

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Madurez Digital, primer paso hacia la transformación digital:
Desarrollo de un modelo de madurez digital para empresas de
manufactura**

Proyecto de Investigación

Milena Nicole Haro Freile

Ingeniería Industrial

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Industrial

Quito, 29 de abril de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO CIENCIAS E INGENIERÍAS

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Madurez Digital, primer paso hacia la transformación
digital: Desarrollo de un modelo de madurez digital
para empresas de manufactura**

Milena Nicole Haro Freile

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Carlos Suárez, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 29 de abril de 2019

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Milena Nicole Haro Freile

Código: 00124763

Cédula de Identidad: 1720401601

Lugar y fecha: Quito, 29 de abril de 2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por haber sido mi guía y fortaleza, durante toda la carrera universitaria. Por nunca dejarme sola, a pesar de las dificultades y por siempre darme felicidad en todo momento.

A Paúl Rivera, Gerente de Cognitiva, por la confianza, la dedicación y el apoyo brindado, que hizo posible la culminación del presente trabajo de titulación.

A mis padres Edison y Verónica, por apoyarme en todo momento y nunca dejarme sola. Por haberme dado la posibilidad de tener una excelente educación, y sobre todo por los valores que me han inculcado desde que era una niña.

A mi hermano y a mis abuelos por todos los consejos y el apoyo que me han brindado siempre que lo he necesitado.

A Carlos Suárez, por los conocimientos compartidos durante toda la carrera universitaria, el apoyo y la retroalimentación brindada que hicieron posible la culminación del trabajo de titulación.

A Cristhopher Paredes, por haberme apoyado en esta última etapa universitaria con mucho cariño y paciencia.

RESUMEN

En la actualidad, los constantes cambios en la demanda de los consumidores en cuanto a la naturaleza de los productos, y el constante avance tecnológico han hecho que las empresas especialmente las de manufactura, se enfrenten a una nueva era tecnológica, caracterizada por la digitalización y conectividad. De esta manera, estas empresas se han visto obligadas a emprender el viaje hacia la transformación digital de su compañía en función de los requerimientos de sus clientes, para así llegar de manera más ágil a los mismos. El desarrollo de un modelo de madurez digital, enfocado en los sistemas de transformación de un sistema de manufactura, capaz de caracterizar a las empresas de manufactura ecuatorianas, es el objetivo principal de la presente investigación. En donde, mediante revisión literaria, se pudieron determinar los principales elementos a medir, para poder obtener el grado de madurez digital. Posteriormente, se diseñó una encuesta como herramienta de medición para el modelo de madurez, mediante esta y una prueba piloto realizada a diez empresas de manufactura ecuatorianas, se determinó que estas se encuentran en un nivel de madurez infantil dentro del modelo de madurez definido.

Palabras Clave: Digitalización, Conectividad, Transformación Digital, Madurez Digital

ABSTRACT

Currently, the constant changes in consumer demand, regarding the nature of a product, and the constant technological progress has made companies, especially the ones involved in manufacturing, face a new era, characterized by digitalization and connectivity. In this context, companies have been forced to be part of the digital transformation, primarily by focusing in the requirements of their customers, in order to approach easily and agilely to them. Is for that reason that the development of a digital maturity model, focused on transformation systems of a specific manufacturing system, capable of characterizing the Ecuadorian manufacturing companies, is the main objective of this research. Through an extensive literary review, it was possible to determine the main elements to be measured, so as to obtain the degree of digital maturity. Subsequently, a survey was designed as a measurement tool for the maturity model, through this and a pilot test applied to ten companies, it was determined, that these manufacturing companies are at a low level of digital maturity within the defined model

Key Words: Digitalization, Connectivity, Digital Transformation, Digital Maturity

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	10
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1	Identificación de la oportunidad o necesidad	14
2.2	Definición del Alcance.....	15
2.3	Diseño del modelo.....	16
2.3.1	Definición de elementos a medir.....	18
2.3.2	Juicio de Expertos.	21
2.3.3	Diseño de la Encuesta de madurez Digital para empresas.	23
2.4	Evaluación del Modelo.....	24
3.	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	24
3.1	Prueba de Consistencia.....	25
3.2	Calculo del Nivel de Madurez	25
4.	RESULTADOS.....	27
4.1	Resultados de preguntas demográficas	27
4.2	Comparación de opciones para cálculo de Madurez Digital	29
4.3	Nivel de Madurez para empresas encuestadas	31
5.	CONCLUSIONES.....	36
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
	ANEXO A: NIVELES DE MADUREZ DIGITAL.....	43
	ANEXO B: ASPECTOS DE INDUSTRIA 4.0	43
	ANEXO C: PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	44
	ANEXO D: ENCUESTA PARA EXPERTOS PARA VALIDAR ASPECTOS A MEDIR	44
	ANEXO E: ESCALA DE VALORACIÓN PARA EL JUICIO DE EXPERTOS.....	45
	ANEXO F: ENCUESTA PARA EMPRESAS.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Identificación de niveles</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2. Dimensiones para la valoración de niveles de madurez digital</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 3. Elementos a medir para cada dimensión</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4. Descripción de los niveles de madurez digital.....</i>	<i>43</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Número de Niveles encontrados en los modelos de madurez existentes.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. Niveles de madurez Digital.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3. Ecuación de normalización</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4. Ecuación de normalización</i>	<i>26</i>
<i>Figura 5. Porcentaje de empresas encuestadas.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6. Actividad de empresas encuestadas</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7. Tamaño de empresas encuestadas.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 8. Comparación de opciones de cálculo.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 9. Nivel de Madurez Digital Con las distintas opciones.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 10. Nivel de Madurez digital Fuente</i>	<i>31</i>
<i>Figura 11. Nivel de madurez de Prioridades Competitivas.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 12. Dimensiones de Prioridades Competitivas.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 13. Dimensiones de Prioridades Competitivas.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14. Dimensiones de Palancas de Fabricación</i>	<i>35</i>
<i>Figura 15. Nivel de Madurez de Estrategias de Manufactura</i>	<i>36</i>
<i>Figura 16. Aspectos Industria 4.0.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 17. Pirámide de Automatización Industrial</i>	<i>44</i>
<i>Figura 18. Opciones para puntuación juicio de expertos.....</i>	<i>45</i>

1. INTRODUCCIÓN

Desde alrededor de 1970, se han desarrollado múltiples y diferentes modelos de madurez, ya sea para la ciencia o para la práctica (Mettler, 2010). La complejidad de las empresas y los sistemas de información han ido creciendo cada vez más, por lo que modelos de referencia que capturen conceptos similares y aplicables (información reusable) en varias industrias, también se han vuelto más populares (Mettler, 2010). El carácter de referencia en términos empresariales, bien se obtiene de la práctica común o de las mejores prácticas, es decir, de las normas explícitas e implícitas que gobiernan la industria, o de los líderes de la industria, respectivamente (Mettler, 2010). Aunque los modelos de referencia se enfocan en la estandarización de procesos, su uso se ha ampliado hacia estructuras de datos, funciones y metamodelos; esto tiene aplicación en manufactura, administración, funciones de gestión empresariales, etc. (Winter & Schelp, 2006).

Los modelos de referencia que se enfocan particularmente en la evolución de sistemas (incluyendo TI, personas y procesos), se los denomina modelos de madurez (Mettler, 2010). Desde la perspectiva lingüística, el propósito de los modelos de madurez es determinar el grado con el que las condiciones de cierto objeto o proceso analizado han alcanzado su estado ideal o han cumplido con el propósito definido (Wendler, 2012). Los modelos de madurez ofrecen a las organizaciones una simple, pero efectiva, forma de medir la calidad de sus procesos (Wendler, 2012).

La popularidad de los modelos de madurez se incrementó con el Modelo de Madurez de Capacidades (CMM), alrededor de 1990 (Mettler, 2010), cuyo propósito era ayudar a las empresas a aumentar la capacidad de su software mediante un marco metodológico (Wendler, 2012). Según Wendler (2012), entre el 2009 y 2010, se publicaron 62 artículos de temas relacionados con madurez, de los cuales 34 hacían referencia al desarrollo de nuevos modelos de madurez. Sin embargo, esas publicaciones

aún se enfocaban en ingeniería de software. Según Mettler & Rohner (2009), una revisión de literatura de investigaciones publicada en las bibliotecas digitales, junto con la exploración de fuentes no investigativas arrojaron una lista de 135 modelos diferentes de madurez relacionados con sistemas de información (IS).

Argumentando que, el propósito de los modelos de madurez es encontrar la diferencia entre el estado actual de una organización y su estado ideal, muchos de los modelos no describen una manera efectiva de cómo lograr ese objetivo, por lo que se crea la “brecha de saber hacer” (Mettler & Rohner, 2009). Así mismo, muchos de los modelos de madurez existentes, como el CMM, han sido criticados por realizar un énfasis excesivo en la perspectiva de los procesos, y no tomar en consideración las capacidades de las personas (Mettler & Rohner, 2009).

Por consiguiente, a nivel mundial las empresas se han visto obligadas a enfrentar desafíos de desarrollo tecnológicos (Schumacher, et al., 2016). De tal manera, que muchas han comenzado a usar los modelos de madurez para medir el grado de madurez en el ámbito digital (Ochoa, 2016), con el fin de buscar nuevos niveles de ventaja competitiva (Kane et al., 2015). La implementación de tecnologías individuales no es el paso para ser una compañía digitalmente madura. Por el contrario, esta implementación tecnológica debe estar enfocada en la integración de las tecnologías adquiridas con el objetivo de transformar el negocio (Kane, et. al., 2015). Además, debe encontrarse alineada con la estrategia de la empresa, es decir, que debe abarcar la forma en la que las empresas compiten, atienden y satisfacen las necesidades de sus clientes (Ochoa, 2016). Por esta razón, es importante que las empresas sepan en qué nivel de madurez se encuentran, con el fin de trazar su viaje hacia la madurez digital garantizando el aprovechamiento de estas tecnologías (Ochoa, 2016).

A nivel mundial, la industria manufacturera, la misma que realiza la transformación física o química de materiales, sustancias o componentes en productos nuevos (INEC, 2019), está atravesando una transición hacia una nueva generación de tecnología (Chryssolouris, et al., 2009). Debido a que, los cambios en la demanda de los consumidores en cuanto a la naturaleza de los productos y el constante avance tecnológico, han sido los principales factores para que esta industria empiece con la búsqueda de nuevas oportunidades para llegar hacia sus clientes y satisfacer las necesidades de los mismos de manera más ágil (Hagel, et al., 2015). De la misma forma, esta industria afecta positivamente a los bienes y servicios de un país, sustentando el crecimiento económico del mismo, ya que, su aporte en el PIB a nivel latinoamericano es del 18.1 % (ABG, 2013). Y, la participación del PIB en los principales países económicamente potenciales como son: Japón, Estados Unidos y Alemania es de alrededor del 20%, por lo que destaca su importancia en el desarrollo de los países (Hidalgo, 2014).

Por esta razón, la creación de una cultura de transformación digital en las empresas de manufactura es parte fundamental para que estas puedan desarrollar su madurez, fomentando la toma de riesgos en un ambiente colaborativo de innovación y creatividad (Kane, et. al., 2015). Las empresas deben implementar una estrategia hacia la transformación digital sin dejar de lado la gestión empresarial, ya que los cambios realizados afectan a cada unidad del negocio (Thornley, et al., 2016). El desarrollo de un modelo de madurez digital ayudará a las mismas a desarrollar ciertas capacidades, para poder manejar adecuadamente la cadena de valor (Schumacher, et al., 2016). La transformación digital ya no puede solamente verse como una estrategia empresarial, por el contrario, ahora se la debe ver como una manera de supervivencia para las empresas (Barco, et. al., 2018).

Como se describió anteriormente, el propósito de los modelos de madurez es brindar orientación a través de un proceso evolutivo mediante la incorporación de la formalidad en las actividades de mejora (Mettler & Rohner, 2009). La presión para el cambio está aumentando desde muchos ángulos; la globalización está dictando una integración eficiente de las empresas que solo puede lograrse a través de procesos digitales y herramientas colaborativas, los empleados y clientes están empezando a exigir nuevas formas de trabajar, los competidores y nuevas empresas están haciendo realidad las prácticas habilitadas digitalmente en una industria, por lo que las empresas necesitarán una forma de seguir las tendencias tecnológicas para mantenerse en el mercado (Westerman, et al., 2011).

Los modelos de madurez digital resultan útiles para conocer el estado actual de la empresa y tomar las acciones necesarias para realizar las respectivas transformaciones digitales (Westerman, et al., 2011). Por esta razón, el desarrollo de un modelo de madurez que se acople a las características de las empresas de manufactura, específicamente en los procesos de transformación, los mismos que hacen referencia a las máquinas, métodos y herramientas dentro de un sistema de producción (UVEG, 2012), puede servir como un punto sólido de referencia, para ayudar a las empresas de manufactura a involucrarse en el proceso de transformación digital.

De esta manera, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo de madurez digital a partir de la identificación de elementos a medir, capaz de caracterizar a las empresas de manufactura en términos de digitalización en los procesos de transformación del sistema de manufactura. Para esto, es necesario determinar los elementos a medir que abarquen el proceso de transformación dentro de un sistema de manufactura, definir el número de niveles y el rango de estos del modelo de madurez digital, desarrollar una encuesta capaz de medir el nivel de madurez digital de las

empresas de manufactura ecuatorianas y realizar una prueba piloto para validar el modelo y las herramientas de medición diseñada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de desarrollo de un modelo de madurez propuesto por Tobias Mettler (2010), es la que se utilizó, ya que, esta presenta los pasos para desarrollar un modelo de madurez de manera detallada con relación a otros modelos desarrollados, donde la metodología no estaba clara. Cabe recalcar, que la metodología es de cinco pasos. Sin embargo, por motivos de tiempo en cuanto al desarrollo de la tesis se realizaron las primeras cuatro etapas, las cuales se detallan a continuación:

1. Identificación de la oportunidad o necesidad
2. Definición del alcance
3. Diseño del modelo
4. Evaluación del modelo

2.1 Identificación de la oportunidad o necesidad

“En la actualidad, la economía global se esta enfrentando a una nueva fase que se caracteriza por la digitalización y la conectividad” (Barco, et. al., 2018). Teniendo en cuenta que el termino digitalización, se refiere a la conversión de la información analógica propia de la naturaleza en información lista para ser procesada (EcuRed, 2013). Se dice que, *“El análisis de datos y la toma de desiciones en tiempo real impactan positivamente en la eficiencia de toda cadena de valor”* (Barco, et. al., 2018). En efecto, en el área de manufactura, la digitalización se considera altamente prometedora, en cuanto a la reducción de costos y tiempo en el desarrollo de productos; esto trae consigo beneficios, dado que por medio de esta, se incrementa el nivel de calidad, la velocidad de respuesta

hacia el mercado y la capacidad de personalización del producto según las necesidades o requerimientos del cliente (Chryssolouris, et al., 2008).

La manufactura exitosa será aquella que logre incorporar tecnologías que le sirvan para adaptarse mejor a los cambios constantes, y su vez elevar su calidad mientras optimiza recursos (Lu, et al., 2016). Sin embargo, la habilidad para reestructurar digitalmente una compañía se determina en gran parte por la estrategia planteada y los líderes que fomentan esta cultura de evolución (Kane, et al., 2015). Históricamente se ha visto ejemplos de negocios que se han enfocado en tecnología sin invertir simultáneamente en la capacidad organizacional, lo que ha generado un manejo inadecuado del impacto tecnológico (Kane, et al., 2015). Una visión hacia el futuro implica un incremento en la complejidad de los procesos, tanto a nivel macro como a nivel micro (Schumacher, et al., 2016). Esto ha generado incertidumbre en las empresas de manufactura acerca del esfuerzo requerido para la adquisición e implementación de nueva tecnología, además de los métodos para vincular la revolución tecnológica con sus respectivas estrategias y modelos de negocio (Schumacher, et al., 2016). Por esta razón, un modelo de madurez digital para el área de manufactura puede servir como un punto sólido de referencia (Schumacher, et al., 2016). El mismo, que ayudara a las empresas a conocer su nivel de madurez digital y así plantear una estrategia de transformación digital correctamente alineada a los objetivos del sistema de manufactura.

2.2 Definición del Alcance

Un sistema de manufactura, es aquel que realiza la transformación física o química de materiales, sustancias o componentes en productos nuevos (INEC, 2019). Los mismos que, se caracterizan por tener procesos de entrada, transformación, salida y control (UVG, 2012). Donde los procesos de entrada, hacen referencia a la materia prima o insumos necesarios para la producción, los procesos de transformación abarcan métodos,

maquinaria y herramientas (UVG, 2012). Mientras que, los procesos de salida, contienen el producto terminado y el desperdicio generado (UVG, 2012). Por último, los procesos de control, abarcan el control de calidad, de costos, la logística y el manejo de materiales e inventarios (UVG, 2012). El presente estudio, se centra en los procesos de transformación, ya que, estos son los que abarcan mayor parte de recursos organizacionales y la eficiencia de los mismos, es la que determina el éxito o fracaso de la organización (UVG, 2012).

2.3 Diseño del modelo

En primer lugar, para el diseño de un modelo de madurez digital, es necesario definir la cantidad de niveles y nombres de los mismos. Para el presente trabajo, se tomo como referencia el trabajo de Vivares, el cuál realizó una revisión exhaustiva para determinar la cantidad de niveles que debería tener un modelo de madurez. En este caso, como se observa en la Figura 1, el 58% de los modelos de madurez existentes estan estructurados por cinco niveles. Por lo tanto, el presente modelo de madurez digital desarrollado cuenta con cinco niveles de madurez.

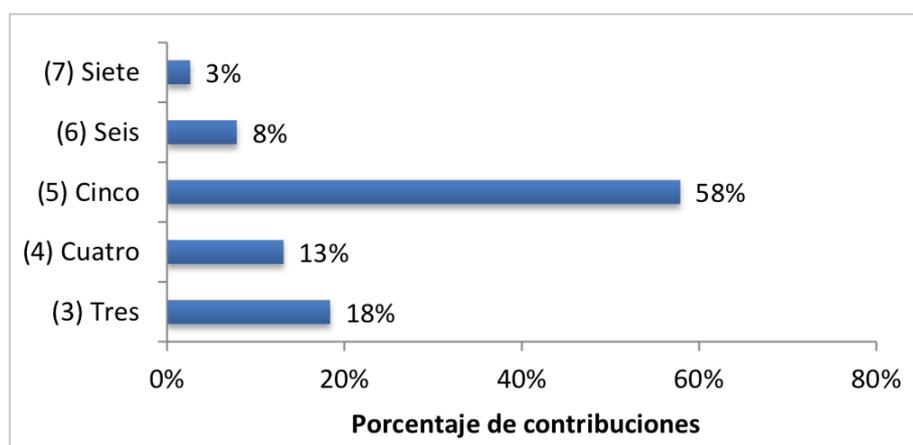


Figura 1. Número de Niveles encontrados en los modelos de madurez existentes. Fuente: Vivares, J. (2017). Modelo de madurez para valorar el sistema de producción y formular una estrategia de manufactura (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia.

Una vez que se determinó el número de niveles para el modelo de madurez digital, se procedió a determinar los nombres de cada uno de estos, con el fin de distinguirlos. Para esto, se tomó como referencia el modelo de madurez digital en España “*Barómetro 2018*”, el mismo que cuenta con cuatro niveles de madurez digital: Amateur, Explorador, Entusiasta, Líder (Divisadero, 2018).

Sin embargo, el presente modelo cuenta con cinco niveles, y al tomar como referencia el modelo de madurez en manufactura se observó que, este cuenta con cinco niveles con las siguientes identificaciones: Preinfantil, Infantil, Medio Industria, Adulto y Worls Class Manufacturing (WCM) (Vivares, 2017). De esta manera, se realizó una combinación de ambos modelos en donde se definieron las siguientes identificaciones, para cada uno de los niveles, los mismos que se muestran en la Tabla 1. De igual forma, en el Anexo A se puede observar de manera explícita lo que implica cada nivel.

Tabla 1. Identificación de niveles

Nivel	Identificación
1	Pre-infantil
2	Infantil
3	Explorador
4	Adulto
5	Líder

Fuente: Elaboración Propia

Por consiguiente, cada nivel debe estar correctamente valorado, para lo cual es necesario determinar un rango de valoración (Vivares, 2017). Se puede visualizar que ambos modelos tienen un rango que va de cero a 100 puntos. Por lo tanto, para el presente modelo de madurez se determinó un rango de [0, 100] puntos, cada uno con sus respectivos intervalos de valoración (Vivares, 2017). La Figura 2 especifica claramente el rango en el cual se encuentra cada uno de los niveles mencionados.

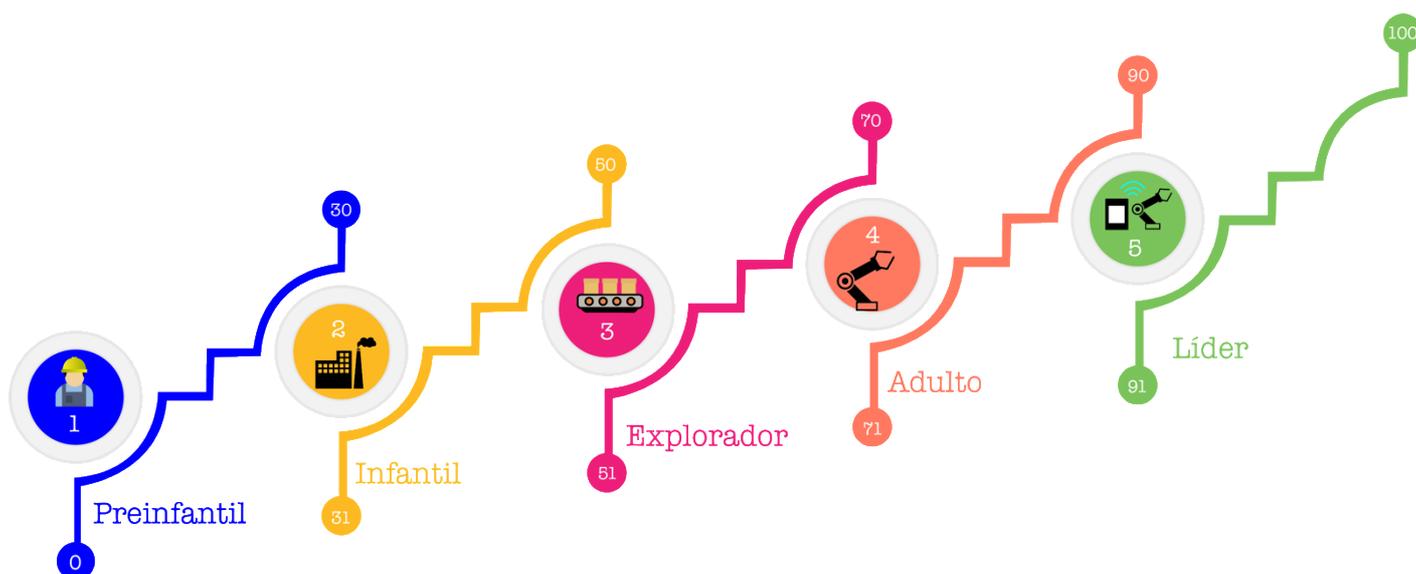


Figura 2. Niveles de madurez Digital. Fuente: Elaboración Propia

2.3.1 Definición de elementos a medir.

El éxito del sistema de manufactura, se encuentra en la estrategia. La cual esta compuesta por tres aspectos importantes (Vivares, 2017).

- Prioridades Competitivas
- Palancas de fabricación
- Estrategias de manufactura

Las prioridades competitivas, se encuentran relacionadas con el desempeño del sistema de producción a nivel estratégico como son costo, calidad, tiempo, flexibilidad e innovación (Guerreo, 2013).

Por otro lado, las palancas de fabricación, se presentan como subsistemas de producción, es decir, áreas de apoyo en donde se toman decisiones estratégicas para orientar las mejoras e impulsar el desempeño de dicho sistema (Vivares, 2017).

Por último, las estrategias de la manufactura se refieren a la existencia de programas orientados a la mejora continua y procesos de planeación estratégica en el sistema de producción (Vivares, 2017).

De esta manera, el diseño del modelo se enfoca en los tres aspectos mencionados anteriormente, para los cuales se definieron elementos a medir, que mejor describan estas en el ámbito digital de la industria 4.0. Debido a que, en la actualidad las fabricas inteligentes se estan centrando más en la optimización e inteligencia centradas en el control, ya que, estas tecnologías les permitiran degradar el rendimeinto del producto, mientras que administran de forma autónoma y optimizan la necesidad del producto (Lee, Kao & Yang, 2014).

La industria ha desarrollado distintas necesidades relacionadas a la satisfacción del mercado actual, las mismas que se ven reflejadas en cambios o adaptaciones relacionados a la tecnología, que se basan en la incorporación de sistemas mecánicos para respaldar el sistema de producción (Lee, Kao & Yang, 2014). Por lo tanto, una fabrica inteligente en la actualidad debe satisfacer las necesidades de los clientes en cuanto a innovación de productos, calidad, variedad y velocidad de entrega, lo que implica una fabrica de producción que cuente con las siguientes características: autoconciencia, auto-predicción, auto-comparación, auto-reconfiguración y auto-mantenimiento (Lee, Kao & Yang, 2014).

De esta manera, con revisión literaria se han definido 14 dimensiones mediante la revisión de cinco papers, los mismos que se encuentran asociadas a manufactura y a los diez aspectos que se según Basco (2018) consideran dentro de la industria 4.0. Estos aspectos, se pueden econtar el Anexo B. De igual forma, a continuación la Tabla 2 muestra las dimensiones definidas.

Tabla 2. Dimensiones para la valoración de niveles de madurez digital

Aspectos Principales	Prioridad	Dimensión	Item	Referencias
Prioridades Competitivas	Costo	Producción	Reducción de costos	(Viváres, 2017).
		Desperdicios	Reducción de desperdicio	(Basco, et. al., 2018).
	Calidad	Calidad del producto	Trazabilidad del producto a los largo de la producción	(Viváres, 2017).
		Calidad del proceso	Modelación y simulación del sistema de manufactura	(Vadde et. al., 2004)
			Mantenimiento	(Cortés et.al. 2017) (Vadde et. al., 2004)
			Recopilación de la información	(Lee, Kao & Yang, 2014).
	Tiempo	Velocidad de entrega de producto terminado	Reducción de paros en las máquinas y equipos	(Viváres, 2017).
	Flexibilidad	Rediseño o cambio de los productos	Implementación de nuevas tecnologías para el desarrollo de nuevos productos o rediseño de	(Viváres, 2017). (Basco, et. al., 2018).
		Cambio en la producción	Variación en la producción en cuanto a productos (En la industria 4.0 la producción no se enfoca en un solo producto o tamaño de lote)	(Vadde et. al., 2004) (Basco, et. al., 2018).
	Innovación	Enfoque del negocio	Modelo de negocio enfocado a la reducción del impacto ambiental	(Lee, Kao & Yang, 2014).
Global	Manejo de la información recopilada (Big data)	Existencia de una plataforma de recopilación y análisis de datos	(Lee, Kao & Yang, 2014).	
Palancas de fabricación	Recursos humanos	Talento del personal	Conocimientos del personal con relación a la digitalización y la industria 4.0	(Viváres, 2017). (Basco, et. al., 2018).
		Interacción del personal	Transmisión de Procesos, planes, información y reportes	(Vadde et. al., 2004) (Basco, et. al., 2018).
	Comunicación	Acceso a recursos informáticos	Computación en la nube	(Basco, et. al., 2018).
		Interacción de los sistemas	Comunicación las maquinas, equipos, herramientas, productos y personas para el uso correcto de una planta	(Cortés et.al. 2017) (Basco, et. al., 2018).
Estrategias de Manufactura	Mejora continua	Plan de mejora continua en cuanto a digitalización	Conocimiento	(Viváres, 2017).
			Inversión	(Viváres, 2017).

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, basandose en los diez aspectos de la industria 4.0 y la píramide de automatización industrial, la cual se encuentra en el Anexo C, se determinaron 25 elementos de medición, para poder ubicar a las empresas en cada uno de los niveles previamente definidos. Los elementos de medición, se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Elementos a medir para cada dimensión

Item	Elementos a medir
Reducción de costos	Capacidad para alcanzar costos bajos tanto fijos como variables en comparación con la competencia, a nivel de operaciones de manufactura
Reducción de desperdicio	Capacidad para minimizar el desperdicio del sistema de producción, eliminando actividades sin valor y haciendo eficiente el uso de recursos y materiales
Trazabilidad del producto a lo largo de la producción	Capacidad para dar seguimiento a los productos a través del proceso de producción, con el fin de detectar fallas, registrarlas y corregirlas
Modelación y simulación del sistema de manufactura	Capacidad para digitalizar la operación de manufactura
	Capacidad para representar la operación de manufactura de manera virtual
	Capacidad para reportar los datos de la operación de manufactura tiempo real
Mantenimiento	Monitoreo de las variables críticas de la operación de máquinas a nivel de manufactura, a través de sensores parametrizados con alertas en función de rangos de tolerancia
	Capacidad de analizar los datos obtenidos para la toma de decisiones, a nivel de operación de máquina en el aspecto de manufactura
	Capacidad de incorporación de algoritmos predictivos para la operación de máquinas, a nivel de manufactura
Recopilación de la información	Capacidad de capturar información permanentemente y en tiempo real del flujo, unidades que se procesan, operación de máquinas, aspectos de calidad, trazabilidad y costos, a nivel de la operación de manufactura
Reducción de paros en las máquinas y equipos	Capacidad para analizar la información recopilada y realizar un pronóstico de daños, para mantenimientos preventivos en recursos involucrados en el proceso de manufactura
Implementación de nuevas tecnologías para el desarrollo de nuevos productos o rediseño de productos existentes	Existencia de sistemas CAD/CAM y manufactura aditiva para el diseño de productos, a través de prototipos
Variación en la producción en cuanto a productos (En la industria 4.0 la producción no se enfoca en un solo producto o tamaño de lote)	Capacidad de las máquinas para adaptarse a cambios de manera automática (grado de automatización de las máquinas)
Modelo de negocio enfocado a la reducción del impacto ambiental	Capacidad para cuantificar la generación de huella de carbono, a nivel de operaciones de manufactura
	Capacidad para cuantificar la eficiencia energética, a nivel de planta de manufactura
	Capacidad para cuantificar el consumo hídrico, a nivel de planta de manufactura
Existencia de una plataforma de recopilación y análisis de datos	Capacidad de visualizar y analizar los datos de la operación de manufactura de manera descriptiva
	Capacidad de visualizar y analizar los datos de la operación de manufactura de manera predictiva
	Capacidad de visualizar y analizar los datos de la operación de manufactura de manera prescriptiva y prospectiva
Conocimientos del personal con relación a la digitalización y la industria 4.0	Nivel de competencias, habilidades y aptitudes del personal entorno a las tecnologías digitales y de industria 4.0, a nivel del sistema de producción
Transmisión de Procesos, planes, información y reportes	Capacidad del personal de operaciones de manufactura para comunicarse de manera rápida y eficiente, a través del uso de herramientas tecnológicas
Computación en la nube	Capacidad de las empresas para acceder a la información requerida desde cualquier dispositivo con acceso a internet
Comunicación las maquinas, equipos, herramientas, productos y personas para el uso correcto de una planta	Existe comunicación multidireccional mediante WiFi, entre todos los recursos y personas involucradas en la empresa (oIT- Internet de las cosas).
Conocimiento	La dirección esta consciente de la necesidad de implementar tecnología para mejorar su sistema de producción
Inversión	Existe actualmente un presupuesto específico dedicado a un proyecto para algún tipo de implementación tecnológica, a nivel de planta de manufactura

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Juicio de Expertos.

Una vez definidos los elementos de medición, se procedió a realizar la validación de los mismos mediante la aplicación del juicio de expertos, el cual se entiende como una opinión informada de personas que conocen sobre el tema investigado. Estas, deben ser escogidas según criterios de: experiencia, reputación de la comunidad, disponibilidad y

agrado por participar o imparcialidad (Pérez & Martínez, 2008). En este caso, el juicio de expertos se realizó según el criterio de disponibilidad y agrado por participar, debido a la disponibilidad con que contaban los expertos. Asimismo, es necesario definir el número de expertos adecuado para poder realizar una correcta validación. De acuerdo a revisión literaria, se encontró que para que las conclusiones sobre el juicio de expertos sean válidas el número de encuestados puede ir en rango de dos a 20 expertos (Pérez & Martínez, 2008). Por lo tanto, en esta encuesta se evaluarán a dos expertos, debido a la disponibilidad de tiempo de los mismos.

En este caso, para el juicio de expertos con el fin de obtener el punto de vista de manera individual y a su vez, debido a la disponibilidad de tiempo y la dificultad de reunir a todos en un solo lugar, se utilizó la metodología de preparar instrucciones y planillas. Los mismos, que fueron entregados para que cada uno responda de acuerdo a su conveniencia (Pérez & Martínez, 2008).

Para el diseño de la encuesta se tomó como referencia el trabajo de Viváres (2018) y se siguieron los pasos de la aplicación del juicio de expertos del trabajo de Pérez & Martínez (2008). En donde se indica que, se debe explicar el objetivo de la prueba, la función de los pesos de la prueba, el objetivo del juicio de expertos, y por último el diseño de la planilla debe ser acorde a los objetivos de la investigación (Pérez & Martínez, 2008). La encuesta del juicio de expertos aplicada, se la realizó en línea por motivos de disponibilidad de tiempo y facilidad de difusión de la misma (Abundis, 2016), el link de esta se encuentra en la sección de apéndices en el Anexo D.

La escala utilizada para la encuesta de juicio de expertos, fue una escala de likert de cinco puntos, ya que, esta permite evaluar a través de una escala de una sola dimensión, presentada de manera ordenada el grado de acuerdo o desacuerdo sobre determinado ítem, afirmación o reactivo (Matas, 2018). El significado de cada puntaje de la escala utilizada

se puede observar en la Anexo E, la misma que se les presentó a manera de imagen en la encuesta, para una mayor comprensión por parte de los participantes. Al final, se presentó una pregunta abierta con el fin de observar si los expertos tienen información adicional acerca de variables omitidas, para poder considerarlas dentro del estudio.

Una vez realizado el juicio de expertos, se determinó que todos los elementos a medir propuestos deben ser incorporados en el estudio, ya que, obtuvieron un puntaje mayor a cuatro con excepción de un aspecto que obtuvo un puntaje de tres (se puede o no incluir). Sin embargo, se decidió tomarlo en cuenta en el estudio, ya que, forma parte del aspecto de integración de los sistemas en industria 4.0 (Basco, et. al., 2018).

2.3.3 Diseño de la Encuesta de madurez Digital para empresas.

Para el diseño de la herramienta de medición se realizó un cuestionario en línea, ya que, en la actualidad el uso generalizado de las computadoras con internet ha creado una manera más fácil y ágil de llegar a las personas a diferencia de las encuestas presenciales o por teléfono (Abundis,2016).

Para un correcto diseño de la encuesta es necesario definir el objetivo de la misma, evitar preguntas largas, confusas y no abarcar dos temas en una sola pregunta (Abundis,2016). De igual forma, es necesario definir a que entidades va dirigida la encuesta, para esto se deben realizar preguntas de tipo socio-demográfico que permitan conocer que tipo de empresas han contestado las preguntas (Nuñez, 2007).

Para esto, se realiza un pregunta tipo screening con la finalidad de garantizar, que la encuesta sea contestada por empresas de manufactura, que es a quien va dirigido el estudio. En este caso, se hizo uso de preguntas cerradas con el fin de delimitar las alternativas de respuesta, para poder valorar el nivel de madurez de las empresas de manufactura (Nuñez, 2007).

Al igual que el juicio de expertos, la escala utilizada es de tipo Likert de cinco puntos, ya que, esta permite evaluar de manera ordenada y unidimensional, una posición acorde a un aspecto que se quiere medir (Matas, 2018). Además, esta escala es aditiva, ya que, esta permite obtener una puntuación global mediante la suma de todos los rangos dentro de la encuesta (García, 2011). La encuesta, consta de 46 preguntas para evaluar cada aspecto principal de la manufactura en cuanto a madurez digital. Las preguntas están divididas de la siguiente manera, 30 preguntas para las prioridades competitivas, siete preguntas para palancas de fabricación y nueve preguntas para el aspecto estrategia de manufactura. El enlace de la encuesta se puede observar en el Anexo F.

2.4 Evaluación del Modelo

Para evaluar la herramienta de medición y el modelo de madurez digital, se realizó un prueba piloto, la cual es la aplicación de la encuesta a una pequeña muestra de la población, sin importar si es representativa o no (Ríos, 2012). De acuerdo a revisión literaria, se encontró que una prueba piloto debe tener diez muestras, para cumplir con el criterio de suficiencia (Burgos & Escalona, 2017). Por lo tanto, el tamaño de muestra para la siguiente investigación es de diez empresas. Con la prueba piloto, se buscó verificar si la herramienta diseñada, es capaz de medir el nivel de madurez de las empresas de manufactura.

3. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

El tipo de muestreo fue no probabilístico por conveniencia, ya que, se seleccionaron las empresas de manufactura que estén disponibles en ese momento (Salvador, 2016). El tamaño de muestra, este caso fue de diez empresas para poder cumplir con el criterio de suficiencia (Burgos & Escalona, 2017). De esta manera, se realizó la encuesta a 11 empresas. Sin embargo, diez de estas fueron aptas para el estudio, ya que, cumplían con la población objetivo, que son empresas de manufactura.

3.1 Prueba de Consistencia

En primer lugar, para el análisis de datos se realizó una prueba de consistencia interna, la misma que busca determinar la fiabilidad de escalas o tests (Ledesma, Molina & Valero, 2002). Esta prueba, fue realizada mediante el Alfa de Cronbach, ya que, esta es la más utilizada en investigaciones, porque relaciona la longitud de la prueba (número de preguntas o items) y la varianza total del test, que se da por la covarianza de sus preguntas (Ledesma, Molina & Valero, 2002). Se lo calcula mediante la fórmula mostrada en la Figura 3.

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_{sum}^2} \right)$$

Figura 3. Ecuación de normalización. Fuente: Ledesma, R., Molina, G., & Valero, M. (2002). Análisis de consistencia mediante Alfa de Cronbach: un programa basado en gráficos dinámicos. Psico-USF, 7 (2), 143-152.

Donde k hace referencia al número de items (en este caso, se les conoce como items a las preguntas de la encuesta realizada) en la prueba, a la varianza de cada item (varianza del conjunto de respuestas de cada pregunta) se le conoce como S_i^2 , y a la varianza de la suma de las respuestas globales de cada empresa se le conoce como S_{sum}^2 (Ledesma, Molina & Valero, 2002).

Mediante el uso de excel, se pudo determinar que el Alfa de Cronbach para esta prueba es de 0.9587, lo cual indica que el test realizado para el presente de trabajo tiene un alto grado de validez, ya que, el mayor valor de Alfa es uno y por lo general 0.80 se considera aceptable (García, Gonzales y Jornet, 2010). Es decir, que este test se encuentra dentro del rango aceptable de fiabilidad

3.2 Calculo del Nivel de Madurez

Para determinar el nivel de madurez, se utilizaron tres distintas maneras de calcular el mismo, con el objetivo de visualizar si el nivel varía considerablemente de una opción a

otra. En la primera opción, se utilizó una normalización directa de cero a 100 puntos (escalas del nivel de madurez digital). Es decir, que se obtuvo el puntaje global mediante la suma de los resultados de cada pregunta y a ese resultado se lo normalizó, con el uso de la ecuación mostrada en la Figura 4. La opción dos, consistió en dar un peso igual a todas los aspectos principales (Prioridades Competitivas, Palancas de Fabricación y Rol Estratégico de la manufactura), es decir que, cada aspecto principal equivale a 33,33333333. De igual forma, se normalizó con la ecuación de la Figura 3 la suma de las respuestas equivalentes a cada aspecto, en un rango de cero a 33,33333333 y luego se sumo los resultados obtenidos para obtener el nivel de madurez total.

$$y = y_a + (x - x_a) \frac{(y_b - y_a)}{(x_b - x_a)}$$

Figura 4. Ecuación de normalización. Fuente: Vivares, J. (2017). Modelo de madurez para valorar el sistema de producción y formular una estrategia de manufactura (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia,

Donde

y = Valor normalizado

y_a = Valor máximo utilizado para la normalización

y_b = Valor mínimo utilizado para la normalización

x_b = Valor máximo de suma de respuestas en la encuesta

x_a = Valor mínimo de suma de respuestas en la encuesta

x = Puntaje obtenido en la encuesta

Por último, la opción tres consistió en ponderar a cada aspecto principal. Para esto, se utilizó la ponderación por convenio, es decir que, se asigna pesos a cada indicador según el grado de importancia que se considere pertinente, por lo que se considera una ponderación arbitraria (Palacios, 2002). En este caso, se ponderaron los distintos aspectos principales de acuerdo con el criterio del investigador.

Por consiguiente, se dio un peso equivalente a 50 puntos para las prioridades competitivas, ya que, estas están estrechamente relacionadas con el desempeño del sistema de manufactura. Mientras que, para palancas de fabricación y rol estratégico de la manufactura se asignó un peso de 25 puntos a cada uno, ya que, estos dos se relacionan con procesos de apoyo y planes de inversión tecnológica. Ambos son necesarios por igual, para poder elevar el nivel de madurez digital en manufactura de una empresa. Cabe recalcar, que al igual que la opción 2 se utilizó la fórmula de normalización mostrada en la Figura 4, en donde se normalizó el puntaje obtenido en cada aspecto, y posteriormente se sumaron los resultados normalizados para obtener el nivel de madurez digital global. Una vez calculado el nivel de madurez digital, mediante las tres opciones mencionadas anteriormente, se realizó una comparación de las tres opciones cuyos resultados se muestran en la sección de resultados.

4. RESULTADOS

4.1 Resultados de preguntas demográficas

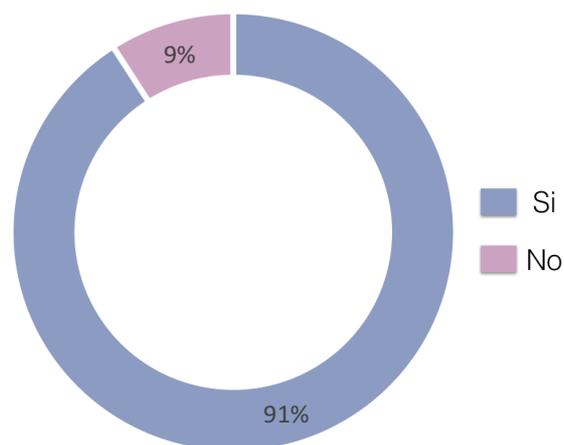


Figura 5. Porcentaje de empresas encuestadas. Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, la encuesta fue aplicada a 11 empresas. En la Figura 7 se puede observar que, el 9% de empresas encuestadas no son de manufactura. Mientras, que el 91% de empresas si pertenecen a la industria manufacturera. De esta manera, se puede decir que de las 11 empresas que realizaron la encuesta, diez si son de manufactura.

Mientras que, una no pertenece a la industria de la manufactura. Por esta razón, se eliminó a esta empresa del estudio, ya que, no cumplía con las características de la población objetivo definida para esta investigación.

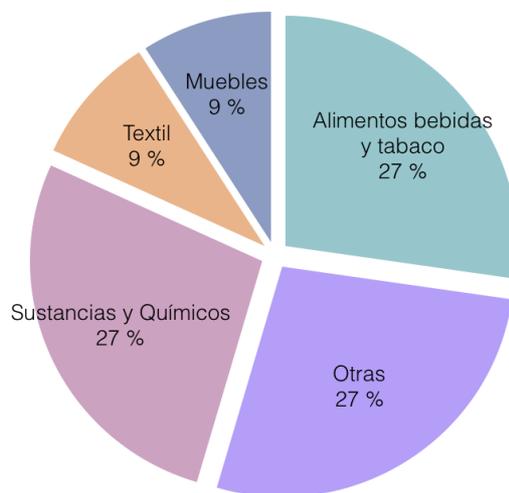


Figura 6. Actividad de empresas encuestadas. Fuente: Elaboración propia

En la figura 8, se puede observar la actividad de cada empresa encuestada. De esta manera, podemos decir que el 27% de las empresas pertenecen a Alimentos, bebidas y tabaco, el 9% son de la Industria Textil, el 9% de la Industria de Muebles, el 27% de la industria de Sustancias y Químicos. Mientras que, el 27% restante pertenecen a la categoría otros.

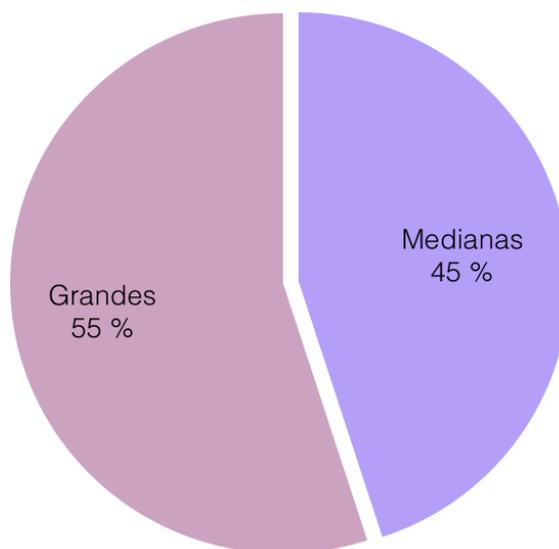


Figura 7. Tamaño de empresas encuestadas. Fuente: Elaboración propia

La Figura 9 indica el tamaño de las empresas encuestadas. Donde, se puede observar que el 55% son de tamaño mediano. Mientras que, el 45% son empresas de manufactura medianas. Es decir, que dentro de la prueba piloto se encontraron cinco empresas medianas y seis empresas grandes.

4.2 Comparación de opciones para cálculo de Madurez Digital

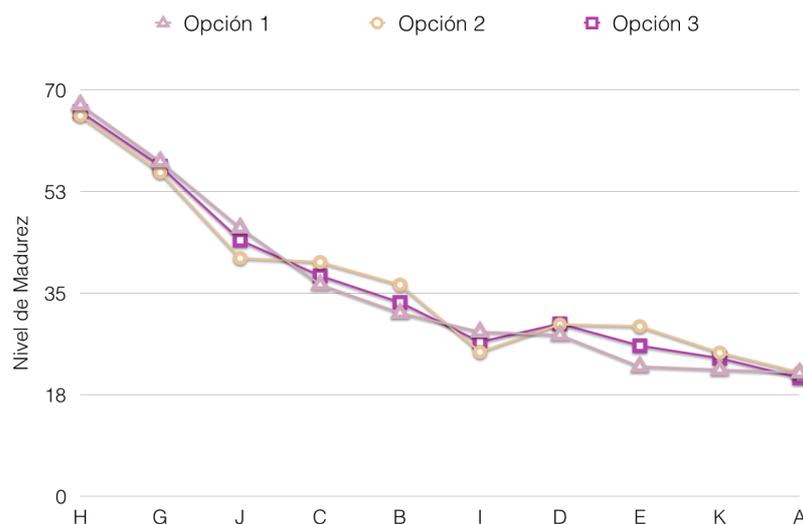


Figura 8. Comparación de opciones de cálculo. Fuente: Elaboración propia

Se realizó una comparación de las tres opciones de cálculo determinadas en la sección de recolección de datos, y se realizó una gráfica de los niveles de madurez digital de cada una de las empresas. Por lo tanto, como se puede observar en la Figura 10, las tres opciones no varían en gran medida, ya que, las líneas se encuentran muy cercanas unas de otra. Sin embargo, las empresas B y J son las que más varían su nivel de madurez digital, según se observa en la gráfica.

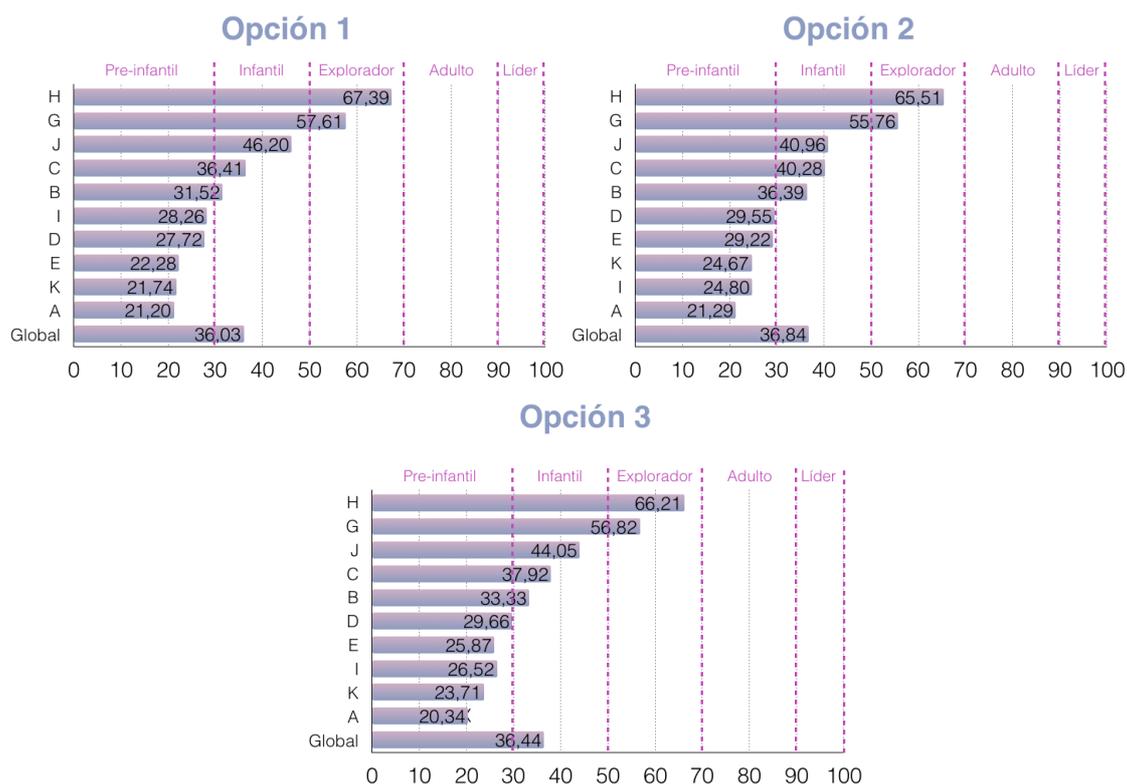


Figura 9. Nivel de Madurez Digital Con las distintas opciones. Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron gráficos de barra para observar de mejor manera los niveles de madurez digital de cada empresa, y comparar claramente las opciones de cálculo. En efecto, al observar la Figura 11, se puede decir que los niveles de madurez no cambian a gran medida de una opción a otra. Las empresas no cambiaron su nivel de madurez digital con ninguna de las tres opciones. Sin embargo, la opción uno y tres son las que más cercanas están. Mientras que, la opción dos si tiene más variación entre las dos opciones, ya que, las empresas J y E tienen una variación mayor con la opción dos. Es decir, que la empresa J entre la opción uno y tres solo cambio con dos puntos. Por el contrario, entre la opción uno y dos existe una variación de seis puntos, y entre la opción dos y tres existe una diferencia de cuatro puntos. Lo mismo ocurre con la empresa E, esta cambio solo con dos puntos de la opción uno a la opción tres. Mientras que, entre la opción uno y dos existe una variación de cinco puntos, y entre la opción dos y tres hay una variación de tres puntos.

De esta manera, se descarta la opción dos para realizar conclusiones en base al nivel de madurez digital de las empresas, ya que, esta es la que más varía con relación entre la uno y la tres. De la misma forma, al ser la opción tres una ponderación por convenio se descarta también como alternativa para la obtención de resultados, ya que, para ponderar es necesario realizar un estudio exhaustivo, para conocer la opinión de las empresas en cuanto a preferencias por prioridades. Por lo tanto, la opción uno es la elegida para la obtención de resultados.

4.3 Nivel de Madurez para empresas encuestadas

Cabe recalcar que, para la presentación de resultados, se codificaron los nombres de las empresas con letras, para mantener la privacidad de estas. De igual forma, en todos los resultados se eliminó a la empresa F, ya que, no cubrió el requerimiento de ser empresa de manufactura

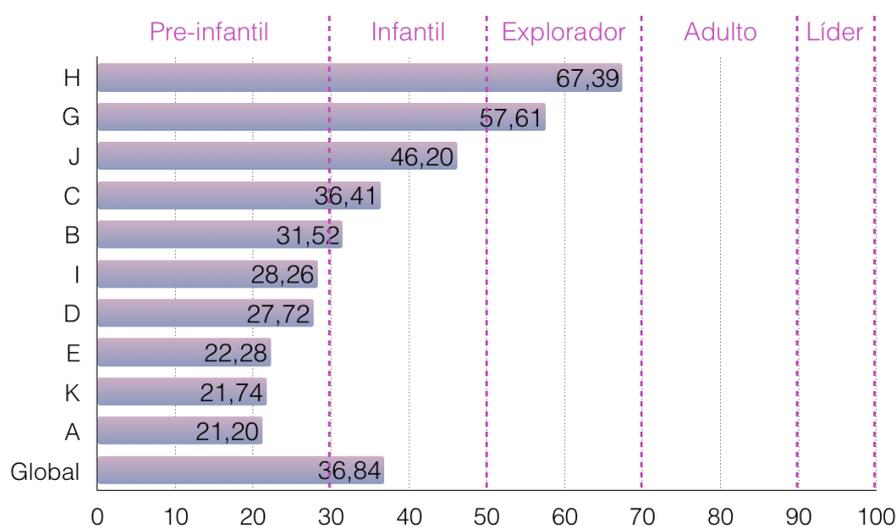


Figura 10. Nivel de Madurez digital Fuente: Elaboración propia

En la figura 12, se puede observar los resultados obtenidos mediante la encuesta y el análisis de datos. De acuerdo a los resultados, se puede decir que la empresa H se encuentra en un nivel de madurez digital mayor con relación a las otras empresas encuestadas. Esta empresa se encuentra en un nivel de Madurez explorador, lo que implica un desempeño tecnológico suficiente para mantenerse competitivo en la nueva era

de la industria 4.0. Además, se puede observar que el nivel de madurez digital global de las empresas de manufactura se encuentra en infantil con un puntaje de 38.84, lo cual indica que las empresas están poco desarrolladas y tienen varias debilidades en cuanto a herramientas tecnológicas.

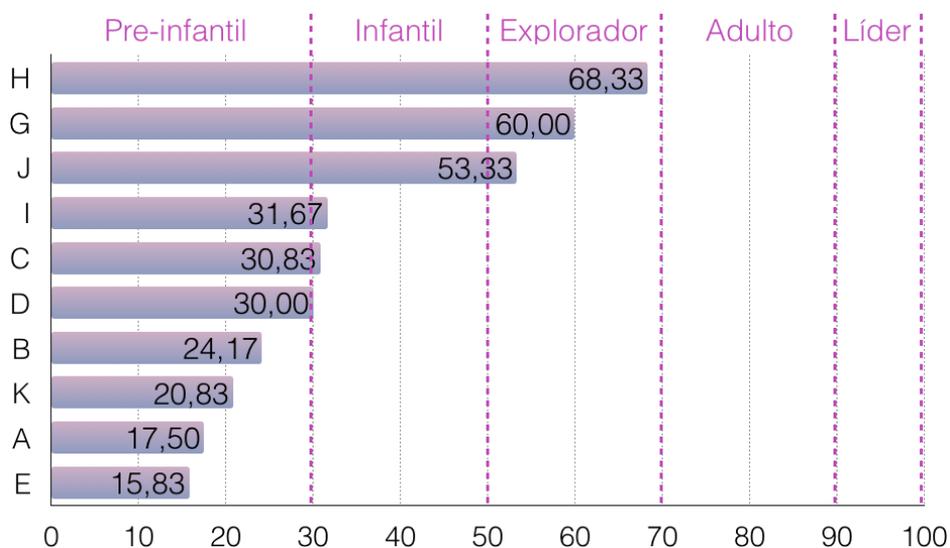


Figura 11. Nivel de madurez de Prioridades Competitivas. Fuente: Elaboración propia

La Figura 13 indica el nivel de madurez digital de las empresas en cuanto a prioridades competitivas. Aquí, se puede observar que las empresas H, G y J tienen un nivel de madurez mayor en relación a las empresas restantes. Estas tres empresas, se encuentran en un nivel explorador, lo que implica que se encuentran desarrollados, pero no en su totalidad. Sin embargo, esto les permite mantenerse competitivos en la nueva era de la industria 4.0. Dos empresas se encuentran en un nivel infantil, lo cual implica que existen varias debilidades en las prioridades competitivas. Por último, las empresas restantes se encuentran en un nivel pre-infantil de madurez digital, lo que implica que estas empresas tienen bajo desempeño tecnológico en las prioridades de este aspecto.

Para comprender de mejor manera, lo que está ocurriendo con estas empresas en cuanto a prioridades competitivas, se presentan los resultados por prioridades pertenecientes al aspecto principal de Prioridades Competitivas. La Figura 14 muestra los resultados obtenidos.

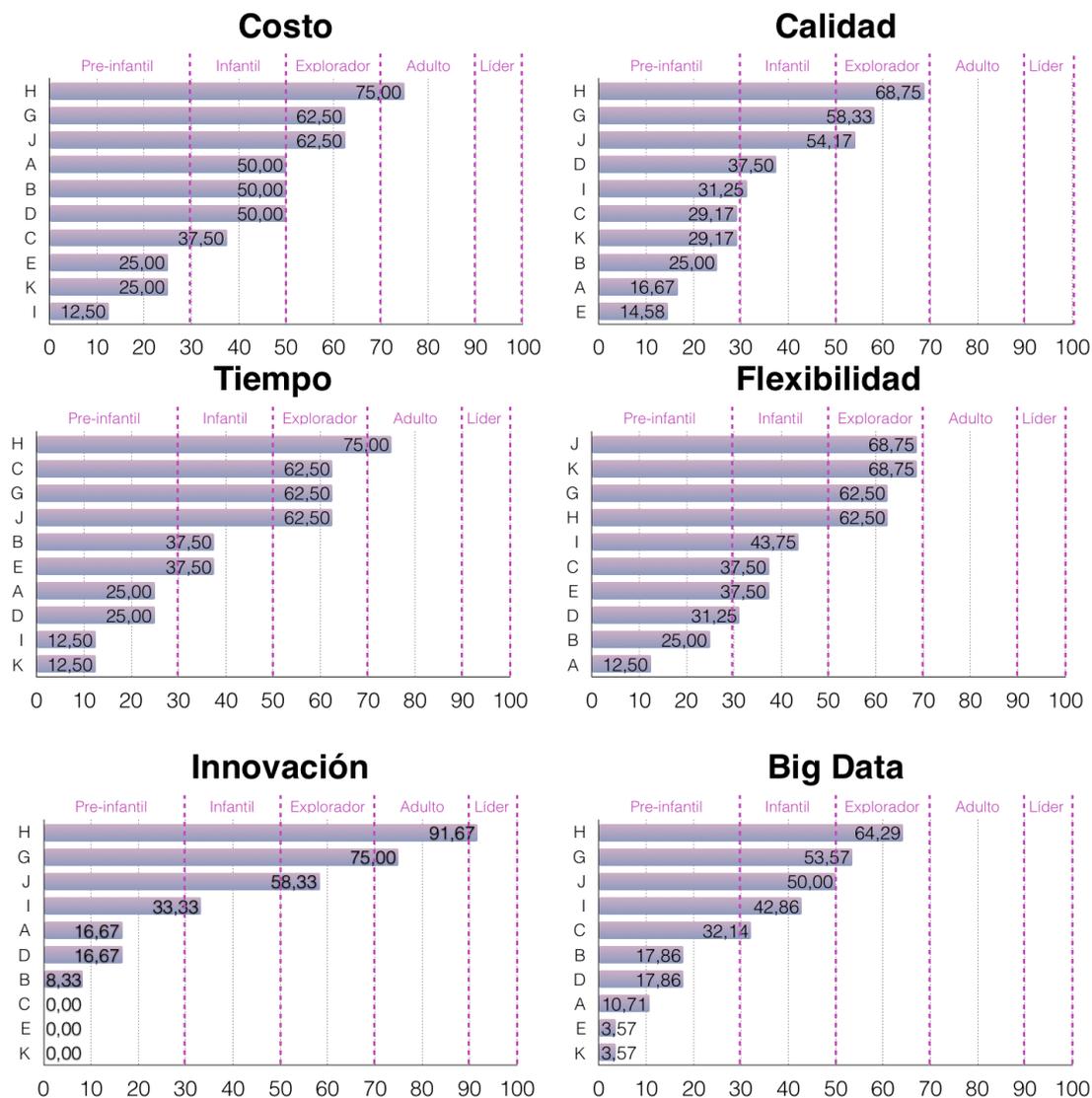


Figura 12. Dimensiones de Prioridades Competitivas. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Figura 14, se puede decir que la empresa H se encuentra en un nivel explorador en la mayoría de prioridades. Mientras que, en innovación tiene un nivel líder, lo que indica que esta empresa se enfoca más en la prioridad innovación mediante el uso de herramientas tecnológicas de industria 4.0. De igual forma, esta empresa alcanzó un nivel adulto en la prioridad tiempo, lo cual indica que la empresa también centra su enfoque en la velocidad de entrega de producto terminado mediante la implementación tecnológica. Por otro lado, se puede observar que la empresa C centra su enfoque en la prioridad tiempo, ya que, obtiene un nivel de madurez mayor en relación a las otras

prioridades, lo que indica, que para esta empresa lo más importante es la implementación tecnológica para aumentar la velocidad de entrega de producto terminado.

De la misma manera, se puede observar que la prioridad más importante para la empresa G es la innovación, ya que, obtiene un nivel de madurez mayor en relación a las otras prioridades. Para la empresa J, el Big Data es la prioridad donde existe mayor enfoque e implementación tecnológica, ya que, se obtuvo un mayor nivel de madurez digital. Por el contrario, las empresas C, E y K obtuvieron un puntaje de cero en la prioridad Big data, lo cual indica que estas empresas no se enfocan de ninguna manera en esta prioridad. Cabe recalcar, que cada empresa tiene un enfoque diferente en cuanto a prioridades competitivas, y esto se puede observar en los puntajes, ya que, estos son mayores, obteniendo un nivel mayor en la prioridad de mayor importancia, para la empresa. De la misma forma, obtienen un menor puntaje en las prioridades en las que menos se enfocan.

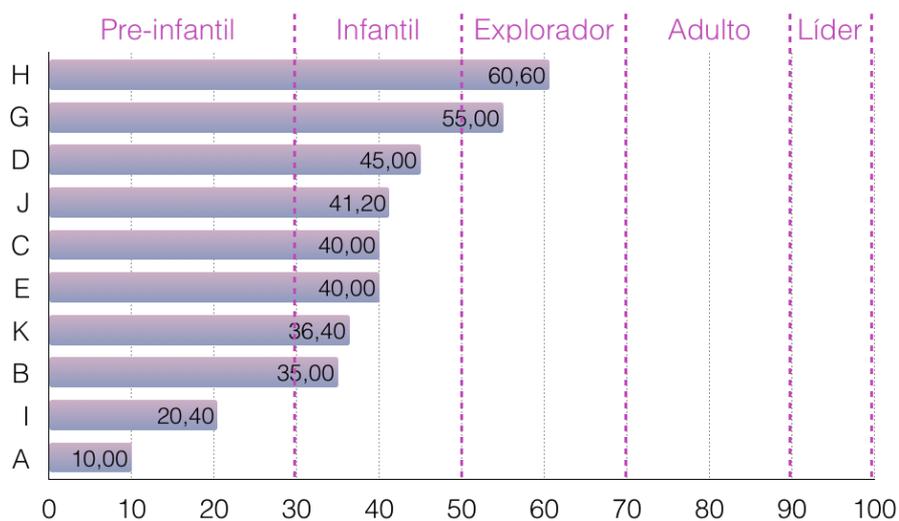
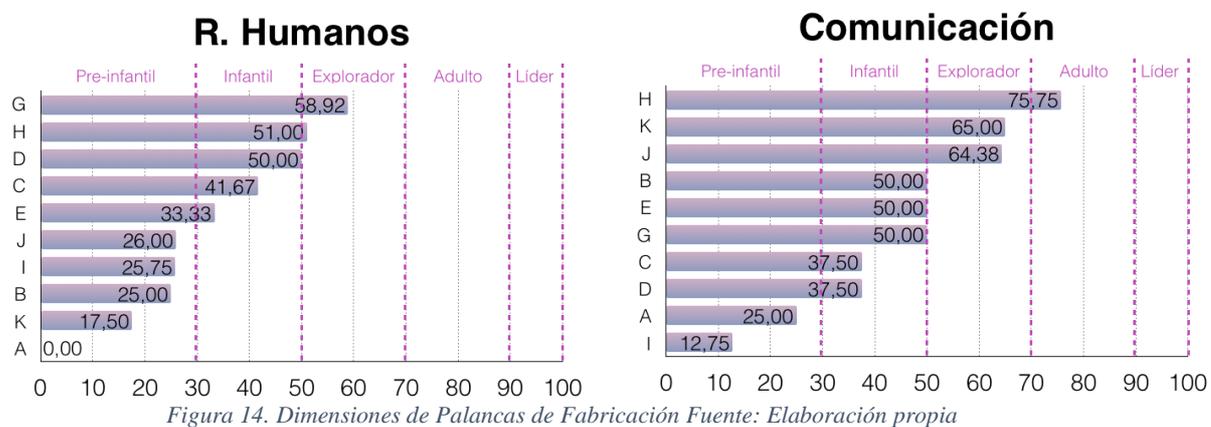


Figura 13. Dimensiones de Prioridades Competitivas. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16, se puede observar los resultados de madurez digital en cuanto a palancas de fabricación, lo cual hace referencia a los procesos de apoyo del sistema de manufactura. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede decir que las empresas H y G tienen un mayor nivel de madurez en relación a las demás. Estas obtuvieron un nivel

explorador, lo que indica que cuentan con implementación tecnológica para mantenerse competitivos.

Mientras que, de las empresas restantes seis están en un nivel infantil, lo que implica que estas empresas tienen varias debilidades en el desempeño tecnológico en este aspecto. Y dos se encuentran en un nivel pre-infantil, lo que implica que tienen un bajo desempeño tecnológico en este aspecto principal. De la misma forma, con el fin de comprender de mejor manera en que prioridad se enfocan más las empresas, se graficaron los resultados por prioridades pertenecientes a este aspecto principal.



La Figura 17, muestra los resultados por prioridades. Se puede observar que la empresa G se enfoca más en obtener personal capacitado, con habilidades y aptitudes para manejar herramientas tecnológicas de industria 4.0. De la misma forma, se puede observar que la empresa H tiene como prioridad la comunicación, es decir que se enfoca más en el internet de las cosas y la computación en la nube. De igual forma, las empresas D, C e I se enfocan más en la prioridad recursos humanos. Mientras, que las empresas E, J, B, K y A tienen como prioridad la comunicación.

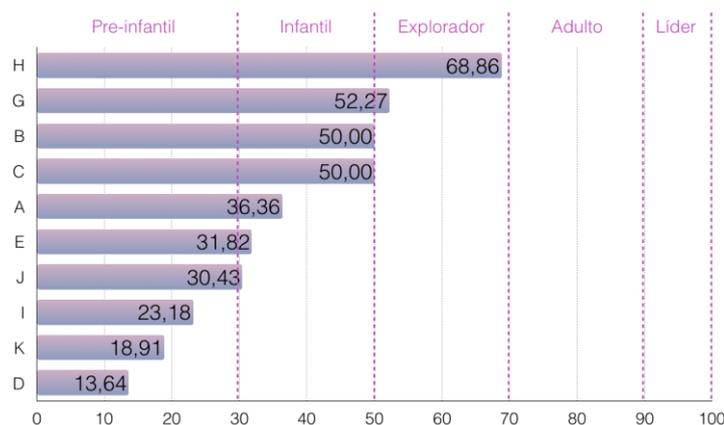


Figura 15. Nivel de Madurez de Estrategias de Manufactura Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18, se puede observar que las empresas H y G tienen un nivel explorador en cuanto a rol estratégico de la manufactura, lo cual implica que existe capital y conocimiento competitivo suficiente para poner en marcha planes de mejora continua para subir de nivel de madurez digital. Por otro lado, las empresas B, C, A y E tienen un nivel de madurez infantil, lo que implica que estas empresas cuentan con conocimiento y capital de inversión destinado a la transformación digital. Sin embargo, estas son bastante débiles. Mientras que las otras empresas, tienen un bajo desempeño en este aspecto, es decir que, tienen conocimiento pero no existen planes de mejora.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación, abarcó el diseño y validación de un modelo de madurez digital capaz de caracterizar a las empresas de manufactura ecuatorianas en términos de digitalización, lo cual se pudo realizar de manera satisfactoria, ya que, el modelo diseñado sí es capaz de arrojar el nivel de madurez de las empresas y se enfoca en la característica principal de un sistema de manufactura, es decir, sus procesos de transformación. De igual forma, la consistencia de la herramienta diseñada es alta y tiene gran validez, ya que, se realizó una prueba de consistencia con el alfa de Cronbach, y en el resultado de esta prueba se encontró dentro de los rangos aceptables cercanos a uno. Por lo tanto, este modelo sí puede considerarse como una guía, que ayuda a las organizaciones a transformar sus

capacidades para encajar en la nueva era de tecnología (Ochoa, 2016). Debido, a que muestra a las empresas una visión macro de los procesos de transformación y así estas pueden tener un punto de partida, para saber hacia donde ir.

De la misma forma, se concluye que los aspectos principales y los elementos a medir determinados, si abarcan el proceso de transformación en el sistema de manufactura, ya que, los elementos de medición definidos a lo largo de la investigación, fueron capaces de arrojar el nivel de madurez digital de los procesos de transformación de las organizaciones.

Asimismo, en base a la prueba piloto realizada se concluye de manera preeliminar que el nivel de madurez digital de las empresas de manufactura ecuatorianas se encuentra en un nivel infantil, lo que implica que la mayoría de empresas tiene varias debilidades en cuanto implementación tecnológica y su desempeño en los aspectos principales es bajo. Sin embargo, es importante mencionar que se debe realizar un estudio que abarque un número representativo de empresas, con el fin de sacar conclusiones en cuanto al nivel de madurez global de las empresas de manufactura ecuatorianas.

A pesar, de que se cumplieron con todos los objetivos planteados, no fue posible realizar un nuevo juicio de expertos, con el fin de conocer las ponderaciones de los aspectos principales. Por esta razón, se recomienda realizar un nuevo juicio de expertos para poder validar estas ponderaciones y calcular el nivel de madurez digital de acuerdo a los criterios de un experto, según el criterio de conveniencia. Además, se recomienda añadir una nueva pregunta demográfica para conocer el tamaño de las empresas encuestadas y poder sacar conclusiones en base a esto.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abundis, V. (2016). Beneficios de las encuestas electrónicas como apoyo para la investigación. *Tlatemoani Revista de Investigación Académica*, (22), 168-186. Recuperado el 25 de febrero de 2019 de <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/22/encuestas.pdf>
- ABG. (2013). *Industria Manufacturera*. Recuperado de <http://abg.org.gt/pdfs/junio2013/SECTOR%207%20INDUSTRIA%20A%20JUNIO%20DE%202013.pdf>
- AMETIC. (2015). *Transformación digital. Visión y Propuesta de AMETIC*. Recuperado de <http://www.thinktur.org/media/TD-Vision-y-Propuesta.-AMETIC.pdf>
- Anttonen, E., Begi, H., Dubs, M., Helliwell, I., & Selva, J. (2017). Digital plant maturity model. *Intech*, 64(3), 32-34. Retrieved from <https://search.proquest.com.ezbiblio.usfq.edu.ec/docview/1913307929?accountid=36555>
- Barco, J. A. (2016). la transformación digital: la palanca para una cadena de suministro adaptable, ágil y flexible/digital transformation: the lever to a responsive, flexible and fast supply chain. *Boletín De Estudios Económicos*, 71(219), 483-505. Recuperado de <https://search.proquest.com.ezbiblio.usfq.edu.ec/docview/1864119544?accountid=36555>
- Basco, A., Beliz, g., Coats, D. & Garneo, P. (2018). *Industria 4.0 Fabricando el Futuro. Argentina: Unión Industrial Argentina*
- Bertolli, M. at. al. (2017). Revisión de Modelos de Madurez en la Medición del Desempeño, *INGE CUC*, 12 (1), 70-83. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.07>
- Burgos, F. & Escalona, E. (2017). Prueba Piloto: validación de instrumentos y procedimientos para recopilar data antropométrica con fines ergonómicos, *CEST-UC*, 12 (1), 31-47
- Castañeda, M., et. al. (2010). *Procesamiento de Datos y análisis estadístico utilizando SPSS* [Archivo PDF]. Porto Alegre. EdIPUCRS. Recuperado de <http://www.pucrs.br/edipucrs/spss.pdf>

- Cial Dun & Bradstreet. (2018). Análisis de la industria Manufactura: Ecuador. Recuperado el 7 de noviembre del 2018 de <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/external-reports/IA-Ecuador-Manufacturing2018.pdf>
- Digitalización de la información. (2013). *Ecured*. Recuperado el 3 de diciembre de 2018 de https://www.ecured.cu/index.php?title=Digitalizaci%C3%B3n_de_la_informaci%C3%B3n&oldid=2061678.
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D., Papakostas, N., Mourtzis, D., Michalos, G., & Georgoulas, K. (2009). Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(5), 451-462.
- Fernández, A. & Pajares, R. (s.f.). la digitalización del mundo industrial. Recuperado el 23 de septiembre de 2018 de <http://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/Economia Industrial/RevistaEconomiaIndustrial/405/FERNANDEZ%20Y%20PAJARES.pdf>
- García, R., Gonzáles, J., & Jorner, J.M. (2010). *SPSS: Análisis de fiabilidad Alfa de Cronbach* [archivo PDF]. Recuperado el 13 de abril de 2019 de https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0801B.pdf
- García Sánchez, J., Aguilera Terrats, J. R., & Castillo Rosas, A. (2011). Guía técnica para la construcción de escalas de actitud. *Odiseo*, revista electrónica de pedagogía, 8 (16). Recuperado el {día, mes y año} a partir de: <http://www.odiseo.com.mx/2011/8-16/garcia-aguilera-castillo-guia-construccion-escalas-actitud.html>
- Guasch, J. (2017). II, Fóru. Cárnic. Eurate: Barcelona
- Guerrero, G. (2013). Las prioridades competitivas de manufactura y su papel en la competitividad local: proyecciones del sector industrial de Ibagué a través del análisis multivariante. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (75), 26-37.
- Hernandez, M. & Torres, G. (2018). Modelos de evaluación de la madurez y preparación hacia la Industria 4.0: una revisión de literatura, *Actualidad y nuevas tendencias*, 6 (20), 61-78
- Hidalgo, A. (2014). La importancia de la industria manufacturera en el crecimiento y la competitividad de un país. *Dyna*, 89 (4), 377-381

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2016). *Evolución del Sector Manufacturero ecuatoriano 2010-2013*. Cuaderno de Trabajo. Recuperado el 7 de noviembre del 2018 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/SECTOR%20MANUFACTURERO.pdf>
- Junquera, F. G. (2016). la transformación digital de la banca ¿hacia la banca sin bancos?/the digital transformation of banking: towards banking without banks? *Boletín De Estudios Económicos*, 71(219), 429-456. Recuperado de <https://search.proquest.com.ezbiblio.usfq.edu.ec/docview/1864119546?accountid=36555>
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2015). Strategy, not technology, drives digital transformation. *MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press*, 14, 1-25.
- Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia Cirp*, 16, 3-8.
- Ledesma, R., Molina, G., & Valero, M. (2002). Análisis de consistencia mediante Alfa de Cronbach: un programa basado en gráficos dinámicos. *Psico-USF*, 7 (2), 143-152.
- Lu, Y., Morris, K. C., & Frechette, S. (2016). Current standards landscape for smart manufacturing systems. National Institute of Standards and Technology, NISTIR, 8107, 39.
- Matas, A. (2018). Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 20(1), 38-47. <https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1347>
- Mettler, T., & Rohner, P. (2009, May). Situational maturity models as instrumental artifacts for organizational design. In *Proceedings of the 4th international conference on design science research in information systems and technology* (p. 22). ACM.
- Mettler, T. (2010). Thinking in terms of design decisions when developing maturity models. *International Journal of Strategic Decision Sciences (IJSDS)*, 1(4), 76-87.
- Núñez, L. (2007). *¿Cómo se elabora un cuestionario?*. Barcelona: Universidad de Barcelona. Recuperado el 25 de febrero de 2019 de <http://www.ub.edu/ice/recerca/pdf/ficha8-cast.pdf>

- Ochoa, O. L. (2016). Modelos de Madurez digital:¿ en qué consisten y qué podemos aprender de ellos?/digital maturity models: what are they and what can we learn from them?. *Boletín de Estudios Económicos*, 71(219), 573.
- Paéz, G. et. al. (2017). Revisión de modelos de madurez en la gestión de los procesos de negocio, *Ingeniare*, 26 (4), 685-698
- Palacios, J.L. (2002). Estrategias de ponderación de la respuesta en encuestas de satisfacción de usuarios de servicios. *Metodología de Encuestas*, 2 (4), 175-193.
- Pérez, J. & Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: Una Aproximación a su utilización. *Avances en medición*, (6), 27-36. Recuperado el 8 de febrero de 201 de http://www.humanas.unal.edu.co/psicometria/files/7113/8574/5708/Articulo3_Juicio_de_expertos_27-36.pdf
- Pöppelbuß, J., & Röglinger, M. (2011, June). What makes a useful maturity model? a framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. In *ECIS* (p. 28).
- Rodríguez, N. (2012). Situación de la ciencia, la tecnología e innovación en el Ecuador. *Dialnet: La Técnica*, (7), 8-9.
- Salvador, I. (2016). *Tipos de muestreo* [Archivo PDF]. Honduras. Facultad de Ciencias Médicas. Recuperado de <http://www.bvs.hn/Honduras/Embarazo/Tipos.de.Muestreo.Marzo.2016.pdf>
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166.
- Solis, B. (2016). *The six stages of digital transformation maturity*. Altimer. Recuperado el 11 de septiembre de 2018 de <https://www.cognizant.com/whitepapers/the-six-stages-of-digital-transformation-maturity.pdf>
- Thornley, C., Carcary, M., Connolly, N., O'Duffy, M., & Pierce, J. (2016). Developing a maturity model for knowledge management (KM) in the digital age. Paper presented at the 874-880. Recuperado de <https://search.proquest.com.ezbiblio.usfq.edu.ec/docview/1860279477?accountid=36555>
- Trading Economics. (2018). GDP from Manufacturing. Recuperado el 27 de agosto del 2018 de <https://tradingeconomics.com/ecuador/gdp-from-manufacturing>

- UVEG. (2012). *Introducción a los sistemas de Manufactura*. Recuperado de <http://roa.uveg.edu.mx/repositorio/licenciatura/190/Introduccionalosistemasdemmanufactura.pdf>
- Vadde, S., Kamarthi, S. V., & Gupta, S. M. (2004, March). Modeling smart sensor integrated manufacturing systems. *In Intelligent Manufacturing 5263*, 30-38.
- Vivares, J. (2017). *Modelo de madurez para valorar el sistema de producción y formular una estrategia de manufactura* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Weill, P. (1992). The relationship between investment in information technology and firm performance: A study of the valve manufacturing sector. *Information systems research*, 3(4), 307-333.
- Wendler, R. (2012). The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and software technology*, 54(12), 1317-1339.
- Westerman, G., Calmédjane, C., Bonnet, D., Ferraris, P., & McAfee, A. (2011). Digital Transformation: A roadmap for billion-dollar organizations. *MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting*, 1-68.
- Winter, R., & Schelp, J. (2006, April). Reference modeling and method construction: a design science perspective. In *Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied computing* (pp. 1561-1562). ACM.
- Ynzunza Cortés, C., & Izar Landeta, J., & Bocarando Chacón, J., & Aguilar Pereyra, F., & Larios Osorio, M. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Conciencia Tecnológica*, (54)

ANEXO A: NIVELES DE MADUREZ DIGITAL

Tabla 4. Descripción de los niveles de madurez digital

Nivel	Descripción del nivel
Pre-Infantil	Bajo desempeño en todos los aspectos principales, se puede denominar al sistema de manufactura como caótico, sin herramientas tecnológicas (Vivares, 2017).
Infantil	Poco desarrollado con varias debilidades, pocas herramientas tecnológicas (Vivares, 2017).
Explorador	Desarrollado pero no en su totalidad, tecnología suficiente para la mantener competitiva a la empresa en le nueva era de la industria 4.0 (Vivares, 2017).
Adulto	Desempeño de los aspectos principales elevado, tecnología utilizada bastante elevada en relación a competencia directa (Vivares, 2017).
Líder	Sumamente elevado en relación a sus competidores, uso de tecnología de punta. Se mantiene como la mejor en el mercado (Vivares, 2017).

ANEXO B: ASPECTOS DE INDUSTRIA 4.0

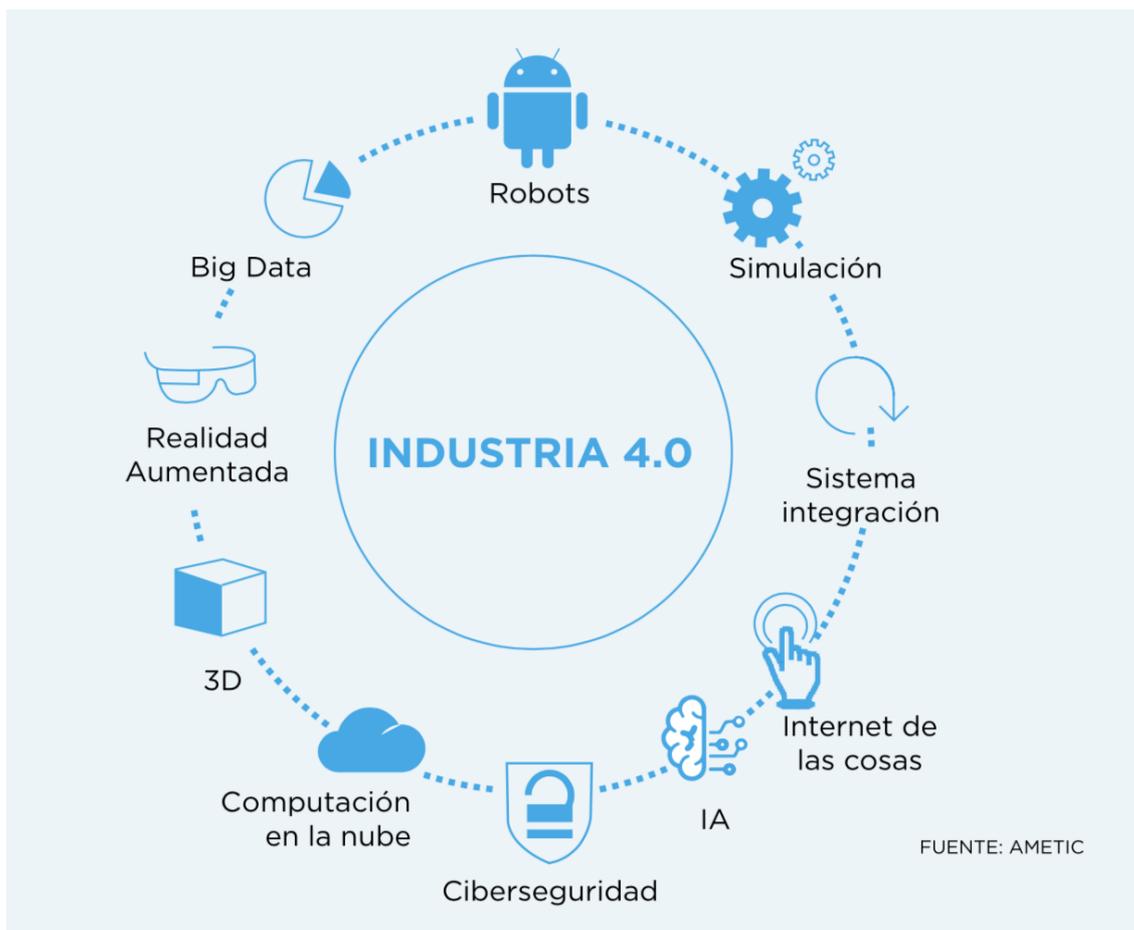


Figura 16. Aspectos Industria 4.0. Fuente: Basco, A., Beliz, g., Coats, D. & Garneo, P. (2018). *Industria 4.0 Fabricando el Futuro*. Argentina: Unión Industrial Argentina

ANEXO C: PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

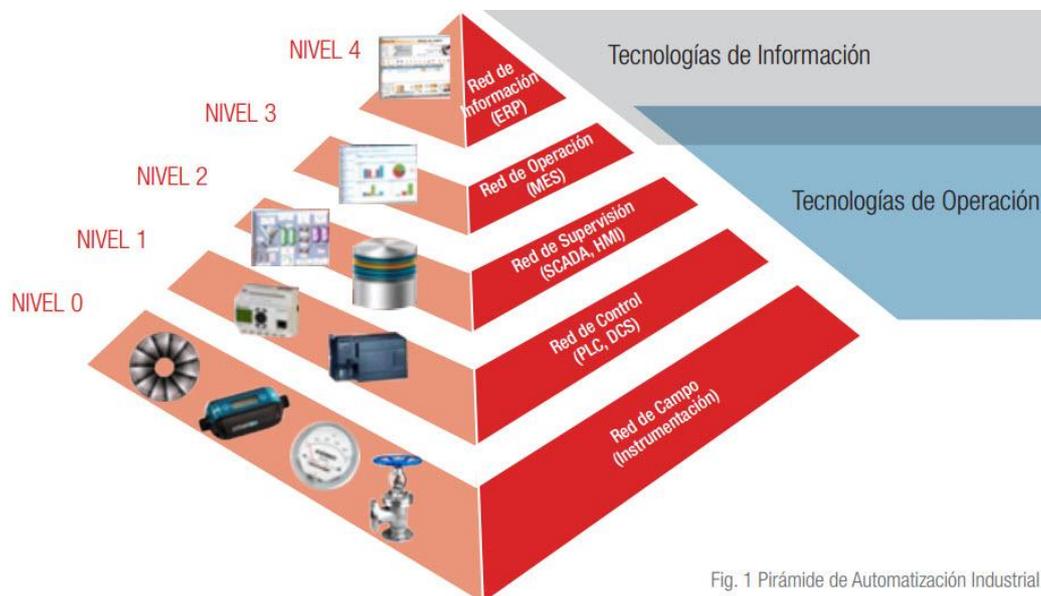


Fig. 1 Pirámide de Automatización Industrial

Figura 17. Pirámide de Automatización Industrial. Fuente: Guasch, J. (2017). II, Fóru. Càrnico. Eureat: Barcelona

ANEXO D: ENCUESTA PARA EXPERTOS PARA VALIDAR ASPECTOS A MEDIR

La encuesta fue realizada mediante google forms y se puede encontrar en el link mostrado a continuación

Link:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdewHtmTcqXajuUgbuwZODeKww434t9LZpa5mnH0KZ25rE8Kw/viewform?usp=sf_link

ANEXO E: ESCALA DE VALORACIÓN PARA EL JUICIO DE EXPERTOS

Calificación	1	2	3	4	5
Significado	Muy Poco adecuada	Poco adecuada	Puede incluirse o no	Adecuada	Muy adecuada

Figura 18. Opciones para puntuación juicio de expertos. Fuente: elaboración propia

ANEXO F: ENCUESTA PARA EMPRESAS

La encuesta se realizó en la plataforma google forms y se puede encontrar en el siguiente link

Link: <https://forms.gle/KM3T3jNkkWhJ4ws49>