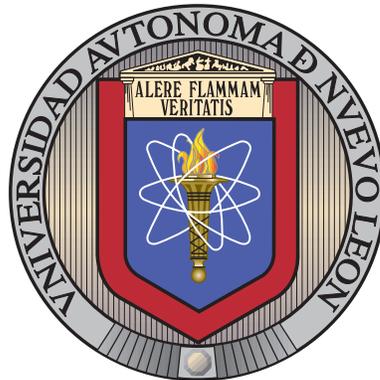


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



EL IMPACTO DE INDUSTRIA 4.0 EN LA CADENA
DE SUMINISTRO: UN CASO EN LA INDUSTRIA
MANUFACTURERA

POR

LUIS ARTURO CABELLO CANALES

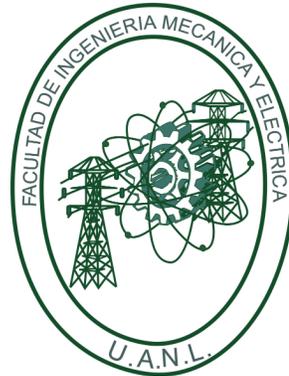
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

ABRIL 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



EL IMPACTO DE INDUSTRIA 4.0 EN LA CADENA
DE SUMINISTRO: UN CASO EN LA INDUSTRIA
MANUFACTURERA

POR

LUIS ARTURO CABELLO CANALES

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

ABRIL 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Posgrado

Los miembros del Comité de Evaluación de Tesis recomendamos que la Tesis “El impacto de Industria 4.0 en la cadena de suministro: Un caso en la industria manufacturera”, realizada por el estudiante Luis Arturo Cabello Canales, con número de matrícula 0362808, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Evaluación de Tesis

Dr. Tomás Eloy Salais Fierro
Director

Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez
Revisor

Dr. Giovanni Lizárraga Lizárraga
Revisor

MLyCS David Camacho Fonseca
Revisor

Vo.Bo.


Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado

Institución 190001

Programa 642597

Acta Núm. 11348

Ciudad Universitaria, a mayo 2024.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XII
Resumen	XIII
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Objetivo general	5
1.3. Hipótesis	5
1.4. Justificación	6
1.5. Metodología	6
2. Antecedentes	8
2.1. Industria 4.0	9
2.2. Sistemas de Ejecución de Manufactura	11
2.3. Tamaño de Lote	14
2.4. Gestión de Producción y de inventario en tiempo real	16
2.5. Almacén de Producto Terminado	17

2.6. Proceso de Cumplimiento de órdenes	18
2.7. Sistema empresarial de negocios (ERP)	22
2.8. Relación de la Industria 4.0 y el sistema de ejecución de manufactura (MES)	26
2.9. Relación del sistema de ejecución de manufactura MES con el ERP .	28
2.10. Beneficios Potenciales de la Industria 4.0	30
2.11. Modelo de SCOR	32
2.12. Conclusión	33
3. Metodología	35
3.1. Resumen	35
3.2. Industria 4.0	36
3.2.1. Internet de las cosas (IOT)	36
3.2.2. Computación en la nube	37
3.2.3. Big data	37
3.3. Sistema de Ejecución de Manufactura (MES)	38
3.4. Sistema de Gestión de Negocios (ERP)	39
3.5. Proceso de Cumplimiento a Pedidos	41
3.5.1. Subproceso Estratégico: Definición de los requerimientos para cumplimiento a órdenes	41
3.5.2. Subproceso Estratégico: Definición del plan para el cumpli- miento a órdenes	41

3.5.3. Subproceso Operativo: Ejecución de órdenes	42
3.5.4. Subproceso Operativo: Surtido de órdenes	42
3.6. Implicaciones y Recomendaciones	43
3.7. Conclusiones	43
4. Resultados	45
4.1. Resumen	45
4.2. Industria 4.0	46
4.3. Sistema de Ejecución de Manufactura (MES)	47
4.4. Sistema de Gestión de Negocios (ERP)	48
4.5. Proceso de Cumplimiento a Pedidos	49
4.5.1. Subproceso Estratégico: Definición de los requerimientos para cumplimiento a órdenes	50
4.5.2. Subproceso Estratégico: Definición del plan para el cumpli- miento a órdenes	50
4.5.3. Subproceso Operativo: Ejecución de órdenes	51
4.5.4. Subproceso Operativo: Surtido de órdenes	51
4.5.5. Resumen de los impactos del Proceso de Cumplimiento a Pedidos	52
4.6. Implicaciones y Recomendaciones	52
4.7. Racional del resultado en el indicador de tiempo del ciclo de cumpli- miento de pedidos	54
4.8. Trabajos similares	66

4.8.1. La industria 4.0 contribuye a trabajar mas en tiempo real y justo a tiempo	66
4.9. Conclusiones	67
5. Conclusiones	68
5.1. Resumen	68
5.2. Reducción del indicador de Tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos	69
5.3. Reducción del período de tiempo de actualización en el sistema de gestión de negocios (ERP)	70
5.4. Ajuste en el Sistema de ejecución de Manufactura (MES), Sistema de gestión de negocios (ERP) y en el Proceso de Cumplimiento a Pedidos.	71
5.5. Técnicas de Administración del cambio requeridas para la adopción .	72
5.6. Nuevo paradigma de la Industria 4.0	72
5.7. Trabajos futuros	73
5.7.1. Reducir el período de actualización por cada pallet producido	73
5.7.2. Anticipar el programa de embarques con el programa de pro- ducción	74
5.7.3. Mejorar la calidad de producto	75

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Evolución de las Revoluciones Industriales hasta la Industria 4.0 . . .	2
1.2. Algunos de los habilitadores de la Industria 4.0	3
1.3. Período de actualización del sistema ERP	5
2.1. Industria 4.0	9
2.2. Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES)	11
2.3. Tamaño de Lote	14
2.4. Gestión en tiempo real versus en un período de tiempo	16
2.5. Producción, Almacén y Embarques	18
2.6. Proceso de Cumplimiento a Pedidos según Croxton	19
2.7. Sistema ERP	23
2.8. Diagrama de integraciones entre el ERP, MES y las líneas de producción	25
2.9. Relación entre la industria 4.0 y el Sistema de ejecución de manufactura	26
2.10. Relación entre el Sistema de ejecución de manufactura y el sistema ERP	28
2.11. Modelo SCOR, APICS 2017	32

3.1. Metodología diseñada para este caso de estudio	36
4.1. Matriz de Impacto de la industria 4.0 en los sistemas de producción esbeltos	66

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Proceso de cumplimiento a órdenes con Subprocesos estratégicos Operacionales relevantes para este estudio	20
2.2. Declaración de variables para el cálculo del indicador de Tiempo de ciclo de cumplimiento a pedidos	33
3.1. Resumen de APIs requeridas en el MES	39
3.2. Resumen de APIs requeridas en el ERP	40
4.1. Declaración de variables detalladas para el cálculo del indicador de Tiempo de ciclo de cumplimiento a pedidos x escenario	56
4.2. Detalle de los datos para el escenario TURNO x TURNO para el cálculo del tiempo del Ciclo para el cumplimiento a pedido	57
4.3. Acumulado del tiempo total TURNO X TURNO	58
4.4. Detalle de los datos para el escenario CADA HORA para el cálculo del tiempo del ciclo para el cumplimiento a pedido	59
4.5. Acumulado del tiempo total CADA HORA	60
4.6. Detalle de los datos para el Escenario CADA PALLET para el cálculo del tiempo del ciclo para el cumplimiento a pedido (tiempo en segundos) Parte 1	61

4.7. Detalle de los datos para el escenario CADA PALLET para el cálculo del tiempo del ciclo para el cumplimiento a pedido (Tiempo en segundos) Parte 2	62
4.8. Acumulado del tiempo total CADA PALLET	62
4.9. Variables para el concentrado del cálculo del indicador de Tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos y comparativo	63
4.10. Concentrado del cálculo del indicador de Tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos y comparativo versus el actual	65

AGRADECIMIENTOS

Ahora que estoy terminando la maestría y concluyendo con este trabajo de Tesis quiero agradecer especialmente a Elizabeth Rangel Guajardo (Esposa) por tenerme la paciencia y tolerancia en el tiempo y atención dedicada a la maestría y ausencia durante la misma, creo que valió la pena el esfuerzo.

Adicionalmente agradezco a cada uno de mis profesores que me enseñaron a profesionalizar los conceptos de la Cadena de Suministro que en sí misma es muy extensa. Especialmente a mi Tutor Doctor Tomás Eloy Salais Fierro, mis revisores: La Doctora Jania Astrid Saucedo Martinez, El Doctor Giovanni Lizarraga Lizarraga y El MLYCS David Camacho Fonseca.

RESUMEN

Luis Arturo Cabello Canales.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: EL IMPACTO DE INDUSTRIA 4.0 EN LA CADENA DE SUMINISTRO:
UN CASO EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA.

Número de páginas: 78.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: Aumentar el cumplimiento a pedidos que dependen de la disponibilidad de inventario de producto terminado al reducir el tiempo de ciclo y el período de tiempo de actualización del sistema ERP en producciones e inventarios de producto terminado a través de la utilización industria 4.0 acercándose al tiempo real lo más posible.

Se eligió el método de investigación cuantitativo dado que se contaban con elementos históricos para determinar el tiempo de ciclo de cumplimiento a pedidos antes y después de la implementación de este caso de estudio

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Lo encontrado en este estudio es que la adopción del nuevo paradigma que la industria 4.0 trae a la industria fue muy positivo aún y que solo se adoptó solo una parte de ella, el internet de las cosas (IOT). El principal beneficio fue que se pudo recortar el período de tiempo en el que se actualizan las producciones y el inventario de producto terminado y esto derivó en una mejora en el indicador de Tiempo del ciclo del cumplimiento a pedidos.

Firma del asesor:



TOMAS ELOY SALAIS FIERRO

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Estamos en medio de una transformación significativa en la manera que hacemos productos gracias a la digitalización de las operaciones en la manufactura. Las organizaciones han identificado un avance significativo en la tecnología como una herramienta estratégica para asegurar un desempeño sostenible.(Chavarria-Barrientos et al., 2017) Considerando que la primera revolución industrial fue la mecanización a través del poder del agua y vapor, seguido fue la producción masiva y las líneas de ensamble usando la electricidad siendo la segunda revolución, luego la adopción de las computadoras y la automatización como tercer revolución logrando así grandes beneficios en la manufactura, ahora basados en la digitalización avanzada dentro de las fábricas, la combinación de las tecnologías de internet, orientadas al futuro en el campo de objetos inteligentes (máquinas y productos) resulta en un nuevo cambio de paradigma fundamental en la producción industrial resultando en la cuarta transformación (Industria 4.0).(H et al., 2014) En esta industria 4.0 es posible que además de la automatización de las máquinas se habilita la colaboración con ellas para poder extraer datos, analizarlos e identificar posibles riesgos de falla, notificar producciones al sistema de gestión de negocio asegurando el flujo de materiales tanto físico como en el sistema ERP, y poder regresar a las maquinas ajustando o dando nuevas instrucciones para su ejecución (H et al., 2014).

Los grandes habilitadores de la industria 4.0 que vamos a estar utilizando en



FIGURA 1.1: Evolución de las Revoluciones Industriales hasta la Industria 4.0

este estudio son:

- Manufactura inteligente
- Sistemas ciber físicos (CPS)
- Internet de las cosas (IOT)
- Big Data Analíticos
- Tecnologías de Computación en la nube entre otros



FIGURA 1.2: Algunos de los habilitadores de la Industria 4.0

En esta Industria 4.0 es posible la colaboración con los equipos productivos para poder extraer datos, analizarlos e identificar posibles riesgos de falla y notificar producciones entre otros eventos al sistema de gestión de negocio habilitando el flujo de materiales en tiempo real, y además la posibilidad de poder regresar a las maquinas ajustando o dando nuevas instrucciones.

Además de la industria 4.0 estaremos utilizando el concepto de los sistemas de ejecución de manufactura (MES) que consideran como algo indispensable los habilitadores de la industria 4.0. Como modelo de operación consideraremos el proceso de cumplimiento a pedidos (Order Fulfillment) para utilizarlo como referencia en donde veremos reflejado el beneficio de la reducción del tiempo de actualización del sistema ERP.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el impacto en la mejora del tiempo de ciclo de cumplimiento a pedidos a través de la industria 4.0 en la industria manufacturera en sus líneas de envasado?

Una de las causas principales de incumplimiento de pedidos es el hecho de que el sistema ERP no tiene el inventario de producto terminado disponible para embarcar un pedido aun cuando el inventario físico si existe justo después de haberlo terminado la línea de envasado, el material tiene físicamente todas las condiciones para ser embarcada más el inventario no existe en el sistema, la disponibilidad del inventario

en el sistema ERP es una condición para poder realizar el proceso de embarque para surtir los pedidos. Esta actualización del inventario se da cuando la producción se confirma en la orden de producción con la cantidad producida en el sistema y se da entrada al inventario de producto terminado. En algunas empresas la actualización de la producción y la entrada del inventario en el sistema ERP pudiera ser de 1 vez al día, una vez al turno. Si el sistema ERP no tiene ese inventario actualizado no es posible hacer factible los embarques y con esto disminuye la capacidad de surtir los pedidos de los clientes.

En la figura 1.1 podemos ver la proporción que pueden tener del total de la capacidad operativa de surtir pedidos y del almacén en 3 posibles escenarios que puedan tener las empresas.

Con el supuesto de que la empresa tenga una capacidad de almacén de 3 días de inventario de producto terminado entonces podemos ver la proporción del problema al actualizar el sistema ERP con las producciones y el inventario de lo que va saliendo de las líneas de envasado según el período de tiempo de su actualización.

Aún y cuando no estaremos tratando el tema de restricción de espacio de almacén solo es para dar una idea de la proporción del posible impacto que se pudiera tener con este caso de estudio.

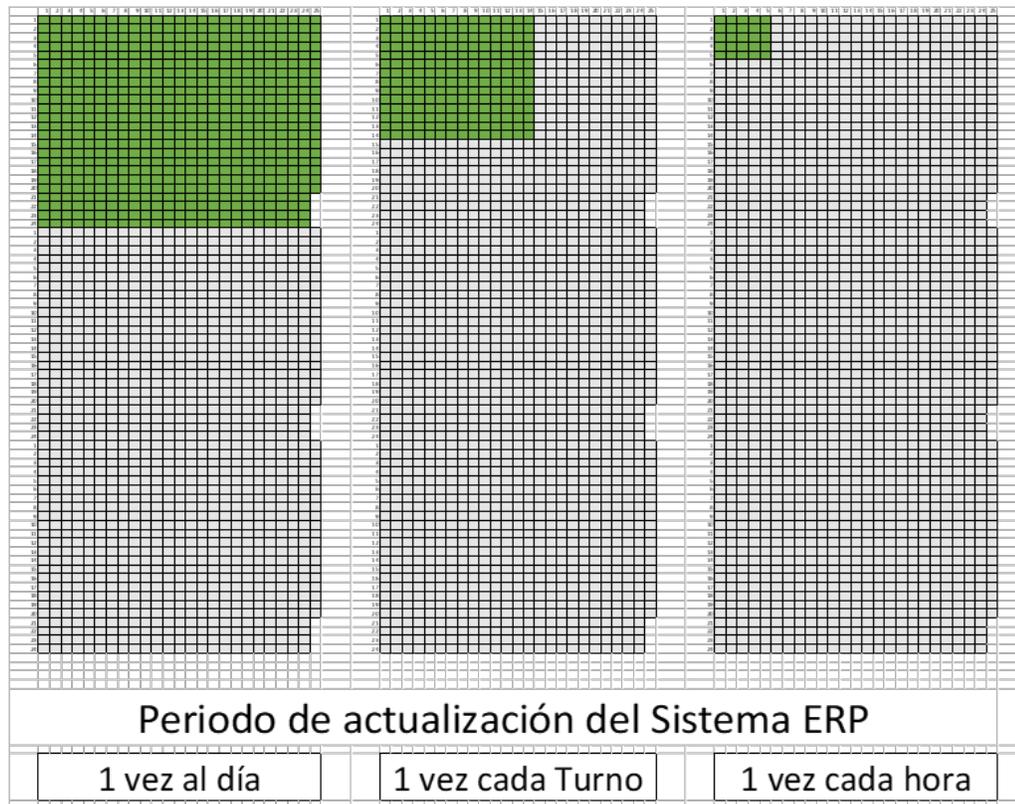


FIGURA 1.3: Período de actualización del sistema ERP

1.2 OBJETIVO GENERAL

Aumentar el cumplimiento a pedidos que dependen de la disponibilidad de inventario de producto terminado al reducir el tiempo de ciclo y el período de tiempo de actualización del sistema ERP en producciones e inventarios de producto terminado a través de la utilización industria 4.0 acercándose al tiempo real lo más posible.

1.3 HIPÓTESIS

Es posible lograr una reducción del tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos a través de la industria 4.0 al permitir la notificación de la producción y el alta de

inventario de producto terminado en el sistema de negocios (ERP) lo más cercano a tiempo real.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La competencia en las industrias de consumo es muy fuerte y si el producto no está en el anaquel en el negocio detallista para cuando el cliente va a comprarlo comprará el de la competencia generando así una pérdida de demanda. Este indicador de falta de inventario en el anaquel es uno de los más importantes en esta industria y se trata de evitar lo más posible. El tener el inventario actualizado cercano a tiempo real contribuirá a mejorar el tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos y por consiguiente a disminuir el faltante de inventario en el anaquel. Esto fortalecerá una ventaja competitiva al tener el potencial de mejorar la capacidad de respuesta y dar un mejor servicio al cliente

1.5 METODOLOGÍA

Estructura de la tesis El trabajo de la tesis la comenzaremos con un análisis de la literatura y datos para poder documentar lo que otros autores han escrito relacionado a alternativas de como ayudan a lograr el objetivo. Se elaborará un marco teórico en donde se darán secuencia a las ideas encontradas en la literatura resaltando los hallazgos encontrados en cada uno de los elementos que contribuyan al éxito de este caso de estudio. Se enlistaran las limitaciones que podamos estructurar si alguna de las condiciones necesarias del caso de estudio no se cumple y que pudieran ser un obstáculo para su éxito. Determinar las implicaciones y recomendaciones necesarias para lograr el objetivo determinando que se pudo lograr y que se intentó y no se pudo lograr, se mostraran los resultados obtenidos con el detalle de sus cálculos y terminando con las conclusiones dando respuesta a las preguntas de investigación y

validando o no la hipótesis establecida.

- Análisis de datos
- Marco Teórico
- Integración de Hallazgos
- Discusión de Limitaciones
- Implicaciones y Recomendaciones
- Rigor y Validez
- Conclusiones

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

La industria 4.0 permite a las organizaciones que producen productos altamente mecanizados y automatizados tener una integración con los equipos productivos a través de: manufactura inteligente, sistemas ciber físicos (CPS), internet de las cosas (IOT), big data analíticos, tecnologías de computación en la nube. (Fatorachian & Kazemi, 2020). Agregando la tecnología de los sistemas de ejecución de Manufactura (MES) (Margarete et al., 2020), que son capaces de comunicarse con las máquinas de producción y con los sistemas de gestión de negocios para mantener el progreso de las órdenes de producción y dar entrada al inventario por producción. Se genera un efecto similar a un manejo de lotes cuando la producción real y la notificada en el sistema de negocios no es al mismo tiempo y generándose una brecha de tiempo que está directamente relacionada al tamaño de lote (Clark et al., 2011). Cuando el inventario está disponible se procede para el proceso de embarques. El proceso de cumplimiento de órdenes debe re evaluarse cuando el entorno de negocio o nuevas capacidades se hacen disponibles con el fin de mejorar el desempeño del negocio (Croxtton, 2003). El valor que la industria 4.0 ofrece es la velocidad e integridad de las interacciones para su ejecución en tiempo real creando la oportunidad de mejorar el desempeño del negocio (Nevo & Wade, 2011)

2.1 INDUSTRIA 4.0



FIGURA 2.1: Industria 4.0

La industria 4.0 ofrece la posibilidad de integrar los sistemas productivos al sistema de gestión de negocios a través de grandes avances tecnológicos como: manufactura inteligente, sistemas ciber físicos (CPS), internet de las cosas (IOT), big data analíticos, tecnologías de computación en la nube. (Fatorachian & Kazemi, 2020). Esta Integración alineada con los procesos de negocio permite a las empresas actualizar la producción e inventarios de manera automática entre otras cosas dado que es posible tener otras posibilidades ligadas al mantenimiento y visibilidad de la operación que no son parte de este estudio. La implementación de estas nuevas capacidades puede ser de manera gradual estableciendo una hoja de ruta para identificar los requerimientos del negocio y las capacidades posibles de la industria 4.0 a través de la innovación.

La gran cantidad de cambios que ha habido en los ambientes de negocio, en la demanda de los clientes y la necesidad de responder y ser flexibles ha llevado a las organizaciones a voltear a ver a los avances tecnológicos de la innovación (Öberg & Graham, 2016). Han encontrado capacidades que le permiten cubrir sus requerimientos de negocio de una manera distinta y con potencial de mejorar su desempeño de negocio a través de una integración intensiva y de excelencia. (Rashid & Tjahjono,

2016).

Las nuevas capacidades que soportan el caso de la industria de manufactura que trataremos en este documento son: sistemas ciber físicos (Cyber-physical systems (CPSs)), internet de las cosas (Internet of things (IoT)), computación en la nube (Cloud computing technologies (CC)), analíticos de big data (Big data analytics (BDA)). Hay otras capacidades de la industria 4.0 que no se detallaran como GPS, gemelo digital, etc.

- Sistemas ciber físicos: son sistemas inteligentes que combinan la capacidad de comunicación y computo con los sistemas físicos y de ingeniería permitiendo la conectividad entre el sistema y el equipo. (Poovendran, 2012).
- Internet de las cosas: un ambiente global en donde el internet es el centro de la conectividad de todos los dispositivos inteligentes, procesos y sistemas, lo cuales permiten la integración de las tecnologías inteligentes como sensores, actuadores y otros sistemas inteligentes. (Uckelmann et al., 2011)
- Tecnologías de computación en la nube: Se refiere a la convergencia de redes, computación, sistemas de gestión, los cuales proveen un cambio de paradigma en la administración de sistemas de información y permitiendo compartir información sin fronteras accesibilidad a través de herramientas de computación proveyendo capacidades analíticas significativas para las organizaciones. (Helo & Hao, 2015)
- Analíticos de big data: Uso de poder analítico y computación ofrecido por computadores de alta tecnología y analíticos avanzados a pesar de segmentos de datos diversos y muy grandes. (Zhong et al., 2015)

Estos habilitadores que proporciona la industria 4.0 permiten a las organizaciones cambiar de paradigma replantearse soluciones innovadoras para los mismos problemas. Esto permite habilitar la ejecución del negocio permitiendo la comunicación e integración en tiempo real entre los equipos productivos y los sistemas de

gestión de negocio que tengan la capacidad de procesar la gran cantidad de información en un tiempo mínimo. Uno de los sistemas que está permitiendo a las compañías comunicarse con los equipos de producción es el sistema de ejecución de manufactura (Manufacturing Execution System) esto lo detallaremos en la siguiente sección. (Fatorachian & Kazemi, 2020), (Margarete et al., 2020)

2.2 SISTEMAS DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA



FIGURA 2.2: Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES)

En el dominio de producción el sistema de ejecución de manufactura es muy común. Los sistemas de ejecución de manufactura más innovadores no solo proporcionan interfaces para un gran número de sistemas de control de piso, estos sistemas son los que están embebidos en las líneas de producción masiva, también tienen la integración de datos, análisis de datos y generación de tableros. (Margarete et al., 2020).

La definición más específica e inclusiva de un MES es la siguiente: Un sistema de ejecución de la manufactura (MES) es un sistema computarizado e integrado

en línea que es la acumulación de métodos y herramientas usados para realizar la producción. (McClellan, 1997)

Para entender el rol del sistema de ejecución de manufactura, se tiene que poner en el contexto de tecnologías de información (TI) para la administración de los procesos de producción. Los sistemas se tienen estructurados en tres capas distintas:

- Capa de planeación
- Capa de ejecución
- Capa de Control

En la capa de planeación se tienen la parte de planeación de requerimiento de materiales (Material Requirement Planning MRP) que soportaba la planeación y programación de los procesos basados en las cantidades de demanda y los recursos disponibles. Posteriormente se estableció los sistemas de planeación de los recursos de manufactura (MRP II) ya integrando a las finanzas o marketing. Actualmente ya incluyen al sistema de planeación de recursos empresariales (ERP) que ofrece el soporte integrado de los procesos operacionales de una empresa. Estos sistemas MRP II y ERP pudieran considerarse que usan la planeación y programación a nivel macroscópico a largo plazo y orientado a producto. (McClellan, 1997)

En la Capa de Ejecución y control el MES es una extensión en línea del MRP con un énfasis en la ejecución que incluye:

- Producción de productos
- Encendido y apagado de las máquinas
- Medición de partes
- Cambio en prioridad de órdenes
- Selección y lectura de medidas de control

-
- Programación y re-programación de las máquinas
 - Asignación de re-asignación de inventarios
 - Movimiento de inventario hacia la estación o desde la estación
 - Asignación y re-asignación de personal
 - Administración del proceso de producción
 - Establecimiento de alarmas para condiciones fuera del proceso

La utilización de un MES para integrar por un lado el sistema de gestión empresarial con las maquinas productivas y poder tener la capacidad de hacerlo en línea nos permite tener la información actualizada en tiempo real y poder así evitar las brechas generadas por los tiempos en los que ocurre la producción y los momentos en que se actualizan en el sistema de gestión de negocios.

2.3 TAMAÑO DE LOTE

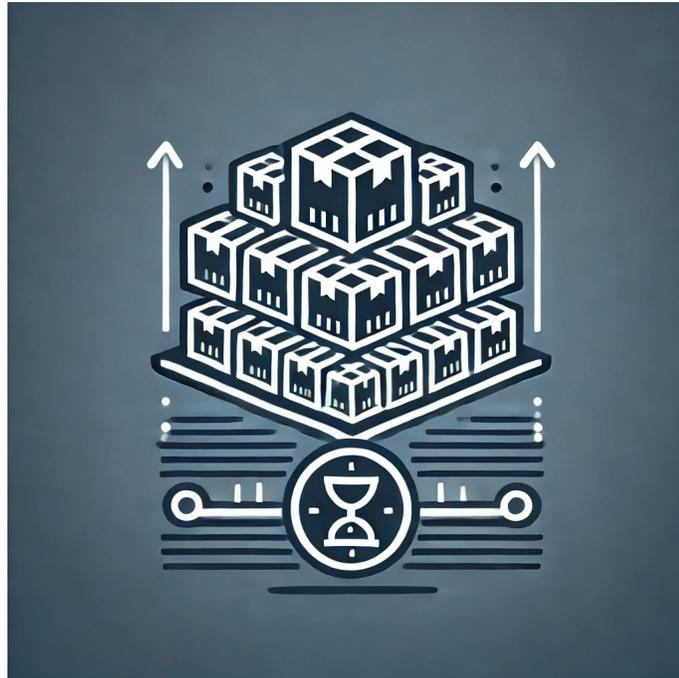


FIGURA 2.3: Tamaño de Lote

Tamaño del lote: también conocido como cantidad del pedido, el tamaño del lote representa la cantidad de un artículo que usted solicita para su entrega en una fecha específica o para su fabricación en una sola ejecución de producción. (Piasecki, 2009)

Las líneas de producción de envasado van formando unidades de manejo de almacén que fueron previamente diseñados de acuerdo con el producto, empaque, peso, tamaño y volumen entre otras variables para que tengan un manejo adecuado dentro del almacén y durante su transporte al cliente. Esta unidad de manejo pudiera ser el tamaño de lote mínimo que se pudiera estar actualizando en el sistema de ejecución de manufactura (MES) o en el sistema de gestión de negocios (ERP)

El sistema de ejecución de manufactura (MES) es capaz de mantener la actualización de cada pallet que va saliendo de la producción casi en tiempo real dado que está vinculado con la línea de producción. La actualización en el sistema de nego-

cios no se realiza por cada pallet sino por un período de tiempo determinado. Este tiempo determinado es definido por cada negocio de acuerdo con su naturaleza, velocidad de producción, personal disponible, capacidad de procesamiento y velocidad de respuesta del sistema de gestión de negocios.

El sistema de gestión de negocios recibe el avance de producción y la entrada de inventarios en un período de tiempo definido, en este período de tiempo se acumulan los pallets producidos y se genera un lote de producción e inventarios a actualizar en el sistema de gestión de negocios (ERP), una vez actualizado el inventario se genera la disponibilidad de inventarios para surtir pedidos de embarque. Mientras no se actualice el inventario aún y cuando esté en el almacén listo para ser embarcado no lo considera el sistema de gestión de negocios (ERP).

Por lo tanto, el tamaño de lote que se genere en este período de tiempo debe de ser lo mas pequeño posible para minimizar el tiempo de entrega y así tener actualizado el sistema de gestión de negocio lo más cercano a tiempo real. La variable que se tiene que buscar reducir es el período de tiempo en el cual se actualiza el sistema de gestión de negocios (ERP) para poder hacer disponible el inventario lo más pronto posible. (Noblesse et al., 2014)

2.4 GESTIÓN DE PRODUCCIÓN Y DE INVENTARIO EN TIEMPO REAL



FIGURA 2.4: Gestión en tiempo real versus en un período de tiempo

Hoy en la actualidad y en los sistemas futuros de logística no pueden tolerar la demora en la captura de datos que se genera en el proceso de la información por lotes y el reporte de las cantidades de inventario, sus ubicaciones y movimientos. El incremento de la exactitud y oportunidad de los datos en tiempo real permite a (Bertazzi et al., 2008) todas las actividades del personal de los proveedores, ventas y distribución y clientes a ser desempeñados con confianza y mejorar la rentabilidad. (Andrew C & Carlson, 1999)

Identificación por radio frecuencia (RFID) es una tecnología que transmite la identidad de un objeto usando ondas de radio. Un sistema de RFID consiste en una etiqueta (tag) (conteniendo los datos), un lector, y un software intermedio (Middleware) que interpreta la información de la etiqueta y la comunica al sistema de aplicaciones. (Bagchi et al., 2007)

El uso de RFID puede mejorar la operación en la cadena de suministro porque el inventario puede ser monitoreado con mas exactitud en tiempo real, resultando en una reducción del tiempo de procesamiento y de mano de obra. (Bagchi et al., 2007). Añadiendo reglas de negocio y combinando el uso del sistema de gestión de negocio podría hacer que al pasar el inventario por ciertas compuertas signifique por ejemplo una notificación de la producción o una entrada de inventario por producción.

La administración de inventario es un factor clave en mantener una ventaja competitiva en las operaciones de la cadena de suministro, y el RFID está emergiendo como una tecnología valiosa e indispensable para la administración de inventarios eficiente dentro de la cadena de suministro. El uso de este tipo de tecnologías como la del RFID hacen posible incrementar la exactitud del inventario en el sistema comparado con el inventario en físico, adicionalmente mantener su ubicación en tiempo real. Esto permite que el nivel de entrega de órdenes a tiempo se incremente y por lo tanto incremente el nivel de servicio.

El uso del RFID tiene un impacto positivo en los siguientes procesos: (Andrew C & Carlson, 1999)

- Manejo de Materiales: Incrementa el número de unidades movidas / hora y reduce los costos de manejo de materiales
- Reserva de inventario: Mejora la exactitud en la cantidad y ubicación del inventario.
- Surtido de órdenes del almacén: Incrementa las unidades / hora, disminuye el costo de surtido

2.5 ALMACÉN DE PRODUCTO TERMINADO

En la planta se orientan los espacios principalmente para las líneas de producción teniendo los espacios de almacenamiento limitados, el producto terminado que sale de producción a una alta velocidad que demanda de espacios en el almacén. Los almacenes se diseñan para mantener los productos por poco tiempo ya que si es requerido mantenerlos por un largo tiempo se mandan a los centros de distribución en donde su función principal es almacenar los productos y despacharlos de acuerdo con la demanda real de los clientes y donde hay suficiente espacio de almacenamiento.

El concepto de ruteo de Inventario (Bertazzi et al., 2008) detalla el efecto de la capacidad de inventario en las decisiones de ruteo donde se establece la estrategia de inventarios y de embarques que aquellos productos que son de alta rotación sean embarcados casi saliendo de la línea de empaclado

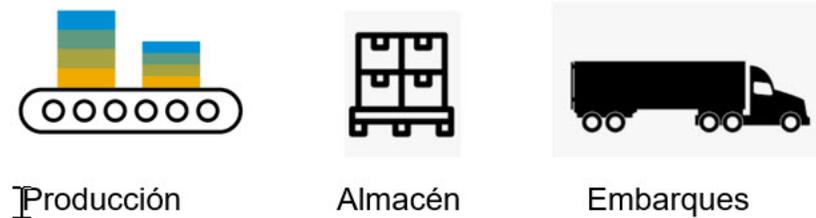


FIGURA 2.5: Producción, Almacén y Embarques

2.6 PROCESO DE CUMPLIMIENTO DE ÓRDENES

A nivel de operaciones el proceso de cumplimiento de órdenes se enfoca en transacciones, mientras que a nivel estratégico la administración se puede enfocar en hacer las mejoras críticas a los procesos que influyen el desempeño de la compañía, sus clientes y proveedores. (Croxtton, 2003).

En algunos casos el proceso de cumplimiento a órdenes es la única interacción que tienen los clientes con la compañía y por lo tanto es lo que genera la experiencia del cliente y de aquí la importancia de tener un proceso centrado en el cliente y en el servicio al cliente. Este proceso incluye la generación de órdenes, el surtido, la entrega y servicio al cliente. Para cumplir con estas tareas la compañía debe de diseñar una red y proceso de surtido que permita a la compañía cumplir con los requerimientos de los clientes y al mismo tiempo minimizar el costo total de entrega.

El proceso de cumplimiento de órdenes incluye todas las actividades necesarias para definir los requerimientos del cliente, diseñar la red logística y el surtido de órdenes.

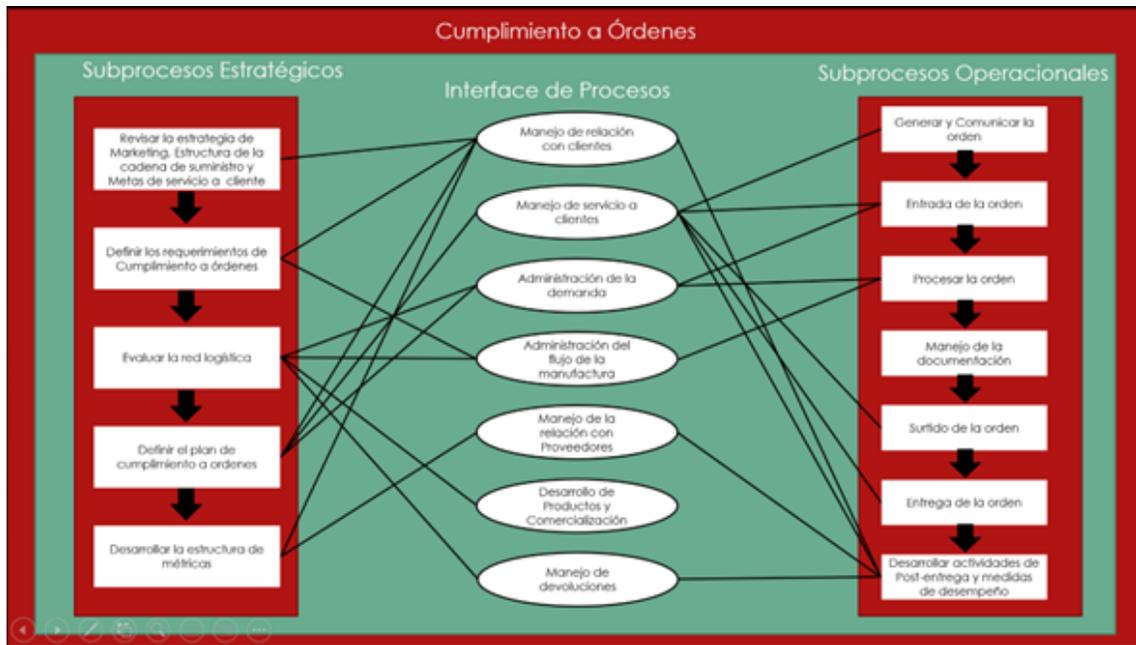


FIGURA 2.6: Proceso de Cumplimiento a Pedidos según Croxton

De acuerdo con los subprocesos estratégicos y operacionales se tiene que diseñar para mejorar el nivel de servicio a clientes al menor costo posible. Buscando que los clientes puedan repetir sus órdenes, retener y fortalecer las relaciones con los clientes más rentables, reducir el inventario de producto terminado. En el diseño del proceso de cumplimiento a órdenes se debe de considerar reducir al mínimo la brecha que existe entre la producción real y la notificación y la entrada de inventario por producción. (Croxton, 2003)

Subprocesos de cumplimiento a órdenes: .

Haciendo un análisis de los subprocesos estratégicos del Proceso de Cumplimiento a Órdenes de acuerdo con la definición de (Croxton, 2003) se identifican algunos con una relación estrecha con el beneficio que pueda traer la industria 4.0 estos son:

- Definir requerimientos para cumplimiento a órdenes
- Definir plan para cumplimiento a órdenes se detallan a continuación

Subprocesos Estratégicos:	Subprocesos Operacionales
Revisar la estrategia de mercadotecnia, estructura de la cadena de suministro metas de servicio a cliente	Generar y comunicar la orden
Definir requerimientos para cumplimiento a órdenes	Entrada de órdenes
Evaluar la red logística	Procesar la orden
Definir plan para cumplimiento a órdenes	Manejo de la documentación
Desarrollar la estructura de métricas	Ejecución de las órdenes
	Surtido de la orden
	Entrega de la orden
	Desarrollar actividades de Post - entrega y medidas de Desempeño

TABLA 2.1: Proceso de cumplimiento a órdenes con Subprocesos estratégicos Oper-

cionales relevantes para este estudio

Definir requerimientos para cumplimiento a órdenes: Una vez que los requerimientos del cliente y los límites son impuestos por la estructura de la red son entendidos el equipo se puede enfocar en definir los requerimientos para el proceso de cumplimiento a órdenes. Esto incluye:

- La revisión del ciclo de pedidos al cobro
- Entendimiento de las capacidades de suministro
- Definición del tiempo de entrega
- Requerimientos de servicio al cliente

- Requerimientos operacionales

Definir plan para cumplimiento a órdenes: El equipo ahora sabe cuales son las capacidades de la cadena de suministro y los requerimientos de los clientes. Si las capacidades no son suficientes para cumplir con los requerimientos de los clientes entonces se tiene que evaluar un posible rediseño para poder resolver alguna brecha. Incluye lo siguiente: (Croxtton, 2003)

- Determinar como surtir las órdenes de cada segmento de cliente
- Tomar las decisiones acerca de los términos de pago, tamaños de orden y requerimientos de empaque.
- Determinar las reglas de asignación de inventario a órdenes
- Evaluar el rol de la tecnología

Los subprocesos operativos del proceso de cumplimiento a órdenes que intervienen en este estudio son: Ejecución de las órdenes y Surtido de las órdenes(Croxtton, 2003)

Ejecución de las órdenes: Después de validar el crédito del cliente para el pedido se valida el inventario, en el tipo de empresas de productos empacados se tiene en la mayoría de ellas que es una estrategia de manufactura de producir para inventario (MTS) por lo tanto las órdenes se surten del inventario y se tiene que validar su disponibilidad y su ubicación para poder realizar el surtido del pedido.

- Validar crédito
- Validar inventario
- Planear el flujo de la orden y transporte

Surtido de las órdenes: Una vez validado su disponibilidad de inventario y su ubicación se procede a realizar el surtido del producto desde el almacén y la ubicación asignada, realizar el empaque y moverlo hacia el área de carga para el transporte para proceder posteriormente a la carga del camión

- Surtido del producto
- Empaque del producto
- Movimiento del producto al área de embarque
- Preparar la confirmación de la carga

En este proceso de cumplimiento de órdenes es donde se tiene que evaluar las capacidades que pueden estar disponibles a través de la tecnología que permite utilizar la industria 4.0, el sistema de ejecución de manufactura (MES), internet de las cosas (IoT) y el RFID para poder ejecutar el proceso de cumplimiento a órdenes en tiempo real y así de manera estratégica diseñar este proceso para cumplir con los requerimientos de los clientes al mínimo costo total de entrega.

2.7 SISTEMA EMPRESARIAL DE NEGOCIOS (ERP)

El sistema ERP (Enterprise Resource Planning) es un sistema de administración de negocios que consta de módulos de sistemas, que pueden ser usados cuando son exitosamente implementados, para administrar e integrar todas las funciones del negocio dentro de una organización. Estos módulos incluyen aplicaciones de negocio como: Finanzas, Contabilidad, Ventas y Distribución, Administración de Materiales, Recursos Humanos, Planeación de la producción, etc. Estos módulos tienen la capacidad de permitir el flujo de información entre todos los procesos de la cadena de suministro (internos y externos) en una organización. (Sharo et al., 2004)



FIGURA 2.7: Sistema ERP

Además, el sistema ERP puede ser usado como una herramienta para ayudar a mejorar el nivel de desempeño de la red de la cadena de suministro ayudando a reducir los tiempos de ciclo.

El ERP es considerado como el precio de entrada para operar un negocio y aun mas con la capacidad de poder conectarse de un negocio a otro (B2B).

Hoy en día el ERP es capaz de operar según el modelo del MRPII o incluso enlazarse con soluciones avanzadas de planeación que utilizar la optimización para mejorar el servicio al cliente al menor costo posible regresando al ERP la ejecución del plan de producción teniendo ya un Plan de producción orientado a obtener el mejor servicio al menor costo.

Los puntos clave de integración del ERP hacia un sistema de ejecución de manufactura (MES) son:

- órdenes de producción
- Datos maestros

Los puntos clave de integración del MES hacia el ERP son:

- Notificaciones de producción
- Entradas de inventario por producción

Las órdenes de producción se mandan del ERP hacia el sistema de ejecución de manufactura (MES). Están secuenciados de acuerdo con las prioridades de la demanda, las capacidades de producción de los recursos productivos, capacidades disponibles de los recursos productivos.

Las notificaciones de producción se mandan desde el sistema de ejecución de manufactura hacia el ERP. Aquí es donde se actualizan las órdenes de producción con los avances de producción, estas notificaciones se pueden realizar de manera interactiva por un operador. De esta manera se mantiene actualizado el progreso de las órdenes de producción en el ERP.

Las entradas de inventario por producción se realizan al mismo tiempo que se reportan las notificaciones de producción. Estas entradas se pueden realizar de manera interactiva por un operador. Dependiendo del período de tiempo que se tome para actualizar estas entradas de inventario por producción sería el tamaño de lote virtual que el sistema ERP estaría considerando. Esto permite al sistema ERP actualizar su inventario disponible para poder considerar la factibilidad de órdenes a embarcar.

Aportación de la Industria 4.0 Considerando lo siguiente:



FIGURA 2.8: Diagrama de integraciones entre el ERP, MES y las líneas de producción

- Industria de Productos de Consumo
- Líneas de producción de envasado de alto volumen
- Uso de PLC Maestro
- Uso de un sistema de ejecución de manufactura (MES)
- Uso de un sistema ERP para la programación de las órdenes de producción
- Proceso de cumplimiento de órdenes establecido
- Captura de las notificaciones de producción de manera interactiva en el ERP
- Captura de las entradas de inventario por producción de manera interactiva
- Período de actualización del ERP por turno o por día
- Relevante Incumplimiento de pedidos de embarque por causa de falta de inventario que está en físicamente terminado, pero no actualizado en el sistema

La industria 4.0 puede contribuir a la mejora en el indicador de tiempo de ciclo de cumplimiento de pedidos en reducir el período de tiempo de la notificación de las producciones y las entradas de inventario por producción hasta la cantidad de una tarima o pallet. Esto dependerá de la capacidad de cómputo y procesamiento que

tenga el ERP y el MES para procesar la información con la frecuencia requerida. Es posible encontrar un punto medio en donde se acumulen el producto a notificar en un período de tiempo establecido.

2.8 RELACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 Y EL SISTEMA DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA (MES)

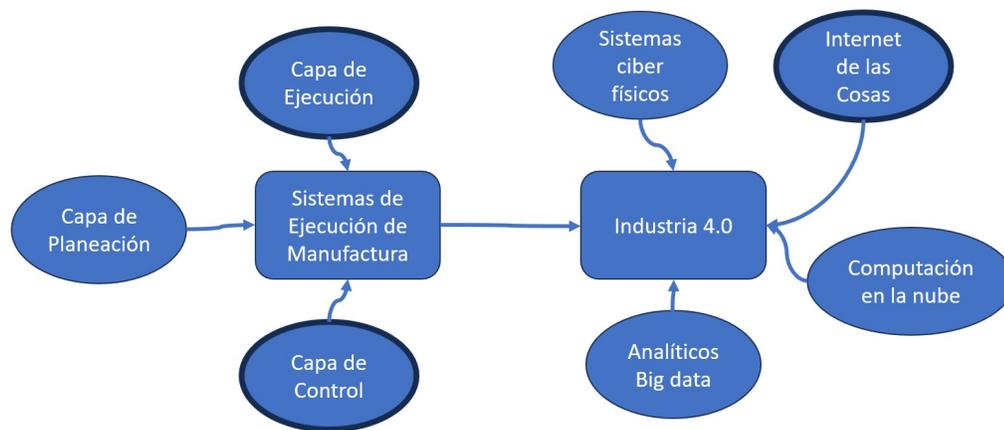


FIGURA 2.9: Relación entre la industria 4.0 y el Sistema de ejecución de manufactura

La Industria 4.0 y el sistema de ejecución de manufactura MES están estrechamente relacionados y se complementan entre sí. La Industria 4.0 se refiere a la integración de tecnologías digitales en los procesos de fabricación para crear fábricas inteligentes y conectadas. Esto implica el uso de tecnologías como Internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial, big data, computación en la nube y ciberseguridad para mejorar la eficiencia, la productividad y la flexibilidad de la producción. (Mantravadi & Moller, 2019)

Por otro lado, el MES es un sistema de gestión de la producción que se utiliza en la industria manufacturera para supervisar y controlar las operaciones en tiempo real. El MES recopila datos en tiempo real de diversas fuentes, como máquinas, sensores y sistemas ERP, y los utiliza para optimizar la producción, mejorar la

calidad, reducir los tiempos de ciclo y tomar decisiones informadas.

La relación entre la industria 4.0 y el MES radica en que el MES es una herramienta clave para implementar y aprovechar los beneficios de la Industria 4.0. El MES recopila y procesa datos en tiempo real de las máquinas y los sensores, lo que permite una mayor visibilidad y control de los procesos de producción. Estos datos pueden ser utilizados por los sistemas de la industria 4.0 para tomar decisiones automatizadas, optimizar la producción y mejorar la eficiencia.

Además, el MES puede integrarse con otras tecnologías de la industria 4.0, como la inteligencia artificial y el análisis de datos, para realizar análisis avanzados y predecir problemas o tendencias en la producción. Esto permite una mayor capacidad de respuesta y una toma de decisiones más rápida y precisa.

En resumen, el MES es una herramienta esencial para implementar y aprovechar los beneficios de la industria 4.0, ya que proporciona la base para recopilar, analizar y utilizar datos en tiempo real para optimizar la producción y mejorar la eficiencia.

2.9 RELACIÓN DEL SISTEMA DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA MES CON EL ERP

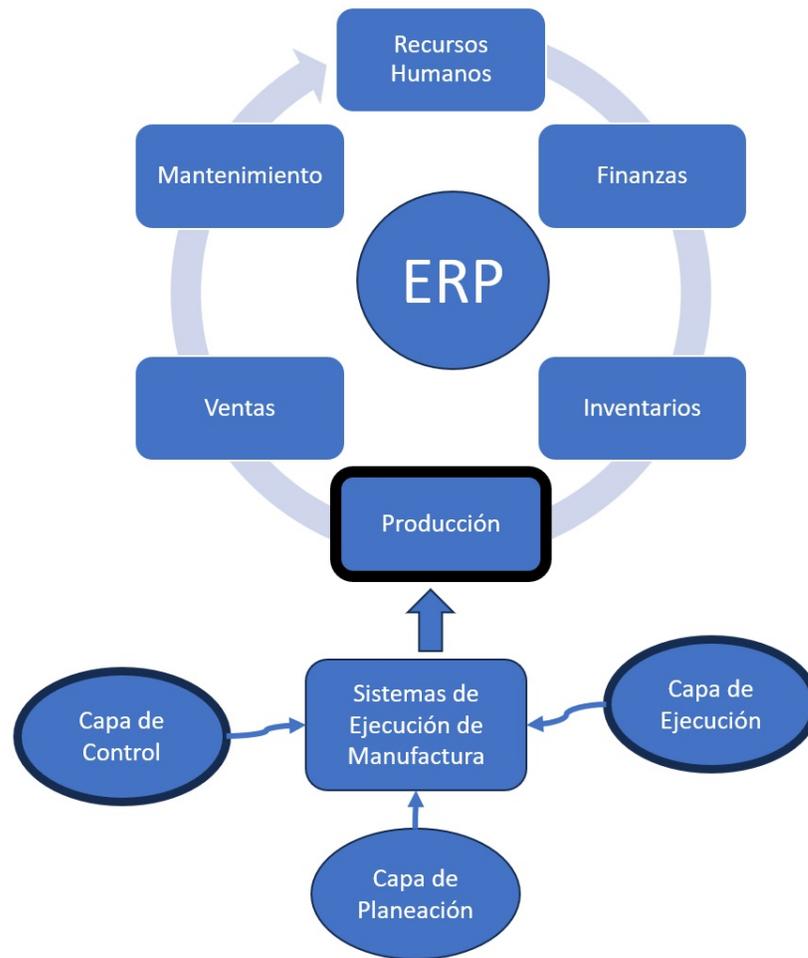


FIGURA 2.10: Relación entre el Sistema de ejecución de manufactura y el sistema ERP

La relación entre el sistema de ejecución de manufactura (MES) y el sistema ERP es fundamental para la gestión eficiente de la producción y la optimización de los procesos empresariales en la industria manufacturera. Aunque ambos sistemas son diferentes en sus funciones y objetivos, su integración eficaz puede proporcionar una visión completa de las operaciones de una empresa. (Govindaraju & Putra, 2016)

Por un lado: El sistema de ejecución de manufactura (MES) se enfoca principalmente en la optimización de la producción en tiempo real, supervisando y controlando las actividades de fabricación en el taller. Por otro lado, el ERP se encarga de la gestión global del negocio, incluyendo funciones como finanzas, recursos humanos, adquisiciones y gestión de inventario. La integración de ambos sistemas permite una visión completa de las operaciones, desde el piso de producción hasta el nivel empresarial.

Es posible tener un flujo de información casi en tiempo real: La integración del MES con el ERP facilita un flujo de información en tiempo real. Los datos generados por el MES, como el estado de la producción, el rendimiento de la maquinaria y la calidad del producto, se pueden compartir instantáneamente con el sistema ERP. Esto proporciona una visión actualizada y precisa de la situación de la empresa, lo que permite una toma de decisiones más informada y oportuna.

La integración del MES y el ERP permite una gestión más eficiente de los recursos, ya que el ERP puede utilizar los datos del MES para optimizar la planificación de la producción, el inventario y los recursos humanos. Esto garantiza que los recursos estén alineados con las necesidades de producción y ayuda a evitar redundancias y desperdicios.

La integración del MES y el ERP también mejora la eficiencia de la cadena de suministro. Al compartir información sobre la demanda, el inventario y la capacidad de producción en tiempo real, ambos sistemas pueden colaborar para mejorar la planificación de la cadena de suministro, minimizando los tiempos de inactividad y mejorando la entrega de productos a los clientes.

La integración del MES y el ERP permite una mayor visibilidad y trazabilidad en los procesos de fabricación y en toda la cadena de suministro. Esto significa que se puede realizar un seguimiento detallado de las materias primas, el proceso de fabricación y la distribución, lo que facilita la identificación de posibles cuellos de botella y problemas de calidad.

La integración de MES y ERP requiere una interfaz para el intercambio de datos entre el proceso de fabricación y el dominio empresarial.

En resumen, la integración del MES y el ERP mejora la eficiencia operativa y la toma de decisiones estratégicas, lo que conduce a una gestión más eficiente de la producción y de los recursos en general. Esta sinergia es esencial para mantener la competitividad en el entorno industrial actual.

2.10 BENEFICIOS POTENCIALES DE LA INDUSTRIA

4.0

A continuación, se listan los beneficios potenciales de la aplicación de la industria 4.0, no son exhaustivos más sin embargo dan una idea del tipo de beneficios que se pudieran lograr. (Fatorachian & Kazemi, 2020)

- Visualización y simulación de las operaciones
- Detección de las variaciones en producción
- Trazabilidad en tiempo real de la interoperabilidad de los recursos
- Seguimiento y localización de los productos a través de la cadena de suministro
- Optimización del transporte
- Mejora en la entrega de producto por la predicción de los posibles retrasos
- Creación de métodos de posicionamiento adentro y fuera de la planta a través del GPS
- Control avanzado de los movimientos y estatus de los productos
- Prevenir las situaciones costos de quedarse sin inventario y mejorar la satisfacción a clientes

-
- Procesamiento de grandes volúmenes de información de una manera rápida y eficiente
 - Eliminación de tareas de que consumen tiempo manual contando las tarimas y productos

Estos beneficios de la industria 4.0 serán evaluados al momento de elaborar las propuestas de solución determinando cuales serían sus beneficios y el grado de impacto de cada uno de ellos.

2.11 MODELO DE SCOR

En el modelo de SCOR se tiene uno de los atributos que se llama capacidad de respuesta (Responsiveness) el indicador a nivel 1 de este atributo es el tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos, este es el indicador que tomaremos de base para medir el desempeño actual y compararlo con el beneficio potencial que podamos lograr con el modelo propuesto.

Tomando como base su definición que es el tiempo de ciclo actual promedio que de manera consistente se lleva para surtir las órdenes de cliente. Para cada orden individual, este tiempo de ciclo empieza desde la recepción de la orden y termina con la aceptación de la orden por el cliente.(APICS, 2017)

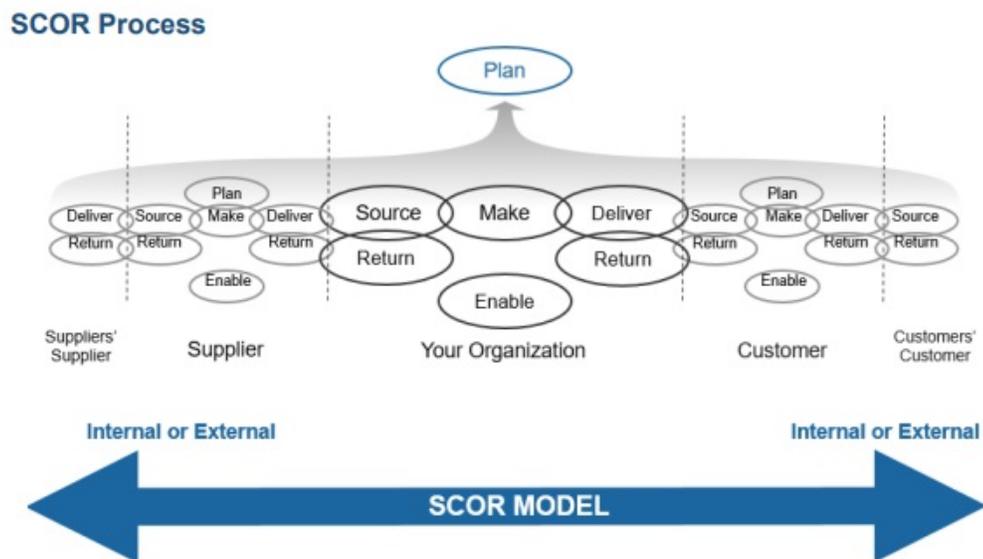


FIGURA 2.11: Modelo SCOR, APICS 2017

La forma de calcularlo es: (Acumulado del tiempo de ciclo actual para todas las órdenes entregadas) / (Total de numero de órdenes entregadas)) en días Esta fórmula se ajustará de acuerdo con los requerimientos de este trabajo

Descripción de la variable	Nombre de la variable
Tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos	TCCP
Acumulado del tiempo de ciclo actual para todas las órdenes entregadas	ATCATOE
Total de numero de órdenes entregadas	TNOE

TABLA 2.2: Declaración de variables para el cálculo del indicador de Tiempo de ciclo de cumplimiento a pedidos

$$TCCP = ATCATOE/TNOE \quad (2.1)$$

2.12 CONCLUSIÓN

El uso de la industria 4.0 en la industria de manufactura genera un alto valor al permitir a las compañías obtener la información en tiempo real lo que de manera normal se opera generando momentos de espera hasta que se actualizan los sistemas de gestión empresarial de manera manual o en lotes. La aplicación del internet de las cosas (IoT), el sistema de ejecución de manufactura (MES), la tecnología de RFID, el sistema de negocios (ERP) y adaptando el proceso de cumplimiento a órdenes es posible obtener una mejora significativa en las empresas creando así ventajas competitivas al ser más ágiles en su operación, más eficientes, mejorando el servicio al cliente y reduciendo el costo total de entrega. Esto cambia el paradigma de las compañías y establece una nueva línea base en la que las compañías que logren y lo adopten estarán listas para un nuevo paradigma que el mismo entorno de negocio les exija. Estaremos mostrando una metodología para su realización considerando estos

elementos clave.

Lo que veremos a continuación en la Metodología es establecer los pasos necesarios para establecer un modelo de operación que permita lograr el objetivo de mejorar el indicador de tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos considerando darle sentido a la industria 4.0, Sistema de ejecución de manufactura (MES), Sistema de gestión de negocios (ERP), Proceso de cumplimiento a pedidos, identificando los hallazgos y hacer recomendaciones de lo encontrado llegando a las conclusiones.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 RESUMEN

La metodología diseñada para este caso de estudio permitirá seguir los pasos principales para lograr el objetivo, evaluando: las capacidades de la industria 4.0 y los habilitadores necesarios con las que cuenta la empresa, la posibilidad de un sistema de ejecución de manufactura (MES) la funcionalidad requerida de programa de producción y su avance, la posibilidad de un sistema de gestión de negocios (ERP) y el programa de producción donde integre las prioridades del negocio ya factibles por materiales y un proceso de cumplimiento a pedidos detallando los procesos estratégicos y operativos relacionados con el indicador de tiempo de ciclo de cumplimiento de pedidos. Posteriormente determinar Implicaciones y recomendaciones para poder materializar la mejora en el cumplimiento a pedidos reduciendo el tiempo del período en el cual se actualiza el sistema ERP por el MES y la industria 4.0 y al terminar con las conclusiones confirmando como el modelo planteado ayuda a mejorar el cumplimiento a pedidos. (Çınar et al., 2021)

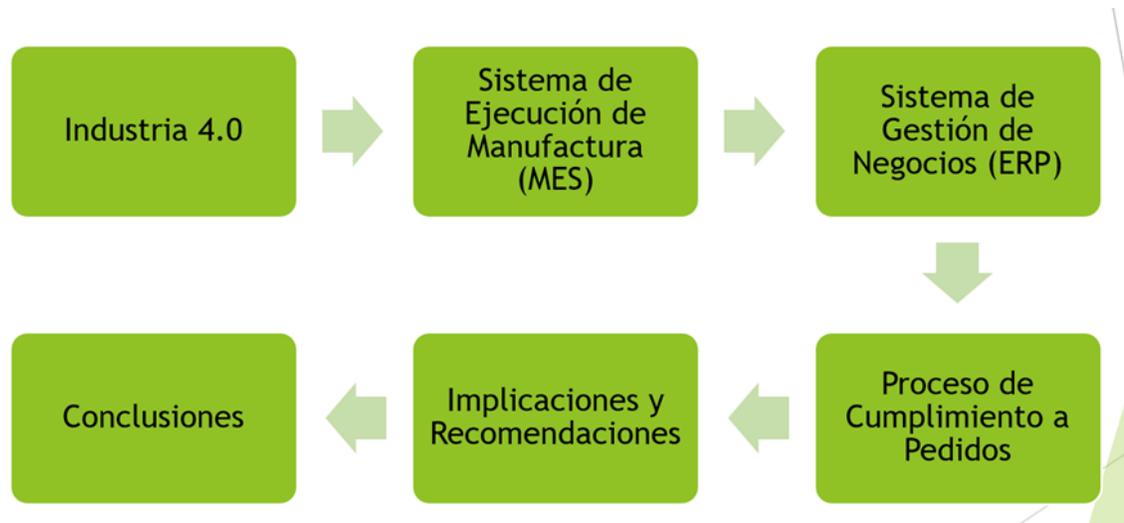


FIGURA 3.1: Metodología diseñada para este caso de estudio

3.2 INDUSTRIA 4.0

En este paso se va a verificar que la compañía cuente con la posibilidad de que sus líneas de envasado tengan un PLC Maestro capaz de poderse comunicar e integrarse digitalmente con los dispositivos de control de la línea de producción y le puedan mandar instrucciones y poder recibir el estado actual de cada sensor. Los habilitadores que estaremos evaluando son:

- Internet de las cosas
- Computación en la nube
- Big data

3.2.1 INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

Este es uno de los habilitadores mandatorios de la industria 4.0 para poder hacer realidad la comunicación del PLC maestro de la línea de envasado hacia el

MES, se validará que pueda leer los tags, almacenarlos, darles contexto a los datos y procesarlos en el MES.

3.2.2 COMPUTACIÓN EN LA NUBE

Otro habilitador de la industria 4.0 es la computación en la nube, este habilitador pudiera ser opcional dado que el procesamiento de la información recabada de los sensores puede ser procesada de manera local (on premise) y no es indispensable que se utilice el procesamiento en la nube.

3.2.3 BIG DATA

EL habilitador Big data pudiera ser muy útil en este proceso dado que pudiera ser capaz de que además de considerar en el procesamiento de datos los recolectados de los sensores de las líneas de producción se pueden recolectar datos externos de otras fuentes como la temperatura ambiente, la humedad, entre otras variables y considerarlas en el procesamiento de los datos para darle contexto al resultado de la operación obtenida.

Hay que asegurar que la industria 4.0 pueda habilitar a la compañía en poder leer los datos de producción casi en tiempo real dando como resultado que podemos recolectar información de cada unidad de manejo que sale de la línea de envasado que normalmente le llamamos pallet o tarima por lo que permitiría mandar la actualización al sistema de ejecución de manufactura (MES) por cada pallet producido.

3.3 SISTEMA DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA (MES)

Se evaluará el uso del sistema de ejecución de manufactura (MES) considerando las 3 capas del sistema que son:

- Capa de planeación
- Capa de ejecución
- Capa de control

Los dos que estaremos utilizando son: Capa de ejecución y capa de control.

En la capa de ejecución estaremos evaluando la capacidad de utilizar APIs para escribir el programa de producción que proviene del ERP en donde se está considerando que ya es un programa con prioridades de la demanda y factibles por los componentes con los que se va a fabricar el producto. Este programa de producción está considerando una duración de la orden de acuerdo con los estándares de producción y con una fecha, hora, minuto, segundo de inicio y de fin.

Se tiene que considerar que el MES pueda utilizar APIs para notificar en su programa de producción el avance de la producción con la unidad mínima de manipulación (Pallet) del producto en el almacén y en el transporte hacia los clientes o centros de distribución.

Se tiene que controlar si la unidad de Manipulación ya fue notificada al sistema de gestión de negocios (ERP). En caso de que la notificación de la producción del MES hacia el ERP no sea por cada Pallet entonces se tendrá que considerar su actualización de la notificación en el momento que ocurra.

Considerando que la notificación de la producción pudiera ser posible por cada

Pallet que se notifica en la línea de envasado si todo el proceso de negocio se actualiza de manera sincronizada.

Origen	Destino	APIs - Objeto
ERP	MES	Programa de producción con Órdenes de producción
MES	ERP	Avance de la orden de producción (una por cada pallet producido)

TABLA 3.1: Resumen de APIs requeridas en el MES

3.4 SISTEMA DE GESTIÓN DE NEGOCIOS (ERP)

Evaluar que el sistema de gestión de negocios (ERP) sea capaz de generar un programa de producción considerando la demanda y sus prioridades, la capacidad de los equipos productivos, las restricciones en cuanto a secuenciación, en caso de que exista una secuenciación dependiente y sus tiempos de preparación y limpieza o saneamiento. Además de las capacidades debe de considerar la factibilidad de los componentes necesarios para hacer el producto terminado, es decir: Materias primas, empaques, consumibles, etcétera. Esto genera un programa de producción factible por capacidades, por materiales y considerando las prioridades en la demanda.

Hay ocasiones que las prioridades en la demanda no son factibles por materiales o componentes para su fabricación y esto no permite que sean parte del programa de producción. Esto es una función del ERP en donde al momento de generar el programa de producción factible por capacidades y materiales se determinó que demanda es la que va a poder surtida por la producción que se va a realizar. En caso de que haya algún atraso el ERP ya lo determinó.

De esta manera el programa de producción factible por capacidades y mate-

riales que genera el ERP hacia el MES ya asume estas consideraciones y enfoca a la producción a producir lo solicitado.

Evaluar que el ERP tenga APIs para poder mandar el programa de producción ya factible y secuenciado hacia el MES. Además de pasarle algunos datos maestros si son necesarios para el MES.

Evaluar la capacidad del ERP en recibir del MES a través de APIs las notificaciones de producción de acuerdo con su avance de producción y el ERP deberá procesarlo en su avance de producción a la orden y la entrada de inventario de producto terminado, suponiendo que la línea de envasado es el último paso en el proceso de producción.

El sistema MES puede proporcionar al ERP información adicional como se muestra en el capítulo de Antecedentes (Sistemas de ejecución de manufactura (MES)) pero para este estudio nos enfocaremos en la notificación del avance de producción.

Origen	Destino	APIs - Objeto
ERP	MES	Programa de producción con Órdenes de producción
MES	ERP	Avance de la orden de producción (una por cada pallet producido)
ERP		Creación de entrada de inventarios por producción

TABLA 3.2: Resumen de APIs requeridas en el ERP

3.5 PROCESO DE CUMPLIMIENTO A PEDIDOS

Se evaluará el proceso de cumplimiento a pedidos en donde tendremos el marco de referencia establecido por (Croxtton, 2003) con sus subprocesos estratégicos y operativos relevantes para el indicador que nos estamos enfocando que es el tiempo de ciclo para cumplimiento a pedidos. Antes de la implementación de este proyecto de incluir a la industria 4.0 para reducir el tiempo de ciclo de actualización al sistema ERP trayendo un posible cambio de paradigma en la definición de este proceso, por lo tanto, se evaluará su definición y el posible impacto en el proceso.

3.5.1 SUBPROCESO ESTRATÉGICO: DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS PARA CUMPLIMIENTO A ÓRDENES

Evaluar la definición de los requerimientos para cumplimiento a órdenes para cada una de estas actividades el impacto que pueda tener este caso de estudio en el sentido de recortar el tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos.

- La revisión del ciclo de orden al cobro
- Definir el tiempo de entrega y servicio a clientes para cada segmento de clientes
- Definir los requerimientos operacionales
- Evaluar las competencias principales

3.5.2 SUBPROCESO ESTRATÉGICO: DEFINICIÓN DEL PLAN PARA EL CUMPLIMIENTO A ÓRDENES

Evaluar la definición del plan para el cumplimiento a órdenes para cada una de estas actividades el impacto que pueda tener este caso de estudio en el sentido

de recortar el tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos.

- Determinar cómo surtir las órdenes de cada segmento de cliente
- Determinar reglas de asignación de inventario a órdenes
- Evaluar el rol de la tecnología

3.5.3 SUBPROCESO OPERATIVO: EJECUCIÓN DE ÓRDENES

Evaluar la definición Ejecución de órdenes para cada una de estas actividades el impacto que pueda tener este caso de estudio en el sentido de recortar el tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos.

- Validar el inventario
- Planear el flujo de la orden de transporte

3.5.4 SUBPROCESO OPERATIVO: SURTIDO DE ÓRDENES

Evaluar la definición surtido de órdenes para cada una de estas actividades el impacto que pueda tener este caso de estudio en el sentido de recortar el tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos.

- Surtido de órdenes
- Movimiento del producto al área de embarque
- Preparar la confirmación de la carga

El Proceso de Cumplimiento a Pedidos es clave en la mejora del indicador de tiempo de ciclo en el cumplimiento a pedidos dado que se diseña de acuerdo con los

requerimientos de los clientes y a las capacidades de la compañía por lo tanto esta evaluación que se vaya a realizar se tendrá que evaluar su impacto y su adaptación por la introducción de la industria 4.0, MES, ERP y el proceso de cumplimiento a pedidos en su conjunto.

3.6 IMPLICACIONES Y RECOMENDACIONES

Se enlistarán las implicaciones que consideramos va a tener la compañía al adoptar la tecnología de la industria 4.0 y su capacidad de actualizar el sistema de gestión de negocios ERP cada vez que sale un pallet de producto terminado tanto en su producción como en la entrada de inventario de producto terminado por producción. Esto trae consigo una práctica operativa que permita realizar de manera iterativa y con períodos más cortos la validación del inventario de producto terminado para hacer factibles pedidos de embarque y poder realizar el proceso de surtido y embarque de los pedidos.

Considerando que es una producción de alta velocidad y almacenes que tienen una capacidad limitada de almacenamiento. Enlistar los hallazgos encontrados en el proceso de cumplimiento a pedidos de acuerdo con lo logrado en la adopción de la industria 4.0 y su impacto.

3.7 CONCLUSIONES

Se va a realizar un resumen de los hallazgos encontrados y sus impactos considerando los habilitadores de la industria 4.0 y su utilización en el sistema de ejecución de manufactura integrado con el sistema de negocios (ERP) y como marco el proceso de cumplimiento al cliente es posible mejorar el indicador de tiempo de ciclo de cumplimiento de pedidos dado que se hace posible la reducción del período de tiempo en el que se actualiza el sistema de gestión de negocios (ERP) hasta llegar al

período mínimo de cada pallet de producto terminado. Esto implica además ajustes al proceso de cumplimiento de pedidos, a las prácticas operativas que tendrían que ser más frecuentes dado los ajustes planteados.

Los resultados esperados es una reducción en el tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 RESUMEN

El resultado de la implementación de la metodología en una empresa de productos de consumo masivo (bebidas) es que si se logró un beneficio medible en una reducción del indicador de tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos, los resultados encontrados es que al haber implementado el modelo propuesto la industria 4.0 y su habilitador principal de Internet de las Cosas (IOT) si está habilitado en la operación solo para visualización pero no se estaba utilizando de una manera integrada, se podían visualizar los datos en los equipos productivos sin ninguna integración con el MES y el ERP.

Existe un sistema de ejecución de manufactura (MES) en donde es posible manejar el programa de producción que viene del sistema de gestión de negocio (ERP) y se puede generar un acumulado de todos los pallets que van saliendo de la línea de producción casi en tiempo real. Se cuenta con un sistema de gestión de negocios (ERP) en donde se realiza el programa de producción integrando las prioridades de la demanda validados por materiales y componentes.

Se identificaron los subprocesos del proceso de cumplimiento a pedidos que se veían impactados por la implementación del modelo propuesto y se sugirieron

mejoras. El resultado es que si se mejoró el tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos hasta por un 9.24 % se detallará lo encontrado en cada elemento de este modelo propuesto.

El objetivo de este trabajo no es dar detalle de la configuración técnica de la implementación sino solo detallar lo suficiente para delinear como se realizó la implementación para obtener el resultado esperado de uso de los elementos clave del proyecto y su integración.

4.2 INDUSTRIA 4.0

Se confirmó que la compañía cuenta con los habilitadores de la industria 4.0 y principalmente fue el habilitador de Internet de las Cosas (IOT) y es capaz de mostrar la información del estado de la línea de producción además de interactuar con él es decir se puede leer información y escribir información en los equipos productivos. La información que necesitamos de la línea de producción es el detalle de los pallets producidos el tiempo en que salió el producto, las condiciones de la línea, eficiencia, cantidad de botellas que tiene el pallet casi en tiempo real.

Se intentó utilizar la computación en la nube, pero por temas de ciber seguridad no fue posible hacerlo y la empresa decidió dejarlo para una fase posterior.

El habilitador de Big data se evaluó, pero como no se tenía considerado una nube para procesar de manera externa la información, no se realizó la extracción de información por lo que no se utilizó este habilitador se dejó para trabajos futuros.

Aun y cuando la industria 4.0 tiene la capacidad de recolectar información de los sensores en los equipos productivos y además de recibir en los sensores no fue necesario mandarles información a los sensores en este trabajo solo recolectar la información y aun así consideramos suficiente el beneficio logrado.

4.3 SISTEMA DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA (MES)

En el sistema de ejecución de manufactura (MES) se confirmó que se está trabajando en dos de las tres capas del sistema que son: Capa de ejecución y capa de control.

En la capa de ejecución se confirmó que se tiene la capacidad de escribir el programa de producción que proviene del ERP a través de una API en donde se recibe el programa de producción, en donde lo que se recibe ya es un programa secuenciado a capacidad finita con prioridades de la demanda y factibles por los componentes con los que se va a fabricar el producto. Este programa de producción está considerando entre otros datos: orden, la duración de la orden de acuerdo con los estándares de producción y con una fecha, hora, minuto, segundo de inicio y de fin.

Se confirmó que el MES tiene la capacidad de notificar en su programa de producción el avance de la producción con la unidad mínima de manipulación (Pallet) del producto en el almacén y en el transporte hacia los clientes o centros de distribución.

El MES si tiene el control de la unidad de Manipulación que ya fue notificada al sistema de gestión de negocios (ERP). En caso de que la notificación de la producción del MES hacia el ERP no sea por cada Pallet entonces se tendrá que considerar su acumulación y actualización de la notificación en el momento que ocurra.

Desde el lado del MES es posible que la notificación de la producción sea por cada Pallet que se notifica en la línea de envasado actualizándose de manera sincronizada, pero está preparado en caso de que el sistema de negocio no lo pueda recibir de manera inmediata se acumule para el siguiente intento integrar lo que esté acumulado.

4.4 SISTEMA DE GESTIÓN DE NEGOCIOS (ERP)

En el sistema de gestión de negocios (ERP) es capaz de generar un programa de producción considerando la demanda y sus prioridades, la capacidad de los equipos productivos, las restricciones en cuanto a secuenciación, y si hay una secuenciación dependiente que considera los tiempos de preparación y limpieza o saneamiento. En el programa de producción se considera que sea factible por los componentes dentro de su lista de materiales (BOM) por lo tanto si una orden tiene fecha para surtirse en un período de tiempo determinado y no hay un suministro para poder realizar esta orden no se considera dentro del programa para así solo dejar las ordenes factibles por materiales, capacidades, con las prioridades de la demanda y tiempos disponibles de la línea de envasado.

La demanda de órdenes que no fue factible por alguna de las razones (capacidad, componentes, tiempo disponible de la línea de envasado, etc.) no se incluyen en el programa y se gestiona lo que haga falta para el siguiente programa de producción. El sistema de gestión de negocios (ERP) proporciona al negocio el impacto de este retraso para comunicar a las áreas responsables del área comercial o servicio a clientes y determinar el impacto. Lo importante es que en el sistema de ejecución de manufactura solo se envíe el programa de producción factible.

La salida del ERP hacia el MES a través de API's de ambos lados, además del programa de producción factible por capacidades, materiales y componentes se pasan datos maestros si son necesarios para el MES.

Lo que se recibe del MES hacia el ERP a través de APIs son las notificaciones de producción de acuerdo con su avance y el ERP en consecuencia realiza el avance de producción a la orden y la entrada de inventario de producto terminado, suponiendo que la línea de envasado es el último paso en el proceso de producción. Es importante que el proceso que se realiza en este punto es el mismo funcional y técnicamente independientemente del período de tiempo que se considere ya sea una vez al turno,

cada tarima o pallet o cada hora. Lo que si puede ser distinto es el volumen de datos que se van a procesar, es decir para cuando se realiza cada turno el volumen de datos a procesar es más grande que si se realiza a cada pallet, pero por otro lado cuando se realiza en cada pallet producido la frecuencia es más corta.

El sistema MES puede proporcionar al ERP información adicional como se muestra en el punto (Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES)) pero para este estudio nos enfocaremos en la notificación del avance de producción.

Se evaluó el poder realizar la notificación de producción y entrada de inventarios cada vez que se produce un pallet, técnicamente es posible más sin embargo se encontró un problema de desempeño en el sistema de gestión de negocios (ERP) lo que llevo al equipo de trabajo buscar una alternativa para no sobre cargar al sistema. Se evaluaron varios escenarios y se encontró que el período de tiempo en el cual se lograba un beneficio en el tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos y no sobrecargaba el sistema de negocios (ERP) de 1 hora, esto llevó a realizar una programación de notificaciones de producción y entrada de inventarios a cada hora en el sistema de gestión de negocios (ERP).

El proceso de cumplimiento de pedidos se ajustó de acuerdo con este nuevo paradigma.

4.5 PROCESO DE CUMPLIMIENTO A PEDIDOS

Se evaluó el proceso de cumplimiento a pedidos en donde se tiene el marco de referencia establecido por Croxton (Croxton, 2003) con sus subprocesos estratégicos y operativos relevantes para el indicador que nos estamos enfocando que es el tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos. Se identificó que de manera general se tiene todo diseñado en función de que el sistema de negocios (ERP) se actualice la producción y la entrada de inventarios de producto terminado una vez cada turno (8 horas). Ahora que se realizó la implementación de la industria 4.0, el MES y el ERP

se tiene un nuevo paradigma que permite a la operación de embarques el realizar la factibilidad de inventarios con un período de tiempo más corto.

4.5.1 SUBPROCESO ESTRATÉGICO: DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS PARA CUMPLIMIENTO A ÓRDENES

- La revisión del ciclo de orden al cobro
- Definir el tiempo de entrega y servicio a clientes para cada segmento de clientes
- Definir los requerimientos operacionales
- Evaluar las competencias principales

Al considerar el nuevo tiempo de actualización del inventario de producto terminado por producción en el sistema de gestión de negocios (ERP) se abre la posibilidad de estar activando el proceso de embarque con una frecuencia continua, es decir cada vez que se actualice el inventario de producto terminado se hacen factible más pedidos a embarcar por lo tanto el período de tiempo al menos es cada hora.

4.5.2 SUBPROCESO ESTRATÉGICO: DEFINICIÓN DEL PLAN PARA EL CUMPLIMIENTO A ÓRDENES

- Determinar cómo surtir las órdenes de cada segmento de cliente
- Determinar reglas de asignación de inventario a órdenes
- Evaluar el rol de la tecnología

Es claro que para mejorar el indicador de tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos fue necesario hacer un cambio en la tecnología que fue brindada por

la industria 4.0 y poder hacer realidad este beneficio. El proceso cumplimiento a pedidos se ajustó debido a estos cambios.

4.5.3 SUBPROCESO OPERATIVO: EJECUCIÓN DE ÓRDENES

- Validar el inventario
- Planear el flujo de la orden de transporte

Se ajustó la frecuencia en que se valida el inventario para hacer factible más pedidos de embarque, este período de tiempo de cada hora por lo que se cambió el paradigma de hacer la validación en cada turno (8 horas) a hacerlo cada hora. Esto hizo más ágil el proceso de embarques y los tamaños de lote que se generan en el sistema de gestión de negocios se reducen a una octava parte de como eran antes.

4.5.4 SUBPROCESO OPERATIVO: SURTIDO DE ÓRDENES

- Surtido de órdenes
- Movimiento del producto al área de embarque
- Preparar la confirmación de la carga

Lo que se encontró en este subproceso es que al hacer el cambio de paradigma del tamaño del período de tiempo en el que se actualizan los inventarios de producto terminado en el sistema de gestión de negocios (ERP) se impacta en gran manera el Surtido de Pedido, Movimiento del producto al área de embarque y la preparación de la confirmación de la carga, hacerlo más frecuente. Esto trae un cambio en el proceso de embarques para con el transportista dado que se establece un proceso de comunicación continuo en la solicitud de transporte para realizar el embarque.

4.5.5 RESUMEN DE LOS IMPACTOS DEL PROCESO DE CUMPLIMIENTO A PEDIDOS

El proceso de cumplimiento a pedidos es clave en la mejora del indicador de cumplimiento a pedidos dado que se diseña de acuerdo con los requerimientos de los clientes y a las capacidades de la compañía por lo tanto esta evaluación que se vaya a realizar se tendrá que evaluar su impacto y su adaptación por la introducción de la industria 4.0, MES, ERP y el proceso de cumplimiento a pedidos en su conjunto.

4.6 IMPLICACIONES Y RECOMENDACIONES

Se tiene que realizar la integración de los pulsos que indican la producción de un pallet que es la unidad mínima de manipulación en el almacén y embarque desde la Industria 4.0 hacia el sistema de ejecución de manufactura MES, la integración del programa de producción desde el sistema de gestión de negocio (ERP) hacia el sistema de ejecución de manufactura (MES), integrar el avance de producción desde el sistema de ejecución de manufactura hacia el sistema de gestión de negocios (ERP), procesar en el sistema de gestión de negocios (ERP) los avances de producción y las entradas de inventario de producto terminado por producción que vienen desde el MES, calendarizar la ejecución del proceso que valida las ordenes de embarque para evaluar su factibilidad por inventario y realizar el proceso de embarque en el sistema de negocios (ERP). La confirmación de las órdenes de embarque hacia los transportistas se estaría realizando al menos cada hora para que inicie el proceso de embarque.

Aquí listamos los cambios propuestos:

- Pulsos de la línea de producción por cada pallet producido (Industria 4.0)
- Programa de producción desde el ERP hacia el MES una vez al día

- Avance de producción desde el MES hacia el ERP cada hora
- Procesar las notificaciones de producción en el ERP cada hora
- Procesar las entradas de inventario en el ERP cada hora
- Procesar la validación de órdenes de embarque por inventario de producto terminado cada hora
- Confirmación de las ordenes de embarque hacia los transportistas al menos cada hora

Los siguientes subprocesos de cumplimiento a pedidos que son impactados por el cambio de paradigma del período de actualización de los inventarios de producto terminado que eran cada 8 horas y ahora se logró hacerlo cada hora.

- Subprocesos Estratégicos
 - Definición de los requerimientos para cumplimiento a órdenes
 - Definición del plan para el cumplimiento a órdenes
- Subprocesos Operativos
 - Ejecución de órdenes
 - Surtido de órdenes

No fue posible realizar la actualización de las notificaciones de producción y el inventario de producto terminado a cada vez que sale un pallet debido a que en el sistema de gestión de negocios ERP generaba una carga importante de procesamiento que en ciertos momentos de la operación se veía afectado el desempeño del sistema, por este motivo se evaluó cual era el período de tiempo que era apropiado debido al balance entre el tamaño del período de tiempo (frecuencia) y el desempeño del sistema de gestión de negocios. El período de tiempo que se consideró apropiado

después de evaluar el desempeño del sistema de gestión de negocios fue una hora, de hecho, le llamaron hora x hora.

La razón de este impacto en el desempeño es por la cantidad de procesamiento que se generaba por el volumen de transacciones que se generaban por las líneas de producción que en una de las plantas es de 7 líneas de producción y el alcance es de 6 plantas.

El número aproximado de procesos sería el siguiente:

- 6 plantas
- 7 líneas de producción
- 33 pallets aproximadamente en el día
- 2 transacciones (Notificaciones de órdenes y Entrada de inventarios)
- Total de numero de procesos = $6 \times 7 \times 33 \times 2 = 2,772$ procesos en el ERP en el día, equivalente a 2 procesos por minuto

4.7 RACIONAL DEL RESULTADO EN EL INDICADOR DE TIEMPO DEL CICLO DE CUMPLIMIENTO DE PEDIDOS

Se realizaron los cálculos detallados del indicador de tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos para 3 escenarios y se determinó el beneficio:

- Periodo de tiempo actual que es por cada turno
- Periodo de tiempo de hora x hora (resultado elegido)
- Periodo de tiempo de cada pallet producido

En la tabla a continuación se detallan las variables utilizadas en el cálculo del indicador de Tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos. El valor que vamos a obtener para cada uno de los escenarios es el Tiempo total de pedidos que es lo que se tardó en producir y embarcar cada uno de los pedidos para los clientes.

Descripción de la Variable	Nombre de la Variable
Duración del período: Duración del período de tiempo en segundos de la actualización de las notificaciones de producción en el sistema de gestión de negocios que viene a ser el tiempo que tarda la producción en ese período que tarda la producción en ese período	DURPER
Duración del período acumulado: Es el acumulado en segundos de los períodos de actualización durante el día.	DURPERAC
Cantidad de Pallets x período: Cantidad de pallets producidos en cada período.	CPxP
Total pedidos x período: Numero de pedidos producidos en este período de tiempo.	TPxP
Tiempo de embarque x Pedido 1 Puerta: Tiempo requerido para realizar el proceso de cargar el camión, desde que entra a la rampa y hasta que sale de rampa ya cargado en segundos.	TExP
Tiempo total de emb 1 Puerta: Tiempo total de los embarques realizados en este período de tiempo con el supuesto que es una puerta dedicada a esta línea de producción en segundos.	TTE
Tiempo total de pedidos: Es la suma de la (Duración del período acumulado) multiplicado por (Total pedidos x período) más (Tiempo total de emb 1 puerta) en segundos.	TTP

TABLA 4.1: Declaración de variables detalladas para el cálculo del indicador de

Tiempo de ciclo de cumplimiento a pedidos x escenario

Supuestos para el análisis de estos escenarios

Los pedidos de cliente se arman con un tamaño definido en esta ocasión estaremos haciendo el análisis con 18 pallets por camión. En realidad, hay varios tamaños de camión y de producto y por lo tanto varios tamaños de pedido.

Hay un tiempo de preparación del pedido que es desde las 06:00 am del día anterior y se empieza a surtir a las 00:00 horas del día de hoy. Para este estudio estaremos considerando que no se anticipan los pedidos de embarque

Se está considerando que hay una sola puerta dedicada para embarcar con su duración definida en los datos de entrada. Esto significa que si se entregan más de un camión por parte de producción se encola en la puerta de salida hasta que sale el que se esté embarcando. Para efectos de este caso de estudio se está realizando de esta manera que representa el efecto deseado que sucede en la realidad.

A continuación, se detallarán cada uno de los escenarios descritos anteriormente.

Esta tabla detallamos el valor del tiempo total para producir y embarcar los pedidos hacia los clientes en el escenario de recolectar y procesar las notificaciones de producción y entrada de inventarios a producto terminado cada TURNO

Turno Emb	DURPERI	DURPERAC	CPxP	TPxP	TExP	TTE	TTP
1	28800	28800	198.41	11	1500	16500	333300
2	28800	57600	198.41	11	1500	16500	650100
3	28800	86400	198.41	11	1500	16500	966900

TABLA 4.2: Detalle de los datos para el escenario TURNO x TURNO para el cálculo

del tiempo del Ciclo para el cumplimiento a pedido

En esta tabla hacemos la acumulado del Tiempo total de pedidos en segundos y luego en días para todos los pedidos de un día para el escenario de TURNO x TURNO

Tiempo total de pedidos acumulado en un día (Segundos)	1;950,300
Tiempo total de pedidos acumulado en un día (días)	22.573

TABLA 4.3: Acumulado del tiempo total TURNO X TURNO

Esta siguiente tabla detallamos el valor del tiempo total para producir y embarcar los pedidos hacia los clientes en el escenario de recolectar y procesar las notificaciones de producción y entrada de inventarios a producto terminado en el escenario de HORA x HORA

Turno Embarque	DURPERI	DURPERAC	CPxP	TPxP	TExP	TTE	TTP
1	3600	3600	24.801	1	1500	1500	5100
2	3600	7200	24.801	1	1500	1500	8700
3	3600	10800	24.801	2	1500	3000	24600
4	3600	14400	24.801	1	1500	1500	15900
5	3600	18000	24.801	1	1500	1500	19500
6	3600	21600	24.801	2	1500	3000	46200
7	3600	25200	24.801	1	1500	1500	26700
8	3600	28800	24.801	2	1500	3000	60600
9	3600	32400	24.801	1	1500	1500	33900
10	3600	36000	24.801	1	1500	1500	37500
11	3600	39600	24.801	2	1500	3000	82200
12	3600	43200	24.801	1	1500	1500	44700
13	3600	46800	24.801	1	1500	1500	48300
14	3600	50400	24.801	2	1500	3000	103800
15	3600	54000	24.801	1	1500	1500	55500
16	3600	57600	24.801	2	1500	3000	118200
17	3600	61200	24.801	1	1500	1500	62700
18	3600	64800	24.801	1	1500	1500	66300
19	3600	68400	24.801	2	1500	3000	139800
20	3600	72000	24.801	1	1500	1500	73500
21	3600	75600	24.801	1	1500	1500	77100
22	3600	79200	24.801	2	1500	3000	161400
23	3600	82800	24.801	1	1500	1500	84300
24	3600	86400	24.801	2	1500	3000	175800

TABLA 4.4: Detalle de los datos para el escenario CADA HORA para el cálculo del

tiempo del ciclo para el cumplimiento a pedido

En esta tabla hacemos el acumulado del tiempo total de pedidos en segundos y luego en días para todos los pedidos de un día para el escenario de HORA x HORA

Tiempo total de pedidos acumulado en un día (Segundos)	1;572,300
Tiempo total de pedidos acumulado en un día (días)	18.1983

TABLA 4.5: Acumulado del tiempo total CADA HORA

Esta siguiente tabla detallamos el valor del tiempo total para producir y embarcar los pedidos hacia los clientes en el escenario de recolectar y procesar las notificaciones de producción y entrada de inventarios a producto terminado en el escenario de PALLET x PALLET

Turno Embarque	DURPERI	DURPERAC	CPxP	TPxP	TExP	TTE	TTP
1	2613	2613	18	1	1500	1500	4113
2	2613	5225	18	1	1500	1500	6725
3	2613	7838	18	1	1500	1500	9338
4	2613	10451	18	1	1500	1500	11951
5	2613	13064	18	1	1500	1500	14564
6	2613	15676	18	1	1500	1500	17176
7	2613	18289	18	1	1500	1500	19789
8	2613	20902	18	1	1500	1500	22402
9	2613	23515	18	1	1500	1500	25015
10	2613	26127	18	1	1500	1500	27627
11	2613	28740	18	1	1500	1500	30240
12	2613	31353	18	1	1500	1500	32853
13	2613	33966	18	1	1500	1500	35466
14	2613	36578	18	1	1500	1500	38078
15	2613	39191	18	1	1500	1500	40691
16	2613	41804	18	1	1500	1500	43304
17	2613	44417	18	1	1500	1500	45917
18	2613	47029	18	1	1500	1500	48529
19	2613	49642	18	1	1500	1500	51142
20	2613	52255	18	1	1500	1500	53755
21	2613	54867	18	1	1500	1500	56367
22	2613	57480	18	1	1500	1500	58980
23	2613	60093	18	1	1500	1500	61593
24	2613	62706	18	1	1500	1500	64206

TABLA 4.6: Detalle de los datos para el Escenario CADA PALLET para el cálculo

del tiempo del ciclo para el cumplimiento a pedido (tiempo en segundos) Parte 1

Turno Embarque	DURPERI	DURPERAC	CPxP	TPxP	TExP	TTE	TTP
25	2613	65318	18	1	1500	1500	66818
26	2613	67931	18	1	1500	1500	69431
27	2613	70544	18	1	1500	1500	72044
28	2613	73157	18	1	1500	1500	74657
29	2613	75769	18	1	1500	1500	77269
30	2613	78382	18	1	1500	1500	79882
31	2613	80995	18	1	1500	1500	82495
32	2613	83608	18	1	1500	1500	85108
33	2613	86220	18	1	1500	1500	87720

TABLA 4.7: Detalle de los datos para el escenario CADA PALLET para el cálculo

del tiempo del ciclo para el cumplimiento a pedido (Tiempo en segundos) Parte 2

En esta tabla hacemos la acumulado del tiempo total de pedidos en segundos y luego en días para todos los pedidos de un día para el escenario de PALLET x PALLET

Tiempo Total de pedidos acumulado en un día (Segundos)	1;515,245
Tiempo Total de pedidos acumulado en un día (días)	17.538

TABLA 4.8: Acumulado del tiempo total CADA PALLET

Detalle explicativo de la tabla concentrada por escenario (Turno x Turno, Cada Hora y cada Pallet)

Se realizó este cuadro comparativo para tener el concentrado del cálculo del indicador y poderlo comparar entre escenarios

Descripción de la Variable	Nombre de la variable
Cálculo tiempo de ciclo / cada turno: En esta columna son las variables que corresponden al escenario 1 que es la actualización por cada turno	TCCT
Cálculo tiempo de ciclo / Cada hora: En esta columna son las variables que corresponden al escenario 2 que es la actualización por cada hora	TCCH
Cálculo tiempo de ciclo / Cada pallet: En esta columna son las variables que corresponden al escenario 3 que es la actualización por pallet producido.	TCCP
Tiempo total: Es el tiempo total de pedidos traducido a días	TT
Tiempo de preparación: Es el tiempo que tarda la operación para empezar a producir para esta orden ya que el pedido se genera a las 06:00 del día anterior para ser surtido el día siguiente.	TP
Tiempo total ciclo de pedido: Es la suma de tiempo total más Tiempo de preparación en días	TTCP
Numero pedidos en el día: Son los pedidos que se realizan por día ya que está alineado con la capacidad de la línea de producción.	NPD
Tiempo de Ciclo: Este es el indicador de tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos y es el resultado del tiempo total Ciclo de pedido dividido entre el Num de pedidos en el día.	TC

TABLA 4.9: Variables para el concentrado del cálculo del indicador de Tiempo del

ciclo de cumplimiento a pedidos y comparativo

Beneficio en tiempo de ciclo: Teniendo como referencia el período de actualización actual que es por turno se determina el beneficio para:

- Escenario 2 periodo de tiempo de hora x hora
 - El cálculo es con la diferencia entre (Cálculo tiempo de ciclo / Cada turno) y (Cálculo tiempo de ciclo / Cada hora) dividido entre el (Cálculo tiempo de ciclo / Cada turno) en porcentaje
- Escenario 3 periodo de tiempo de cada pallet producido
 - El cálculo es con la diferencia entre (Cálculo Tiempo de Ciclo / Cada Turno) y (Cálculo Tiempo de Ciclo / Cada Hora) dividido entre el (Cálculo Tiempo de Ciclo / Cada Turno) en porcentaje

Concepto	TCCT	TCCH	TCCP
Tiempo Total en días	22.573	18.198	17.538
Tiempo de Preparación en días	24.750	24.750	24.750
Tiempo Total de ciclo de Pedido en días	47.323	42.948	42.288
Numero de Pedidos	33	33	33
Tiempo de ciclo por cada orden	1.4340	1.3015	1.2814
Beneficio en Tiempo de Ciclo en %		9.24 %	10.64 %

TABLA 4.10: Concentrado del cálculo del indicador de Tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos y comparativo versus el actual

4.8 TRABAJOS SIMILARES

4.8.1 LA INDUSTRIA 4.0 CONTRIBUYE A TRABAJAR MAS EN TIEMPO REAL Y JUSTO A TIEMPO

En este estudio concluyen que la industria 4.0, el sistema de ejecución de manufactura y el sistema de gestión de negocios ERP contribuyen a lograr una reducción del tiempo de ciclo pero estudiado desde el concepto de una manufactura esbelta (Tobias Wagner, 2017)

A continuación concentran el resultado de su análisis en esta imagen a continuación que confirman la contribución en de la Industria 4.0 en los sistemas de producción esbeltos y específicamente en los conceptos de justo a tiempo, mejora continua, Takt time (tiempo medio para elaborar un producto).

	Data Acquisition and Data Processing				Machine to Machine Communication (M2M)		Human-Machine Interaction (HMI)	
	Sensors and Actuators	Cloud Computing	Big Data	Analytics	Vertical integration	Horizontal integration	Virtual Reality	Augmented Reality
5S	+	+	+	+	+	+	++	+++
Kaizen	+	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Just-in-Time	++	++	+++	+++	+++	++	+	++
Jidoka	+	+++	+++	+++	++	++	+	+
Heijunka	++	++	+++	+++	+++	++	++	+
Standardisation	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++
Takt time	+	+	+++	+++	+++	+++	+	+
Pull flow	++	+	+	+	+++	+++	+	+
Man-machine separation	+	+	+	+	+	+	+++	+++
People and teamwork	+	+	+	+	+	+	+++	+++
Waste reduction	+	+	++	+++	+++	+++	+	+

FIGURA 4.1: Matriz de Impacto de la industria 4.0 en los sistemas de producción esbeltos

Por otro lado en el estudio realizado por (Fatorachian & Kazemi, 2020) coincide que uno de los habilitadores de la Industria 4.0 que es la Internet de las Cosas (IOT) permite tener una visibilidad avanzada en las operaciones y se le añade inteligencia

en sus integraciones puede estar embebida en productos, procesos, manufactura, inventarios y la infraestructura logística.

4.9 CONCLUSIONES

El modelo planteado considerando los habilitadores de la industria 4.0 y su utilización en el sistema de ejecución de manufactura integrado con el sistema de negocios (ERP) y como marco el proceso de cumplimiento al cliente es posible mejorar el indicador de tiempo del ciclo de cumplimiento de pedidos dado que se hace posible la reducción del período de tiempo en el que se actualiza el sistema de gestión de negocios (ERP) en este momento no fue posible llegar al período mínimo de cada pallet de producto terminado pero deja la posibilidad si cambia el entorno.

Esto implica además ajustes al proceso de cumplimiento de pedidos, a las prácticas operativas que tendrían que ser más frecuentes dado los ajustes planteados.

El escenario que se eligió fue el numero 2 Periodo de tiempo de hora x hora (resultado elegido) dado que fue un balance entre beneficio e impacto en el desempeño del sistema de gestión de negocios (ERP)

Aun y cuando se quedó algo de beneficio comparado con el escenario 3 Periodo de tiempo de cada pallet producido se estableció un esquema de trabajo que prepara a la organización para futuras mejoras si cambia el entorno del sistema de gestión de negocios ERP.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5.1 RESUMEN

Lo encontrado en este estudio es que la adopción del nuevo paradigma que la industria 4.0 trae a la industria fue muy positivo aún y que solo se adoptó solo una parte de ella, el internet de las cosas (IOT). El principal beneficio fue que se pudo recortar el período de tiempo en el que se actualizan las producciones y el inventario de producto terminado y esto derivó en una mejora en el indicador de Tiempo del ciclo del cumplimiento a pedidos. Para hacerlo fue necesario habilitar el internet de las cosas para que el Sistema de ejecución de manufactura (MES) pueda leer esta información traducido en Pallets de producto terminado y estas sean preparadas para la notificación de las producciones. Otro elemento de este caso de estudio es el ajuste necesario que se tuvo que hacer en el ERP para que se pueda integrar con el sistema de ejecución de manufactura (MES) y obtener las notificaciones de producción y ya dentro del ERP darle entrada al inventario de producto terminado. Adicionalmente se ajustó los subprocesos estratégicos y operativos del Proceso de Cumplimiento a pedidos para que se realicen con un período de tiempo similar al que están siendo actualizados en el sistema ERP para que exista una orquestación del flujo de los materiales desde la producción hasta el embarque. El indicador que utilizamos para mostrar el resultado es el de Tiempo del ciclo del cumplimiento a

pedidos el beneficio potencial logrado fue de 9.24% lo cual tiene que ser soportado ejecutando las prácticas operativas definidas.

5.2 REDUCCIÓN DEL INDICADOR DE TIEMPO DEL CICLO DE CUMPLIMIENTO A PEDIDOS

El beneficio logrado en el indicador de Tiempo de ciclo del cumplimiento a pedidos fue del 9.24% , teniendo todavía una oportunidad de mejorarlo hasta un 10.64% .

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 4.10 tenemos un Indicador de Tiempo del ciclo del cumplimiento a pedidos de los 3 escenarios calculados:

- Escenario actual (turno)
 - 1.4340 días/orden
- Escenario cada hora (1 hora)
 - 1.3015 días/orden
- Escenario cada pallet (cada 3 minutos aprox)
 - 1.2814 días/orden

El escenario que da un mayor beneficio en este indicador es el escenario cada pallet pero se tuvo algunos inconvenientes que detallamos a continuación.

El primer intento de implementación fue el escenario de hacer las notificaciones cada vez que sale un pallet de producto terminado, funcionalmente es correcto y el escenario que da mas beneficio en reducir el Tiempo de ciclo de cumplimiento a pedidos, el sistema de ejecución de manufactura (MES) y el sistema de gestión de negocios funcionó correctamente de manera unitaria.

Una vez que se hizo con el volumen de todas las líneas de producción y todas las plantas representó una carga significativa de procesamiento en el sistema de negocios (ERP) que afectó el desempeño en ciertos momentos del día en donde se realizaban otros procesos. Esto obligó a modificar el período de tiempo para disminuir los eventos de notificación de producción, la forma que se encontró de encontrar un balance entre el beneficio de recortar el tiempo de actualización y el desempeño del sistema de gestión de negocios en hacerlo cada hora. De esta manera fue aceptable para la operación dejando para otro momento el poder disminuirlo aún mas el periodo de actualización hasta llegar a hacer por cada pallet producido.

5.3 REDUCCIÓN DEL PERÍODO DE TIEMPO DE ACTUALIZACIÓN EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE NEGOCIOS (ERP)

El período de tiempo actualización actual es de 8 horas es decir cada turno, se realiza de manera periódica al final del turno dado que es cuando se actualiza las producciones y el inventario de producto terminado en el sistema de gestión de negocios (ERP).

La implementación de este caso de estudio resultó en que se pudo reducir a un período de tiempo de una hora, esto nos lleva una reducción de 7 horas que es una reducción de 87.5% del período de tiempo en el que se actualiza el sistema de gestión de negocios (ERP). Aún y que se intentó hacerlo cada vez que sale un pallet que es aproximadamente cada 3 minutos podría tener un mayor beneficio todavía que es hasta una reducción del 99.38% del período de actualización. Debido a que se generaba una carga de procesamiento adicional en el sistema de gestión de negocios (ERP) como se mencionó anteriormente esta posible mejora se dejará como propuesta para una mejora posterior una vez que se resuelva el posible impacto en el desempeño del sistema de gestión de negocio (ERP).

5.4 AJUSTE EN EL SISTEMA DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA (MES), SISTEMA DE GESTIÓN DE NEGOCIOS (ERP) Y EN EL PROCESO DE CUMPLIMIENTO A PEDIDOS.

En el MES se realizó una interfaz para recibir el programa de producción y se programó para se actualizará cada vez que se requería actualizar el programa de producción. Para el caso de las notificaciones de producción se realizó una interfaz que hiciera la actualización en el Sistema de gestión de negocios (ERP) y se orquestó para que se actualizara cada hora.

Esto no se había hecho anteriormente dado que se sacaba un reporte del Sistema de ejecución de manufactura (MES) y luego se capturará de manera manual por los operadores de producción en el sistema de gestión de negocios (ERP). En el sistema de negocios (ERP) se enlazó el proceso de notificaciones con el de la entrada de inventarios de producto terminado por lo que cada vez que se recibía una notificación de producción se realizaba la entrada de inventarios de producto terminado por producción.

Cuando se adoptó el nuevo paradigma de la industria 4.0 con el internet de las cosas se hizo posible este cambio en los sistemas y en las prácticas operativas. Los cambios realizados en el Proceso de cumplimiento a pedidos se hicieron prácticamente para realizarlos en un período de tiempo mas corto (cada hora) apoyándose con herramientas de calendarizar la corrida de reportes y validaciones de ordenes de embarque.

5.5 TÉCNICAS DE ADMINISTRACIÓN DEL CAMBIO REQUERIDAS PARA LA ADOPCIÓN

El equipo de operación de embarques continuó operando con el mismo período de tiempo con el que estaba operando aun y cuando ya se estaba actualizando el sistema de gestión de negocios con un período más corto (cada hora).

Cuando se identificó que no se estaba capitalizando el beneficio esperado se buscó la causa y se encontró con esta situación de que lo seguían haciendo igual. Se elaboró una estrategia de informarles el proyecto que se había realizado y mostrarle que efectivamente ya se estaba actualizando el sistema de gestión de negocios (ERP) cada hora y que la expectativa que tenía la empresa era que el tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos debía de disminuir.

Se les informó la reducción que se esperaba como beneficio potencial de una disminución de 9.24% en este indicador de Tiempo del ciclo de cumplimiento a pedidos. La reacción del equipo de embarques lo tomó de una manera muy positiva y a partir de este evento se empezó a ver el beneficio en este indicador y se mejoró el servicio a clientes.

5.6 NUEVO PARADIGMA DE LA INDUSTRIA 4.0

La organización encontró que en la adopción de la industria 4.0 podría habilitar beneficios en otros procesos del negocio como en los almacenes, calidad, embarques, inventarios, etc. Solo para mencionar algunas de las posibilidades, aunque en el Capítulo 2.10 ya mencionamos algunos beneficios que ha dado la Industria 4.0 al negocio.

- Almacenes: Al implementar RFID se puede tener control del movimiento de

los pallets y tener localizado en donde están ubicados

- Inventarios: Poder utilizar drones que puedan recorrer el almacén y hacer un inventario del producto terminado que existe físicamente y además en donde está ubicado
- Embarques: al tener GPS en los camiones que transportan el producto se puede monitorear su ubicación en todo su trayecto, incluso para temas de seguridad cuando se identifique que se salió de la ruta poder disparar alertas de un posible siniestro.
- Calidad: Poder tener todas las variables que influyen en la calidad de producto que se puedan monitorear en tiempo real y poder relacionarlo con la calidad obtenida. En primera instancia encontrar la causa del problema en caso de que existiera y saber que se tiene que corregir. En segunda instancia si podemos monitorear en tiempo real las variables de operación y sabemos de antemano que al salirse de control cierta variable va a causar problemas de calidad entonces podríamos enviar una alerta para corregirla de ser posible.

5.7 TRABAJOS FUTUROS

5.7.1 REDUCIR EL PERÍODO DE ACTUALIZACIÓN POR CADA PALLET PRODUCIDO

El objetivo de este posible trabajo futuro es reducir el período de actualización por cada pallet producido que sería aproximadamente cada 3 minutos que es lo que tarda en producirse un pallet de producto terminado. Esto es si solo si se resuelve el problema de desempeño que se causa en el sistema de negocios (ERP) debido a la carga de procesamiento requerido excede la capacidad de procesamiento del sistema de negocios (ERP).

Esto se podría resolver con una inversión en mas capacidad de procesamiento, una mejor base de datos o alguna mejora en el sistema que permita incrementar la capacidad de procesamiento. Cuando se tenga mas capacidad de procesamiento se tendría que ajustar el período de tiempo de actualización en el sistema de ejecución de manufactura, el sistema de gestión de negocios y ajustar el proceso de cumplimiento a pedidos para sincronizar las practicas operativas para considerar ahora que cada pallet que se produzca ya estará disponible en el sistema de gestión de negocios (ERP) para poder hacer mas pedidos factibles por inventario de producto terminado.

Se podría implementar de nuevo esta metodología y se podría reutilizar para alcanzar un poco mas de beneficios y llegar hasta el 10.64 % comparado con el período de actualización de cada turno.

5.7.2 ANTICIPAR EL PROGRAMA DE EMBARQUES CON EL PROGRAMA DE PRODUCCIÓN

Una vez que se tenga dominado la factibilidad de inventario de producto terminado cada hora o cada pallet y así el proceso de embarques puede ser iniciado tendríamos la posibilidad de generar un programa de embarques basado en el programa de producción de las siguientes 24 horas.

Esto daría visibilidad al equipo de operación de embarques para saber que producto estará saliendo de producción en las siguientes 24 horas y poder generar un programa de embarques que les permita anticipar que pedidos se pueden embarcar además del inventario disponible con el suministro que vendrá del programa de producción.

Este programa de embarques basado en el programa de producción servirá para anticiparle a los transportistas que embarques estarán saliendo en las siguientes 24 horas al menos.

Se esperaría un beneficio en reducir los tiempos de preparación de embarques ya que se podrían anticipar.

5.7.3 MEJORAR LA CALIDAD DE PRODUCTO

Esta propuesta es que podamos reunir con herramientas tal vez de computación en la nube, Big data información necesaria de las condiciones de operación como:

- Velocidad de la línea
- Temperatura de la lavadora
- Acidez del producto
- Humedad
- Temperatura ambiente
- % de alcohol

Estas son algunas variables que pueden hacer sentido para que podamos tener contexto de las condiciones de operación y podamos evaluarlas con la finalidad de que si hay un problema de calidad poder identificar la causa del problema y buscar una solución. En caso de que se encuentre la causa del problema se pudiera elaborar alguna alerta para poder hacer algo de manera preventiva ya que se puede estar monitoreando en tiempo real todas estas variables de operación.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrew C, Y. & Carlson, J. (1999). The impact of real-time data communication on inventory management. *Production Economics*.
- APICS (2017). Supply chain operations reference model version 12.0. *APICS*.
- Bagchi, U., Guiffrida, A., O'Neill, L., Zeng, A., & Hayya, J. (2007). The effect of rfid on inventory management and control. *Springer*.
- Bertazzi, L., Savelsbergh, M., & Speranza, M. (2008). Inventory routing. *Springer*.
- Chavarria-Barrientos, D., Batres, F., Wright, P., & Molina, A. (2017). A methodology to create a sensing, smart and sustainable manufacturing enterprise. *International Journal of Production Research*.
- Clark, A., Almada-Lobo, & Almeder, C. (2011). Lot sizing and scheduling: industrial extensions and research opportunities. *International Journal of Production Research*.
- Croxtton, K. L. (2003). The order fulfillment process. *The International Journal of Logistics Management*.
- Fatorachian, H. & Kazemi, H. (2020). Impact of industry 4.0 on supply chain. *Production Planning and Control*.
- Govindaraju, R. & Putra, K. (2016). A methodology for manufacturing execution systems (mes) implementation. *IOP Science*.

- H, L., P, F., H-G, K., T, F., & M, H. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*.
- Helo, P. & Hao, Y. (2015). Cloud manufacturing system for sheet metal processing. *Production Planning and Control*.
- Mantravadi, S. & Moller, C. (2019). An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is mes for industry 4.0. *Elsevier*.
- Margarete, K., Baars, H., Lasi, H., & Kemper, H.-G. (2020). Manufacturing execution systems and business. *Association for Information Systems*.
- McClellan, M. (1997). Applying manufacturing execution systems. *St Lucie Press*.
- Nevo, S. & Wade, M. (2011). Firm-level benefits of it-enabled resources: A conceptual extension and an empirical assessment. *The Journal of Strategic Information Systems*.
- Noblesse, A. M., Boute, R. N., Lambrecht, M. R., & Van Houdt, B. (2014). Lot sizing and lead time decisions in production/inventory systems. *Elsevier*.
- Piasecki, D. J. (2009). Inventory management explained: A focus on forecasting, lot sizing, safety stock, and ordering systems. *Ops Publishing*.
- Poovendran, R. (2012). Special issue on cyber - physical systems (scanning the issue). *Institute of Electrical and Electronic Engineers*.
- Rashid, A. & Tjahjono, B. (2016). Achieving manufacturing excellence through the integration of enterprise systems and simulation. *Production Planning and Control*.
- Sharo, M. W., Supramaniam, L., & Spedding, T. A. (2004). Enterprise resource planning an integrated view. emerald insight. *Emerald Insight*.
- Tobias Wagner, Christoph Herrmann, S. T. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. *Elsevier*.

Uckelmann, D., Harrison, M., & Michahelles, F. (2011). An architectural approach towards the future internet of things. *Springer*.

Zhong, R. Y., Xu, C., & Huang, G. (2015). Big data analytics for physical internet-based intelligent manufacturing shop floors. *International Journal of Production Research*.

Çınar, Z. M., Zeeshan, Q., & Orthan, K. (2021). A framework for industry 4.0 readiness and maturity of smart manufacturing enterprises: A case study. *MDPI*.

Öberg, C. & Graham, G. (2016). How smart cities will change supply chain management: a technical viewpoint. *Production Planning and Control*.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Luis Arturo Cabello Canales

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

EL IMPACTO DE INDUSTRIA 4.0 EN LA CADENA DE SUMINISTRO:
UN CASO EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA

Luis Nace el 4 de Abril de 1968 en Monterrey Nuevo León, es Ingeniero Mecánico Electricista graduado en 1989 en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Inició su carrera profesional en la industria del acero (IMSA), en consultoría de negocios y cadena de suministro (Neoris), Gerente de Consultoría (Webb Negocios), Consultor en Cadena de Suministro y Administrador de Proyectos (SAP Mexico), Gerente de Entrega de Proyectos y Gerente de Soluciones de Negocio en Cadena de Suministro (Heineken México), Arquitecto Empresarial en Cadena de Suministro, Preventas, Desarrollo de Partners (SAP México).