Operaciones
Encuestado 21	5	3	4	3	3	4	4	5	3	5	3	5	4	3	4	3	4	4	5	5	3	3	4	5	3	4	3	4	5	5	4	4	5	4	3	3	5	4	Mantenimiento
Encuestado 22	1	3	3	3	3	2	1	3	1	2	3	1	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	2	2	1	3	1	2	3	1	3	3	3	1	2	2	3	1	Mantenimiento
Encuestado 23	3	4	3	3	2	4	3	4	2	2	4	3	2	4	4	2	2	2	2	4	3	2	2	4	2	4	2	3	3	4	3	4	2	2	2	2	2	4	Mantenimiento
Encuestado 24	5	4	3	3	3	5	4	4	3	5	3	3	4	4	4	3	5	5	3	3	4	4	3	3	5	4	5	4	3	5	4	5	3	4	3	3	5	5	Mantenimiento
Encuestado 25	2	1	2	2	1	1	1	3	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	1	1	2	1	3	3	1	1	2	2	2	2	1	2	3	Mantenimiento

Anexo 2. *Base de datos de la investigación (continuación).*

Encuestado	X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	X08	X09	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38	Área
Encuestado 26	4	4	2	4	3	4	4	2	2	3	4	4	4	4	4	3	4	4	2	3	2	2	3	2	2	4	3	4	2	4	4	3	3	3	3	4	2	4	Mantenimiento
Encuestado 27	3	3	5	5	4	3	3	4	5	3	4	3	4	3	5	3	4	4	4	3	5	4	4	5	4	4	3	4	4	3	5	3	4	5	3	4	5	4	Operaciones
Encuestado 28	3	2	1	2	3	3	1	2	3	1	3	2	2	3	3	1	1	3	1	3	3	3	2	2	1	2	2	1	2	2	3	2	2	3	3	2	2	1	Mantenimiento
Encuestado 29	4	3	2	3	4	2	3	4	4	4	2	3	3	2	2	4	2	3	3	2	4	2	2	3	2	4	3	3	4	3	2	3	2	3	4	4	3	4	Mantenimiento
Encuestado 30	4	3	3	4	5	5	3	4	3	4	3	5	3	5	4	5	5	3	5	3	5	4	4	4	5	4	3	4	3	3	3	5	4	4	4	3	4	5	Mantenimiento
Encuestado 31	3	3	3	3	2	2	2	3	1	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2	1	2	1	3	1	1	2	1	3	2	3	3	2	2	1	2	3	1	1	Operaciones
Encuestado 32	3	2	4	4	4	3	3	2	3	3	4	3	4	3	2	3	2	2	3	4	2	2	2	4	2	2	3	3	3	3	4	2	2	2	3	3	4	4	Mantenimiento
Encuestado 33	3	3	3	5	3	4	4	4	3	5	4	5	5	3	3	5	4	3	3	4	5	3	5	5	4	5	5	3	4	5	4	3	5	5	5	4	3	3	Mantenimiento
Encuestado 34	2	1	2	2	3	2	1	1	1	2	2	2	2	3	1	1	3	2	3	3	2	3	3	3	1	2	1	1	3	2	1	1	1	1	3	3	3	2	Operaciones
Encuestado 35	2	2	2	2	3	2	3	4	2	4	4	3	4	4	4	2	4	3	4	2	3	4	4	4	3	2	4	4	3	3	2	2	3	2	3	3	2	2	Seguridad
Encuestado 36	5	4	5	5	5	5	5	5	3	4	4	3	5	5	3	4	4	5	5	5	4	4	4	4	3	5	5	5	4	4	5	3	3	3	3	4	5	4	Seguridad
Encuestado 37	1	2	2	1	3	3	1	1	1	1	1	2	3	2	3	1	3	2	2	2	1	1	1	3	2	1	2	2	3	2	2	1	1	1	3	2	1	1	Operaciones
Encuestado 38	4	2	4	2	2	4	4	4	2	2	2	4	4	4	3	2	2	2	2	2	3	4	4	3	4	3	2	2	2	2	2	3	2	2	4	3	3	4	Operaciones
Encuestado 39	3	5	4	4	3	5	3	3	3	5	3	4	3	4	5	5	5	5	4	5	5	5	3	3	4	3	4	3	4	3	4	5	3	3	5	3	3	4	Operaciones
Encuestado 40	1	1	1	1	1	3	2	2	3	3	2	1	3	3	2	2	1	3	1	2	2	1	3	3	1	1	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	Mantenimiento
Encuestado 41	2	4	2	2	4	4	3	3	4	3	4	3	4	2	3	3	2	2	3	3	2	4	2	3	4	2	2	2	4	3	4	2	3	2	4	2	2	2	Mantenimiento
Encuestado 42	3	3	5	3	5	3	4	5	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	5	4	3	3	3	5	5	5	5	4	5	5	4	3	4	4	3	3	4	4	Mantenimiento
Encuestado 43	3	2	3	1	2	2	3	3	2	2	1	1	3	1	2	2	1	2	3	2	3	3	3	3	3	1	3	1	3	2	2	3	2	1	2	3	1	3	Seguridad
Encuestado 44	2	2	2	4	3	4	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	2	3	3	3	2	2	2	2	3	3	2	3	3	4	3	3	4	3	4	4	2	2	Operaciones
Encuestado 45	5	4	4	5	5	5	5	5	4	5	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	5	3	3	4	5	5	3	4	5	3	5	5	3	5	5	5	3	3	Operaciones
Encuestado 46	1	3	2	3	3	2	2	2	3	3	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	3	2	2	3	Operaciones
Encuestado 47	4	3	3	3	3	4	3	2	4	4	2	2	2	3	2	3	4	2	3	3	2	4	4	3	2	3	4	4	4	2	3	2	2	2	3	4	4	4	Mantenimiento
Encuestado 48	3	4	3	3	3	4	5	4	3	4	5	3	4	5	3	5	5	4	5	5	4	3	4	5	5	4	5	4	3	5	5	3	3	3	4	3	4	4	Mantenimiento
Encuestado 49	2	1	2	2	2	2	2	1	1	3	2	3	3	3	2	3	2	3	2	2	3	2	1	3	3	3	1	3	3	3	2	1	1	1	2	2	3	3	Mantenimiento
Encuestado 50	4	3	4	3	2	4	3	2	2	2	4	3	4	2	4	3	4	4	3	3	2	3	2	2	4	4	2	3	3	3	2	3	2	4	3	3	4	4	Mantenimiento

Anexo 2. *Base de datos de la investigación (continuación).*

Encuestado	X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	X08	X09	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38	Area
Encuestado 51	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	3	4	4	4	5	5	4	5	5	5	4	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	5	3	3	3	4	4	5	Mantenimiento
Encuestado 52	2	2	3	3	2	3	3	3	2	1	3	1	1	3	2	1	2	3	1	3	3	3	3	2	3	2	3	3	1	3	2	2	1	2	3	3	1	1	Mantenimiento
Encuestado 53	3	4	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	4	4	4	3	3	2	4	4	2	3	3	3	4	4	4	2	4	4	Mantenimiento
Encuestado 54	5	3	5	5	5	5	5	4	5	5	3	4	5	4	4	3	5	5	3	3	4	5	5	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3	4	4	5	4	4	Operaciones
Encuestado 55	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3	1	2	2	3	2	3	3	1	1	1	3	2	1	3	1	3	2	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	2	Operaciones
Encuestado 56	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	2	2	3	4	4	2	4	4	4	2	4	3	3	3	2	3	2	2	2	4	4	3	3	4	4	4	Operaciones
Encuestado 57	3	5	5	5	5	4	5	4	5	3	3	3	3	5	4	3	3	5	3	4	5	4	4	3	5	4	4	3	3	5	5	4	4	4	4	3	5	5	Mantenimiento
Encuestado 58	1	3	2	2	3	3	2	1	3	3	3	3	3	3	1	2	2	2	1	3	3	2	2	1	2	2	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	Mantenimiento
Encuestado 59	4	4	4	4	4	4	2	4	3	3	2	2	4	2	4	4	2	2	2	3	3	2	4	2	3	3	2	3	2	4	2	3	2	2	4	4	2	2	Mantenimiento
Encuestado 60	3	4	3	4	4	3	3	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	4	3	5	5	3	5	4	4	4	4	4	5	5	3	4	4	5	3	3	3	Mantenimiento
Encuestado 61	3	1	2	1	2	3	2	1	3	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	3	3	2	3	3	1	2	2	2	3	1	2	3	2	3	2	3	Mantenimiento

Anexo 3. *Resultado de índices de ajuste de bondad de modelo ecuación estructural inicial.*

CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Default model	62	340.411	289	.020	1.178
Saturated model	351	.000	0		
Independence model	26	1243.755	325	.000	3.827

RMR, GFI

Model	RMR	GFI	AGFI	PGFI
Default model	.078	.734	.678	.605
Saturated model	.000	1.000		
Independence model	.599	.148	.080	.137

Baseline Comparisons

Model	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Default model	.726	.692	.946	.937	.944
Saturated model	1.000		1.000		1.000
Independence model	.000	.000	.000	.000	.000

Parsimony-Adjusted Measures

Model	PRATIO	PNFI	PCFI
Default model	.889	.646	.839
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	1.000	.000	.000

NCP

Model	NCP	LO 90	HI 90
Default model	51.411	9.454	101.612
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	918.755	814.320	1030.740

FMIN

Model	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Default model	5.674	.857	.158	1.694
Saturated model	.000	.000	.000	.000
Independence model	20.729	15.313	13.572	17.179

RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Default model	.054	.023	.077	.375
Independence model	.217	.204	.230	.000

AIC

Model	AIC	BCC	BIC	CAIC
Default model	464.411	565.865	595.285	657.285
Saturated model	702.000	1276.364	1442.917	1793.917
Independence model	1295.755	1338.300	1350.638	1376.638

ECVI

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Default model	7.740	7.041	8.577	9.431
Saturated model	11.700	11.700	11.700	21.273
Independence model	21.596	19.855	23.462	22.305

HOELTER

Model	HOELTER .05	HOELTER .01
Default model	59	62
Independence model	18	19

Minimization:	.017
Miscellaneous:	.364
Bootstrap:	.000
Total:	.381

Anexo 4. *Resultado de índices de ajuste de bondad de modelo ecuación estructural modificado.*

CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Default model	58	289.082	242	.020	1.195
Saturated model	300	.000	0		
Independence model	24	1129.689	276	.000	4.093

RMR, GFI

Model	RMR	GFI	AGFI	PGFI
Default model	.076	.751	.692	.606
Saturated model	.000	1.000		
Independence model	.609	.154	.080	.142

Baseline Comparisons

Model	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Default model	.744	.708	.947	.937	.945
Saturated model	1.000		1.000		1.000
Independence model	.000	.000	.000	.000	.000

Parsimony-Adjusted Measures

Model	PRATIO	PNFI	PCFI
Default model	.877	.652	.828
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	1.000	.000	.000

NCP

Model	NCP	LO 90	HI 90
Default model	47.082	8.507	93.881
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	853.689	753.827	961.091

FMIN

Model	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Default model	4.818	.785	.142	1.565
Saturated model	.000	.000	.000	.000
Independence model	18.828	14.228	12.564	16.018

RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Default model	.057	.024	.080	.325
Independence model	.227	.213	.241	.000

AIC

Model	AIC	BCC	BIC	CAIC
Default model	405.082	487.939	527.513	585.513
Saturated model	600.000	1028.571	1233.262	1533.262
Independence model	1177.689	1211.974	1228.350	1252.350

ECVI

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Default model	6.751	6.108	7.531	8.132
Saturated model	10.000	10.000	10.000	17.143
Independence model	19.628	17.964	21.418	20.200

HOELTER

Model	HOELTER .05	HOELTER .01
Default model	58	62
Independence model	17	18

Minimization:	.014
Miscellaneous:	.366
Bootstrap:	.000
Total:	.380

Anexo 5. *Resumen de ajuste de modelo de segundo orden*

RMR, GFI

Model	RMR	GFI	AGFI	PGFI
Default model	.079	.734	.682	.615
Saturated model	.000	1.000		
Independence model	.599	.148	.080	.137

CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Default model	57	344.731	294	.022	1.173
Saturated model	351	.000	0		
Independence model	26	1243.755	325	.000	3.827

Baseline Comparisons

Model	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Default model	.723	.694	.947	.939	.945
Saturated model	1.000		1.000		1.000
Independence model	.000	.000	.000	.000	.000

Parsimony-Adjusted Measures

Model	PRATIO	PNFI	PCFI
Default model	.905	.654	.855
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	1.000	.000	.000

NCP

Model	NCP	LO 90	HI 90
Default model	50.731	8.565	101.149
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	918.755	814.320	1030.740

FMIN

Model	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Default model	5.746	.846	.143	1.686
Saturated model	.000	.000	.000	.000
Independence model	20.729	15.313	13.572	17.179

RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Default model	.054	.022	.076	.395
Independence model	.217	.204	.230	.000

AIC

Model	AIC	BCC	BIC	CAIC
Default model	458.731	552.004	579.051	636.051
Saturated model	702.000	1276.364	1442.917	1793.917
Independence model	1295.755	1338.300	1350.638	1376.638

ECVI

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Default model	7.646	6.943	8.486	9.200
Saturated model	11.700	11.700	11.700	21.273
Independence model	21.596	19.855	23.462	22.305

HOELTER

Model	HOELTER .05	HOELTER .01
Default model	59	62
Independence model	18	19

Anexo 6. *Resumen de ajuste de modelo de segundo orden modificado.*

Model Fit Summary

CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Default model	56	278.452	244	.064	1.141
Saturated model	300	.000	0		
Independence model	24	1129.689	276	.000	4.093

RMR, GFI

Model	RMR	GFI	AGFI	PGFI
Default model	.076	.762	.708	.620
Saturated model	.000	1.000		
Independence model	.609	.154	.080	.142

Baseline Comparisons

Model	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Default model	.754	.721	.961	.954	.960
Saturated model	1.000		1.000		1.000
Independence model	.000	.000	.000	.000	.000

Parsimony-Adjusted Measures

Model	PRATIO	PNFI	PCFI
Default model	.884	.666	.848
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	1.000	.000	.000

NCP

Model	NCP	LO 90	HI 90
Default model	34.452	.000	79.782
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	853.689	753.827	961.091

FMIN

Model	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Default model	4.641	.574	.000	1.330
Saturated model	.000	.000	.000	.000
Independence model	18.828	14.228	12.564	16.018

RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Default model	.049	.000	.074	.522
Independence model	.227	.213	.241	.000

AIC

Model	AIC	BCC	BIC	CAIC
Default model	390.452	470.452	508.661	564.661
Saturated model	600.000	1028.571	1233.262	1533.262
Independence model	1177.689	1211.974	1228.350	1252.350

ECVI

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Default model	6.508	5.933	7.263	7.841
Saturated model	10.000	10.000	10.000	17.143
Independence model	19.628	17.964	21.418	20.200

HOELTER

Model	HOELTER .05	HOELTER .01
Default model	61	65
Independence model	17	18