



Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Facultad de Ingeniería

Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

Propuesta de estrategias de digitalización mediante las tecnologías de la información y comunicación aplicadas en el proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico, basadas en la industria 4.0

T E S I S

Que para obtener el grado de:

Maestría en planeación estratégica e innovación

Presenta:

Ing. Luis Roberto Guevara Guerrero

Asesor:

Dra. Liliana Margarita Felix Ávila

San Luis Potosí, S. L. P.

Mayo de 2025



5 de diciembre de 2024

ING. LUIS ROBERTO GUEVARA GUERRERO
P R E S E N T E

En atención a su solicitud de Temario, presentada por la **Dra. Liliana Margarita Félix Ávila**, Asesora de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestro en Planeación Estratégica e Innovación**, me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 5 de diciembre del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"Estrategia de digitalización en el proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico mediante tecnologías de la industria 4.0"

Introducción.

1. Antecedentes de las revoluciones industriales y de una empresa del ramo cerámico.
2. Fabricación de piso cerámico mediante tecnologías de la industria 4.0.
3. Metodología para digitalizar el procesamiento de crudo en una empresa del ramo cerámico utilizando tecnologías basadas en la industria 4.0.
4. Resultados de la implementación de tecnologías de la industria 4.0 en el proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico.

Conclusiones.

Referencias.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

A T E N T A M E N T E



DR. EMILIO JORGE GONZALEZ GALVÁN
DIRECTOR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCION



UASLP
Universidad Autónoma
de San Luis Potosí



FACULTAD DE
INGENIERÍA



CENTRO DE
**INVESTIGACIÓN
Y ESTUDIOS
DE POSGRADO**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
Área de Investigación y Estudios de Posgrado

D E C L A R A C I Ó N

El presente trabajo que lleva por título:

“Propuesta de estrategias de digitalización mediante las tecnologías de la información y comunicación aplicadas en el proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico, basadas en la industria 4.0”

se realizó en el periodo enero de 2024 a julio de 2024 bajo la dirección de la Doctora.
Liliana Margarita Felix Ávila.

Originalidad

Por este medio aseguro que he realizado el trabajo reportado, y la escritura de este documento de tesis. para fines académicos sin ayuda indebida de terceros y sin utilizar otros medios más que los indicados.

Las referencias e información tomadas directa o indirectamente de otras fuentes se han definido en el texto como tales y se ha dado el debido crédito a las mismas.

El autor exime a la UASLP de las opiniones vertidas en este trabajo escrito y asume la responsabilidad total del mismo.

Este trabajo no ha sido sometido como tesis o trabajo terminal a ninguna otra institución nacional o internacional en forma parcial o total, exceptuando el caso cuando existe un convenio específico de doble titulación celebrado entre ambas instituciones.

Se autoriza a la UASLP para que divulgue este documento para fines académicos.

El autor del trabajo escrito, Ing. Luis Roberto Guevara Guerrero

Resumen

La presente tesis propone estrategias de digitalización mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el proceso de crudo de una empresa del ramo cerámico, basadas en los principios de la Industria 4.0. La investigación se centra en la optimización de la eficiencia operativa en la línea 7 de producción, identificando y digitalizando variables críticas del proceso de prensado y esmaltado.

El estudio parte de un diagnóstico que evalúa la preparación de la empresa para la implementación de tecnologías digitales. A través del análisis de metodologías existentes, se evaluaron diversas alternativas, incluyendo la renovación de maquinaria, la contratación de servicios externos y el desarrollo de un sistema propio de digitalización.

Se optó por una solución interna basada en la captura digital de datos mediante dispositivos móviles industriales y una infraestructura de red inalámbrica segura. Se desarrolló un sistema de control que permite registrar y analizar en tiempo real variables en el proceso productivo.

Los resultados obtenidos tras la implementación indican una mejora significativa en la trazabilidad de datos y la toma de decisiones operativas. La digitalización demostró ser un primer paso clave en la transición de la empresa hacia un modelo de Industria 4.0, proporcionando una base para futuras optimizaciones basadas en análisis de datos.

Esta investigación contribuye a la literatura sobre la digitalización en la industria cerámica y sirve como referencia para empresas del sector que buscan iniciar su transformación digital sin necesidad de grandes inversiones en maquinaria nueva.

Palabras clave: Tecnologías de la información y comunicación, industria 4.0, proceso de crudo en producción de cerámicos.

Abstract

This thesis proposes digitization strategies using information and communication technologies (ICT) in the raw material process of a ceramic company, based on the principles of Industry 4.0. The research focuses on the optimization of operational efficiency in production line 7, identifying and digitizing critical variables of the pressing and glazing process.

The study starts with a diagnosis that evaluates the readiness of the company for the implementation of digital technologies. Through the analysis of existing methodologies, several alternatives were evaluated, including the renewal of machinery, the hiring of external services and the development of an in-house digitization system.

An in-house solution based on digital data capture using industrial mobile devices and a secure wireless network infrastructure was chosen. A control system was developed to record and analyze variables in the production process in real time.

The results obtained after implementation indicate a significant improvement in data traceability and operational decision making, Digitization proved to be a key first step in the company's transition to an Industry 4.0 model, providing a basis for future optimizations based on data analytics.

This research contributes to the literature on digitization in the ceramic industry and serves as a reference for companies in the sector looking to start their digital transformation without the need for large investments in new machinery.

Keywords: Information and communication technologies, industry 4.0, raw process in ceramic production.

Dedicatoria

A mi esposa Ruth, por ser mi motor constante, por impulsarme a seguir adelante incluso cuando las fuerzas flaqueaban, y por creer en mí más de lo que yo mismo lo hacía. Tu amor, paciencia y fe han sido luz en cada paso de este camino.

A mis padres y hermanas, por su apoyo incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por estar siempre presentes, incluso en la distancia. Gracias por ser mi hogar y mi raíz.

A mis doctores, César Lozano y Guillermo González, por acompañarme en el proceso personal. Gracias por su guía, su escucha generosa y por ayudarme a descubrirme en cada etapa de esta travesía. Su apoyo fue clave para transformar esta tesis en una experiencia de crecimiento profundo.

Agradecimientos

A la Dra. Liliana Félix, mi asesora, por su paciencia, dedicación y valioso acompañamiento durante todo este proceso. Su guía y experiencia fueron fundamentales para dar forma a este trabajo y para mantener el rumbo en los momentos de incertidumbre.

A todo el personal de la empresa que, con su colaboración, disposición y conocimientos, contribuyó de manera significativa al desarrollo de esta investigación. Cada aportación fue esencial para enriquecer y consolidar los resultados aquí presentados.

Finalmente, agradezco de manera especial a la Facultad de Ingeniería y al Posgrado en Planeación Estratégica e Innovación de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, por brindarme el espacio, las herramientas y la formación necesaria para llevar a cabo este proyecto.

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo 1. Antecedentes de las revoluciones industriales y de una empresa del ramo cerámico.	3
1.1 Antecedentes teóricos	3
1.2 Antecedentes del problema caso de estudio	6
1.3 Problemática	8
1.4 Preguntas de investigación	10
1.6 Justificación	13
1.7 Objetivos	14
1.7.1 Objetivo general	14
1.7.2 Objetivos Particulares	14
1.8 Alcance de la investigación	14
1.9 Estado del arte, composición de la industria 4.0 y tendencias de implementación.	17
1.9.1 La digitalización de procesos como primer paso en la implementación de una estrategia para la manufactura 4.0.	29
Hipótesis	32
Capítulo 2. Fabricación de piso cerámico mediante tecnologías de la industria 4.0	33
2.1 Composición de la industria 4.0	33
2.2 Proceso de fabricación de piso cerámico	35
2.3 Importancia de la Industria 4.0 en el ramo de fabricación de piso cerámico	39
2.5 Guía ASEBEC: expertos en el sector de fabricación de maquinaria y bienes para la industria cerámica	42
Resumen del capítulo	47
Capítulo 3. Metodología para digitalizar el proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico utilizando tecnologías basadas en la industria 4.0	50
3.1 Nivel de investigación	50
3.2 Diseño de Investigación	50
3.3 Población y muestra	51
3.4 Técnica e Instrumento de recolección de datos	51
Capítulo 4. Resultados	66
4.1 1ra. Fase - Diagnóstico de la situación actual	66
4.1.1 Diagnóstico de la eficiencia operativa de las variables de producción.	66
4.1.2 Diagnóstico tecnología instalada en la empresa caso de estudio	68

4.1.3 Diagnóstico del nivel de implementación de ciberseguridad y protección de datos .	72
4.2 2da fase – Análisis de propuestas	76
4.2.1. Propuesta 1. Cambio de equipos de producción por nuevos modelos con tecnología presente 1 4.0	76
4.2.2. Propuesta 2. Contratación de un servicio de proveeduría para instalación de sensores monitores.....	78
4.2.3. Propuesta 3. Iniciar con la etapa de digitalización del proceso.....	80
4.2.4. Propuesta de variables a digitalizar.....	84
4.3 3ra. Fase - Implementación.....	86
4.3.1 Selección de propuesta y arranque de implementación.	86
4.3.2 Definición de variables a digitalizar	87
4.3.3 Componentes del sistema de control.....	92
4.3.4 Valoración de la propuesta implementada.	106
4.3.5 Evaluación del nivel de digitalización después de la implementación de la propuesta.	111
Conclusiones	117
BIBLIOGRAFÍA.....	118
ANEXO 1.....	121
guía rápida para operários.	121
ANEXO 2.....	122
guía rápida para operários.	122

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Revoluciones industriales (Rozo-García, 2020).....	5
Ilustración 2: Tecnologías presentes en la industria 4.0 (Rozo-García, 2020).....	6
Ilustración 3: Volumen producido por la línea 7 durante el mes de diciembre 2023.....	12
Ilustración 4: Desperdicio en prensado y esmaltado en la línea 7.....	13
Ilustración 5: Evolución de la industria y su grado de complejidad (Guía Asebec 4.0, 2018)	34
Ilustración 6: Proceso de fabricación de piso cerámico (Molina & Morales, 2012)	37
Ilustración 7: Etapas propuestas para guiar a la industria en el proceso de adaptación a la industria 4.0 (Guía Asebec 4.0, 2018).....	42
Ilustración 8: Proceso de incorporación tecnológica para la I4.0 (Mercado, 2021)	43
Ilustración 9: Diagrama de flujo que esquematiza la metodología del proceso de digitalización, basado en la Industria 4.0, en la línea 7 del proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico. .	54
Ilustración 10: Reporte de esmaltado. Elaboración interna.....	56
Ilustración 11: Reporte de prensado y secado. Elaboración interna.....	57
Ilustración 12: Tablero de captura de variables de producción	67
Ilustración 13: Diagnóstico de la eficiencia operativa de la línea 7 de prensado y esmaltado.....	68
Ilustración 14: Verificación de la preparación (Elaboración propia)	70
Ilustración 15: Calificación grado de preparación industria 4.0.....	71
Ilustración 16: Resultado de la evaluación en la empresa caso de estudio por número de empleados. (Consult, 2023).....	72
Ilustración 17: Gráfica de calificación inicial NIST.	75
Ilustración 18: Modelo de equipo listo para implementar la digitalización de la Industria 4.0	76
Ilustración 19: Herramientas de monitoreo de la línea de producción	77
Ilustración 20: Portada del evento Transformación industrial México.	79
Ilustración 21: Seis fases principales para el proceso de adaptación a la industria 4.0.	81
Ilustración 22: Identificación línea 7 de línea de esmaltado	89
Ilustración 23: Carteles para señalar toma de muestras.....	91
Ilustración 24: Ejemplo de punto de toma de muestra	91
Ilustración 25: Esquema de infraestructura	92
Ilustración 26: Diagrama entidad relación (ER) del sistema.....	94
Ilustración 27: diagrama UML de casos de uso del sistema.	99
Ilustración 28: Pantalla de inicio sistema de control de producción	99
Ilustración 29: Pantalla con menú principal del sistema de control de producción	101
Ilustración 30. Resultado del mapa de calor Wifi de la empresa caso de estudio.....	107
Ilustración 31: Uso de tableta por personal operativo.....	109
Ilustración 32: Estado previo y posterior de la eficiencia operativa a la propuesta de implementación.	110
Ilustración 33: Antes y ahora del control de proceso de la empresa caso de estudio	111
Ilustración 34: Gráfica que muestra el diagnóstico de informatización de la empresa antes de implementar la solución propuesta.....	115
Ilustración 35: Gráfica que muestra el diagnóstico de informatización de la empresa después de implementar conceptos de la industria 4.0	116

Índice de tablas

Tabla 1. Cronograma de implementación.	11
Tabla 2. Categorización de tecnologías y principios de diseño de la industria 4.0 (Ustundag & Emre, 2018)	24
Tabla 3. Marco de referencia para la implementación de conceptos de la industria 4.0 para la transformación del proceso de fabricación de piso cerámico.....	48
Tabla 4. Inventario de tecnología presente. (Elaboración propia).....	58
Tabla 5. Relación de conceptos de la I4.0 en la empresa caso de estudio.....	58
Tabla 6. Tabla NIST. (National Institute of Standards and Technology, 2017)	60
Tabla 7. Tabla para analizar propuestas de implementación.....	61
Tabla 8. Inventario de variables del proceso. Elaboración propia	62
Tabla 9. Resumen de tecnología propuesta	63
Tabla 10. Listado de pruebas a realizar para validar la propuesta implementada	64
Tabla 11. Relación de conceptos de la I4.0 en la empresa caso de estudio (Elaboración propia).....	68
Tabla 12. Resultados del inventario de la tecnología presente.....	69
Tabla 13. Tabla de evaluación del nivel de preparación para la I4.0	70
Tabla 14. Nivel de cumplimiento NIST. (National Institute of Standards and Technology, 2017)..	74
Tabla 15. Resumen de primera propuesta.	77
Tabla 16. Resultados segunda propuesta.....	80
Tabla 17. Resultado tercero propuesta	83
Tabla 18. Propuesta de variables a digitalizar	85
Tabla 19. Tabla de resultados de propuestas de implementación.	86
Tabla 20. Variables para digitalizar en prensado y secado	88
Tabla 21. Variables para digitalizar en esmaltado	88
Tabla 22. Comparativa antes y después de la implementación en la línea 7 de producción	114

Introducción

El presente trabajo de investigación busca abordar la digitalización en el proceso de fabricación de piso cerámico, mediante la introducción de conceptos de la industria 4.0, una práctica en boga en las industrias de clase mundial y que tiene como objetivo la conectividad global de las empresas.

Como lo menciona (Becerra, 2020), esta tendencia surgió en Alemania en 2011 para referirse a una política económica de gobierno de ese país, que establece estrategias de alta tecnología, representadas por la automatización, la digitalización de procesos y el uso de tecnologías electrónicas y de la información.

La organización objeto de estudio es una empresa mexicana dedicada a la fabricación de piso cerámico con más de 130 años de historia desde su fundación. Tiene presencia de fabricación en México, Colombia, Perú, Chile, Argentina, Brasil y España y cuenta con presencia comercial en Latinoamérica, Estados Unidos de América y Europa.

La investigación se enfoca en una de las plantas productivas de México ubicada en el estado de San Luis Potosí. Esta empresa cuenta con:

- Dos silos
- Ocho prensas
- Ocho líneas de esmaltado
- Cuatro líneas de horneado
- Seis líneas de clasificado de producto final
- Un almacén de producto terminado
- Áreas de soporte

- Un almacén de refacciones.

La empresa productora surte las necesidades del mercado nacional siendo sus principales clientes: los distribuidores mayoristas de materiales para la construcción en el territorio mexicano.

Este trabajo de investigación busca optimizar la eficiencia operativa del proceso de producción para asegurar el cumplimiento en los indicadores de calidad, volumen de producción y desperdicio propuestos por la organización de forma mensual aplicando tecnologías de la información.

Se plantea implementar una solución de digitalización para dar seguimiento a las variables de producción, cumpliendo con valores máximos y mínimos establecidos. La generación de registros digitales mediante su captura busca ayudar mediante procesos estadísticos al análisis de los principales parámetros de producción. Además, se busca realizar este trabajo de investigación para sentar las bases teóricas en el uso de equipos de medición autónomos que permitan la obtención de los datos de manera automatizada sin depender de la captura de estos por parte del operador de la línea.

Es intención del presente trabajo de investigación, también sentar las bases para preparar a la empresa caso de estudio en la implementación de la metodología y tecnologías de industria 4.0, innovando solo en una parte del proceso de fabricación que tiene que ver con la parte del prensado y esmaltado, en una de las líneas de producción, la cual será analizada para aplicar procesos digitales y analizar los cambios en la eficiencia operativa.

Capítulo 1. Antecedentes de las revoluciones industriales y de una empresa del ramo cerámico.

1.1 Antecedentes teóricos

Dada la posibilidad de estar conectados desde múltiples dispositivos y poder estar cerca desde cualquier parte del mundo, esto supone un cambio en la forma de interactuar del ser humano, lo que cambiará esencialmente la forma en que se vive, trabaja y se relaciona con las personas (Schwab, 2016).

Esta revolución tiene un crecimiento sin precedentes en el poder de procesamiento, almacenamiento de información y acceso al conocimiento, realizando profundos cambios entre las industrias y los mercados, cambiando la forma de vida actual y la de las generaciones futuras, reformando la economía, la sociedad, la cultura y la humanidad misma.

Para poder hablar de la industria 4.0 es necesario remontarse a la historia de las revoluciones industriales de la humanidad ya que sirven como referencia para contrastar la importancia del momento actual en que vive y se forma la actual sociedad.

Revoluciones industriales

La primera revolución industrial, se remonta a la aparición del motor de vapor y a la subsecuente aparición del tren de vapor, en las ciudades más importantes del mundo, aunque iniciándose en Inglaterra. Hablar de este cambio supuso una transformación en la manera de vivir de muchas personas, transformando la vida rural a la cambiante y acelerada vida en las ciudades.

La segunda revolución industrial, a finales del siglo diecinueve, tomó como base los avances de la industria eléctrica lo que trajo consigo las cadenas de producción en masa. Cuenta de ello, da la aparición de la iluminación eléctrica en las principales ciudades del mundo.

Hablar de la tercera revolución industrial, obliga a retomar el florecimiento de la industria de la computación en los años 70s, 80s y 90s (Schwab, 2016). La aparición de los semiconductores y la rápida evolución de la industria significó un importante avance en la forma de producir y de vivir no solo para las personas sino para las organizaciones. El incremento del trabajo especializado en las áreas de la computación fue punta de lanza para el crecimiento de muchas empresas e incluso el nacimiento de grandes corporaciones dedicadas a la informática que hasta hoy día siguen siendo unas de las más fuertes a nivel mundial.

La cuarta revolución industrial se caracteriza por un internet que se volvió más accesible desde cualquier parte del mundo y sobre todo móvil, por sensores más pequeños y potentes que son cada vez más baratos, y por la inteligencia artificial y el aprendizaje de la máquina (Schwab, 2016).

Mediante el uso de redes, equipos de cómputo, sensores y software especializado, se ha dado paso a la creación de nuevas industrias inteligentes cuyo valor agregado, es el poder contar con productos hechos a la medida y necesidades del cliente. A su vez, permite a los productores, saber los comportamientos de consumo e incorporarlos casi de manera inmediata a sus líneas de producción, para de esta manera responder de una forma más ágil al mercado.

Quinta revolución industrial.

En un apartado especial, se puede mencionar a un nuevo modelo disruptivo en la industria que busca que elementos que antes se consideraban como exclusivos del ser humano se apliquen con elementos de la inteligencia artificial. Así por ejemplo se tienen criterios como creatividad, empatía y pensamiento crítico que son ya reproducibles en el contexto de la tecnología actual. Existen tecnologías capaces de crear música, leer emociones del ser humano o incluso contar con la capacidad de toma de decisiones tomando en cuenta diferentes perspectivas. Es así como, a diferencia de la cuarta revolución industrial, este nuevo modelo, traerá consigo una fusión entre el humano y la máquina para desarrollar un nuevo tipo de personas con mayores capacidades y habilidades (Xavier Moreano).

En la Ilustración 1, se encuentra una breve descripción de la historia de las revoluciones industriales a través del tiempo y en donde se observa como la cuarta revolución industrial marca una era en la transformación digital de las empresas.

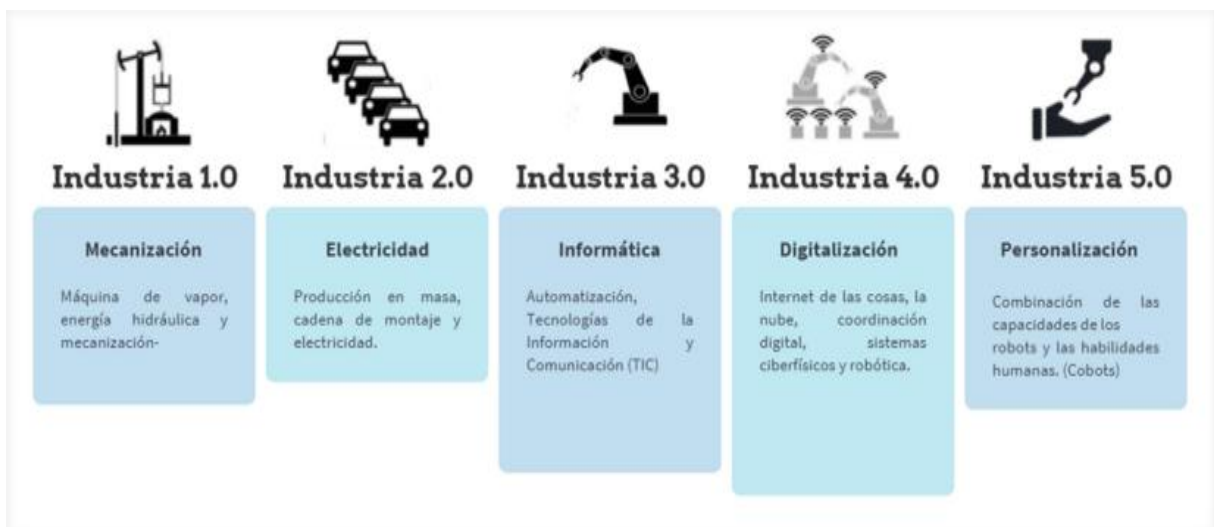


Ilustración 1: Revoluciones industriales (Rozo-García, 2020).

Este concepto trae consigo el trabajo de actividades multidisciplinarias dentro de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) descritas en la Ilustración 2.



Ilustración 2: Tecnologías presentes en la industria 4.0 (Rozo-García, 2020)

1.2 Antecedentes del problema caso de estudio

De origen y capital estadounidense, la empresa caso de estudio se fundó en 1890 con el principal negocio en la fabricación de ladrillo. Para el año de 1929, la empresa es adquirida por capital mexicano y desde esta fecha ha permanecido como una de las principales empresas mexicanas y con mayor historia en la industria. Debido a los orígenes de capital que la convertían en una empresa familiar, no se contaba con procesos estandarizados, que poco a poco a través de los años se incorporó, volviéndola una empresa de clase mundial (Conecta, 2020).

La década de los 90's se caracterizó por una serie de cambios organizacionales tendientes a colocar a la empresa como una empresa con estándares internacionales de calidad con el propósito de seguir enfrentando con éxito las oportunidades generadas por la apertura comercial (Conecta, 2020).

Su identidad corporativa, se ha fortalecido reflejando el compromiso con la calidad y la innovación, así como la visión de crear valor mediante la diferenciación. El plan de inversiones implementado en los distintos negocios, aunado al dinamismo del sector de la construcción permitieron capitalizar oportunidades, dotar a la empresa con una estructura de costos competitiva, desarrollar nuevos productos y contar con una plataforma tecnológica de vanguardia (Conecta, 2020).

Históricamente la captura de datos se ha realizado de manera manual conociendo los parámetros de cada máquina, equipo y proceso, actuando en consecuencia cuando algún parámetro no está dentro de rango. Todo esto se lleva desde formatos impresos que escriben a mano los operadores en línea y que tienen como objetivo la gestión del turno por parte del supervisor. Cada formato es almacenado en carpetas plásticas a manera de histórico y como evidencia para futuras auditorías de proceso o como rastreo para revisar problemas detectados en el futuro.

La empresa lleva varios años de trayectoria y ha incursionado en diferentes ámbitos de negocio de manera competitiva, sin embargo, se ha observado que no cuenta con una forma de registro automatizado para las variables de producción, lo cual genera las siguientes repercusiones:

- Dependencia de la experiencia del personal para poder operar la línea de producción. Dada el alto índice de rotación en la zona industrial de San Luis Potosí, la cantidad de personal altamente capacitado es baja y va en disminución, lo que además significa un riesgo ya que el personal con experiencia se acerca a su edad de jubilación.

- Reprocesos. Debido a que no se tiene una herramienta para el rastreo de las variables, es muy común que las piezas con defectos se tengan que revisar una vez que se ha llevado un importante volumen de producción.
- Falta de comunicación. Los esfuerzos por controlar la producción se hacen de manera departamental, dejando de lado el objetivo global, lo que conlleva a que constantemente se tengan fallas en la comunicación con el personal operativo, de mantenimiento y de supervisión.

Se han realizado esfuerzos locales para implementar herramientas de seguimiento que suelen tomar mucho tiempo de gestión, lo que al paso del tiempo ha causado que se desechen o dejen de usar. Estos esfuerzos se enfocan sobre todo en el uso de hojas de cálculo que se llevan de manera independiente por cada una de las áreas que conforman el proceso, por lo que no existe una comunicación ágil ni colaborativa con el uso de los datos.

1.3 Problemática

Las herramientas de seguimiento, aunque son un esfuerzo que ayuda a controlar la producción en el proceso crudo de fabricación cerámico, trae consigo numerosos inconvenientes enlistados a continuación:

- Tiempos de análisis altos por tener la necesidad de buscar en carpetas plásticas las hojas que contienen los datos de producción que se desea revisar.
- Falta de seguimiento a problemas entre turnos de producción.
- Dificultad para poder dividir e identificar los problemas correspondientes a las máquinas, materiales o errores humanos.
- Falta de una herramienta que permita el análisis estadístico de las variables de producción.

- La consulta ágil de un histórico de producción.
- Producto con defecto que llega al final del proceso incrementando el costo del desperdicio.

Una de las soluciones para poder atacar y alcanzar los objetivos de volumen y desperdicio, fijados por la empresa, es contar con personal capacitado y con la experiencia que le permita a la organización tener un proceso más gestionado y con mayor calidad. Esto, además pudiera permitir la reducción de costos por cubrir dobles turnos, reprocesos en el trabajo, gastos de transporte para el personal que tiene que cubrir los dobles turnos y sobre todo a mejorar la calidad de vida de los operadores de producción. La dificultad para la mayor parte de las empresas de la zona industrial de San Luis Potosí es retener al personal debido a la alta demanda de mano de obra que existe en la región debido a la creciente instalación de empresas del ramo automotriz, que le permite a una persona elegir entre las mejores opciones del mercado laboral. Esta solución sin embargo solo ataca el hecho de la falta de capacitación y especialización del personal, dejando de lado la profesionalización, mejora e innovación del control de producción, por lo que, aunque tuviéramos una mejora en la capacitación y una mayor retención del talento del personal, se seguiría adoleciendo de un control de proceso integral, moderno y fácil de usar.

Otra de las opciones para poder atacar y mejorar el control de proceso, es adquirir con los proveedores fabricantes, máquinas modernas que ya incluyen sensores capaces de medir y controlar las variables de la producción. Esta solución ideal para cualquier empresa se debe analizar para obtener una relación de costo y tiempo de devolución de la inversión por medio de un proyecto. Sin embargo, no deja de ser obvio que los gastos de inversión por desinstalar los equipos actuales, la instalación de los equipos nuevos, la capacitación del personal que suele hacerse en el extranjero, y la consecuente adaptación implicaría en sí un reto no solo

económico sino estratégico para la empresa, si se tiene solo el objetivo de mejorar el control de las variables de producción.

La producción de piso cerámico presenta deficiencias en el proceso de prensado y esmaltado, evidenciadas por la presencia de indicadores problemáticos que afectan la eficiencia y calidad del producto

Enunciado formal del problema.

La ausencia de digitalización en el monitoreo y control de variables clave dificulta la detección temprana de fallas, aumentando los costos operativos y los reprocesos. Ante este contexto, es necesario evaluar cómo la implementación de herramientas digitales puede optimizar dichos procesos, mejorando la trazabilidad, reduciendo desperdicios y generando un impacto positivo en la relación costo-beneficio para la empresa.

1.4 Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación del presente trabajo son las siguientes:

- ¿Cuáles son los indicadores problema en el proceso de prensado y esmaltado en la línea 7 de la empresa objeto de estudio durante el último año?
- De acuerdo con las variables problema ¿Cómo puede mejorar la digitalización el proceso de prensado y esmaltado de piso cerámico en la línea 7 de la empresa caso de estudio?

1.5 Delimitación del problema

Derivado de la implementación del proyecto de digitalización en la organización, lo ideal es plantear que el presente proyecto de investigación se guíe por el cronograma propuesto delimitando su implementación en la línea 7 de prensado y esmaltado de la empresa caso

de estudio. La programación se plantea para terminar en el mes de enero del año 2024 con la evaluación de los resultados y con las siguientes fases dentro del proyecto, véase la Tabla 1.

A – Arranque del proyecto

I – Infraestructura / actividades previas

C – Capacitación

E – Estabilización

R – Evaluación resultados

PLANTA	2024						
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
SAN LUIS	A	I	I	C	E	R	R

Tabla 1. Cronograma de implementación.

Respecto a la elección de la prensa y línea de esmaltado 7, se puede mencionar que se da debido a que es la línea que más alto desperdicio presenta y menor volumen de producción de acuerdo con los objetivos planteados por la organización.

En la Ilustración 3 que se grafica el comportamiento de la producción del mes de diciembre, se puede observar el volumen producido de esta línea expresado en metros cuadrados. Como se puede revisar, la Eficiencia General del Equipo (EGE) de la línea se plantea en los 5800 m² por día y se representa por la línea punteada verde de la gráfica. Este eje objetivo se obtiene de acuerdo con la capacidad de la máquina calculado por su velocidad y piezas prensadas por minuto. El comportamiento día a día representado en el eje de las X muestra como el volumen producido no es estable y casi siempre se encuentra por debajo del objetivo, línea punteada en color verde. Además, también es posible observar cómo no se tiene una

tendencia de producción con resultados estables lo que llevan al final un resultado de pérdida de 26,192 m² sólo en esta línea, lo que impacta en los gastos y el rendimiento de la inversión de la empresa.

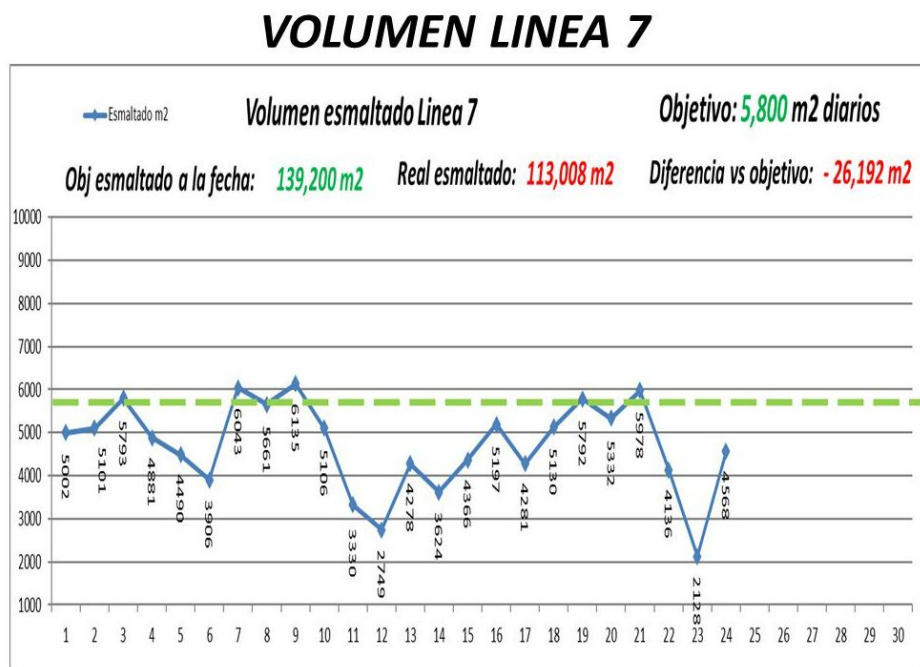


Ilustración 3: Volumen producido por la línea 7 durante el mes de diciembre 2023

En la Ilustración 4 se muestra en el eje de las Y, el porcentaje de desperdicio generado por el mismo comportamiento de falta de eficiencia en la línea. En el eje de las X se grafican los días en el mes de abril. Se puede observar como el desperdicio marcado como objetivo de máximo permitido, es del 0.4% para la prensa y el 0.9% para la línea de esmaltado representado por la línea punteada verde respectivamente. En ambos casos, el desperdicio en esta línea es superior e inestable lo que lleva a concluir la falta de control en las variables que involucran al proceso de fabricación de crudo en esta línea.

DESPERDICIO PRENSA / LINEA 7

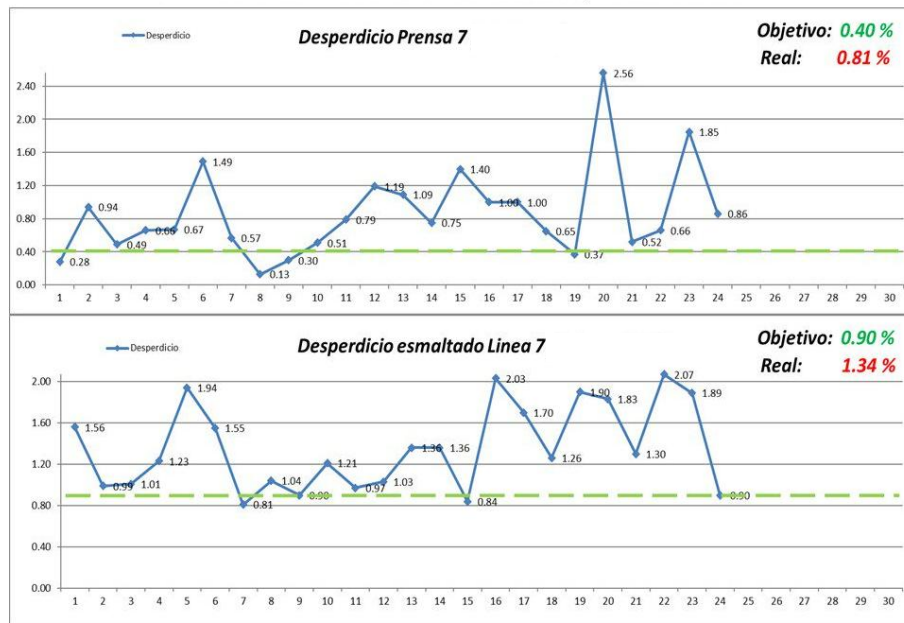


Ilustración 4: Desperdicio en prensado y esmaltado en la línea 7.

1.6 Justificación

Se busca que por medio de conceptos adoptados por la industria 4.0, se pueda hacer la transición hacia una empresa con conceptos de la industria 4.0 del control de producción. La digitalización ha traído consigo a la industria que lo ha adoptado, la posibilidad de contar con una producción más ágil y con mayor calidad. El principal objetivo es eliminar los formatos impresos y brindar a los encargados de la producción una herramienta capaz de analizar los datos y mejorar los indicadores de volumen y desperdicio fijados por la empresa.

Se busca que el presente trabajo de investigación pueda servir como referencia y ayuda:

- Para el personal de producción de prensado y esmaltado de la empresa caso de estudio y que ayude a mejorar los indicadores propuestos de producción.
- Como referencia para las empresas del mismo ramo y que cuenten con la misma problemática.

- Como referencia de implementación de los conceptos de la industria 4.0 en el ramo de fabricación de piso cerámico.

Como valor teórico, se plantea poder contestar las preguntas de investigación cuyo objetivo es el saber si es factible que la implementación de la industria 4.0 y es adaptable a la fabricación de piso cerámico con la posibilidad de quitar el paradigma de que este proceso solo es posible ser operado por personal altamente capacitado y especializado.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Rediseñar el control de proceso en la fabricación de crudo de la industria cerámica, por medio de la implementación de tecnologías de la información y comunicación para mejorar la trazabilidad de las variables, reducir desperdicios y avanzar hacia la implementación de la industria 4.0 en la empresa caso de estudio.

1.7.2 Objetivos Particulares

- Identificar las variables del proceso de fabricación que son susceptibles a digitalizar en el prensado y esmaltado de piso cerámico para asociar una herramienta tecnológica que permita su control y trazabilidad.
- Comparar los volúmenes de producción por medio del monitoreo de los indicadores para cuantificar el costo-beneficio.

1.8 Alcance de la investigación

Debido a que los procesos de autorización del proyecto de digitalización en la organización han retrasado en el cronograma original de la implementación en el arranque y subsecuente avance, se tiene como alcance general, poder trabajar en la empresa caso de

estudio ubicada en el estado Mexicano de San Luis Potosí, de esta manera delimitamos el alcance de la investigación a esta empresa de la organización.

Por tanto, la implementación de la digitalización se limita en alcance a la línea 7 del proceso crudo de esta empresa que incluye el prensado y esmaltado.

Objeto de estudio de este trabajo, es identificar las variables de producción del prensado y esmaltado susceptibles a digitalizar. El siguiente es el listado general de variables que intervienen en la fabricación de piso cerámico en el proceso de esmaltado y prensado y es objetivo particular saber si son o no susceptibles a ser digitalizadas.

Proceso de esmaltado:

- Viscosidad del esmalte
- Densidad del esmalte
- Peso del esmalte
- Temperatura de la pieza en la salida del secador
- Humedad de la pieza

Proceso de prensado:

- Humedad del polvo
- Espesor de la pieza
- Peso de la pieza
- Densidad aparente de la pieza
- Humedad residual de la pieza

La relación de factibilidad de digitalización de las variables no es limitada por el tipo de producto que se tenga en fabricación, por lo que no existe una limitante en este sentido.

Delimitación de tiempo de la investigación

Esta investigación se lleva a cabo por un periodo tiempo limitado durante el año de 2024 con la intención de obtener resultados en la propuesta de implementación y a su vez la evaluación de estos.

Con base a lo documentado en la delimitación del problema, de acuerdo con lo establecido previamente en la Tabla 1 se retoma el cronograma de implementación para marcar la delimitación de tiempo, para la implementación con la intención de cubrir el objetivo con equipo e infraestructura ya existente en la empresa.

- A – Arranque del proyecto - Formación del equipo que formará parte de la implementación
- I – Hardware / actividades previas. - Evaluación y reubicación de hardware necesario para la implementación del proyecto.
- C – Capacitación. - Concientización y periodo de entrenamiento para el personal miembro del equipo.
- E – Estabilización. – Periodo de 1 mes en donde el sistema anterior convivirá a la par con el nuevo sistema de implementación con el objetivo de estabilizar la operación y dejar el anterior sistema.
- R – Evaluación resultados. – Se plantea este periodo para poder evaluar el antes y después de la implementación.

1.9 Estado del arte, composición de la industria 4.0 y tendencias de implementación.

El presente marco teórico se aborda desde 3 fases. La primera fase hace referencia a los antecedentes de la industria 4.0 como concepto, sus orígenes y como fue vista como estrategia de desarrollo en la industria de la manufactura en Alemania durante la década de los 2010. La segunda fase aborda las tecnologías presentes en el marco de la industria 4.0, desde sus definiciones y una breve descripción de su implementación. También se hace referencia a los principios de diseño para la implementación de la industria 4.0. La tercera fase del marco teórico aborda la definición de las herramientas utilizadas en el presente trabajo de investigación, así como el concepto de la digitalización del proceso productivo, un concepto que sirve para iniciar en el camino de la industria 4.0.

Antecedentes de la industria 4.0.

Hasta hace solo unos años, la industria 4.0 ha emergido como un marco tecnológico usado para integrar los procesos de fabricación en todos sus niveles, en la búsqueda de proveer diversas soluciones para la creciente necesidad de informatización en la industria (Xu, 2018).

Formalmente declarada durante el año 2013 en Alemania como una iniciativa estratégica para convertirse en los pioneros en una evolución que ya venía ocurriendo en la manufactura, la industria 4.0 o como también se conoce I4.0, o manufactura 4.0 se presentó por primera vez en la feria industrial de Hannover en el año 2011. Como se mencionó en párrafos anteriores, este concepto es una evolución en la historia de las revoluciones industriales y se caracteriza por la incorporación a la automatización que ya se venía usando en la industria 3.0 pero con nuevas tendencias y desarrollos en las tecnologías de información y

comunicación (TIC), así como la posibilidad de implementar sistemas ciberfísicos embebidos gracias también a la miniaturización de la tecnología que hizo más asequible su uso. Dentro de este marco metodológico, se encuentran tecnologías como internet de las cosas (IOT por sus siglas en ingles), ciberseguridad, computación en la nube, computación en los límites, inteligencia artificial y aprendizaje autónomo. A continuación, se abordan los conceptos de cada una de estas herramientas y como es que cada una, conforman una parte importante de este marco tecnológico.

Tecnologías presentes en la Industria 4.0

Parte importante para comprender y emprender este desafío de implementación de los conceptos de la I4.0 es conocer los conceptos y definiciones, por lo que veremos cada una de estas tecnologías en su significado y uso práctico, con el fin de dar una introducción en los conceptos que se abordan en este trabajo de investigación.

Internet de las cosas

El concepto de internet de las cosas (IOT por sus siglas en inglés) tiene su origen en el Instituto Tecnológico de Massachussets, según la Internet Society y hace referencia a la posibilidad de conectar a internet dispositivos que no son necesariamente equipos de cómputo,

En este sentido se pueden mencionar máquinas conectadas a internet por medio de sensores, artículos del hogar como refrigeradores o iluminación inteligente, relojes, o cualquier elemento de un edificio, y que tienen una interacción con el ambiente físico o biológico (Rozo-García, 2020) con el objetivo de generar o recibir datos con sistemas cibernéticos sin la necesidad de la intervención humana.

Se conoce como Internet de las cosas industrial (IIOT por sus siglas en inglés) a las tecnologías en el ámbito industrial que conforman la arquitectura para las industrias inteligentes.

Existen dos arquitecturas estándar para la industria.

- Modelo de Referencia de arquitectura 4.0 (RAMI 4.0 por sus siglas en inglés) Estándar Alemán.
- Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) Estándar Americano.

Ciberseguridad

Es el conjunto de prácticas, estándares y tecnologías que buscan la protección de los datos ya sean personales o de una organización.

Con la posibilidad de tener múltiples dispositivos conectados a internet y de transmitir y enviar información, se vuelve indispensable el uso de mecanismos que ayuden a gestionar la seguridad de la información que se procesa. Parte fundamental de este proceso es la concientización de las personas que interactúan con las tecnologías ya que el usuario suele ser el eslabón más débil y fácil de atacar para los ciber criminales. (Becerra, 2020).

Computación en la nube (Cloud Computing)

Con el surgimiento de nuevas tecnologías, se abrió también paso a la posibilidad de tener anchos de banda cada vez más veloces lo que a su vez creó una nueva rama de la computación conocida como computación en la nube (Becerra, 2020).

Este concepto permite brindar servicios, infraestructura, software o desarrollos con la utilización de internet, aprovechando anchos de banda de transmisión veloces. De manera

general su uso brinda la flexibilidad de contar con servicios, dispositivos o infraestructura ejecutadas fuera de la infraestructura de la empresa sin la necesidad de invertir en adecuaciones físicas de edificios, pago de renta de espacios o la contratación de personal para su administración. Su aplicación ha sido tan ampliamente adaptada que incluso permite ejecutar sistemas completos en operación fuera de la infraestructura de la empresa (Becerra, 2020).

Computación en los límites (Edge Computing)

Debido a que la información obtenida de los equipos debe de ser analizada en el menor tiempo posible para la toma de decisiones en los mismos equipos, se pueden tomar en cuenta un enfoque diferente con el objetivo de minimizar la latencia (tiempo de procesamiento), seguridad de los datos al no salir de la red interna y sobre todo tener fiabilidad de la disponibilidad de la red. Este enfoque se conoce como Edge Computing y tiene un amplio uso dentro de IIOT y se complementa con el uso de Cloud Computing (Becerra, 2020).

Inteligencia artificial

Hablar de inteligencia artificial, implica hacer referencia a múltiples disciplinas no solo dentro de las TIC. El objetivo muy general de esta disciplina es lograr que las máquinas puedan desempeñar funciones de aprendizaje, razonamiento, resolución de problemas, reconocimiento de voz, percepción visual, toma de decisiones e incluso la traducción de idiomas (Rozo-García, 2020).

Aprendizaje automático

Arthur Samuel, uno de los pioneros del aprendizaje automático, definió el aprendizaje automático como un “campo de estudio que le da a las computadoras la capacidad de aprender sin ser programado explícitamente”. (Rozo-García, 2020).

Por medio del aprendizaje de máquina se utilizan datos que alimentan a un algoritmo con la capacidad de comprender la relación de la entrada y la salida de un sistema.

Principios de diseño de la industria 4.0.

Como se revisó en párrafos anteriores, el marco de referencia de las tecnologías presentes en la industria 4.0. sirve como herramienta para identificar de forma estandarizada las diferentes tecnologías utilizadas en este concepto. Ahora revisaremos los principios de diseño que guían en la optimización de los procesos, así como en la transformación de industrias inteligentes (Xu, 2018).

- Manejo de datos en tiempo real. Es la capacidad de monitorear y tomar decisiones instantáneas con base en el análisis de datos. Ejemplo. Captura de variables en dispositivos móviles o sensores que detectan fallas y activan mantenimientos predictivos.
- Interoperabilidad. Se refiere a la capacidad de comunicarse entre sí, ya sea entre persona, sistemas ciberfísicos o dispositivos mediante el uso de servicios de tecnologías de la información o mediante el uso de las tecnologías de la información operacional (OT). Por ejemplo, el uso de dispositivos móviles para la captura de información y el posterior uso de estos registros para la toma de decisiones ágiles basadas en datos.

- Virtualización. Se basa en la creación de modelos o gemelos digitales (digital twins) que reflejan el estado del entorno físico en tiempo real. Por ejemplo, simulaciones de procesos antes de su implementación con softwares de diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en ingles), simulación de problemas o diseño de prototipos.
- Descentralización. Brinda la capacidad de toma de decisiones independientes sin necesidad de contar con una conexión centralizada entre todo el sistema. Por ejemplo, la selección de la mejor ruta de embarque sin requerir la información del proceso productivo previo.
- Agilidad. Es la capacidad de inferir información mediante la gestión de datos en tiempo real desde su registro, procesamiento y análisis. En consecuencia, como se observa en la Tabla 2. Categorización de tecnologías y principios de diseño de la industria 4.0.
- Orientado a servicios. Es la capacidad de transformar el producto en servicios a través de cambio de paradigma del negocio. Un ejemplo para la industria de la fabricación del piso cerámico es ofrezca la posibilidad de adquirir el servicio de medición del tráfico o volumen de personas en un espacio con pago mensual, mediante la instalación de revestimiento cerámico que cuente con sensores conectados a una base de datos que recolecta y posterior analiza la información para ser consultada por el cliente, transformando el negocio de forma directa.
- Integración con procesos de negocios Implica la relación directa con el negocio que es en donde se busca dejar impacto reflejándose, en mejor productividad, mayores ventas o disminución en los desperdicios de producción, por ejemplo.

Con lo descrito y documentado en párrafos anteriores, la relación entre los principios de diseño y el marco de la tecnología presentes en la industria 4.0, conforman entre sí, un marco de referencia de implementación que se describe en la Tabla 2 y se identifica la relación que guarda cada principio de diseño con cada tecnología presente y sirve como guía de referencia para evaluar la tecnología a implementar para las empresas interesadas en su transformación.

En este sentido, se observa que la agilidad y los procesos de negocio integrados pueden evaluarse como los principios de diseño más importantes (Ustundag & Emre, 2018) por lo que una buena estrategia de implementación inicial deberá de tomar en cuenta estos 2 principios para iniciar en la implementación de la industria 4.0.

Las tecnologías móviles revisadas en el presente trabajo de investigación brindan la capacidad de procesar grandes cantidades de información para almacenarla, después transmitirla y dar soporte ágil y a distancia a todo el negocio (Xu, 2018).

Principios							
	Manejo de datos en tiempo real	Interoperabilidad	Virtualización	Descentralización	Agilidad	Orientado a servicios	Integración con procesos de negocios
Tecnología							
Robots adaptativos	●				●		
Análisis de datos e inteligencia artificial				●	●	●	
Simulación			●		●		
Sistemas embebidos				●			
Redes y comunicación.		●		●	●		●
Ciberseguridad		●					●
Tecnologías en la nube					●	●	●
Manufactura aditiva					●		
Tecnologías de virtualización			●		●		
Sensores y actuadores	●			●			●
RFID	●			●	●		●
Tecnologías móviles					●		

Tabla 2. Categorización de tecnologías y principios de diseño de la industria 4.0 (Ustundag & Emre, 2018)

Casos de uso en la industria 4.0

De acuerdo con (Gilchrist, 2016) el potencial uso de la industria 4.0 es amplio y vasto, con posibilidad de cubrir escenarios como la logística, el transporte, la producción automotriz, la manufactura o la relación con el cliente final. Por lo que a continuación se presentaran diversos casos de uso exitosos en otras industrias con el objetivo de ejemplificar su aplicación y como han cambiado las formas de hacer las cosas con su implementación.

Caso de Éxito: Siemens Electronics Works Amberg (EWA).

En su fábrica en Amberg, Siemens logra una automatización avanzada con mínima intervención humana y maximizar la eficiencia productiva mediante la integración digital (Gaxiola, 2018). La fábrica ha evolucionado desde 1989 hasta convertirse en un modelo de Industria 4.0 con una producción completamente integrada y digitalizada. Algunas de las tecnologías clave incluyen:

1. Automatización

- El 75% de la cadena de valor es manejada autónomamente por máquinas y robots.
- Se producen más de 1,000 variantes de productos sin interrupción.

2. Internet Industrial de las Cosas (IIoT)

- La planta usa más de 1,000 dispositivos SIMATIC para controlar y optimizar los procesos.

3. Digital Twins (Gemelos Digitales)

- Se ejecutan simulaciones de nuevos productos con Siemens Enterprise Suite.
- Uso de software de vanguardia como Teamcenter, Mentor, SIMATIC IT y MindSphere.

4. Logística Inteligente y Transporte Autónomo

- Un sistema de transporte automático gestiona el almacenamiento y distribución de materiales en 15 minutos.

Resultados Alcanzados:

- 16 millones de productos fabricados anualmente.
- Estándar de calidad del 99.9990% gracias a la integración de datos y monitoreo en tiempo real.

Caso de éxito Industria del gas y petróleo

Especialmente en este ramo de la industria es importante contar con la gran cantidad de datos y sobre todo tener la capacidad de analizarlos. De acuerdo con (Gilchrist, 2016) la exploración de nuevos yacimientos conlleva el análisis de una gran cantidad de datos que anteriormente se realizaban únicamente con métodos geológicos por medio de mapas. Estos datos se analizaban en el momento de la obtención y no se guardaban para tener un estudio histórico de los trabajos de exploración y perforación. Esto contenía un costo extra al de por si elevado costo del proceso, debido a que no se tenía la capacidad de analizar los datos de manera general.

Debido al avance en las tecnologías, actualmente las empresas de este ramo cuentan con maquinaria que brinda información y datos que son recolectados para su análisis combinado con otras partes del proceso. Esto, ayudado también con el avance en las tecnologías de telecomunicaciones que hacen posible la conexión rápida con sistemas en la nube que brindan una mayor capacidad de procesamiento, no importando la lejanía o el difícil acceso en las zonas de trabajo, han hecho que el proceso se vuelva más económico y eficiente. (Gilchrist, 2016)

Caso de éxito Kanban 4.0 para Ubicaciones Especiales en Gedia

Optimización del aprovisionamiento de materiales en ubicaciones especiales mediante sensores inteligentes en la planta de Gedia España (maccion, s.f.).

Algunas de las tecnologías incluyen:

- Colocación de sensores en Ubicaciones Especiales: Implementar sensores para controlar la presencia de materiales en ubicaciones críticas.
- Automatización del Aprovisionamiento: Utilizar un sistema para gestionar de manera automática el flujo de materiales y optimizar el aprovisionamiento.
- Optimización del Flujo de Trabajo: Asegurar que los materiales se entreguen en el momento adecuado y en las cantidades correctas.

Resultados Alcanzados

- Control Preciso del Inventario: Los sensores permiten detectar la presencia de contenedores, ajustando el stock a las necesidades de producción en tiempo real.

- Optimización del Aprovisionamiento: Reducción de tiempos y mejora en la eficiencia de la logística interna, eliminando sobre producción y mejorando el flujo de trabajo.
- Gestión Automática: Gracias al sistema de control, el aprovisionamiento de materiales se realiza de forma automática, asegurando un flujo continuo en las líneas de producción.

Edificios inteligentes

Considerado el responsable del 40% del uso de la energía en Estados Unidos, y emisores del 36 % de gases, la aplicación de conceptos de la industria 4.0, envuelve la idea de la administración de los edificios a través de sistemas de control, que sean capaces de manera inteligente por ejemplo de controlar la iluminación o calefacción de los edificios. En comparación con las aplicaciones industriales, que hemos observado que implica una importante inversión para realizar la implementación, los edificios inteligentes se enfrentan más que otra aplicación a la misma problemática, ya que en su mayoría requieren cambios estructurales sobre todo cuando se trata de viejos edificios (Gilchrist, 2016)

Caso de éxito Ventas al menudeo

Para este ramo de la industria los informes y la visibilidad en tiempo real también son un importante servicio en la nube que acorta el proceso de toma de decisión. Tener acceso inmediato a informes y en vivo permiten un mayor control y una gestión más oportuna. Para ejemplo, durante las promociones de ventas, es de mayor utilidad conocer el stock de los productos y así poder ofertar de acuerdo con el nivel de existencias. Sin embargo, de nuevo el costo para los minoristas al absorber tecnologías de la información que ayuden a llevar este tipo de procesos, es el principal

impedimento para que se lleve a cabo. Para contrarrestar esto, se han creado servicios en la nube que ofrecen el paquete completo listo para usar mediante el pago de una renta por el servicio.

1.9.1 La digitalización de procesos como primer paso en la implementación de una estrategia para la manufactura 4.0.

Transformación digital del proceso.

En (Mayorga, 2021) se menciona a los procesos como la columna vertebral de las organizaciones y propone una aproximación metodológica para la transformación y la innovación digital de los procesos con un enfoque en la mejora de estos. El objetivo de esta etapa de mejora es implantar los cambios en el proceso a través de la incorporación de las ideas de innovación soportada por tecnologías digitales.

En su metodología, cuyo objetivo es proporcionar una guía para las organizaciones para facilitar la innovación de los procesos con el uso de herramientas digitales, propone 4 fases que inician, 1 con la alineación estratégica, 2 el diagnóstico del proceso, 3 innovación del proceso y 4 la transformación digital del proceso.

La principal motivación de la industria 4.0 es lograr la conectividad y la integración de la manufactura y sistemas de servicios para proveer efectividad, adaptabilidad, cooperación, coordinación y eficiencia. Estos conceptos se conocen en su conjunto como principios de diseño de la industria 4.0 (Xu, 2018) como lo revisamos en la sección anterior.

Retos técnicos.

- 1- Para la mayoría de las empresas de manufactura, la infraestructura de tecnologías de la información y comunicación (TIC) no se encuentra listas para soportar la transformación

digital hacia la industria 4.0 por lo que se sugiere que la transición de una industria tradicional a un ecosistema de la industria 4.0 se desarrolle dentro de los modelos de negocio interno. (Xua, Xu, & Li, 2018).

- 2- La escalabilidad es uno de los retos principales dentro del ambiente de la industria 4.0, debido a que cada vez más es posible contar con más dispositivos conectados a la red y que a su vez brindan la capacidad de contar con un mayor volumen de datos, por lo que deberá de contemplar la capacidad futura de soportar a estos dispositivos y volúmenes de datos.
- 3- La ciencia de datos y analítica de datos juegan un papel importante ante la capacidad de contar con un gran volumen de información por lo que se deberá de contar con estos roles para explotar esta capacidad.
- 4- Debido a la gran diversidad de dispositivos de internet de las cosas (IoT por sus siglas en ingles) se vuelve complicado gestionar la compatibilidad entre tecnologías presentes. Así mismo, debido a la existencia de equipos antiguos en operación con tecnología no preparada para la industria 4.0 se debe de buscar una forma de utilizar estos mismos equipos sorteando y seleccionando la mejor tecnología también para no afectar el aspecto económico de la empresa.

Para abordar estos retos, en la literatura de la industria 4.0 se describen diversos escenarios de casos de estudio, que involucran aplicaciones específicas de desarrollo enfocadas a funciones orientadas al nivel del usuario o empresa, así como los beneficios u objetivos esperados del uso de la industria 4.0 (Bartodziej C. J., 2017). En aras de la relevancia práctica se observa que estos escenarios se ubican dentro de las necesidades y requerimientos del usuario, así se documentan, por ejemplo, sistemas inteligentes de puesta en servicio que buscan satisfacer el paradigma tecnológico de

acuerdo con la demanda del usuario (Bartodziej C. J., 2017). Estos sistemas, se basan sobre todo en la interacción del humano con la máquina y forman parte, sobre todo de implementaciones de empresas que se encuentran dando sus primeros pasos dentro de la industria 4.0. Se caracterizan por la recolección de datos que sirven en un futuro para soportar planificaciones, así como para control y ejecución de actividades en producción. A este concepto se le conoce como digitalización del proceso y se documenta como ya se mencionó, dentro de los primeros procesos prácticos de las empresas tradicionales para la transformación hacia la industria 4.0.

Tal como se revisó en los retos tecnológicos, la mayoría de las empresas lidian con la pregunta de saber el grado de preparación con el que cuentan para iniciar hacia la transformación del ecosistema de la industria 4.0. Dentro de la literatura de la industria 4.0, se pueden documentar herramientas que evalúan el grado de preparación y que sirven como guía para evaluar el nivel del usuario y de la empresa, como ya se mencionó, pero también para evaluar las estrategias de implementación planificadas dentro de la organización. Entre estas herramientas se encuentran Impuls (Consult, 2023) una plataforma que evalúa por medio de cuestionarios el grado de preparación e implementación de la industria inteligente.

Método de meta-síntesis para explorar como la transformación digital y la industria 4.0 afectan aspectos de valor en las organizaciones.

La **meta-síntesis** es un método de investigación cualitativa propuesto por (Hoon, 2013). que consiste en **integrar y reinterpretar los hallazgos de múltiples estudios cualitativos** sobre un mismo fenómeno o tema. A diferencia de una simple revisión de literatura, la meta-síntesis busca **generar nuevas comprensiones o teorías** a partir de los datos ya existentes, construyendo un nivel más alto de abstracción.

En su artículo de investigación (Cruzara, 2020) menciona esta metodología para analizar diferentes casos de uso implementados de la industria 4.0 ante la escasez de literatura y que sirva para empresas de diversos ramos que inician en la exploración de estos conceptos de implementación. En su artículo además de dejar evidencia en la dificultad de encontrar casos de uso específicos para cada industria demuestra en sus conclusiones, como la transformación digital es una de las características comunes encontrada en las organizaciones como aspecto en la cadena de valor incluso es capaz de redefinir la forma en que se crea esta misma cadena de valor.

Hipótesis

De acuerdo con los textos científicos y la literatura que se han consultado, así como a la bibliografía existente sobre la teoría e implementación de la industria 4.0 se redacta la siguiente hipótesis cuyo objetivo de este trabajo de investigación será comprobar:

“La implementación de la digitalización en los procesos de negocio de la fabricación de piso cerámico contribuye a la transformación de una industria tradicional hacia un ecosistema alineado con los principios de la Industria 4.0.”

Capítulo 2. Fabricación de piso cerámico mediante tecnologías de la industria 4.0

Se revisan herramientas útiles para la transición hacia la Industria 4.0. El objetivo es identificar los elementos clave para su implementación en la fabricación de piso cerámico, un sector donde su desarrollo aún es limitado.

2.1 Composición de la industria 4.0

La Industria 4.0 (Cuarta Revolución Industrial) es un término que hace referencia al cambio sociotécnico que se produce con las nuevas tecnologías como la robótica, la inteligencia artificial, el internet de las cosas y muchas otras, que están transformando los procesos productivos en todos los sectores.

Económicamente, existe una gran ventaja en utilizar los conceptos de la industria 4.0 ya que permite de una manera rápida y ágil, tomar decisiones y adaptar los procesos internos dentro de una organización a los cambios del entorno y se puede aplicar a los distintos ámbitos de una organización desde los procesos de producción, de servicio, hasta las áreas de marketing y ventas.

Por tanto, la Industria 4.0 se puede definir como “el proceso de transformación digital de una industria, que permite la comunicación e interconexión multilateral entre los sistemas ciber físicos y las personas mediante el procesamiento de cantidades masivas de datos en tiempo real” (Guía Asebec 4.0, 2018).

Como se ha comentado ya con anterioridad, cuando se abordó la historia de las anteriores 3 revoluciones industriales, estas se han escrito e identificado después del análisis del impacto que tuvieron tanto en la forma de producción como en las sociedades. A diferencia de la cuarta revolución industrial, esta nueva forma de producir se aborda en el preciso momento en que está sucediendo e implica una complejidad mayor por la cantidad de datos que nos ayuda a gestionar. En la Ilustración 5 se retoma la evolución a través del tiempo de la industria, pero esta vez, se puede observar también, como el grado de complejidad se incrementa por el uso de cada vez más sofisticadas tecnologías y máquinas, al tiempo en que también se ve que este cambio está ocurriendo en el momento presente.

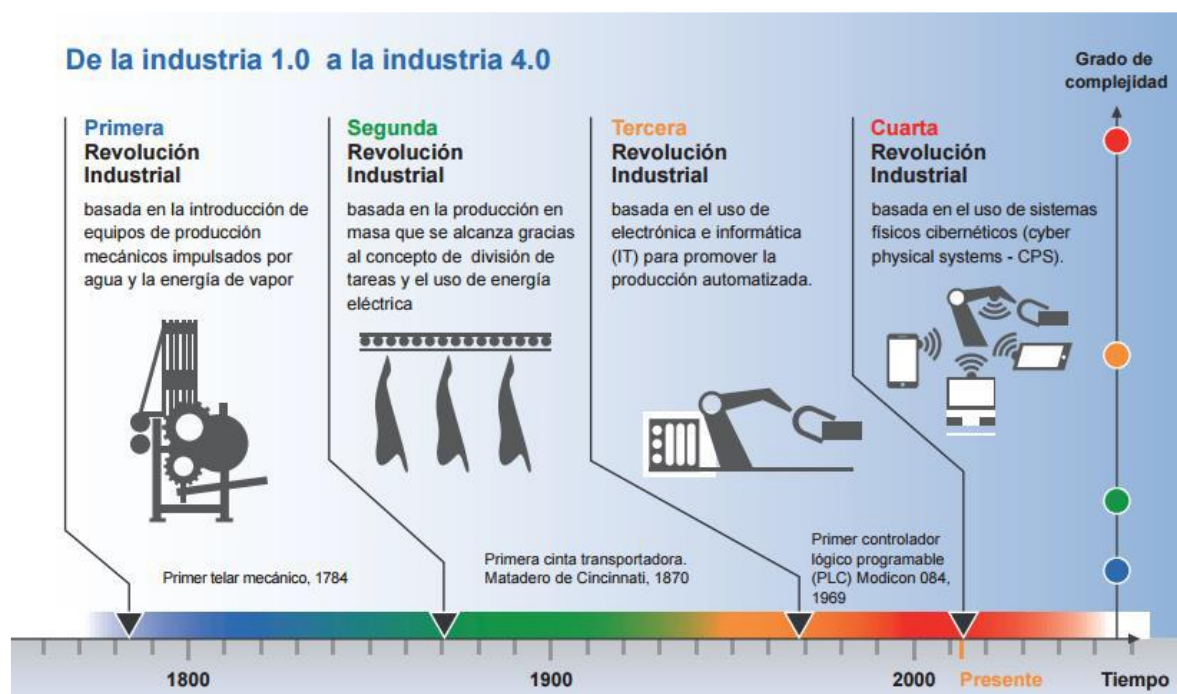


Ilustración 5: Evolución de la industria y su grado de complejidad (Guía Asebec 4.0, 2018)

Sin embargo, como menciona (Gilchrist, 2016) en su libro *Industry 4.0, The internet of things*, los conceptos de industria 4.0 y el de IIOT se han convertido en uno de los temas de negocio industrial más comentados en los últimos años, aunque, por otro lado, a menudo son presentados a un alto nivel por ejecutivos de venta, ya que se enfoca desde una perspectiva comercial a clientes directivos y se deja de lado la complejidad técnica subyacente que lo hace parecer irrelevante. Este enfoque en modelos de negocio y eficiencia operativa, lo vuelve muy atractivo, ya que las ganancias financieras y los nuevos modelos de negocios son fácilmente comprensibles para los clientes. Desafortunadamente, estas presentaciones a menudo impresionan y animan a los ejecutivos, que ven los beneficios comerciales, pero no revelan al cliente los aspectos técnicos, y la abstracción de la complejidad que sustenta el Internet Industrial.

Con este antecedente, parte de este trabajo de investigación es desvelar e identificar los procesos a seguir para la implementación de la industria 4.0 en la industria de fabricación de piso cerámico.

2.2 Proceso de fabricación de piso cerámico

El proceso productivo se puede describir de manera general por los procesos en la parte cruda y los procesos de la parte cocida.

El proceso inicia con la llegada de las arcillas al área de almacenamiento, posteriormente se pasa a la pre-molienda, en donde se uniforma los granos y se busca reducir el tamaño de la arcilla. Luego, pasa a los molinos verticales en donde se logra tener un polvo fino. El proceso posterior es el vibrador para seleccionar las partículas con el tamaño adecuado, luego pasará al granulador donde se agrega agua pulverizada obteniéndose gránulos de arcilla. El polvo granulado, es alimentado de

los silos y llevado a las tolvas de las prensas donde se realiza el proceso de formación del soporte cerámico (molde). Posteriormente el cuerpo prensado es enviado al secador. Aquí se inyecta circulación de aire caliente quitándole el agua y aumentando la resistencia del material. Luego, las piezas son transportadas a la línea de esmalte donde se aplica una capa de esmalte. Finalmente pasa para el decorado y su respectiva protección transparente de alto relieve. Los cuerpos ya esmaltados y decorados se ingresan al horno por un tiempo de 30 a 45 minutos dependiendo del formato de la pieza. Se cuenta con 4 hornos, que son gestionados en pares para ser alimentados por 2 líneas de esmaltado cada uno. Una vez quemado el producto, es seleccionado en calidades superficiales y tamaño. La clasificación es hecha totalmente automatizada por 6 líneas de clasificación. Finalmente pasa por el proceso de impresión, encajado, paletizado y empacado. El producto terminado es almacenado en tarimas con el visto bueno del Departamento de Calidad. En la Ilustración 6 se describe este proceso gráficamente.

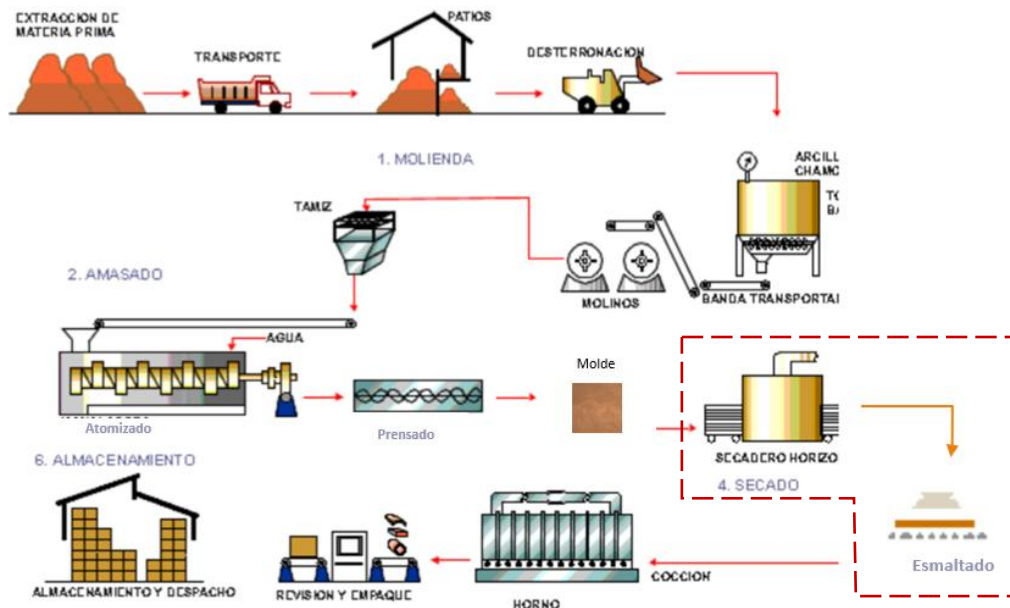


Ilustración 6: Proceso de fabricación de piso cerámico (Molina & Morales, 2012)

La propuesta de digitalización que aborda este trabajo de investigación se enfoca en la parte del proceso de secado, esmaltado y decorado. De acuerdo con el manual interno de la escuela cerámica (Carlos Alberto Juache Ramírez, 2018), este proceso se conforma por líneas continuas que se componen por los siguientes elementos:

- Bandas transportadoras. Se encargan de llevar el molde cerámico de la salida del secador, hacia las partes centrales del proceso de esmaltado para finalizar en la cargadora de box, descrita más adelante, para su almacenaje.
- Sopladora. Es un equipo compresor que sopla aire a la pieza por medio de una boquilla, para quitar cualquier impureza que pudiera traer el molde de barro.

- Aplicación de esmalte por vela. Consiste en la aplicación de la base de color blanco que recubre a la pieza. Tiene como objetivos, sellar los poros de la pieza de barro y servir como preparación para recibir el diseño de la pieza.
- Aplicación de engobe bajo pieza. Consiste en la aplicación por medio de un rodillo de un esmalte a la parte posterior de la pieza, esto con el fin de que ayude a que la pieza no se adhiera a los rodillos de los procesos siguientes.
- Toma de temperatura. Este proceso es importante ya que la pieza se debe de encontrar por debajo de los 30 grados centígrados, para poder recibir la impresión del diseño.
- Impresora digital. Es en este proceso en donde la pieza recibe el diseño que se está trabajando. La impresora digital recibe el diseño por medio del renderizado de imágenes que se diseñan por medio de software especializado. Este diseño lleva además un proceso de autorización de tono y densidad de color de acuerdo con el estándar.
- Granilladora. Aunque casi se encuentra en desuso, esta parte del proceso se encarga de agregar un relieve a los diseños que así lo requieren, por medio de la aplicación de granos de vidrio.
- Cargadora de Box. Finalmente, la pieza es almacenada en box que sirven de almacenaje temporal, en espera de su programación para pasar al proceso de cocido a 1500 grados centígrados en el área de hornos.

2.3 Importancia de la Industria 4.0 en el ramo de fabricación de piso cerámico

A pesar de que existen esfuerzos relacionados en la implementación de la industria 4.0 en el sector cerámico, estos se muestran como guías teóricas con aplicaciones en clústeres cerámicos regionales ubicados principalmente en la región española de Valencia. El apoyo del Instituto Tecnológico de la Cerámica (ITC), en este tipo de trabajos de investigación, hacer ver primero, la importancia de estos conceptos, pero sobre todo que es necesario que el sector, se prepare ante lo que es ya un inminente cambio, en aras de ser más eficientes y productivos a la vez de mantenerse a la vanguardia en la industria. La aplicación de este trabajo de investigación permitirá observar las condiciones regionales del sector cerámico en México y permitirá ser una referencia para los interesados en la implementación de este concepto tan amplio en una industria que apenas lo aborda. (Gilchrist, 2016)

Como se mencionó, un claro ejemplo de este avance y esfuerzo en estas iniciativas es el proyecto Industria Cerámica 4.0 promovido por el ITC. Es una iniciativa que tiene como objetivo ayudar a la industria cerámica en España y otras regiones de Europa a digitalizarse. El proyecto cuenta con el respaldo de institutos de investigación, fabricantes, instituciones de educación cerámica y autoridades de la unión europea mediante el apoyo en financiación. El proyecto tiene como objetivo desarrollar soluciones de automatización que reduzcan los tiempos de fabricación y aumenten la calidad, manteniendo los estándares de seguridad. (Guía Asebec 4.0, 2018).

La empresa caso de estudio cuyo giro es la fabricación de revestimientos cerámicos, se encuentra establecida en el Estado de San Luis Potosí, inicia operaciones en enero del 2003. Cuenta con una

plantilla de 360 empleados de producción y 56 empleados administrativos y depende de manera centralizada de las operaciones de un corporativo.

De acuerdo con la política de calidad de la empresa:

“En planta San Luis Potosí, estamos comprometidos a fabricar revestimientos cerámicos que garanticen los requerimientos de los clientes con un enfoque de mejora continua, trabajo en equipo y cumplimiento de objetivos, sustentado en nuestro Sistema de Gestión de Calidad”. (Carlos Alberto Juache Ramírez, 2018)

Por ende, los procesos siempre deben de buscar la innovación con el objetivo de fomentar la mejora en el producto y la satisfacción de los clientes.

Actualmente, los productos que se fabrican son los azulejos en los formatos cuadrados de 33cm, 44cm y 55cm, con modelos rústicos económicos para el mercado nacional. Cuenta con 8 modernas líneas de producción que fabrican 14,645,000 m² de azulejos anualmente.

.2.4 Herramientas que evalúan la preparación de una empresa en su grado de preparación para la adopción de la industria 4.0.

De acuerdo con lo mencionado en el marco teórico, existen en el mercado y en el ámbito académico grupos que han unido esfuerzos para crear una base que ayude a evaluar el grado de madurez que tiene una organización y así poder conocer el nivel de preparación para aplicar los conceptos de la industria 4.0 y hacer más fácil la transformación. Abordar estas herramientas permiten en este

trabajo de investigación es crucial para hacer elaborar un diagnóstico previo y posterior a la propuesta de implementación.

Es el caso de la herramienta de medición de Impuls, (Consult, 2023), que permite evaluar de manera general el grado de preparación de la I4.0

El estudio fue realizado por IW Consult (filial del Instituto de Investigación Económica de Colonia) el Instituto de Gestión Industrial (FIR) de la Universidad Técnica de Aquisgrán, expertos de la Mechanical Engineering Industry Association y algunos representantes de la industria participaron en calidad de asesores en la elaboración del estudio.

El estudio que sirve como autoevaluación en línea para las empresas, se divide en seis dimensiones de la Industria 4.0, cada una de las cuales contiene preguntas sobre un conjunto diferente de cuestiones:

- **Estrategia y organización:** ¿Hasta qué punto está establecida e implantada la Industria 4.0 en la estrategia de su empresa?
- **Fábrica inteligente:** ¿Hasta qué punto su empresa cuenta con una producción digitalmente integrada y automatizada basada en sistemas ciberfísicos?
- **Operaciones inteligentes:** ¿Hasta qué punto los procesos y productos de su empresa están modelados digitalmente y son capaces de ser controlados a través de sistemas TIC y algoritmos en un mundo virtual?
- **Productos inteligentes:** ¿Hasta qué punto sus productos pueden controlarse con TI, haciendo posible que se comuniquen e interactúen con sistemas de nivel superior a lo largo de la cadena de valor?

- **Servicios basados en datos:** ¿En qué medida ofrece servicios basados en datos que sólo son posibles mediante la integración de productos, producción y clientes?
- **Empleados:** ¿Dispone su empresa de las competencias necesarias para aplicar los conceptos de la Industria 4.0?

2.5 Guía ASEBEC: expertos en el sector de fabricación de maquinaria y bienes para la industria cerámica

En la guía (Guía Asebec 4.0, 2018) se proponen 6 etapas diferentes como indicador que servirán como medición para realizar el seguimiento del éxito global de la implementación. En la Ilustración 7 se describen estas 6 etapas.

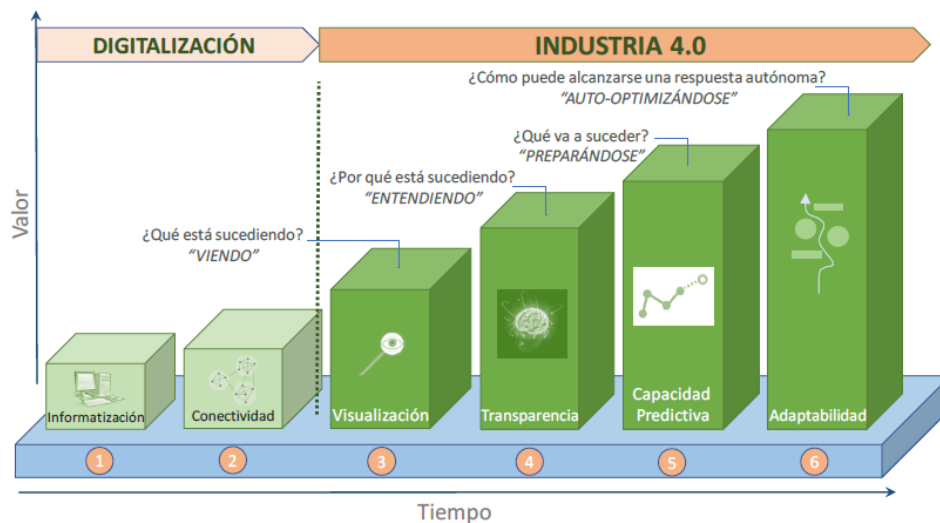


Ilustración 7: Etapas propuestas para guiar a la industria en el proceso de adaptación a la industria 4.0 (Guía Asebec 4.0, 2018)

Además, y con base en lo que se menciona en el artículo científico “Propuesta de adopción de tecnologías asociadas a la industria 4.0 en las pymes mexicanas”, a diferencia de las grandes corporaciones que cuentan con recursos y capacidades para la adopción de estas tecnologías, las pymes presentan importantes limitaciones en ambos sentidos (Mercado, 2021). Por ello resulta importante contar con una correcta estrategia para no poner en riesgo su viabilidad a futuro. Asimismo, para iniciar con el proceso de adopción se establece la necesidad de una prefase que facilita a las pymes su incorporación en los nuevos modelos productivos basados en el uso de las tecnologías de la información y comunicación (Mercado, 2021).

En Ilustración 8 se menciona una prefase como parte de los primeros pasos para lograr la conectividad y computarización. Esta prefase que incluye a la digitalización de las organizaciones como punto de partida que aborda los elementos mínimos a partir de los cuales es posible iniciar con el proceso en sí. Por otro lado, desde el inicio de la incorporación de las tecnologías digitales en las empresas se requiere considerar la seguridad de la información.

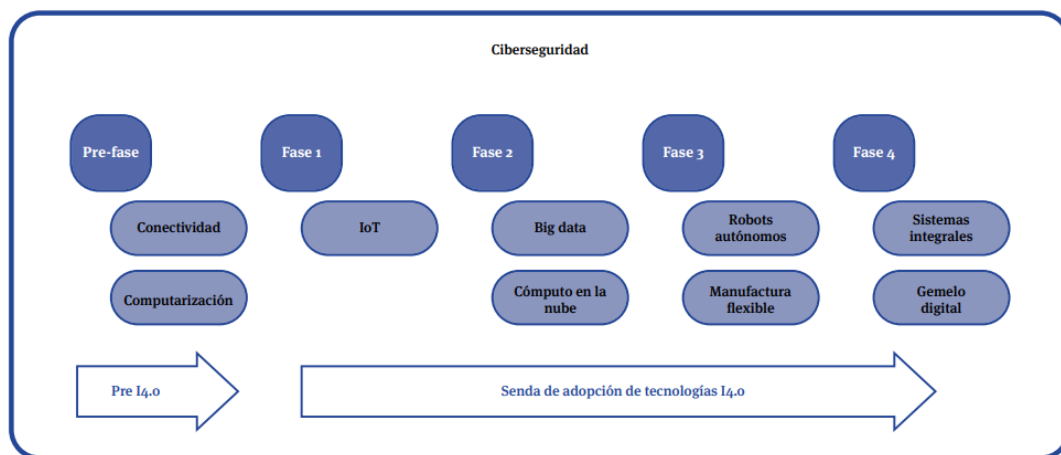


Ilustración 8: Proceso de incorporación tecnológica para la I4.0 (Mercado, 2021)

Primera etapa: La informatización

También mencionada como prefase de digitalización, se basa en la preparación e inicio de los elementos tecnológicos y su incorporación en los procesos productivos. Sugiere la no sustitución de maquinaria de producción sino la incorporación de elementos de control y medición en equipos que no cuenten con ellos (Mercado, 2021). Se define como la primera etapa del proceso de implantación. En esta etapa se implementan diferentes sistemas de información de manera aislada en el proceso productivo y en diferentes áreas de la empresa. Suelen ser hojas de cálculo con macros gestionadas por cada área y sirven como forma de entrega de resultados para juntas con la gerencia.

Un ejemplo del nivel de informatización puede referirse a las líneas de producción para formar, secar y decorar soportes para baldosas. Aunque se realizan operaciones repetitivas en cada parte de esta línea con un alto grado de precisión y automatización, debido al uso de sistemas controlados por computadora en la mayoría de los casos, la información que involucra "recetas" de trabajo y/o necesidades de fabricación a pedido son capturadas manualmente a la computadora, es decir, la máquina no está conectada.

Segunda etapa: Conectividad

En esta etapa se busca interconectar o sustituir todos los sistemas aislados por sistemas con componentes conectados. Este representa el mayor de los retos en la industria cerámica debido a que los procesos productivos se pueden ver como islas de información independiente y que muy difícilmente comparten información entre ellos.

Por lo tanto, resulta sencillo encontrar equipos utilizados en fábricas con más de 25 años que todavía tienen una alta usabilidad para algunos productos, pero ofrecen una conectividad muy limitada. Esto debido a que de igual manera que con otros sectores industriales, es común que los activos industriales en el sector cerámico continúen produciendo mientras mantengas su correcto funcionamiento. No obstante, en la actualidad, es relativamente fácil obtener datos de producción de estos activos industriales debido a la posibilidad de adquirir sensores con conectividad que brindan los protocolos e Internet.

Tercera etapa: Visibilidad

Un grado de visualización adecuado permitiría definir con mayor precisión los plazos de entrega y determinar cómo estos se ven afectados por un problema en particular gracias al uso de indicadores e informe en tiempo real. El uso de esta información permitiría a su vez a los responsables de producción ajustar la planificación y los clientes y proveedores recibir información en tiempo real sobre estos cambios. Esto se logra con el actual grado de instalación y aplicación de sensores en los procesos industriales que permiten la captura de datos durante el proceso de producción con una gran cantidad de puntos de adquisición. Además, las tecnologías disponibles ofrecen la posibilidad de registrar en tiempo real todos los eventos y estados de todo el proceso productivo, más allá de la captura de algunas variables de procesos en ciertas etapas productivas, como se ha venido realizando hasta el momento.

La realización de este tercer nivel, que representa el inicio de la propia transformación hacia la Industria 4.0, requiere sin duda de un cambio de mentalidad empresarial. No solo recopilar datos para poder hacer algún tipo de análisis o para apoyar el desarrollo de algún negocio, los datos

también deben permitir la creación de modelos actualizados en cualquier punto del proceso de fabricación.

Cuarta etapa: Transparencia

Esta etapa llamada de transparencia se puede utilizar para el monitoreo avanzado de la salud de diferentes equipos y máquinas en una fábrica. Los parámetros capturados desde el dispositivo se pueden analizar constantemente para encontrar relaciones y dependencias, incluyendo parámetros de otros equipos y la calidad de los productos fabricados. Todo ello para generar información agregada que refleje con precisión la salud de los activos industriales y sea la base para realizar acciones de mantenimiento preventivo, por ejemplo.

En este sentido, las nuevas tecnologías de análisis de datos permiten el análisis de grandes cantidades de información. El Big Data es un término muy popular, que se usa a menudo en estos contextos, para referirse a grandes volúmenes de datos que no se pueden procesar ni analizar con las herramientas tradicionales de análisis de procesos comerciales. Por lo tanto, el término Big Data también se usa para referirse a tecnologías y aplicaciones que permiten la utilización de grandes volúmenes de datos. “La explotación de los datos para crear información y la correspondiente contextualización en el ecosistema industrial proporciona el conocimiento de proceso requerido para dar soporte a la toma de decisiones de manera rápida y eficaz, incluso cuando estas presentan un elevado grado de complejidad” (Guía Asebec 4.0, 2018)

Quinta etapa: Capacidad predictiva

Lograr este nivel significa dotar a la empresa, con la capacidad de predecir escenarios y elegir el más adecuado para sus operaciones. Significa tener mayor agilidad para anticipar eventos,

priorizar posibles escenarios con la certeza de analizar los datos reales y en tiempo que ocurren en la empresa. Acelera la toma de decisiones y sobre todo la implantación de medidas correctivas. Acorta los tiempos de ejecución entre el diseño o planificación del producto, hasta el embarque hacia el cliente. Para lograr este fin, es importante que se hayan implementado de manera robusta y correcta los niveles anteriores y sobre todo el “gemelo digital” para que realmente esté mostrando lo que ocurre físicamente en las empresas.

Sexta etapa: Adaptabilidad

El cambio que se comentaba en un inicio con la descripción de la Industria 4.0 hace hincapié en no sólo la adaptabilidad tecnológica en las empresas, sino también en el cambio de cultura que implica para las organizaciones ya que se ven modificadas las formas en que se realizan las actividades por el personal de operación. El éxito de esta implementación depende mucho del grado de adaptabilidad que tengan los miembros de la organización y sobre todo que sean capaces de arriesgarse para tomar como referencia la información obtenida para la toma de decisiones y que observen a su vez mejores resultados. En cualquiera de los casos es muy importante valorar siempre el riesgo que supondría la automatización por ejemplo de aprobaciones y avisos para clientes y proveedores, pues podrían llegar a ser contraproducentes.

Resumen del capítulo

Mediante la aplicación del marco de referencia de las tecnologías presentes y los principios de diseño de la industria 4.0 (Xua, Xu, & Li, 2018) aplicado al proceso de fabricación de piso cerámico se busca aplicar los conceptos de tecnologías móviles, ciberseguridad, redes y comunicación, y los principios de agilidad e integración con procesos de negocio. Mediante la

consulta de la Tabla 2. Categorización de tecnologías y principios de diseño de la industria 4.0 se justifica el uso de estas herramientas técnicas, para ser la guía y alcanzar los objetivos del presente trabajo de investigación, así como enfocar los resultados a la prueba de la hipótesis planteada. En la Tabla 3 se describen a forma de resumen las tecnologías que se son guía para el presente estudio y su posterior propuesta, así como los principios de diseño que buscan impactar a la organización caso de estudio.

Tecnología presente en la Industria 4.0	Principio de diseño de la industria 4.0
Redes y comunicación	Agilidad
	Integración con procesos de negocio
Ciberseguridad	Interoperabilidad
	Integración con procesos de negocio
Tecnologías móviles	Agilidad

Tabla 3. Marco de referencia para la implementación de conceptos de la industria 4.0 para la transformación del proceso de fabricación de piso cerámico.

Adicionalmente y en aras de realizar implementaciones que sean enfocadas a los objetivos que busca la organización y también a que fáciles de replicar (Bartodziej C. , 2017), se buscó llevar a cabo un enfoque basado en las necesidades de los usuarios y de la empresa caso de estudio, buscando que sea sencillo de implementar, primero mediante el uso de la infraestructura de tecnologías de la información y comunicación presente, así como de los dispositivos ya existentes. De igual forma se buscó adecuar los procesos a los principios de implementación con un enfoque

de transformación digital del proceso de fabricación crudo para una empresa del ramo de fabricación de piso cerámico.

Finalmente, con el uso de herramientas para evaluar el grado de preparación para la transformación a empresas inteligentes, se buscó evaluar de forma previa y posterior el nivel alcanzado después de las evaluaciones realizadas en las fases de diagnóstico e implementación respectivamente.

Capítulo 3. Metodología para digitalizar el proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico utilizando tecnologías basadas en la industria 4.0

Esta investigación es de enfoque cuantitativo de acuerdo con (Hernandez Sampieri, 2014) y en la cual el investigador utiliza sus diseños para analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto en particular o para aportar evidencias respecto de los lineamientos de la investigación.

3.1 Nivel de investigación

El nivel de alcance será explicativo según (Hernandez Sampieri, 2014) los define como estudios explicativos, en los que se busca más allá de la descripción de conceptos o fenómenos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, así como por qué se relacionan dos o más variables.

Congruente a lo anterior se busca abordar la digitalización en el proceso de fabricación cerámico mediante la introducción del concepto de la industria 4.0 y encontrar como mejorar el proceso de acuerdo con la problemática descrita, mediante la digitalización.

3.2 Diseño de Investigación

La propuesta de estrategias de digitalización mediante las tecnologías de información y comunicación (TIC) basadas en la Industria 4.0 aplicadas en el proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico, será analizada a partir de un nivel de investigación tipo explicativa en la cual se busca estructurar la automatización de estándares con la propuesta de herramientas y tecnologías para la mejora del proceso.

3.3 Población y muestra

Para esta investigación se considera una empresa que cuenta con 8 líneas de producción, la población considerada es la línea 7 del proceso de crudo.

En esta misma línea se considera que la población se encuentra conformada por el área de producción de una empresa del ramo cerámico de San Luis Potosí. El número de miembros de la plantilla consta de 356 personas que incluye a personal administrativo y de operación. Del personal de operación se debe considerar que se dividen en las 7 diferentes áreas productivas que conforman el proceso por lo que se toma el tamaño de la población de 126 personas una muestra homogénea donde el personal cumple con el perfil de operación de equipos (Prensista, operadores y supervisores de líneas de esmaltado y decorado).

El estudio se realizó en tiempo presente de enero a junio de 2024. El espacio corresponde al proceso crudo de fabricación de piso cerámico específicamente en el área de producción, en la prensa y línea 7, que consta de 18 personas entre prensistas, operadores, especialistas y supervisores.

La muestra es accesible y homogénea ya que se trabaja bajo los mismos estándares, indicadores y tecnología en la línea de producción.

3.4 Técnica e Instrumento de recolección de datos

Como técnica e instrumento de recolección se analizarán, bitácoras de operación de las líneas de producción, en las que se registran las siguientes variables independiente: Fecha, diseño, formato, línea, peso del engobe, densidad del engobe, viscosidad del engobe, peso base, densidad de base, viscosidad de base.

Cabe señalar como técnica de procesamiento y análisis de datos, se utilizará el cálculo de la eficiencia operativa de la bitácora de producción, análisis de datos por medio de estadística inferencial, para establecer si existe asociación entre la eficiencia operativa y las variables de producción.

También se analizarán comparaciones mediante herramientas de terceros para determinar el estado de aplicación de la empresa caso de estudio respecto a la implementación de la Industria 4.0, para de esta forma obtener el estado actual de la empresa caso de estudio para poder implementar conceptos de la Industria 4.0.

Para el diagnóstico y evaluación de la tecnología presente, se plantea revisar las hojas técnicas del inventario de equipo de cómputo instalado en la línea 7 de producción, así como las hojas de datos de las máquinas de producción de los procesos de prensado, esmaltado y decorado. Esta metodología también se incluye el análisis y propuesta de solución de la infraestructura de telecomunicaciones.

Las técnicas de recolección de datos seleccionadas para la adquisición de información, tanto en la fase de diagnóstico como en la fase de evaluación de la aplicación de la metodología, son las siguientes:

Observación cuantitativa y análisis: Implica adentrarnos profundamente en situaciones sociales y mantener un papel activo, así como una reflexión permanente. Estar atento a los detalles, sucesos, eventos e interacciones. (Hernandez Sampieri, 2014) En el cuadro de este estudio, la observación que se realizará será la observación activa, que se define como aquella donde el observador

participa en la mayoría de las actividades, sin embargo, no se mezcla completamente con los participantes y sigue siendo ante todo un observador.

- Inventarios.
- Fichas técnicas de infraestructura de TIC instalada
- Instrumentos y procedimientos específicos propios de cada disciplina: En todas las áreas de estudio se han generado valiosos métodos para recolectar datos sobre variables específicas. (Hernandez Sampieri, 2014)
- Observación y análisis estadístico histórico de ficha de registro de producción
- Instrumentos electrónicos
- Herramienta consorcio Impuls

Para mostrar el esquema con los pasos descritos en esta sección, en la Ilustración 9 se describe a manera de diagrama las partes que conforman este proyecto con el objetivo de identificar cada proceso individual y de representar la secuencia de este trabajo de investigación.

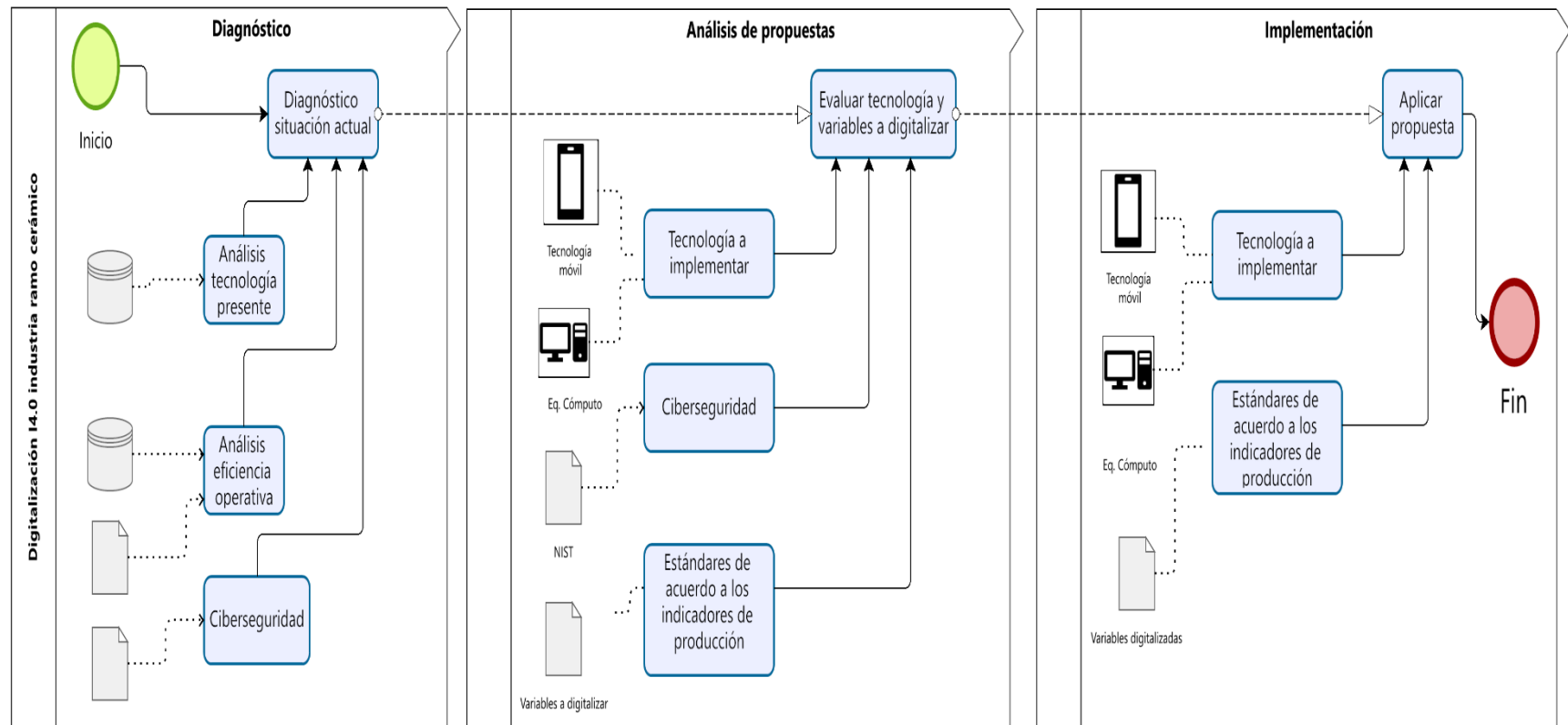


Ilustración 9: Diagrama de flujo que esquematiza la metodología del proceso de digitalización, basado en la Industria 4.0, en la línea 7 del proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico.

Determinado lo anterior, la metodología a seguir se esquematiza en la Ilustración 9 y la cual consta de:

1ra. Fase - Diagnóstico de la situación actual

2da. Fase - Análisis de propuestas

3ra. Fase - Implementación

A continuación, se describen en detalle estas fases.

1ra fase –Diagnóstico de la situación actual

Esta fase está enfocada a determinar la eficiencia operativa, los niveles de digitalización y ciberseguridad de la línea 7 de la empresa analizada.

Para conocer la eficiencia operativa se consideran los reportes de esmaltado, véase Ilustración 8, y prensado y secado, véase Ilustración 9. Los datos de estos reportes se analizan de forma estadística y mediante diagramas causa-efecto.

Para analizar y realizar un diagnóstico de la eficiencia operativa de la línea 7 se debe de llenar y analizar los formatos impresos ya existentes de registro de las variables del proceso. Estos formatos son:

- Formato de registro reporte de esmaltado (Ilustración 10)

- Reporte de prensado y secado (Ilustración 11)

Fecha _____

Centerline Esmaltado

Diseño _____ Formato _____ Línea _____

Set		07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	Turno
		16:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:00	
De:	A:	23:30	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:30	3

Peso de agua										
Peso de engobe										
Densidad de engobe										
Visc. de engobe										
Peso de Base										
Densidad de base										
Visc. de base										

1ra Revisión Del Supervisor
(Primeras 2 horas del turno)

2da Revisión Del Supervisor
(A 6 horas de iniciar el turno)

FICHA TÉCNICA			
	Densidad (g/ml)	Peso (g)	Viscosidad (s)
AGUA			
ENGOBE			
BASE			

CONDICIONES DE TRABAJO			
	Densidad (g/ml)	Peso (g)	Viscosidad (s)
AGUA			
ENGOBE			
BASE			

Comentarios condiciones de trabajo: _____

Ilustración 10: Reporte de esmaltado. Elaboración interna

REPORTE DE PENSADO Y SECADO

Prensado #: _____ Ciclos: _____ Fecha: _____ Formato: _____
 Modelo: _____ Presión Específica kg/cm²: _____ Tipo de Punzón: _____

Formato	STD	Tolerancia	Inf	Std	Sup
33x35	7.4	± 0.2	7.20 a 7.29	7.30 a 7.59	7.51 a 7.60
44x44	7.6	± 0.2	7.40 a 7.49	7.50 a 7.79	7.71 a 7.80
44x44 PF	7.8	± 0.2	7.60 a 7.69	7.70 a 7.99	7.91 a 8.00
55x55	9.4	± 0.2	9.20 a 9.29	9.30 a 9.59	9.51 a 9.60

HORA	ESPORES (MM)																Espesor promedio por punzón				
	PIEZA 1				PIEZA 2				PIEZA 3				PIEZA 4								
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	P1	P2	P3	P4	
PRIMERO	07:00																				
	09:00																				
	11:00																				
	13:00																				
Nombre y firma del operador: _____																					
SEGUNDO	15:00																				
	17:00																				
	19:00																				
	21:00																				
Nombre y firma del operador: _____																					
TERCERO	23:00																				
	01:00																				
	03:00																				
	05:00																				
Nombre y firma del operador: _____										Nombre y firma del supervisor: _____											

REFERENCIA	Condición	Acción
E1	2 unidades en zona verde	Continuar
E2	1 unidad en zona verde y 1 unidad en zona amarilla	Continuar
E3	2 unidades en zona amarilla	Ajustar y avisar al supervisor
E4	1 unidad en zona roja	Parar y avisar al supervisor

% Ejecución:
 % Cump.:

No olvides reportar cada punto en la zona roja en la sección de anomalías al reverso

RRPD-11/53

Ilustración 11: Reporte de prensado y secado. Elaboración interna

Instrumentos de análisis.

En seguimiento a esta misma filosofía, resulta necesario realizar un análisis previo de la tecnología presente en la empresa caso de estudio con el fin de evaluar el grado de preparación para la implementar las propuestas de la industria 4.0.

Para determinar la preparación de la empresa caso de estudio se utilizará la herramienta Impuls (Consult, 2023), revisada en la maestría de planeación estratégica e innovación de la universidad autónoma de San Luis Potosí. Esta misma herramienta es propuesta en literaturas sobre este mismo tema.

También se propone determinar y analizar la tecnología presente en la empresa caso de estudio. Para tal efecto se propone el llenado del formato de la Tabla 4 a manera de inventario

de tecnología presente. Este formato se deberá de llenar con la información de la ficha técnica de cada equipo de cómputo, antenna o elemento informático presente en la línea de producción

7.

ID	Marca	Modelo	CPU	Hd (GB)	Mem (GB)	SO	Conexión IOT	Años de uso	Descripción del equipo o máquina

Tabla 4. Inventario de tecnología presente. (Elaboración propia)

Con la información de la Tabla 5 de tecnologías presentes se propone evaluar si alguna de las tecnologías se clasifica dentro de los conceptos de la industria 4.0. Se debe de colocar una marca en cada concepto de la celda en las columnas “Se tiene” o “no se tiene” según corresponda. De igual forma se debe marcar en la columna “Se requiere” si para este caso de implementación es necesario contar con este concepto en la empresa caso de estudio.

Concepto Industria 4.0	Se tiene	No se tiene	Se requiere
Sistemas en la nube			
Ciberseguridad			
Análisis Big Data			
Internet de las cosas			
Sistemas de integración			
Robots autónomos			
Realidad aumentada/virtual			
Simulación			

Tabla 5. Relación de conceptos de la I4.0 en la empresa caso de estudio.

Finalmente, en esta fase, se estudiará el nivel de ciberseguridad de la empresa. Para ello se tiene que tomar como referencia el marco de ciberseguridad NIST que ayuda a los negocios a comprender, administrar y reducir mejor sus riesgos y proteger sus redes y datos.

Como instrumento de medición se propone el llenado de la Tabla 6 que contiene los conceptos a evaluar, así como el puntaje recomendado como objetivo para la empresa caso de estudio que se deberá de tomar como referencia de acuerdo con el rubro de la empresa.

	NIST CSF	Objetivo	Puntaje Política	Comparación
		3.00		
IDENTIFICAR (ID)	Gestión de activos (ID.AM)	3.00		
	Entorno empresarial (ID.BE)	3.00		
	Gobernanza (ID. GV)	3.00		
	Evaluación de riesgos (ID.RA)	3.00		
	Estrategia de gestión de riesgos (ID.RM)	3.00		
	Gestión de riesgos de la cadena de suministro (ID.SC)	3.00		
PROTEGER (PR)	Gestión de identidad, autenticación y control de acceso (PR.AC)	3.00		
	Sensibilización y formación (PR.AT)	3.00		
	Seguridad de datos (PR.DS)	3.00		
	Procesos y procedimientos de protección de la información (PR. IP)	3.00		
	Mantenimiento (PR.MA)	3.00		
	Tecnología de protección (PR.PT)	3.00		
DETECTAR (DE)	Anomalías y eventos (DE.AE)	3.00		
	Monitoreo continuo de seguridad (DE.CM)	3.00		
	Procesos de detección (DE. DP)	3.00		
RESPONDER (RS)	Planificación de respuesta (RS.RP)	3.00		
	Comunicaciones (RS.CO)	3.00		
	Análisis (RS.AN)	3.00		
	Mitigación (RS.MI)	3.00		
	Mejoras (RS.IM)	3.00		
RECUPERAR (RC)	Planificación de recuperación (RC.RP)	3.00		
	Mejoras (RC.IM)	3.00		
	Comunicaciones (RC.CO)	3.00		

Tabla 6. Tabla NIST. (National Institute of Standards and Technology, 2017)

2da fase – Análisis de propuestas

Para contar con diversas alternativas de solución, se propone esta segunda fase para poder analizar, presentar y evaluar las propuestas de transformación hacia la industria 4.0. Se deberá realizar el análisis para una propuesta de implantación tanto de tecnología, como de las variables a digitalizar que busque cumplir con los objetivos de mejorar la eficiencia operativa de la línea 7 de producción pero que también sirva como evaluación de réplica como caso de éxito para el resto de las líneas de producción de la empresa caso de estudio.

Con el análisis previo en la fase de diagnóstico la propuesta debe de cumplir con los criterios de ser ágil en la implementación, económicamente viable con los presupuestos actuales, deberá cumplir con la facilidad de réplica en las demás líneas de producción y sobre todo que la propuesta incluya criterios de los conceptos de la industria 4.0. La evaluación de las propuestas se deberá determinar con la Tabla 7. Esta tabla será el resultado y documentará la decisión de la propuesta a implementar.

Criterio	Propuesta 1		Propuesta N
Ágil			
Dentro de presupuesto			
Facilidad de réplica			
Enfocada a la industria 4.0			

Tabla 7. Tabla para analizar propuestas de implementación

Para completar la tabla, primero se ubicarán los nombres de las distintas propuestas en las columnas. A continuación, se marcará cada celda para indicar si cada propuesta cumple o no con los criterios de implementación.

Propuesta de variables susceptibles a digitalizar.

Por medio de la observación y de los procesos definidos por la organización se deberá de realizar un inventario de todas las variables del proceso crudo de fabricación de piso cerámico con el objetivo de tenerlas listadas al momento de elaborar la interfaz digital de captura y determinar si es necesario que se pasen a un formato digital. El formato de inventario debe de ser sencillo donde se incluye el nombre de la variable y a que parte del proceso pertenece ya sea al prensado o al esmaltado y debe de estar guiado por los formatos actuales de los reportes impresos de producción con el objetivo de poder comparar el antes y después en la fase de implementación. Se propone la Tabla 8 para la documentación de las variables.

Nombre de la variable	Nombre del proceso (Prensado o esmaltado)

Tabla 8. Inventario de variables del proceso. Elaboración propia

Por otro lado, uno de los pasos a cubrir es la revisión de la tecnología a implementar. Para este fin se debe de tomar en cuenta el análisis realizado en la fase de diagnóstico en donde se deben de revisar las áreas de oportunidad, así como las formas de toma de registro en la línea de producción para de esta manera proponer la tecnología que se adapte al proceso ya establecido. Con base en esto se propone la Tabla 9 en donde a manera de resumen se debe de colocar la información de las fichas técnicas de los equipos propuestos y al mismo tiempo sirve para ir formando el listado de la tecnología necesaria para la fase de la implementación.

ID	Marca	Modelo	CPU	Hd (GB)	Mem (GB)	SO	Conexión IOT	Descripción del proceso

Tabla 9. Resumen de tecnología propuesta

3ra fase – Implementación

En esta fase se desarrolla la propuesta analizada y aprobada con la información de las secciones anteriores haciendo uso de las herramientas analizadas en la fase 2 de análisis de propuestas. El objetivo principal es realizar la implementación en la línea 7 de proceso crudo de fabricación de piso cerámico. Durante esta sección se debe de hacer uso de observación y de herramientas de análisis estadístico histórico y obtener los resultados de la implementación.

Durante esta tercera fase, se hace uso de la información de las herramientas previamente declaradas en la fase 1 de Diagnóstico, donde se realiza un análisis del estado previo de la eficiencia operativa, un diagnóstico de la madurez de la Industria 4.0, así como también la evaluación del nivel de ciberseguridad de la empresa caso de estudio. Esta información es relevante para realizar el análisis de propuestas que se busquen implementar en el desarrollo de la Fase 2 Análisis de propuestas. La segunda fase se puede considerar la fase medular para la toma de decisiones ya que evalúa con ayuda de los instrumentos de investigación declarados, la mejor opción para iniciar con los conceptos de la industria 4.0 en la empresa caso de estudio. La salida de esta segunda fase de evaluación nos dará como resultado la propuesta mejor calificada para implementar dentro de las alternativas analizadas.

Como se mencionó en el párrafo anterior, la información de las salidas de las fases previas, sirven como las entradas para esta fase de implementación que busca sentar las bases para

una prueba piloto que sea replicable pero también redituable para los objetivos de la organización caso de estudio.

Es importante mencionar que la principal evaluación será sobre el objetivo general relacionado con el rediseño del control de proceso y los objetivos específicos enfocados a identificar las variables a digitalizar así como también a tener un punto que permita comparar y evaluar los volúmenes de producción después de implementar los conceptos de la industria 4.0 del presente trabajo de investigación Para ello se requiere asegurar la captura de los registros de información y su integridad para ello, las pruebas que se mencionan en la Tabla 10 se proponen para garantizar la calidad de la captura de los datos sin importar el tipo de sistema digital seleccionado a implementar.

Prueba	Descripción	Objetivo
Mapa de calor red wifi	Revisar que la cobertura de red inalámbrica sea la suficiente para poder operar el proyecto	Contar con cobertura de red inalámbrica
Evaluación de dispositivos de cómputo	Revisar que los dispositivos propuestos cumplan con lo planteado en las propuestas de implementación	Evaluar la funcionalidad del equipo de cómputo y el proceso
Evaluación del nivel de ciberseguridad en la empresa	Revisar que la implementación cumpla con los objetivos de protección de datos de la empresa	Evaluar el Nivel de ciberseguridad en la empresa
Mejora en el proceso productivo	Revisar el antes y después de la implementación	Verificar los indicadores de producción con la implementación

Tabla 10. Listado de pruebas a realizar para validar la propuesta implementada

De la misma manera, es necesario contar con identificadores únicos para los registros a capturar de cada variable y de cada parte del proceso, así como demostrar la consistencia de la información. Características de los datos como trazabilidad, seguridad, escalabilidad, y portabilidad son necesarias cubrir con el uso de un sistema informático diseñado a la medida compuesto por bases de datos y lenguajes de programación y que cuente con interfaces para la captura con la seguridad de ser utilizadas solo por el personal pertinente por lo que debe de contar con un inicio de sesión en el sistema con usuario y contraseña de acceso.

La infraestructura informática en la que se implemente este sistema también es un aspecto clave, ya que debe contar con servidores robustos y redes de datos certificadas, tanto cableadas como inalámbricas, que garanticen la confiabilidad del sistema.

Por último, es también necesario que se garantice la continuidad del sistema por medio de un mecanismo de corriente eléctrica regulada que permita operar incluso con cortes de energía no programados.

Capítulo 4. Resultados

En el presente capítulo se abordan las 3 fases propuestas descritas dentro de la metodología para digitalizar el proceso de crudo en una empresa del ramo cerámico utilizando tecnologías basadas en la industria 4.0. Se describe como resultados, sin embargo, como se mencionó en la propuesta metodológica, inicia con una fase de diagnóstico de la situación actual de la empresa caso de estudio para después abordar las propuestas de implementación de tecnologías y principios de diseño de la industria 4.0. Por último, se presenta la valoración resultante de la implementación de la propuesta seleccionada.

4.1 1ra. Fase - Diagnóstico de la situación actual.

Como parte de los objetivos particulares del presente trabajo de investigación, se busca conocer cuál es grado de implementación o preparación de la empresa caso de estudio para establecer conceptos de la industria 4.0 en el proceso de producción crudo de piso cerámico.

4.1.1 Diagnóstico de la eficiencia operativa de las variables de producción.

Durante el desarrollo del presente trabajo se tuvo acercamiento con las áreas de producción para obtener el histórico de las variables del control de proceso en la línea 7 del último año, con ayuda de los formatos existentes y procesos establecidos. Se pudo determinar que los formatos impresos que se mencionan en Ilustración 10 y también en la Ilustración 11 son utilizados para que el personal operativo escriba a mano los datos de las mediciones hechas para las variables del control de la producción. Con este formato hecho a mano, posteriormente es tarea del supervisor en turno recolectar y escribir a mano un punto para indicar si la variable se encuentra dentro del control, en un tableo físico que se encuentra en piso de producción. Este punto sirve para indicar el comportamiento del proceso durante la

medición durante una semana natural, lo que implica que, al iniciar una nueva semana, los datos son borrados para iniciar con la escritura de nuevo en el tablero mencionado. En la Ilustración 12 se muestra un ejemplo de lo descrito donde se captura el comportamiento de las variables críticas de producción.

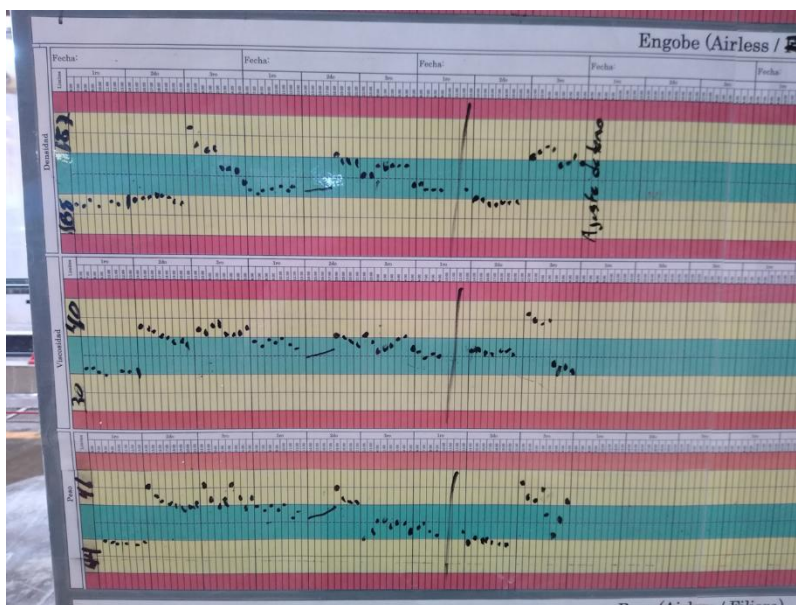


Ilustración 12: Tablero de captura de variables de producción

Con esto descrito y a pesar de realizar una búsqueda de los formatos impresos con el objetivo vaciar los datos en una hoja de cálculo, se documentó que no se resguardan en carpetas o bajo un control estándar, lo que resulta en que son desechados por el personal operativo, por lo que como estrategia de solución, se optó por realizar una corrida de prueba en los meses de noviembre y diciembre de 2023, para contar con datos que permitieran analizar la eficiencia operativa en la fase de diagnóstico. Los resultados se muestran en la Ilustración 13

Ejercicio	Fecha	Suma de M2 buenos prensados y esmaltados	Suma de M2 malos prensados y esmaltados	% de desperdicio
Corrida de muestra	2023	309,921.00	2,842.15	0.91%
Corrida de muestra	nov	160,163.98	1,484.95	0.92%
Corrida de muestra	dic	149,757.02	1,357.20	0.90%

Ilustración 13: Diagnóstico de la eficiencia operativa de la línea 7 de prensado y esmaltado. En este ejercicio se pudo documentar el volumen de producción en metros cuadrados producidos en los meses de noviembre y diciembre de 2023 así como los metros cuadrados que fueron desperdicio en el mismo periodo de tiempo. Así mismo con estos datos se pudo calcular el porcentaje de desperdicio lo que nos brinda una perspectiva clara con datos reales sobre el comportamiento y la eficiencia operativa de esta línea de producción.

4.1.2 Diagnóstico tecnología instalada en la empresa caso de estudio

De acuerdo con el cuadro metodológico, se elaboró una tabla resumen que muestra la tecnología actualmente instalada en la empresa y la tecnología que se requiere implementar para el presente trabajo de investigación. La Tabla 11 tiene el objetivo de mostrar de forma clara los 7 conceptos abordados en el marco teórico y colocar si se tiene o no en la empresa caso de estudio.

Concepto Industria 4.0	Se tiene	No se tiene	Se requiere
Sistemas en la nube		X	X
Ciberseguridad	X		X
Análisis Big Data	X		X
Internet de las cosas		X	X
Sistemas de integración		X	X
Robots autónomos		X	X
Realidad aumentada/virtual		X	X
Simulación		X	X

Tabla 11. Relación de conceptos de la I4.0 en la empresa caso de estudio (Elaboración propia)

Análisis de tecnología presente

Se tomó un inventario de los equipos de cómputo presentes en la empresa caso de estudio mediante la propia descrita en la sección de instrumentos de análisis. Los resultados que se documentan en la Tabla 12 muestran que no se cuenta con tecnología dedicada para el proceso de control de producción.

Marca	Modelo	CPU	Hd (GB)	Mem (GB)	SO	IoT	Años	Descripción del proceso
Dell	OptiPlex 7010	Intel(R) Core (TM) i7-3770	500	16	Windows 10	No	10	Captura de volumen de producción
Dell	Optiplex 7060	Intel(R) Core (TM) i5-8500	1000	16	Windows 10	No	4	Captura de volumen de producción
Dell	OptiPlex 7070	Intel(R) Core (TM) i5-9500	1000	16	Windows 10	No	4	Captura de volumen de producción
Dell	OptiPlex 7090	Intel Core i5 10500	1000	16	Windows 10	No	2	Captura de volumen de producción
Cisco	Meraky	NA	NA	NA	NA	No	2	Conexión de equipos inalámbricos de proveedores
Cisco	Catalysis 24 PoE	NA	NA	NA	NA	No	5	Conexión equipos de red de la empresa

Tabla 12. Resultados del inventario de la tecnología presente.

4.1.2.1. Diagnóstico grado de preparación de la empresa caso de estudio para la implementación de la industria 4.0.

Con el ejercicio de llenado de los formularios de la guía del sitio web de Impuls (Consult, 2023), se capturaron las características de la empresa que se evalúa para el presente trabajo de investigación y se pudo obtener el grado de preparación con el que cuenta la empresa. Así mismo, se pudo conocer una comparativa con empresas del mismo ramo, lo que nos ayuda también a conocer en qué grado de innovación se encuentra.

Se obtuvo una calificación de nivel 2 intermedio a nivel global en la empresa. Con el diagrama de radar de la Tabla 14 se puede observar donde están los principales puntos a cubrir para iniciar con la implementación de proyectos de la industria 4.0. La Tabla 13

muestra los valores resultado que fueron obtenidos en la evaluación con una calificación de nivel 2 intermedio como se observa en la Tabla 13.

Dimensión	Nivel obtenido	Objetivo
Estrategia y organización	2	5
Empresa inteligente	1	5
Operaciones inteligentes	3	5
Productos inteligentes	1	5
Servicios basados en datos	2	5
Empleados	2	5

Tabla 13. Tabla de evaluación del nivel de preparación para la I4.0

La gráfica de los datos de esta tabla se muestra en Ilustración 14 con el objetivo de visualizar cada una de las brechas a recorrer para alcanzar el objetivo de transformación en la empresa caso de estudio.

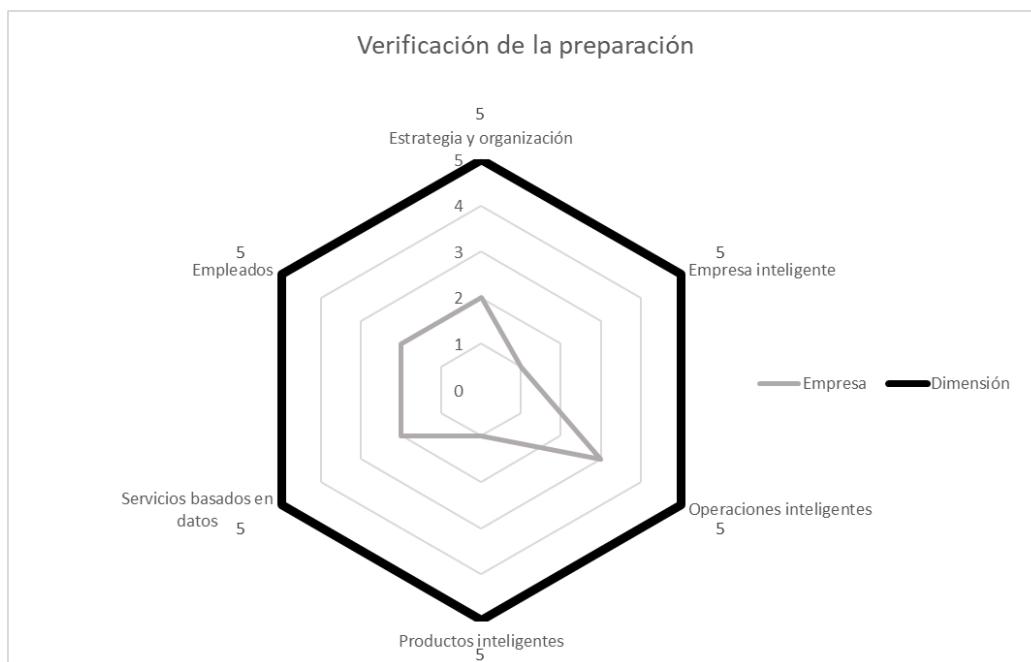


Ilustración 14: Verificación de la preparación (Elaboración propia)

Para efectos de este trabajo de investigación, se revisó de manera específica la evaluación de la estrategia y organización de la empresa caso de estudio.

Actualmente en la empresa ya se cuenta con un departamento que está focalizado a llevar la estrategia de digitalización y se cuenta con un presupuesto asignado por la organización para la implementación de proyectos que van fincando la base para la implementación de la industria 4.0 directamente en la producción del piso cerámico. Con esto en mente como se puede observar en la Ilustración 15 y la Ilustración 16 se obtuvo un resultado de nivel 2 de 5 iniciando en 0 lo que implica que se tiene un nivel de preparación inicial aun para la implementación del concepto global de Industria 4.0.



Ilustración 15: Calificación grado de preparación industria 4.0.

Se pudo observar que no se obtiene un nivel más alto debido a que no se tiene una estrategia que contemple el largo de los departamentos de la empresa por lo que no se puede gestionar

la tecnología e innovación en toda la organización y es necesario introducir un sistema de indicadores para próximas implementaciones de la Industria 4.0.

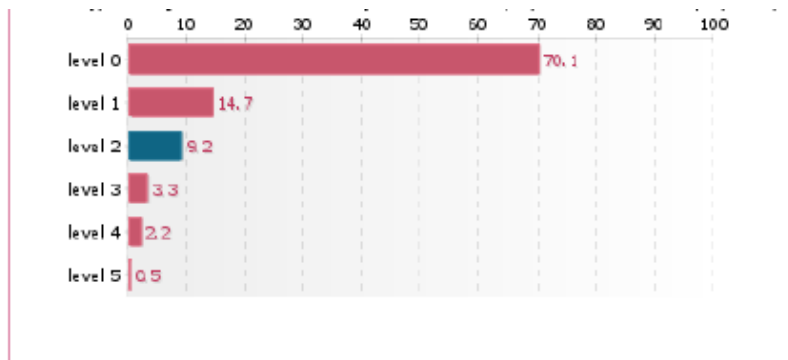


Ilustración 16: Resultado de la evaluación en la empresa caso de estudio por número de empleados. (Consult, 2023)

4.1.3 Diagnóstico del nivel de implementación de ciberseguridad y protección de datos

Con el fin de cubrir uno de los objetivos particulares sobre el nivel de preparación de la empresa para cubrir el tema de ciberseguridad, se tomó como referencia el Marco de Ciberseguridad del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST por sus siglas en ingles). Este modelo permite a las organizaciones evaluar su posición actual y establecer conforme a su priorización la meta de madurez en cada subcategoría presentada. En términos generales, los niveles establecen:

- Nivel 0: Acciones vinculadas ciberseguridad casi o totalmente inexistentes. (Diva Urrutia, y otros, 2019)

- Nivel 1: Existen algunas iniciativas sobre ciberseguridad. Enfoques ad-hoc. Alta dependencia del personal. Actitud reactiva ante incidentes de seguridad. (Diva Urrutia, y otros, 2019)
- Nivel 2: Existen ciertos lineamientos para la ejecución de las tareas. Existe dependencia del personal. Se ha avanzado en el desarrollo de los procesos y documentación de las tareas. (Diva Urrutia, y otros, 2019)
- Nivel 3: Se caracteriza por la formalización y documentación de políticas y procedimientos. Gobernanza de la ciberseguridad. Métricas de seguimiento. (Diva Urrutia, y otros, 2019)
- Nivel 4: El responsable de Seguridad de la Información (RSI) tiene un rol clave en el control y mejora del SGSI. Se realiza control interno. Se trabaja en la mejora continua. La ciberseguridad está alineada con los objetivos y estrategias de la organización (Diva Urrutia, y otros, 2019)

Conforme a los objetivos marcados por la dirección de la empresa caso de estudio, es su objetivo alcanzar un nivel de grado 3 en donde se asegure la existencia de un gobierno dentro de la empresa que regule la seguridad de la información. Para esto el resultado se muestra en la Tabla 14 donde se evaluó la política o procedimiento existente dentro de la organización, asignando un puntaje de evaluación.

	NIST CSF	Objetivo	Puntaje Política
		3.00	1.95
IDENTIFICAR (ID)	Gestión de activos (ID.AM)	3.00	2.33
	Entorno empresarial (ID.BE)	3.00	1.60
	Gobernanza (ID. GV)	3.00	1.75
	Evaluación de riesgos (ID.RA)	3.00	2.50
	Estrategia de gestión de riesgos (ID.RM)	3.00	2.67
	Gestión de riesgos de la cadena de suministro (ID.SC)	3.00	1.40
PROTEGER (PR)	Gestión de identidad, autenticación y control de acceso (PR.AC)	3.00	2.43
	Sensibilización y formación (PR.AT)	3.00	2.20
	Seguridad de datos (PR.DS)	3.00	1.75
	Procesos y procedimientos de protección de la información (PR. IP)	3.00	2.00
	Mantenimiento (PR.MA)	3.00	1.50
	Tecnología de protección (PR.PT)	3.00	1.40
DETECTAR (DE)	Anomalías y eventos (DE.AE)	3.00	3.00
	Monitoreo continuo de seguridad (DE.CM)	3.00	1.88
	Procesos de detección (DE. DP)	3.00	2.00
RESPONDER (RS)	Planificación de respuesta (RS.RP)	3.00	2.00
	Comunicaciones (RS.CO)	3.00	2.00
	Análisis (RS.AN)	3.00	1.40
	Mitigación (RS.MI)	3.00	2.00
	Mejoras (RS.IM)	3.00	2.00
RECUPERAR (RC)	Planificación de recuperación (RC.RP)	3.00	2.00
	Mejoras (RC.IM)	3.00	2.00
	Comunicaciones (RC.CO)	3.00	1.00

Tabla 14. Nivel de cumplimiento NIST. (National Institute of Standards and Technology, 2017)

Enseguida se muestra en la Ilustración 17 una gráfica de los valores obtenidos para la evaluación. Se seleccionó una gráfica de estrella para poder observar las diferencias existentes y que son necesarias atender para poder alcanzar el objetivo de salvaguardar la información.

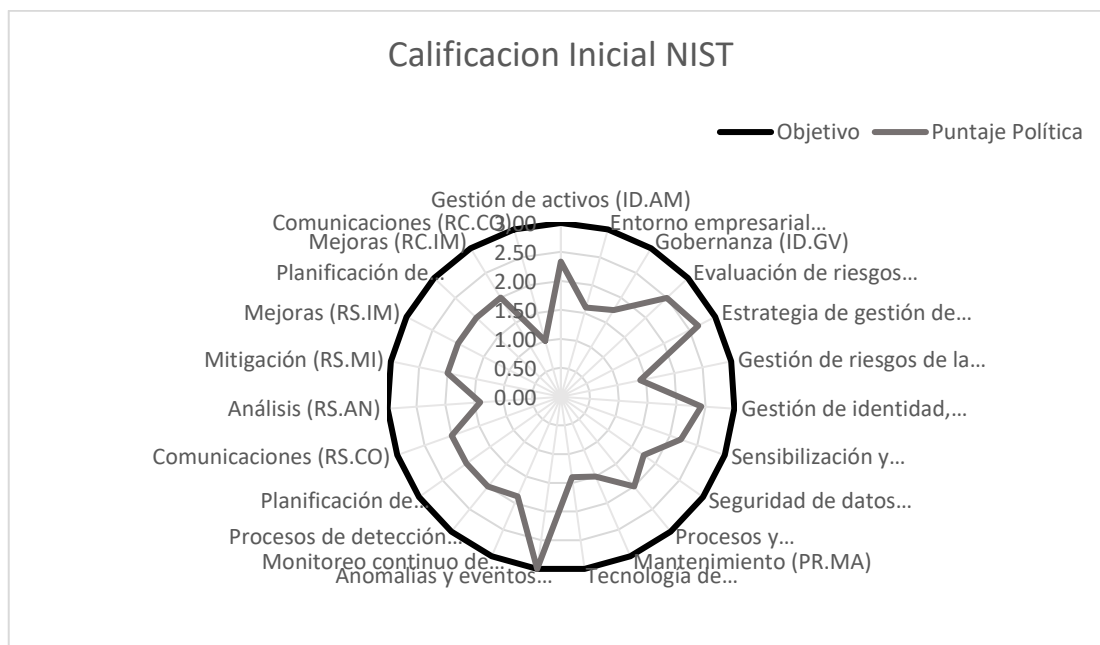


Ilustración 17: Gráfica de calificación inicial NIST.

4.2 2da fase – Análisis de propuestas

En esta sección se busca analizar las diferentes alternativas de solución para presentar y evaluar la factibilidad de implementación para cubrir los objetivos documentados. Con lo que se revisó en el marco teórico se retoman los conceptos para dar los primeros pasos en la transformación de la industria 4.0.

Se analizaron 3 diferentes propuestas que se documentan a continuación y que se evalúan con las herramientas declaradas en el capítulo 3 de metodología.

4.2.1. Propuesta 1. Cambio de equipos de producción por nuevos modelos con tecnología presente 1 4.0

Renovar los equipos de producción a nuevos modelos que incluyan mediciones digitales del control de proceso. Los fabricantes de las máquinas y equipos de producción ofrecen en la actualidad la posibilidad de adquirir equipos con características de sensores y conectividad, listos para la Industria 4.0.

Tal es el caso del fabricante de la marca SACMI que en sus diversos modelos incluye un sistema de recolección y almacenamiento de datos de producción acoplados a lo que llaman Digital Manufacturing 4.0 (Sacmi, 2021). En la Ilustración 18 se muestra la maquinaria actualmente comercializada.



Ilustración 18: Modelo de equipo listo para implementar la digitalización de la Industria 4.0

Este modelo se incorpora a un sistema digital mostrado en la Ilustración 19 que ayuda con la recolección de datos y que permite consultar las diferentes variables de producción durante el proceso de fabricación.



Ilustración 19: Herramientas de monitoreo de la línea de producción

Con el objetivo de contar con información sobre esta propuesta, se buscó al área de Mantenimiento de la empresa caso de estudio y proveedores del fabricante de la marca SACMI, y se consultó el tiempo, presupuesto y factibilidad para realizar una actualización de un equipo de prensado y esmaltado de estas características. Los resultados se muestran en la Tabla 15.

Tiempo de instalación	De 4 a 6 meses considerando la nueva cimentación y los tiempos de traslado de la nueva maquinaria
Costo	Con un costo promedio de entre 20 millones de pesos incluyendo costos de maquinaria, instalación, viáticos y mano de obra
Facilidad de réplica	Dados los costos monetarios y de tiempo de implementación, se vuelve poco rentable cambiar a esta solución si se solo busca iniciar con la industria 4.0 en la empresa

Tabla 15. Resumen de primera propuesta.

4.2.2. Propuesta 2. Contratación de un servicio de proveeduría para instalación de sensores monitores.

Ante la creciente necesidad de las empresas de poder incorporar a sus procesos elementos tecnológicos que le permitan el análisis de sus datos para la toma de decisiones ágiles que ayuden al ahorro de gastos y conexión con los clientes, se han creado empresas independientes que ofrecen como servicio la implementación de los conceptos de la industria 4.0 por medio de desarrollos hechos a la medida tanto de hardware como de software en la automatización.

Durante el evento Industrial transformation México, que se llevó a cabo en la ciudad de León, en el estado de Guanajuato, México en octubre del año 2023, se dieron cita diferentes expositores para presentar lo último en innovación tecnológica referente con la industria 4.0. Este evento como se observa en la Ilustración 20, se realiza cada año en México y es una réplica del primer evento que se realizó en Hannover, Alemania donde por primera vez se presentó el concepto Industria 4.0.



Ilustración 20: Portada del evento Transformación industrial México.

Con la experiencia personal al asistir a este evento, se recomienda la asistencia a estos paneles de expertos para conocer las innovaciones tecnológicas, así como a los proveedores que ofrecen los servicios tercerizados a la medida para las empresas, y también casos de éxito y planes a futuro de otras empresas y países. Tal es el ejemplo para el presente trabajo de investigación. Numerosos expositores conocen la problemática que se tiene en la industria de la construcción del ramo cerámico referente a la obsolescencia presente en los equipos de producción ya documentada en la sección de antecedentes, por lo que han creado soluciones que permiten adecuar a estas máquinas, modernos sensores con conectividad a la nube y que al mismo tiempo abarcan la seguridad de los datos.

Durante el evento se recopilaban posibles ofertas con los proveedores que se presentaron en la exposición por lo que en la siguiente Tabla 16 se presentan las conclusiones de implementar esta propuesta.

Tiempo de instalación	De 3 a 6 meses considerando las adecuaciones a los sensores, así como el desarrollo de la interfaz de muestreo de información
Costo	No se pudo obtener un costo, dado a la necesidad de asistencia de técnicos de cada proveedor para realizar un levantamiento de requerimientos, lo que implica un costo por el análisis.
Facilidad de réplica	Complicada. Una vez que se realizó la primera implementación, el proceso no puede ser fácilmente implementado en el resto de las líneas productivas por la propia empresa, teniendo que depender del proveedor para el resto de la implementación.

Tabla 16. Resultados segunda propuesta.

4.2.3. Propuesta 3. Iniciar con la etapa de digitalización del proceso.

De acuerdo con lo descrito en el capítulo 2 del Marco teórico, el uso de la (Guía Asebec 4.0, 2018) que marca una ruta para las empresas de este ramo, así mismo mediante la documentación del artículo científico propuestas de adopción tecnológica, que habla sobre industria 4.0 en las pymes mexicanas (Mercado, 2021) una importante referencia y se retoma en este trabajo de investigación para documentar una propuesta de solución a la problemática presente. En la guía (Guía Asebec 4.0, 2018), se describen 6 fases principales para el proceso de adaptación a la industria 4.0. En la Ilustración 21 se retoman estas etapas.

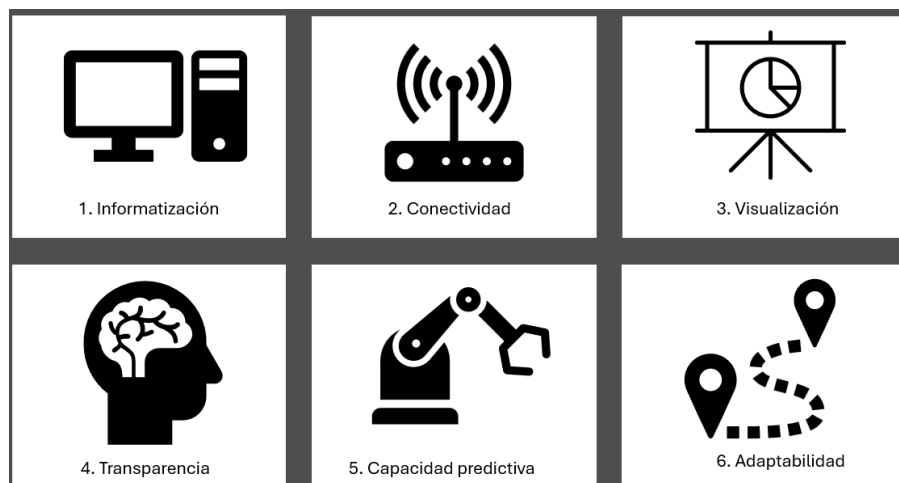


Ilustración 21: Seis fases principales para el proceso de adaptación a la industria 4.0.

Una de las principales problemáticas abordadas en la empresa caso de estudio, se refiere al llenado de formatos físicos que se utilizan para tener un control de la producción, sin embargo, estos formatos limitan rastreabilidad de las variables, así como el análisis histórico de las variables del proceso de fabricación y principalmente no permiten contar con un antes y después para correlacionar los objetivos de volumen, calidad y desperdicio.

Debido a lo descrito, se propone la implementación de dispositivos de captura digitales de las variables de producción, complementado con el desarrollo de un sistema y base de datos para almacenar la información.

Esto apegado a alcanzar la prefase que buscan digitalizar (Mercado, 2021) los procesos productivos en la empresa caso de estudio.

Adicionalmente se siguió la premisa de implementar principios de diseño como la agilidad, procesos de negocio e interoperabilidad, que, en conjunto con las tecnologías como ciberseguridad, tecnologías redes y comunicación, así como tecnologías móviles presentes en el marco de referencia de la industria 4.0 ayudan a las empresas tradicionales en el proceso de transformación hacia ecosistemas de empresas inteligentes. Por tanto, se retoma la

propuesta del marco metodológico para incorporar los principios de diseño y tecnologías específicos para la empresa caso de estudio.

También como se mencionó en el marco teórico, la implementación del presente trabajo de investigación busca satisfacer las necesidades de los usuarios y de la empresa caso de estudio, por lo que, de acuerdo con la literatura revisada, es importante implementar proyectos con tecnologías y requerimientos que sirvan para cubrir sus necesidades de la empresa caso de estudio.

Como requerimientos para esta propuesta, se propone lo siguiente lista de elementos para cumplir con el propósito de digitalización.

- Herramientas para medición. Ya definidas por el propio proceso lo que permite realizar la implementación sin necesidad de modificar los recursos operativos.
- Red regulada o UPS Para mantener el sistema de control en funcionamiento durante cortes de suministro eléctrico. Para dar continuidad al proceso de captura, principal requerimiento en los procesos de automatización.
- Sistema de control digital. Desarrollo de software para la captura de las variables de producción ya definidas.
- Red inalámbrica. Conexión disponible en toda la línea de producción para liberar al personal operativo de capturas en un solo punto, pero sobre todo para evitar el llenado de los datos en papel.
- Antenas de red inalámbrica, Aplicación, Base de datos. Infraestructura necesaria para la conexión, captura, visualización y almacenamiento de los datos a capturar.

- Tabletas industriales, Internet, Servidor. Dado el proceso descrito en el capítulo 1 de la introducción es necesario contar con equipos robustos que cuenten con protección de grado IP68 contra polvo y humedad. A su vez el uso de tabletas ayuda a la captura en el punto de la toma de la muestra. El servidor y la conexión a internet deberán de cumplir con los índices de ciberseguridad.
- Centros de carga por tableta. Asegura que se tenga un espacio dedicado para la carga de la batería del dispositivo
- Puntos de red certificados. Para asegurar la fiabilidad de la conexión de los datos.
- Switches necesarios. Son elementos informáticos que funcionan para interconectar los dispositivos a la red de datos. Para esta propuesta, se deben de contemplar para la conexión de las antenas inalámbricas, así como para la comunicación hacia el servidor de captura y de base de datos.

Como parte del proceso, se retoma como referencia la Tabla 17 donde se documentar los tiempos de implementación, costos y la facilidad de réplica.

Tiempo de instalación	3 a 6 meses
Costo	Para la compra de 4 tabletas, compra a instalación de antenas wifi, y la adecuación de los centros de carga: 80 mil pesos o 4700 USD. Se toma como referencia que se tiene a personal interno para el desarrollo del software de captura.
Facilidad de réplica	Muy sencilla. Debido a que no se tiene que intervenir la línea productiva ni modificar el proceso productivo

Tabla 17. Resultado tercero propuesta

Esta propuesta a su vez deberá de contemplar el uso de recursos internos de la empresa caso de estudio tales como el personal de los departamentos de Mantenimiento, Producción, Control de la producción y Sistemas.

4.2.4. Propuesta de variables a digitalizar.

Para la definición de las variables a digitalizar que forma parte de los objetivos de esta investigación, se consultó con el departamento de control de producción sobre las variables críticas a controlar.

En el proceso de esmaltado.

Peso del esmalte, peso del engobe y peso de la cubierta. Es de utilidad conocer estas variables de forma ágil. La aplicación de estos elementos es de suma importancia en la calidad del producto por lo que su medición y posterior control forman parte principal del control de proceso para tener una buena calidad en las piezas. Además, para tener información relevante que pueda consultarse para reportes importantes relacionados con el costo de esmalte.

También se identifica necesario controlar la variable de viscosidad del esmalte del engobe y de la cubierta para contar también con un control del gasto de estos insumos.

En el proceso de prensado

La diferencia de pesos y el espesor son variables importantes en el prensado y actualmente solo se registran en un formato físico por lo que son variables que se deben de tomar en cuenta para digitalizar esta parte del proceso.

Para la variable de la densidad aparente ya se tiene un equipo que agiliza la medición de este indicador, por lo que su digitalización sería fácil de realizar y serviría para contar datos históricos sobre su medición y mejorar la calidad en el producto.

En la Tabla 18 se documenta en forma de resumen los comentarios y recomendaciones obtenidas también de las fichas técnicas de producción.

Nombre de la variable	Nombre del proceso
Densidad aparente	Prensado
Espesor	Prensado
Diferencia de pesos	Prensado
Temperatura previa al engobe	Esmaltado
Peso del esmalte/engobe/cubierta	Esmaltado
Densidad del esmalte/engobe/cubierta	Esmaltado
Viscosidad del esmalte/engobe/cubierta	Esmaltado

Tabla 18. Propuesta de variables a digitalizar

4.3 3ra. Fase - Implementación

Resulta necesario realizar una evaluación objetiva de las diferentes propuestas presentadas en esta tesis, ya que, si bien pudiera resultar más sencillo dejar el trabajo duro a un proveedor con la experiencia suficiente en estas implementaciones, en el futuro inmediato, la facilidad de réplica, el costo y el éxito del caso de estudio pudieran desalentar en seguir el camino de la innovación con tecnologías de la industria 4.0. De igual forma, la propuesta de renovar las máquinas productivas con el objetivo de implementar el concepto de la I4.0 en la empresa caso de estudio, no resultará rentable en los primeros pasos ya que el retorno de la inversión deberá de calcularse para absorber los gastos de compra e implementación.

4.3.1 Selección de propuesta y arranque de implementación.

Como primer paso en la implementación, se debe de seleccionar la propuesta a seguir. Con el uso de la Tabla 7 declarada en la sección 4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, se coloca de forma resumida, los resultados de los análisis realizados cuando se abordó cada una de ellas. Los resultados se documentan en la Tabla 19.

Criterio	Renovar los equipos de producción	Contratación de un servicio de proveeduría	Implementación de dispositivos de captura digitales
Ágil		X	X
Dentro de presupuesto			X
Facilidad de réplica			X
Enfocada a la industria 4.0	X	X	X

Tabla 19. Tabla de resultados de propuestas de implementación.

El resultado de la tabla permite visualizar de forma sencilla que **la propuesta 3 es la más adecuada** para la empresa caso de estudio, ya que, si bien no se pudieron documentar los costos de la propuesta 2 de contratación de un tercero, si se visualiza cierta complejidad para realizar la réplica de la solución en las demás líneas de producción al tener la necesidad de en este momento depender de un proveedor en las etapas más tempranas de las fases del concepto de la industria 4.0.

Esto se justifica como una respuesta a la necesidad de contar con información confiable y oportuna para determinar la producción buena, el desperdicio y dar respuesta a la no producción (tiempos muertos) de acuerdo con las etapas de fabricación, materiales, áreas productivas y máquinas utilizadas para el control de la producción de piezas en puntos específicos a lo largo de la línea de producción en los procesos de prensado y esmaltado exclusivamente.

Para abordar esta solución seleccionada se debe de contemplar el conjunto de elementos que se describieron en la propuesta de solución.

4.3.2 Definición de variables a digitalizar

De forma particular se definió en conjunto con el departamento de control de producción el listado de variables a digitalizar tomadas del listado de variables identificadas en la sección de diagnóstico.

Estas variables se documentan a continuación.

Prensado y secado.

Por su grado de importancia en el proceso, en la Tabla 20 se documentan las variables para este caso de estudio.

Prensado y secado		
Variable crítica	Frecuencia	Rango
Densidad aparente	Cada turno	0.03 g/cm ³
Espesor	3 veces al turno	0.2 mm
Diferencia de pesos	3 veces al turno	40 gramos

Tabla 20. Variables para digitalizar en prensado y secado

Líneas de esmaltado.

Por su grado de importancia en el proceso, en la Tabla 21 se documentan las variables para este caso de estudio.

Prensado y secado		
Variable crítica	Frecuencia	Rango
Temperatura previa al engobe	Cada hora	+/- 3 C
Peso del esmalte/engobe/cubierta	Cada hora	+/- 1 g
Densidad del esmalte/engobe/cubierta	Cada hora	+/- 0.01 g/ml
Viscosidad del esmalte/engobe/cubierta	Cada hora	Airless: +/- 1 s Vela: +/- 5 s en copa ford

Tabla 21. Variables para digitalizar en esmaltado

Identificación de puntos de control y señalética

Uno de los requerimientos adicionales durante la implementación fue identificar los puntos de toma de piezas, así como la línea de producción involucrada en el proyecto. Se crearon etiquetas de identificación para:

- Identificar el proceso al que corresponden (Ejemplo: Prensas, Líneas de Esmaltado).
- Identificar zonas seguras para tomar o depositar piezas.

Proceso al que corresponden.

En la Ilustración 22 muestra el área identificada con el número de línea productiva correspondiente.



Ilustración 22: Identificación línea 7 de línea de esmaltado

Zonas seguras para tomar o depositar piezas

Se definen zonas seguras para retirar o para reingresar piezas con el objetivo de:

- Evitar inconsistencias de control por falta de toma o tomas repetidas
- Evitar desviaciones en los cálculos de desperdicio por errores de control
- Mitigar el riesgo mecánico del operador que realiza la toma o reingreso
- Si se toma una pieza de la línea productiva existen dos posibilidades:
 1. Que se retire y no vuelva a ingresar: En este caso la pieza queda contabilizada como rotura debido a que fue contada por el punto de control inmediatamente anterior a la zona en donde se retiró y no va a ser contada por el siguiente punto de conteo.
 2. Que se retire y deba volver a ingresarse: en caso de que se deba ingresar de nuevo la pieza debe realizarse después del último punto de conteo en donde fue contabilizada y antes del siguiente punto de conteo aguas debajo de la misma línea productiva. De esta forma será contada y no declarada rotura. Bajo ningún motivo una pieza retirada de la línea de producción puede saltarse puntos de conteo.

Si se ingresan muestras o piezas que no han sido contabilizadas en la totalidad de los puntos de conteo previos a la zona en donde se ingresan, estas deberán ingresarse después de un punto de conteo y antes del siguiente punto de conteo.

Señalización de zonas para toma e ingreso de piezas

Se utilizan las siguientes propuestas Ilustración 23 de carteles de señalización para dar la nomenclatura estándar:

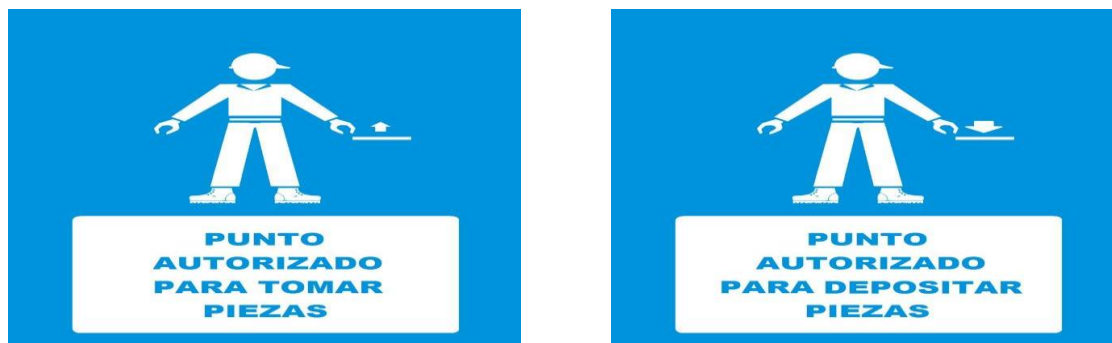


Ilustración 23: Carteles para señalizar toma de muestras

En la Ilustración 24 se pone como referencia el cartel colocado en la línea 7 de prensado y esmaltado para la toma de muestras.

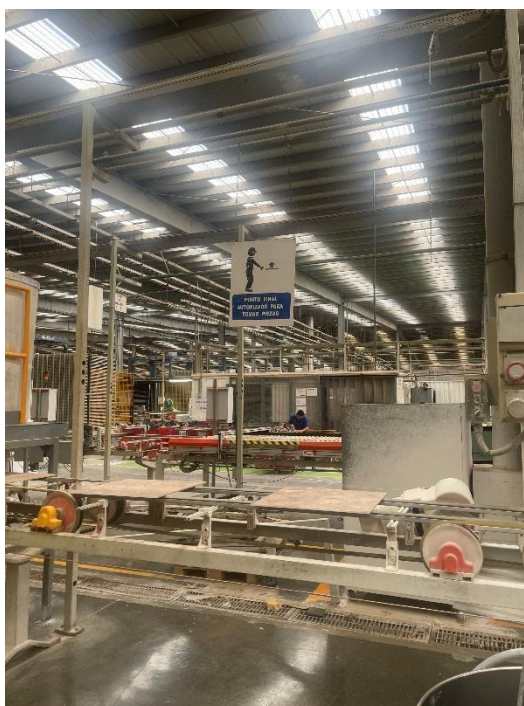


Ilustración 24: Ejemplo de punto de toma de muestra

4.3.3 Componentes del sistema de control

En la Ilustración 25 se visualiza la conectividad de la tecnología propuesta para implementar y que corresponde al listado de componentes del sistema de control de proceso propuesto.

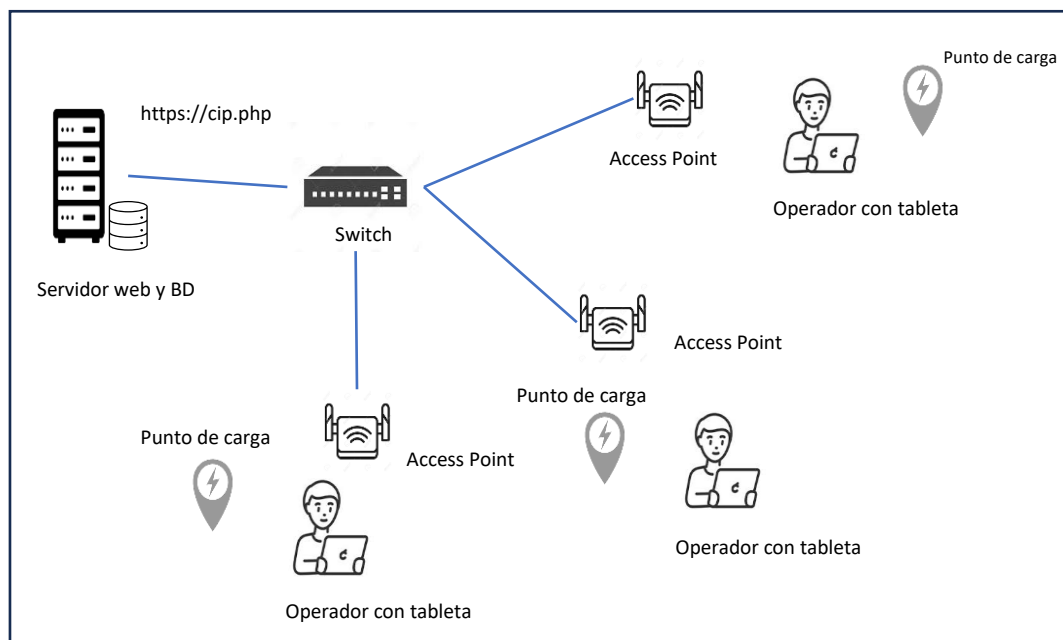


Ilustración 25: Esquema de infraestructura

Se requiere almacenar en un sistema de base de datos confiable los registros de las variables digitalizadas por lo que debe de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Instalada en servidor local
- SQL Server Express (gratis hasta 4 gb)
- Mantenimiento base de datos depuración anual

Para la aplicación de control de proceso se documentan los siguientes requerimientos

Funcionamiento

- Debe ser instalada en el servidor
- Debe funcionar 24/7 para registrar toda la información generada por el sistema de control
- En caso de falla de conexión con alguno de los sistemas intentará reconexión automática.
- Pérdidas de conexión con conexiones eléctricas y fallas de reconexión automática deben ser atendidas por el área de mantenimiento (Posible reinicio de alimentación eléctrica requerida).
- Pérdidas de conexión con el servidor y fallas de reconexión automática de tabletas deben ser atendidas por el área de sistemas.
- Pérdidas de conexión con la base de datos con el servidor deben ser atendidas por el área de sistemas.

Diseño de base de datos

Se define como diseño de base de datos al proceso de estructurar y organizar los datos que se almacenarán en un sistema para satisfacer los requerimientos de una aplicación.

El uso de base de datos en este trabajo de investigación aborda el diseño de base de datos como parte de la solución propuesta y requiere un conocimiento previo para su desarrollo por lo que a continuación se presenta el modelo entidad relación propuesto para su desarrollo y el almacenado de los registros de las variables de producción.

Se propuso el uso de una base de datos centralizada lo que sugiere una única base de datos para el almacenamiento de los registros de producción.

En la Ilustración 26 se muestra el diagrama que se utilizó para el diseño de la base de datos para almacenamiento de las variables de producción.

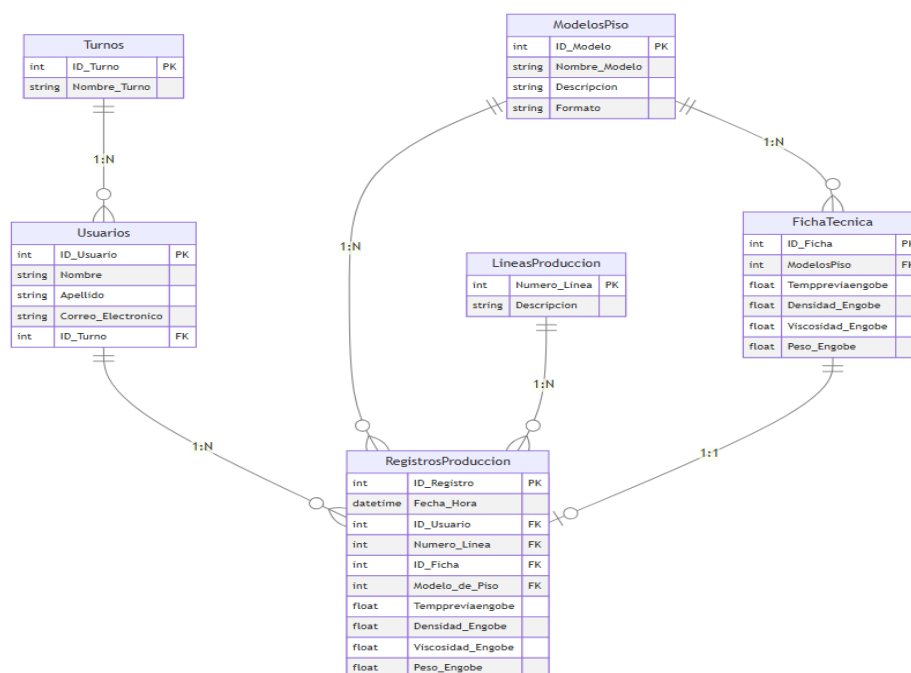


Ilustración 26: Diagrama entidad relación (ER) del sistema.

Casos de uso principales para la interfaz de usuario

Para el diseño de la interfaz de usuario se definieron los siguientes casos de uso para un sistema tipo web con desarrollo en código php. El objetivo fue definir y delimitar las interacciones con el sistema de gestión de datos de la producción y brindar la seguridad necesaria.

Actores:

Usuario: Representa a los operadores o usuarios estándar que utilizan el sistema para capturar y consultar información.

Administrador: Representa al personal con privilegios administrativos que puede gestionar usuarios, modelos de piso y generar reportes.

Casos de uso:

1. Inicio de sesión: Disponible para todos los usuarios del sistema.
2. Captura de registros de producción: Permitido para usuarios estándar.
3. Consulta de registros: Los usuarios pueden consultar información almacenada.
4. Gestión de modelos de piso: Exclusivo del administrador.
5. Gestión de fichas técnicas: Disponible tanto para usuarios estándar como administradores.
6. Cambio de contraseña: Disponible para todos los usuarios.
7. Reportes: Exclusivo del administrador.
8. Cierre de sesión: Realizable por todos los usuarios.

Caso de uso 1. Inicio de sesión

Descripción: El usuario ingresa sus credenciales (nombre de usuario y contraseña) para acceder al sistema.

Actores: Usuario.

Flujo principal:

- El usuario ingresa su nombre de usuario y contraseña en el formulario de inicio de sesión.
- El sistema valida las credenciales en la base de datos.
- Si las credenciales son correctas, el sistema redirige al usuario al panel principal.
- Si las credenciales son incorrectas, se muestra un mensaje de error.

Caso de uso 2. Registro de nuevos usuarios

Descripción: El administrador puede registrar nuevos usuarios en el sistema.

Actores: Administrador.

Flujo principal:

- El administrador accede al formulario de registro de usuarios.
- Completa los campos requeridos (nombre, correo electrónico, contraseña, turno, etc.).
- El sistema valida los datos y almacena la información en la base de datos.
- Se muestra un mensaje de confirmación.

Caso de uso 3. Captura de registros de producción

Descripción: El usuario captura los datos del proceso de producción (peso, viscosidad, temperatura, etc.).

Actores: Usuario.

Flujo principal:

- El usuario selecciona el formulario para registrar datos de producción.
- Llena los campos requeridos (modelo de piso, peso del engobe, temperatura, etc)
- El sistema valida los datos y los guarda en la base de datos.
- Se muestra un mensaje de confirmación o errores si los datos son inválidos.

Caso de uso 4. Consulta de registros

Descripción: El usuario puede buscar y consultar registros almacenados en la base de datos.

Actores: Usuario.

Flujo principal:

- El usuario accede a una página de consulta con filtros (por fecha, modelo de piso, turno, etc.).
- Selecciona los criterios de búsqueda y presiona el botón "Buscar".
- El sistema recupera y muestra los datos en una tabla paginada.

Caso de uso 5. Gestión de modelos de piso

Descripción: El administrador puede agregar, editar o eliminar modelos de piso.

Actores: Administrador.

Flujo principal:

- El administrador accede al módulo de gestión de modelos de piso.
- Selecciona agregar, editar o eliminar un modelo.
- Llena o actualiza los datos del modelo (nombre, formato, descripción).
- El sistema guarda los cambios en la base de datos.
- Se muestra un mensaje de confirmación.

Caso de uso 6. Gestión de fichas técnicas

Descripción: El usuario o administrador gestiona fichas técnicas asociadas a los registros de producción.

Actores: Usuario, Administrador.

Flujo principal:

- El usuario accede al módulo de fichas técnicas.
- Visualiza las fichas asociadas a un modelo de piso o a un registro específico.
- Puede agregar, editar o eliminar datos técnicos.
- El sistema valida y guarda los datos en la base de datos.

Caso de uso 7. Cambio de contraseña

Descripción: El usuario puede actualizar su contraseña en caso de olvido o seguridad.

Actores: Usuario.

Flujo principal:

- El usuario accede al formulario de cambio de contraseña.
- Ingresa su contraseña actual y la nueva contraseña.
- El sistema valida la contraseña actual y actualiza la base de datos.
- Se muestra un mensaje de confirmación.

Caso de uso 8. Reportes

Descripción: El administrador puede generar reportes y estadísticas sobre la producción.

Actores: Administrador.

Flujo principal:

- El administrador selecciona los parámetros del reporte (fechas, turnos, líneas de producción, etc.).
- El sistema genera un informe con tablas

Caso de uso 9. Cierre de sesión

Descripción: El usuario finaliza su sesión en el sistema.

Actores: Usuario.

Flujo principal:

- El usuario hace clic en el botón de "Cerrar Sesión".
- El sistema invalida la sesión y redirige al usuario a la página de inicio de sesión.

En la imagen Ilustración 27 se muestra el diagrama con los actores y las interacciones con los casos de uso descritos anteriormente.

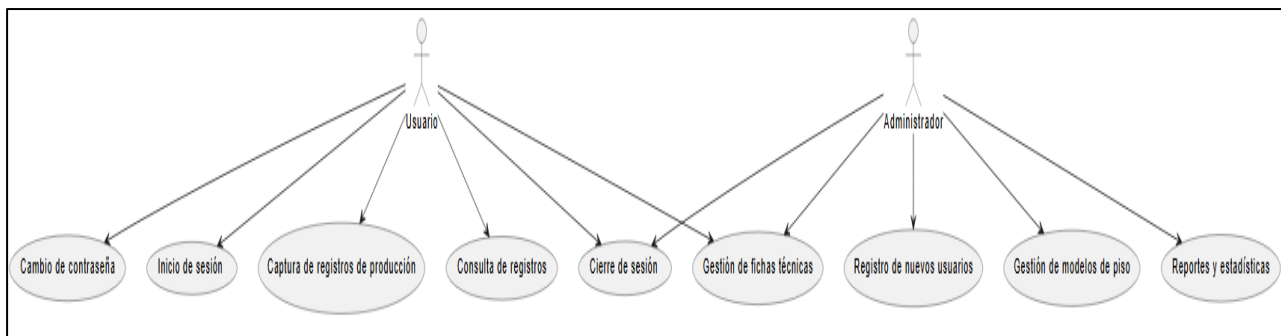


Ilustración 27: diagrama UML de casos de uso del sistema.

Sistema de control de proceso digital.

Con el diseño apoyado en los casos de uso, y los requerimientos del proceso, se desarrolló un sistema tipo web en lenguaje de programación php. A continuación, se describe cada componente.

Pantalla de inicio de sesión Permite únicamente el ingreso al sistema con datos correctos de usuario y contraseña. Ilustración 28



Ilustración 28: Pantalla de inicio sistema de control de producción

Menú principal.

- **Distribución de planta.** Permite al administrador y al supervisor registrar máquinas para agregar al programa de control de producción o consultar las máquinas ya registradas. Se diseño de esta forma para preparar al sistema para la réplica en otras líneas de producción.
- **Atributos** Permite al administrador y al supervisor registrar formatos para agregar al programa de control de producción
- **FT-Variables.** Opción para cargar una nueva ficha técnica o consultar una ya existente.
- **Estaciones de trabajo y usuarios.** Opción para el administrador que permite registrar a nuevos usuarios del sistema o dar de alta nuevos dispositivos de captura.
- **Programa de producción.** Opción para el supervisor para cargar el programa de producción o consultar los ya existentes.
- **Informes.** Opción para ejecutar los reportes preconfigurados para el operador y el supervisor sobre las variables del control de producción

Niveles de acceso usuarios

Usuarios con perfiles de:

- Operador: Para Operarios, que requieran capturar valores de los puntos de control
- Supervisor: Para supervisores, coordinadores, jefes y demás usuarios que requieran

consultar valores de los puntos de control. Permite consultas de valores de control, Acceso a gráfica de comportamiento de control Acceso a Reportes

- Administrador: Para las áreas de sistemas y control de la producción. Permite creación, modificación y eliminación de usuarios, modificación de parámetros de variables de control, modificación de parámetros de máximos y mínimos de las variables críticas de producción. Ilustración 29.

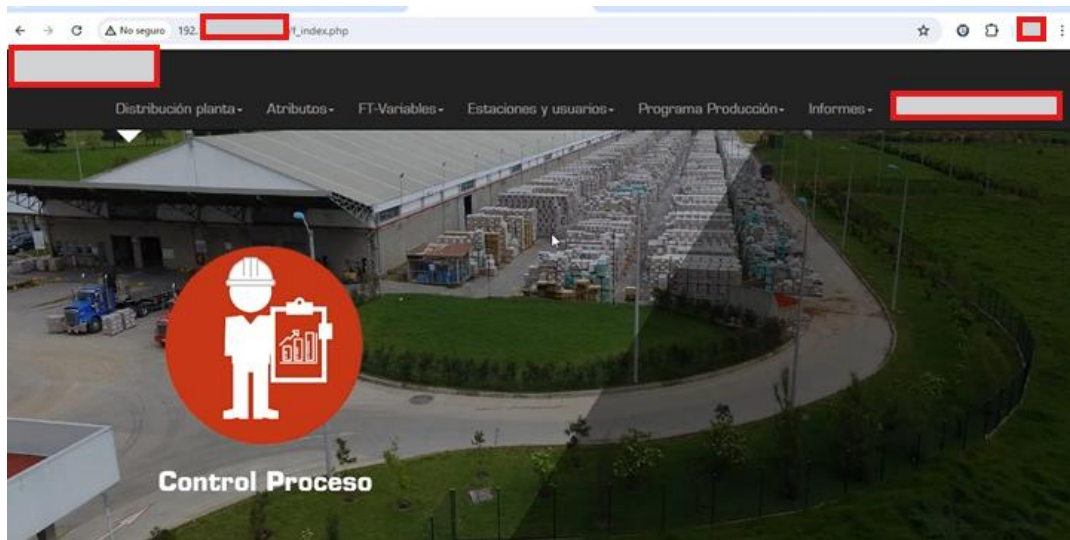


Ilustración 29: Pantalla con menú principal del sistema de control de producción

Definición de equipo

Tableta con protección de polvo y humedad para control de proceso y seguimiento de turno a supervisores de turno de producción.

Modelo	Galaxy Tab S9 FE (WiFi)
Pantalla	10.9" (277.0mm)
Procesador	Octa Core 2.4 GHz
Almacenamiento	256 GB
S.O.	Android 14
RAM	8 GB
Bateria	8,000 mAh
Conectividad	Wifi 6 802.11 ax
Protección	IP68 resistente al agua y al polvo
Camara Trasera	8 MP
Camara Frontal	12 MP
S-PEN	SI
Sensores	Acelerómetro, Lector de huellas digitales, Giroscopio, Sensor geomagnético, Sensor Hall, Sensor de luz
Peso	523 gramos
Precio Funda Uso Rudo	Si

Para el uso del control de proceso se requiere de 4 tabletas para la línea de producción 7.

Requerimientos de infraestructura

- Conectividad red local Wifi
- Puntos de red certificados Cat 6 o superior para antenas Wifi
- 16 antenas Wifi necesarios. Ya se cuenta con una antena
- Acometida eléctrica regulada a cero metros
- Conexión a UPS o red regulada con UPS para mantener los equipos en

funcionamiento durante cortes de suministro eléctrico

Herramientas de medición

Dentro de este proceso, las variables a controlar, y que son objeto de estudio y susceptibles de digitalizar, son las siguientes y se describe el método de medición para cada una.

- Viscosidad del esmalte. Se mide por un dispositivo de bola descendente. Se utiliza dejando caer una bola acero, midiendo el tiempo que tarda en caer dentro del fluido a medir.
- Densidad del esmalte. Medida por un picnómetro mide el tiempo de escurrimiento del fluido
- Peso del esmalte. Medido con la ayuda de un molde del mismo tamaño de una pieza cerámica hecha de acero inoxidable, pesada directamente en la báscula.
- Temperatura de la pieza en la salida del secador. Medida en grados centígrados, debe de estar en un rango de 100 a 120 grados centígrados.
- Humedad de la pieza. Medida con una termo balanza, mide el porcentaje de humedad de la muestra. La Humedad no puede ser mayor al 1%.

Áreas involucradas y responsabilidades

Durante la implementación.

Mantenimiento

- Realizar la selección y compra de los componentes eléctricos y electrónicos para acometida eléctrica regulada
- Realizar la instalación de los contactos eléctricos para antenas y centros de carga para tabletas

- Marcación de puntos de captura
- Marcación de zonas para toma y depósito de piezas

Sistemas

- Asegurar la implementación de servidor y base de datos
- Asegurar la implementación de los aplicativos.
- Asegurar la compra de las tabletas para operarios
- Disponer de tabletas para capacitación
- Realizar la configuración de las tabletas
- Realizar la configuración de las antenas wifi.

Producción

- Coordinar y asegurar que todos los usuarios finales reciban capacitación
- Apoyar y asegurar el arranque y estabilización
- Asegurar el correcto uso y funcionamiento del sistema
- Realizar la migración de la información de la planta al sistema oficial

Control de la producción

- Configuración de del sistema
- Puntos de control
- Puestos de trabajo
- Recibir capacitación de administración y uso del sistema
- Dar la capacitación a usuarios finales
- Dar soporte en el arranque y estabilización del sistema

En la operación diaria.

Área de Sistemas (IT):

- Mantenimiento de computadores tabletas industriales. Hardware y Software
- Mantenimiento de puntos de red y cableado estructurado
- Renovación de tabletas industriales
- Actualizaciones de software y hardware
- Mantenimiento de redes reguladas y UPSs

Área Productiva

- Definir, ejecutar y realizar seguimiento a los estándares de Limpieza, Inspección y Ajuste
- Reportar a Control de la Producción fallos con las aplicaciones de control de proceso.
- Reportar a Sistemas fallos de las tabletas industriales, accesos de red o acceso a internet, informar a Control de la Producción de los fallos reportados a Sistemas

Área de Control de la Producción

- Velar por el correcto funcionamiento del Sistema de control y todos sus componentes
- Velar por el correcto uso del sistema de control de proceso por parte de los usuarios finales que registran y visualizan información
- Realizar seguimiento a las novedades reportadas y gestionar la atención y solución con cada responsable

- Informar cualquier desviación en el funcionamiento y uso del sistema de control de producción
- Mantener la información de la planta actualizada en el sistema

4.3.4 Valoración de la propuesta implementada.

Uno de los principales aportes que busca el presente trabajo de investigación es dejar una referencia para implementar los primeros pasos de la industria 4.0 en las empresas del ramo de la industria de la cerámica, por lo que toca ahora revisar los resultados de la implementación propuesta y validar el aporte de la implementación.

Para ello se hará uso del instrumento de medición declarado en la sección de 4.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos.

Prueba	Descripción	Objetivo
Mapa de calor red wifi	Revisar que la cobertura de red inalámbrica sea la suficiente para poder operar el proyecto	Contar con cobertura de red inalámbrica
Evaluación de dispositivos de cómputo	Revisar que los dispositivos propuestos cumplan con lo planteado en las propuestas de implementación	Evaluar la funcionalidad del equipo de cómputo y el proceso
Evaluación del nivel de ciberseguridad en la empresa	Revisar que la implementación cumpla con los objetivos de protección de datos de la empresa	Evaluar el Nivel de ciberseguridad en la empresa
Mejora en el proceso productivo	Revisar el antes y después de la implementación	Verificar los indicadores de producción con la implementación

Tabla 10. Listado de pruebas a realizar para validar la propuesta implementada

Mapa de calor red wifi.

Un mapa de calor wifi es una herramienta informática que ayuda a validar visualmente la calidad de la cobertura de las señales inalámbricas dentro de una misma red. Mediante

códigos de colores pinta un plano preestablecido a la vez que se realiza un recorrido en el área que se desea medir. Para este caso se debe de saber que el color verde indica una excelente recepción de señal wifi, el color amarillo una recepción buena, el color naranja una recepción de señal pobre y el color rojo una calidad de la señal mala.

Con ayuda de una herramienta de software especializada se realizó el mapa de calor Wifi para la planta de la empresa ubicada en San Luis Potosí. El resultado se muestra en la Ilustración 30, se puede observar que la cobertura de la señal inalámbrica es excelente en todas las partes del piso de producción, por lo que la implementación cumple con esta primera evaluación además de que el objetivo de réplica en el resto de las líneas de producción se puede implementar dado que ya se cuenta con red wifi en todo el piso de producción.

Se buscó que la propuesta de instalación de antenas inalámbricas en todo el piso de producción pudiera ayudar a replicar la propuesta de los conceptos implementados en la línea 7, para que de forma ágil se pudieran retomar en el resto de los procesos productivos.

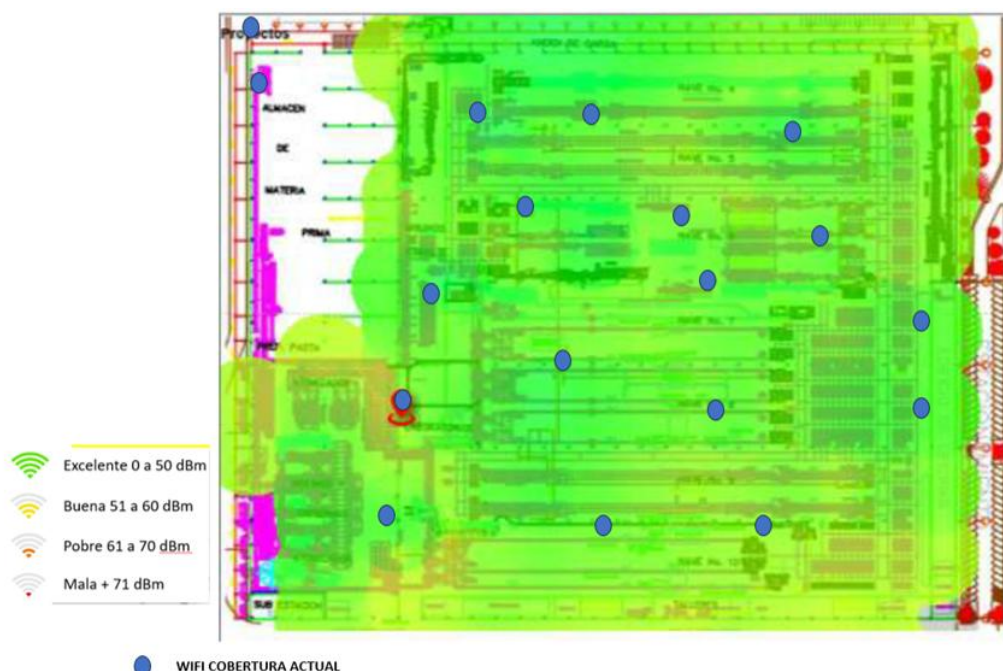


Ilustración 30. Resultado del mapa de calor Wifi de la empresa caso de estudio.

Evaluación de dispositivos de cómputo

Una de las principales experiencias que dejan el presente trabajo, es saber lo importante de elegir la tecnología para la industria 4.0. Aquí cabe resaltar brevemente que se tuvo mala experiencia con dispositivos de una marca de tabletas industriales ya que su propia fabricación robusta impide una correcta conexión wifi, además de que son fabricados con tecnología wifi deficiente, por lo que se tuvo que realizar un cambio de los equipos originalmente comprados. Para este caso se recomienda probar la tecnología antes de adquirir. También se recomienda buscar equipos con tecnología de conexión Wifi 6 para asegurar la continua conexión. Además, se recomienda el uso de equipos con sistema operativo Android o IOS ya que la mayoría de los entornos de desarrollo para tabletas, están enfocadas a estos sistemas operativos. El requisito principal declarado para las tabletas es que cumplan con el grado de protección IP68 contra polvo y humedad propios del piso de producción. Para asegurar esto también se realizó la instalación de una funda protectora de uso rudo que ayude al mismo tiempo al transporte del equipo por el personal operativo.

Ilustración 31.

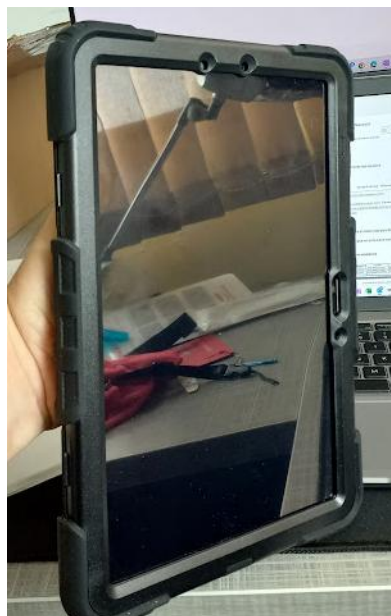
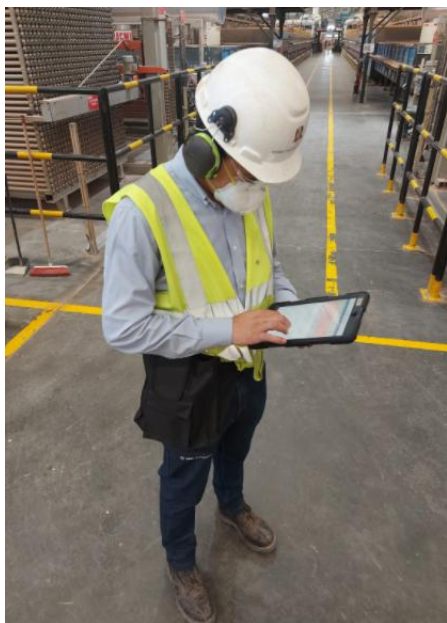


Ilustración 31: Uso de tableta por personal operativo.

Evaluación del nivel de ciberseguridad en la empresa.

En cada paso de la elaboración de la propuesta implementada, se debe de tener contacto directo con el departamento de seguridad de la información de la empresa, por lo que fue una de las principales tareas a cuidar.

La instalación de servidores y configuración de la aplicación se realizó dentro de una zona protegida de atacantes cibernéticos, que se encuentra en monitoreo proactivo constante y cuenta con las actualizaciones y parches de seguridad recomendados por los fabricantes.

Así mismo, las redes inalámbricas para la implementación de la industria 4.0 se deben de configurar dentro de la red de tecnologías de operación con el objetivo de separar la red administrativa de los riesgos de la red de operación. Tal es el caso para esta propuesta de implementación, donde las tabletas de captura se conectan a una red OT aislada y protegida

y solo se comunican por puertos específicos a la aplicación de control de producción por medio del servidor y la base de datos y de esta forma se asegura la protección de la empresa.

Mejora en el proceso productivo.

Uno de los objetivos particulares plateados en el presente trabajo de investigación es tener un antes y después de la eficiencia operativa y que la propuesta de implementación ayude a los objetivos de la organización. Durante la elaboración del presente trabajo de investigación se pudo documentar una corrida de prueba para obtener datos sobre la eficiencia operativa ya que no se contaba con un histórico de datos. Dicho esto, se realizó el ejercicio de evaluación de los mismos datos, pero ahora durante los meses de junio y julio de 2024 marcados dentro del cronograma de implementación dentro de la fase de resultados. Los resultados se documentan en la Ilustración 32 donde también se agregan los datos de diagnóstico de la corrida de prueba.

Ejercicio	Fecha	Suma de M2 buenos prensados y esmaltados	Suma de M2 malos prensados y esmaltados	% de desperdicio
Corrida de muestra	2023	309,921.00	2,842.15	0.91%
Corrida de muestra	nov	160,163.98	1,484.95	0.92%
Corrida de muestra	dic	149,757.02	1,357.20	0.90%
Fase de Resultados	2024	319,998.01	2,872.39	0.89%
Fase de Resultados	jun	160,414.13	1,437.40	0.89%
Fase de Resultados	jul	159,583.88	1,434.99	0.89%

Ilustración 32: Estado previo y posterior de la eficiencia operativa a la propuesta de implementación.

Se percibe en estos primeros meses un incremento en el volumen de producción del 3% en comparación con el estado previo, así como también una disminución en los metros producidos malos que se refiere a una disminución de desperdicio de la producción. En cuanto a la eficiencia operativa se observa un incremento de 2% en comparación con el estado previo.

Así se describe un antes y después en cuanto a la recolección de los datos y su posibilidad de realizar análisis estadísticos ahora que se tiene un sistema de recolección de datos y una frecuencia de captura que asegura su cumplimiento.

En la imagen Ilustración 33 se observa que el sistema cumple con la mejora en el proceso facilitando el análisis digital de los datos. De igual manera se tiene la facilidad de cargar los máximos y mínimos declarados por control de la producción, lo que ayuda a tener una herramienta para el control de cada variable y comportamiento con su frecuencia captura.

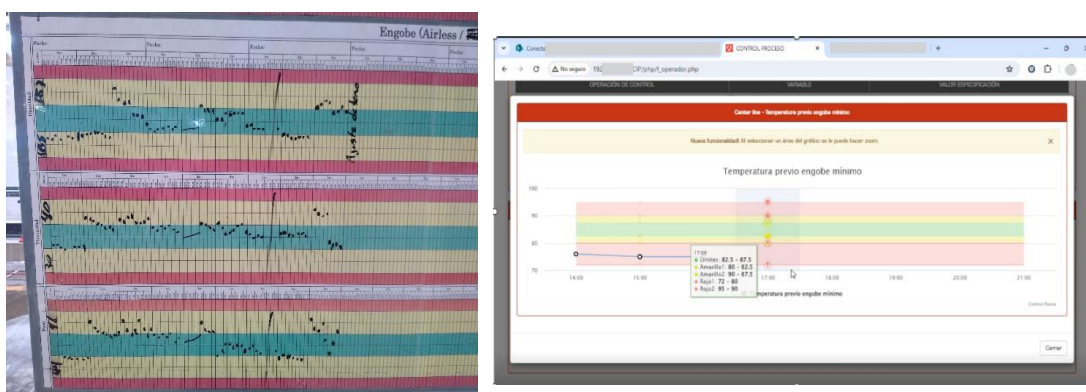


Ilustración 33: Antes y ahora del control de proceso de la empresa caso de estudio

Con la ayuda de infografías que se documentan en el Anexo 1 y Anexo 2, se pudo colocar en piso de producción ayudas rápidas para el personal operativo que funge de soporte adicional a la capacitación recibida.

4.3.5 Evaluación del nivel de digitalización después de la implementación de la propuesta.

La preparación de una empresa para adaptar los conceptos de la industria 4.0 es parte fundamental para evaluar el grado de madurez en el que se encuentra una organización. (Consult, 2023).

Como se mencionó en el capítulo 4.4 técnicas e instrumentos de recolección de datos, la herramienta de evaluación en línea del modelo Impuls, nos da la certeza de utilizar una forma estándar, teórica y objetiva, usada en la industria y en la investigación, como base para evaluar a una organización y su nivel de preparación para la Industria 4.0. Esta herramienta es parte de los temas de enseñanza en el curso optativo llamado Industria 4.0 de la maestría en planeación estratégica e innovación, y se menciona como forma para evaluar y conocer ágilmente la escala en la que una empresa se encuentra lista para implementar y llegar al éxito con los conceptos de Industria 4.0.

Durante la fase de diagnóstico de la empresa caso de estudio, se realizó el ejercicio con los datos y la información que describían como se encontraba la organización antes del desarrollo del presente trabajo de investigación y se registraron en la herramienta digital Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses (Fundación Impulse, n.d.). Se pudo documentar que el grado obtenido para la empresa fue de nivel intermedio, donde se encuentran las organizaciones que están en la fase de aprendizaje sobre los conceptos de la I 4.0. Sobre esta evaluación, podemos destacar que de los conceptos principales y que se toman como referencia para evaluar la presente tesis, fue calificado con grado de uno. Este concepto es el conocido como Smart Factory o fábrica inteligente en español. En la fase de diagnóstico, el grado uno, posicionaba a la fábrica, como principiante ya que menciona era necesario que se implementaran sistemas que fueran la base para el desarrollo de los conceptos de empresa inteligente, dentro de la infraestructura de tecnologías de la información. También, sugiere que era necesario evaluar proyectos piloto de la I4.0 con casos de uso específicos que representaran un costo beneficio para la organización. El análisis sobre la recolección de datos críticos y su resguardo también es otra de las posibles mejoras que recomendaba

realizar para mejorar el nivel de preparación. Estas recomendaciones se pueden revisar en el anexo 3 del presente documento.

Con lo descrito y que se retomó en el párrafo anterior, se llevó a cabo el mismo ejercicio de análisis, pero después de que se implementó la propuesta documentada en este trabajo con los datos que representan la actualidad de la empresa.

Los resultados muestran un cambio significativo en la evaluación obtenida. En principio se puede mencionar que se obtuvo un grado de nivel tres que la describe como una empresa con experiencia en la implementación de los conceptos de la industria 4.0, uno más si se toma como referencia la evaluación diagnóstica previa.

En el mismo ejercicio de comparación, podemos revisar el concepto de fábrica inteligente, donde el resultado obtenido se ubica en un nivel 3, mientras que en el estado de diagnóstico el valor obtenido fue de 1 como ya se describió. El contar con un proyecto piloto, una base para la recolección, almacenamiento y el análisis de los datos críticos, forma parte de este avance significativo que se refleja en esta nueva evaluación.

De igual forma el contar con dispositivos e infraestructura de tecnologías de la información específicamente desarrollada y pensada para proyectos estratégicos de I4.0 para la organización evalúa de forma positiva y se refleja en ahora contar con experiencia en la implementación de este tipo de innovaciones.

También debido a que el presente trabajo ayudó a documentar y evidenciar que existe un claro costo beneficio en el control de proceso de producción en la fabricación de piso cerámico en su proceso crudo, al contar con datos de variables críticas, para análisis y toma de decisiones, la empresa caso de estudio cuenta ya con un plan para replicar la solución en

resto de las líneas de producción en la planta ubicada en San Luis Potosí pero además en el plan incluye realizar la implementación en el resto de las fábricas del grupo. Esto se refleja en una mejora en la evaluación en estrategia y organización donde se pasó de nivel 2 a nivel 4 donde se tienen expertos para poder implementar los conceptos.

En los conceptos de Smart Operations, y Employees también se tuvo un avance ya que a pesar de ser un proyecto piloto, se puede decir que ya se cuenta con datos para análisis histórico y estadístico y con colaboradores que, por medio de un programa de capacitación en piso de producción, se encuentran capacitados en el uso de nuevas tecnologías de digitalización.

La propuesta implementada permite evaluar que queda camino por conocer en los conceptos de servicios basados en datos y productos inteligentes que no obtuvieron un cambio en su evaluación diagnóstica y posterior. Es necesario evaluar otro tipo de proyectos que permitan incorporar innovaciones en estos rubros que quedan fuera del alcance en esta oportunidad.

En la Tabla 22 se muestran las comparativas del antes y después con el uso del modelo Impuls y que resumen el trabajo y a la vez evalúa la propuesta que fue implementada en la línea de producción 7.

	Antes	Después	
Dimensión	Nivel Obtenido	Nivel Obtenido	Objetivo
Estrategia y organización	2	4	5
Empresa inteligente	1	3	5
Operaciones inteligentes	3	4	5
Productos inteligentes	1	1	5
Servicios basados en datos	2	2	5
Empleados	2	4	5

Tabla 22. Comparativa antes y después de la implementación en la línea 7 de producción

Para complementar los datos, se graficaron los resultados de la Tabla 22. Comparativa antes y después de la implementación con el uso de una gráfica de tipo radial.

En la primera gráfica se observó el resultado de la evaluación que se llevó a cabo como ejercicio de diagnóstico de la empresa caso de estudio, sobre el nivel de preparación de sus procesos, productos, servicios, operaciones y capacidad de los recursos humanos. La Ilustración 34 sitúo a casi todos los conceptos en un nivel central lo que permitió observar de forma visual la necesidad de crear proyectos que incentivaran el desarrollo de los conceptos de industria 4.0.



Ilustración 34: Gráfica que muestra el diagnóstico de informatización de la empresa antes de implementar la solución propuesta

De igual forma se realizó el mismo ejercicio donde se graficó el estado posterior a la implementación de este trabajo de investigación en la empresa caso de estudio, también con el uso de una gráfica tipo radial. De forma visual, se observó un avance significativo, sobre

todo, en los procesos primarios de los conceptos de la industria 4.0. En la Ilustración 35 se observó, como se dio un paso importante sobre todo en la implementación de infraestructura.

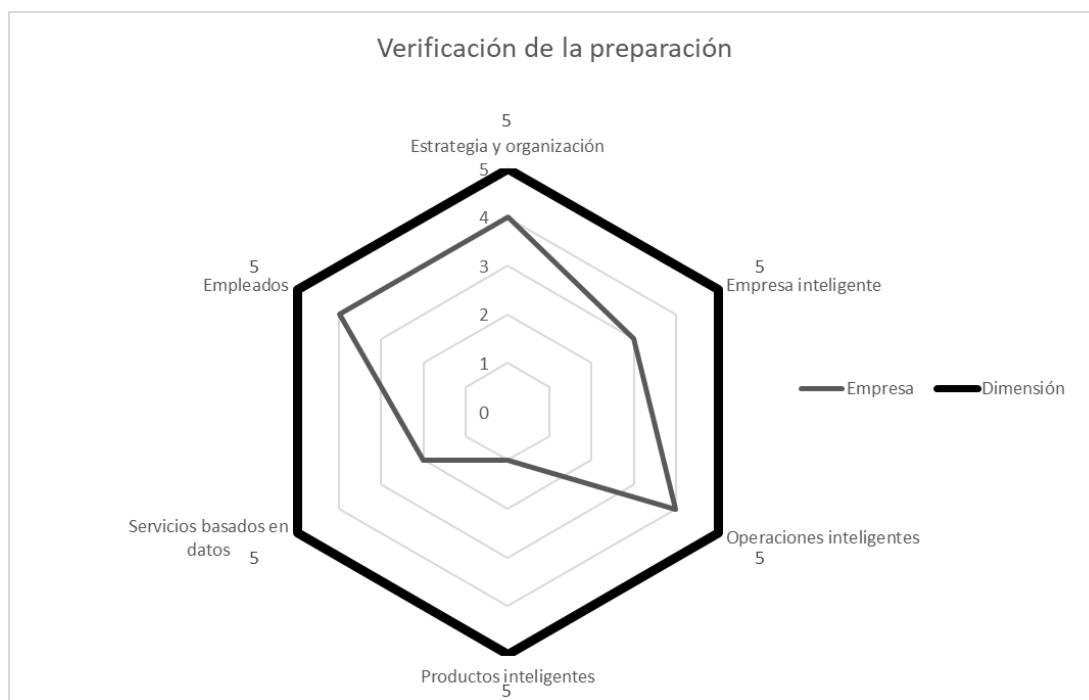


Ilustración 35: Gráfica que muestra el diagnóstico de informatización de la empresa después de implementar conceptos de la industria 4.0

Conclusiones

En esta revisión de los conceptos e implementación de la industria 4.0 se recabaron pruebas favorables que demostraron la funcionalidad y factibilidad de ser implementados en la industria del ramo de fabricación de piso cerámico.

Se pudo alcanzar el objetivo general rediseñando el control de proceso y logrando primero su transformación digital. También se pudo comprobar que se tuvo una mejora en el volumen de producción, reflejándose en la disminución de metros cuadrados malos y por ende en el porcentaje de desperdicio.

Se identificaron las variables del proceso de prensado y esmaltado para iniciar con el proceso de transformación digital en la búsqueda de influir en los parámetros de volumen y desperdicio notando una mejoría, cumpliéndose el primer objetivo particular

Para el objetivo 2 se logró contar con un sistema digital que ayuda con la rastreabilidad del control de producción por medio de la captura de registros en dispositivos digitales.

Sobre la hipótesis planteada, se pudo demostrar que la digitalización coadyuva a mejorar la calidad, disminuyó el desperdicio en .01% que representan casi 4000 m² producidos con buena calidad lo que significó un incremento en el volumen de producción ya que, durante el tiempo de ejecución del presente trabajo de investigación, en la empresa caso de estudio se pudo realizar una medición de los volúmenes de producción previos y posteriores, además se pudo documentar que la empresa avanzó en su objetivo de implementar la industria 4.0.

BIBLIOGRAFÍA

- Bartel, J., Böken, A., Butta, R., Diehm, S., Eberhardt, W., & Falkenberg, G. (2016). *Germany – Excellence in Big Data*. Berlin: Bitkom,.
- Bartodziej, C. J. (2017). *The Concept Industry 4.0 An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics*. Berlin, Germany: Springer Gabler.
- Becerra, L. Y. (2020). Tecnologías de la información y las Comunicaciones en la era de la cuarta revolución industrial: Tendencias Tecnológicas y desafíos en la. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 76-81.
- Carlos Alberto Juache Ramírez. (1 de Mayo de 2018). *Manuel de gestión de la calidad*. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Conecta. (2020, julio 01). Retrieved from Nuestra historia:
<https://grupolamosa.sharepoint.com/sites/Conecta/SitePages/Nuestra%20historia.aspx>
- Consult, I. (2023). *Impuls*. Retrieved from <https://impuls-stiftung.de/>
- Coordinador de la calidad. (2021). *Manual de la calidad*. San Luis Potosi.
- Cruzara, T. S. (2020). The impact of digital transformation and industry 4.0 on the aspects of value. *Contextus – Contemporary Journal of Economics and Management*.
- Diva Urrutia, F., August Treppel, A., Contreras, B., Paz, S., Santellán, F., Barrett, K.-A., . . . Cañada, M. (2019). *CIBERSEGURIDAD MARCO NIST Un abordaje integralde la Ciberseguridad*. OEA.
- Dorst, W. (2016). *Implementation Strategy Industrie 4.0*. Berlin: Bitkom.
- Fernández, M. C. (2024, marzo 21). *Industria 5.0: qué es y cómo va a transformar el sector*. Retrieved from <https://cuervaenergia.com/es/comunidad/sostenibilidad/industria-5-0/#:~:text=Eficiencia%20en%20la%20gesti%C3%B3n%20de,calidad%20a%20los%20productos%20fabricados>.
- Fundación Impulse. (n.d.). *Impulse 4.0 readiness*. Retrieved from <https://www.industrie40-readiness.de/index.php>
- Gaxiola, B. (2018, Abril 25). *thelogisticsworld*. . Retrieved from thelogisticsworld. Siemens pone en operación la "fábrica del futuro": <https://thelogisticsworld.com/tecnologia/siemens-pone-en-operacion-la-fabrica-del-futuro/>
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0 The Industrial Internet*. Thailand: Apress.
- Guía Asebec 4.0. (2018). *Guía Asebec 4.0*. Valencia: Diseño y maquetación: Digitales Imagen Visual, S.L.
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGRAW-HILL.
- Hervas-Oliver, J. L., & Estelles-Miguel, S. (2019). A place-based policy for promoting Industry 4.0: the case of the Castellon. *European Planning Studies*, 21.

- Hoon, C. (2013). Meta-synthesis of qualitative case studies: an approach to the building. *Organizational Research*, 522-556.
- Impulso_06. (n.d.). *Industria 5.0, el futuro ha llegado, ¿Estás preparado?* Retrieved from <https://impulso06.com/industria-5-0-el-futuro-ha-llegado-estas-preparado/#:~:text=La%20Industria%205.0%20promueve%20la,impacto%20ambiental%20de%20la%20producci%C3%B3n>.
- Instituto de innovación. (2022, septiembre 5). *Industria 5.0: lo que significa y sus beneficios*. Retrieved from <https://icemd.esic.edu/knowledge/articulos/industria-5-0-lo-que-significa-y-sus-beneficios/#:~:text=La%20Industria%205.0%20es%20un,empresas%20diferenciarse%20de%20la%20competencia>.
- Lombardi, M., & Pascale, F. (2021). Internet of Things: A General Overview between Architectures. *Information*, 12-82.
- maccion. (n.d.). *maccion*. Retrieved from maccion: Kanban 4.0 para Ubicaciones Especiales en Gedia: <https://maccion.com/portfolios/instalacion-del-sistema-kanban-4-0-para-ubicaciones-especiales/>
- Mayorga, H. S. (2021). Aproximación metodológica para la innovación y transformación digital de los procesos de negocio. Un caso de estudio*. *Cuardenos de administración*.
- Mercado, E. B. (2021). Propuesta de adopción de tecnologías. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 1-19.
- Molina, & Morales. (2012). Tau Cerámica. In *Casos de dirección Estratégica*, (pp. 279-294). Valencia: Universitat Jaume I.
- National Institute of Standards and Technology. (2017). *Cybersecurity Framework Manufacturing Profile*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
- Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 177-192.
- Sacmi. (7 de julio de 2021). *SACMI*. Obtenido de <https://sacmi.com/es-ES/ceramics/news/12509/SACMI-CONTINUA-,UN-NUEVO-MOTTO%E2%80%9D-PARA-EL-MERCADO-INDIO>
- SAP. (n.d.). *Una guía para la transformación digital en la fabricación*. Retrieved from https://www.sap.com/latinamerica/products/scm/industry-4-0.html?client_id=d2d896c9-269f-11ef-b29c-e749c1f5fb15&ut=L2xhdGluYW1lcmljYS9kb2N1bWVudHMvMjAyMi8xMi9mODgyMGQ4Yy01MzdllTAwMTAtYmNhNi1jNjhmN2U2MDAzOWI%3D&pdf-asset=f8820d8c-537e-0010-bca6-c68f7e60039b
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Ginebra: World Economic Forum.

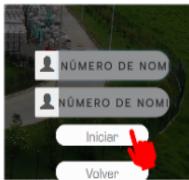
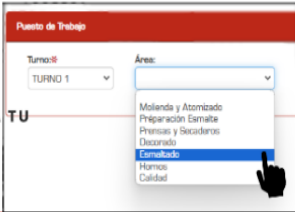
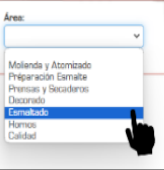
- Sururah A., B., Lukumon O., O., Olugbenga O, A., Muhammad, B., Davila Delgado, J., Lukman A, A., . . . Hakeem A, O. (2021). Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits. *Elseiver*, 18.
- Ustundag, A., & Emre, C. (2018). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Birmingham: Springer.
- Xu, L. D. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962.
- Xua, L. D., Xu, E., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 2018, 2941–2962.
- Zhen, G., Tom, W., Ishwar, S., Anoop, G., & Reiner, S. (2019). From Industry 4.0 to Robotics 4.0 - A Conceptual Framework for. *ScienceDirect*, 9.

ANEXO 1

guía rápida para operários.

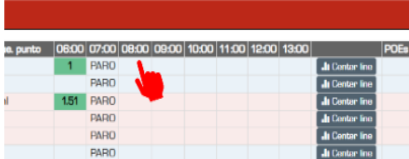
GUÍA RÁPIDA PARA REGISTRAR TUS VARIABLES DE CONTROL INTEGRAL DE PROCESOS

INGRESA CON TU NUMERO DE NÓMINA

1.  2. **SELECCIONA TU TURNO**  3. **SELECCIONA TU ÁREA** 

4.  5. **SELECCIONA LA PRENSA**  6. **SELECCIONA EL ICONO "EN PRODUCCIÓN" PARA DESPLEGAR LOS DISEÑOS DISPONIBLES** 

7. **DA CLIC EN EL BOTON INICIAR REFERENCIA DEL PRODUCTO DE ESTE EN "PRODUCCION"** 

8. **DA CLIC SOBRE LA COLUMNA CORRESPONDIENTE A LA HORA DE CAPTURA** 

9. **REGISTRA TUS VALORES, Y DESPUES DA CLIC SOBRE EL BOTÓN "GUARDAR"** 

ANEXO 2

guía rápida para operários.

CONSEJOS PARA UN BUEN LLENADO DE LOS REGISTROS

D



VERIFICA QUE EL PRODUCTO ESTÉ DISPONIBLE PARA SELECCIONAR EN EL ESTATUS EN PRODUCCIÓN, DE LO CONTRARIO INFORMA INMEDIATAMENTE A TU SUPERVISOR, EL DEBERÁ DE CAMBIARLO A ESTATUS "EN PRODUCCIÓN".

Producción

Valor Especificación / Pua. punto
1 ± 0.01 g/ml
8 ± 1 g
1.51 ± 0.01 g/ml
11 ± 1 seg
43 ± 1 g
93 ± 5 °C



VERIFICA QUE LOS DATOS DE TU FICHA TÉCNICA SEA LA CORRECTA, DE LO CONTRARIO INFORMA A TU SUPERVISOR INMEDIATAMENTE



NO SE DEBERÁN DE DEJAR ESPACIOS VACÍOS O SIN REGISTROS, YA QUE AFECTAN EL PORCENTAJE DE EJECUCIÓN

Valor Especificación / Pua. punto	06:00	07:00
1 ± 0.01 g/ml	1	PARO
8 ± 1 g	→	PARO
1.51 ± 0.01 g/ml	1.51	PARO
11 ± 1 seg	→	PARO
43 ± 1 g	→	PARO
93 ± 5 °C	→	PARO

Seleccionar todos Paro

Paro	Observación paro	Punto a punto
☒	PARO POR FALLA DE BANDAS	+
☒	PARO POR FALLA DE BANDAS	+
☒	PARO POR FALLA DE BANDAS	+
☒	PARO POR FALLA DE BANDAS	+
☒	PARO POR FALLA DE BANDAS	+



SI TU LINEA NO ESTÁ TRABAJANDO, ASEGURATE QUE ACTIVES LA CASILLA DE PARO, DE LO CONTRARIO TU % DE EJECUCIÓN SE VERÁ DISMINUIDO



CUANDO EXISTA ALGUNA DESVIACIÓN DE TU PROCESO, ASEGURATE DE DOCUMENTAR LAS ACCIONES QUE SE REALIZA, ASÍ COMO LOS AJUSTES NECESARIOS PARA QUE TU VARIABLE ESTÉ DENTRO DE CONTROL