

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION**  
**DOCTORADO EN CIENCIAS ADMINISTRATIVAS**



**EFFECTOS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINARIA  
DE PRODUCCIÓN EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA EN TIJUANA BC**

**TESIS**

Para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS ADMINISTRATIVAS**

Presenta

**Arturo Eliserio Hernández**

Director de Tesis

Dr. Robert Efraín Zarate Cornejo,

Codirector de Tesis

Dra. Marcela Solís Quinteros

Tijuana Baja California

Abril 2023

## INDICE

1	Capitulo I. Introducción.....	9
1.1	Introducción.....	9
2	Capitulo II. Marco Teórico.....	12
2.1	Antecedentes .....	12
2.2	Planteamiento del problema .....	13
2.3	Pregunta de Investigación .....	14
2.4	Objetivos de Investigación .....	14
2.4.1	Objetivo General. ....	14
2.4.2	Objetivos Específicos .....	15
2.5	Hipótesis de Investigación.....	15
2.6	Justificación.....	16
2.7	Teorías, Modelos y Trabajos previos del objeto de estudio .....	17
2.8	Estado del arte actual.....	20
2.9	Disponibilidad, MTBF y MTTR de maquinaria .....	26
2.10	Tecnologías básicas de la Industria 4.0 .....	32
2.10.1	Big Data .....	33
2.10.2	Simulación .....	33
2.10.3	Sensores Inteligentes.....	34
2.10.4	Internet Industrial de las Cosas (IIOT) .....	34
2.10.5	Computación en La Nube .....	34
2.10.6	Manufactura Aditiva (3D).....	35
2.10.7	Realidad Aumentada (RA).....	35
2.10.8	Inteligencia Artificial (AI) .....	35
2.12	Retos futuros en la Digitalización Industrial .....	40
2.13	Escenarios Futuros en la Digitalización Industrial .....	40
2.14	Marco Contextual .....	41
2.14.1	Macro Contextualización .....	41
2.14.2	Meso Contextualización.....	45
2.15.1	Micro Contextualización.....	51
3	Capitulo III. Metodología.....	54

3.1	Introducción.....	54
3.2	Variable Dependiente .....	54
3.3	Variables Independientes .....	54
3.3.1	Variable independiente – a) Presupuesto para la digitalización de los procesos de mantenimiento en la industria manufacturera .....	55
3.3.2	Variables independientes – b) MTTR, c) MTBF .....	55
3.3.3	Variable independiente – d) Gestión y Utilización de Estrategias de Mantenimiento .....	55
3.3.4	Variable independiente – e) Tecnologías 4.0 incorporadas a la Estrategia de Mantenimiento.....	56
3.3.5	Variable independiente – f) Conocimiento sobre la industria 4.0 siendo utilizada en los procesos de mantenimiento de la industria manufacturera .....	56
3.3.6	Variable Independiente – g) Nivel Organizacional (Estructura) del departamento de mantenimiento .....	57
3.4	Tipo de Investigación .....	60
3.4.1	Diseño y descripción del cuestionario.....	61
3.4.2	El universo de población y la selección de la muestra .....	66
3.4.3	Proceso de recolección de datos .....	68
3.4.4	Metodología de análisis de los datos obtenidos .....	68
3.5	Formulación del Modelo de análisis y la metodología.....	73
3.6	Matriz Metodológica. ....	77
4	Capitulo IV. Desarrollo .....	79
4.1	Introducción.....	79
4.2	Análisis Preliminar .....	79
4.3	Análisis Factorial Exploratorio. ....	79
4.4	Análisis de Medición Confirmatorio.....	83
4.4.1	Estimación del modelo .....	93
5	Capitulo V. Resultados Finales y Conclusiones .....	98
5.1	Consideraciones.....	98
5.2	Conclusiones .....	98
5.3	Hallazgos de la investigación cuantitativa y contraste de la hipótesis general .....	99
5.4	Contribuciones y Limitaciones del Estudio.....	105
5.5	Futuras líneas de Investigación .....	106
5.5.1	Líneas de investigación sugeridas .....	106

**Índice de Tablas**

Tabla 1. Perspectivas de la Industria 4.0 ..... 21

Tabla 2. Cuadro de Mando Integral Procesos de Mantenimiento ..... 24

Tabla 3. Estrategias de la Gestión del mantenimiento industrial..... 27

Tabla 4. Búsqueda de literatura científica en la WOS (Web Of Science - Clarivate)..... 36

Tabla 5. Resultados de las búsquedas de palabras clave de: Industry 4.0, Maintenance ..... 37

Tabla 6. Resultados de las búsquedas de palabras clave de: Industry 4.0, Maintenance, Availability ..... 38

Tabla 7. Resultados de las búsquedas de palabras clave de: Industry 4.0, Maintenance, Machinery Availability..... 39

Tabla 8. ¿Qué herramientas y tecnologías está utilizando actualmente para acceder, analizar y aprovechar los datos de sus activos? ..... 41

Tabla 9. Una comparación de la Industria 4.0 y la visión de la Industria 5.0 ..... 43

Tabla 10. Los 5 primeros lugares de los sectores industriales con mayor madurez digital en 2019 y 2020 ..... 44

Tabla 11. Directorio de Empresas Manufactureras en Tijuana BC ..... 52

Tabla 12. Instrumento para la obtención de datos. .... 62

Tabla 13. Codificación y descripción de variables medidas en el cuestionario ..... 63

Tabla 14. Distribución por número de empleados ..... 67

Tabla 15. Empresas Seleccionadas para la muestra general y que responden al cuestionario por sectores de actividad..... 67

Tabla 16. Ficha técnica de la investigación ..... 68

Tabla 17. Resultados del análisis de coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach para nuestra muestra ..... 71

Tabla 18. Matriz Metodológica ..... 78

Tabla 19. Resultados del análisis factorial exploratorio para el grupo de Conocimiento y Gestión..... 80

Tabla 20. Resultados del análisis factorial exploratorio para el grupo de Madurez..... 80

Tabla 21. Prueba de KMO y Bartlett ..... 81

Tabla 22. Resultados del análisis factorial exploratorio para todas las variables..... 82

Tabla 23.	Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio para el factor GESTION .....	85
Tabla 24.	Recalculo de Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio para el factor GESTION.	85
Tabla 25.	Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio para el factor GESTION .....	86
Tabla 26.	Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio para el factor MADUREZ .....	87
Tabla 27.	Tipos de variables contenidas en el modelo desarrollado .....	88
Tabla 28.	Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio .....	88
Tabla 29.	Matriz de Correlaciones entre las variables de los dos factores Conocimiento-Gestión y Madurez .....	89
Tabla 30.	Correlaciones Validez Convergente para el Factor de GESTION .....	96
Tabla 31.	Correlaciones Validez Convergente para el Factor de MADUREZ.....	97
Tabla 32.	Resultado de parámetros estimados del modelo propuesto para el constructo de la hipótesis general de la investigación. ....	102

## **Índice de Figuras**

Figura 1.	Historia de las Revoluciones Industriales.....	10
Figura 2.	Factores Críticos para una implementación exitosa de mantenimiento predictivo 4.0 .....	19
Figura 3.	Distribución del área de aplicación de cada tecnología.....	22
Figura 4.	El papel crítico del Mantenimiento para la DISPONIBILIDAD de la maquinaria dentro del proceso de producción de la industria manufacturera .....	26
Figura 5.	Efecto de la implementación de nuevas tecnologías empresariales en los métricos de desempeño de las empresas (% de manufactureras con una mejora de rendimiento parcial o significativo).....	29
Figura 6.	Procesos en los que se han aplicado dispositivos inteligentes y/o inteligencia incrustada (porcentaje de manufactureras).....	30
Figura 7.	Impacto de la industria 4.0 en las plantas y procesos sobre la productividad y la rentabilidad en el último año (porcentaje de industrias manufactureras).....	31
Figura 8.	País o región donde se ubican las empresas (% de manufactureras).....	31
Figura 9.	Resultados al aprovechar las tecnologías de la industria 4.0 (encuestas realizadas a más de 400 empresas manufactureras en 24 países y en 19 sectores de productos) .	32
Figura 10.	Estado de la Cadena de Suministro en Industria 4.0 por sector en LAC.....	46

Figura 11. Nivel tecnológico de equipo y sistemas de procesos productivos industria electrónica Baja California en 2017.....	47
Figura 12. Nivel de madurez en las competencias para el uso de herramientas digitales de los ingenieros. ....	48
Figura 13. Transición Física a Digital por empresa. ....	48
Figura 14. Indicadores de Flexibilidad .....	49
Figura 15. Relación de Variable Dependiente e Independientes para la Confiabilidad Operacional de los Departamentos de Mantenimiento.....	51
Figura 16. Modelo Teórico, el Proceso productivo y la Disponibilidad como contribuidor crítico. ....	58
Figura 17. Operacionalización de las Variables observadas y sus indicadores. ....	59
Figura 18. Modelo teórico Factorial de 2 niveles a modo ejemplo, con una (1) variable dependiente y siete (7) variables independientes, cada una de ellas medidas a través de varias subvariables observadas. ....	74
Figura 19. Ejemplo de Diagrama de relaciones de un nivel .....	76
Figura 20. Desarrollo de la ecuación matricial correspondiente al ejemplo planteado .....	77
Figura 21. Modelo confirmatorio de la dimensión de Gestión del modelo estandarizado. ....	84
Figura 22. Modelo confirmatorio de la dimensión de Madurez del modelo estandarizado.....	86
Figura 23. Modelo confirmatorio de las dimensiones Conocimiento-Gestión (Gestión) y Madurez del modelo estandarizado. ....	91
Figura 24. Modelo confirmatorio de las dimensiones Conocimiento-Gestión (Gestión) y Madurez del modelo no estandarizado. ....	92
Figura 25. Modelo de regresión simple .....	93
Figura 26. Modelo matricial del constructo conteniendo los dos factores identificados. ....	95
Figura 27. Valores del Constructo aceptado de los factores de GESTION y MADUREZ mediante el análisis estructural con el software AMOS 26.....	101

## **Índice de Anexos**

Anexo 1. Análisis de Fiabilidad Alfa de Cronbach. Resultados obtenidos mediante el programa SPSS 23 .....	118
Anexo 2. Análisis Factorial Exploratorio. Resultados obtenidos mediante el programa estadístico SPSS 23. Todos los factores.....	119
Anexo 3. Análisis Factorial Exploratorio del modelo inicial propuesto .....	121
Anexo 4. Análisis Factorial Confirmatorio Modelo Estructural para el modelo considerando los dos factores de GESTION y MADUREZ juntos. Resultados obtenidos mediante el software SPSS AMOS 26.....	122
Anexo 5. Correlaciones de Pearson para los factores de Gestión y Madurez .....	131

Anexo 6. Prueba de Normalidad .....	133
Anexo 7. Análisis Factorial Confirmatorio para el factor de GESTION, realizando la 2ª corrida de análisis, de acuerdo con las sugerencias indicadas por el resultado obtenido mediante el software AMOS 26. ....	134
Anexo 8. Análisis Factorial Confirmatorio para el factor de MADUREZ, realizando la 2ª corrida de análisis, de acuerdo a las sugerencias indicadas por el resultado obtenido mediante el software AMOS 26. ....	141
Anexo 9. Respuestas obtenidas mediante el instrumento de medición y transformadas mediante el software SPSS 23 .....	148
Anexo 10. Resumen de respuestas a cada pregunta obtenidas a través de la plataforma Surveymonkey.....	149

*A Paloma,  
Mi amada esposa,  
Siempre apoyándome en todos mis emprendimientos.  
Sin ella, esto no hubiera sido posible.*

## Agradecimientos

A mis tutores de tesis por valiosa colaboración a lo largo del desarrollo de esta investigación y cuyos conocimientos y experiencia han sido de mucho valor para ir puliendo paso a paso la elaboración de esta tesis. Muchas gracias Dr. Robert Zarate Cornejo por fungir como mi Director de tesis, de igual manera muchas gracias Dra. Marcela Solís Quinteros como mi Co-Directora de tesis. Sus observaciones han hecho posible avanzar en esta investigación de manera rápida y clara.

Al Dr. Juan B. Morales de la Garza por su valioso tiempo y esfuerzo en ayudarme y conectarme con las personas y fuentes adecuadas, para lograr obtener mayor cantidad de respuestas en el proceso de difusión de la encuesta de mi instrumento de obtención de datos. Sin duda, de no haber tenido su valioso aporte, habría sido mucho más difícil y lento el acercamiento con las fuentes puntuales de información. Muchísimas gracias.

Gracias, gracias muy especiales a ARHITAC, Asociación de Recursos Humanos de la Industria en Tijuana, A.C. Especialmente a Gaby, directora de Arhitac, a Paulina Mandujano de Coordinación operativa, Orlando Ruiz del departamento de Comunicación. Su contribución en difundir mi encuesta entre las diferentes maquiladoras de Tijuana BC, fue sin duda una aportación clave y de gran peso para la obtención de los datos para esta investigación. Mi más profundo agradecimiento a todos en esta organización.

Finalmente, a Gerardo Trujillo, un profesional y consultor ampliamente experimentado en el campo del mantenimiento industrial, su valioso tiempo y aporte en la revisión y validación del instrumento de medición, fue de gran importancia al conocer y comprender la intención y esencia de las preguntas seleccionadas, aportando sus comentarios y sugerencias en el correcto planteamiento de estas. Muchísimas gracias.

## 1 Capítulo I. Introducción

### 1.1 Introducción

Hoy en día, en pleno auge de la Industria 4.0, existe una industria con un marcado arraigo de aplicaciones tradicionales, ejecutadas mayormente de forma manual para el mantenimiento en los equipos y maquinaria dentro de las empresas manufactureras a nivel industrial. Estas prácticas contribuyen a una menor habilidad de diagnóstico oportuno de las fallas de equipos, acusando así a una pobre disponibilidad de la maquinaria, impactando negativamente la productividad, e incrementando los costos operativos. Dice Chen, (2017) que “las decisiones de los procesos industriales han venido a ser mucho más difíciles debido a la gran cantidad de datos y necesidad de procesarlos basadas en inteligencia computacional”. De aquí que la base medular para una correcta estrategia comienza con los datos, según Bradbury et al., (2018) indica que “los procesos digitales se alimentan de los datos, y es por eso la importancia de establecer una red troncal de datos robusta es un habilitador fundamental para la confiabilidad digital y el mantenimiento”. Es bien sabido que, dentro de la industria de fabricación de cualquier tipo de producto, es muy importante contar con una alta disponibilidad de la maquinaria para su utilización en los procesos empleados para la fabricación de los productos del negocio. La disponibilidad de la maquinaria se puede definir como: El desempeño adecuado de la función de la máquina para la cual fue diseñada, en un momento determinado y bajo las condiciones establecidas. Asimismo, Morad et al., (2014) manifiesta que “La disponibilidad es la probabilidad de que un componente opere en el tiempo previsto para su utilización”. La implementación de las tecnologías de la industria 4.0 en los procesos de mantenimiento, puede aportar una ventaja competitiva a las organizaciones, ya que la monitorización inteligente de la maquinaria genera datos valiosos en tiempo real, que ayudan a la toma de decisiones oportunas y estratégicas del mantenimiento, enfocadas al incremento sustentable de la disponibilidad de la maquinaria. La industria 4.0 representa la nueva revolución industrial en la que combina técnicas avanzadas de producción y procesos avanzadas con tecnologías inteligentes. El concepto de la Industria 4.0 se presentó inicialmente durante la Feria de Hannover en 2011; además, se anunció oficialmente en 2013 como una iniciativa estratégica alemana para asumir un papel pionero en las industrias que actualmente están revolucionando el sector manufacturero (Xu et al., 2018). Las tecnologías centrales de la Industria 4.0 según Bordeleau et al., (2018) “incluye sensores,

protocolos de comunicación, computación en la nube, sistemas ciber-físicos, fabricación aditiva, inteligencia de negocios, big data y otras tecnologías emergentes”

En este proceso de la revolución industrial, las soluciones digitales están disponibles, listas para ser adaptadas e incorporadas a los múltiples procesos de la manufactura, cadena de suministro, mantenimiento, etc., ya sea digitalizando y automatizando o conjuntando las actuales capacidades para una mayor eficiencia. Las tecnologías más mencionadas en la literatura de la industria 4.0 y mayormente enfocadas a sistemas de manufactura inteligente son: Inteligencia Artificial (AI), Sensores Inteligentes, Computación en la Nube, Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Impresión 3D, Hologramas, Maquinaria y Vehículos Autónomos, Ahorro de Energía, Nanotecnología, Cobots (Robots Colaborativos) Ver figura 1.

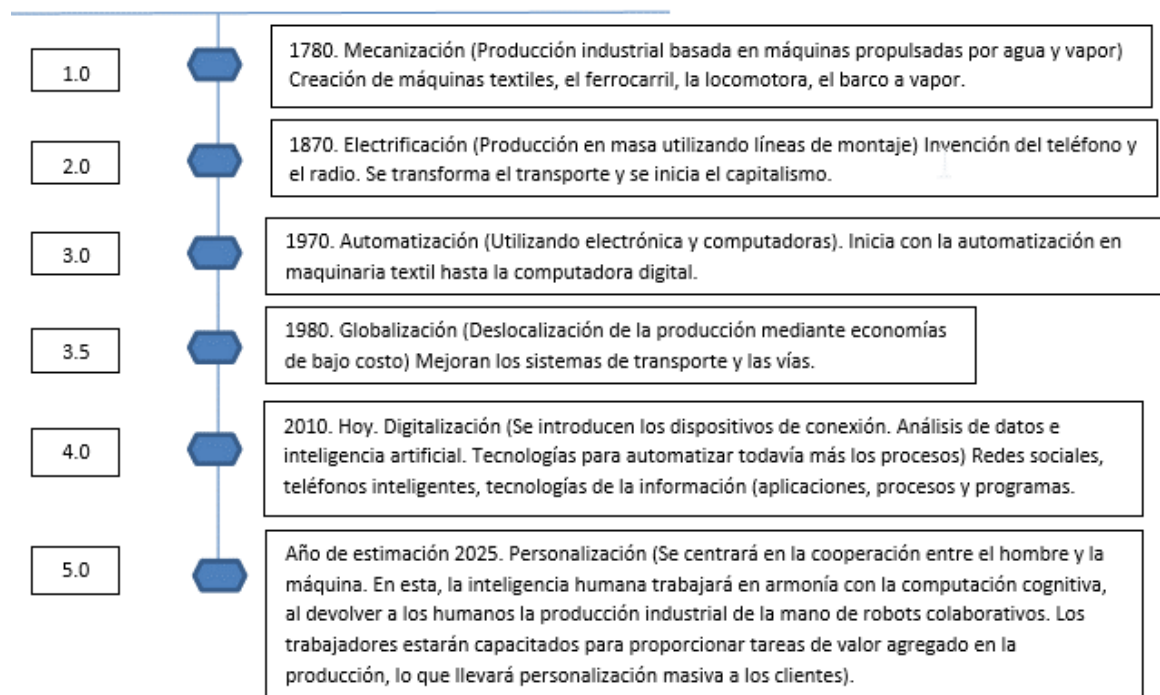


Figura 1. Historia de las Revoluciones Industriales.

Adaptado de (Avendaño & Taiz, 2015 p.16)

Sin embargo, la tendencia de automatización e intercambio de datos en tecnologías industriales permite medir las variaciones en el funcionamiento de las máquinas y equipos, y del mismo modo,

permite un análisis específico sobre el efecto del incremento de disponibilidad de la maquinaria, siendo monitoreada en su desempeño en tiempo real, mediante alguna de las tecnologías de la industria 4.0. Yan et al. (2017) explica que la Confiabilidad y la seguridad se consideran entre los factores más cruciales del sistema inteligente, que ahora son desafiados por el altamente complejo, automatizado y flexible sistema industrial. Y como el problema es el desconocimiento en tiempo real del desempeño de la maquinaria, lo cual contribuye al bajo control de la maximización de disponibilidad de esta, causando entonces, una mayor probabilidad de disminución en la productividad de los procesos de manufactura. No obstante, vemos en la literatura revisada, que no se habla específicamente de los procesos de mantenimiento enfocados hacia una mayor disponibilidad de la maquinaria, sino que se habla mayormente del aprovechamiento de la industria 4.0 en las mejoras realizadas a la automatización de maquinaria para que pueda producir más rápido y con menor interacción humana. De tal manera que se queda aún rezagada la parte de monitorizar las condiciones físicas de la maquinaria y sus componentes, que requieren un mantenimiento de modo adecuado y en el momento adecuado, no antes ni mucho menos después. Michel et al.(2020) dice:

Para preparar la adopción de nuevas tecnologías de la Industria 4.0, las empresas deben buscar conocimiento externo. Las fuentes externas pueden ser las mejores prácticas utilizadas por otras empresas o literatura académica. Las fuentes internas son las propias ramas de I + D de las empresas y una constante aprender por errores.

Entonces, es recomendable que las empresas de manufactura que estén en vías de incorporar a sus procesos de mantenimiento una o varias tecnologías digitales de la industria 4.0, consideren el soporte de especialistas en el tema y definan una estrategia inicial que considere todos los aspectos de su situación actual y hacia donde quieren llegar en una primera etapa. Esto es crucial para que el proyecto de digitalización tenga éxito y pueda ir creciendo de manera sustentable y de acuerdo con la visión propia de la organización. Ya que la implementación de estas tecnologías de digitalización no solo debe ser para un área en específico, eventualmente debe ser considerada de manera holística para llegar a implementarse en todos los departamentos de la organización. Y así poder llegar a tener lo que se conoce como “la fábrica inteligente”.

## 2 Capítulo II. Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes

Los finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX periodo de surgimiento de la revolución industrial dieron un paso importante en el uso de motores que funcionaban con agua o vapor. La segunda revolución industrial, a principios del siglo XX, significó incorporar la electricidad que permitió el aumento de la eficiencia de las industrias y funcionalidad de los equipos y maquinarias para una producción en masa. La tercera revolución industrial surgida a finales de los cincuenta del siglo XX se inicia con la incorporación de tecnología electrónica como las computadoras en las industrias, dando surgimiento a la tecnología digital y de software de automatización. La cuarta revolución industrial se sustenta en la tecnología digital y con la ayuda de la interconectividad, a través del internet de las cosas permite el acceso de datos en tiempo real y la entrada a los sistemas ciberfísicos.

La industria 4.0 está provocando cambios que influyen directamente las ventajas competitivas de las organizaciones industriales con la adopción de las tecnologías de transformación digital en el procesamiento y análisis de datos para la toma de decisiones estratégicas. Las áreas en la industria de la manufactura que han incorporado exitosamente la industria 4.0 son los de procesos productivos y logística de materiales, extendiendo su utilidad hacia el área de mantenimiento de la maquinaria, aunque no se encuentra información suficiente que determine como se pueden aplicar estas tecnologías a **los procesos de mantenimiento**.

Bordeleau et al.(2018) dice que la industria 4.0 se encuentra en la cúspide de desarrollo. Sin embargo, con este futuro digitalizado cercano, aun así existe incertidumbre sobre el entorno e iniciativas de la transformación tecnológica 4.0 en el área de mantenimiento, y qué implicaciones y perspectivas futuras serían esperadas para la industria manufacturera en general, al adoptar una estrategia de mejora continua y desarrollo sostenible, con visión hacia la implementación de las tecnologías de la Industria 4.0, tales como: tecnologías digitales de virtualización, aplicaciones remotas e inalámbricas, Integración de Procesos de manufactura inteligentes, Computación en la Nube, Robótica, Big Data, IoT (Internet de las Cosas), AI(Inteligencia Artificial), etc., en pocas palabras, tener La Fabrica Inteligente.

## 2.2 Planteamiento del problema

Actualmente se observa un lento transitar en la adopción de la industria 4.0 en países en desarrollo, las bondades de contar con máquinas con poderosos microprocesadores y tecnologías de inteligencia artificial que permitan una mejor comunicación y control a través de la interconexión en redes para optimizar tiempos y disponibilidad de las maquinarias es todavía lenta.

- En la industria manufacturera se observa el problema de **baja disponibilidad** de la maquinaria que es utilizada en los procesos de producción en las plantas de manufactura industrial. El fallo de una máquina o un sistema dentro del proceso productivo, tiene indiscutiblemente consecuencias indeseables que se traducen a términos económicos negativos. Kang et al. (2016) Indica que la Industria 4.0 o Manufactura Inteligente conforma un nuevo paradigma y convergencia de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) de vanguardia y tecnologías de fabricación y proporciona bases para hacer decisiones efectivas y optimizadas a través de procesos más rápidos y precisos para la toma de decisiones y contribuir en la solución a este problema. De acuerdo a (Berce, 2016), estas tecnologías de Industria 4.0 son las que han tenido mayor preferencia y más implementación actualmente en la industria en general.

Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente, existe poca información respecto a la implementación y utilización de estas tecnologías directamente en el área de mantenimiento industrial.

### **Causas probables que generan el problema.**

- Una arraigada utilización de estrategias de mantenimiento desactualizadas
- No se han implementado ampliamente las tecnologías de la industria 4.0 en los procesos de mantenimiento, por falta de una estrategia de visión hacia la digitalización industrial. (Daecher et al., 2018)
- Costos elevados de implementación (para cualquier área de aplicación)  
Hamada (2019) citado por Lewis & Cockrill (2002); Simmons et al. (2008) dice que la mayoría de las empresas son sensibles a los costos necesarios para adaptarse a los nuevos sistemas de información, por lo que son reacias a invertir sin una identificación clara de los posibles beneficios.
- Falta del talento adecuado para utilizar y administrar estas tecnologías de digitalización. (Carrillo et al., 2020) comenta el nivel de conocimiento que tienen los ingenieros, técnicos y

gerentes mexicanos en zonas de industrialización exportadora como Baja California para poder transitar a la Industria 4.0 aún es muy limitado.

- Falta de investigación puntual sobre las áreas de interés, en este caso el área de mantenimiento. Bordeleau et al. (2018) dice hay lagunas de investigación y oportunidades encontradas en la literatura de la Industria 4.0 sobre inteligencia de negocios para creación de valor en los asuntos relacionados con el negocio
- El éxito con Industria 4.0 comienza con una estrategia integral y holística, pero solo el 10% de los ejecutivos indica que tienen una estrategia de este tipo (Daecher et al., 2018)
- Falta de capacitación y mayor especialización del recurso humano. Martínez Martínez et al. (2020) comenta que, en una encuesta en México durante el 2018, se encontró que, en todas las empresas, hay una necesidad y búsqueda de talento humano “Talento 4.0”

Plascencia et al. (2019) observa, en palabras de Steve Willing, director general de Delphi Tijuana: el modelo maquilador le ha hecho daño a Tijuana en la creación de capacidades humanas y técnicas. Esto es, la maquiladora tiene un bajo enfoque en la ingeniería de diseño (Fatorachian & Kazemi, 2018) dice que los dispositivos y sistemas inteligentes pueden optimizar continuamente procesos de manufactura y sistemas de producción, especialmente en términos de recursos y consumos de energía. Es esencial que una empresa considere tanto el "estado / nivel" actual de su organización como el avance hacia su visión de Manufactura Inteligente-/Industria 4.0 con la ayuda de una herramienta de autoevaluación (Mittal et al., 2018).

### 2.3 Pregunta de Investigación

El presente estudio se limita en explorar y describir el entorno de la industria 4.0 y sus implicaciones para la investigación aplicado para las industrias manufactureras localizadas en Tijuana. La pregunta resume la intención de investigación a seguir ¿Cuál es el nivel de implementación de las tecnologías de la industria 4.0? en los procesos de mantenimiento en la industria manufacturera maquiladora industrial de Tijuana BC enfocados en la maximización de la disponibilidad de la maquinaria de los procesos productivos?

### 2.4 Objetivos de Investigación

#### 2.4.1 Objetivo General.

Analizar las bondades de la industria 4.0 para luego evaluar el efecto mediante obtención de datos de las áreas de mantenimiento de las industrias manufactureras, qué nivel de implementación de las tecnologías de industria 4.0 existen en los procesos de mantenimiento de la industria manufacturera, enfocados en la maximización de la disponibilidad de la maquinaria de los procesos productivos.

La información necesaria para finalizar el objetivo general, serán los datos referentes al mantenimiento de la maquinaria, tales como: Tiempos caídos no planeados, Tiempo medio entre fallas, tiempos necesarios para restaurar la operación de la maquina (tiempo medio de reparación), tipos de estrategias de mantenimiento empleadas, la estructura organizacional del área de mantenimiento, el nivel de conocimiento y habilidades sobre las tecnologías digitales de la industria 4.0, y también si se tiene o no tiene tecnologías 4.0 implementadas en los procesos de mantenimiento.

#### 2.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer datos de los tipos de mantenimiento industrial utilizados en la actualidad en la industria manufacturera en Tijuana BC
- Identificar cuáles son las tecnologías de la industria 4.0 más utilizadas en la actualidad en la industria manufacturera maquiladora de Tijuana BC enfocadas a los procesos de mantenimiento.
- Determinar datos de disponibilidad o tiempos caídos de maquinaria en las diferentes industrias manufactureras en Tijuana BC
- Analizar el efecto de los datos obtenidos para analizar los niveles de disponibilidad de maquinaria entre aquellas industrias con alguna o varias tecnologías 4.0 implementadas y aquellas con ninguna de ellas.

Las respuestas a estos objetivos específicos se han plasmado en el apartado 5.3 de hallazgos de la investigación de este trabajo.

#### 2.5 Hipótesis de Investigación

La implementación de las tecnologías de la industria 4.0, a los procesos de mantenimiento de la industria manufacturera, incrementa de manera significativa la disponibilidad de la maquinaria que se utiliza en el proceso de producción.

**La prueba de la hipótesis H1 se pretende lograr mediante:**

- Realizar una encuesta en el departamento de mantenimiento de las diferentes industrias manufactureras seleccionadas para este estudio de investigación, la cual nos permita obtener los datos necesarios para su análisis y evaluación y los cuales comprenden:
  - Datos de los tipos de mantenimiento industrial utilizados en la actualidad en la industria manufacturera
  - Las tecnologías de la industria 4.0 más utilizadas en la actualidad en la industria manufacturera maquiladora enfocadas a los procesos de mantenimiento.
  - Datos de disponibilidad o tiempos caídos de maquinaria en las diferentes industrias manufactureras (antes y después de implementar tecnologías de la Industria 4.0)
  - Mediante un modelo teórico (Ecuaciones Estructurales), analizar el efecto de los datos obtenidos para analizar los niveles de disponibilidad de maquinaria entre aquellas industrias con alguna o varias tecnologías 4.0 implementadas y aquellas con ninguna de ellas.

## 2.6 Justificación

Los aportes que se esperan lograr con el desarrollo y resultado de esta investigación se pueden resumir en los siguientes tipos.

Aporte al conocimiento.

Se espera que este trabajo genere un modelo de gestión de mantenimiento industrial más digitalizado y automatizado y de manera más sistemática.

Generar una base tecnológica que mejore la eficacia de los procesos actuales de mantenimiento.

Aporte a la sociedad

El aprovechamiento de las tecnologías de digitalización puede generar un impacto positivo en el cuidado del medio ambiente. Al digitalizar algunos procesos de mantenimiento, se pueden mejorar los ciclos de utilización de la maquinaria, generando menores cantidades de residuos contaminantes a lo largo de su vida útil.

Se pueden reducir los incidentes de riesgo laboral del personal, al tener maquinaria con mayor confiabilidad operativa, como resultado de la mejora de su mantenimiento a través de la implementación de alguna(s) de las tecnologías de la industria 4.0

Impacto económico en la industria de la manufactura.

Según algunas fuentes, la Industria 4.0 podría provocar en las fábricas una disminución de:

- costos de producción en un 10-30%,
- costos logísticos en un 10-30%,
- costos de gestión de calidad en un 10-20% (Rojko, 2017 p. 80)

Aporte tecnológico.

- Mayor especialización del recurso humano  
(Martínez Martínez et al., 2020) comenta: durante el 2018, en diferentes grupos de investigación de los que soy participe, se han realizado múltiples entrevistas a distintas empresas en México, tanto multinacionales extranjeras como pymes mexicanas, con el objetivo de saber si estaban implementando tecnologías de la Industria 4.0. Se encontró que, en todas las empresas, hay una necesidad y búsqueda de talento humano “Talento 4.0”
- Generación de tendencias tecnológicas con una visión clara hacia donde se quiere llegar

Aporte al medio ambiente

- Reducción de residuos de contaminación del proceso de mantenimiento debido a la optimización de las estrategias de mantenimiento, minimizando los ciclos innecesarios que involucran materiales contaminantes, tales como lubricantes, aceites, sistemas de filtración, refacciones generales, etc.

Aporte Metodológico

- Nuevo tipo de modelo de análisis de variables e indicadores que afectan de alguna manera los resultados de los procesos de mantenimiento. Las tecnologías avanzadas como Sistemas Ciber físicos el IoT, junto con el Big Data y la Computación en la Nube están jugando roles significativos en el cambio hacia un nuevo paradigma de la manufactura (Chen, 2017)

## 2.7 Teorías, Modelos y Trabajos previos del objeto de estudio

Las actividades y programas de mantenimiento forma una parte integral de los procesos productivos de las fábricas manufactureras, y debido a que la industria 4.0 es considerada en un todo como la fábrica inteligente, Ynzunza Cortés, Carmen Berenice; Izar Landeta, Juan Manuel; Bocarando Chacón, Jacqueline Guadalupe; Aguilar Pereyra, Felipe; Larios Osorio, (2017) dicen que también están los conceptos de productos inteligentes y servicios inteligentes como parte de

la arquitectura tecnológica y de soporte a la industria. Es por eso la importancia de considerar también a las áreas de mantenimiento dentro del concepto holístico de la fábrica inteligente. Entonces el mantenimiento al ser gestionado de esta manera, con las nuevas tecnologías incorporadas en la fabricación inteligente, las instalaciones inteligentes se centran en crear inteligencia de fabricación que puede tener un impacto positivo en toda la organización J. Wang et al. (2018)

Kang et al. (2016) muestra que se ha encontrado la tendencia de las tecnologías digitales más comunes y sus proporciones entre las áreas de Fábrica, Infraestructura y Maquinaria y Procesos. Podría decirse que las industrias que manufacturan partes o productos más sofisticados están teniendo mayor tendencia hacia la digitalización industrial. Así mismo, la fabricación de piezas y productos aeroespaciales es la tendencia principal en la cuarta era de la revolución industrial en Francia, India, China, Malasia, Singapur y México (Telukdarie et al., 2018). Yan et al., (2017) comenta que la Confiabilidad y la seguridad se consideran entre los factores más cruciales del sistema inteligente, que ahora son desafiados por el altamente complejo, automatizado y flexible sistema industrial. Y como el planteamiento del problema explica que el desconocimiento en tiempo real del desempeño de la maquinaria contribuye al bajo control de la maximización de disponibilidad de la maquinaria, esto causa entonces una mayor probabilidad de disminución en la productividad de los procesos de manufactura. Es por eso que algunas de las variables independientes más importantes dentro de los procesos de mantenimiento y que inciden en los resultados de la disponibilidad de la maquinaria productiva pueden ser el presupuesto destinado a las diferentes estrategias y componentes de los procesos de mantenimiento (refacciones, entrenamiento, herramientas y tecnologías de digitalización), los métodos de mantenimiento como Predictivo, Preventivo, etc., las diferentes herramientas y tecnologías de digitalización que se estén utilizando o implementando en los procesos de mantenimiento, el nivel de conocimiento especializado en digitalización de los técnicos e ingenieros de mantenimiento, la estructura organizacional del departamento de mantenimiento, la visión y compromiso corporativo respecto a la digitalización 4.0 del departamento de mantenimiento, entre otras.

En una encuesta realizada en 2017 a 280 compañías localizadas en Bélgica, Alemania y Holanda y con rubros de negocio en Construcción, Manufactura, metales y químicos mayormente, donde una de las preguntas fue: ¿que considera como necesario para tener éxito en la implementación

de un Mantenimiento Predictivo de nivel Industria 4.0 y cuya respuesta se puede observar en la siguiente figura:

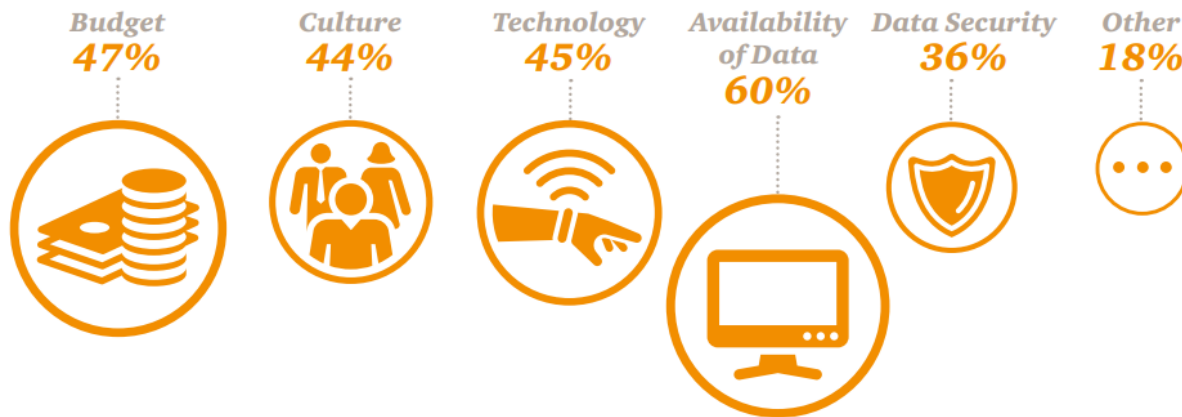


Figura 2. Factores Críticos para una implementación exitosa de mantenimiento predictivo 4.0

Adaptado de (Mulders & Haarman, 2017)

Donde vemos que el Presupuesto, la cultura 4.0, las tecnologías 4.0, el tratamiento de los datos, y la seguridad de estos son algunas de las variables independientes que obtuvieron mayor peso en esta encuesta en específico.

Así mismo Michel et al.(2020) nos dice:

Para preparar la adopción de nuevas tecnologías de la Industria 4.0, las empresas deben buscar conocimiento externo. Las fuentes externas pueden ser las mejores prácticas utilizadas por otras empresas o literatura académica. Las fuentes internas son las propias ramas de I + D de las empresas y una constante aprender por errores (p. 21)

Seneviratne, (2016) observa que varias de las medidas que indican la eficacia de los procesos de mantenimiento son el OEE (overall equipment efficiency), la disponibilidad de la maquinaria para la producción, y los tiempos caídos de maquinaria. Sin embargo, con este futuro digitalizado cercano, aun así existe incertidumbre sobre el entorno e iniciativas de la transformación tecnológica 4.0 en la industria en Tijuana BC, y que implicaciones y perspectivas futuras serian esperadas para la industria manufacturera en general, al adoptar una estrategia de mejora continua y desarrollo sostenible, con visión hacia la implementación de las tecnologías de la Industria 4.0, tales como: tecnologías digitales de virtualización, aplicaciones remotas e inalámbricas, Integración de Procesos de manufactura inteligentes, Computación en la Nube, Robótica, Big

Data, IoT(Internet de las Cosas), AI(Inteligencia Artificial), etc., en pocas palabras, tener la Fabrica Inteligente.

En otro estudio de campo en la ciudad de Tijuana BC en 2020, también se identifica nuevamente que las variables Independientes y subvariables que se encontraron relacionadas con la Variable Dependiente Confiabilidad de Mantenimiento (disponibilidad de activos) fueron como lo establece Galaviz, A. G. (2021), “El Recurso Humano y capacitación adecuada, Sistemas y Procedimientos, presupuesto, Programas Computarizados de administración de mantenimiento CMMS, Procedimientos de administración de Activos y tipos de mantenimiento -Preventivo, Correctivo, Predictivo. Definición de Estrategias de Mantenimiento – RCM, TPM, otros” (p. 70). Por tanto, se recomienda que para una investigación adicional se trabaje con las variables independientes identificadas en la literatura revisada y que interactúan con la variable dependiente Disponibilidad de la maquinaria de producción y manufactura.

## 2.8 Estado del arte actual

Actualmente estas tecnologías pueden ser aplicadas y explotadas de muchas maneras en la industria manufacturera (y muchas otras), las soluciones digitales están disponibles, listas para ser adaptadas e incorporadas a los múltiples procesos de la manufactura, cadena de suministro, mantenimiento, etc., ya sea digitalizando y automatizando o conjuntando las actuales capacidades para una mayor eficiencia. Las tecnologías más mencionadas en la literatura de la industria 4.0 y mayormente enfocadas a sistemas de manufactura inteligente son: Inteligencia Artificial (AI), Sensores Inteligentes, Computación en la Nube, Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Sistemas Ciber físicos, Impresión 3D, Hologramas, Maquinaria y Vehículos Autónomos, Ahorro de Energía, Nanotecnología, Cobots (Robots Colaborativos). Cabe mencionar que futuramente la Industria 5.0 se basará en el principio de autoaprendizaje, copiando las acciones de los humanos u otros robots y la optimización automática de los algoritmos de producción. (Melnik et al., 2019)

(Hanif & Iftikhar, 2020) La Industria 4.0 es el uso de maquinaria sofisticada para hacer el trabajo de los seres humanos más fácil y rápido. Sin embargo, no solo en la manufactura inteligente se están aplicando estas tecnologías. Aparte de la fábrica inteligente, también están los conceptos de ciudades inteligentes, productos inteligentes y servicios inteligentes. Ver tabla 1.

Tabla 1. Perspectivas de la Industria 4.0

<b>Industria 4.0</b>			
Fabricas Inteligentes	Ciudades Inteligentes	Productos Inteligentes	Servicios Inteligentes
<b>Artefactos tecnológicos integrados</b>			
Sensores, microchips, sistemas autónomos. Sistemas ciber físicos, maquinas autónomas			
<b>Características</b>			
Inteligencia, Flexibilidad, Conectividad, Seguridad, Confiabilidad, Trazabilidad, Movilidad, Colaboración, Sociabilidad, Sustentabilidad			
<b>Principios de diseño</b>			
Integración, Interoperabilidad, Virtualización, Descentralización, Capacidades de tiempo real, Orientación al servicio, Modularidad			
<b>Arquitectura de Soporte</b>			
Internet de las cosas (IoT), Identificación por radiofrecuencia (RFID), Redes Industriales, Computo de alto desempeño (HPC), Computo móvil, la nube y el internet de los servicios (Infraestructura (IaaS), plataformas tecnológicas (PaaS) y software (SaaS) como servicio), Big data y analítica avanzada			
<b>Beneficios</b>			
Producción orientada a demanda, uso mas eficiente de los recursos, productividad, reducción de costos, ciclo de desarrollo de productos mas cortos, mayor competitividad, optimización de los procesos, autonomía en la toma de decisiones y cadenas de suministro mas integradas			

Adaptado de (Ynzunza Cortés, Carmen Berenice; Izar Landeta, Juan Manuel; Bocarando Chacón, Jacqueline Guadalupe; Aguilar Pereyra, Felipe; Larios Osorio, 2017 p.12)

En la tabla 1, Ynzunza Cortés, et al (2017) detalla la arquitectura tecnológica y de soporte que forma parte de la industria 4.0 y la manufactura inteligente, así como algunos de los beneficios que han sido vinculados a éstas. En la misma, se precisan los artefactos tecnológicos integrados, las capacidades que permiten los mismos, dadas sus características y principios de diseño, así como el detalle de la arquitectura de soporte y los beneficios asociados.

Con las nuevas tecnologías incorporadas en la fabricación inteligente, las instalaciones inteligentes se centran en crear inteligencia de fabricación que puede tener un impacto positivo en toda la organización (J. Wang et al., 2018)

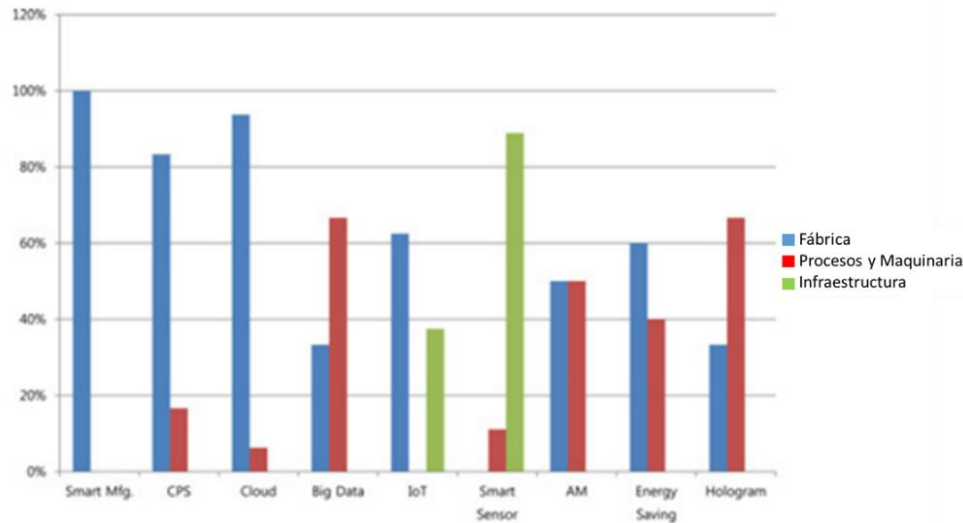


Figura 3. Distribución del área de aplicación de cada tecnología

Adaptado de (Kang et al., 2016, p. 12)

La figura 3 anterior muestra cómo es que se ha encontrado la tendencia de las tecnologías digitales más comunes y sus proporciones entre las áreas de Fábrica, Infraestructura y Maquinaria y Procesos, donde:

- Smart Mfg = Manufactura Inteligente
- CPS = Sistemas Ciber físicos
- Cloud = Computación en la Nube
- Big Data = Big Data
- IoT = Internet de las Cosas
- Smart Sensor = Sensores Inteligentes
- AM = Manufactura Aditiva o 3D
- Energy Savings = Ahorro de Energía
- Hologram = Holograma

Los datos mostrados nos indican que el mayor aprovechamiento está hasta ahora en las fábricas de la industria de la manufactura, mayormente aplicada a digitalizar sus procesos productivos, y en menor tendencia hacia sus procesos de soporte, logísticos, calidad, etc.

Podría decirse que las industrias que manufacturan partes o productos más sofisticados, están teniendo mayor tendencia hacia la digitalización industrial.

La fabricación de piezas y productos aeroespaciales es la tendencia principal en la cuarta era de la revolución industrial en Francia, India, China, Malasia, Singapur y México (Telukdarie et al., 2018, p. 12).

Ahora bien, en la bibliografía revisada hasta ahora, se han encontrado pocos análisis específicos sobre el efecto del incremento de disponibilidad de la maquinaria al ser esta, monitoreada en su desempeño en tiempo real, mediante alguna de las tecnologías de la industria 4.0. (Yan et al., 2017) la Confiabilidad y la seguridad se consideran entre los factores más cruciales del sistema inteligente, que ahora son desafiados por el altamente complejo, automatizado y flexible sistema industrial.

Y como el planteamiento del problema establece específicamente que el desconocimiento en tiempo real del desempeño de la maquinaria contribuye al bajo control de la maximización de disponibilidad de la maquinaria, causando así, una mayor probabilidad de disminución en la productividad de los procesos de manufactura.

La literatura actual habla del aprovechamiento de la industria 4.0 en las mejoras realizadas a la automatización de maquinaria que pueda producir más rápido y con menor interacción humana. Sin embargo, se queda aún rezagada la parte de monitorizar las condiciones físicas de la maquinaria y sus componentes, que a final de cuentas requieren de ser mantenidos de manera adecuada y en el momento adecuado, no antes ni mucho menos después. Michel et al.(2020) nos dice:

Para preparar la adopción de nuevas tecnologías de la Industria 4.0, las empresas deben buscar conocimiento externo. Las fuentes externas pueden ser las mejores prácticas utilizadas por otras empresas o literatura académica. Las fuentes internas son las propias ramas de I + D de las empresas y una constante aprender por errores (p. 21)

Uno de los métricos más importantes en cualquier industria manufacturera es la Efectividad General del Equipo, denominado OEE por sus siglas en inglés (Overall Equipment Effectiveness), donde el papel que juega el departamento de mantenimiento es sin lugar a dudas, el más importante de los demás roles implicados (ej. Utilización-Producción, Calidad, Embarque, etc.).

A continuación, en la tabla 2 se presenta un esquema breve para explicar la gran importancia de la Disponibilidad de la maquinaria de producción dentro de la industria manufacturera, y de allí la

criticidad del tipo de estrategias utilizadas por los departamentos de mantenimiento para lograr la máxima disponibilidad, 24 horas al día, 365 días del año.

Tabla 2. Cuadro de Mando Integral Procesos de Mantenimiento

Cuadro de Mando Integral			
Objetivo a lograr	Métricos	Acciones	Necesidades Tecnológicas
Máxima Disponibilidad de la maquinaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OEE</li> <li>• Paros Programados</li> <li>• Paros no Programados (Fallas)</li> <li>• MTBF</li> <li>• MTTR</li> </ul>	Estrategias de mantenimiento, ej. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM)</li> <li>• Mantenimiento por Monitoreo de Condición (CBM)</li> <li>• Stock de refacciones optimizado por criticidad</li> <li>• Entrenamiento adecuado a las estrategias y tecnologías utilizadas (Esto motiva a la fuerza de trabajo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores inteligentes (IoT)</li> <li>• Inteligencia Artificial</li> <li>• Monitoreo y medición del desempeño de la maquinaria en tiempo real, mediante Big Data</li> </ul>
Indicadores Financieros Mejorados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de la productividad</li> <li>• Costo del mantenimiento por unidad producida</li> <li>• Costo de fallas</li> <li>• Costo de pérdidas de producción</li> </ul>	Planeación y Optimización adecuada de las tareas de mantenimiento, basado principalmente en las estrategias de mantenimiento como RCM y CBM	

Fuente: Elaboración Propia

Según Seneviratne, (2016), varias de las medidas que indican la eficacia de los procesos de mantenimiento son el OEE, la Disponibilidad de la maquinaria para la producción, los tiempos caídos de maquinaria. Los esfuerzos del departamento de mantenimiento deben enfocarse en mejorar la eficacia, midiendo el desempeño de los procesos internos (enfocándose en las variables independientes más importantes o relevantes como se mencionó anteriormente).

Sin embargo, los métricos mencionados anteriormente, no siempre son aplicados de manera metódica y puntual, o sin seguir un procedimiento establecido, evaluando el OEE a menudo solamente por el “up time” o disponibilidad de la maquinaria, generando así un resultado impreciso. Estos resultados encienden por supuesto, un foco rojo hacia los departamentos de mantenimiento. Estar en el foco de atención de una manera no positiva, obliga a la mejora continua en cualquier parte. (Seneviratne, 2016) La efectividad no se define por tanto a nivel organizacional, sino a nivel de ecosistema, lo que también refleja en los objetivos del negocio.

Los departamentos de mantenimiento entonces se deben enfocar en implementar las mejoras necesarias de estrategias de digitalización desde la raíz de sus procesos de mantenimiento. El conocimiento y análisis de los datos de los activos y su desempeño en tiempo real, es la piedra angular para la disponibilidad de los activos de producción.

El mantenimiento de hoy debe estar enfocado primariamente en poder estimar en sus activos críticos que va suceder en el futuro y porque va suceder. Esto se puede hacer con el mantenimiento predictivo, monitoreo de condición a través de sensores con inteligencia artificial y con analíticos de Big Data. Estas prácticas/tecnologías de Industria 4.0 deben ser aplicadas en cada empresa manufacturera, sin importar su ubicación de país, región o tamaño de la industria, ya que las máquinas de producción e infraestructura de soporte infraestructura (Sistemas de aire comprimido, Electricidad, Agua de procesos, Iluminación, HVAC, etc.) deben estar disponibles para producir el producto para lo cual fueron diseñadas, en el momento que se requiera.(The MPI Group, 2020) establece que:

Ha estado estudiando el compromiso de los fabricantes con la industria 4.0 durante años, y los cambios a lo largo del tiempo son claros: los líderes reconocen que sus empresas deben digitalizarse ahora o volverse vulnerables a la competencia. Este estudio comenzó desde 2016, y las industrias manufactureras han implementado de manera creciente las

tecnologías y mejores prácticas de la industria 4.0, resultando en una mejora de productividad, ingresos, ganancias y ventajas competitivas.

Por tanto, es innegable que los efectos positivos de la implementación de tecnologías de la industria 4.0 en la industria manufacturera, genera mejoras en el desempeño de las áreas que se ven involucradas en dichas implementaciones, y extendiendo estos efectos a lo largo de la cadena del proceso. (*Disruptive Technologies : New Opportunities — and Risks — for Manufacturers*, n.d.) dice que las nuevas tecnologías empresariales tienen más probabilidades de mejorar la disponibilidad del equipo, el desempeño de la cadena de suministro y las ventas / ingresos.

En la figura 4 se muestra el concepto y teoría de la que se desprende la Variable Dependiente (Disponibilidad de Maquinaria) con respecto a la importancia del mantenimiento adecuado para lograr la sustentabilidad de la Disponibilidad de la maquinaria dentro del proceso productivo de la industria manufacturera. Así mismo, del concepto de Disponibilidad se desprenden los métricos de Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio De Reparación que son claves en los procesos de mantenimiento para poder medir la disponibilidad de los equipos críticos que afectan directa o indirectamente al proceso productivo.

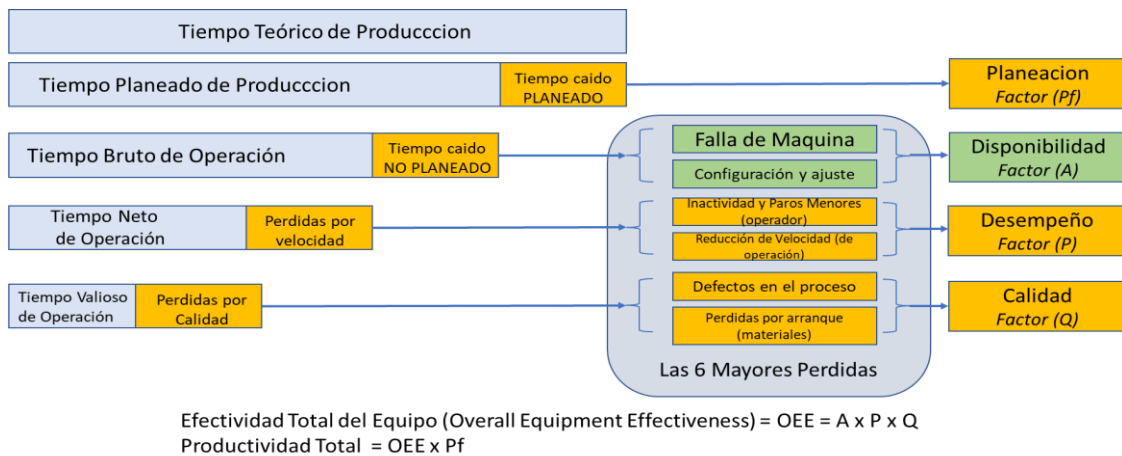


Figura 4. El papel crítico del Mantenimiento para la DISPONIBILIDAD de la maquinaria dentro del proceso de producción de la industria manufacturera

Adaptado de (Puvanasvaran et al., 2012)

## 2.9 Disponibilidad, MTBF y MTTR de maquinaria

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. En perspectiva más técnica la Disponibilidad también se define como (Katukoori, 2007) dice; “es una medida

porcentual del grado en que la maquinaria y el equipo se encuentran en un estado operativo y de compromiso en el momento en que se necesario” (p.4).

A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el MTBF (tiempo medio de falla) según Chauhan & Pancholi, (2013) definido como “el tiempo total transcurrido dividido entre el número de fallas” (p. 494), y el MTTR (tiempo medio de reparación), definido de manera general según Kuboń et al., (2019) como: “el tiempo medio de reparación, que comprende darse cuenta de que la máquina ha fallado, llamar a mantenimiento y el tiempo de la propia reparación” (p. 3). Por lo que es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad. Ver tabla 3.

La fórmula para calcular la Disponibilidad es 
$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

MTBF = Tiempo Medio Entre Fallas. MTTR = Tiempo Medio Entre Reparaciones

La fórmula para calcular el MTTR es 
$$MTTR = \frac{Tiempo\ total\ de\ reparación}{Número\ de\ fallas}$$

La fórmula para calcular el MTBF es 
$$MTBF = \frac{Tiempo\ total\ Disponible}{Número\ total\ de\ fallas}$$

Tabla 3. Estrategias de la Gestión del mantenimiento industrial

Estrategia	¿Como?	Costo para ser implementado	Pros	Contras	Aporta al control y conocimiento de la Disponibilidad de maquinaria?
<b>Reactivo</b>	Repararlo cuando se descomponga	Bajo	Es el ideal para activos de baja prioridad	Nos puede conducir a un estado de gastos descontrolados no presupuestados.	NO
<b>Preventivo</b>	Dar mantenimiento siguiendo un programa determinado	Promedio	La mejor estrategia a ser implementada sin necesidad de mucha experiencia	Sin una optimización adecuada podemos caer en un largo arrastre o retrasos de mantenimientos preventivos	NO
<b>TPM</b> (Mantenimiento Productivo Total)	Rutinas menores de mantenimiento puntual y específico a cargo de los operarios del proceso productivo	Promedio	Contribuye a maximizar la utilización mano de obra especializada de mantenimiento en	Posibles fallos inducidos por falta de entrenamiento apropiado y procesos adecuados.	NO

			actividades más críticas		
<b>Predictivo (PdM) y BCM</b> (Mantenimiento basado en Monitoreo de Condición)	Mantenimiento basado en condición del activo que genera ordenes de trabajo solo cuando es necesario.	Alto	Consta de un monitoreo inteligente, a tiempo con información. Nos provee de mayor visión de las causas de las fallas.	Puede ser costosa su implementación (Análisis Térmico, Vibraciones, Ultrasonido, Energía, etc.)	SI Parcialmente y de manera manual
<b>RCM</b> (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, por sus siglas en Ingles)	Investigación de modos de falla que determina la mejor estrategia y análisis de riesgos	El mas alto	Si se ejecuta de manera adecuada, nos proporcionara el programa más eficiente de mantenimiento.	Requiere largo tiempo, habilidades específicas y recursos financieros para ser efectivo	SI de manera manual

Fuente: elaboración propia

En la siguiente figura se muestra los resultados de las encuestas realizadas a más de 400 empresas manufactureras en 24 países y en 19 sectores de productos. Donde claramente se aprecia que la Confiabilidad / Disponibilidad de los equipos y maquinaria, es la que ha obtenido mayor incremento en la mejora de desempeño.

Las nuevas tecnologías de la industria 4.0 son las que más probablemente mejoran la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria, el desempeño de la cadena de suministro y las ventas / ingresos (MPI *Disruptive Technologies study*, The MPI Group, 2019)

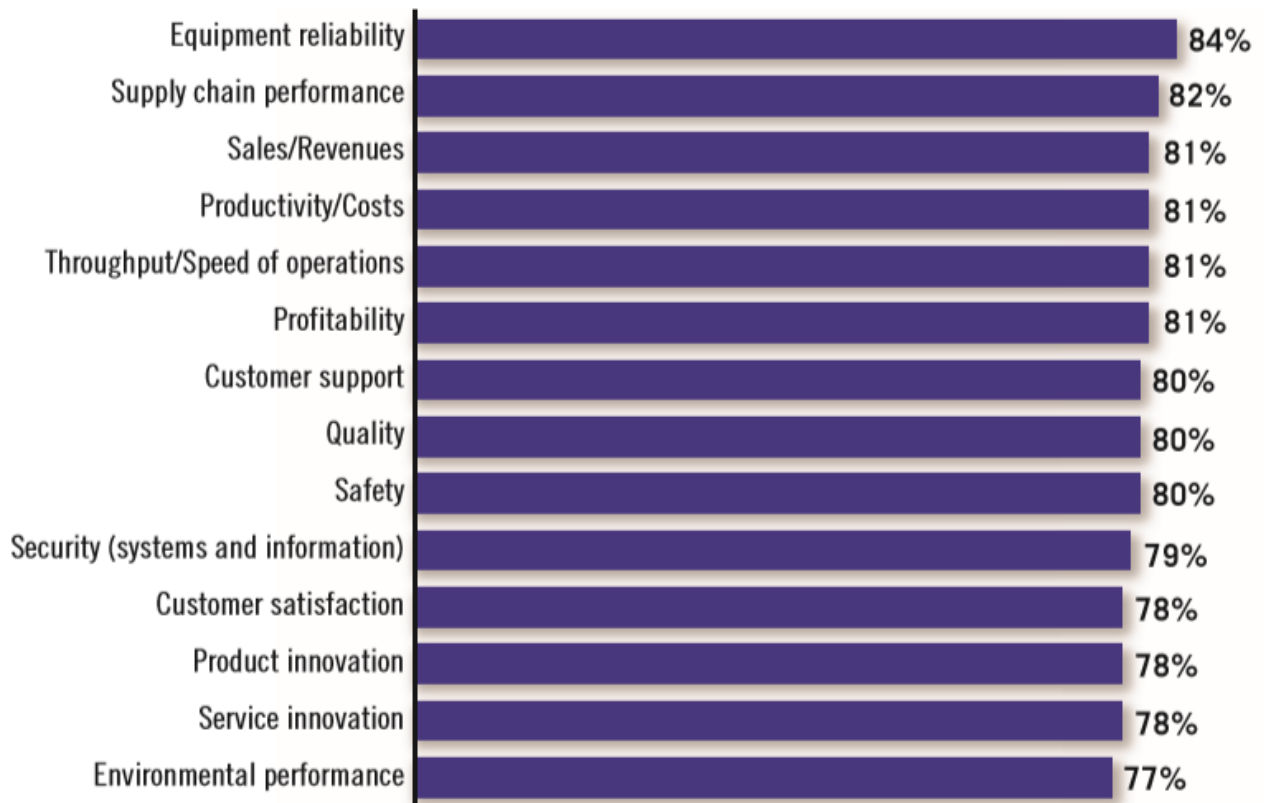


Figura 5. Efecto de la implementación de nuevas tecnologías empresariales en los métricos de desempeño de las empresas (% de manufactureras con una mejora de rendimiento parcial o significativo)

Adaptado de (MPI *Disruptive Technologies study*, The MPI Group, 2019)

Es más probable que los procesos de Embarques / Logística / Transporte y Mantenimiento hayan tenido hasta ahora una "Aplicación Significativa" de dispositivos inteligentes y / o inteligencia integrada. (MPI et al., 2020) véase siguiente figura.

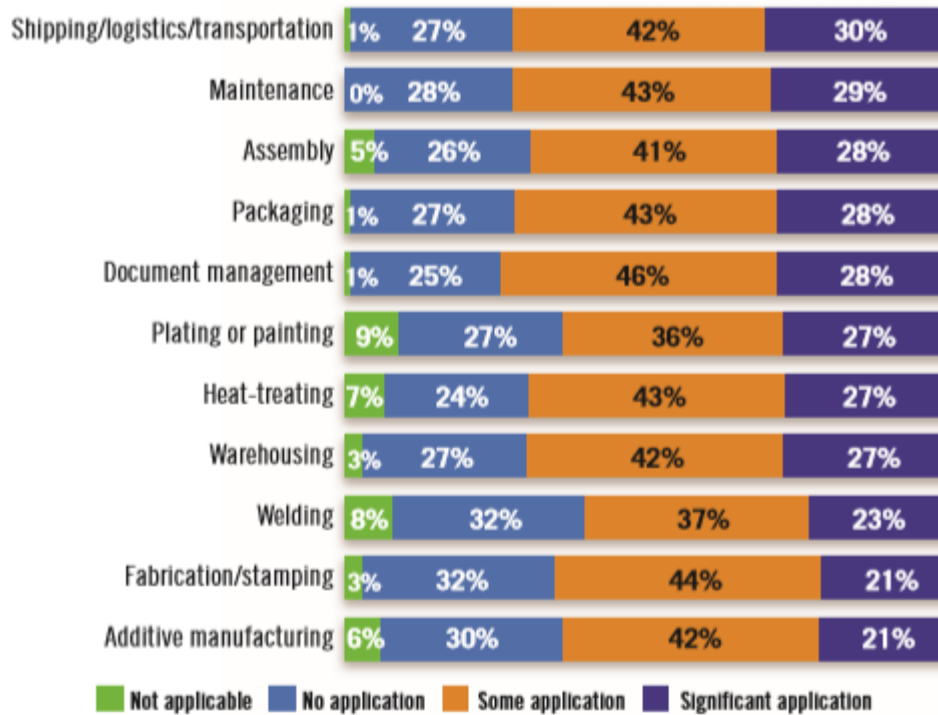


Figura 6. Procesos en los que se han aplicado dispositivos inteligentes y/o inteligencia incrustada (porcentaje de manufactureras).

Adaptado de (MPI et al., 2020). [https://mpi-group.com/wp-content/uploads/2020/09/MPI2020-Industry4.0Manufacturing\\_FREE.pdf](https://mpi-group.com/wp-content/uploads/2020/09/MPI2020-Industry4.0Manufacturing_FREE.pdf)

(Mpi et al., 2020) La vasta mayoría de los líderes de mantenimiento también reportan que la Industria 4.0 incrementó la productividad (93% de los respondientes) y la rentabilidad (90% de los respondientes). Casi todos ellos creen que la industria 4.0 incrementara la productividad y rentabilidad en los próximos 5 años.

De un estudio de Industria 4.0 realizado en febrero 2020 a 679 empresas de manufactura en regiones de todo el mundo, provee una prueba de como la Industria 4.0 impulsa la productividad y la rentabilidad de las empresas manufactureras, y se observa que: El impacto de la industria 4.0 ha sido enorme, ya que los cambios digitales en las actividades operativas impulsan el rendimiento ahora y durante los próximos cinco años (Mpi et al., 2020). Véase siguiente figura.

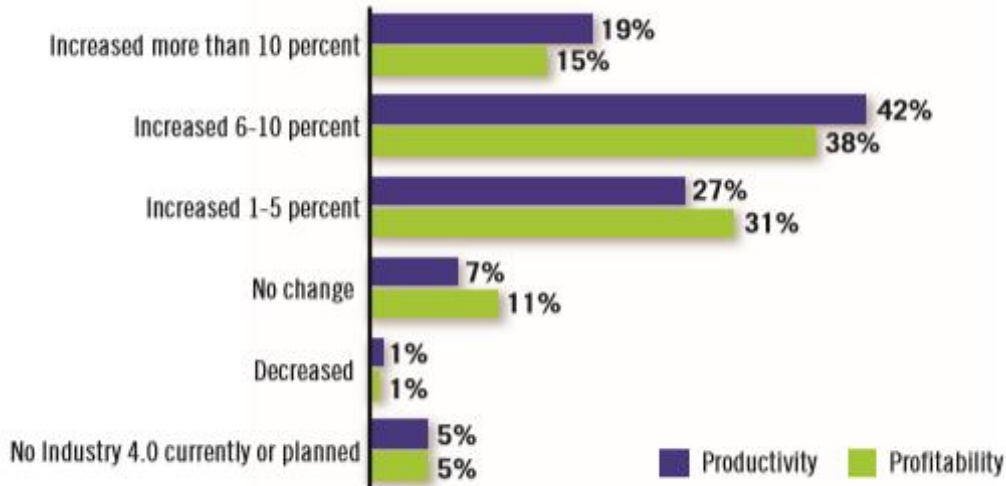


Figura 7. Impacto de la industria 4.0 en las plantas y procesos sobre la productividad y la rentabilidad en el último año (porcentaje de industrias manufactureras).

Adaptado de (MPI et al., 2020)

En este estudio de Industria 4.0, las empresas de manufactura participantes fueron de alrededor del mundo. Más de la mitad (43%) han hecho avances significativos para lograr o completar totalmente (20%) un estatus de Industria Manufacturera de clase mundial (Mpi et al., 2020). Véase siguiente figura.

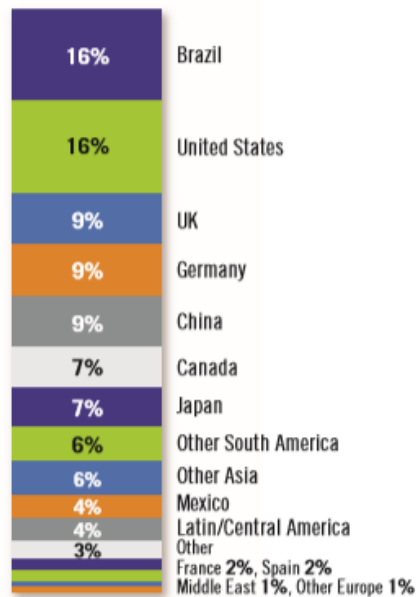


Figura 8. País o región donde se ubican las empresas (% de manufactureras).

Adaptado de (MPI et al., 2020)

Los líderes de la industria están superando significativamente a sus competidores más lentos en el aprovechamiento de nuevas tecnologías para mejorar las operaciones, la rentabilidad y la productividad. Estas empresas están ejerciendo sus inversiones en tecnología para obtener ganancias que pueden marcar la diferencia entre sobrevivir y prosperar (*Disruptive Technologies : New Opportunities — and Risks — for Manufacturers*, n.d.).

	Industry leaders	Competitive companies	Laggard companies
Gross profit percentage (average)	39.7%	33.9%	18.1%
Sales per employee (average)	\$193,483	\$148,097	\$131,330
“Fully achieved” world-class manufacturing status	48% of companies	18% of companies	18% of companies

Figura 9. Resultados al aprovechar las tecnologías de la industria 4.0 (encuestas realizadas a más de 400 empresas manufactureras en 24 países y en 19 sectores de productos)

Adaptado de (MPI et al., 2020)

De acuerdo con las evidencias de la literatura y encuestas analizadas, se observa entonces que, las empresas de manufactura no tienen un sistema sistemático para la implementación y utilización de alguna tecnología Industria 4.0, por lo que deberían plantear de inmediato estrategias de cambio y/o mejora hacia la inclusión de la industria 4.0, y establecer de inicio una digitalización progresiva de sus procesos. Este estudio busca analizar el impacto de este proceso de mejora, dentro de los departamentos de mantenimiento y enfocado, como ya se ha mencionado, en maximizar la disponibilidad de la maquinaria y equipos, comenzando quizá por tener un control en tiempo real del estado y comportamiento de sus activos críticos utilizando las tecnologías de digitalización 4.0 en la mejor y mayor medida posible. A continuación, se describen brevemente algunas de las tecnologías digitales de la Industria 4.0 que pueden ser implementadas en las áreas de mantenimiento enfocadas en la mejora de la disponibilidad de la maquinaria:

## 2.10 Tecnologías básicas de la Industria 4.0

Tecnologías básicas de la Industria 4.0 útiles a los procesos de mantenimiento industrial (También actuando como variables independientes y su importancia e influencia en la variable dependiente – Disponibilidad de Maquinaria)

#### 2.10.1 Big Data

Herramienta utilizada en mantenimiento para el proceso de grandes cantidades de datos obtenidos en tiempo real y realizar discriminaciones de indicadores críticos relevantes para el proceso, enviando alertas y mensajes al personal de mantenimiento cuando se identifiquen tendencias críticas del comportamiento de los equipos bajo régimen de mantenimiento inteligente). Los retos tecnológicos que representa el manejo, análisis y gestión de grandes cantidades de datos, son actualmente un problema dentro de las organizaciones de mantenimiento, y la criticidad es mayor cuando aumenta el número de equipos y maquinaria que se requiere monitorear bajo un esquema digitalizado de mantenimiento. Estas actividades de monitoreo en tiempo real del comportamiento (o estado de salud) de los equipos y maquinaria más críticos para el proceso de producción, generan dichas cantidades voluminosas de datos; los cuales, debidamente gestionados, pueden proporcionar información vital para la toma de decisiones correctas en el momento correcto. Esta gran cantidad de datos es lo que se conoce como Big Data. Entonces, los analíticos de Big data, Roy et al. (2016) generan nuevos conocimientos que aplicados al ambiente de la manufactura, mejoran la exactitud de predicción del estado de la maquinaria y mejoran el programa de mantenimiento del sistema. De aquí la importancia según Kamble et al. (2018) Las empresas manufactureras deben comprender que es imperativo tener las capacidades de análisis de datos para impulsar la transformación digital.

#### 2.10.2 Simulación

La predicción del desempeño o funcionamiento futuro de una máquina es una de los principales enfoques hoy en día dentro del mantenimiento industrial. Esto se logra mediante las estrategias de mantenimiento predictivo, monitoreo de condición, análisis de riesgo, etc. Con los sensores inteligentes que monitorean en tiempo real a las maquinas, y los datos obtenidos de ello, se utilizan para elaborar escenarios futuros del funcionamiento del equipo. La simulación se realiza utilizando softwares especiales basados en aprendizaje automático (“Machine Learning”) además de métodos estadísticos para casos especiales. Existen también otras tecnologías como la llamada Gemelos Virtuales (“Virtual Twins”), donde un modelo virtual gemelo de la maquina

real es alimentado por datos reales de comportamiento, y elabora múltiples escenarios futuros en los que se pueden visualizar posibles fallas no previstas y también mejoras aplicables al proceso.

### 2.10.3 Sensores Inteligentes

De Acuerdo a Kamble et al. (2018) existe un vasto potencial para el desarrollo de aplicaciones basadas en sensores, ya que estos suministran datos en tiempo real que pueden ser usados para el mantenimiento preventivo, detectando el desgaste y descompostura de los equipos. Los sensores relacionados con las tecnologías de digitalización de la industria 4.0, son los llamados “Sensores Inteligentes”. Existen gran variedad de estos sensores que se utilizan para motorizar en tiempo real algunos parámetros de comportamiento de máquinas y equipos que son críticos o de interés para el proceso de mantenimiento y disponibilidad.

Estos sensores pueden registrar datos de voltaje, amperaje, temperatura, vibración, movimientos de partes de la máquina, niveles de ruido, etc. Los sensores son programados con los datos normales de operación de la maquina en cuestión, supervisando los parámetros de niveles de limites superiores e inferiores, niveles de alerta, de falla inminente, de falla total, etc. Los sensores envían en tiempo real, dichas alertas pre-establecidas a los usuarios correspondientes. De igual manera, a través de la Inteligencia Artificial integrada en los sensores, estos aprenden a discriminar situaciones anormales que no representan una tendencia fuera de los parámetros preestablecidos.

### 2.10.4 Internet Industrial de las Cosas (IIOT)

La instalación de sistemas de monitoreo digital en máquinas críticas, permiten al departamento de mantenimiento supervisar de manera remota en tiempo real, el comportamiento de las maquinas en observación. El IoT o IIoT según Kamble et al. (2018), es una nuevo ecosistema industrial que combina inteligencia y maquinas autónomas, análisis predictivo avanzado y colaboración humano-máquina para mejorar la productividad, eficiencia y disponibilidad.

El IIoT engloba el conjunto de operaciones y dispositivos inteligentes que procesan información y datos y los comunican en tiempo real a través de redes de comunicación. Sin embargo el beneficio de todo esto se obtiene solamente al incorporarlo de manera estratégica y adecuada para tener la capacidad de una gestión de mantenimiento digital inteligente.

### 2.10.5 Computación en La Nube

El uso de la computación en la nube es básico para los procesos de mantenimiento, permitiendo la administración de las tareas de mantenimiento de una manera más eficaz, flexible, visual y escalable para todos los involucrados. Las tecnologías digitales de la Industria 4.0, como Ceruti et al. (2019) comenta, la idea de la nube informática es proporcionar servicios bajo demanda a través del Internet.

#### 2.10.6 Manufactura Aditiva (3D)

Es muy importante en el área de mantenimiento para poder tener la capacidad de producir ciertas refacciones críticas específicas (identificadas en su procedimiento de criticidad) que tengan tiempos de entrega prolongados debido a fabricación sobre pedido, de esta manera se puede tener respuesta inmediata en casa, para casos de identificación a tiempo de una falla potencial. Ceruti et al. (2019) dice, esta es una perspectiva visionaria ya que aún no hay del todo regulación para las piezas estructurales producidas por técnicas 3D, incluso con la misma geometría y material del obtenido con metodologías tradicionales.

#### 2.10.7 Realidad Aumentada (RA)

Fernández Del Amo et al. (2018) dice, las soluciones de RA para el mantenimiento deben tener en cuenta el contexto, para utilizar no solo los datos existentes, sino también para adquirir y analizar datos del entorno para ayudar de forma adaptativa en las tareas de mantenimiento.

#### 2.10.8 Inteligencia Artificial (AI)

El monitoreo en tiempo real de maquinaria crítica requiere tecnologías con capacidad de reconocimiento de cambios y discriminación de datos no críticos para los procesos de mantenimiento. Anand (2020) dice que los procesos de la inteligencia humana se denominan en conjunto cognición. Por lo tanto, se puede definir la AI como “la simulación y automatización de la cognición usando computadoras.

El ML (Machine Learning por sus siglas en inglés) por sus siglas en inglés) es parte de la inteligencia artificial dentro de los sensores inteligentes y otros dispositivos, los cuales tienen la capacidad de auto aprender las tendencias y comportamientos de la maquinaria y sus componentes y que estén considerados dentro del rango normal de operación, de manera que pueda discernir entre una tendencia hacia la falla o una tendencia de operación aceptable. De esta manera el personal de mantenimiento no tenga que realizar inspecciones innecesarias a la maquinaria y que causen paros no planeados. Almagor (2020) comenta que el aprendizaje

automático usa la inteligencia artificial para detectar la degradación y las fallas anormales de la maquinaria industrial antes de que ocurran.

Uno de los primeros desafíos dentro de las organizaciones, es entender y justificar las inversiones de capital para estas nuevas tecnologías de digitalización. Que, de entrada, no son fácilmente aprobadas por la organización, debido generalmente a costos elevados de implementación o falta de justificación de los beneficios que se obtendrían. Hamada, 2019 citado por Lewis & Cockrill (2002); Simmons et al (2008) comenta que la mayoría de las empresas son sensibles a los costos necesarios para adaptarse a los nuevos sistemas de información, por lo que son reacias a invertir sin una identificación clara de los posibles beneficios y según Tvenge et al.(2018) implica la necesidad de nuevos sistemas de aprendizaje, es decir, en forma de supervisión, orientación y aprendizaje colaborativo; síncrono y / o asíncrono, mediada a través de herramientas de las Tecnologías de Información.

### 2.11 Búsqueda de literatura científica

De la búsqueda de literatura científica en la WOS (Web Of Science - Clarivate) para identificar el número de artículos que contengan en los campos de búsqueda las siguientes palabras relacionadas con el tema de análisis: Industry 4.0, Maintenance, Availability y Machinery Availability, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Búsqueda de literatura científica en la WOS (Web Of Science - Clarivate)

Busqueda	Resultados	Tema	Resumen (Abstract)	Palabras Clave del Autor
1	9682	Industry 4.0		
2	7820	Industry 4.0	Industry 4.0	
3	1550	Industry 4.0	Industry 4.0	Industry 4.0
4	388	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance	
5	83	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance	Industry 4.0
6	40	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance	Industry 4.0, Maintenance
7	22	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance, Availability	
8	4	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance, Availability	Industry 4.0
9	3	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance, Machinery Availability	
10	3	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance, Availability	Industry 4.0, Maintenance
11	1	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance, Machinery Availability	Industry 4.0, Availability
12	0	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance, Availability	Industry 4.0, Maintenance, Availability
13	0	Industry 4.0	Industry 4.0, Maintenance, Machinery Availability	Industry 4.0, Maintenance, Machinery Availability

Fuente: elaboración propia basado en los resultados encontrados en WOS

A partir de estos resultados, se analizaron las búsquedas #02, 04, 06, 07, 10 y 11 para acotar aquellos que contuvieran el concepto de “Availability” (Disponibilidad) relacionado al mantenimiento y a las máquinas y equipos de manufactura. En la búsqueda #2 resultaron 124

artículos correspondientes a México en los cuales se menciona la frase Industry 4.0 dentro del Resumen (Abstract). En la búsqueda #4 se incluyó la palabra "Maintenance" dentro del Resumen, y de 388 artículos resultantes, solo 6 son de México. Ver tabla 5. Al revisar estos 6 artículos se encontró que solo dos de ellos tienen una ligera relación con el tema al mencionar los beneficios de la digitalización aplicada al TPM (Mantenimiento Productivo Total) como lo establece Tortorella et al., (2022) "se analiza la adopción conjunta de las tecnologías de la Industria 4.0 y las prácticas de TPM en las industrias de manufactura para analizar las variables: Contexto socioeconómico, Intensidad Tecnológica y Tamaño de la Industria". De igual forma otro de los 6 artículos que también pertenece a Tortorella et al., (2022) dice, "Nuestros hallazgos indican que las tecnologías I4.0 orientadas a la detección y comunicación de datos entre máquinas, personas y los productos parecen moderar la relación entre las prácticas de TPM y el desempeño del mantenimiento."

Tabla 5. Resultados de las búsquedas de palabras clave de: Industry 4.0, Maintenance

Análisis de la Búsqueda #2			Análisis de la Búsqueda #4		
Total de artículos	<b>7820</b>		Total de artículos	<b>388</b>	
Tema: <b>Industry 4.0</b>	Resumen (Abstract)	<b>Industry 4.0</b>	Tema: <b>Industry 4.0</b>	Resumen (Abstract):	<b>Industry 4.0, Maintenance</b>
Palabras Clave del Autor: <b>N/A</b>			Palabras Clave del Autor: <b>N/A</b>		
Pais de Publicacion	Cantidad	% de 7,820	Pais de Publicacion	Cantidad	% de 388
PEOPLES R CHINA	1091	13.951	ITALY	42	10.825
INDIA	714	9.13	PEOPLES R CHINA	37	9.536
ITALY	674	8.619	GERMANY	33	8.505
USA	674	8.619	INDIA	33	8.505
ENGLAND	585	7.481	SPAIN	29	7.474
GERMANY	566	7.238	ENGLAND	28	7.216
SPAIN	549	7.02	USA	28	7.216
BRAZIL	496	6.343	BRAZIL	26	6.701
POLAND	352	4.501	AUSTRALIA	24	6.186
AUSTRALIA	327	4.182	FRANCE	20	5.155
FRANCE	299	3.824	POLAND	18	4.639
MALAYSIA	290	3.708	PORTUGAL	13	3.351
TURKEY	253	3.235	GREECE	12	3.093
CANADA	221	2.826	TAIWAN	12	3.093
SAUDI ARABIA	214	2.737	MALAYSIA	10	2.577
PORTUGAL	210	2.685	NORWAY	10	2.577
TAIWAN	208	2.66	NETHERLANDS	9	2.32
SOUTH KOREA	199	2.545	IRELAND	8	2.062
PAKISTAN	171	2.187	SOUTH AFRICA	8	2.062
RUSSIA	166	2.123	SLOVAKIA	7	1.804
SWEDEN	165	2.11	SWEDEN	7	1.804
CZECH REPUBLIC	138	1.765	AUSTRIA	6	1.546
NETHERLANDS	131	1.675	CZECH REPUBLIC	6	1.546
AUSTRIA	128	1.637	MEXICO	6	1.546
MEXICO	124	1.586	MOROCCO	6	1.546

Fuente: elaboración propia basado en los resultados encontrados en WOS

De los 40 artículos encontrados en la búsqueda #06 (Ver tabla 6) ya no había ningún artículo de México, ni tampoco en ninguno de ellos se hacía referencia clara a la disponibilidad de la maquinaria o equipos. De esta manera se fueron aplicando filtros adicionales para facilitar la búsqueda de la información y coincidencia. En la búsqueda #07 (ver tabla 6), se agregó la

palabra “Disponibilidad” obteniendo 22 artículos como resultado (ninguno de México) y de los cuales solo 10 artículos cumplen con el criterio buscado sobre la disponibilidad de equipos y maquinaria, por ejemplo, Navas et al., (2020), comenta que “el modelo propuesto presenta una oportunidad única para una evolución disruptiva del mantenimiento, donde su apropiado desarrollo está relacionado con la correcta implantación de la Industria 4.0, que mejorará en gran medida los principales indicadores operativos: seguridad, fiabilidad, disponibilidad y costo”. De igual manera, Giacotto et al., (2021) escribe “El marco de mantenimiento prescriptivo propuesto apoya a los equipos de mantenimiento en el ecosistema de Industria 4.0, mejorando la disponibilidad de maquinaria diversa y capacidades de equipo.” Así mismo sobre la investigación y artículo de Nordal & El-Thalji, (2021), declaran que “los resultados demuestran claramente los posibles beneficios de por vida de implementar un sistema de mantenimiento inteligente, ya que mejoró la disponibilidad operativa en 0,268 % y redujo el mantenimiento correctivo en 459 h o 11 %”.

Tabla 6. Resultados de las búsquedas de palabras clave de: Industry 4.0, Maintenance, Availability

Análisis de la Búsqueda #06			Análisis de la Búsqueda #07		
Total de artículos <b>40</b>			Total de artículos <b>22</b>		
Tema: <b>Industry 4.0</b> Resumen (Abstract) <b>Industry 4.0, Maintenance</b>			Tema: <b>Industry 4.0</b> Resumen (Abstract) <b>Industry 4.0, Maintenance, Availability</b>		
Palabras Clave del Autor: <b>Industry 4.0, Maintenance</b>			Palabras Clave del Autor: <b>N/A</b>		
Pais de Publicacion	Cantidad	% of 40	Pais de Publicacion	Cantidad	% de 22
ITALY	7	17.5	BRAZIL	3	13.636
BRAZIL	5	12.5	GREECE	3	13.636
GERMANY	4	10	INDIA	3	13.636
SPAIN	4	10	AUSTRALIA	2	9.091
FRANCE	3	7.5	FRANCE	2	9.091
GREECE	3	7.5	GERMANY	2	9.091
PORTUGAL	3	7.5	SPAIN	2	9.091
POLAND	2	5	AUSTRIA	1	4.545
WALES	2	5	CANADA	1	4.545
AUSTRALIA	1	2.5	ENGLAND	1	4.545
AUSTRIA	1	2.5	IRELAND	1	4.545
COLOMBIA	1	2.5	NETHERLANDS	1	4.545
CZECH REPUBLIC	1	2.5	NORWAY	1	4.545
ENGLAND	1	2.5	PORTUGAL	1	4.545
INDIA	1	2.5	SLOVAKIA	1	4.545
IRELAND	1	2.5	SWITZERLAND	1	4.545
ISRAEL	1	2.5	TAIWAN	1	4.545
LUXEMBOURG	1	2.5	USA	1	4.545
MALAYSIA	1	2.5			
MOROCCO	1	2.5			
NETHERLANDS	1	2.5			
PEOPLES R CHINA	1	2.5			
SOUTH AFRICA	1	2.5			
SWITZERLAND	1	2.5			
TAIWAN	1	2.5			
TURKEY	1	2.5			
USA	1	2.5			

Fuente: elaboración propia basado en los resultados encontrados en WOS

Por último, se incrementó la estructura de los filtros para el campo de “palabras clave del autor”, obteniendo solamente 3 y 1 artículos en las búsquedas 10 y 11 respectivamente como se muestra en la tabla 7. De los cuales, solo uno de los tres artículos de la búsqueda #10 cumplió con el criterio sobre el tema de la disponibilidad de maquinaria y equipo, donde dice (Cardoso & Ferreira, 2021) “en este sentido, el potencial de las herramientas de Inteligencia Artificial, nos permite apuntar a una mejora en la disponibilidad de los sistemas, reduciendo costos de mantenimiento, aumentando el rendimiento operativos. El único artículo resultante de la búsqueda #11 si cumplió con el criterio, tal como describe Cao et al., (2019) “Siguiendo la tendencia de la Industria 4.0, la automatización en diferentes procesos de fabricación ha desencadenado el uso de sistemas inteligentes de monitoreo de condición, los cuales son cruciales para mejorar la productividad y disponibilidad de los sistemas de producción” p.01.

Tabla 7. Resultados de las búsquedas de palabras clave de: Industry 4.0, Maintenance, Machinery Availability

Análisis de la Búsqueda # 10			Análisis de la Búsqueda #11		
Total de artículos	3		Total de artículos	01	
Tema: <b>Industry 4.0</b>	Resumen (Abstract)	<b>Industry 4.0, Maintenance, Availability</b>	Tema: <b>Industry 4.0</b>	Resumen (Abstract)	<b>Industry 4.0, Maintenance, Machinery Availability</b>
Palabras Clave del Autor:	<b>Industry 4.0, Maintenance</b>		Palabras Clave del Autor:	<b>Industry 4.0, Availability</b>	
Pais de Publicacion	Cantidad	% of 3	Pais de Publicacion	Cantidad	% de 01
BRAZIL	1	33.333	France/Germany	1	100
PORTUGAL	1	33.333			
SWITZERLAND	1	33.333			

Fuente: elaboración propia basado en los resultados encontrados en WOS

Finalmente, nuestra búsqueda de literatura no encontró artículos relevantes para México, que discutieran mantenimiento desde una perspectiva de pilar de integración de Tecnologías Digitales de la Industria 4.0 a los procesos de mantenimiento para incrementar o mejorar la disponibilidad de maquinaria y equipo de la industria de manufactura. La complejidad de tal aspecto sugiere una revisión adicional centrada en cómo se ha integrado la industria 4.0 al mantenimiento de las empresas de manufactura en México. Ya que como bien menciona Silvestri et al., (2020)

“Si bien se ha realizado un estudio comparable para abordar el papel del mantenimiento para aspectos relacionados con la Industria 4.0, en el mejor conocimiento del autor, no existen

artículos que definan el estado del arte de las tecnologías de Industria 4.0 actualmente aplicadas en mantenimiento (p. 02)”

## 2.12 Retos futuros en la Digitalización Industrial

Retos futuros de la digitalización del Mantenimiento Industrial dentro de las organizaciones de la industria manufacturera, rumbo hacia la Industria 4.0

Luthra & Kumar (2018) establecen como principales retos a vencer:

- Bajo entendimiento de las implicaciones de la industria 4.0
- Una adopción pobre de investigación y desarrollo
- Problemas legales
- Una deficiente visión y estrategia de operaciones digitales de la empresa
- Un bajo apoyo y dedicación gerencial
- Problemas de perfil y complejidad
- Falta de una cultura digital
- Comportamiento reactivo hacia la Industria 4.0
- Beneficios económicos no claros de las inversiones digitales
- Falta de estándares globales y protocolos de intercambio de datos
- Falta de infraestructura y redes basadas en Internet
- Falta de competencia para adoptar / aplicar nuevos modelos de negocios
- Mala calidad de los datos existentes
- Falta de integración de plataformas tecnológicas
- Problemas de colaboración y coordinación
- Problemas de seguridad
- Falta de apoyo y políticas gubernamentales
- Restricciones financieras

## 2.13 Escenarios Futuros en la Digitalización Industrial

Los escenarios inmediatos y futuros para abordar en la industria manufacturera para avanzar en la digitalización industrial de sus procesos, sería trabajar en los siguientes retos de mayor a menor grado en el siguiente orden:

1. Organizacional, 2. Legal y Ético, 3. Estratégico, 4. Tecnológico. (Luthra & Kumar, 2018) (Doyle & Kopacek, 2019) dicen:

En 2018, Deloitte escribió un artículo titulado 'La brecha de habilidades en las perspectivas de fabricación de EE. UU. 2015-2025' y enfatizó que los humanos deben volver a estar en el circuito, pero para hacer esto, los empleados nuevos y con habilidades diferentes deben cumplir con las nuevas especificaciones de trabajo. En resumen, señalaron que la brecha de habilidades se describe en los siguientes temas;

- Poner a los humanos dentro del circuito (“loop”)

- Expandir las habilidades digitales y las habilidades blandas (“soft”)
- Aprovechando la “caja de herramientas digital”

Y vislumbrando aún más allá, también Doyle & Kopacek, (2019) comentan que:

Según la empresa Korcomptenz, la industria 5.0 se está acercando rápidamente y traerá consigo un mayor toque humano en la fabricación. Se cree que "donde la industria 4.0 pone la tecnología inteligente a la vanguardia de la fabricación, la 5.0 fomentará una mayor colaboración entre los seres humanos y los sistemas inteligentes".

## 2.14 Marco Contextual

### Contexto del Sujeto de Estudio

#### 2.14.1 Macro Contextualización

Desde la presentación del concepto de Industria 4.0 y sus tecnologías de digitalización en Hannover Alemania en 2014, las industrias de manufactura de todos los giros industriales han ido creciendo en su implementación y utilización, en todos los continentes del mundo, cada región con diferentes avances y tipos de tecnologías, sin embargo todos los cambios han sido enfocados a la transformación de sus procesos industriales tradicionales, para mejorar su capacidad productiva e incrementar su rentabilidad para permanecer competitivos en el cambiante mercado de hoy. De acuerdo a la literatura revisada y datos publicados de encuestas realizadas a nivel internacional, hemos visto que en México existen un porcentaje de empresas de manufactura que ya tienen procesos digitalizados, aunque en cierta medida y mucho menor en comparación con otros países considerados como potencia en la industrialización y automatización de procesos (ej. EUA, Alemania, Japón, China, etc.). En la tabla 8 se puede ver que en México aún utilizamos 100% de herramientas de escritorio convencionales para analizar y procesar los datos obtenidos de nuestros activos de producción. Esto nos coloca en un rezago importante al no digitalizar estos procesos. Cabe mencionar que en esta encuesta se obtuvo un 94% de coincidencia en utilización del Big Data para la gestión de datos, sin embargo, queda incierto de como se hace, al contraponerse contra el dato de 100% de utilización de hojas de cálculo.

Tabla 8. ¿Qué herramientas y tecnologías está utilizando actualmente para acceder, analizar y aprovechar los datos de sus activos?

	Total (N <sub>T</sub> =361)	Americas (N <sub>AM</sub> =161)	US (N=80)	Mexico (N=31)	Brazil (N=30)	Canada (N=20)
Herramientas de productividad de escritorio (ej. Hoja de cálculo, Sistema de gestión de datos)	88%	98%	99%	100%	93%	95%
Software ERP para análisis	85%	91%	93%	94%	83%	95%
Sistema Computarizado de Mantenimiento (CMMS)	68%	81%	80%	77%	83%	85%
Capacidades de Computación en la Nube	66%	72%	79%	55%	73%	70%
Gestión móvil de campo	63%	63%	63%	61%	57%	80%
Tecnologías de Visualización de Datos	62%	65%	66%	68%	53%	70%
Plataforma de Big Data para gestión de volume de datos	60%	70%	68%	94%	57%	60%
Modelamiento y simulación Avanzado	51%	55%	58%	52%	47%	65%
Escaneo / Video Visual	48%	47%	41%	48%	47%	70%
Automatización de procesos robóticos	31%	32%	33%	26%	47%	20%
Sensorización (Sensores inteligentes)	26%	23%	24%	23%	10%	40%
Robótica Física	24%	24%	28%	13%	13%	40%

Adaptado de (Daecher et al., 2018, p. 6) Fuente: Encuesta Deloitte 2018 Inversión en la industria 4.0

Entonces, las estrategias emprendidas por las empresas que están implementando la industria 4.0 dicen Skobelev & Borovik, (2017) que:

Primero es la estrategia industria 4.0 para la cadena de suministro. Segundo es abrazar el IoT, para cuando las empresas dependen de la comunicación entre máquinas y sistemas. En tercer lugar, se exige que la empresa pueda para llevar a cabo una integración analítica sofisticada. Lo anterior parece sencillo, pero vemos que implícitamente abarca varias de las tecnologías que ya hemos descrito y revisado.

Además a lo anterior, no podemos dejar de mencionar la evolución de la Industria 4.0 viene más allá de todo esto, y, que aunque no hay certeza formal de su estado del arte, ya se visualiza según Paschek et al. (2019) esta evolución que va romper las barreras entre el mundo real y el virtual. Como Saptaningtyas & Rahayu, (2020) comentan, la principal preocupación en la Industria 4.0 es la automatización, mientras que la Industria 5.0 es una sinergia entre humanos y máquinas que utilizan la capacidad intelectual y la creatividad humana para aumentar la eficiencia y eficacia del proceso. En la tabla 9, podemos ver una comparativa de lo que es actualmente la Industria 4.0 y su evolución hacia lo que en un futuro se espera que sea la Industria 5.0.

Tabla 9. Una comparación de la Industria 4.0 y la visión de la Industria 5.0

	<b>Industria 4.0</b>	<b>Industria 5.0 (Visión 1)</b>	<b>Industria 5.0 (Visión 2)</b>
<b>Lema</b>	Manufactura Inteligente	Co-trabajo humano-robot	Bioeconomía
<b>Motivación</b>	Producción en Masa	Sociedad Inteligente	Sustentabilidad
<b>Fuente de energía</b>	Energía Eléctrica Combustibles fósiles Fuentes renovables de energía	Energía Eléctrica Fuentes renovables de energía	Energía Eléctrica Fuentes renovables de energía
<b>Tecnologías Involucradas</b>	Internet de las cosas (IoT) Computación en la Nube Big Data Inteligencia Artificial y Robótica	Colaboración Humano-Robot Recursos Renovables	Producción Agrícola Sustentable Biónica Recursos Renovables
<b>Áreas de Investigación Involucradas</b>	Investigación Organizacional Innovación y mejora de procesos Administración de Negocios	Ambientes inteligentes Investigación Organizacional Innovación y mejora de procesos Administración de Negocios	Agricultura Biología Prevención de residuos Innovación y mejora de procesos Administración de Negocios Economía

Adaptado de (Demir et al., 2019 p. 690)

Estos criterios de diferenciación y con la literatura revisada al momento, nos pueden indicar que es poco probable que exista en este momento, una organización que tenga una integración al 100% de la industria 5.0, sin embargo podrían existir organizaciones industriales más avanzadas que pueden tener ya alguna de las características de la I5.0. Demir et al. (2019) dice, actualmente surgen dos visiones para la Industria 5.0. El primero es el “trabajo conjunto entre humanos y robots”. En esta visión, el robot y los humanos trabajarán juntos siempre que sea posible. Los humanos se enfocarán en tareas que requieran creatividad y los robots harán el resto. Otra visión de la Industria 5.0 es la Bioeconomía, con el uso inteligente de los recursos biológicos con fines industriales ayudará a lograr un equilibrio entre la ecología, la industria y la economía.

De igual manera, ampliando el concepto de como funcionara la Industria 5.0, Skobelev & Borovik, (2017) comentan que:

El nivel de educación, formación de investigadores y tecnólogos y científicos, tecnológicos y el desarrollo tecnológico permite que la comunidad mundial se mueva gradualmente hacia la formación y gestión de la industria. 5.0 a través de la mente tecnológica cognitiva con la ayuda de conjuntos de agentes inteligentes y gemelos digitales y automatizados sistemas con inteligencia artificial.

Ahora bien, a este nivel de macro contexto, nos preguntamos ¿en dónde están ahora las empresas manufactureras en cuestión de agilizar y acelerar su proceso de transformación digital de la industria 4.0 en el mundo y en México?

Para saber esto, hay muchos indicadores que ayudan a evaluar el nivel de preparación de las empresas y uno de los índices más utilizados por muchas empresas a nivel mundial, es el conocido como SIRI, o Índice de Preparación para la Industria Inteligente (que por sus siglas en ingles es: Smart Industry Readiness Index). “El cual en su capa superior identifica tres componentes fundamentales básicos de la Industria 4.0: Procesos, Tecnología y Organización” (World Economic Forum, 2022, p. 05). Estos tres componentes principales se subdividen en 8 pilares y 16 dimensiones. A su vez, cada dimensión es evaluada en 6 bandas (de 0 a 5) para ir integrando el estado actual de cada dimensión a través de un enfoque sistemático.

Estos componentes, pilares y dimensiones son evaluados por la OSA (Official SIRI Assesment) o la Evaluación Oficial SIRI a través de asesores calificados y que son certificados por SIRI, los cuales conducen las evaluaciones de las industrias de una manera precisa y objetiva.

Los resultados obtenidos después de una evaluación permiten a la industria:

1. “Tener una caracterización del estado actual de sus plantas/fábricas.
  2. Referencia frente a sus pares de la industria u otras empresas dentro de una geografía dada
  3. Identificación de áreas de alto impacto que pueden priorizar para mejorar”
- (World Economic Forum, 2022, p. 6)

La tabla 10 muestra los resultados de las evaluaciones del Índice SIRI con el top 5 de las industrias con mayor madurez digital. Estos resultados se consiguieron gracias a la asociación del Foro Económico Mundial y la Junta de Desarrollo Económico de Singapur, los cuales comentan que “después de 18 meses de investigación se obtuvieron datos de cerca de 600 empresas manufactureras en 30 países para delinear el estado actual de transformación industrial en diferentes sectores” World Economic Forum Release, (2022)

Tabla 10. Los 5 primeros lugares de los sectores industriales con mayor madurez digital en 2019 y 2020

Clasificación	2019	2022
1	Semiconductores	Semiconductores

2	Farmacéutica	Electrónica
3	Electrónica	Farmacéutica
4	Energía y Químicos	Energía y Químicos
5	Tecnología Medica	Logística

Nota: datos de World Economic Forum, (2022 p.12). Fuente: International Centre for Industrial Transformation (Analysis by the Singapore Economic Development Board

De los anteriores resultados resalta el sector de logística que ha ido escalando hasta que se ha colocado en la 5ª posición, como explica el World Economic Forum, (2022) primeramente debido a “el incomparable crecimiento de las compras en línea, movilizándolo a la industria en la mejora de sus operaciones y segundo, a el surgimiento de líderes del comercio electrónico como Amazon, Alibaba, JD.com echando por la borda la logística tradicional” (p. 12).

La comparativa realizada mediante el índice SIRI de madurez digital 4.0 para el total de las empresas que participaron, arrojó resultados cuantitativos que muestran la madurez y nivel de ubicación en entre bandas del sistema SIRI, las cuales “quedaron en tres grupos: 1. Lo Mejor de la Clase el 10% del total. 2. Amplio Medio 80% del total. 3. Peor Desempeño 10% del total.” World Economic Forum, (2022).

Estos datos nos revelan algo muy importante y relacionado con este trabajo de investigación. Las empresas que están en las bandas 1 y 2 tienen sus puntajes más bajos en las áreas de Conectividad en área de Producción, Automatización de Planta, Conectividad de Planta e Inteligencia de Planta dimensiones, y que son las áreas donde el departamento de Mantenimiento tiene su mayor campo de acción y soporte hacia el negocio. Y, por el contrario, las empresas que puntuaron con más alto desempeño en la banda 3, tienen mejor puntaje en estas mismas áreas, lo cual muestra la importancia otorgada a estas áreas para ser incluidas en la industria 4.0 y que sin duda han contribuido en el proceso de diferenciación del resto de las empresas de menor desempeño, además de las ventajas implícitas que esto conlleva para sus procesos internos y aporte al apalancamiento competitivo en su mercado.

#### 2.14.2 Meso Contextualización

Enfocando hacia nuestro continente, se sabe que “algunos de los desafíos y barreras para la transformación a la Industria 4.0 de la cadena de suministro en América Latina y Caribe (LAC),



En un estudio realizado a la industria manufacturera electrónica de Baja California en 2017 por la empresa AXIS, se encontró que “el nivel de tecnología utilizada en los procesos de producción, se utiliza maquinaria y equipo de nivel competitivo en alrededor del 54% de las operaciones y con tecnologías maduras en un 32%, mientras que solo el 8% de la tecnología utilizada se puede considerar de punta” (AXIS, 2017, p. 106), donde además, se desconoce el estado de desarrollo tecnológico de las áreas de soporte de los procesos de producción, específicamente de los departamentos de mantenimiento. En la figura 11 se puede visualizar el mapa de este nivel de avance tecnológico.

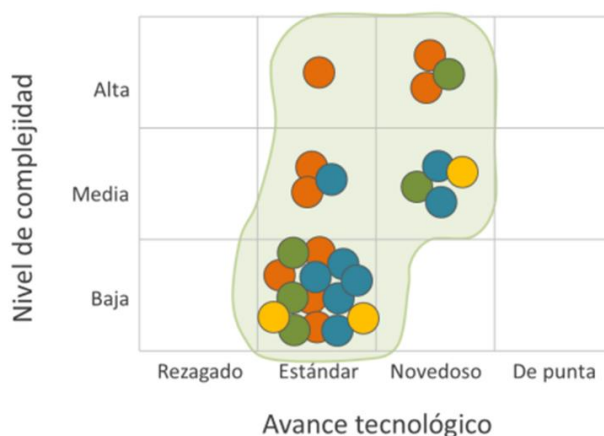


Figura 11. Nivel tecnológico de equipo y sistemas de procesos productivos industria electrónica Baja California en 2017.

Fuente: AXIS (2017 p.106)

Donde se considera a la tecnología de punta relacionada con la Industria 4.0 (robótica, automatización, sistemas de proceso de interacción con el internet, etc.).

Un estudio de campo en 9 empresas del giro electrónico de la ciudad de Mexicali BC, se encuestó a los ingenieros responsables de las diferentes áreas del proceso productivo, con un cuestionario para evaluar las competencias en el uso de herramientas digitales aplicadas a los procesos de producción.

Así mismo se evaluó en general a cada empresa para analizar el nivel de transición físico a digital y los niveles de clasificación según Garduño Palomino, K. Y. (2021)

Nivel 1: No tiene conocimiento, ni habilidades sobre cómo utilizarla. (dominio 0-25%), Nivel 2: Conoce la tecnología, pero nunca la han utilizado, ni cuenta con las destrezas necesarias para manejarlas (dominio 26-50%). Nivel 3: Conoce la tecnología, la ha utilizada puntualmente y tiene conocimientos suficientes para manejarla (dominio 51-75%). Nivel 4: Conoce la tecnología, la

utiliza habitualmente y tiene amplio conocimiento para el manejo y el dominio de está (dominio 76-100%).

En las Figuras 12 y 13 se muestran los resultados obtenidos por Garduño

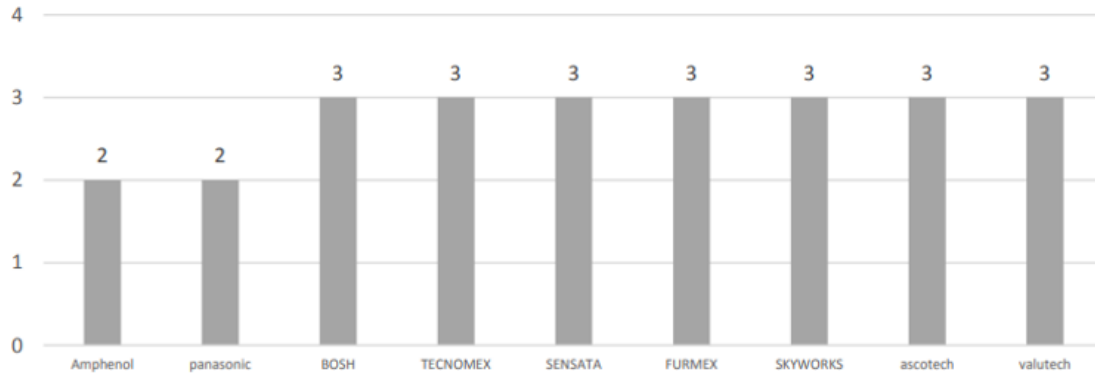


Figura 12. Nivel de madurez en las competencias para el uso de herramientas digitales de los ingenieros.

Fuente: Garduño Palomino, K. Y. (2021 p. 164)

Los resultados sobre este nivel de madurez de los ingenieros de estas empresas muestran entonces mayormente que conocen la tecnología, que la han utilizado puntualmente y tienen conocimientos suficientes para manejarla (con un dominio del 51-75%).

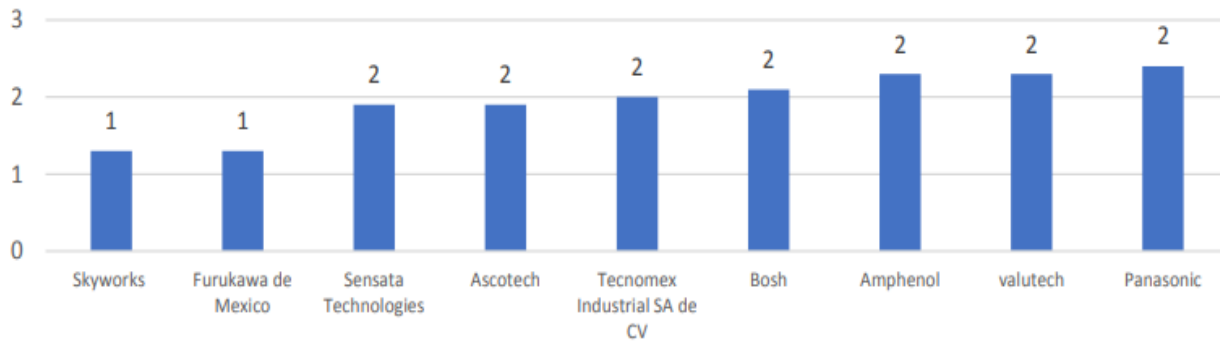


Figura 13. Transición Física a Digital por empresa.

Fuente: Garduño Palomino, K. Y. (2021 p. 157)

Sin embargo, cuando la investigación se orientó directamente sobre los procesos actuales de las empresas enfocadas hacia el cambio digital, los resultados indicaron una tendencia generalmente baja en la que solo se conoce la tecnología, pero nunca la han utilizado de forma estandarizada, ni cuenta con las destrezas necesarias para manejarlas (con un dominio del 26-50%).

## 2.15 La Industria Manufacturera a nivel local en los departamentos de mantenimiento y su nivel de preparación en la Industria 4.0

Uno de los factores clave en el constante cambio del mercado de la industria manufacturera de Tijuana, es la industria 4.0 y su papel en el rol de la digitalización de muchos procesos directos de manufactura, y procesos indirectos de soporte como son las actividades de los departamentos de mantenimiento. Lo anterior puede fundamentarse en un estudio realizado a la industria manufacturera de Tijuana BC a través de un instrumento de medición dirigido a 337 empresas del giro manufacturero, para medir la flexibilidad enfocada hacia la capacidad de cambio de cara a las exigencias del mercado cambiante. En este análisis se detectaron 13 indicadores principales en los que uno de los indicadores de mayor recurrencia fue la Capacidad para mantener la funcionalidad o Disponibilidad de la maquinaria de producción, según se muestra en la figura 14.



Figura 14. Indicadores de Flexibilidad

Fuente: (Vega et al., 2022 p.166)

El personal clave encuestado de esta industria manufacturera de Tijuana comentó según Vega et al., (2022), “las variables críticas que consideran no presentes o controladas en las actividades de soporte rápido son; la limpieza del equipo, mantenimiento general, medición, transporte de herramientas, simplificación de procesos de cambio, uso especial de herramientas del fabricante entre otros” (p. 172). Por lo que, con respecto a los procesos de mantenimiento y soporte, queda en evidencia la carencia de procesos más digitalizados con herramientas de la industria 4.0, que

aporten un control estandarizado y medible que ayude en la maximización de la disponibilidad de la maquinaria de producción. Por otra parte, en una encuesta del 2020 para investigar sobre los factores que inciden sobre la Confiabilidad operacional en los departamentos de mantenimiento, realizada a una muestra de 37 personas clave (de una población de 150) de los departamentos de mantenimiento de las plantas más representativas de la industria manufacturera automotriz de Tijuana BC se encontraron cuatro variables independientes que mayormente inciden en esta **Variable Dependiente Confiabilidad** (CONF) y que tiene como resultante ulterior la disponibilidad de la maquinaria y equipos enfocados a la producción en la industria manufacturera. Dichas variables independientes de acuerdo a Galaviz, A. G. (2021) son: Capital Humano del área de Mantenimiento (CH), Sistemas y Procedimientos de Mantenimiento (SP), Administración de Activos de Mantenimiento (AA), Definición de Estrategias de Mantenimiento (DE)

En la figura 15 se muestra la forma gráfica de la variable dependiente y las variables independientes desarrolladas en la investigación para la encuesta a los departamentos de mantenimiento de dichas empresas del sector automotriz.

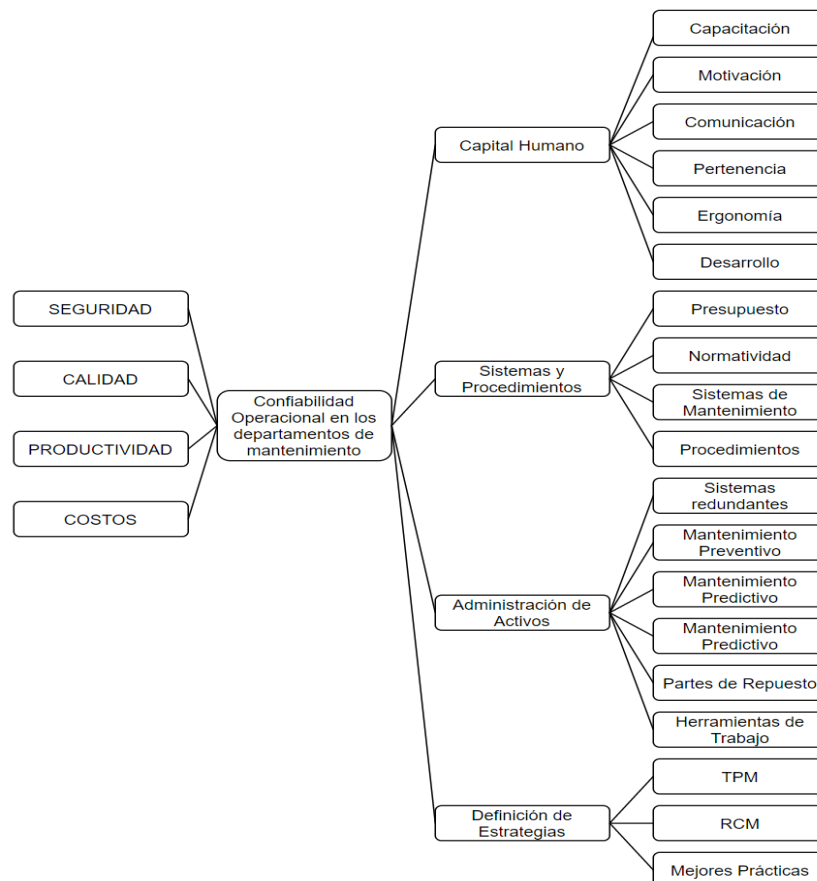


Figura 15. Relación de Variable Dependiente e Independientes para la Confiabilidad Operacional de los Departamentos de Mantenimiento

Fuente: Galaviz, A. G. (2021) “ *Gestión de La Confiabilidad En Los Departamentos de Mantenimiento En La Industria Automotriz Más Representativa de Tijuana , B . C .,*” 2021

De este análisis se observó de acuerdo Galaviz, A. G. (2021) que “la variable independiente que tiene mayor correlación con la variable dependiente Confiabilidad Operacional de los Departamentos de Mantenimiento, es la variable Definición de Estrategias de Mantenimiento (DE), con un valor de correlación de Pearson de 0.922 y significancia del 0.01%” (p. 84). Sin embargo las otras 3 variables independientes también tienen una correlación fuerte aunque en menor medida que la variable *Definición de Procedimientos* pero que al analizarlas con el modelo de regresión lineal y siendo aceptable el análisis de consistencia del constructo mediante Alfa de Cronbach (resultando entre 0.6 y 0.7), de aquí entonces afirma Galaviz, A. G. (2021) que “ el modelo de regresión probado con las cuatro variables independientes se explica el 87.3% de la varianza de la variable dependiente Confiabilidad Operacional del Departamento de Mantenimiento”. (p. 84).

De lo anterior, vemos que es muy relevante para los departamentos de mantenimiento de las empresas manufactureras la relación entre las variables que se desprenden de sus estrategias de operación debido al alto beneficio que estas aportan en conjunto para llegar a tener una alta disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria y equipos de producción. Los gerentes y supervisores de mantenimiento son los principales actores del cambio hacia la digitalización de los procesos de mantenimiento dentro de la industria manufacturera. Son ellos quienes pueden moldear y perfilar el estado actual de las estrategias de mantenimiento y las tecnologías de la Industria 4.0. Ya que todos los resultados de los métricos del departamento de mantenimiento influyen directamente en el desempeño de la Confiabilidad y Disponibilidad de Maquinaria.

#### 2.15.1 Micro Contextualización

Para poder realizar un análisis del impacto de la Industria 4.0 en la industria manufacturera, el enfoque de este estudio está dirigido a la ciudad de Tijuana BC, para analizar la mayor cantidad posible de las empresas establecidas en los diferentes parques industriales de la ciudad, que cuenta con más de 500 empresas manufactureras del sector maquilador.

A continuación, en la tabla 11 se presenta un listado muestra de las empresas manufactureras.

Tabla 11. Directorio de Empresas Manufactureras en Tijuana BC

AEROSPAZIAL	CABLES Y ARNESES	ELECTRONICA	AUTOMOTRIZ
ABLE	AMPHENOL TCS DE MÉXICO	ABLEMEX (SIGMATRON)	ADLER PELZER SALTILLO
AEARO TECHNOLOGIES DE BAJA	APTIV CONTRACT SERVICES TIJUANA	ACFT MANUFACTURING OPERATIONS SERVICES (AFX INDUSTRIES)	ALPHABET DE SALTILLO (MSSL DE SALTILLO)
ALLPOWER DE MÉXICO	ARNESES Y ACCESORIOS DE MÉXICO (PLANTA 3)	ADI SYSTEMS MÉXICO	ALCOM ELECTRONICOS DE MÉXICO
ALTASER AEROSPACE	ARNESES Y CONEXIONES	AMERICAN GREEN INC.	ALD TRATAMIENTOS TÉRMICOS
AMERICAN PRECISION ASSEMBLERS DE MÉXICO	ASTEELFLASH MÉXICO	AMERICAN PRECISION ASSEMBLERS DE MÉXICO	ALPHABET DE SALTILLO (MSSL DE SALTILLO)
AMERMEX (TE CONNECTIVITY)	ATRONIX DE MÉXICO	AMERMEX (TE CONNECTIVITY)	ALUMINIOS DE PRECISIÓN
AMPHENOL OPTIMIZE MEXICO	AUTOPARTES DE PRECISIÓN DE SANTANA	AMIGO TECNOLOGÍA	AMETEK LAMB MOTORES DE MÉXICO
ANODIMEX DE MÉXICO	AUTOSISTEMAS DE TORREÓN (PLANTA HAMBURGO)	AMPHENOL ALDEN PRODUCTS DE MÉXICO	ANDROID INDUSTRIES MEXICO
APPLIED MANUFACTURING & SERVICES	AUTOSISTEMAS DE TORREÓN (PLANTA SAULO)	AMPHENOL OPTIMIZE MEXICO	ANDROID SERVICIOS DE MÉXICO
APTIV CONTRACT SERVICES TIJUANA	BELDEN DE SONORA	AMPHENOL TCS DE MÉXICO	ANSA MÉXICO (ACUMULADORES DEL NO)
ARNPRIOR AEROSPACE MÉXICO	BELDEN DE SONORA	APPLIED MANUFACTURING & SERVICES	APPLIED MANUFACTURING & SERVICES
ASCENT AEROSPACE DE MÉXICO	BENCHMARK ELECTRONICS TIJUANA	APPLIED TECHNICAL SERVICES (ATS)	APTIV CONTRACT SERVICES TIJUANA
ASCOTECH	CABLEADOS DEL NORTE	ARROW ELECTRONICS	APTIV REYNOSA
ASTEELFLASH MÉXICO	CARLISLE INTERCONNECT TECHNOLOGIES MÉXICO	ARROYO HOLDINGS DE MÉXICO	ARC AUTOMOTRIZ DE MEXICO
AUXITROL WESTON (ANTES: ESTERLINE ADVANCED SENSORS)	CCX	ASCOTECH	ARCONIC FASTENING SYSTEMS & RINGS
AVNET LOGISTICS	CELESTICA DE MEXICALI (ANTES SUNTEK MANUFACTURING T)	ASTEELFLASH MÉXICO	ARNESES Y ACCESORIOS DE MÉXICO (PLA
BAP AEROSPACE DE MÉXICO (BARRY AVENUE PLATING)	CHARLES E. GILLMAN COMPANY	AUTOSPlice MÉXICO	ARNESES Y CONEXIONES
BARNES AEROSPACE	CHIHUAHUA ELECTRICAL WIRING SYSTEM	AVNET LOGISTICS	ASCOTECH
BE AEROSPACE	CHIYODA INTEGRE DE BAJA CALIFORNIA	BELDEN DE SONORA	ASTEELFLASH MÉXICO
BELDEN DE SONORA	CINCH CONNECTORS DE MÉXICO	BENCHMARK ELECTRONICS TIJUANA	ATRONIX DE MÉXICO
BENCHMARK ELECTRONICS TIJUANA	CONDUCTORES DEL NORTE INTERNACIONAL	BOSE CORPORATION	AUTO ALFOMBRAS CAMSA
BRYANT RUBBER (OPTI-SOURCE)	CONDUCTORES MONTERREY (VIKON)	BOURNS DE MÉXICO	AUTO CUBIERTAS DE MÉXICO
C&L MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS	CONSOLIDATED PRECISION PRODUCTS (CPP)	BRADY MÉXICO	AUTO INDUSTRIAL DE PARTES
CADENCE AEROSPACE	D.G.S. ELECTRIC	C&L MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS	AUTOCIRCUITOS DE OBREGÓN
CARLEY DE MÉXICO	DAEDONG SYSTEM MEXICO	CAL-COMP ELECTRONICS DE MÉXICO	AUTOLIV MÉXICO EAST
CARLISLE INTERCONNECT TECHNOLOGIES MÉXICO	DRAKA PRYSMIAN DURANGO	CALIBAJA MANUFACTURING	AUTOLIV SAFETY TECHNOLOGY DE MÉXICO
CASTLE METALES DE MÉXICO	DURANGO AUTOMOTIVE WIRING SYSTEMS	CARLEY DE MÉXICO	AUTOMOTIVE LIGHTING
CELESTICA MONTERREY	EDS MFG MÉXICO	CCM ENSAMBLE Y MANUFACTURA	AUTOMOTIVE MAQUILADORA
CESSNA AIRCRAFT CHIHUAHUA (TEXTRON AEROSPACE)	ELECTRO ÓPTICAS SUPERIOR	CD ELECTRÓNICA DE MÉXICO	AUTONEUM MEXICO
CHROMALLOY	ENSAMBLADORA ALTECSA	CELESTICA DE MEXICALI (ANTES SUNTEK MANUF	AUTOPARTES DE PRECISIÓN DE SANTAN/
COBHAM ADVANCED ELECTRONIC SOLUTIONS	ENSAMBLADORA INTERNACIONAL	CELESTICA MONTERREY	AUTOSISTEMAS DE TORREÓN (PLANTA H)
COLLINS AEROSPACE (UNITED TECHNOLOGIES AEROSPACE S)	ENSAMBLES DEL PACÍFICO (PARPRO)	CHIYODA INTEGRE DE BAJA CALIFORNIA	AUTOSISTEMAS DE TORREÓN (PLANTA S)
CONESYS MÉXICO	FUJIKURA AUTOMOTIVE MÉXICO	CLOVER WIRELESS (RECONEXT)	AUTOSPlice MÉXICO
CONSOLIDATED PRECISION PRODUCTS	FURUKAWA ELECTRIC INDUSTRIAL MÉXICO	CM PARTNER MX	AUTOTECH PRODUCTION SERVICES INC.
CONSOLIDATED PRECISION PRODUCTS (CPP)	FURUKAWA MÉXICO	CMC CONVERTING DE MÉXICO	BAP AEROSPACE DE MÉXICO (BARRY AVE
CRISSAIR DE MÉXICO	GENERAL DE CABLE DE MÉXICO DEL NORTE	COASTLINE DE MÉXICO	BENDIX (PLANTA 2)
CUBIC DE MÉXICO	GRUPO ESSEX DE MÉXICO	COBHAM ADVANCED ELECTRONIC SOLUTIONS	BENDIX (PLANTA 3)
DAHER AEROSPACE	HARCOSEMCO	COMMSCOPE (ARRIS GROUP DE MÉXICO)	BENTELER DE MÉXICO
DAHER AEROSPACE	HIKAM ELECTRÓNICA DE MÉXICO	COMPONENTES DE CALIDAD	BMS BORDER METAL STAMPING
DEUTSCH SERVICIOS (TYCO)	INDUSTRIAS MELANG (RAPID MANUFACTURING)	COMPONENTES DE CALIDAD (PLANTA 1)	BOOSTER PRECISION COMPONENTS MEX
DRAKA PRYSMIAN DURANGO	JAE TIJUANA	COMPONENTES UNIVERSALES DE MATAMOROS	BORGWARNER DE MÉXICO
EATON INDUSTRIES	JU YOUNG MANUFACTURING	COMUNICACIONES DE CALIDAD	BOSCH JUÁREZ SAESA
ELECTRÓNICA VANGUARD	JUDCO MANUFACTURING	CONCURRENT MANUFACTURING SOLUTIONS	BOSE CORPORATION
ELECTRO ÓPTICAS SUPERIOR	LEONI CABLE	COOPER BUSSMAN (EATON)	BOURNS DE MÉXICO
EMPRESAS L.M.	LEVITON DE MÉXICO	COTO TECHNOLOGY	BOURNS DE MÉXICO
ENCORE AEROSPACE MÉXICO	LEVITON DE MÉXICO	CREATION TECHNOLOGIES MEXICALI	BRADY MÉXICO
ENSAMBLADORES ELECTRÓNICOS DE MÉXICO	MAC MANUFACTURING	CS MANUFACTURE AND INDUSTRIAL SERVICES	BRYANT RUBBER (OPTI-SOURCE)
ENSAMBLES DEL PACÍFICO (PARPRO)	MAM DE LA FRONTERA (SHELTER)	CUBIC DE MÉXICO	BURGESS-NORTON
ESTERLINE MÉXICO (NMC)	MAVERICK ELECTRONICS	CWC - CIRCUIT WORKS CORPORATION MEXICO	BWI GROUP
EZ AIR (EMBRAER ZODIAC)	MEGA TECHWAY DE MÉXICO	DCE DE MÉXICO	C&L MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS
FILTROS ELECTRÓNICOS	MOLEX	DELTA ELECTRONICS	CALIDAD INTERNACIONAL DE PULIDO
FOKKER AEROSTRUCTORES	MRG DE MÉXICO	DEMO TECHNIC	CAMEX LL (CACTUS AUTOMOTIVE SERVIC
FRISA AEROSPACE	MWC DE MÉXICO (DIV. CVG)	DHA MÉXICO	CARROCERÍAS GALLEGOS
GAMMA AEROSPACE (ANTES GERMAN MACHINED PRODUCT)	NEI SYSTEMS MEXICO	DIALIGHT DE MÉXICO	CE MANUFACTURING
GROUP STADCO MÉXICO (ANTES GROUP-AERO MEXICALI OPE	NISHINIHON SHOKO	DIAMOND ELECTRONICS	CELESTICA MONTERREY
HABILITACIONES Y SERVICIOS INDUSTRIALES (HASEIN)	NORTH AMERICAN INTERCONNECT	DIGITAL APPLIANCE CONTROLS DE MÉXICO (SIG	CEMM MEX
HARCOSEMCO	NORTH AMERICAN PRODUCTION SHARING DE MÉXICO	DYNACAST	CEQUENT ELECTRICAL PRODUCTS DE MEX
HI-TECH PRODUCTS	NORTH AMERICAN PRODUCTION SHARING DE MÉXICO (DIV.	ELECTRÓNICA LOWRANCE DE MÉXICO	CHIYODA INTEGRE DE BAJA CALIFORNIA
HIGH TEK MOTOR	NORTH AMERICAN PRODUCTION SHARING DE MÉXICO, (DIV.	ELECTRÓNICA VANGUARD	CHRYSLER SALTILLO
HONEYWELL AEROSPACE	OCP DE MÉXICO	ELECTRO ÓPTICAS SUPERIOR	COAVIS MÉXICO
HONEYWELL AEROSPACE DE MÉXICO	ODU MÉXICO MANUFACTURING	ELECTROMECC DE NOGALES	COFICAB MX
HONEYWELL INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA AEROSPAZIAL DE M	PEMESA SALTILLO	EMERMEX	COMMERCIAL VEHICLE GROUP (CVG)
HUTCHINSON SEAL DE MÉXICO	RIDEX DE MÉXICO	EMERSON TECNOLOGÍAS DE FLUIJO	COMPONENTES DE CALIDAD
IMC FINISHING	ROYTEC INDUSTRIES	ENELME	COMPONENTES DE CALIDAD (PLANTA 1)
INDUSTRIAS HUNTER	SANTOMI	ENSAMBLADORA ALTECSA	CONTINENTAL AUTOMOTIVE NOGALES
INDUSTRIAS MELANG (RAPID MANUFACTURING)	SCOTT ELECTRONICS MÉXICO	ENSAMBLADORES ELECTRÓNICOS DE MÉXICO	CONTINENTAL STRUCTURAL PLASTICS DE
INTERIORES AÉREOS (GULFSTREAM)	SEASON GROUP MX	ENSAMBLES DE CALIDAD MÉXICO	COOPER STANDARD
ITT CANNON DE MÉXICO	SMP - STANDARD MOTOR PRODUCTS DE MÉXICO	ESPECIALIZED ASSEMBLY SERVICES	COOPER-STANDARD AUTOMOTIVE FLUID
IVEMSA (DIV. GKN AEROSPACE CHEM-TRONICS MXL)	SUMMIT DE BAJA CALIFORNIA (DIV. SIEMEN)	FEDERAL ELECTRONICS	CROMADORA DE SAN DIEGO
JABIL CIRCUIT CHIHUAHUA	TECMA (BORDER ASSEMBLY / TÉCNICAS MEXICANAS DE ENS	FERROINDUSTRIAS DE TECATE	CS MANUFACTURE AND INDUSTRIAL SERI
LAMAGUARD AEROSPACE DE MÉXICO (ANTES ORCON DE MEXI	TI SOLUTIONS USA DE MÉXICO	FILTROS ELECTRÓNICOS	CTS ELECTRO DE MATAMOROS
LATECOERE MEXICO SERVICES	TRANSNEX INTERNACIONAL	FINO SOLUTION	DAEDONG SYSTEM MEXICO
LEACH INTERNATIONAL MÉXICO	TYCO ELECTRONICS TECNOLOGÍAS	FLEX	DAEWON MÉXICO
LMI AEROSPACE	VOLEX DE MÉXICO	FOXCONN PCE TECHNOLOGY DE JUÁREZ	DAIMAY AUTOMOTIVE INTERIOR
MAM DE LA FRONTERA (SHELTER)	WHITEPATH FABTECH	FOXCONN BAJA CALIFORNIA	DELPHI INTERIOR SYSTEMS DE MÉXICO
MANUFACTURING SOLUTIONS DE MÉXICO	YURA CORPORATION	GOTO DE BAJA CALIFORNIA	DELTAFLAST MÉXICO
MÁQUINAS, ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS TIJUANA (MAHE	YURA CORPORATION MEXICO	GST NA DE MÉXICO	DEMO TECHNIC

Adaptado de Directorio Industria Maquiladora de Baja California (2020)

El estudio está dirigido específicamente a los departamentos de mantenimiento de la muestra de estas más de 500 empresas manufactureras. Las preguntas de la encuesta para esta investigación estarán dirigidas directamente a los gerentes de mantenimiento y gerentes de planta. Los individuos de esta muestra son los principales actores del cambio hacia la digitalización de los procesos de mantenimiento dentro de la industria manufacturera. Son ellos quienes tienen la información requerida para obtener los datos necesarios para el desarrollo de campo de esta investigación. Con esto, se quiere analizar el estado actual de las estrategias de mantenimiento implementadas y que tipo de tecnologías de la Industria 4.0 se han adoptado o piensan adoptar en sus actividades de mantenimiento, y los resultados históricos de sus métricos, basados en estas estrategias. Todos los resultados de los métricos mencionados influyen directamente en el desempeño de la DISPONIBILIDAD de Maquinaria, que es la Variable Dependiente objeto de estudio de este análisis.

### **3 Capítulo III. Metodología**

#### **3.1 Introducción**

En este capítulo, se establece el trabajo empírico de esta investigación, cuyo objetivo es la contrastación de la hipótesis principal H1 y las posibles sub-hipótesis que puedan generarse a través del modelo de investigación propuesto. Con el fin de llevar a cabo un método sistematizado de la investigación es necesario establecer las etapas del trabajo y la metodología de investigación que se utilizarán para llevar a cabo la contrastación empírica del modelo. De esta manera se explica cómo se llevó cabo el proceso de investigación empírica, detallando la forma en cómo se recopiló la información y el proceso de selección de la población que componen las empresas que son objeto de estudio. Así mismo, se definió brevemente las etapas y métodos estadísticos necesarios para llevar a cabo el análisis empírico de la información.

#### **3.2 Variable Dependiente**

Retomando el argumento que explica cómo se mide y logra la efectividad total de una máquina, (ver la figura 4 anterior – p.24) se muestra gráficamente el concepto y teoría de la que se desprende la Variable Dependiente (Disponibilidad de Maquinaria) con respecto a la importancia del mantenimiento adecuado para lograr la sustentabilidad de la Disponibilidad de la maquinaria dentro del proceso productivo de la industria manufacturera. Para lograr esta sustentabilidad, los departamentos de mantenimiento tienen que partir siempre por un proceso de GESTION de sus estrategias de mantenimiento que establezca un sistema de procesos estables en su diaria gestión del mantenimiento de la maquinaria, esto involucra la calidad de la mano de obra, materiales, etc, tiempos de intervención de maquinaria con mejora continua en reducción de este, y minimización de tiempos caídos no planeados. Cuando la organización de mantenimiento llega a tener dentro de control y sustentabilidad todos sus procesos aplicables a las actividades anteriores, es cuando se puede considerar que habría alcanzado un grado de MADUREZ de sus procesos que le permita implementar mejoras adicionales basadas en los datos históricos del estado de la maquinaria, esa madurez le puede permitir a la organización poder migrar hacia estrategias y métodos de mantenimiento más automatizados y digitalizados, los cuales aportaran una mayor disponibilidad de la maquinaria con un alto grado de confiabilidad. De lo anterior, se considera entonces que, para lograr un alto valor de Disponibilidad de la Maquinaria de producción, se tiene que dar los dos estados mencionados, Gestión y Madurez.

#### **3.3 Variables Independientes**

En la literatura revisada vemos que las variables independientes más involucradas para el área de mantenimiento dentro de los factores que llevan a la industria a un estado de mayor confiabilidad - disponibilidad, adaptación y preparación al cambio son:

### 3.3.1 Variable independiente – a) Presupuesto para la digitalización de los procesos de mantenimiento en la industria manufacturera

El Presupuesto y la Capacitación dedicados a la adquisición de tecnologías digitales y la capacitación en ellas es importante visto como una variable independiente que contribuye finalmente a tener mejor disponibilidad de la maquinaria, sin embargo, esta estrategia por parte de los departamentos de mantenimiento y la organización del negocio esta aun en una etapa temprana, debido a que el concepto de Industria 4.0 no deja de ser nuevo aun, por tanto “la implementación de la Industria 4.0 en los procesos de entrenamiento es aún es escasa” Aswir & Misbah, (2018), p.70., tal como lo mencionan entre otros el MPI Group, (2021) en su Estudio Industria 4.0, 2021: “más de la mitad de las empresas direccionan el 20% o más de su presupuesto global hacia tecnologías de la industria 4.0, y el 59% de las empresas esperan invertir eso mismo dentro de los 2 a 5 años siguientes”. (p. 13).

### 3.3.2 Variables independientes – b) MTTR, c) MTBF

Li et al., (2020) que propuso que “la disponibilidad en estado estacionario depende del tiempo medio entre fallas del sistema (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR)” p.2. Así mismo como dice Alavian et al., (2019), “El tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparar (MTTR) son de fundamental importancia para análisis de sistemas de producción, mejora continua y diseño”, p.01. De aquí que la importancia del conocimiento y manejo de estas dos variables independientes en los procesos de mantenimiento es de suma importancia para poder medir y rastrear la efectividad de las estrategias y procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, y de esta manera poder realizar mejoras que vayan incrementando y disminuyendo los valores del MTBF y MTTR respectivamente, y de esta manera se contribuya al incremento de la disponibilidad de la maquinaria y equipos de producción.

### 3.3.3 Variable independiente – d) Gestión y Utilización de Estrategias de Mantenimiento

El indicador Entrenamiento y recursos apropiados son clave en el proceso de la digitalización del mantenimiento ya que “Si el personal de mantenimiento está bien capacitado, y tenga las herramientas adecuadas y trabajo en condiciones adecuadas, la probabilidad de un error durante un mantenimiento es remota” Murad et al., (2020), p.05. Y como la integración de la Industria

4.0 a las tareas de mantenimiento implica un cambio drástico en cuanto a la digitalización de herramientas y procedimientos, es evidente que esta variable independiente es entonces parte integral e influyente en el producto final que se busca y que es mejorar la disponibilidad de la maquinaria. Bien menciona Bokrantz et al., (2020) que el mantenimiento inteligente (ligado a la industria 4.0) se define como “un diseño organizativo para gestionar el mantenimiento de plantas de manufactura en entornos con tecnologías digitales generalizadas” p.11.

### 3.3.4 Variable independiente – e) Tecnologías 4.0 incorporadas a la Estrategia de Mantenimiento

La variable independiente de estrategias de mantenimiento tiene como finalidad el proveer (de una manera planeada), una alta disponibilidad de utilización de la maquinaria que está siendo empleada para los procesos productivos del negocio, y existen varias estrategias individuales y en conjunto, tal como lo afirma Palomino-Valles et al., (2020) “el RCM (mantenimiento basado en confiabilidad) tiene como objetivo principal mejorar la disponibilidad de las máquinas para maximizar la producción” p. 03. Por lo que es importante que los departamentos de mantenimiento tengan implementado un proceso estandarizado de mantenimiento, que puede incluir al menos una o varias estrategias. Entonces, “una adecuada política de mantenimiento es un aspecto crucial y estratégico de la gestión en organizaciones, para reducir averías, minimizar costes y mejorar la productividad a través del incremento de la disponibilidad del equipo de producción”, Gackowiec, (2019), p.136.

### 3.3.5 Variable independiente – f) Conocimiento sobre la industria 4.0 siendo utilizada en los procesos de mantenimiento de la industria manufacturera

Es común que los integrantes de los departamentos de mantenimiento tengan capacitaciones relacionadas específicamente con áreas puntuales de sus actividades cotidianas. Y siendo el concepto de Industria 4.0 relativamente nuevo en estos tiempos, no es común que exista un programa de entrenamiento y capacitación sobre el tema, para toda la organización del departamento de mantenimiento. En una encuesta realizada por Reinhardt et al., (2020) en la industria de manufactura farmacéutica de Irlanda, “solo el 42% de los encuestados indicó conocimiento de I.4.0, la mayoría de estos (70%) fueron identificados como vicepresidente, Director o Gerente”. p.04. Por lo que se evidencia la necesidad de mejorar el conocimiento de la industria 4.0 a hacia los mandos intermedios, bajos y técnicos de las áreas de mantenimiento,

para de esta manera generar una mejor utilización de las tecnologías digitales enfocadas en las estrategias y que aporten mayor disponibilidad de la maquinaria de producción.

### 3.3.6 Variable Independiente – g) Nivel Organizacional (Estructura) del departamento de mantenimiento

Uno de los factores más importantes en los logros y resultados esperados de un departamento de mantenimiento, depende de su nivel organizacional o estructura interna. Entre mayor sea la complejidad de la organización del negocio, mayor demanda de servicios de mantenimiento será requerida. Este soporte es proporcionado mayormente de manera interna por los departamentos de mantenimiento, y el tipo de estructura que tenga el departamento será la base para el nivel de capacidad de gestionar las estrategias de mantenimiento que sean necesarias para dar el soporte adecuado. Una estructura organizacional de mantenimiento pobre, con un nivel mínimo donde solo hay técnicos de mantenimiento que se conducen bajo un esquema de mantenimiento reactivo mayormente, bajo el mando de un supervisor enfocado en solventar una alta demanda de servicios de soporte y mantenimiento, tendera a cometer fallas inducidas por el humano en algunas o varias tareas de mantenimiento debido a la falta de una correcta planificación, falta de procesos establecidos, falta de capacitación y mano de obra calificada, poca o nula supervisión. El error humano en el mantenimiento dice Hawwach, (2021) se define como “la falta de éxito en la realización de una tarea de mantenimiento específica o no seguir los procedimientos estandarizados para cumplir con una tarea de mantenimiento que podría conducir a la falla o daño de las máquinas”, p.18. Por otro lado, si la estructura de mantenimiento esta alineada y soportada por la visión general de la organización de la empresa, esta estructura tendrá posiblemente uno de los niveles más completos que aporten valor agregado a los sistemas productivos del negocio, y esto se puede lograr con mayor facilidad (y sostenibilidad) a través de una estrategia de digitalización de los procesos de mantenimiento o “Mantenimiento Inteligente” con una estructura organizacional robusta. Últimamente, uno de los Indicadores de Desempeño importantes en la visión de las organizaciones hacia la manufactura digitalizada es la integración de Mantenimiento Inteligente, dice Lundgren et al., (2020) este indicador de desempeño critico es el “Atractivo Organizacional del departamento de mantenimiento” p. 1305.

Entonces, y de acuerdo con los apartados anteriores, y donde se ha revisado la importancia y criticidad de la disponibilidad de la maquinaria, se propuso un modelo teórico para el desarrollo de la investigación que agrupa hasta ahora, la interacción de las variables independientes

identificadas con la variable dependiente. Este modelo se enfoca en analizar la Disponibilidad como contribuidor clave al proceso productivo pero influenciada por las variables indirectas mencionadas anteriormente. Ver figuras 16 y 17 respectivamente.

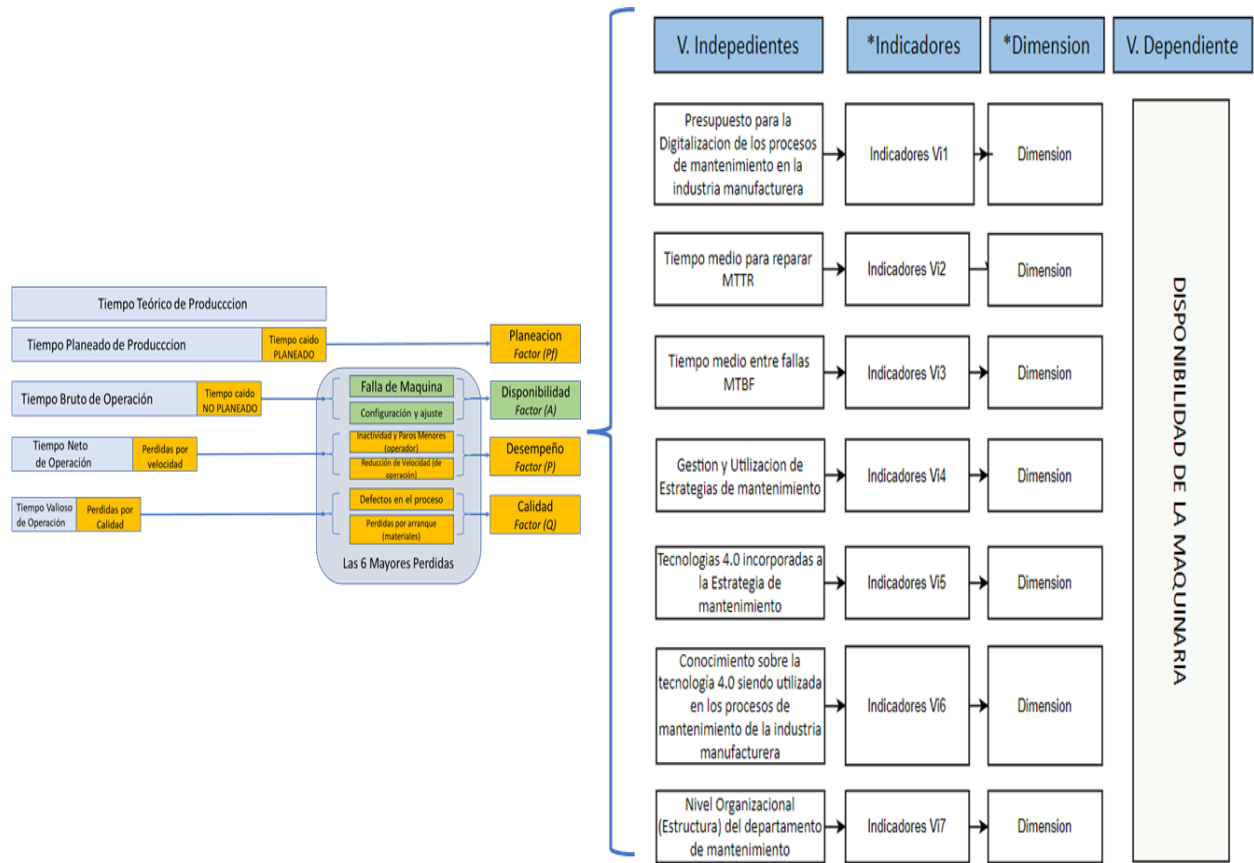


Figura 16. Modelo Teórico, el Proceso productivo y la Disponibilidad como contribuidor crítico.

Fuente: Elaboración Propia basado en (Puvanasvaran et al., 2012).

Con el trabajo de investigación, luego de identificar los variables de estudio, se desarrolló el análisis de las variables independientes que teóricamente inciden en la Variable Dependiente = Disponibilidad. Los datos obtenidos de las industrias manufactureras se utilizaron para analizar los niveles de disponibilidad de maquinaria entre aquellas industrias con alguna o varias tecnologías 4.0 implementadas y aquellas con ninguna de ellas.

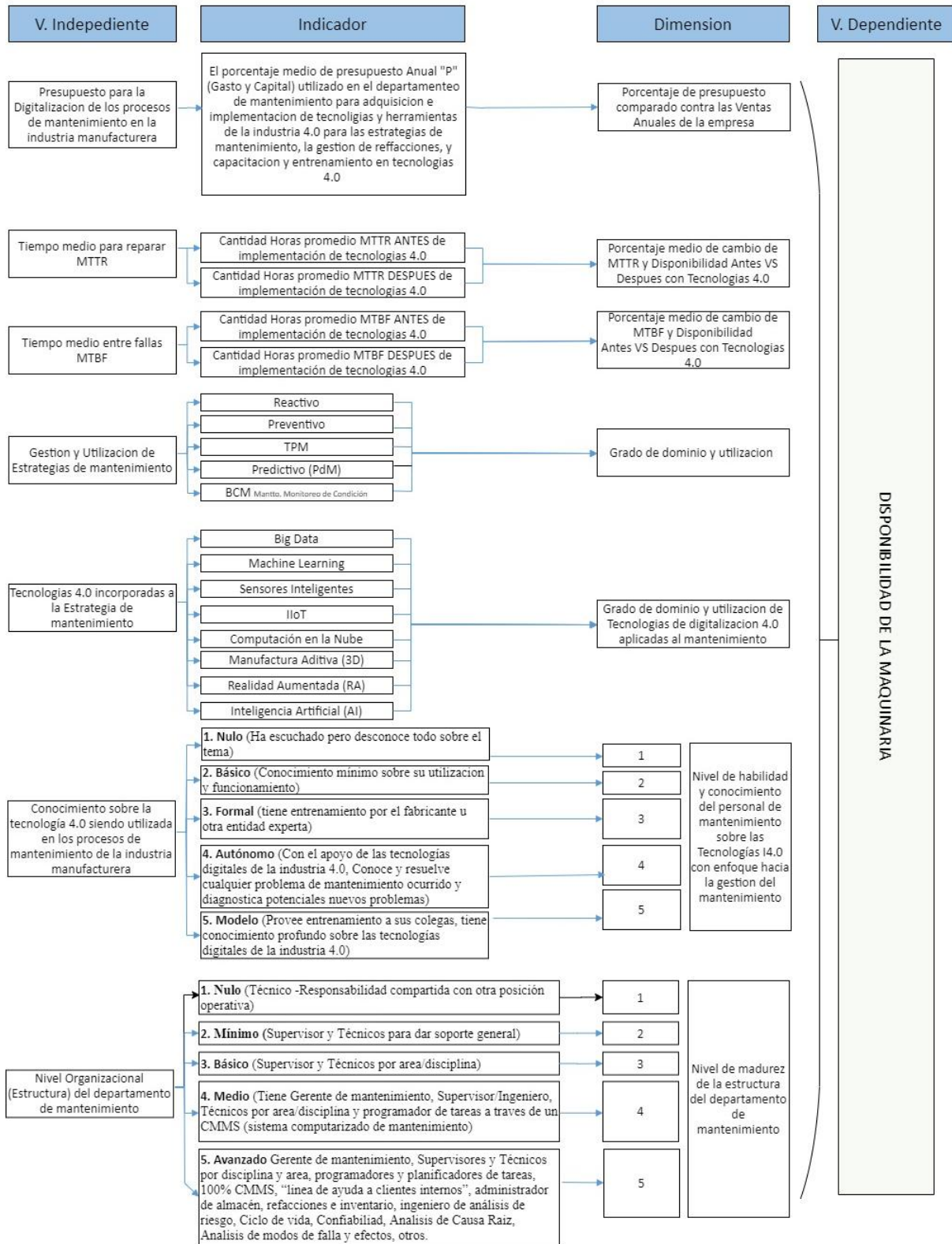


Figura 17. Operacionalización de las Variables observadas y sus indicadores.

Fuente: Elaboración Propia

El análisis empírico de la investigación se realizó a partir de la selección y análisis de una muestra de empresas manufactureras de la ciudad de Tijuana BC, donde los datos fueron obtenidos por medio de una encuesta digital y telefónica, a través del envío de un cuestionario a la población de empresas seleccionada de entre el total identificado del sector maquilador manufacturero de dicha ciudad. El objetivo de este análisis fue el de comprobar la validez del modelo y de las posibles hipótesis resultantes de este. Para esto, se requirió, primeramente, realizar un análisis multivariante –un análisis factorial exploratorio y confirmatorio- para reducir los datos y que nos permita identificar el número de factores que expliquen la Varianza que exista en las variables observadas. Con este análisis, se realizó una primera exploración del conjunto de factores representativos de los distintos bloques de variables del modelo: variables relativas a los Recursos Económicos, Variables relativas a la Gestión del Mantenimiento, Variables relativas al Conocimiento de las tecnologías digitales 4.0, y variables relativas a la Madurez de la organización en cuanto a la gestión del mantenimiento.

En segundo lugar, y de manera central de este análisis empírico, se aplicó un análisis de ecuaciones estructurales enfocado a comprobar la veracidad de las relaciones propuestas en la hipótesis principal H1 y las posibles hipótesis secundarias resultantes de las diversas variables observadas que son nuestros constructos latentes para comprobar las hipótesis asociadas a las distintas partes del modelo.

Seguidamente, se analizó la muestra seleccionada mediante un análisis univariante para tratar de identificar los patrones que existan entre los datos recabados con objeto ratificar el cumplimiento de las relaciones propuestas en las hipótesis secundarias. Para obtener el grado de significancia entre los diferentes indicadores, se hará un análisis de la varianza (ANOVA).

finalmente, se contrastó la relación que se plantea en la hipótesis principal H1, volviendo a realizar el análisis univariante como la prueba ANOVA.

### 3.4 Tipo de Investigación

Cuantitativa. Para buscar una explicación causal además de una predicción.

Objeto de Investigación: Industria 4.0 Aplicada al Mantenimiento

Sujeto de Investigación: Industria Manufacturera

Población de estudio: Departamentos de Mantenimiento de la Industria manufacturera de Tijuana BC. (Con más de 500 Maquiladoras manufactureras)<sup>1</sup>

### 3.4.1 Diseño y descripción del cuestionario

Como se mencionó anteriormente, la obtención de los datos se hizo a través de un cuestionario digital enviado por correo electrónico y con llamada telefónica a cada una de las empresas que son parte de la muestra de población. Para la elaboración de las preguntas se tomó en cuenta la información revisada en la literatura especializada, y principalmente en las encuestas, según MPI et al., (2020) que analizan el tipo de variables que pueden incidir en la hipótesis de nuestro modelo y que se pueden considerar como indicadores ya contrastados, tales como los indicadores de MTTR, MTBF, Presupuesto de mantenimiento, Nivel Organizacional de mantenimiento, el indicador Entrenamiento, recursos apropiados (Herramientas y tecnologías digitales), Estrategias de mantenimiento.

Siguiendo los estándares recomendados para la confiabilidad del instrumento, dice Hernandez Sampieri et al., (2010): toda medición o instrumento de recolección de datos debe reunir tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad. De aquí que se hará un pretest que nos ayude a encontrar posibles errores y poder realizar las correcciones pertinentes. Este pretest se realizó con un grupo reducido y específico de profesionales expertos en el área de mantenimiento industrial, dedicados mayormente a la consultoría y capacitación de personal que labora en las empresas manufactureras y otros giros industriales. Este grupo de profesionales se encuentran disponibles a través de un grupo comunitario de redes sociales (WhatsApp), dedicado a la colaboración y compartición de información relativa sobre los procesos y estrategias de mantenimiento. Estos profesionales aportaron su retroalimentación sobre el cuestionario, indicando las áreas de oportunidad y mejora.

La estructura del cuestionario refleja la del modelo objeto de contrastación, consta de un total de 10 preguntas, agrupadas en cuatro secciones dirigidas a obtener la información relativa a los distintos grupos de variables del modelo. Ver tabla 12.

---

<sup>1</sup> Fuente INEGI. Junio 2020. Banco de Información Económica (BIE)  
Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10400110#D10400110#divFV203974>

Tabla 12. Instrumento para la obtención de datos.

Pregunta 1	El porcentaje medio de presupuesto Anual "P" (Gasto y Capital) utilizado en el departamenteo de mantenimiento para adquisicion e implementacion de tecnologías y herramientas de la industria 4.0 para las estrategias de mantenimiento, la gestion de reffacciones, y capacitacion y entrenamiento en tecnologías 4.0 es de: (Considere el presupuesto expresado en % comparado contra las ventas anuales de la organización. Ejemplo: Ventas anuales = 10 Millones de dolares. Presupuesto utilizado 1% = 100 mil dolares anuales)	No Sabe	0%	0%< P ≤0.5%	0.5%< P ≤1%	1%< P ≤2%	2%< P ≤3%	P >3%
Pregunta 2	ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales de la Industria 4.0, el valor de su MTTR (Tiempo Medio de Reparación) de sus equipos/maquinaria críticos era:	No sabe	Mayor de 480 min	Entre 241 y 479 min	Entre 121 y 240 min	Entre 61 y 120 min	Menor de 60 min	
Pregunta 3	DESPUES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales de la Industria 4.0, el valor de su MTTR (Tiempo Medio de Reparación) de sus equipos/maquinaria críticos es:	No sabe	Mayor de 480 min	Entre 241 y 479 min	Entre 121 y 240 min	Entre 61 y 120 min	Menor de 60 min	
Pregunta 4	ANTES de implementar una o mas de las Tecnologías Digitales de la Industria 4.0, el valor de su MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) de sus equipos/maquinaria críticos era:	No sabe	Menor a 7 Dias	Entre 8 y 30 dias	Entre 31 y 90 dias	Entre 91 y 180 dias	Mayor 180 dias	
Pregunta 5	DESPUES de implementar una o mas de las Tecnologías Digitales de la Industria 4.0, el valor de su MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) de sus equipos/maquinaria críticos es:	No sabe	Menor a 7 Dias	Entre 8 y 30 dias	Entre 31 y 90 dias	Entre 91 y 180 dias	Mayor 180 dias	
Pregunta 6	Cuales de las siguientes estrategias de mantenimiento el grado de utilizacion en sus programas de mantenimiento es de:	No Sabe	Nunca	Casi Nunca 1%< ≤20%	En Ocasiones 20%< ≤40%	Muy a Menudo 40%< ≤70%	Casi Siempre 70%< ≤99%	Siempre 100% de manera Sistemática

- a Reactivo-Correctivo
- b Mantenimiento TPM (Mantenimiento Productivo Total) incluyendo (a)
- c Mantenimiento Preventivo (PM) incluyendo a) y b)
- d Mantenimiento Predictivo (PdM) incluyendo a), b) y c)
- e Mantenimiento basado en Monitoreo de Condición (BCM) incluyendo a), b), c) y d)

Pregunta 7	De las siguientes Tecnologías Herramientas de la industria 4.0 si utiliza usted UNA o MAS de ellas en sus programas de mantenimiento, el nivel de utilizacion es de: Big Data, Sensores Inteligentes, IIOT (internet Industrial de las Cosas), Computacion en la Nube, Manufactura Aditiva (3D), Realidad Aumentada (AR), Inteligencia Artificial (AI), Gemelo Virtual (Simulacion de Procesos)	No Sabe No la conoce	Nunca	Casi Nunca 1%< ≤20%	En Ocasiones 20%< ≤40%	Muy a Menudo 40%< ≤70%	Casi Siempre 70%< ≤99%	Siempre 100% de manera Sistemática
Pregunta 8	El nivel de conocimiento del personal de mantenimiento (Gerentes, supervisores, ingenieros y tecnicos) sobre la utilizacion y manejo de alguna o varias de las tecnologías digitales de la Industria 4.0 es de:	No Sabe	Nulo - Ha escuchado pero desconoce todo sobre el tema	Básico - Conocimiento mínimo sobre su utilizacion y funcionamiento	Formal - Tiene entrenamiento por el fabricante u otra entidad experta	Autónomo - Con el apoyo de las tecnologías digitales de la industria 4.0, Conoce y resuelve cualquier problema de mantenimiento ocurrido y diagnostica potenciales nuevos problemas	Modelo - Provee entrenamiento a sus colegas, tiene conocimiento profundo sobre las tecnologías digitales de la industria 4.0	
Pregunta 9	El nivel estructural del departamento de mantenimiento de su organización es de:	No Sabe	Nulo - Un técnico con responsabilidad compartida con otra posición operativa	Mínimo - Cuenta con un Supervisor y Técnicos para dar soporte general	Básico - Supervisor y técnicos especializados por área y/o disciplina	Medio - Tiene Gerente de mantenimiento, Supervisor/Ingeniero, Técnicos por área/disciplina y programador de tareas a través de un CMMS (sistema computarizado de mantenimiento)	Avanzado - Gerente de mantenimiento, Supervisores y Técnicos por disciplina y área, programadores y planificadores de tareas, 100% CMMS, "línea de ayuda a clientes internos", administrador de almacén, relaciones e inventario, ingeniero de análisis de riesgo, Ciclo de vida, Confabilidad, Analisis de Causa Raiz, Analisis de modos de falla y efectos, otros.	
Pregunta 10	Su organización implementó o implementará el concepto de industria 4.0 para la gestion del Mantenimiento (una o varias tecnologías implementadas al 100%) en un lapso de:	No Sabe / No Esta Considerado	Más de 5 AÑOS	4 a 5 AÑOS	3 a 4 años	1 a 3 AÑOS	Ya esta implementada	

Fuente: Elaboración propia

La codificación de las variables y su descripción se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Codificación y descripción de variables medidas en el cuestionario

<b>Variable</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Item</b>	<b>Descripción</b>
Presupuesto para la Digitalización de los procesos de mantenimiento en la industria manufacturera	P1	v1	Cuál es el % de presupuesto "P" aproximado utilizado para entrenamiento en tecnologías de digitalización de la industria 4.0 para el personal de mantenimiento para la gestión del mantenimiento (Expresado en % comparado contra las ventas anuales de la organización)
MTTRA (Tiempo medio de reparación)	P2	v2	Cantidad Horas promedio MTTR ANTES de implementación de tecnologías 4.0 expresado en porcentaje
MTTRD (Tiempo medio de reparación)	P3	v3	Cantidad Horas promedio MTTR DESPUES (a 6 meses) de implementación de tecnologías 4.0 expresado en porcentaje
MTBFA (Tiempo medio entre fallas)	P4	v4	Cantidad Días promedio MTBF ANTES de implementación de tecnologías 4.0 expresado en porcentaje
MTBFD (Tiempo medio entre fallas)	P5	v5	Cantidad Días promedio MTBF DESPUES (a 6 meses) de implementación de tecnologías 4.0 expresado en porcentaje
Utilización de Estrategias de mantenimiento	P6	v6	Mantenimiento Reactivo-Correctivo Mantenimiento TPM Mantenimiento Preventivo (PM) Mantenimiento Predictivo (PdM) Mantenimiento BCM Monitoreo de Condición
Tecnologías Herramientas Industria 4.0	P7	v7	De las siguientes Tecnologías Herramientas de la industria 4.0, si usted utiliza UNA o MAS de ellas en sus programas de mantenimiento, el nivel de utilización es de: Big Data, Sensores Inteligentes, IIOT (Internet Industrial de las Cosas), Computación en la Nube, Manufactura Aditiva (3D), Realidad Aumentada (AR), Inteligencia Artificial (AI), Gemelo Virtual (Simulación de procesos) Tecnología Big Data
Conocimiento sobre la tecnología 4.0 siendo utilizada en los procesos de mantenimiento de la industria manufacturera	P8	v8	El grado de conocimiento y preparación del personal de mantenimiento con respecto a la gestión de las tecnologías 4.0 aplicadas a los procesos de mantenimiento
	P9	v9	

Nivel Organizacional (Estructura) del departamento de mantenimiento			El nivel madurez en la estructura organizacional del departamento de mantenimiento con respecto a la gestión de las estrategias de mantenimiento
Implementación de la Industria 4.0	P10	v10	Implementación de las tecnologías de la industria 4.0 para la gestión del Mantenimiento (una o varias tecnologías implementadas al 100%)
DisponibilidadA	P11	v11	Valor de la Disponibilidad Media "D" para el funcionamiento y utilización de sus equipos/maquinaria críticos ANTES de implementar una o más de las tecnologías Digitales de la Industria 4.0
DisponibilidadD	P12	v12	Valor de la Disponibilidad Media "D" para el funcionamiento y utilización de sus equipos/maquinaria críticos DESPUES (a 6 meses) de implementar una o más de las tecnologías Digitales de la Industria 4.0

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 13, se proponen las dos diferentes secciones o componentes de Gestión y Madurez (como se explicó en la sección 3.2 anterior) y las cuales se describen a continuación.

**Sección de la Gestión**, donde se pretende obtener la información del Presupuesto destinado para la Digitalización de los procesos de mantenimiento en la industria manufacturera, y dedicado a las tareas de mantenimiento incluyendo compra e instalación de tecnologías de digitalización de la industria 4.0, inversión en capacitación del personal para la gestión de estas tecnologías, control del sistema de refacciones y almacenes de mantenimiento y la administración de las estrategias de mantenimiento. Los datos se piden que sean expresados en % comparado contra las ventas anuales de la organización. La adecuada inversión económica en la administración del mantenimiento, genera un retorno de inversión que justifica dichas inversiones, Poo' r et al., (2019) establece que un buen programa de mantenimiento funcional puede generar ahorros del 8% al 12% del gasto total de mantenimiento. También se establece la descripción de los indicadores que interactúan con un proceso normal de gestión del mantenimiento, desde las actividades e indicadores básicos de mantenimiento y reparación, hasta la inclusión y utilización de diferentes estrategias de mantenimiento y tecnologías digitales de la industria 4.0 incorporadas a los procesos de mantenimiento. Poo' r et al., (2019), comenta que, algunos de los factores clave críticos para el éxito de un mantenimiento predictivo 4.0 son Presupuesto, Cultura, Soluciones tecnológicas,

disponibilidad de datos, seguridad de los datos y otros. Dentro de este constructo incluimos la variable observada **Disponibilidad después**, como parte implícita de la auto evaluación de la gestión y saber a donde se ha llegado en el momento del cuestionario.

**Sección Madurez.** Aquí se intenta conocer cuál es el nivel de conocimiento posterior y madurez que el personal de mantenimiento como organización tiene sobre la tecnología 4.0 siendo utilizada en los procesos de mantenimiento de la industria manufacturera. Este indicador es clave tanto para la operación y gestión adecuada de las tecnologías que decidan implementar, como para la mejora de las estrategias de mantenimiento siendo utilizadas al ser ligadas con la digitalización de los procesos de mantenimiento. Y por último busca conocer el Nivel Organizacional (Estructura) del departamento con respecto a la gestión de las estrategias de mantenimiento. El nivel que se tiene en la Gestión de la Innovación Digital a través de evaluar el tipo de Equipos de trabajo y recursos dedicados a la innovación digital para el departamento de mantenimiento, y la madurez del equipo en cuanto a la Implementación de las tecnologías de la industria 4.0 para la gestión del Mantenimiento. Algunos procesos claves que reflejan la madurez de una organización en cuanto a la gestión de sus procesos internos en la industria de manufactura pueden ser, como establece (Schumacher et al., 2016) y que pueden ser: El mapa de ruta de la Industria 4.0, Recursos disponibles, Comunicación y documentación de actividades de I4.0, Modelos de negocio sustentables, Estrategia para la transformación digital, Alineación con la visión I4.0.

Dentro de este constructo de **Madurez** incluimos la variable observada **Disponibilidad Antes**, debido a que se debe tener siempre que sea posible la visibilidad del estatus antes para poder medir el después, y también para validar que nivel de conciencia al respecto hay en las organizaciones encuestadas, se obtienen los datos reales de la disponibilidad o tiempo caído de la maquinaria, expresado en porcentaje del tiempo total de operaciones de la planta (ya sea semanal, mensual o anual). Donde la Disponibilidad se define según Ghimire & Ghimire, (2017) como la capacidad de un elemento para realizar su función requerida en un instante establecido de tiempo o durante un período de tiempo establecido.

Para la medida de las variables en términos cuantitativos se utilizará principalmente una escala Likert combinada de cinco y siete posiciones, donde 1 es peor y 7 es mejor, corroborando con lo que apunta (Angulo, 2015): según Likert (1932) los cuestionarios están compuesto por ítems en forma directa e indirecta, y no alternativamente, estos están codificados de forma que el número menor siempre corresponde a la peor respuesta y el número mayor a la mejor respuesta.

De aquí entonces que, de acuerdo con la literatura revisada, se estima que el modelo está conformado por dos factores: **Gestión (que incluye el conocimiento)** estaría formado por las variables: V1, V2, V4, V6, V7, V8, V11. Y el factor de **Madurez** estaría conformado por las variables: V3, V5, V9, V10, V12

### 3.4.2 El universo de población y la selección de la muestra

El universo de población elegido, a partir de la base de datos de Directorio Industria Maquiladora de Baja California con un total de 348 empresas del sector maquilador manufacturero de la ciudad de Tijuana BC. El primer Criterio para la selección de esta población de empresas fue basado en la base de datos obtenida del directorio ya mencionado y filtrando los datos para obtener la información solamente de las empresas maquiladoras instaladas en Tijuana. El segundo criterio se basó en la cantidad de empleados de cada manufacturera y se decide eliminar a todas aquellas con menos de 500 empleados, debido a que casi el 100% de las empresas laboran 2 y 3 turnos según los datos proporcionados por el INEGI, 2022 <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&ind=206460#D206460> con un promedio a Diciembre 2021 de 4,800 horas anuales trabajadas por establecimiento, correspondiendo aproximadamente a 2 turnos de 9 horas durante 52 semanas, siendo el número de horas trabajadas en el año 2021 del personal ocupado de la industria manufacturera de Tijuana BC. Debido a que esta población ocupada está dividida al menos en dos turnos laborales en aproximadamente un 60%, 40% entre estos dos horarios de un día laboral de 18 horas (dos turnos de 9 horas cada uno), para empresas con menos de 500 empleados, generalmente esto resulta en organizaciones con una estructura interna muy básica del departamento de mantenimiento, generalmente sin procedimientos internos estandarizados y establecidos para las áreas de soporte de la producción. El tercer criterio de selección se basó en eliminar a las empresas que no contaban con datos de contacto del departamento de mantenimiento (nombre de contacto, correo electrónico y teléfono). De esta manera, una vez aplicados los filtros mencionados, se anexa la tabla 14 donde se resume la información del universo y la muestra de las empresas manufactureras por tamaño, y en la tabla 15 se anexa la muestra seleccionada, clasificada por giro

Tabla 14. Distribución por número de empleados  
distribución por número de empleados

Num de Empleados	Cantidad de Empresas	Cantidad Seleccionada
<b>50-100</b>	62	<b>0</b>
<b>101-300</b>	111	<b>0</b>
<b>301-500</b>	60	<b>0</b>
<b>501-700</b>	28	<b>28</b>
<b>701-900</b>	16	<b>16</b>
<b>901-1100</b>	15	<b>15</b>
<b>mas de 1100</b>	56	<b>56</b>
<b>Total</b>	<b>348.00</b>	<b>115.00</b>

Fuente: Basada en Directorio Industria Maquiladora de Baja California<sup>2</sup>

Tabla 15. Empresas Seleccionadas para la muestra general y que responden al cuestionario por sectores de actividad

Giro Empresarial	Cantidad de Empresas	% Respecto del total
Industria Medica	53	15%
Moldeo, Inyección, Extrusion Plástico	47	14%
Electrónica	42	12%
Metal Mecánica	39	11%
Automotriz	35	10%
Aeroespacial	31	9%
Muebles	27	8%
Textil	14	4%
Acero y Metales	12	3%
Varios	12	3%
Eléctrico	11	3%
Empaques y Embalajes	8	2%
Articulos Deportivos	5	1%
Accesorios	4	1%
Alimentos y Bebidas	4	1%
Aluminio y Vidrio	4	1%
<b>Total</b>	<b>348</b>	<b>100%</b>

Fuente: elaboración propia basada en datos de Directorio Industria Maquiladora de Baja California

<sup>2</sup> <https://industriamaquiladora.com/index.php> (consultado el 20 de Octubre 2021)

### 3.4.3 Proceso de recolección de datos

Ya con los filtros aplicados (1- Empresas establecidas en Tijuana e inscritas en la base de datos del directorio de industria maquiladora de Tijuana BC, 2- Empresas con 500 o más empleados y 3- Empresas con datos de contacto disponibles de personal de mantenimiento) al universo de la población, y las mejoras y correcciones recibidas del proceso de pretest, se configuro el cuestionario final y se procedió a contactar al personal de mantenimiento de cada empresa de la muestra seleccionada y de igual manera se envió vía correo electrónico para ser contestado de manera digital.

Cabe señalar que, para el tamaño de nuestra muestra seleccionada (ver tabla 16), el error muestral absoluto, con un grado de confianza del 95% ( $K = 1,96$ ) es de 5.10 %. Aun y cuando Para el procesamiento de los datos que se obtenga, se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 23

Tabla 16. Ficha técnica de la investigación

<b>Universo de la Población</b>	<b>Empresas del sector maquiladora industrial manufacturero</b>
Ambito Geográfico	Tijuana BC, México
Técnica de Muestreo	Aleatorio, llamada telefónica y envío digital del cuestionario a todas las empresas que conforman el tamaño de la muestra
Unidad Muestral	Gerentes y Supervisores de Mantenimiento
Población	<b>348</b>
Tamaño calculado de la Muestra a partir de la población finita	<b>115</b>
Nivel de Confianza	95% ( $s=1.96$ )
Error Muestral	5.0 % (para el caso más desfavorable $p = q = 0,5$ )
Tamaño de la muestra corregida $n^*=(n/(1+(n/N)))$	<b>87</b>
Período	Enero 2022 a Agosto 2022

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4 Metodología de análisis de los datos obtenidos

Se recomienda elaborar un modelo causal para la estimación de los parámetros y la evaluación del ajuste del modelo, y así poder realizar una interpretación de los resultados. A continuación, se detallan los pasos que se seguirán en esta metodología de análisis.

**a. Análisis preliminar.** El objetivo es revisar los datos para identificar y corregir posibles errores de la codificación de las variables. También fue necesario comprobar la normalidad de las variables mediante el cálculo de los coeficientes de asimetría y curtosis. Triola, (2012) dice, los datos que se ven influidos por efectos aleatorios muy pequeños y sin relación entre sí, se distribuyen aproximadamente de manera normal. De igual manera se calculará la matriz de correlaciones utilizando SPSS 23.

**b. Análisis de la estructura** y fiabilidad de las escalas de medición, esta fase es para conocer la fiabilidad y la validez de las escalas de medición, y las múltiples dimensiones del constructo propuesto relacionado a cada variable. La unidimensionalidad implica que un sólo rasgo se encuentra en la base de un conjunto de ítems (Ninla Elmawati Falabiba et al., 2014) citando a (Hattie, 1985). Por otra parte, se hará el análisis de la fiabilidad para validar que no haya error aleatorio y nos confirme la consistencia de la medida., o lo que es lo mismo, la parte de dicha medida que está libre de error aleatorio. Así mismo es necesario conocer la validez del constructo que nos indique un grado suficiente de correlación entre las mediciones realizadas con técnicas independientes y también conocer si existe la falta de correlación entre constructos diferentes. Para lo anterior, se llevará a cabo un **análisis factorial exploratorio** utilizando al paquete estadístico SPSS 23.

(Mejia, 2018) establece que:

Es necesario realizar el análisis factorial exploratorio para confirmar grupos y posteriormente proceder con el análisis factorial confirmatorio; por lo tanto para correr el análisis factorial confirmatorio debe realizarse primeramente el análisis factorial exploratorio, para así lograr identificar las variables y a que grupo se están dirigiendo y poder observar las variables que realmente están aportando al factor y no contemplarlas en el modelo, ya que estas podrían arrojar un resultado no idóneo.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> ISBN : 978-607-98782-4-5. De Cuestionario a Escala

El número de ítems puede reducirse si se seleccionan sólo aquellos con peso factorial alto (por ejemplo, con un valor  $\lambda > 0,4$ ), así se podrá obtener un conjunto de ítems y unas escalas preliminares representativas de las variables que se van a utilizar en un **análisis factorial confirmatorio** aplicando el método de máxima verosimilitud (ML). *Prieto Pastor (2003)* dice que el modelo de medición confirmatorio especifica las relaciones de las medidas observadas con los constructos subyacentes.  $x_i = \lambda'_{ij} \cdot \xi_j + \delta_i$  cómo fue citado en Hair et al, (1999); Luque Martínez, (2000). Donde de acuerdo con el resultado puede ser necesario realizar modificaciones al modelo para poder obtener una unidimensionalidad garantizada.

Para el ajuste de bondad se utiliza el estadístico Chi-cuadrado deseable  $< 0.05$ , para validar si el modelo se ajusta a los datos y medir la desviación entre la matriz de covarianzas o correlaciones muestral y la ajustada. Y el índice de bondad del ajuste para medir la variabilidad explicada por el modelo, donde es deseable que se aproxime al valor = 1 lo que indica un ajuste perfecto. Otros estadísticos a utilizar serán el índice de bondad ajustado para los grados de libertad, con valores de 0 a 1. Los indicadores anteriores nos ayudan a revisar el modelo de manera que se logre el ajuste del modelo establecido. Así mismo se utilizarán el índice de bondad del ajuste e índice de bondad Ajustado (GFI, *Goodness of Fit Index*. AGFI, *Adjusted Goodness of Fit Index*) para medir la variabilidad explicada por el modelo, con valores entre 0 y 1 donde 1 es un ajuste perfecto y el AGFI para el índice de los grados de libertad con valor máximo de 1.

También, el valor “t” de cada parámetro estimado ayuda a detectar desajustes en el modelo y el cual debe ser mayor que 1,96 si se busca una significación al 95%, al igual que la correlación múltiple o  $R^2$  que mide el grado en el que una relación está bien especificada contra una variable del modelo.

Después, se debe comprobar la fiabilidad de cada una de las medidas, así como la fiabilidad compuesta del constructo latente. Para cada ítem individual, este valor indica la varianza de  $x_i$  que en la ecuación (1) es explicada por la variable latente  $\xi_i$  y se definiría según Bagozzi & Yi, (1988) como

$$\rho_{x_i, x_i} = \frac{\lambda_i^2 \cdot Var(\xi_i)}{Var(x_i)} \quad (1)$$

Puesto que la varianza de  $x_i$  es igual a  $\lambda_i^2 \cdot \text{Var}(\xi_i) + \text{Var}(\delta_i)$  y la varianza de los errores  $\text{Var}(\delta_i)$  no es negativa, la confiabilidad nunca excede de 1. En la ecuación (2), una medida de confiabilidad compuesta para un conjunto de medidas sería entonces (con valores entre 0.6 y 0.8 como confiables)

$$\rho_{x_i, x_i} = \frac{(\sum_{i=1}^q \lambda_i)^2 \text{Var}(\xi_i)}{\text{Var}(\sum_{i=1}^q x_i)} \quad (2)$$

donde  $q$  = Numero de indicadores del modelo.

Adicionalmente se utiliza el coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach y el índice de confiabilidad compuesta para la compensación de la omisión de los pesos de las variables que sucede en el coeficiente de alfa de Cronbach, obteniendo un valor dentro del rango aceptable y muy cercano a 0.9, por lo que la medida de la fiabilidad mediante el Alfa de Cronbach determina que los ítems (medidos en escala tipo Likert) miden un mismo constructo y que se encuentran correlacionados, sentando las bases para el análisis factorial confirmatorio (ver tabla 17).

Tabla 17. Resultados del análisis de coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach para nuestra muestra

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach Basado en los ítems estandarizados	Num de ítems (variables)
.900	.899	12

En nuestro modelo se propone que la multidimensionalidad de las variables este compuesto de dos factores divididos en a) Conocimiento y Gestión y b) Madurez. Donde se utilizará el análisis factorial confirmatorio para representar la multidimensionalidad de las variables involucradas. El ejemplo de un modelo de este tipo se aprecia en la figura 18. Este tipo de modelos de 2 orden permite explicar la teoría sobre el constructo a través de las variables observables.

### c. Estimación del modelo estructural.

El modelado de ecuaciones estructurales es un método estadístico utilizado para probar las relaciones entre variables observadas y latentes (Civelek, Mustafa Emre, 2018). Donde las variables observadas son las variables medidas en el proceso de recopilación de datos y las variables latentes son las variables que se miden conectando a las variables observadas porque no

pueden ser medidas directamente. Para este modelo también aplican los valores aceptables de significancia que resulten de los coeficientes calculados ( $t > 1,96$ , para un nivel de confianza del 95%, y la  $R^2$  (que especifica la cantidad de varianza explicada por las variables latentes observadas).

(Manzano, 2017) explica que:

Un requisito fundamental es que se tiene que fijar la escala de cada una de las variables latentes del modelo. Para hacer esto, hay 2 caminos: 1. Fijar con el valor de 1 la varianza de cada una de las variables latentes. 2. Fijar con el valor de 1 una trayectoria de cada una de las variables latentes con una de sus variables observadas.

De lo anteriormente expuesto, el modelo teórico propuesto considera un efecto de influencia de los elementos de que se involucran en la administración del mantenimiento a través de posibles variables latentes.

#### d. Análisis de la Varianza

En la ecuación (3), de acuerdo a Balzarini et al., (2015), la varianza muestral de una variable se define como:

$$s_x^2 = c \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

Donde la constante  $c$  puede ser  $1/n$  ó  $1/(n-1)$  de acuerdo se trate del estimador máximo verosímil o del estimador sesgado de la varianza poblacional.

Al tener dos variables  $X_j$  y  $X_k$ , hay que considerar la covarianza entre ellas entre la  $j$ -ésima y  $k$ -ésima variable la cual de la ecuación (4) según Balzarini et al., (2015) es:

$$s_{jk} = c \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k) \quad (4)$$

para  $j, k = 1, \dots, p$

“La varianza es la desviación estándar elevada al cuadrado y se simboliza como  $S^2$ . Es un concepto estadístico muy importante, ya que la mayoría de las pruebas cuantitativas se fundamentan en él” Hernandez Sampieri et al., (2010). Dependiendo del número de variables independientes y dependientes, este análisis de varianza puede aportar conclusiones sobre si hay

condicionamientos o no entre las variables. Para este caso se utiliza un análisis de varianza unidireccional o de un factor ANOVA, la cual “es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas” Hernandez Sampieri et al., (2010).

### 3.5 Formulación del Modelo de análisis y la metodología.

Debido a que en la literatura consultada no se ha encontrado un modelo de análisis de mantenimiento para la disponibilidad de la maquinaria, se propone aquí un posible sistema de evaluación de disponibilidad de maquinaria a través del tiempo. Este modelo (Ver modelo en la tabla 12 anterior y el ejercicio del modelo con las respuestas a las preguntas en el Anexo 10) funciona tomando datos históricos relacionados con las variables independientes, y la variable dependiente, antes y después de implementar tecnologías digitales de la Industria 4.0. Con estos datos se van respondiendo todas las preguntas establecidas en el instrumento de medición, para de esta manera realizar el tratamiento estadístico y evaluar el estado de la Disponibilidad de la maquinaria, analizando simultáneamente la relación directa, la relación indirecta y total entre las variables, la correlación entre las variables, las varianzas de las variables independientes, las covarianzas entre ellas y la varianza de los errores asociados hacia la variable dependiente y la covarianza entre esta.

Este modelo puede ser replicado por cualquier organización que requiera analizar el estado de sus activos a través del tiempo con respecto a la disponibilidad lograda en ellos y ligada con el tipo de estrategias y procesos de mantenimiento que tiene y que ha ido implementando con el tiempo.

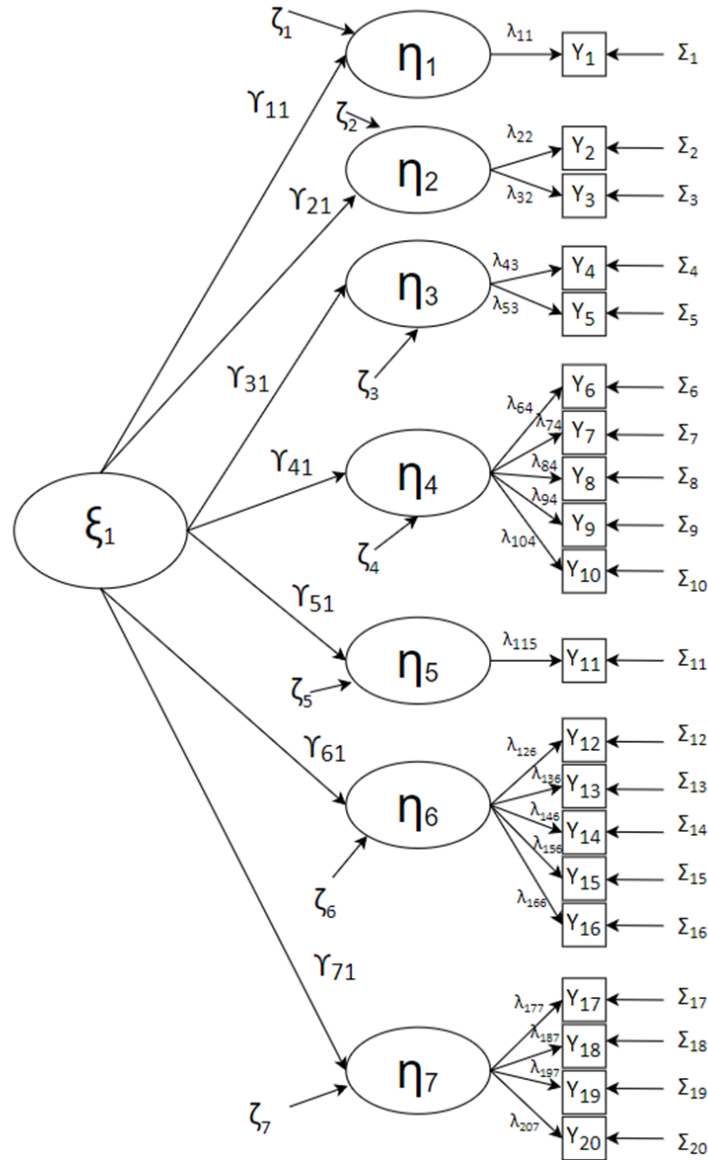


Figura 18. Modelo teórico Factorial de 2 niveles a modo ejemplo, con una (1) variable dependiente y siete (7) variables independientes, cada una de ellas medidas a través de varias subvariables observadas.

Fuente: Elaboración Propia.

Donde:  $\eta_n$  es la variable independiente y  $Y_n$  la subvariable independiente observada, descritas a continuación:

$\eta_1$  - Presupuesto para la digitalización de los procesos de mantenimiento en la industria manufacturera

$\eta_2$  - Tiempo medio para reparar MTTR

$\eta_3$  - Tiempo medio entre fallas MTBF

- $\eta_4$  - Gestión y utilización de estrategias de mantenimiento
- $\eta_5$  - Tecnologías 4.0 incorporadas a la estrategia de mantenimiento
- $\eta_6$  - Conocimiento sobre la tecnología 4.0 siendo utilizada en los procesos de mantenimiento de la industria manufacturera
- $\eta_7$  - Nivel organizacional (estructura) del departamento de mantenimiento
- Y<sub>1</sub>- el % de presupuesto "P" aproximado utilizado para entrenamiento en tecnologías de digitalización de la industria 4.0 para el personal de mantenimiento para la gestión del mantenimiento (Expresado en % comparado contra las ventas anuales de la organización)
- Y<sub>2</sub>- Cantidad Horas promedio MTTR ANTES de implementación de tecnologías 4.0 expresado en porcentaje
- Y<sub>3</sub>- Cantidad Horas promedio MTTR DESPUES (a 6 meses) de implementación de tecnologías 4.0 expresado en porcentaje
- Y<sub>4</sub>- Cantidad Días promedio MTBF ANTES de implementación de tecnologías 4.0 expresado en porcentaje
- Y<sub>5</sub>- Cantidad Días promedio MTBF ANTES de implementación de tecnologías 4.0 expresado en porcentaje
- Y<sub>6</sub>- Mantenimiento Correctivo
- Y<sub>7</sub>- Mantenimiento TPM (Mantenimiento Productivo Total)
- Y<sub>8</sub>- Mantenimiento Preventivo (PM)
- Y<sub>9</sub>- Mantenimiento Predictivo (PdM)
- Y<sub>10</sub>- Mantenimiento basado en Monitoreo de Condición
- Y<sub>11</sub>- Tecnologías Herramientas de la industria 4.0 utilizadas - Sensores Inteligentes, IIOT (Internet Industrial de las Cosas), Computación en la Nube, Manufactura Aditiva (3D), Realidad Aumentada (AR), Inteligencia Artificial (AI), Gemelo Virtual (Simulación de procesos) Tecnología Big Data
- Y<sub>12</sub>- Conocimiento Nulo
- Y<sub>13</sub>- Conocimiento Básico
- Y<sub>14</sub>- Conocimiento Formal
- Y<sub>15</sub>- Conocimiento Autónomo
- Y<sub>16</sub>- Conocimiento Modelo
- Y<sub>17</sub>- Nivel Nulo
- Y<sub>18</sub>- Nivel Mínimo
- Y<sub>19</sub>- Nivel Básico
- Y<sub>20</sub>- Nivel Medio

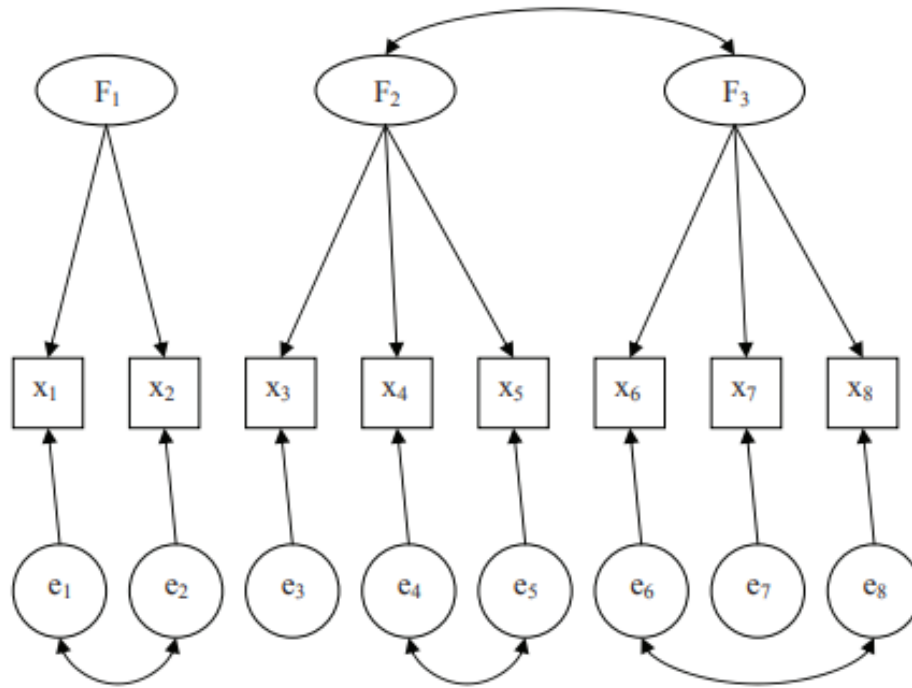


Figura 19. Ejemplo de Diagrama de relaciones de un nivel

Fuente: Arias et al., (2008). Metodología en la investigación sobre discapacidad. Introducción al uso de las ecuaciones estructurales. p. 34.

De la figura 19, un conjunto de ecuaciones lineales desde su notación clásica puede definirse según Arias et al., (2008) p. 33, por la ecuación matricial (5):

$$x = \Lambda_x \xi + \delta \quad (5)$$

donde  $x$  es un vector  $p.1$  de puntuaciones diferenciales (distancia a su respectiva media) en las variables observadas;  $\Lambda_x$  (Lambda) es una matriz  $p.k$  de saturaciones de las  $p$  variables en los  $k$  factores comunes;  $\xi$  (Ksi) es un vector  $k.1$  (también con puntuaciones diferenciales) de factores comunes y  $\delta$  (delta) es un vector  $p.1$  de factores únicos (componentes específicos y del error de cada una de las variables observadas). Desarrollando esta ecuación matricial, junto con las matrices de varianzas-covarianzas de los factores comunes  $\xi$  (matriz  $\Phi$  (Fi) de coeficientes  $\varphi$ ) y de los factores únicos  $\delta$  (matriz  $\Theta$  (Zeta) de coeficientes  $\theta$ ), aplicándola a nuestro ejemplo, tendríamos lo siguiente (ver figura 20)

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & 0 & 0 \\ \lambda_{21} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{32} & 0 \\ 0 & \lambda_{42} & 0 \\ 0 & \lambda_{52} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{63} \\ 0 & 0 & \lambda_{73} \\ 0 & 0 & \lambda_{83} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \\ \delta_7 \\ \delta_8 \end{bmatrix}$$

$x \quad \Lambda_x \quad \cdot \quad \xi \quad + \quad \delta$

$$\begin{bmatrix} \phi_{11} & & \\ 0 & \phi_{22} & \\ 0 & \phi_{32} & \phi_{33} \end{bmatrix}$$

$\Phi$

$$\begin{bmatrix} \theta_{11} & & & & & & & & \\ \theta_{21} & \theta_{22} & & & & & & & \\ 0 & 0 & \theta_{33} & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \theta_{44} & & & & & \\ \theta & 0 & 0 & \theta_{54} & \theta_{55} & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \theta_{66} & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \theta_{77} & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \theta_{86} & 0 & \theta_{88} \end{bmatrix}$$

$\Theta$

Figura 20. Desarrollo de la ecuación matricial correspondiente al ejemplo planteado  
Fuente: Arias et al., (2008). Metodología en la investigación sobre discapacidad.  
Introducción al uso de las ecuaciones estructurales. p. 35.

Con la aplicación de esta ecuación, Arias et al., (2008) junto con las matrices Fi y Zeta, se establece matriz teórica “Sigma” ( $\Sigma$ ) de varianzas-covarianzas deducidas a partir del modelo propuesto. En la medida en que esta matriz se ajuste a la matriz empírica de varianzas-covarianzas (S) de las variables observadas podremos afirmar que el modelo factorial propuesto es bueno.

### 3.6 Matriz Metodológica.

En la tabla 18 se desglosa la composición de la matriz metodológica para el desarrollo de nuestro modelo propuesto.

Tabla 18. Matriz Metodológica

Definición Conceptual	Indicador	Definición Conceptual	Dimensión	Y. Dependiente	Definición
Presupuesto para la Digitalización de los procesos de mantenimiento en la industria manufacturera	Presupuesto utilizado en mantenimiento y reparación	% utilizado del presupuesto global de mantenimiento, que esta dedicado a la implementación y utilización de las tecnologías de digitalización de la I 4.0 en los procesos de mantenimiento	Porcentaje de presupuesto comparado contra las Ventas Anuales de la empresa	DESCOMPOSICIÓN DE LA MAQUINARIA	Cuando se realiza o instalaciones que son parte de un proceso de fabricación de un producto, no desempeñan la función para la cual están diseñados en un momento determinado y bajo las condiciones establecidas, generan un problema de mantenimiento. Este problema puede ser un síntoma, precedido al respecto y causando anomalías económicas. Cuando una máquina o sistema como la descrita anteriormente, podemos decir que es una máquina o sistema que tiene la disponibilidad esperada por el negocio. Con las nuevas tecnologías incorporadas en la fabricación inteligente, las herramientas inteligentes y los sensores inteligentes de inteligencia de fabricación que puede tener un impacto positivo en toda la organización (J. Wang et al., 2018). Esto es mayor confiabilidad y disponibilidad de los equipos e instalaciones
MTTR (Tiempo medio de reparación)	% presupuesto en Adquisición de repuestos críticos	% De presupuesto destinado exclusivamente a repuestos que están dentro del programa de las tecnologías digitales I 4.0			
	% de presupuesto en Capacitación y Entrenamiento	Es la cantidad de presupuesto destinado de manera anual a la capacitación y entrenamiento en temas de los procesos de soporte y mantenimiento			
	% presupuesto en Adquisición de dispositivos tecnológicos	% De presupuesto destinado exclusivamente a dispositivos y sistemas del programa de las tecnologías digitales I 4.0			
MTBF (Tiempo medio entre fallas)	Cantidad Horas promedio MTTR ANTES de implementación de tecnologías 4.0	Es el número de horas registradas en la base de datos del sistema de mantenimiento que indica el total de tiempo promedio que se registro para las reparaciones de un equipo, ANTES de implementar una o mas tecnologías digitales aplicadas a la maquinaria	Porcentaje medio de cambio de MTTR Antes VS Despues con Tecnologías 4.0		
Estrategia de mantenimiento Sin I 4.0 (Industria 4.0)	Cantidad Horas promedio MTTR DESPUES de implementación de tecnologías 4.0	Es el número de horas registradas en la base de datos del sistema de mantenimiento que indica el total de tiempo promedio que se registro entre cada falla de un equipo, DESPUES de implementar una o mas tecnologías digitales aplicadas a la maquinaria	Porcentaje medio de cambio de MTBF Antes VS Despues con Tecnologías 4.0		
Tecnologías 4.0 incorporadas a la estrategia de mantenimiento	Reactivo	Reparación cuando se desconecta			
	Preventivo	Dar mantenimiento siguiendo un programa determinado			
	TPM	Runas acciones de mantenimiento normal y específico a cargo de los operarios del proceso productivo			
	Predictivo (PdM)	Mantenimiento basado en condiciones del activo que genera ordenes de trabajo solo cuando es necesario	Porcentaje medio de Tiempo caído de maquinarias SIN tecnologías 4.0		
	RCMG	Inte-eligación de modos de falla. Determina la mejor combinación estrategia de mantenimiento			
	Big Data	Procesamiento inteligente de grandes cantidades de datos			
	Simulación	Ensayo de procesos antes de establecerlos			
	Sensores inteligentes	Datos críticos en tiempo real			
	IoT	Interconectado de las cosas			
	Computación en la Nube	Almacenamiento de grandes cantidades de datos en la nube para su proceso, análisis			
	Manufactur Addita (3D)	Impresión en 3 D			
	Realidad Aumentada (RA)	Sistemas virtuales para diagnósticos y ayuda remota en mantenimiento			
	Inteligencia Artificial (AI)	Sistemas aplicados a varias tecnologías que incorporan algoritmos para procesar la información y aportar la de mas valor de acuerdo al proceso			
	Nulo	Desconoce todo sobre el tema	0		
	Básico	Tiene conocimiento mínimo sobre el tema	1		
	Formal	Tiene entrenamiento por el fabricante u otra entidad experta	2	Nivel de habilidad y conocimiento del personal que se tiene en las tecnologías I4.0 en un enfoque hacia la gestión del mantenimiento	
	Autonomo	Resuelve cualquier problema ocurrido y diagnostica nuevos problemas	3		
	Modelo	Provee entrenamiento a sus colegas, tiene conocimiento profundo de los temas	4		
	Mínimo	Comita solo de 1 Supervisor y Técnicos Generales	0		
	Básico	Tiene Supervisor y Técnicos especializados por area (disciplina)	1		
	Medio	Tiene Consejo de mantenimiento, Supervisor Técnico, Técnicos por area (disciplina y programador de tareas a través de un CMMS (sistema computarizado de mantenimiento))	2	Nivel de madurez de la estructura del departamento de mantenimiento	
	Avanzado	Tiene Comité Supervisor Técnico, Técnicos por disciplina, programador de bases, CMMS, Tipos de ayuda, Administrador de almacén y proficiones, ino contrario, análisis de riesgo, otros.	3		

Fuente: Elaboración propia

## 4 Capítulo IV. Desarrollo

### 4.1 Introducción

En este capítulo se trabajan los datos obtenidos de la investigación empírica, analizando la información que se logró recopilar a través del número de respuestas de cuestionario elaborado en la plataforma *SurveyMonkey* y que fue enviado por correo electrónico a las 348 empresas manufactureras seleccionadas. El total de respuestas obtenidas fue de 53, con esta base de datos se inicia estudiando las respuestas a través de un análisis preliminar y un análisis confirmatorio para garantizar la validez de las escalas de medida y concluimos con la estimación del modelo estructural que nos permitirá posteriormente contrastar la hipótesis H1 propuesta.

### 4.2 Análisis Preliminar

Se realiza una estadística descriptiva de cada una de las variables para comprobar el grado de normalidad univariante de las variables mediante el cálculo de los valores de los coeficientes de asimetría y de curtosis, y validar si son aceptables como variables distribuidas, para esto se necesita asegurar de que no existen errores en la codificación de las variables y que se tratan correctamente los valores ausentes. También se realiza un cálculo de matriz de correlaciones para tener conocimiento de las escalas de medida y su posible depuración posterior.

### 4.3 Análisis Factorial Exploratorio.

El análisis factorial exploratorio nos ayuda a examinar las escalas que se dan al inicio de la prueba al detectar ítems que no aportan peso factorial suficiente en los factores que estamos midiendo. Para esto se utiliza una *Rotación Varimax* para: “limpiar” los factores de manera que cada variable observada tenga un factor grande de coeficiente de patrón/estructura en solo uno de los factores. (Kieffer, 1998), p.13. Donde además se optó por utilizar un peso factorial mayor a 0,5.

A partir del Análisis Factorial Exploratorio para el grupo de Conocimiento y Gestión se extrajeron dos factores F1 y F2 mostrados en la tabla 20. El factor F1 agrupa las variables relacionadas con la gestión del mantenimiento (V1, V7, V8). Y el factor F2 agrupa las variables relacionadas con el conocimiento de los procesos de mantenimiento (V2, V4, V6). Sin embargo, durante el proceso del análisis la variable V11 tenía pesos que conflictuaban con la pertenencia hacia los factores F1 y F2, determinando entonces retirarla y obteniendo los resultados mostrados en la tabla 19.

Tabla 19. Resultados del análisis factorial exploratorio para el grupo de Conocimiento y Gestión

Variable	Descripción	F1	F2	% Varianza Explicada	% acumulado de varianza
		Gestión	Conocimiento		
		Peso			
V1	El porcentaje medio de presupuesto Anual "P" (Gasto y Capital)	.703		34.316	34.316
V7	Tecnologías Herramientas de la industria 4.0 que utiliza/mantto	.826			
V8	El nivel de conocimiento del personal de mantenimiento de su organización	.881			
V2	MTTR. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.717	30.703	65.020
V4	MTBF. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.738		
V6	Estrategias de mantenimiento utiliza actualmente		.782		

Fuente: Elaboración propia

Para el grupo de variables de Madurez (V3, V5, V9, V10, V11) el proceso no pudo realizar una rotación de matriz debido a que solo fue extraído un componente o factor F3, no pudiéndose obtener los pesos para cada variable como se muestra en la tabla 20. Sin embargo, la correlación anti-imagen mostrada entre las variables es muy alta, con valores arriba de 0.8.

Tabla 20. Resultados del análisis factorial exploratorio para el grupo de Madurez

Variable	Descripción	F3	% Varianza Explicada	% acumulado de
		Madurez		
		Peso		
V3	MTTR. Despues de al menos 6 Meses desde la implementación	No se pudo rotar debido a que solo un componente fue extraido	63.547	63.547
V5	MTBF. Despues de al menos 6 meses desde la implementación,			
V12	Disponibilidad - Despues (A 6 meses desde la implementación) de una o mas de las tecnologías Digitales			
V10	Su organización implementó o implementará la industria 4.0 para la gestión del Mantenimiento			
V9	El nivel estructural del departamento de mantenimiento de su organización			

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos anteriormente, se toma la decisión de realizar entonces un análisis exploratorio para todo el conjunto de variables como un solo grupo y a partir de los resultados poder identificar como es que se están interpretando en realidad los componentes por parte de las muestras obtenidas en la encuesta. Se toma el mismo valor para supresión de coeficientes pequeños de 0,50 tomando como base que “se consideran cargas factoriales iguales o superiores a 0,30 como criterio para incluirse en un factor determinado según (Nunnally, 1987)” citado por Estrada Alomía et al., (2017) p. 284.

Se incluyen entonces todas las 12 variables (V1 a V12) dentro de un mismo grupo para su análisis en el programa SPSS versión 23.

Los resultados obtenidos en la reducción de dimensiones nos arrojan valores satisfactorios para la prueba de Esfericidad de Bartlett que “permite evaluar la hipótesis nula que asegura que las variables no están correlacionadas, cuyo p valor debe ser  $<0.05$ ” (Romero, 2020), p. 910. Y donde el valor de nuestro resultado es cercano a 0. De igual manera para la prueba de Káiser-Meyer-Olkin KMO, donde “Según Káiser, el rango de (0.8 a 0.9) se encuentra cercano a 1 o sea es meritorio” (Romero, 2020) p. 911. Y donde nuestro valor obtenido es de 0.807 quedando entonces dentro del rango meritorio y determinando un alto valor en la proporción de los coeficientes grandes de la matriz obtenida, existiendo una alta correlación entre las variables que estamos estudiando, según se muestra en la tabla 21

Tabla 21. Prueba de KMO y Bartlett

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.807
Prueba de Esfericidad de Bartlett	Approx. Chi-Square	354.673
	df	66
	Sig.	.000

Fuente: Elaboración propia

Al analizar la reducción de factores, vemos que se alinean en dos principales grupos, donde se identifica que las variables V7-HERRM, V8-CONOC, V12-DISPD, V10-IMPLE, V3-MTTRD, V1-GASTO, V9-STRUC se interpretan como parte de un solo factor unificado los dos grupos iniciales de **Conocimiento y Gestión**. Resaltando la variable V9-DISPD “Disponibilidad-Después” interpretada como una transición hacia la madurez ya que en las respuestas la calificaron mayormente como un valor desconocido. De la misma manera se interpreta la percepción de la variable V3 MTTR-Después, como parte de la gestión y no como parte de la Madurez.

Para las variables que se consideraban en el modelo inicial como parte de la gestión V2-MTTRA, V4-MTBFA, V6-STRAT, V11-DISPA, hace sentido el que sean interpretadas como parte de la **Madurez**, debido a que los respondientes tenían en su mayoría una certeza del estado inicial de estos parámetros dentro de su organización al ser, generalmente parte de los métricos básicos de un programa de mantenimiento. En la tabla 22 se presentan los componentes

obtenidos resultantes del AFE (análisis factorial exploratorio). Analizando cada una de las puntuaciones para establecer cuáles variables son de menor aportación (menor a 0.5), cuáles significativas (0.5 y 0.7) y cuáles relevantes (mayores a 0.7). Es importante destacar que en todas las variables los resultados son mayores a 0.50 por tanto el aporte es significativo y relevante en su mayoría

Tabla 22. Resultados del análisis factorial exploratorio para todas las variables

Variable	Descripción	Factor F1	Factor F2	% Varianza Explicada	% Acumulado de Varianza		
		Conocimiento y Gestión	Madurez				
		Peso					
V7	Tecnologías Herramientas de la industria 4.0 que utiliza/mantto	.842		35.044	35.044		
V8	Nivel de conocimiento del personal de mantenimiento de su organización	.807					
V12	Disponibilidad - Despues (A 6 meses desde la implementación) de una o mas de las tecnologías Digitales	.735					
V10	Implemenacion industria 4.0 para la gestión del Mantenimiento	.727					
V3	MTTR. Despues de al menos 6 Meses desde la implementación	.715	.507				
V1	Porcentaje medio de presupuesto Anual "P" (Gasto y Capital)	.675					
V9	Nivel estructural del departamento de mantenimiento de su organización	.529					
V2	MTTR. Antes de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.767			24.059	59.103
V4	MTBF. Antes de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.712				
V6	Estrategias de mantenimiento utiliza actualmente		.691				
V5	MTBF. Despues de al menos 6 meses desde la implementación,		.540				
V11	Disponibilidad - Antes de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.533				

Fuente: Elaboración propia

Nota: Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

De la tabla 22 anterior, para el constructo Gestión (Conocimiento y Gestión) resaltan las variables V7 (Tecnologías Herramientas Industria 4.0) y V8 (Nivel de conocimiento de la persona de mantenimiento) con el mayor aporte por su relación estrecha y directa. En general, se recomienda que cada factor según Gluttin (2002) como fue citado en Comportamiento, (2010), p. 65 “debe poseer, al menos, cuatro ítems con correlaciones iguales o superiores a .40 para ser interpretado, y que se debe atender a las correlaciones ítem-factor más elevadas para inferir el nombre de cada factor”. Por lo que como anteriormente se ha mencionado, se a tomado la decisión de evaluar los factores con valores > 0.50. De aquí entonces, el indicador con menor valor de significancia de 0.533 es la variable V9 (Nivel estructural del departamento de

mantenimiento), debido a que posiblemente no existe una fuerte cultura corporativa con respecto a la necesidad de tener una sólida estructura organizacional del departamento de mantenimiento para aportar beneficios directos a la organización.

Para el constructo F2 de Madurez, las dos variables V2 y V4 (MTTR Antes y MTBF Antes) son las de indicador de mayor significancia debido a que los respondientes confirman tener un conocimiento del estado y comportamiento de sus activos de mantenimiento antes de implementar las tecnologías y herramientas de la industria 4.0, reflejándose esto en un estado de madurez mayor al comparar con el después de implementar dichas herramientas y tecnologías de la industria 4.0. El indicador de menor valor en este constructo es la variable V11 (Disponibilidad Después) y siendo consistente en la gran mayoría de los respondientes, debido al poco conocimiento de como se ha mejorado dicho valor entre los equipos y maquinaria con respecto a los cambios y mejoras realizadas con las herramientas de la industria 4.0 aplicados a dicha maquinaria y/o equipos.

#### 4.4 Análisis de Medición Confirmatorio

En esta sección realizaremos la depuración del conjunto de ítems de los factores resultantes del AFE para poder validar la unidimensionalidad y validez de nuestro constructo (convergente y discriminante). Los estadísticos de contraste a considerar de acuerdo a Arias et al., (2008) p.38, son: el ajuste absoluto, conformado por el chi-cuadrado con valores ( $p > 0,05$ ), y la razón (chi-cuadrado/gl), con criterio menor que 5. Asimismo, el índice de bondad de ajuste comparativo  $CFI \geq 0,90$  se considera aceptable (Bollen, 1989), el índice de Taker-Lewis ( $TLI \geq 0,90$ ) (Byrne, 1994). El índice de ajuste normalizado ( $NFI \geq 0,90$ ), la raíz del residuo cuadrático promedio (RMR, próximo a cero) y la raíz del residuo cuadrático promedio de aproximación ( $RMSEA \leq 0,08$ ) según (Hu & Bentler, 1995).

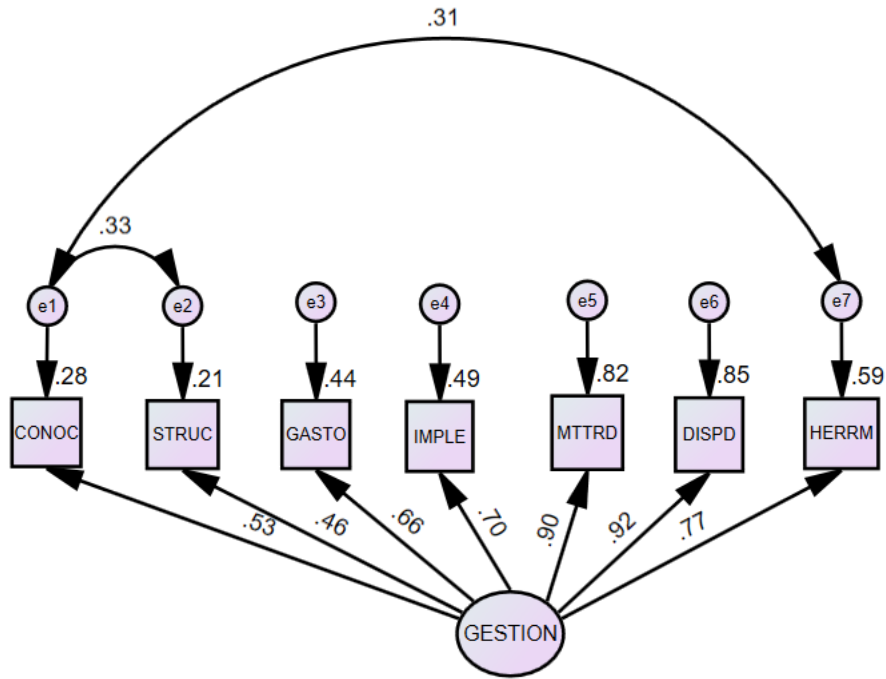


Figura 21. Modelo confirmatorio de la dimensión de Gestión del modelo estandarizado.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los estimadores estandarizados, el valor estadístico t (correspondiente al valor no estandarizado), la  $R^2$  o correlación múltiple al cuadrado y las medidas de bondad de ajuste.

Los valores estadísticos t superiores a 1.96 indican la significancia estadística de los estimadores  $\alpha = 0.05$  para la validez convergente de las escalas de medida al examinar los coeficientes estimados en el modelo de medición. El análisis confirmatorio sirve entonces para hacer una especificación del modelo inicial en caso de no estar ajustado de manera perfecta y ayudara a fijar las variables de un modo final, indicando la necesidad en caso de haberla, de eliminar variables que no tengan significancia con una varianza explicada  $R^2$  menor a 0.5, o con alta correlación con otros indicadores.

Para los valores obtenidos en la primera corrida del modelo de Gestión, se obtuvieron los siguientes valores mostrados en la tabla 23

Tabla 23. Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio para el factor GESTION

Índice de Ajuste	Esperado	Obtenido
Chi-cuadrado $x^2$	> 0.05	0.000
Discrepancia entre $x^2$ y grados de libertad;	< 5	<b>1.75</b>
Error cuadrático media de aproximación (RMSEA)	< 0.08	<b>0.12</b>
Índice de ajuste comparativo (CFI)	0.90 - 1	0.946
Índice de ajuste incremental (IFI)	0.90 - 1	0.948
Índice no normalizado de ajuste o de Tucker Lewis (NNFI o TLI)	0.90 - 1	0.918

Fuente: Elaboración propia

Donde el valor de la media de aproximación de la raíz cuadrada está por encima del valor mínimo aceptable de 0.08. Por lo que se continua el análisis del modelo, ahora recalculando las covarianzas de los índices tal como lo indica el SPSS 23 en el proceso de cálculo al relacionar los errores muestrales de las variables CONOC, STRUC y HERRM, teniendo el siguiente resultado mostrado en la tabla 24, y donde se aprecia en la tabla 24, que dicha correlación hace sentido al tener estas variables una correlación más alta entre ellas debido a su relación estrecha de tener el Conocimiento (CONOC) adecuado para poder utilizar las herramientas de la industria 4.0 (HERRM) a través de una estructura organizacional (STRUC) del departamento de mantenimiento.

Tabla 24. Recalculo de Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio para el factor GESTION

Índice de Ajuste	Esperado	Obtenido
Chi-cuadrado $x^2$	> 0.05	0.000
Discrepancia entre $x^2$ y grados de libertad;	< 5	<b>1.041</b>
Error cuadrático media de aproximación (RMSEA)	< 0.08	<b>0.028</b>
Índice de ajuste comparativo (CFI)	0.90 - 1	<b>0.997</b>
Índice de ajuste incremental (IFI)	0.90 - 1	<b>0.998</b>
Índice no normalizado de ajuste o de Tucker Lewis (NNFI o TLI)	0.90 - 1	<b>0.996</b>

Fuente: Elaboración propia

Donde esta vez el valor de la media de aproximación de la raíz cuadrada está por debajo del valor mínimo requerido de 0.08, siendo aceptable este resultado.

Realizamos el mismo procedimiento para el factor de MADUREZ, obteniendo el siguiente modelo estructural mostrado en la figura 22.

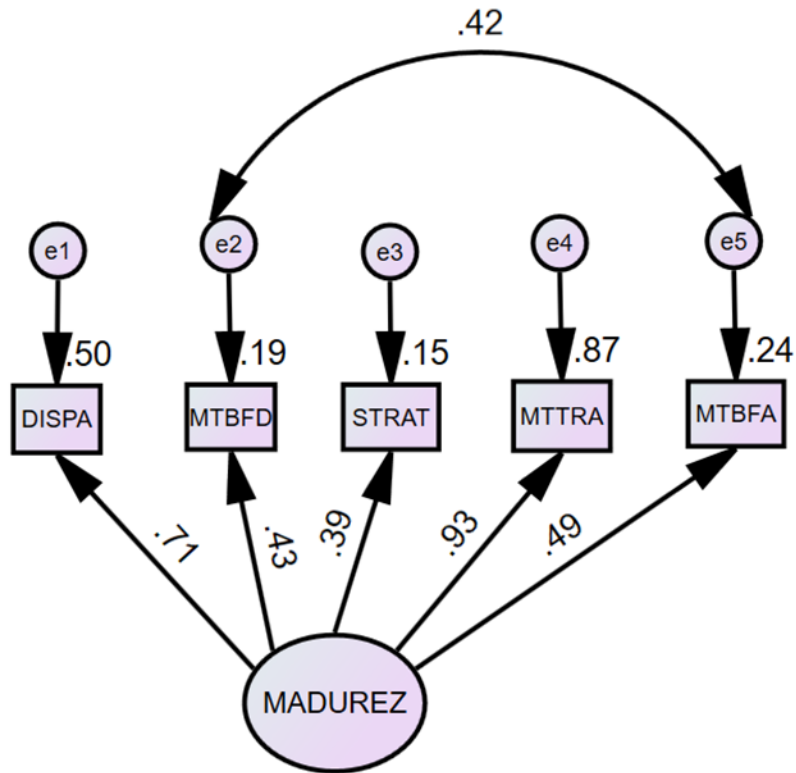


Figura 22. Modelo confirmatorio de la dimensión de Madurez del modelo estandarizado.

Fuente: Elaboración propia

Para los valores obtenidos en la primera corrida del modelo de Gestión, se obtuvieron los siguientes valores mostrados en la tabla 25

Tabla 25. Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio para el factor GESTION

Índice de Ajuste	Esperado	Obtenido
Chi-cuadrado $\chi^2$	> 0.05	0.000
Discrepancia entre $\chi^2$ y grados de libertad; (CMIN/DF)	< 5	<b>2.524</b>
Error cuadrático media de aproximación (RMSEA)	< 0.08	<b>0.171</b>
Índice de ajuste comparativo (CFI)	0.90 - 1	<b>0.88</b>
Índice de ajuste incremental (IFI)	0.90 - 1	<b>0.889</b>
Índice no normalizado de ajuste o de Tucker Lewis (NNFI o TLI)	0.90 - 1	<b>0.761</b>

Fuente: Elaboración propia

Donde se observa que los valores de la bondad de ajuste están por fuera de los rangos mínimos de aceptación. Tanto para el RMSEA, el CFI, IFI y TLI, de tal manera que se procede a realizar el recalcu de las covarianzas de los índices de acuerdo con la ruta mostrada en el SPSS 23, obteniendo los valores mostrados en la tabla 26.

Tabla 26. Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio para el factor MADUREZ

Índice de Ajuste	Esperado	Obtenido
Chi-cuadrado $\chi^2$	> 0.05	0.000
Discrepancia entre $\chi^2$ y grados de libertad;	< 5	<b>0.885</b>
Error cuadrático media de aproximación (RMSEA)	< 0.08	<b>0.0000</b>
Índice de ajuste comparativo (CFI)	0.90 - 1	<b>1.0</b>
Índice de ajuste incremental (IFI)	0.90 - 1	<b>1.0</b>
Índice no normalizado de ajuste o de Tucker Lewis (NNFI o TLI)	0.90 - 1	<b>1.0</b>

Fuente: Elaboración propia

Donde se puede ver que los valores obtenidos tienen un ajuste casi perfecto, siendo este modelo del factor MADUREZ, el cual es aceptable de igual manera que el modelo de GESTION.

Para el modelo completo con las dos dimensiones encontradas de los resultados del Análisis Factorial Exploratorio, y calculadas en el análisis confirmatorio realizado para ambos factores de Gestión y Madurez, se identifican las siguientes variables mostradas en la tabla 27.

Tabla 27. Tipos de variables contenidas en el modelo desarrollado

Variables Endógenas Observadas	Variables Endógenas No Observadas	Variables Exógenas No Observadas
HERRM	GESTION	e1
DISPD	MADUREZ	e2
MTRD		e3
IMPLE		e4
GASTO		e5
STRUC		e6
CONOC		e7
MTBFA		e8
MTTRA		e9
STRAT		e10
MTBFD		e11
DISPA		e12
		e13
		e14

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los estimadores estandarizados, el valor estadístico t (correspondiente al valor no estandarizado), la  $R^2$  o correlación múltiple al cuadrado y las medidas de bondad de ajuste.

Los valores estadísticos t superiores a 1.96 indican la significancia estadística de los estimadores  $\alpha = 0.05$  para la validez convergente de las escalas de medida al examinar los coeficientes estimados en el modelo de medición. El análisis confirmatorio sirve entonces para hacer una especificación del modelo inicial en caso de no estar ajustado de manera perfecta y ayudara a fijar las variables de un modo final, indicando la necesidad en caso de haberla, de eliminar variables que no tengan significancia con una varianza explicada  $R^2$  menor a 0.5, o con alta correlación con otros indicadores.

Del análisis factorial confirmatorio planteado para los dos niveles de Conocimiento-Gestión (Gestión) y Madurez mostrados en la tabla 28, nos muestra un ajuste de modelo aceptable para ambos factores y aunque a juzgar por el valor de la Chi-Cuadrado mayor a diferencia del esperado ( $p < 0.05$ ), no es preocupante debido a que los demás índices de ajuste considerados como mayor criticidad, tienen valores altamente aceptables.

Tabla 28. Índices de ajuste esperados para el modelo de ecuaciones estructurales e índices obtenidos para el análisis factorial confirmatorio

Índice de Ajuste	Esperado	Obtenido
Chi-cuadrado $\chi^2$	> 0.05	0.000
Discrepancia entre $\chi^2$ y grados de libertad; (CMIN/DF)	< 5	<b>1.298</b>
Índice de Bondad de ajuste (GFI)	0.90 - 1	0.956
Error cuadrático media de aproximación (RMSEA)	< 0.08	<b>0.076</b>
Índice de ajuste comparativo (CFI)	0.90 - 1	<b>0.956</b>
Índice de ajuste incremental (IFI)	0.90 - 1	<b>0.958</b>
Índice no normalizado de ajuste o de Tucker Lewis (NNFI o TLI)	0.90 - 1	<b>0.939</b>

Fuente: Elaboración propia

La matriz de correlaciones entre los elementos de Gestión y Madurez mostrado en la tabla 29, nos permite comprobar que, aunque solo pocos son considerables, la validez discriminante de las escalas es aceptable ya que entendemos que existe una relación que concilia en la práctica las etapas de los procesos de mantenimiento en miras hacia una etapa de mejor desempeño de dichos procesos hasta llegar a un alto grado de madurez operativa a través de la industria 4.0.

Tabla 29. Matriz de Correlaciones entre las variables de los dos factores Conocimiento-Gestión y Madurez

	HERRM	DISPD	MTTRD	IMPLE	GASTO	STRUC	CONOC	MTBFA	MTTRA	STRAT	MTBFD	DISPA
HERRM	1											
DISPD	0.722	1										
MTTRD	0.715	0.823	1									
IMPLE	0.54	0.621	0.615	1								
GASTO	0.535	0.616	0.61	0.46	1							
STRUC	0.378	0.435	0.43	0.325	0.322	1						
CONOC	0.429	0.494	0.489	0.369	0.366	0.513	1					
MTBFA	0.393	0.452	0.448	0.338	0.335	0.236	0.269	1				
MTTRA	0.383	0.44	0.629	0.329	0.326	0.39	0.262	0.479	1			
STRAT	0.285	0.328	0.325	0.246	0.243	0.172	0.195	0.209	0.204	1		
MTBFD	0.552	0.635	0.629	0.475	0.471	0.332	0.377	0.405	0.394	0.294	1	
DISPA	0.426	0.49	0.485	0.366	0.363	0.256	0.291	0.312	0.668	0.227	0.438	1

Fuente: Elaboración propia

De esta manera entonces, podemos decir que queda comprobada la existencia de dos dimensiones para la disponibilidad de utilización de los equipos y maquinaria de las plantas de manufactura en el proceso de la implementación de las tecnologías y herramientas de la industria 4.0 en los procesos de mantenimiento, y a través de los hallazgos de los diferentes tipos de

variables involucradas y encontradas en el análisis realizado con el programa estadístico SPSS AMOS 26 y mostradas en la figuras 23 y 24

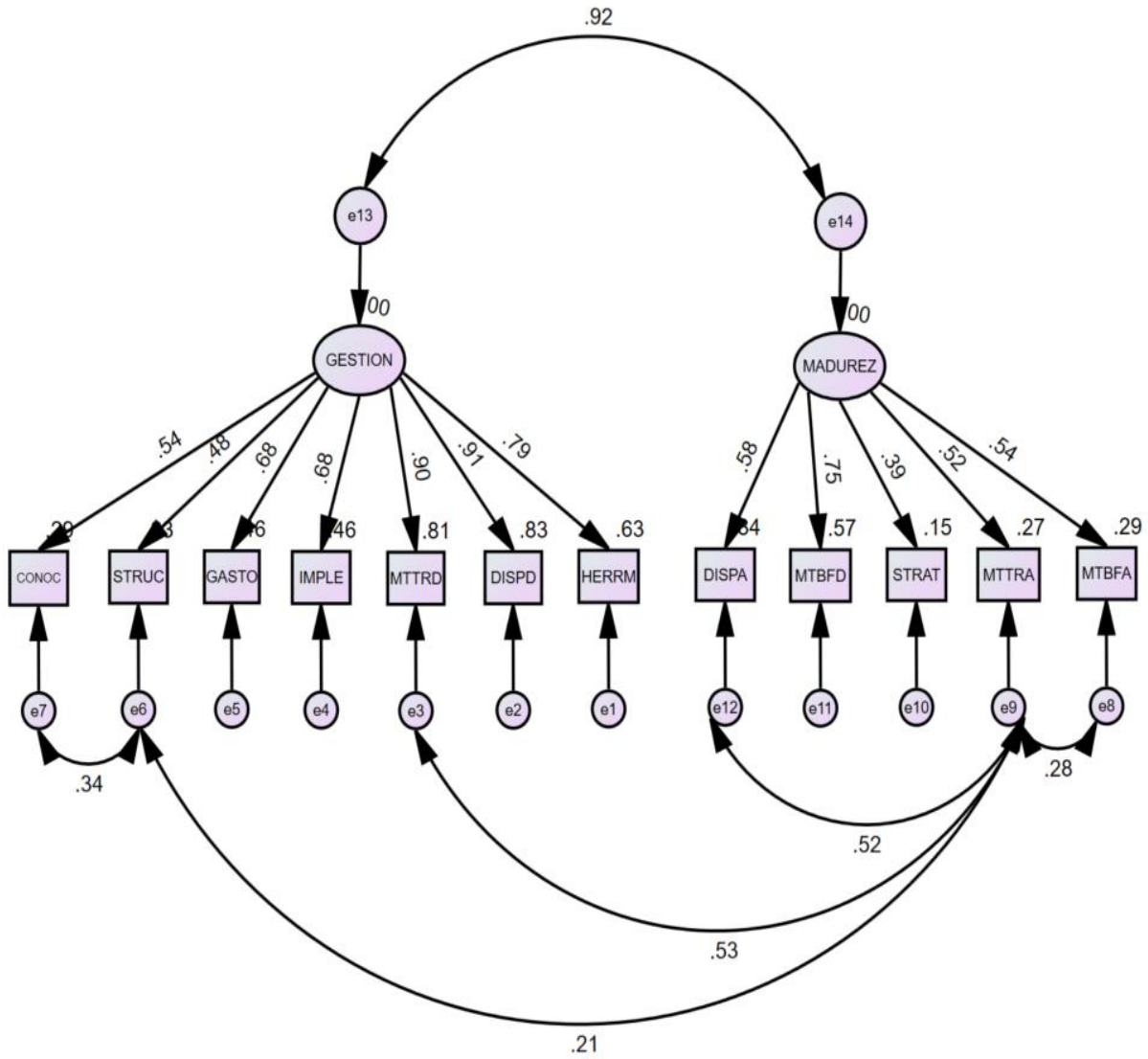


Figura 23. Modelo confirmatorio de las dimensiones Conocimiento-Gestión (Gestión) y Madurez del modelo estandarizado.

Fuente: Elaboración propia

Este modelo estandarizado es el que se utiliza en el análisis de este trabajo. Así mismo podemos ver para GESTION, como las variables latentes hacia las observadas DISPD, MTTRD y HERRM son las que más carga como reactivo presentan al aportan y explican en mayor cantidad. Y para MADUREZ los reactivos con mayor explicación son MTBFD, DISPA, MTBFA.

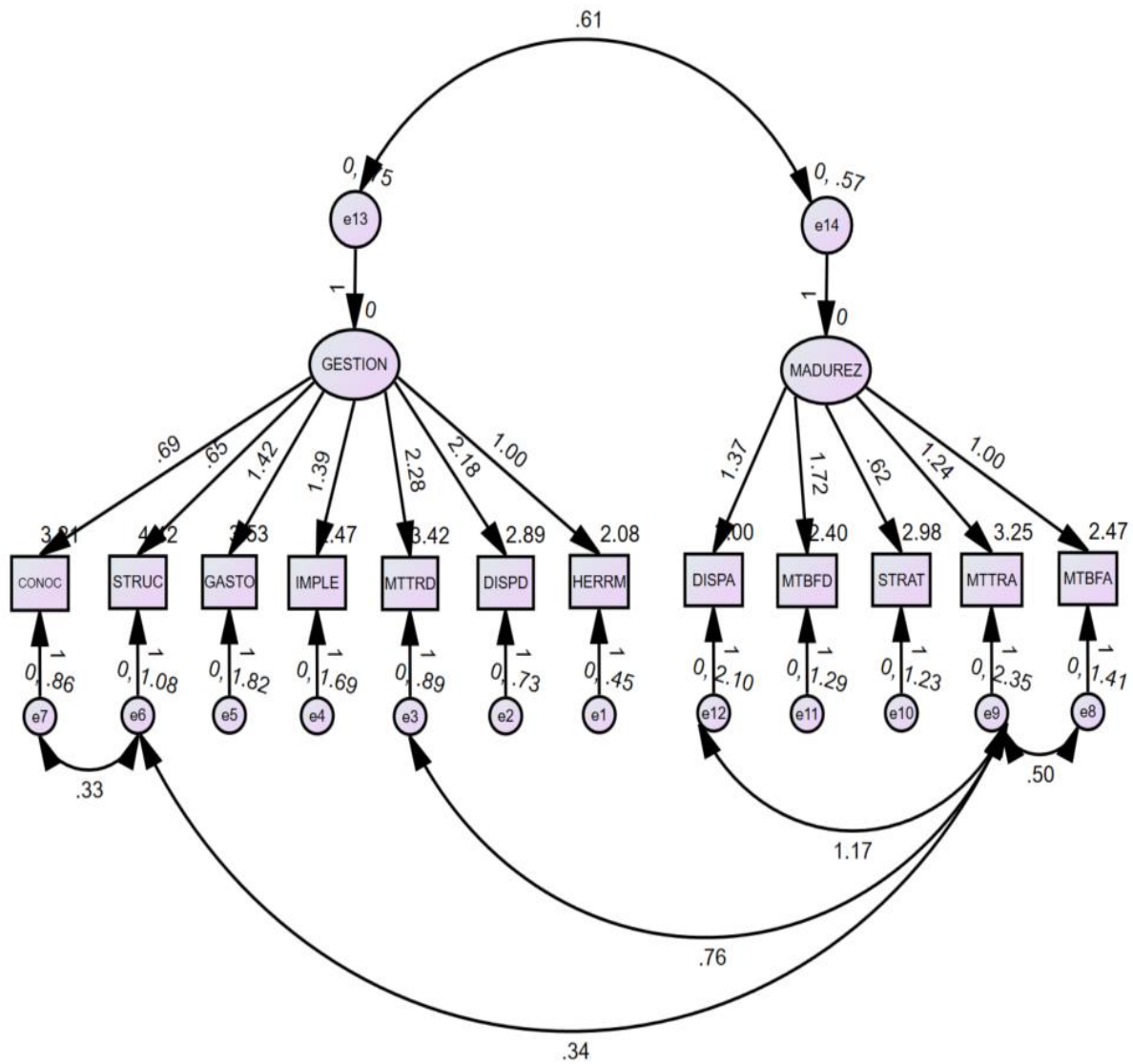


Figura 24. Modelo confirmatorio de las dimensiones Conocimiento-Gestión (Gestión) y Madurez del modelo no estandarizado.

Fuente: Elaboración propia

El modelo no estandarizado nos sirve para identificar aquellos reactivos que puedan estar saliéndose de la varianza (entre más grande el error, menos se está explicando). En este modelo no se decidió eliminar ningún reactivo debido a que no se encontró una disparidad muy evidente entre los valores de errores (variables exógenas) para Gestión y Madurez

#### 4.4.1 Estimación del modelo

Una vez que se ha obtenido un modelo satisfactorio de medida para cada variable latente en las fases anteriores (ajustes del modelo) procedemos con la estimación estructural planteando el conjunto de ecuaciones estructurales y a ser analizadas con el programa estadístico SPSS AMOS 26.

Como resultado de la depuración de las escalas, se realiza el análisis estructural basado en el modelo de medida estimado. Tomando entonces los valores de los coeficientes lambda ( $\lambda_{ij}$ ) y de la varianza de los errores de medida obtenidos en el análisis confirmatorio realizado previamente. La estimación del modelo se ha realizado introduciendo la relación entre los elementos de Gestión y los elementos de Madurez y la interacción entre ambos grupos de elementos. Esta separación obedece al resultado del análisis exploratorio donde se confirma la existencia de los dos factores antes mencionados y de acuerdo con la percepción de los participantes en el instrumento de medición.

Ahora, el ajuste del modelo se puede expresar en una hipótesis fundamental que propone que el modelo es correcto, esta idea de ajuste se puede resumir en la ecuación (6)

$$H_0: \Sigma = \Sigma(\theta) \quad (6)$$

Donde  $\Sigma$  es la matriz de varianzas-covarianzas poblacional entre las variables observables,  $\theta$  es un vector que contiene los parámetros del modelo y  $\Sigma(\theta)$  es la matriz de varianzas-covarianzas derivada como una función de los parámetros contenidos en el vector  $\theta$ .

Según (Bollen, 1989) como citado en (Ruíz et al., 2014), p. 42. El significado de esta hipótesis se puede expresar de la figura 25.

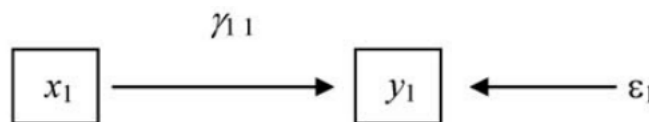


Figura 25. Modelo de regresión simple

Fuente: (Ruíz et al., 2014), Modelos de ecuaciones estructurales, papeles del psicólogo 2010. Vol 31 (1) pp.34-45. <http://www.cp.es/papeles>

Y desarrollando, la ecuación de regresión de la figura 25, se define como:

$$y = \gamma x + \varepsilon \quad (7)$$

Donde  $\gamma$  es el coeficiente de regresión y  $\varepsilon$  es la variable que representa el término error, asumiendo que es independiente de  $x$  y cuyo valor esperado es cero. Entonces en la ecuación (8), la matriz de varianzas-covarianzas entre las variables observadas  $x$  y  $y$  es

$$\Sigma = \begin{bmatrix} VAR(y) & COV(x, y) \\ COV(x, y) & VAR(x) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Operando esta matriz, se llega a que la varianza de la variable dependiente es función del parámetro  $\gamma$  y de la varianza de los errores, ecuación (9)

$$COV(x, y) = \gamma^2 VAR(x) \quad (9)$$

Sustituyendo en la matriz tenemos que la hipótesis básica se representa en la ecuación (10) entonces por

$$H_0: \Sigma = \Sigma(\theta) = \begin{bmatrix} \gamma^2 VAR(y) & COV(x, y) \\ COV(x, y) & VAR(x) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Entonces de acuerdo con el nivel de factores de nuestro modelo, la matriz del modelo de la figura 23 es:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \\ X_9 \\ X_{10} \\ X_{11} \\ X_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ \lambda_2 & 0 \\ \lambda_3 & 0 \\ \lambda_4 & 0 \\ \lambda_5 & 0 \\ \lambda_6 & 0 \\ \lambda_7 & 0 \\ 0 & \lambda_8 \\ 0 & \lambda_9 \\ 0 & \lambda_{10} \\ 0 & \lambda_{11} \\ 0 & \lambda_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \\ \delta_7 \\ \delta_8 \\ \delta_9 \\ \delta_{10} \\ \delta_{11} \\ \delta_{12} \end{bmatrix}$$

Figura 26. Modelo matricial del constructo conteniendo los dos factores identificados.

Fuente: Elaboración propia

Así mismo también realizamos el análisis de validez convergente del constructo, para los dos factores identificados de GESTION y MADUREZ, tal como se muestra en las tablas 30 y 31 respectivamente.

Tabla 30. Correlaciones Validez Convergente para el Factor de GESTION

		CONOC	STRUC	GASTO	IMPLE	MTTRD	DISPD	HERRM
CONOC	Pearson Correlation	1						
	Sig. (2-tailed)							
	N	53						
STRUC	Pearson Correlation	.523**	1					
	Sig. (2-tailed)	.000						
	N	53	53					
GASTO	Pearson Correlation	.469**	.325*	1				
	Sig. (2-tailed)	.000	.018					
	N	53	53	53				
IMPLE	Pearson Correlation	.431**	.372**	.551**	1			
	Sig. (2-tailed)	.001	.006	.000				
	N	53	53	53	53			
MTTRD	Pearson Correlation	.463**	.383**	.585**	.633**	1		
	Sig. (2-tailed)	.000	.005	.000	.000			
	N	53	53	53	53	53		
DISPD	Pearson Correlation	.445**	.408**	.586**	.597**	.854**	1	
	Sig. (2-tailed)	.001	.002	.000	.000	.000		
	N	53	53	53	53	53	53	
HERRM	Pearson Correlation	.594**	.439**	.535**	.621**	.646**	.715**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.001	.000	.000	.000	.000	
	N	53	53	53	53	53	53	53

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior 30, se observa que la mayoría de las variables tienen una buena correlación de Pearson, por encima de 0.5, hay solo algunas por debajo de este valor mínimo, sin embargo, todas las variables son estadísticamente significativas con una correlación con valores menores a 0.05 por tanto se puede decir que el modelo del factor Gestión es aceptado.

Tabla 31. Correlaciones Validez Convergente para el Factor de MADUREZ

	DISPA	MTBFD	STRAT	MTTRA	MTBFA
Pearson Correlation	1				
DISPA Sig. (2-tailed)					
N	53				
Pearson Correlation	.288*	1			
MTBFD Sig. (2-tailed)	.037				
N	53	53			
Pearson Correlation	.281*	.302*	1		
STRAT Sig. (2-tailed)	.041	.028			
N	53	53	53		
Pearson Correlation	.665**	.400**	.347*	1	
MTTRA Sig. (2-tailed)	.000	.003	.011		
N	53	53	53	53	
Pearson Correlation	.271*	.542**	.350*	.461**	1
MTBFA Sig. (2-tailed)	.050	.000	.010	.001	
N	53	53	53	53	53

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, de la tabla anterior 31, también se observa una correlación de Pearson no muy fuerte la mayoría por debajo de 0.5, sin embargo, todas las variables son estadísticamente significativas con una correlación con valores menores a 0.05, con excepción de la correlación entre las variables MTBFA y DISPA, con un valor justo  $p = 0.05$  y las dos variables STRAT y DISPA con un valor  $p = .041$ . Lo cual nos indica que la variable DISPA (Disponibilidad Después), está justo dentro del valor correlacional del modelo y haciendo sentido con la literatura revisada donde no se ha encontrado una sólida información respecto al pleno conocimiento del estado de esta variable dentro de las empresas de manufactura, en relación con la disponibilidad de los equipos y maquinaria a posteriori de las mejoras realizadas a los procesos y maquinaria mediante la implementación de la industria 4.0.

En el capítulo 5 se presentan los resultados finales con los contrastes de hipótesis de los modelos estructurales anteriores de dos ecuaciones en el que hemos permitido en el cálculo, que los errores de las variables dependientes GESTION y MADUREZ se correlaciones entre sí, puesto que son las dos dimensiones de la CONFIABILIDAD de los equipos y maquinaria de mantenimiento, y también las conclusiones pertinentes de la investigación.

## **5 Capítulo V. Resultados Finales y Conclusiones**

### **5.1 Consideraciones**

La presente tesis es una investigación cuantitativa basada en un análisis factorial exploratorio-confirmatorio con ecuaciones estructurales para analizar la correlación entre la variable dependiente Disponibilidad y las variables independientes mostradas en el constructo anterior. Inicialmente, en la metodología de investigación, la variable dependiente Disponibilidad se trató como un solo elemento que abarcaba todas las variables independiente dentro de un mismo constructo, sin embargo después de los resultados obtenidos con base en las respuestas del cuestionario y los análisis estadísticos realizados, finalmente la variable dependiente Disponibilidad, se divide en dos variables dependientes no observas a ser Gestión y Madurez (nombradas así debido a la segregación resultante de las variables observadas para cada factor). Resulta entonces necesario volver a contextualizar que uno de los grandes problemas productivos de una organización de manufactura se puede definir según Velmurugan & Dhingra, (2015), p. 1624. como “cualquier parada abrupta de todo el proceso de producción causa retraso y reducción de la producción, aun cuando la organización siga varias estrategias de mantenimiento, siendo de enorme en impacto para la organización”. De aquí que la hipótesis planteada: La implementación de las tecnologías de la industria 4.0, a los procesos de mantenimiento de la industria manufacturera, incrementa de manera significativa la disponibilidad de la maquinaria que se utiliza en el proceso de producción.

### **5.2 Conclusiones**

Las conclusiones que se presentan a continuación resultan del estudio realizado basado en la Investigación cuantitativa y en la que para este fin se aplicaron un total de 348 cuestionarios a igual número de empresas de la industria manufacturera de la ciudad de Tijuana, B.C. obteniendo un total de 53 respuestas después de 10 meses de estar reenviando los correos electrónicos y realizar más de 400 llamadas telefónicas para contactar al personal clave de cada organización y dar seguimiento al cuestionario enviado. A modo de explicación del porque se obtuvieron solo esta cantidad de respuestas, podemos decir que después del tiempo y esfuerzo invertido en obtener la mayor cantidad de información y participación de las diferentes plantas manufactureras, nos dimos cuenta de que la estrategia utilizada no fue la más eficiente debido a

tres factores: 1. La desconfianza a revelar datos de desempeño, 2. El recurso limitado en mano de obra para abarcar mayor cantidad de empresas en menor tiempo. 3. La gran mayoría de las empresas ya no utilizan sistema de telefonía tradicional de conmutador sino más bien telefonía celular y la cual no está del todo actualizada en las bases de datos existentes de los directorios de la industria manufacturera de Tijuana, y esto causo muchos retrasos en poder conseguir los números telefónicos correctos de los contactos de interés.

Ahora bien, las variables bajo estudio se analizaron utilizando las técnicas estadísticas descriptiva, Alfa de Cronbach, Kaiser Meyer Olkin (KMO), prueba de esfericidad de Bartlett, índice de bondad, ajuste normado e incremental además de media de error de aproximación para validar el modelo planteado. Ello permitió permitieron cumplir los objetivos planteados al inicio de este trabajo y que son lo siguiente: Analizar los Efectos de la Industria 4.0 en la Disponibilidad de la maquinaria de producción en la industria manufacturera en Tijuana Baja California.

### 5.3 Hallazgos de la investigación cuantitativa y contraste de la hipótesis general

El modelo presentado concuerda con la manera sistemática de un “*balance score card*” (BSC) o cuadro integral de mando (desde la sección del marco teórico lo podemos ver en la tabla 2, Cuadro de mando integral de procesos de mantenimiento) que es promovido en muchas organizaciones de industrias manufactura para la Administración y mejora continua (**gestión y madurez**) del mantenimiento, que es como dice Velmurugan & Dhingra, (2015) p.04 donde a través de alineación de los objetivos en cuatro perspectivas o rutas de control: financiera, clientes, procesos internos y crecimiento o aprendizaje. Resalta de este cuadro integral de mando la inclusión de muchas de las variables independientes de nuestro modelo propuesto, siendo entonces consistente, el impacto de las variables observadas con el factor de **Gestión** de los diferentes procesos de la organización del departamento de mantenimiento, para evolucionar a una mejor y eficiente gestión de la Disponibilidad de la maquinaria y a través de la evidencia de los valores de las diferentes variables observadas y su correlación con las variables no observadas Gestión y Madurez. También resulta importante la consistencia del modelo propuesto a través del enfoque observado en el factor de Madurez toda vez que constituye el estado actual determinado por cada organización con respecto de la mejora lograda sobre la disponibilidad después de haber realizado mejoras y cambios con las herramientas de la industria 4.0 en los

procesos internos del sistema de mantenimiento de la organización ya que como comenta Espinosa & Salinas, (2010) p. 05, que la **madurez** de las funciones de mantenimiento podría indicar que la organización definida para el mantenimiento está perfectamente condicionada para emprender todos sus proyectos de innovación, sean tecnológicos o de gestión integral de sus recursos. Siguiendo con el lineamiento anterior, y recordando que los modelos de ecuaciones estructurales resultan un instrumento muy efectivo para los estudios de relaciones causales sobre datos no experimentales cuando las relaciones son del tipo lineal. Estos modelan conceptos en variables latentes (no observadas) e infieren en múltiples medidas observadas (variables manifestadas) (Escobedo Portillo et al., 2016), donde la técnica de SEM se considera una extensión de varias técnicas multivariantes de regresión múltiple, el análisis factorial principalmente y el análisis de senderos. Entonces, del resultado de análisis del software AMOS, tenemos que los valores de correlación entre los constructos definidos: GESTION (F1) y MADUREZ (F2) figura 27, como variables dependientes correlacionadas con la Disponibilidad global son:

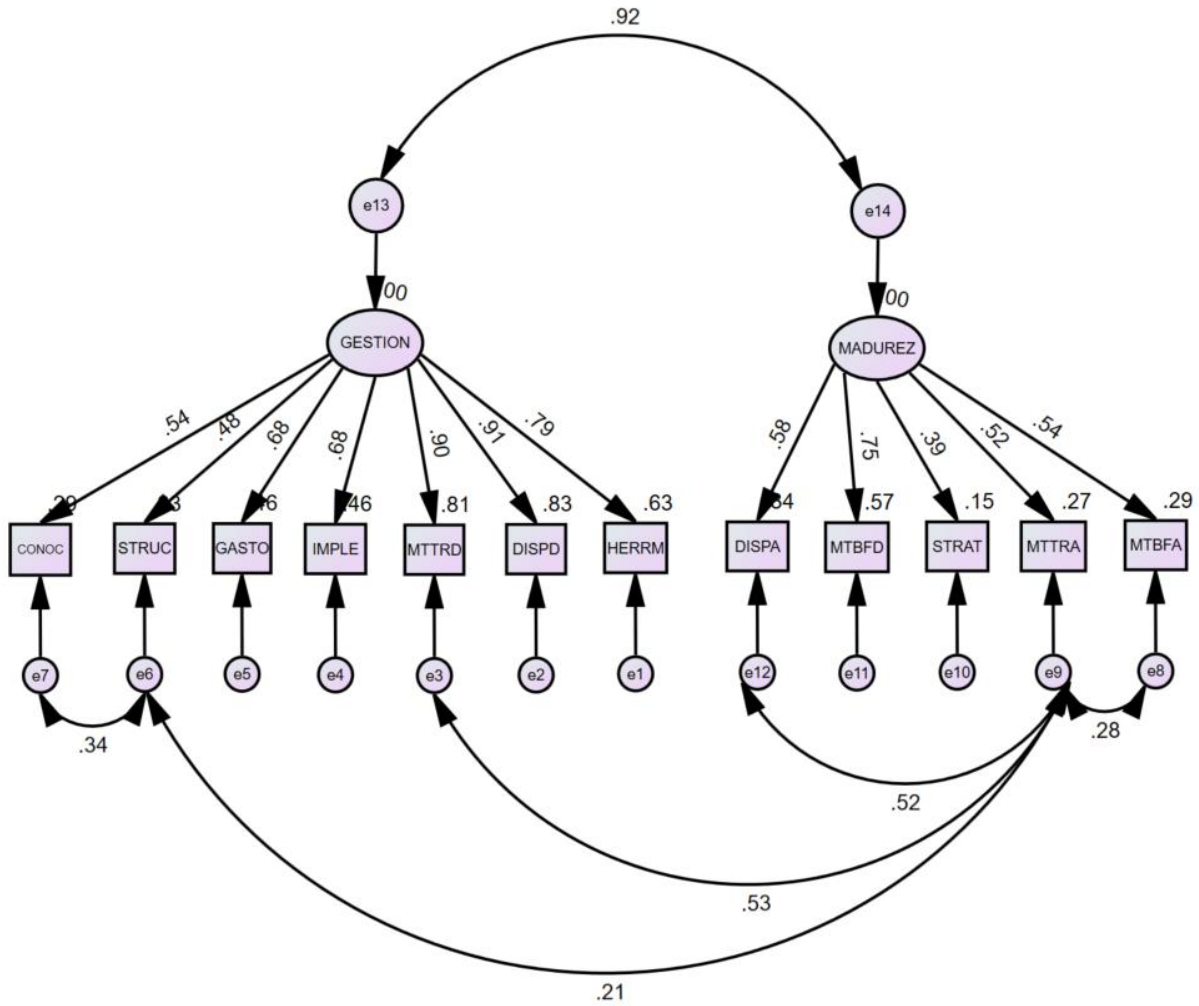


Figura 27. Valores del Constructo aceptado de los factores de GESTION y MADUREZ mediante el análisis estructural con el software AMOS 26.

La Figura 27 referente al análisis estructural del modelo exhibe variables endógenas que son incididas por otras variables, donde las relaciones entre las variables se indican con una flecha con dirección y sentido desde la variable causa hacia la variable efecto. Cada una de estas relaciones están afectadas por un coeficiente, que indica la magnitud del efecto entre ambas variables, si entre dos variables no se ha especificado ninguna relación (flecha) se entiende que su efecto es nulo.

Por tanto, para que los valores estimados en un modelo sean aceptables, estos deben tener una carga  $\geq 0,07$  (Escobedo Portillo et al., 2016) y dentro del análisis correlacional se puede indicar que concurre correlación pues en todos los casos para GESTION y MADUREZ los

valores son aceptables por ser mayores al límite especificado anteriormente. Por tanto, inciden todas las variables en la Gestión y Madurez de la disponibilidad de equipos y maquinaria, expresándose una relación directa con cada una de las variables observadas de cada uno de los dos factores anteriores que componen la variable inicial observada Disponibilidad de Maquinaria.

Y recapitulando la observación de los resultados del modelo general hipotético, nos permite comprobar que la bondad del ajuste es buena en las dos ecuaciones del modelo donde a excepción del t-valor, el resto de los parámetros estimados son significativos y de acuerdo con la tabla 32.

Tabla 32. Resultado de parámetros estimados del modelo propuesto para el constructo de la hipótesis general de la investigación.

	Esperado	Obtenido
Índice de Ajuste		
Chi-cuadrado $\chi^2$	> 0.05	0.000
Discrepancia entre $\chi^2$ y grados de libertad; (CMIN/DF)	< 5	<b>1.298</b>
Índice de Bondad de ajuste (GFI)	0.90 - 1	0.956
Error cuadrático media de aproximación (RMSEA)	< 0.08	<b>0.076</b>
Índice de ajuste comparativo (CFI)	0.90 - 1	<b>0.956</b>
Índice de ajuste incremental (IFI)	0.90 - 1	<b>0.958</b>
Índice no normalizado de ajuste o de Tucker Lewis (NNFI o TLI)	0.90 - 1	<b>0.939</b>

De lo anterior, **se acepta la hipótesis H1** que refiere a la relación positiva que existe entre la implementación de la Industria 4.0 en los procesos de mantenimiento y el incremento de la disponibilidad de la maquinaria de producción de la industria manufacturera de Tijuana BC. Al verificar que las doce variables observadas intervienen directamente de forma positiva en el desempeño de las empresas. La evaluación de los datos obtenidos de manera empírica con el análisis estadístico llevado a cabo mediante el software SPSS 23 y AMOS 26, confirman una relación positiva de las dos variables dependientes no observadas Gestión y Madurez que componen la variable dependiente inicial Disponibilidad y con las variables independientes observadas. Esto viene a validar ambos constructos a través del proceso de las organizaciones de mantenimiento en sus dos etapas de implementación de la industria 4.0, primero en su etapa de **Gestión** de las mejoras y procesos en busca de una mejores resultados de los procesos de mantenimiento para disminuir los fallos no esperados a través de las diferentes estrategias como son la capacitación y conocimiento de los integrantes de la organización, la inversión adecuada en tecnología, la mejora de la estructura organizacional de mantenimiento, y segundo su etapa de **Madurez**, al corroborar el estado actual o el “después” de haber implementado las mejoras

relacionadas con las herramientas y tecnologías de la industria 4.0 y haciéndose evidente que muchas organizaciones no cuentan aun del todo con el conocimiento ni la tecnología ni los procesos adecuados para incrementar la disponibilidad de la maquinaria de producción y evidenciando el beneficio que promueve esta implementación de la industria 4.0

Es también relevante el considerar que la existencia de los dos factores de Gestión y Madurez de la implementación de la industria 4.0 en los procesos de mantenimiento, reflejan y determinan el estado inicial de la organización del departamento de mantenimiento y la consecución de sus capacidades dinámicas hacia esta implementación. Es necesario recordar que el proceso de Gestión de nuevas estrategias dentro de los departamentos de mantenimiento, requieren evaluar por un lado las capacidades actuales del personal e infraestructura del departamento y por otro lado el soporte corporativo en cuanto a inversión de capital en nuevas tecnologías, adquisición de recursos adicionales tanto tecnológicos, humanos, capital, etc. Los datos obtenidos reflejan claramente cómo se percibe el estado actual de conocimiento de los indicadores clave (variables observadas) iniciales y combinadas con la visión a posteriori hacia donde se quiere llegar (variables observadas después de la implementación).

Entonces, el modelo planteado con la Disponibilidad de Maquinaria de Producción constituye la variable dependiente esencial, que sin embargo tiene naturaleza multidimensional, concretamente en la formulación del modelo se consideró como variables dependientes de esta, a la Gestión y la Madurez como básicas de la implementación de la industria 4.0 en los procesos de mantenimiento, y las cuales comprenden y determinan dentro de sí, a cada una de las variables observadas ya estudiadas anteriormente. En coherencia con los hallazgos realizados derivados de la revisión realizada, el modelo formulado es resultado del intento de comprender como las organizaciones de mantenimiento administran actualmente sus recursos y enfoques hacia un estado de confiabilidad mayor que produzca los más altos beneficios en las plantas de manufactura de Tijuana BC, y cuál es el área de oportunidad de dichas organizaciones en su empresa por migrar hacia un estado superior de eficiencia mediante la implementación de las tecnologías y herramientas de la industria 4.0 aplicadas a sus procesos y estrategias de mantenimiento. De esta forma hemos pretendido acercarnos a los efectos de tal capacidad actual de los departamentos de mantenimiento desde la perspectiva del estado actual y resultados de la Madurez de estas organizaciones.

En resumen, y dando respuesta a los objetivos específicos planteados en el apartado 2.4.2, podemos decir y concluir que:

- Establecer Los tipos de mantenimiento industrial utilizados en la actualidad en la industria manufacturera en Tijuana BC: de los datos obtenidos en las respuestas al cuestionario, sabemos que un 47% utiliza solamente actividades de mantenimiento Preventivo, TPM y Correctivos. Solo un 15% del total de respondientes dijeron utilizar mantenimiento Predictivo además de los anteriores mencionados. Y solo un 13% dijo utilizar BMC, Mantenimiento Basado en Monitoreo de Condición, e incluyendo por supuesto los demás tipos de mantenimiento anteriores.
- Identificar cuáles son las tecnologías de la industria 4.0 más utilizadas en la actualidad en la industria manufacturera maquiladora de Tijuana BC enfocadas a los procesos de mantenimiento: De los datos obtenidos a través de las respuestas al cuestionario que se envió a las empresas de manufactura de Tijuana BC, podemos concluir que aquellas empresas que cuentan con al menos una herramienta digital de las tecnologías de la industria 4.0 son los Sensores inteligentes para el monitoreo en tiempo real de datos ya sea de temperatura, de vibración o de consumo de corriente eléctrica en algunos de sus equipos críticos para la operación.
- Determinar datos de disponibilidad o tiempos caídos de maquinaria en las diferentes industrias manufactureras en Tijuana BC: Los porcentajes de mejora en disponibilidad y reducción de tiempos caídos reportados por aquellos respondientes que si contaban con dicha información, para MTTR y MTBF variaba entre un 4% a un 15% de mejora y para Disponibilidad hasta un 8% en algunos casos (Ver información en Anexo 10). Sin embargo el incremento en la Disponibilidad de la maquinaria no solo depende de estos factores, sino de una combinación estratégica de todos los aquí analizados, y también otros más que no fueron considerados para este estudio pero que también pueden contribuir de manera más indirecta, a decir: 1. la buena calidad de las refacciones utilizadas en los mantenimientos, 2. la actitud positiva y de sentido de propiedad del personal colaborativo, 3. las estrategias de Recursos Humanos para incentivar al personal con desempeño sobresaliente, 4. la comunicación transparente dentro del equipo de mantenimiento, 5. Información clara y precisa respecto a las metas de la organización de mantenimiento, etc.

- Analizar el efecto de los datos obtenidos para analizar los niveles de disponibilidad de maquinaria entre aquellas industrias con alguna o varias tecnologías 4.0 implementadas y aquellas con ninguna de ellas: La investigación muestra el efecto positivo de la implementación de la Industria 4.0 en los procesos de mantenimiento de la industria manufacturera de Tijuana BC ya que aporta evidencia empírica sobre la mejora de la disponibilidad de la maquinaria de producción al identificar dos principales catalizadores sobre este proceso y los cuales son Gestión y Madurez como variables dependientes que aportan a la mejora e incremento de la disponibilidad de la maquinaria de las empresas de manufactura de Tijuana BC, debido a los datos recolectados mediante el instrumento de medición y el procesamiento de los datos mediante el análisis factorial exploratorio para establecer el constructo correspondiente, validado mediante la estadística descriptiva y las ecuaciones estructurales anteriores. Finalmente podemos decir que las empresas que cuentan con la industria 4.0 incrementan significativamente la disponibilidad de la maquinaria y que el estado actual de la mayoría de ellas solo utiliza una mínima parte de las tecnologías de digitalización de la industria 4.0, siendo posiblemente la más común los sensores inteligentes para medir datos de temperatura, vibraciones y amperajes en diferentes tipos de motores u otros equipos de uso pesado y continuo.

#### 5.4 Contribuciones y Limitaciones del Estudio

La presente investigación realiza una aportación al sistema de gestión del mantenimiento en el marco de las empresas de la industria manufacturera de Tijuana Baja California con las siguientes limitaciones:

- La primera limitante es la escasez de este tipo de investigación directa en las organizaciones de los departamentos de mantenimiento de la industria manufacturera y presentando dificultades para obtener los datos e información adecuada de parte del personal indicado o relacionado con los procesos de mantenimiento, causando así algunos retrasos en la pronta obtención de las respuestas al cuestionario.
- La segunda limitante fue que la gran mayoría de los gerentes y supervisores contactados se negaron a colaborar en la encuesta o la persona contactada no contestó a pesar de haber estado de acuerdo en colaborar. Esto incidió en el tamaño esperado de la muestra y su representatividad.

**Con respecto a la contribución de esta tesis:**

- La alta significación de la Gestión con la Madurez para lograr una mayor Disponibilidad de Maquinaria de producción evidencia los diferentes aspectos y beneficios que pueden resultar de la implementación de la industria 4.0 en los procesos de mantenimiento.
- Al momento en las empresas encuestadas y literatura revisada no hemos encontrado evidencia del aprovechamiento de los resultados de esta significancia entre las variables independientes que componen los factores de la Gestión y la Madurez, ya que no se identifica una tendencia sostenible en las organizaciones de mantenimiento.
- La evidencia obtenida en el análisis de los datos recabados contribuye a una justificación plausible para las organizaciones de mantenimiento que buscan la mejora continua y no cuentan con un respaldo sólido que justifique la inversión requerida en cuanto a costo, recurso humano, capacitación, tecnologías.
- Así mismo, está el aporte en colaborar en la necesidad de mejorar la evidente limitante empírica de los departamentos de mantenimiento sobre el aprendizaje de las nuevas herramientas de la industria 4.0 aplicables a los procesos de mantenimiento para aportar valor a la organización a través de una mayor confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria de producción.
- Una característica relevante del modelo es que valora la percepción que hay en las organizaciones de la ruta a seguir en la gestión de la industria 4.0 en el mantenimiento mediante las variables independientes observadas para este factor y que puede aportar una base de partida fundamental para aquellas organizaciones que aún no han dado el primer paso hacia esta implementación, y contribuir a una más rápida y eficiente estructuración de prioridades, para afianzar los resultados esperados y lograr el paso hacia la madurez, ya que como lo menciona Durand et al., (2022) la **gestión del mantenimiento** es la variable que más repercute en el desempeño de la función de mantenimiento, p.02.

## 5.5 Futuras líneas de Investigación

Las limitaciones encontradas en esta investigación, ofrecen la oportunidad de una continuación de este trabajo con la posibilidad de ampliar la investigación en más frentes de oportunidad, ya que de acuerdo a Franciosi et al., (2018) citado en (Jasiulewicz-Kaczmarek & Gola, 2019) p. 95 “el rol de Mantenimiento 4.0 para la manufactura sostenible todavía está en su infancia y tiene una gran potencialidad que necesita ser investigado”.

### 5.5.1 Líneas de investigación sugeridas

**Primera**, realizar la investigación con las mismas empresas y contactos que respondieron al cuestionario para realizar una comparativa del posible cambio incremental (mejora) de los valores de los pesos de las variables observadas, basándose ahora en un marco de referencia de mayor tiempo después de haber implementado la Industria 4.0 en los procesos de mantenimiento dentro de sus organizaciones.

**Segunda**, debido a que las organizaciones de mayor tamaño en volumen de ventas e infraestructura están, de acuerdo con Machado et al., (2019) “un paso adelante en la implementación de la Industria 4.0 que las pequeñas y medianas empresas”, p. 1116. Se recomienda entonces explorar la otra cara de la moneda y ampliar la investigación a las empresas con número de empleados menor de 500 y validar si los resultados son replicables incluyendo estas empresas de menor tamaño, que generalmente tienen un sistema organizacional de mantenimiento más esbelto que aquellas empresas con un gran número de empleados, menor inversión de capital en tecnologías de punta, menor capacidad de mano de obra capacitada dentro de los departamentos de mantenimiento y que ofrezca una evidencia clara de los beneficios de la corroboración de la hipótesis de esta investigación.

**Tercera**, extender la investigación hacia la búsqueda del impacto a **la Productividad** de la empresa como una consecuencia del incremento de la disponibilidad de la maquinaria de producción, y de acuerdo con Fragapane et al., (2022) p. 127, a través de la conectividad, la automatización, el rápido intercambio de información y el análisis de la Industria 4.0, se puede alcanzar una nueva dimensión de flexibilidad y nuevos enfoques para la planificación y el control de sistemas de producción y más específicamente, Ivanov et al., (2021) p.20, la planificación y el control de la producción influenciados por la infraestructura técnica de la Industria 4.0, como IoT, fabricación aditiva, robots y cobots móviles y comunicación M2M (maquina a máquina). Por otra parte, confirma Lee et al., (2019) que “para habilitar el mantenimiento predictivo en la era de la Industria 4.0, las tecnologías digitales avanzadas deben aplicarse para **mejorar la productividad y la creación de valor**” p. 09.

**Cuarta**, agregar una variable que identifique la implicación del beneficio en **la Seguridad** (disminución de accidentes laborales) como consecuencia de la implementación de la industria 4.0, ya que según Badri et al., (2018) p. 405. Se encontraron solo 11 artículos revisados por pares que cumplen con los criterios de presencia de interés obvio para discutir la seguridad mediante la implementación de la industria 4.0.

**Quinta.** Por último incluir la variable de **Medioambiente** como parte sostenible y regulatoria de muchas de las actividades de mantenimiento y que pueden influir positiva y directamente tanto a la disponibilidad de maquinaria, seguridad y salud ocupacional del personal, y productividad de la operación, debido al incremento (Oztemel & Gursev, 2020) de autoconciencia y capacidades de mantenimiento y por consecuencia aportando una alta productividad con **productos amigables con el medio ambiente**. Por otro lado, está claro según Badri et al., (2018) que “si las tecnologías que impulsan la Industria 4.0 se desarrollan en silos y las iniciativas de la industria manufacturera están aisladas, los peligros se multiplicarán y el impacto neto en el área de medioambiente y seguridad será negativo” p. 403.

La evolución y mejora de las estrategias de mantenimiento ha sido también influida por las regulaciones ambientales aplicables en cada región y debido a esto, en los últimos años, el papel del mantenimiento como contribuyente a la operación sostenible según (Ferreira et al., 2009; Lee et al., 2014; Liyanage, 2007), citado por Franciosi et al., (2018) ha atraído más atención llevando a discutir en muchos trabajos publicados recientes, el tema del paradigma del “Mantenimiento Sostenible” p.905.

**Sexta. La Confiabilidad** de la maquinaria como variable dependiente multidimensional, es un factor altamente relacionado con la seguridad, medioambiente, calidad y productividad de los procesos de la industria manufacturera, y que parte de una base primordial y que es el análisis de ciclo de vida de los activos o maquinaria que se utilizan en los procesos de manufactura para producir los productos del negocio. Si este concepto y procedimiento no está bien implementado dentro de la organización, de una manera estandarizada, los costos de mantenimiento, fallas y sobre todo, la confiabilidad del desempeño de las maquinas podrá comenzar a tener problemas al cabo de algunos años de servicio. En este contexto, de acuerdo con Jasiulewicz-Kaczmarek et al., (2020) “la función de mantenimiento, necesaria para garantizar la disponibilidad, la confiabilidad y la seguridad de los activos industriales podrían convertirse en uno de los principales pilares de la manufactura sostenible” p. 80.

**Séptima.** Explorar el impacto en **la Calidad** del producto de manufactura, como una variable independiente observada, resultante del tipo de estrategias aplicadas en los mantenimientos de la maquinaria para que el desempeño de esta sea el esperado y el producto final cumpla con los estándares de calidad establecidos, ya que de acuerdo con Lee et al., (2019) con controles

digitalizados, el personal de mantenimiento puede impactar positivamente en la mejora de la calidad del producto a través del monitoreo continuo de los datos del proceso, p. 04.

Como punto final del trabajo de esta investigación, esperamos que este contenido resulte de utilidad tanto a las organizaciones de mantenimiento de la industria de manufactura de cualquier región y país, como también a los investigadores de temas afines que puedan tomar los hilos abiertos y contribuir a una mayor evidencia de estos hallazgos, y contribuya con esto una mayor inversión en las industrias de manufactura de Tijuana BC y de cualquier otra localidad tanto de nuestro país y también de manera internacional, hacia la implementación de la industria 4.0 aplicada a los procesos de mantenimiento industrial para contribuir de manera sustentable a las metas finales del negocio al que pertenece cada organización.

## 6 Referencias Revisadas

- “ *Gestión de la confiabilidad en los departamentos de mantenimiento en la industria automotriz más representativa de Tijuana , B . C .* ” (2021).
- Alavian, P., Eun, Y., Liu, K., Meerkov, S. M., & Zhang, L. (2019). The  $(\alpha, \beta)$ -precise estimates of MTBF and MTTR: Definitions, calculations, and induced effect on machine efficiency evaluation. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1004–1009.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.326>
- Angulo, S. (2015). Quality Control Questionnaire Data Obtained on Likert Scales. *Universidad de Málaga*.
- Arias, B., Badía, M., Crespo, M., Sánchez Meca, J., & Verdugo, M. A. (2008). Metodología en la investigación sobre discapacidad. Introducción al uso de las ecuaciones estructurales VI. In *Metodología en la investigación sobre discapacidad. Introducción al uso de las ecuaciones estructurales VI*.  
[http://riberdis.cedd.net/bitstream/handle/11181/3270/Metodologia\\_en\\_investigacion\\_sobre\\_discapacidad.pdf?sequence=2#page=76](http://riberdis.cedd.net/bitstream/handle/11181/3270/Metodologia_en_investigacion_sobre_discapacidad.pdf?sequence=2#page=76)
- Aswir, & Misbah, H. (2018). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Photosynthetica*, 2(1), 1–13.  
<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76887-8%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/978-3-319-93594-2%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00007-3%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-0877-3%0Aht>
- Avendaño, M., & Taiz, L. (2015). *producción ? Por : Lorena Taiz Mantilla Avendaño Asesora : Maria Alejandra Gonzalez-Perez Trabajo para optar por el título de Economista Medellín*. 1–33.
- AXIS. (2017). *Estudio de diagnóstico e identificación de oportunidades de desarrollo de la industria electrónica de Baja California Julio 2017*.
- Badri, A., Boudreau-Trudel, B., & Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? *Safety Science*, 109(May), 403–411.  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.06.012>
- Bagozzi, R. P., & Yi, Y. (1988). On the evaluation of structural equation models Cite this paper. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 74–94.
- Balzarini, M., Bruno, C., Córdoba, M., & Teich, I. (2015). *Herramientas en el Análisis Estadístico Multivariado*. June, 200.
- Berce, P. (2016). The fourth industrial revolution. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 14(1), 5. <https://doi.org/10.4337/9781786430328.00006>
- Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T., & Stahre, J. (2020). Smart Maintenance: an empirically grounded conceptualization. *International Journal of Production Economics*,

- 223(February 2019), 107534. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107534>
- Bordeleau, F.-È., Mosconi, E., & Santa-Eulalia, L. A. (2018). Business Intelligence in Industry 4.0: State of the art and research opportunities. *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, 9, 3944–3953. <https://doi.org/10.24251/hicss.2018.495>
- Bradbury, S., Carpizo, B., Gentzel, M., Horah, D., & Thibert, J. (2018). Digitally enabled reliability: Beyond predictive maintenance. *McKinsey & Company, October*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/digitally-enabled-reliability-beyond-predictive-maintenance>
- Cao, Q., Giustozzi, F., Zanni-Merk, C., de Bertrand de Beuvron, F., & Reich, C. (2019). Smart Condition Monitoring for Industry 4.0 Manufacturing Processes: An Ontology-Based Approach. *Cybernetics and Systems*, 50(2), 82–96. <https://doi.org/10.1080/01969722.2019.1565118>
- Cardoso, D., & Ferreira, L. (2021). Application of predictive maintenance concepts using artificial intelligence tools. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/app11010018>
- Carrillo, J., Gomis, R., De los Santos, S., Covarrubias, L., & Matus, M. (2020). ¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 8(22), 1–22. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.76089>
- Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A., & Bil, C. (2019). Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(4), 516–526. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2019.02.001>
- Chauhan, N. D., & Pancholi, N. H. (2013). Guidelines to Understanding to estimate MTBF. *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development*, 1(August 2013), 2321–0613. [www.ijrsrd.com](http://www.ijrsrd.com)
- Chen, Y. (2017). Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*, 3(5), 588–595. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.009>
- Comportamiento, C. (2010). Análisis Factorial Exploratorio : Bases Conceptuales y Metodológicas Artículo de Revisión. *Test*, 2(1889), 58–66.
- D. (2012). No Title עקרונות: הקיווי עגן. In *הנושע עלון* (Vol. 66).
- Daecher, A., Sniderman, B., Cotteleer, M., & Murphy, T. (2018). *The industry 4.0 paradox overcoming disconnects on the path to digital transformation*. 44.
- Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>
- Digital, M., Industria, D. E. L. A., El, E. N., La, D. D. E., & Electrónica, M. (2021). *CALIFORNIA , MÉXICO Y SUS EFECTOS EN EL*.

- Disruptive Technologies : New Opportunities — and Risks — for Manufacturers.* (n.d.).
- Doyle, M., & Kopacek, P. (2019). *Industry 5 . 0 : Is the Manufacturing Industry on the cusp of a new revolution ? April 2020.* <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31343-2>
- Durand, A. F., Ledo, L. V., Concepción, A. D., Beatriz, M., Vilalta, J. A., Julio, A., & Piñero, R. (2022). *Los modelos para medir la madurez en una organización en el proceso de mantenimiento Models to measure maturity in an organization in the maintenance process. XIII(2).*
- E-books, Z., & E-books, Z. (2018). *Essentials of Structural Equation Modeling Digital Commons @ University of Nebraska - Lincoln Essentials of Structural Equation Modeling* (Issue April).
- Escobedo Portillo, M. T., Hernández Gómez, J. A., Estebané Ortega, V., & Martínez Moreno, G. (2016). Modelos de Ecuaciones Estructurales: Características, Fases, Construcción, Aplicación y Resultados structural equation modeling: features, phases, construction, implementation and results. *Revista Ciencia y Trabajo, 18(55)*, 16–22. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-24492016000100004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-24492016000100004)
- Espinosa, F. F., & Salinas, G. E. (2010). Evaluación de la madurez de la función mantenimiento para implementar innovaciones en su gestión. *Informacion Tecnologica, 21(3)*, 3–12. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4313it.09>
- Estrada Alomía, E., Serpa Barrientos, A., Misare Condori, M., Barrios Sallo, Z., Pastor Samaniego, M., & Pomahuacre Carhuayal, J. (2017). Análisis exploratorio y confirmatorio de la escala de estilos de crianza familiar (ECF-29) en estudiantes del nivel secundario. *PsiqueMag, 6(1)*, 279–290. <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/psiquemag/article/view/167>
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning and Control, 29(8)*, 633–644. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1424960>
- Fernández Del Amo, I., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Wilding, S. (2018). Augmented Reality in Maintenance: An information-centred design framework. *Procedia Manufacturing, 19*, 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.021>
- Fragapane, G., Ivanov, D., Peron, M., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2022). Increasing flexibility and productivity in Industry 4.0 production networks with autonomous mobile robots and smart intralogistics. *Annals of Operations Research, 308(1–2)*, 125–143. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03526-7>
- Franciosi, C., Iung, B., Miranda, S., & Riemma, S. (2018). Maintenance for Sustainability in the Industry 4.0 context: a Scoping Literature Review. *IFAC-PapersOnLine, 51(11)*, 903–908. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.459>
- Gackowiec, P. (2019). General overview of maintenance strategies – concepts and approaches. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, 2(1)*, 126–139. <https://doi.org/10.2478/mape-2019-0013>
- Ghimire, B. D. E. V., & Ghimire, R. A. M. P. (2017). *Neural, Parallel, and Scientific Computations 25 (2017) 359-374 RELIABILITY AND AVAILABILITY OF MACHINES*

*WITH TWO TYPES OF FAILURES OPERATED UNDER PERIODIC SURVEILLANCE TEST.* 25, 359–374.

- Giacotto, A., Marques, H. C., Barreto, E. A. P., & Martinetti, A. (2021). The need for ecosystem 4.0 to support maintenance 4.0: An aviation assembly line case. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/app11083333>
- Hanif, M. I., & Iftikhar, L. (2020). Post COVID-19 Industrial Revolution 5.0. The dawn of Cobot, Chipbot and Curbot. *Pakistan Journal of Surgery and Medicine*, 1(2), 122–126. <https://doi.org/10.37978/pjism.v1i2.189>
- Hawwach, M. A. (2021). *Human Errors in Industrial Operations and Maintenance*. 1–53.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. In *Metodología de la investigación*. <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>
- Industria, L. A., Nuevo, U. N., Para, R., & Estado, E. L. (2020). *La industria 4.0 un nuevo reto para el estado de guanajuato, méxico*. 6(1), 151–162.  
*ISBN* : (n.d.).
- Ivanov, D., Tang, C., Dolgui, A., Battini, D., & Das, A. (2021). Researchers ' perspectives on Industry 4 . 0 : multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management To cite this version : HAL Id : hal-02923787 Researchers ' perspectives on Industry 4 . 0 : multi-disciplinary analysis and opportunitie. *International Journal of Production Research*.
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., & Gola, A. (2019). Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing - An Overview. *IFAC-PapersOnLine*, 52(10), 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.005>
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Legutko, S., & Kluk, P. (2020). Maintenance 4.0 technologies - new opportunities for sustainability driven maintenance. *Management and Production Engineering Review*, 11(2), 74–87. <https://doi.org/10.24425/mper.2020.133730>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408–425. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Noh, S. Do. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 3(1), 111–128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>
- Katukoori, V. K. (2007). *Standardizing Availability Definition*. 21.
- Kieffer, K. M. (1998). Orthogonal versus Oblique Factor Rotation: A review of the Literature regarding the Pros and Cons. *Annual Meeting of the Mid-South Educational Research Association*, 1, 1–32. <https://eric.ed.gov/?id=ED417056>

- Kuboń, M., Kaczmar, I., & Findura, P. (2019). Reliability of technical systems and the methodology for calculating MTBF using Flexsim computer simulation. *E3S Web of Conferences*, 132, 1–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913201012>
- Lee, S. M., Lee, D., & Kim, Y. S. (2019). 13. Lee, S. M., Lee, D., & Kim, Y. S. (2019). *The quality management ecosystem for predictive maintenance in the Industry 4.0 era. International Journal.pdf*. 5.
- Li, J., Chen, Y., & Zhang, Y. (2020). System Availability Modelling and Optimization considering Multigenerational Quality Characteristics. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6409838>
- Lundgren, C., Bokrantz, J., & Skoogh, A. (2020). Performance indicators for measuring the effects of Smart Maintenance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(6), 1291–1316. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-03-2019-0129>
- Luthra, S., & Kumar, S. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>
- Machado, C. G., Winroth, M., Carlsson, D., Almström, P., Centerholt, V., & Hallin, M. (2019). Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, 81, 1113–1118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.262>
- Manzano, A. P. (2017). Introducción a los modelos de ecuaciones estructurales. *Investigación En Educación Médica*, 7(25), 67–72.
- Martínez Martínez, A., Álvarez, M., Garnica, A., Carrillo, J., Hualde, A., Taboada, E., Sámano, M., Salinas, J., Gutiérrez, A., Isirdia Lachica, P., Rodríguez, R., & Valenzuela, A. (2020). *Industria 4.0 en México. Elementos diagnósticos y puesta en práctica en sectores y empresas* (Issue September). [https://www.researchgate.net/profile/Alejandro\\_Garnica/publication/344125475\\_Los\\_retos\\_de\\_las\\_Pymes\\_en\\_el\\_contexto\\_de\\_la\\_industria\\_40\\_una\\_revisión\\_teorica/links/5f53798b458515e96d2f0a57/Los-retos-de-las-Pymes-en-el-contexto-de-la-industria-40-una-revisión](https://www.researchgate.net/profile/Alejandro_Garnica/publication/344125475_Los_retos_de_las_Pymes_en_el_contexto_de_la_industria_40_una_revisión_teorica/links/5f53798b458515e96d2f0a57/Los-retos-de-las-Pymes-en-el-contexto-de-la-industria-40-una-revisión)
- Melnyk, L., Dehtyarova, I., Kubatko, O., & Kharcenko, M. (2019). Economic and Social Challenges of Disruptive Technologies in Conditions of Industries 4.0 and 5.0: the EU Experience. *Mechanism of Economic Regulation*, 4, 32–42.
- Michel, S., Dalpra, L., Wagner, T., & Llerena, P. (2020). *Status report Industry 4.0*. 1–65. [https://upperrhine40.eu/data/uploads/2020/01/I40Report\\_2.pdf](https://upperrhine40.eu/data/uploads/2020/01/I40Report_2.pdf)
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). *A Critical Review of Smart Manufacturing & Industry 4.0 Maturity Models : Implications for Small and Medium-sized Enterprises ( SMEs ) A Critical Review of Smart Manufacturing & Industry 4.0 Maturity Models : Implications for Small and Medium-sized En*. November. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- Morad, A. M., Pourgol-Mohammad, M., & Sattarvand, J. (2014). Application of reliability-centered maintenance for productivity improvement of open pit mining equipment: Case

- study of Sungun Copper Mine. *Journal of Central South University*, 21(6), 2372–2382. <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2190-2>
- Mpi, T., April, G., Leaders, M., Leveraging, A., & Productivity, I. (2020). *The Power of Industry 4.0 in Asset Management*. April, 0–5.
- Mulders, M., & Haarman, M. (2017). Predictive Maintenance 4.0, Predict the unpredictable. *PwC Publication*, June, 32.
- Murad, C. A., De Melani, A. H. A., De Michalski, M. A. C., Netto, A. C., & De Souza, G. F. M. (2020). Estimation of operational and maintenance tasks influence on equipment availability through petri net modeling. *Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2020-Janua*(February). <https://doi.org/10.1109/RAMS48030.2020.9153582>
- Ninla Elmawati Falabiba, Anggaran, W., Mayssara A. Abo Hassanin Supervised, A., Wiyono, B., Ninla Elmawati Falabiba, Zhang, Y. J., Li, Y., & Chen, X. (2014). 濟無No Title No Title No Title. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 5(2), 40–51.
- Nordal, H., & El-Thalji, I. (2021). Lifetime benefit analysis of intelligent maintenance: simulation modeling approach and industrial case study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/app11083487>
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127–182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- Palomino-Valles, A., Tokumori-Wong, M., Castro-Rangel, P., Raymundo-Ibañez, C., & Dominguez, F. (2020). TPM Maintenance Management Model Focused on Reliability that Enables the Increase of the Availability of Heavy Equipment in the Construction Sector. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 796(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/796/1/012008>
- Paschek, D., Mocan, A., & Draghici, A. (2019). Industry 5.0 – The Expected Impact of Next Industrial Revolution. *Management Knowledge Learning International Conference*, 125–132. <http://www.toknowpress.net/ISBN/978-961-6914-25-3/papers/ML19-017.pdf>
- Poo’r, P., Z`eni’s`ek, D., & Basl, J. (2019). Historical overview of maintenance management strategies: Development from breakdown maintenance to predictive maintenance in accordance with four industrial revolutions. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, July, 495–504.
- Puvasvaran, A., Teoh, Y., & Tay, C. (2012). INTERRELATIONSHIP BETWEEN AVAILABILITY WITH PLANNING FACTOR AND MEAN TIME BETWEEN FAILURES (MTBF) IN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) Puvasvaran, A.P., Teoh, Y. S., and Tay, C. C.,. *Faculty of Manufacturing Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka*, 6(2), 29–38.
- Reinhardt, I. C., Oliveira, D. J. C., & Ring, D. D. T. (2020). Current Perspectives on the Development of Industry 4.0 in the Pharmaceutical Sector. *Journal of Industrial Information Integration*, 18(January), 100131. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100131>

- Release, M. (2022). *World Economic Forum – EDB Manufacturing Transformation Insights Joint Report offers new insights on the Industry 4.0 maturity of the manufacturing sectors globally. FEBRUARY.*
- Rojko, A. (2017). *Industry 4.0 Concept : Background and Overview. 11(5), 77–90.*
- Romero, K. P. (2020). *Análisis factorial exploratorio mediante el uso de las. 5, 903–924.*  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4453224>
- Roy, R., Stark, R., Tracht, K., Takata, S., & Mori, M. (2016). Continuous maintenance and the future – Foundations and technological challenges. *CIRP Annals - Manufacturing Technology, 65(2), 667–688.* <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.006>
- Ruíz, M., Pardo, A., & San Martín, R. (2014). Modelos de ecuaciones estructurales. *Papeles Del Psicólogo, 31(1), 34–45.* <https://riunet.upv.es/handle/10251/44523>
- Saptaningtyas, W. W. E., & Rahayu, D. K. (2020). A proposed model for food manufacturing in smes: Facing industry 5.0. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, August, 1653–1661.*
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP, 52, 161–166.*  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Seneviratne, G. D. (2016). MPMM 2016: Maintenance Performance Measurement & Management. In *6th International Conference on Maintenance Performance Measurement and Management.* [www.ltu.se](http://www.ltu.se)
- Silvestri, L., Forcina, A., Introna, V., Santolamazza, A., & Cesarotti, V. (2020). Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review. *Computers in Industry, 123, 103335.* <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103335>
- Skobelev, & Borovik. (2017). On The Way From Industry 4.0 to Industry 5.0: From Digital Manufacturing to Digital Society. *International Scientific Journal "Industry 4.0," II(6), 307–311.*
- Summary, E. (2021). *Digitization Delivers for Manufacturers. 0–19.*
- The MPI Group. (2020). *Industry 4.0 Drives Agility and Productivity in Manufacturing. 12.*
- Tortorella, G., Saurin, T. A., Fogliatto, F. S., Tlapa, D., Moyano-Fuentes, J., Gaiardelli, P., Seyedghorban, Z., Vassolo, R., Mac Cawley, A. F., Vijaya Sunder, M., Sreedharan, V. R., Sena, S. A., & Forstner, F. F. (2022). The impact of Industry 4.0 on the relationship between TPM and maintenance performance. *Journal of Manufacturing Technology Management, 33(3), 489–520.* <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2021-0399>
- Tvenge, N., Martinsen, K., Tvenge, N., Martinsen, K., & Afonso, P. (2018). ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect of digital learning in industry Costing models for capacity optimization in Industry Norway Trade-off Integration of digital learning in industry 4.0 Santana a Wernke. *Procedia Manufacturing, 23(2017), 261–266.*  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.027>

- Vega, Y., Romero López, R., Rosel Solís, M. J., Chávez Moreno, E. A., & Morales Contreras, O. A. (2022). Indicadores críticos en el desempeño de actividades de cambios rápidos en la industria maquiladora de Baja California. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 5(1), 165–175. <https://doi.org/10.37636/recit.v5i1165175>
- Velmurugan, R. S., & Dhingra, T. (2015). Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework. *International Journal of Operations and Production Management*, 35(12), 1622–1661. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2014-0028>
- World Economic Forum. (2019). WEF Supply Chain 4.0 2019 Report. *White Paper, January*. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Supply\\_Chain\\_4.0\\_2019\\_Report.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Supply_Chain_4.0_2019_Report.pdf)
- World Economic Forum. (2022). *The Global Smart Industry Readiness Index Initiative: Manufacturing Transformation Insights Report 2022. February*, 1–38. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Smart\\_Industry\\_Readiness\\_Index\\_Initiative\\_2022.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Smart_Industry_Readiness_Index_Initiative_2022.pdf)
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Yan, J., Meng, Y., Lu, L., & Li, L. (2017). Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment: Challenges, Schemes, and Applications for Predictive Maintenance. *IEEE Access*, 5, 23484–23491. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2765544>
- Ynzunza Cortés, Carmen Berenice; Izar Landeta, Juan Manuel; Bocarando Chacón, Jacqueline Guadalupe; Aguilar Pereyra, Felipe; Larios Osorio, M. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Conciencia Tecnológica*, 54. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>

Anexo 1. Análisis de Fiabilidad Alfa de Cronbach. Resultados obtenidos mediante el programa SPSS 23

La tabla siguiente nos muestra los resultados para el análisis de Alfa de Cronbach y los posibles valores mejorados al considerar eliminar alguno de los elementos o variables independientes del análisis. Lo cual no se ha optado por hacer debido a que el valor obtenido en los datos estandarizados cumple y excede con el valor mínimo requerido.

<b>Estadísticas Totales de elementos</b>					
	Media de la escala si se elimina el item	Variación de escala si se elimina el item	Item Corregido - Correlación Total	Correlación Múltiple al Cuadrado	Alfa de Cronbach si se elimina el item
Gasto en Implementación	32.10	156.245	.655	.555	.892
MTTR. ANTES de implementar	32.38	159.261	.611	.723	.895
MTTR. DESPUES de al menos 6 Meses desde la implementación	32.25	140.936	.837	.843	.882
MTBF. ANTES de implementar	33.10	169.187	.509	.499	.899
MTBF. DESPUES de al menos 6 meses desde la implementación	33.19	157.374	.668	.643	.892
Estrategias de mantenimiento	32.65	177.250	.356	.278	.904
Herramientas de la industria 4.0 utilizadas	33.54	168.175	.716	.716	.893
El nivel de conocimiento	32.38	172.359	.554	.563	.898
El nivel estructural de mantenimiento	31.37	169.923	.532	.464	.898
implementó o implementará el concepto de industria 4.0	33.17	157.911	.649	.552	.893
DISPONIBILIDAD - ANTES de implementar	32.65	160.348	.594	.568	.895
DISPONIBILIDAD - DESPUES (A 6 meses desde la implementación)	32.77	144.063	.836	.810	.881

<b>Estadísticas de Fiabilidad</b>		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach Basado en los items estandarizados	Num de items (variables)
.900	.899	12

Anexo 2. Análisis Factorial Exploratorio. Resultados obtenidos mediante el programa estadístico SPSS 23. Todos los factores.

Prueba de KMO y BARTLETT

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación muestral.		.807
Prueba de Esfericidad de Bartlett	Approx. Chi-Cuadrada	354.673
	df	66
	Sig.	.000

Comunalidades de los componentes.

Comunalidades		Inicial	Extraccion
Metodo de Extraccion: Analisis de Componentes Principales			
El porcentaje medio de presupuesto Anual "P" (Gasto y Capital)		1.000	.529
MTTR. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		1.000	.661
MTTR. DESPUES de al menos 6 Meses desde la implementación		1.000	.768
MTBF. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		1.000	.536
MTBF. DESPUES de al menos 6 meses desde la implementación,		1.000	.535
Estrategias de mantenimiento utiliza actualmente		1.000	.479
Tecnologías Herramientas de la industria 4.0 que utiliza/mantto		1.000	.742
El nivel de conocimiento del personal de mantenimiento de su organización		1.000	.652
El nivel estructural del departamento de mantenimiento de su organización		1.000	.366
Su organización implementó o implementará la industria 4.0 para la gestión del Mantenimiento		1.000	.586
DISPONIBILIDAD - ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		1.000	.468
DISPONIBILIDAD - DESPUES (A 6 meses desde la implementación) de una o mas de las tecnologías Digitales		1.000	.771

Varianza Total Explicada de los componentes

Componente	Varianza Total Explicada								
	Valores propios iniciales			Sumas de extracción de cargas			Sumas de rotación de cargas		
	Total	% de Varianza	% Acumulativo	Total	% de la Varianza	% Acumulativo	Total	% de la Varianza	% Acumulativo
1	5.840	48.665	48.665	5.840	48.665	48.665	4.205	35.044	35.044
2	1.252	10.437	59.103	1.252	10.437	59.103	2.887	24.059	59.103
3	1.012	8.435	67.537						
4	.861	7.172	74.709						
5	.810	6.751	81.460						
6	.598	4.981	86.441						
7	.449	3.743	90.184						
8	.379	3.162	93.346						
9	.317	2.639	95.985						
10	.246	2.051	98.036						
11	.143	1.194	99.230						
12	.092	.770	100.000						

Metodo de Extraccion: Analisis de Componentes Principales.

Continuación Anexo 2.

Matriz de Componentes Rotados

	<b>Matrix<sup>a</sup> de Componentes Rotados</b>	
	Componente	
	1	2
Tecnologías Herramientas de la industria 4.0 que utiliza/mantto	.842	
El nivel de conocimiento del personal de mantenimiento de su organización	.807	
DISPONIBILIDAD - DESPUES (A 6 meses desde la implementación) de una o mas de las tecnologías Digitales	.735	
Su organización implementó o implementará la industria 4.0 para la gestión del Mantenimiento	.727	
MTTR. DESPUES de al menos 6 Meses desde la implementación	.715	.507
El porcentaje medio de presupuesto Anual "P" (Gasto y Capital)	.675	
El nivel estructural del departamento de mantenimiento de su organización	.529	
MTTR. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.767
MTBF. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.712
Estrategias de mantenimiento utiliza actualmente		.691
MTBF. DESPUES de al menos 6 meses desde la implementación,		.540
DISPONIBILIDAD - ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.533

Metodo de Extraccion: Analisis de Componentes Principales.  
a. La rotacion convergio en 3 iteraciones

Matriz de transformación de componentes

<b>Matriz de Transformacion de Componentes</b>		
Componente	1	2
1	.802	.597
2	-.597	.802

Metodo de Extraccion: Analisis de Componentes Principales.

Metodo de Rotacion: Varimax con Normalizacion Kaiser.

### Anexo 3. Análisis Factorial Exploratorio del modelo inicial propuesto

#### Matriz de componentes rotados del grupo de GESTION

##### Matriz<sup>a</sup> de Componentes Rotada

Resultados del análisis factorial exploratorio para el grupo de Gestión

Variable	Descripción	F1	F2	% Varianza Explicada	% acumulado de varianza
		Gestión	Conocimiento		
		Peso			
V1	El porcentaje medio de presupuesto Anual "P" (Gasto y Capital)	.703			
V7	Tecnologías Herramientas de la industria 4.0 que utiliza/mantto	.826		34.316	34.316
V8	El nivel de conocimiento del personal de mantenimiento de su organización	.881			
V2	MTTR. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.717		
V4	MTBF. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales		.738	30.703	65.020
V6	Estrategias de mantenimiento utiliza actualmente		.782		

#### Matriz de componentes rotados del grupo de MADUREZ

Resultados del análisis factorial exploratorio para el grupo de Madurez

Variable	Descripción	F3	% Varianza Explicada	% acumulado de varianza
		Madurez		
		Peso		
V3	MTTR. Despues de al menos 6 Meses desde la implementación	No se pudo rotar debido a que solo un componente fue extraido	63.547	63.547
V5	MTBF. Despues de al menos 6 meses desde la implementación,			
V12	Disponibilidad - Despues (A 6 meses desde la implementación) de una o mas de las tecnologías Digitales			
V10	Su organización implementó o implementará la industria 4.0 para la gestión del Mantenimiento			
V9	El nivel estructural del departamento de mantenimiento de su organización			

Anexo 4. Análisis Factorial Confirmatorio Modelo Estructural para el modelo considerando los dos factores de GESTION y MADUREZ juntos. Resultados obtenidos mediante el software SPSS AMOS 26.

- Tamaño de la Muestra: 53.
- El modelo es Recursivo

Resumen de Variables del Modelo (Gestión y Madurez)

Su modelo contiene las siguientes variables

Variables Endógenas Observadas	Variables Endógenas No Observadas	Variables Exógenas No Observadas
HERRM	GESTION	e1
DISPD	MADUREZ	e2
MTTRD		e3
IMPLE		e4
GASTO		e5
STRUC		e6
CONOC		e7
MTBFA		e8
MTTRA		e9
STRAT		e10
MTBFD		e11
DISPA		e12
		e13
		e14

Conteo de Variables de ambos modelos

#### Conteo de Variables

Número de Variables de su modelo:	28
Número de variables observadas:	12
Número de variables no observadas:	16
Número de variables exógenas:	14
Número de variables endógenas:	14

Continuación Anexo 4.

Resumen de parámetros

Resumen de Parametros

	Weights	Covariances	Variances	Means	Intercepts	Total
Fijos	16	0	0	14	2	32
Etiquetados	0	0	0	0	0	0
Sin Etiquetar	10	6	14	0	12	42
Total	26	6	14	14	14	74

Grados de Libertad

Calculo de grados de libertad

Número de momentos de muestra distintos:	90
Número de parámetros distintos a estimar:	42
Grados de libertad (90 - 42):	48

Resultado

El minimo fue alcanzado

Chi-cuadrado = 62.313

Grados de Libertad = 48

Nivel de Probabilidad = .080

Estimaciones de Máxima Verosimilitud

Pesos de Regresión

**Pesos de regresión:**

			Estimacion	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
HERRM	<---	GESTION	1				
DISPD	<---	GESTION	2.183	0.28	7.792	***	par_1
MTRRD	<---	GESTION	2.277	0.299	7.619	***	par_2
IMPLE	<---	GESTION	1.394	0.263	5.302	***	par_3
GASTO	<---	GESTION	1.422	0.271	5.242	***	par_4
STRUC	<---	GESTION	0.649	0.186	3.49	***	par_5
CONOC	<---	GESTION	0.689	0.17	4.043	***	par_6
MTBFA	<---	MADUREZ	1				
MTRRA	<---	MADUREZ	1.243	0.362	3.432	***	par_7
STRAT	<---	MADUREZ	0.621	0.264	2.35	0.019	par_8
MTBFD	<---	MADUREZ	1.725	0.472	3.654	***	par_9
DISPA	<---	MADUREZ	1.369	0.435	3.146	0.002	par_10

### Pesos de Regresion Estandarizados

			Estimación
HERRM	<---	GESTION	0.792
DISPD	<---	GESTION	0.912
MTTRD	<---	GESTION	0.903
IMPLE	<---	GESTION	0.682
GASTO	<---	GESTION	0.675
STRUC	<---	GESTION	0.477
CONOC	<---	GESTION	0.542
MTBFA	<---	MADUREZ	0.537
MTTRA	<---	MADUREZ	0.522
STRAT	<---	MADUREZ	0.39
MTBFD	<---	MADUREZ	0.754
DISPA	<---	MADUREZ	0.581

### Interceptos

	Estimado	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
HERRM	2.075	0.152	13.652	***	par_17
DISPD	2.887	0.288	10.008	***	par_18
MTTRD	3.415	0.304	11.236	***	par_19
IMPLE	2.472	0.246	10.035	***	par_20
GASTO	3.528	0.254	13.914	***	par_21
STRUC	4.415	0.164	26.918	***	par_22
CONOC	3.208	0.153	20.932	***	par_23
MTBFA	2.472	0.195	12.651	***	par_24
MTTRA	3.245	0.249	13.008	***	par_25
STRAT	2.981	0.167	17.837	***	par_26
MTBFD	2.396	0.24	9.986	***	par_27
DISPA	3	0.247	12.151	***	par_28

## Covarianzas, Correlaciones y Varianzas

### Covarianzas

			Estimado	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
e13	<-->	e14	0.607	0.203	2.998	0.003	par_11
e3	<-->	e9	0.762	0.213	3.581	***	par_12
e9	<-->	e12	1.166	0.317	3.672	***	par_13
e6	<-->	e7	0.333	0.143	2.334	0.02	par_14
e8	<-->	e9	0.503	0.195	2.578	0.01	par_15
e6	<-->	e9	0.341	0.147	2.324	0.02	par_16

### Correlaciones

			Estimado
e13	<-->	e14	0.924
e3	<-->	e9	0.526
e9	<-->	e12	0.524
e6	<-->	e7	0.345
e8	<-->	e9	0.276
e6	<-->	e9	0.214

### Varianzas

	Estimado	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
e13	0.755	0.223	3.392	***	par_29
e14	0.572	0.295	1.941	0.052	par_30
e1	0.447	0.097	4.625	***	par_31
e2	0.731	0.204	3.588	***	par_32
e3	0.89	0.254	3.5	***	par_33
e4	1.689	0.348	4.859	***	par_34
e5	1.818	0.374	4.868	***	par_35
e6	1.081	0.215	5.037	***	par_36
e7	0.863	0.173	4.978	***	par_37
e8	1.413	0.298	4.74	***	par_38
e9	2.354	0.425	5.54	***	par_39
e10	1.232	0.249	4.952	***	par_40
e11	1.293	0.354	3.648	***	par_41
e12	2.098	0.453	4.635	***	par_42

### Correlaciones Múltiples al Cuadrado

	Estimación
MADUREZ	0
GESTION	0
DISPA	0.338
MTBFD	0.568
STRAT	0.152
MTTRA	0.273
MTBFA	0.288
CONOC	0.293
STRUC	0.227
GASTO	0.456
IMPLE	0.465
MTTRD	0.815
DISPD	0.831
HERRM	0.628

### Modificación de Índices

#### Covarianzas

		M.I.	Par Change
e8	<--> e11	4.044	0.392
e1	<--> e7	4.349	0.175

### Historial de minimización

Iteración		Valores Propios Negativo	Condición #	Valor propio mas pequeño	Diametro	F	NTries	Tasa
0	e	8		-0.859	9999	381.181	0	9999
1	e	5		-0.475	2.921	180.58	20	0.302
2	e*	2		-0.81	0.36	147.211	6	0.711
3	e*	1		-0.045	0.702	96.954	7	0.752
4	e	0	1860.089		0.624	71.943	5	0.854
5	e	0	270.16		0.91	66.251	3	0
6	e	0	492.152		0.381	62.657	1	1.075
7	e	0	687.624		0.22	62.361	1	1.002
8	e	0	976.171		0.059	62.313	1	1.035
9	e	0	1040.738		0.014	62.313	1	1.01
10	e	0	1044.917		0	62.313	1	1





Resumen de Ajuste del Modelo (Model Fit Summary)

CMIN

Modelo	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Modelo por defecto	42	62.313	48	0.08	1.298
Modelo saturado	90	0	0		
Modelo de independencia	24	391.018	66	0	5.925

Comparaciones de referencia

Modelo	NFI	RFI	IFI	TLI	CFI
	Delta1	rho1	Delta2	rho2	
Modelo por defecto	0.841	0.781	0.958	0.939	0.956
Modelo saturado	1		1		1
Independence model	0	0	0	0	0

Medidas ajustadas por parsimonia

Modelo	PRATIO	PNFI	PCFI
Modelo por defecto	0.727	0.611	0.695
Modelo saturado	0	0	0
Independence model	1	0	0

NCP

Modelo	NCP	LO 90	HI 90
Modelo por defecto	14.313	0	38.813
Modelo saturado	0	0	0
Independence model	325.018	266.481	391.062

FMIN

Modelo	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Modelo por defecto	1.198	0.275	0	0.746
Modelo saturado	0	0	0	0
Independence model	7.52	6.25	5.125	7.52

RMSEA

Modelo	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Modelo por defecto	0.076	0	0.125	0.222
Independence model	0.308	0.279	0.338	0

Continuación del Resumen de Ajuste del modelo.

AIC

Modelo	AIC	BCC	BIC	CAIC
Modelo por defecto	146.313	174.313		
Modelo saturado	180	240		
Independence model	439.018	455.018		

ECVI

Modelo	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Modelo por defecto	2.814	2.538	3.285	3.352
Modelo saturado	3.462	3.462	3.462	4.615
Independence model	8.443	7.317	9.713	8.75

HOELTER

Model	HOELTER 0.05	HOELTER 0.01
Modelo por defecto	55	62
Independence model	12	13

Anexo 5. Correlaciones de Pearson para los factores de Gestión y Madurez

Correlación de Pearson Factor de Gestión

		<b>Correlaciones Factor de GESTION</b>						
		CONOC	STRUC	GASTO	IMPLE	MTTRD	DISPD	HERRM
CONOC	Pearson Correlation	1						
	Sig. (2-tailed)							
	N	53						
STRUC	Pearson Correlation	.523**	1					
	Sig. (2-tailed)	.000						
	N	53	53					
GASTO	Pearson Correlation	.469**	.325*	1				
	Sig. (2-tailed)	.000	.018					
	N	53	53	53				
IMPLE	Pearson Correlation	.431**	.372**	.551**	1			
	Sig. (2-tailed)	.001	.006	.000				
	N	53	53	53	53			
MTTRD	Pearson Correlation	.463**	.383**	.585**	.633**	1		
	Sig. (2-tailed)	.000	.005	.000	.000			
	N	53	53	53	53	53		
DISPD	Pearson Correlation	.445**	.408**	.586**	.597**	.854**	1	
	Sig. (2-tailed)	.001	.002	.000	.000	.000		
	N	53	53	53	53	53	53	
HERRM	Pearson Correlation	.594**	.439**	.535**	.621**	.646**	.715**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.001	.000	.000	.000	.000	
	N	53	53	53	53	53	53	53

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Correlación de Pearson Factor de Madurez

**Correlaciones Factor de MADUREZ**

		DISPA	MTBFD	STRAT	MTTRA	MTBFA
DISPA	Pearson Correlation	1				
	Sig. (2-tailed)					
	N	53				
MTBFD	Pearson Correlation	.288*	1			
	Sig. (2-tailed)	.037				
	N	53	53			
STRAT	Pearson Correlation	.281*	.302*	1		
	Sig. (2-tailed)	.041	.028			
	N	53	53	53		
MTTRA	Pearson Correlation	.665**	.400**	.347*	1	
	Sig. (2-tailed)	.000	.003	.011		
	N	53	53	53	53	
MTBFA	Pearson Correlation	.271*	.542**	.350*	.461**	1
	Sig. (2-tailed)	.050	.000	.010	.001	
	N	53	53	53	53	53

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

## Anexo 6. Prueba de Normalidad

### Normalidad de Kolmogorov-Smirnov

Variables Independientes	Prueba de Normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Gasto en Implementacion	.164	52	.001	.915	52	.001
MTTR. ANTES de implementar	.181	52	.000	.881	52	.000
MTTR. DESPUES de al menos 6 Meses desde la implementación	.297	52	.000	.758	52	.000
MTBF. ANTES de implementar	.209	52	.000	.841	52	.000
MTBF. DESPUES de al menos 6 meses desde la implementación	.287	52	.000	.766	52	.000
Estrategias de mantenimiento	.250	52	.000	.882	52	.000
Herramientas de la industria 4.0 utilizadas	.272	52	.000	.821	52	.000
El nivel de conocimiento	.248	52	.000	.901	52	.000
El nivel estructural de mantenimiento	.239	52	.000	.858	52	.000
implementó o implementará el concepto de industria 4.0	.308	52	.000	.746	52	.000
DISPONIBILIDAD - ANTES de implementar	.249	52	.000	.849	52	.000
DISPONIBILIDAD - DESPUES (A 6 meses desde la implementación)	.330	52	.000	.757	52	.000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Todas las variables arrojan un  $p < 0.05$ , por lo que se dice que no tienen Normalidad

Nota del autor: Dado que el tamaño obtenido de la muestra es pequeño, pero estadísticamente valido de acuerdo al universo de la población, se esperaba que no presentara normalidad por lo que se decide tomar la muestra como aceptada para la investigación, y obteniendo valores aceptables en el resto de los análisis estadísticos realizados.

Anexo 7. Análisis Factorial Confirmatorio para el factor de GESTION, realizando la 2ª corrida de análisis, de acuerdo con las sugerencias indicadas por el resultado obtenido mediante el software AMOS 26.

### Resumen de Variables

Su modelo contiene las siguientes variables

Variables Endogenas observadas

CONOC  
STRUC  
GASTO  
IMPLE  
MTTRD  
DISPD  
HERRM

Variables Exogenas no observadas

GESTION  
e1  
e2  
e3  
e4  
e5  
e6  
e7

### Recuento de variables

Numero de variables en su modelo:	15
Numero de variables observadas:	7
Numero de variables no observadas:	8
Numero de variables exogenas:	8
Numero de variables endogenas:	7

### Resumen de Parametros

	Pesos	Covarianzas	Varianzas	Medias	Intercepto	Total
Fijos	8	0	0	8	0	16
Etiquetados	0	0	0	0	0	0
Sin etiquetar	6	2	8	0	7	23
Total	14	2	8	8	7	39

### Calculo de grados de libertad del modelo

Número de momentos muestrales distintos:	35
Número de parámetros distintos a estimar:	23
Grados de libertad (35 - 23):	12

## Resultado

Se logró el mínimo

Chi-cuadrado = 12.491

Grados de libertad = 12

Nivel de probabilidad = .407

## Estimaciones de máxima verosimilitud

### Pesos de regresión:

			Estimacion	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
CONOC	<---	GESTION	1				
STRUC	<---	GESTION	0.941	0.279	3.373	***	par_1
GASTO	<---	GESTION	2.082	0.586	3.555	***	par_2
IMPLE	<---	GESTION	2.14	0.585	3.661	***	par_3
MTTRD	<---	GESTION	3.422	0.833	4.109	***	par_4
DISPD	<---	GESTION	3.313	0.806	4.11	***	par_5
HERRM	<---	GESTION	1.452	0.328	4.432	***	par_6

### Pesos de regresión estandarizados:

			Estimacion
CONOC	<---	GESTION	0.53
STRUC	<---	GESTION	0.459
GASTO	<---	GESTION	0.66
IMPLE	<---	GESTION	0.698
MTTRD	<---	GESTION	0.905
DISPD	<---	GESTION	0.923
HERRM	<---	GESTION	0.768

### Interceptos:

			Estimacion	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
CONOC			3.208	0.152	21.164	***	par_9
STRUC			4.415	0.165	26.787	***	par_10
GASTO			3.528	0.254	13.914	***	par_11
IMPLE			2.472	0.246	10.035	***	par_12
MTTRD			3.415	0.304	11.23	***	par_13
DISPD			2.887	0.288	10.008	***	par_14
HERRM			2.075	0.152	13.652	***	par_15

### Covarianzas:

			Estimacion	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
e1	<-->	e2	0.326	0.14	2.33	0.02	par_7
e1	<-->	e7	0.199	0.098	2.042	0.041	par_8

**Correlaciones:**

		Estimación	
e1	<-->	e2	0.333
e1	<-->	e7	0.306

**Varianzas:**

	Estimación	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
GESTION	0.336	0.169	1.984	0.047	par_16
e1	0.858	0.167	5.134	***	par_17
e2	1.115	0.223	4.993	***	par_18
e3	1.888	0.395	4.778	***	par_19
e4	1.616	0.347	4.656	***	par_20
e5	0.875	0.262	3.336	***	par_21
e6	0.638	0.225	2.833	0.005	par_22
e7	0.493	0.11	4.477	***	par_23

**Correlaciones Múltiples al Cuadrado:**

	Estimación
HERRM	0.59
DISPD	0.852
MTTRD	0.818
IMPLE	0.488
GASTO	0.435
STRUC	0.211
CONOC	0.281

Modificación de índices:

**Historial de minimización**

valores propios (Eigen) Negativo			valores propios (Eigen) mas pequeño					
0	e	3		-1.151	9999	206.05	0	9999
1	e	3		-0.154	1.309	113.96	19	0.481
2	e	0	197.995		1.244	36.665	5	0.87
3	e	0	110.005		0.658	26.398	2	0
4	e	0	149.386		0.484	16.305	1	1.239
5	e	0	276.544		0.419	13.355	1	1.216
6	e	0	500.973		0.318	12.629	1	1.204
7	e	0	687.516		0.195	12.5	1	1.144
8	e	0	812.324		0.063	12.491	1	1.058
9	e	0	813.105		0.006	12.491	1	1.006
10	e	0	811.935		0	12.491	1	1

Comparaciones de parámetros por pares

**Matriz de estimaciones de varianza-covarianza**

	par_1	par_2	par_3	par_4	par_5	par_6	par_7	par_8	par_9	par_10	par_11	par_12	par_13	par_14	par_15	par_16	par_17	par_18	par_19	par_20	par_21	par_22	par_23	
par_1	0.078																							
par_2	0.061	0.343																						
par_3	0.064	0.235	0.342																					
par_4	0.102	0.377	0.39	0.694																				
par_5	0.101	0.367	0.377	0.62	0.65																			
par_6	0.032	0.134	0.139	0.223	0.219	0.107																		
par_7	0	0.002	0.002	0.004	0.005	0.002	0.02																	
par_8	0.002	0.004	0.004	0.009	0.009	0.002	-0.001	0.01																
par_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.023															
par_10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.012	0.027														
par_11	0	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.013	0.064													
par_12	0	0	0	0	0	0	0	0	0.014	0.013	0.029	0.061												
par_13	0	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0.021	0.046	0.047	0.092											
par_14	0	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.02	0.045	0.046	0.073	0.083										
par_15	0	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.009	0.02	0.02	0.032	0.031	0.023									
par_16	-0.02	-0.074	-0.076	-0.124	-0.121	-0.044	-0.001	-0.002	0	0	0	0	0	0	0	0.029								
par_17	0.002	0.004	0.005	0.009	0.01	0.003	0.009	0.006	0	0	0	0	0	0	0	-0.002	0.028							
par_18	-0.002	0.002	0.002	0.005	0.005	0.001	0.015	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.001	0.004	0.05						
par_19	0.002	-0.008	0.002	0.012	0.013	0.003	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	-0.002	0.002	0.001	0.156					
par_20	0.001	0.001	-0.009	0.01	0.015	0.002	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	-0.002	0.001	0.001	0.006	0.12				
par_21	0.001	-0.001	-0.002	-0.023	-0.003	0.003	0	-0.002	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	-0.002	-0.004	-0.002	0.069			
par_22	-0.002	-0.004	-0.001	-0.014	-0.032	-0.006	-0.001	-0.002	0	0	0	0	0	0	0	0.003	-0.003	-0.002	-0.009	-0.014	-0.006	0.051		
par_23	0	0.002	0.002	0.007	0.006	-0.001	0	0.005	0	0	0	0	0	0	0	-0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	-0.005	-0.001	0.012	

Correlaciones de Estimaciones

Correlaciones de estimaciones																								
	par_1	par_2	par_3	par_4	par_5	par_6	par_7	par_8	par_9	par_10	par_11	par_12	par_13	par_14	par_15	par_16	par_17	par_18	par_19	par_20	par_21	par_22	par_23	
par_1	1																							
par_2	0.376	1																						
par_3	0.392	0.687	1																					
par_4	0.44	0.774	0.8	1																				
par_5	0.447	0.777	0.8	0.923	1																			
par_6	0.355	0.697	0.724	0.816	0.83	1																		
par_7	-0.002	0.025	0.026	0.037	0.04	0.034	1																	
par_8	0.064	0.067	0.07	0.107	0.111	0.064	-0.08	1																
par_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1															
par_10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.494	1														
par_11	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.303	1													
par_12	0	0	0	0	0	0	0	0	0.37	0.321	0.461	1												
par_13	0	0	0	0	0	0	0	0	0.48	0.415	0.597	0.632	1											
par_14	0	0	0	0	0	0	0	0	0.49	0.424	0.609	0.645	0.835	1										
par_15	0	0	0	0	0	0	0	0	0.574	0.352	0.507	0.536	0.694	0.709	1									
par_16	-0.428	-0.747	-0.771	-0.882	-0.89	-0.792	-0.034	-0.094	0	0	0	0	0	0	0	1								
par_17	0.038	0.043	0.047	0.064	0.072	0.056	0.398	0.39	0	0	0	0	0	0	0	-0.061	1							
par_18	-0.033	0.017	0.015	0.028	0.027	0.017	0.472	0.013	0	0	0	0	0	0	0	-0.023	0.12	1						
par_19	0.016	-0.033	0.009	0.035	0.042	0.025	0.012	0.037	0	0	0	0	0	0	0	-0.029	0.024	0.007	1					
par_20	0.007	0.005	-0.042	0.033	0.052	0.014	0.013	0.042	0	0	0	0	0	0	0	-0.028	0.021	0.013	0.041	1				
par_21	0.02	-0.004	-0.012	-0.104	-0.014	0.031	-0.011	-0.064	0	0	0	0	0	0	0	0.025	-0.01	-0.033	-0.039	-0.026	1			
par_22	-0.034	-0.028	-0.005	-0.075	-0.175	-0.075	-0.041	-0.104	0	0	0	0	0	0	0	0.085	-0.068	-0.031	-0.1	-0.18	-0.099	1		
par_23	0.016	0.037	0.028	0.078	0.062	-0.02	0.012	0.471	0	0	0	0	0	0	0	-0.053	0.118	0.023	0.021	0.05	-0.171	-0.059	1	

Resumen de Ajuste del Modelo (Model Fit summary)

**CMIN**

Modelo	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Modelo por defecto	23	12.491	12	0.407	1.041
Modelo saturado	35	0	0		
Modelo de independencia	14	214.158	21	0	10.198

**Comparaciones de referencia**

Modelo	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Modelo por defecto	0.942	0.898	0.998	0.996	0.997
Modelo saturado	1		1		1
Modelo de independencia	0	0	0	0	0

**Medidas ajustadas por parsimonia**

Modelo	PRATIO	PNFI	PCFI
Modelo por defecto	0.571	0.538	0.57
Modelo saturado	0	0	0
Modelo de independencia	1	0	0

**NCP**

Modelo	NCP	LO 90	HI 90
Modelo por defecto	0.491	0	13.223
Modelo saturado	0	0	0
Modelo de independencia	193.158	149.884	243.894

**FMIN**

Modelo	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Modelo por defecto	0.24	0.009	0	0.254
Modelo saturado	0	0	0	0
Modelo de independencia	4.118	3.715	2.882	4.69

Continuación Anexo 7.

**RMSEA**

Modelo	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Modelo por defecto	0.028	0	0.146	0.526
Modelo de independencia	0.421	0.37	0.473	0

**AIC**

Modelo	AIC	BCC	BIC	CAIC
Modelo por defecto	58.491	66.855		
Modelo saturado	70	82.727		
Modelo de independencia	242.158	247.248		

**ECVI**

Modelo	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Modelo por defecto	1.125	1.115	1.37	1.286
Modelo saturado	1.346	1.346	1.346	1.591
Modelo de independencia	4.657	3.825	5.633	4.755

**HOELTER**

Modelo	HOELTER	HOELTER
	0.05	0.01
Modelo por defecto	88	110
Modelo de independencia	8	10

Anexo 8. Análisis Factorial Confirmatorio para el factor de MADUREZ, realizando la 2ª corrida de análisis, de acuerdo a las sugerencias indicadas por el resultado obtenido mediante el software AMOS 26.

Notas

El modelo es recursivo

Tamaño de la muestra = 53

### Resumen de Variables

Su modelo contiene las siguientes variables

Variables Endogenas observadas

DISPA

MTBFD

STRAT

MTTRA

MTBFA

Variables Exogenas no observadas

MADUREZ

e1

e2

e3

e4

e5

### Recuento de variables

Numero de variables en su modelo:	11
Numero de variables observadas:	5
Numero de variables no observadas:	6
Numero de variables exogenas:	6
Numero de variables endogenas:	5

### Resumen de parámetros

	Pesos	Covarianzas	Varianzas	Medias	Interceptos	Total
Fijos	6	0	0	6	0	12
Etiquetados	0	0	0	0	0	0
Sin etiquetar	4	1	6	0	5	16
Total	10	1	6	6	5	28

### Calculo de grados de libertad del modelo

---

Número de momentos muestrales distintos:	20
Número de parámetros distintos a estimar:	16
Grados de libertad (20 - 16):	4

---

### Resultado

Se logró el mínimo

Chi-cuadrado = 3.539

Grados de libertad = 4

Nivel de probabilidad = .472

---

### Estimaciones de máxima verosimilitud

#### Pesos de regresión:

---

			Estimación	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
DISPA	<---	MADUREZ	1				
MTBFD	<---	MADUREZ	0.596	0.204	2.922	0.003	par_1
STRAT	<---	MADUREZ	0.375	0.143	2.617	0.009	par_2
MTTRA	<---	MADUREZ	1.315	0.299	4.401	***	par_3
MTBFA	<---	MADUREZ	0.548	0.167	3.271	0.001	par_4

---

#### Pesos de regresión estandarizados:

---

			Estimación
DISPA	<---	MADUREZ	0.706
MTBFD	<---	MADUREZ	0.433
STRAT	<---	MADUREZ	0.391
MTTRA	<---	MADUREZ	0.934
MTBFA	<---	MADUREZ	0.489

---

#### Interceptos:

---

	Estimación	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
DISPA	3	0.247	12.151	***	par_6
MTBFD	2.396	0.24	9.986	***	par_7
STRAT	2.981	0.167	17.837	***	par_8
MTTRA	3.245	0.245	13.231	***	par_9
MTBFA	2.472	0.195	12.651	***	par_10

---

**Covarianzas:**

			Estimación	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
e2	<-->	e5	0.807	0.309	2.611	0.009	par_5

**Correlaciones:**

			Estimado
e2	<-->	e5	0.421

**Varianzas:**

			Estimación	S.E.	C.R.	P	Etiqueta
MADUREZ			1.579	0.603	2.619	0.009	par_11
e1			1.59	0.414	3.837	***	par_12
e2			2.432	0.5	4.865	***	par_13
e3			1.231	0.253	4.861	***	par_14
e4			0.397	0.522	0.76	0.447	par_15
e5			1.511	0.313	4.835	***	par_16

**Correlaciones Múltiples al Cuadrado:**

	Estimación
MTBFA	0.239
MTTRA	0.873
STRAT	0.153
MTBFD	0.188
DISPA	0.498

Modificación de índices sugeridos por el resultado del análisis (AMOS 26)

**Historial de minimización**

Iteración	valores propios (Eigen) Negativo	Condicion #	valores propios (Eigen) mas pequeño	Diámetro	F	N intentos	Relación
0	e 3		-0.346	9999	75.42	0	9999
1	e 0	415.348		1.3	21.99	20	0.578
2	e 0	105.902		0.429	10.56	5	0
3	e 0	39.595		0.549	6.137	2	0
4	e 0	81.287		0.246	3.621	1	1.022
5	e 0	78.127		0.042	3.539	1	1.035
6	e 0	80.72		0.002	3.539	1	1.005
7	e 0	80.767		0	3.539	1	1

Matriz de Estimaciones de Varianza-Covarianza

Matriz de estimaciones de varianza-covarianza																
	par_1	par_2	par_3	par_4	par_5	par_6	par_7	par_8	par_9	par_10	par_11	par_12	par_13	par_14	par_15	par_16
par_1	0.042															
par_2	0.006	0.021														
par_3	0.016	0.006	0.089													
par_4	0.019	0.005	0.018	0.028												
par_5	-0.006	-0.003	0.015	-0.003	0.095											
par_6	0	0	0	0	0	0.061										
par_7	0	0	0	0	0	0.018	0.058									
par_8	0	0	0	0	0	0.011	0.007	0.028								
par_9	0	0	0	0	0	0.04	0.024	0.015	0.06							
par_10	0	0	0	0	0	0.017	0.025	0.006	0.022	0.038						
par_11	-0.04	-0.022	-0.139	-0.042	-0.013	0	0	0	0	0	0.364					
par_12	0.004	-0.001	0.058	0.008	0.013	0	0	0	0	0	-0.074	0.172				
par_13	-0.008	-0.003	0.02	-0.002	0.091	0	0	0	0	0	-0.019	0.019	0.25			
par_14	-0.001	-0.004	0.012	0	0.005	0	0	0	0	0	-0.012	0.012	0.007	0.064		
par_15	0.005	0.012	-0.111	-0.004	-0.038	0	0	0	0	0	0.113	-0.113	-0.05	-0.03	0.273	
par_16	-0.003	-0.002	0.01	-0.004	0.056	0	0	0	0	0	-0.008	0.008	0.034	0.004	-0.027	0.098

Correlaciones de Estimaciones

	par_1	par_2	par_3	par_4	par_5	par_6	par_7	par_8	par_9	par_10	par_11	par_12	par_13	par_14	par_15	par_16
par_1	1															
par_2	0.198	1														
par_3	0.256	0.143	1													
par_4	0.548	0.212	0.364	1												
par_5	-0.089	-0.062	0.159	-0.062	1											
par_6	0	0	0	0	0	1										
par_7	0	0	0	0	0	0.306	1									
par_8	0	0	0	0	0	0.276	0.169	1								
par_9	0	0	0	0	0	0.66	0.405	0.365	1							
par_10	0	0	0	0	0	0.345	0.542	0.191	0.457	1						
par_11	-0.328	-0.249	-0.769	-0.411	-0.072	0	0	0	0	0	1					
par_12	0.046	-0.023	0.47	0.116	0.104	0	0	0	0	0	-0.298	1				
par_13	-0.081	-0.045	0.133	-0.024	0.588	0	0	0	0	0	-0.063	0.092	1			
par_14	-0.023	-0.097	0.161	-0.004	0.066	0	0	0	0	0	-0.079	0.115	0.051	1		
par_15	0.048	0.158	-0.712	-0.043	-0.234	0	0	0	0	0	0.358	-0.521	-0.19	-0.225	1	
par_16	-0.052	-0.052	0.108	-0.081	0.585	0	0	0	0	0	-0.045	0.065	0.219	0.05	-0.168	1

Resumen de ajuste del modelo (Model Fit Summary)

**CMIN**

Modelo	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Modelo por defecto	16	3.539	4	0.472	0.885
Modelo saturado	20	0	0		
Modelo de independencia	10	73.75	10	0	7.375

Comparaciones de referencia

Modelo	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Modelo por defecto	0.952	0.88	1.007	1.018	1
Modelo saturado	1		1		1
Modelo de independencia	0	0	0	0	0

Medidas ajustadas por parsimonia

Modelo	PRATIO	PNFI	PCFI
Modelo por defecto	0.4	0.381	0.4
Modelo saturado	0	0	0
Modelo de independencia	1	0	0

**NCP**

Modelo	NCP	LO 90	HI 90
Modelo por defecto	0	0	8.186
Modelo saturado	0	0	0
Modelo de independencia	63.75	40.12	94.865

**FMIN**

Modelo	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Modelo por defecto	0.068	0	0	0.157
Modelo saturado	0	0	0	0
Modelo de independencia	1.418	1.226	0.772	1.824

**RMSEA**

Modelo	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Modelo por defecto	0	0	0.198	0.538
Modelo de independencia	0.35	0.278	0.427	0

**AIC**

Modelo	AIC	BCC	BIC	CAIC
Modelo por defecto	35.539	39.713		
Modelo saturado	40	45.217		
Modelo de independencia	93.75	96.359		

**ECVI**

Modelo	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Modelo por defecto	0.683	0.692	0.85	0.764
Modelo saturado	0.769	0.769	0.769	0.87
Modelo de independencia	1.803	1.348	2.401	1.853

**HOELTER**

Modelo	HOELTER	HOELTER
	0.05	0.01
Modelo por defecto	140	196
Modelo de independencia	13	17

Anexo 9. Respuestas obtenidas mediante el instrumento de medición y transformadas mediante el software SPSS 23

Valores obtenidos para cada respuesta a través del cuestionario SURVEYMONKEY enviado por correo y via web

CollectorNm	GASTO	MTTRA	MTTRD	MTBFA	MTBFD	STRAT	HERRM	CONOC	STRUC	IMPLE	DISPA	DISPD
Web Link 1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Web Link 1	2	5	1	2	1	2	1	2	5	1	1	1
Web Link 1	2	6	1	6	1	4	1	3	4	1	5	1
Web Link 1	4	1	1	1	1	2	1	2	3	1	1	1
Web Link 1	5	2	2	6	1	5	1	2	5	1	1	1
Web Link 1	4	4	1	1	2	4	2	3	5	5	6	1
Web Link 1	6	4	6	4	6	5	4	4	6	2	5	6
Web Link 1	3	1	1	1	1	3	1	3	6	1	1	1
Web Link 1	7	3	6	3	2	1	5	6	5	5	5	6
Web Link 1	2	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1
Web Link 1	4	5	6	5	6	2	2	4	5	2	4	5
Email Invitation 2	3	5	6	1	2	5	3	3	6	5	6	6
Web Link 1	1	1	1	1	1	1	3	5	5	1	3	1
Web Link 1	3	4	1	3	1	3	1	3	5	1	4	1
Web Link 1	2	4	1	3	1	3	1	3	4	1	6	1
Web Link 1	4	3	3	3	1	4	3	4	4	3	4	3
Web Link 1	4	3	4	3	5	3	3	4	4	3	3	4
Email Invitation 2	4	3	4	6	6	3	3	3	5	1	1	5
Email Invitation 2	6	4	5	5	5	3	4	4	6	5	4	5
Email Invitation 2	4	4	6	3	5	4	2	4	5	4	3	4
Email Invitation 2	3	1	1	1	1	3	1	2	5	1	1	1
Email Invitation 7	3	1	1	1	1	5	2	3	4	1	1	1
Web Link 1	3	3	5	3	6	4	3	4	5	2	1	1
Web Link 1	1	5	5	3	3	3	3	3	6	2	5	6
Web Link 3	1	4	5	3	4	3	1	3	5	4	2	3
Web Link 1	4	6	6	3	5	3	3	3	5	1	5	5
Web Link 1	3	3	4	3	1	1	2	2	4	5	3	1
Email Invitation 2	6	4	6	3	2	3	2	4	4	1	3	5
Web Link 1	3	6	6	2	2	2	1	3	3	3	6	6
Web Link 1	5	6	6	2	2	5	3	5	6	6	3	3
Email Invitation 1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1
Web Link 1	2	6	1	3	1	3	1	3	5	1	1	1
Web Link 1	5	4	5	2	3	3	3	4	4	5	4	5
Web Link 1	1	2	4	3	2	3	4	3	4	3	1	3
Web Link 1	4	5	6	2	4	3	3	4	6	5	4	6
Web Link 1	2	6	6	1	1	3	1	3	3	1	5	1
Web Link 1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1
Web Link 1	3	3	1	3	1	3	1	3	4	1	4	1
Web Link 1	2	1	1	1	1	3	1	3	5	1	1	1
Web Link 1	3	6	6	3	4	5	3	3	5	5	5	6
Web Link 1	7	3	6	3	2	5	3	3	5	5	3	6
Web Link 1	3	1	1	1	1	3	1	2	3	1	4	1
Web Link 1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	1	1	1
Web Link 1	2	1	1	1	1	1	1	6	5	1	1	1
Email Invitation 3	6	5	6	3	5	3	2	3	5	2	4	5
Web Link 1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1
Web Link 1	7	4	5	4	3	4	2	3	4	5	3	4
Web Link 1	5	3	4	1	1	1	1	3	4	1	1	1
Web Link 1	3	1	1	1	1	3	2	3	3	1	1	1
Web Link 1	7	3	6	2	2	2	4	5	5	5	5	6
Web Link 1	4	2	4	3	5	4	3	3	4	2	4	4
Web Link 1	6	3	4	3	4	3	3	4	5	6	3	3
Web Link 1	7	6	6	4	4	4	3	5	5	5	6	6

## Anexo 10. Resumen de respuestas a cada pregunta obtenidas a través de la plataforma SurveyMonkey.

Nota: Se decide eliminar una de las 54 respuestas debido a la omisión de respuesta en algunas de las preguntas. Realizando el análisis solo con 53 respuestas.

Q1: El porcentaje medio de presupuesto Anual "P" (Gasto y Capital) utilizado en el departamento de mantenimiento para: Adquisición e implementación de tecnologías y herramientas de la industria 4.0 para las estrategias de mantenimiento, la gestión de refacciones, y capacitación y entrenamiento en tecnologías 4.0 es de: (Considere Presupuesto expresado en % comparado contra las ventas anuales de la organización. Ejemplo: Ventas anuales = 10 Millones de dólares. Presupuesto utilizado 1% = 100 mil dólares anuales)

Answered: 54 Skipped: 0

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No Sabe	14.81%	8
0	16.67%	9
0% < P ≤0.5%	24.07%	13
0.5% < P ≤1%	18.52%	10
1% < P ≤2%	7.41%	4
2% < P ≤3%	9.26%	5
P > 3%	9.26%	5
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>

Q2: MTTR. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales de la Industria 4.0, el valor de su MTTR (Tiempo Medio de Reparación) de sus equipos/maquinaria críticos era de:

Answered: 54 Skipped: 0

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No sabe	27.78%	15
Mayor de 48 horas (Muy Alto - Peor)	5.56%	3
Entre 24 y 48 horas	22.22%	12
Entre 12 y 23 Horas	18.52%	10
Entre 3 y 11 horas	11.11%	6
Menor de 3 horas (Muy bajo - Mejor)	14.81%	8
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>

Q3: MTTR. DESPUES de al menos 6 Meses desde la implementación, el nuevo valor es:

Answered: 54 Skipped: 0

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No sabe	40.74%	22
Mayor de 48 horas (Muy Alto - Peor)	1.85%	1
Entre 24 y 48 horas	1.85%	1
Entre 12 y 23 Horas	12.96%	7
Entre 3 y 11 horas	12.96%	7
Menor de 3 horas (Muy bajo - Mejor)	29.63%	16
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>

Q4: MTBF. ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales de la Industria 4.0, el valor de su MTBF (Tiempo Medio entre fallas) de sus equipos/maquinaria críticos era de:

Answered: 53 Skipped: 1

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No sabe	33.96%	18
Menor a 7 dias (Muy Alto - Peor)	13.21%	7
Entre 8 y 30 dias	37.74%	20
Entre 31 y 90 dias	5.66%	3
Entre 91 y 180 dias	3.77%	2
Mayor a 180 dias (Muy bajo - Mejor)	5.66%	3
<b>TOTAL</b>		<b>53</b>

Q5: MTBF. DESPUES de al menos 6 meses desde la implementación, el nuevo valor es:

Answered: 54 Skipped: 0

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No sabe	48.15%	26
Menor a 7 dias (Muy Alto - Peor)	18.52%	10
Entre 8 y 30 dias	5.56%	3
Entre 31 y 90 dias	9.26%	5
Entre 91 y 180 dias	11.11%	6
Mayor a 180 dias (Muy bajo - Mejor)	7.41%	4
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>

Q6: Cuales de las siguientes estrategias de mantenimiento utiliza actualmente (seleccione solo una opción considerando que una incluye la anterior)

Answered: 53 Skipped: 1

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
a) Mantenimiento Correctivo	15.09%	8
b) Mantenimiento TPM (Total Productive Maintenance) incluyendo (a)	9.43%	5
c) Mantenimiento Preventivo (PM) Incluyendo a), b)	47.17%	25
d) Mantenimiento Predictivo (PdM), incluyendo a), b), c)	15.09%	8
e) Mantenimiento Basado en Monitoreo de Condición. incluyendo a), b), c) y d)	13.21%	7
<b>TOTAL</b>		<b>53</b>

Q7: De las siguientes Tecnologías Herramientas de la industria 4.0, si usted utiliza UNA o MAS de ellas en sus programas de mantenimiento, el nivel de utilización es de: Big Data, Sensores Inteligentes, IIOT (Internet Industrial de las Cosas), Computación en la Nube, Manufactura Aditiva (3D), Realidad Aumentada (AR), Inteligencia Artificial (AI), Gemelo Virtual (Simulación de procesos)

Answered: 53 Skipped: 1

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Ninguna	41.51%	22
1% < una o mas, pero Casi Nunca ≤ 30%	16.98%	9
30% < una o mas pero En Ocasiones ≤ 70%	30.19%	16
70% < una o mas, Casi Siempre ≤ 99%	9.43%	5
Una o Mas y Siempre 100% de manera Sistemática	1.89%	1
<b>TOTAL</b>		<b>53</b>

Q8: El nivel de conocimiento del personal de mantenimiento de su organización (Gerente, supervisores, ingenieros y técnicos) sobre la utilización y manejo de alguna o varias de las tecnologías digitales de la Industria 4.0 es de:

Answered: 54 Skipped: 0

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No Sabe	7.41%	4
NULO. Ha escuchado pero desconoce todo sobre el tema	11.11%	6
BASICO. Conocimiento mínimo sobre su utilización y funcionamiento	48.15%	26
FORMAL. Tiene entrenamiento por el fabricante u otra entidad experta	22.22%	12
AUTONOMO. Con el apoyo de las tecnologías digitales de la industria 4.0, Conoce y resuelve cualquier problema de mantenimiento ocurrido y diagnostica potenciales nuevos problemas	7.41%	4
MODELO. Provee entrenamiento a sus colegas, tiene conocimiento profundo sobre las tecnologías digitales de la industria 4.0	3.70%	2
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>

Q9: El nivel estructural del departamento de mantenimiento de su organización es de:

Answered: 54 Skipped: 0

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No Sabe	5.56%	3
NULO. Un técnico con responsabilidad compartida con otra posición operativa	0%	0
MINIMO. Cuenta con un Supervisor y Técnicos para dar soporte general	11.11%	6
BASICO. Supervisor y técnicos especializados por área y/o disciplina	25.93%	14
MEDIO. Tiene Gerente de mantenimiento, Supervisor/Ingeniero, Técnicos por area/disciplina y programador de tareas a traves de un CMMS (sistema computarizado de mantenimiento	44.44%	24
AVANZADO. Gerente de mantenimiento, Supervisores y Técnicos por disciplina y area, programadores y planificadores de tareas, 100% CMMS, "línea de ayuda a clientes internos", administrador de almacén, refacciones e inventario, ingeniero de análisis de riesgo, Ciclo de vida, Confiabilidad, Analisis de Causa Raiz, Analisis de modos de falla y efectos, otros.	12.96%	7
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>

Q10: Su organización implementó o implementará el concepto de industria 4.0 para la gestión del Mantenimiento (una o varias tecnologías implementadas al 100%) en un lapso de:

Answered: 54 Skipped: 0

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No Sabe / No esta considerado	50.0%	27
Mas de 5 años	11.11%	6
4 a 5 años	7.41%	4
3 a 4 años	3.70%	2
1 a 3 años	24.07%	13
Ya esta implementada (una o mas tecnologías / herramientas Industria 4.0)	3.70%	2
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>

Q11: DISPONIBILIDAD - ANTES de implementar una o mas de las tecnologías Digitales de la Industria 4.0, el valor de la Disponibilidad Media "D" para el funcionamiento y utilización de sus equipos/maquinaria críticos era:

Answered: 54 Skipped: 0

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No sabe	37.04%	20
D ≤ 50% (Peor)	1.85%	1
50% < D ≤ 70%	16.67%	9
70% < D ≤ 85%	18.52%	10
85% < D ≤ 95%	16.67%	9
95% < D ≤ 99% (Mejor)	9.26%	5
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>

Q12: DISPONIBILIDAD - DESPUES (A 6 meses desde la implementación) de implementar una o mas de las tecnologías Digitales de la Industria 4.0, el valor de la Disponibilidad Media "D" para el funcionamiento y utilización de sus equipos/maquinaria críticos es:

Answered: 54 Skipped: 0

ANSWER CHOICES	RESPONSES	
No sabe	50.0%	27
D ≤ 50% (Peor)	0%	0
50% < D ≤ 70%	9.26%	5
70% < D ≤ 85%	9.26%	5
85% < D ≤ 95%	12.96%	7
95% < D ≤ 99% (Mejor)	18.52%	10
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>