



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Mejora del proceso de compra y  
de inventario de producto  
terminado.**

**TESINA**

Que para obtener el título de

**Ingeniera Industrial**

**P R E S E N T A**

Pamela Islas Diaz

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Ricardo Torres Mendoza



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
Antecedentes.....	2
Planteamiento del problema.....	2
Objetivo general. ....	3
Objetivos específicos. ....	3
Metodología .....	3
Contenido .....	5
<b>CAPÍTULO 1. PERFIL DE LA EMPRESA</b> .....	6
1.1 Ubicación sectorial y geográfica.....	6
1.2 Evolución de la organización .....	6
1.3 Productos y/o servicios de la organización .....	7
1.4 Organigrama.....	8
1.5 Actividades por realizar .....	9
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	12
2.1 Lean Six Sigma .....	12
2.2 Metodología DMAIC .....	13
2.3 Herramientas Lean Six Sigma .....	16
2.4 Planeación, pronósticos y política de inventarios .....	21
<b>CAPÍTULO 3. PROYECTO DE MEJORA DEL PROCESO DE COMPRA Y DE INVENTARIO DE PRODUCTOS TERMINADO</b> .....	31
3.1. Situación actual .....	31
3.2 Aplicación de Lean Six Sigma al proceso de compra y de inventario en productos importados .....	31
3.2.1. Definir .....	32
3.2.2. Medir .....	34
3.2.3. Analizar .....	36
3.2.4 Mejorar.....	39
3.2.5 Controlar.....	58
<b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	62
4.1 Análisis de resultados .....	62
4.2 Conclusiones y recomendaciones. ....	65
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	68

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes

Actualmente en nuestro país se han instalado diversas empresas nacionales y transnacionales en la industria manufacturera, que emplean aproximadamente al 16.5% de la población en el año 2022 según el INEGI, hemos creado así una conexión entre los países, las empresas y su gente, que trae consigo de forma innata el movimiento de materiales, productos e incluso de personas. Las exportaciones e importaciones se han posicionado dentro de las actividades medulares para muchas de estas empresas y, gracias a la infraestructura carretera, marítima, de internet y de transporte podemos estar conectados con casi cualquier parte del mundo conocido. La importancia de las importaciones y exportaciones es tal que se cuenta con reglas, normas, políticas y acuerdos internacionales entre los distintos países y regiones, que facilitan el intercambio de mercancías y que buscan adaptarse a las situaciones particulares de cada empresa, prueba de ello están los Incoterms; una variedad de acuerdos logísticos que establecen las responsabilidades de quienes transportan y de quienes venden la mercancía.

El giro de la empresa de la que hablaremos alrededor de todo este informe se trata de una empresa que desarrolla tecnología, así como la manufactura de estos y otros productos eléctricos-electrónicos. La empresa “W” es una empresa de tamaño grande y transnacional.

### Planteamiento del problema

Actualmente la empresa “W” se enfrenta con un desfase de inventario que se ha observado en la línea de tableros “PT” de una de las divisiones de productos eléctricos. La empresa “W” fabrica los tableros “PT” en algunos países de Europa, estos tableros se reciben en un CEDIS en América y luego se envían a los almacenes en México, en este caso nos interesa únicamente el almacén en Ciudad de México al que llegan todos los productos que se encarga de administrar y vender el corporativo en Ciudad de México. El tiempo de entrega (Lead Time) es de aproximadamente 4 meses, desde que se hace la orden hasta que llega finalmente a formar parte del inventario para entonces poder entregar a los clientes. Este año se han tenido ventas importantes de estos tableros que podrían estar en riesgo de perderse porque el CEDIS no tiene el stock suficiente para cubrir esas órdenes en las siguientes semanas por lo que, se deben pedir de fábrica y llegarán aproximadamente 4 meses después de que el cliente pidió el producto. Ante estos retrasos de entrega los clientes podrían cancelar sus compras cuando tienen proyectos urgentes y considerar comprar los productos con la competencia o bien, esperar el producto pero, no considerar volver a comprar en esta empresa y buscar otros vendedores con una calidad cercana al producto de la empresa “W” pero, menos tiempo de espera.

### Objetivo general.

Mejorar el proceso de compras para la importación de producto terminado de la línea de tableros “PT” con base en un proyecto Lean Six Sigma, para saber cuándo y cuánto pedir a través del diseño de una herramienta. Actualmente se tienen cero piezas en inventario y se busca un nivel de servicio de al menos el 80% al concluir el proyecto para cada uno de los SKU.

### Objetivos específicos.

- Documentar el proceso de generación de compra de la línea de tableros “PT”.
- Identificar los principales desperdicios del proceso y reducirlos con la implementación de una herramienta.
- Conocer el comportamiento de la demanda para la familia de productos de interés.
- Implementar una política de inventarios que se ajuste a las condiciones de la compañía y la familia de productos en estudio.
- Crear una herramienta que automatice el análisis, el proceso de pedido y la política de inventario.

### Metodología

Para lograr que las empresas entreguen a tiempo los productos solicitados por los clientes existe mucho trabajo detrás, sobre todo cuando se trata de productos, piezas o materiales que deben ser importados de cualquier otra parte del mundo, existe un equipo que analizó tiempos y movimientos, esperas y transportes, el mercado y sus costos, y sobre todo un equipo que planeó. La vida diaria demanda casi de forma innata mantenernos haciendo planes, incluso cuando se dice que se planeará un proyecto este plan ya existe en nuestras mentes, la identificación del problema y el plan de acción están desordenados pero ya existen desordenados en nuestras ideas y, para ello existen herramientas que nos ayudan a organizar estas ideas, así las estudiamos a detalle, las ordenamos y se documentan, por ejemplo, un Ishikawa, un MRP y MPS, un diagrama de Gantt, el business plan entre muchos otros. La planeación va más allá de las organizaciones, planear es acomodar una serie de ideas desordenadas en nuestras mentes con el fin de conseguir un objetivo, planear es entonces, una consecuencia de aquellos pensamientos que están orientados a una meta particular.

Podemos estructurar la planeación en dos principales etapas, en la primera de ellas se debe responder a la pregunta ¿qué se quiere lograr? Y se responde a través de la definición de los objetivos. Durante la

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

---

segunda etapa podemos responder a la pregunta ¿cómo lograrlo?, en esta etapa se deben estructurar planes de acción y recursos, esta etapa es medular porque explica de alguna manera como se llegará al objetivo, es decir, que actividades seguir para lograrlo. En este punto se define cantidad y calidad, en cuánto tiempo, en dónde, con quién y con qué se desea lograrlo.

Es común que las organizaciones tengan procesos y actividades que generen alguno de los 9 desperdicios como el retrabajo, la espera, sobre inventario o en el peor de los casos sobreproducción entre otros, porque cometen el error de enfocarse en las personas y no en los procesos. Para lograr que estas actividades puedan ser comprendidas y aprendidas por cualquier otro miembro del equipo de trabajo se utilizan herramientas y se documentan los procesos. Es importante sí enfocarnos en procesos y no en las personas porque las personas que conforman un equipo dentro de una organización están siempre en constante movimiento y el equipo siempre podrá cambiar tanto de líderes como de integrantes y sus responsabilidades.

Cuando se importan materiales y productos se requiere entonces, una buena planeación que considere muchos puntos importantes. Por ejemplo, un MPS (Master Production Schedule) es un reporte de cuántos productos terminados se van a producir y cuándo se producirán. Por lo general se desarrolla en periodos semanales o mensuales y en un horizonte a corto o mediano plazo, según se requiera y, da visibilidad de las disponibilidades a futuro de los productos terminados. Además, tiene como información de entrada al pronóstico de demanda (Demand Forecast). Con ayuda de estas y muchas otras herramientas y una planificación adecuada se logra entonces, que las empresas importen o exporten productos, piezas o materiales y que los clientes los reciban en tiempo, con la calidad necesaria y, perdure la confianza y preferencia a las empresas con quienes adquieren sus productos.

La presencia de un plan nos acerca a nuestros ideales, un plan siempre va de la mano con la toma de decisiones, cuando no elegimos o estructuramos un plan simplemente dejamos que el tiempo y los factores externos nos lleven a dónde sea.

Para lograr que se de esta planeación exitosa orientada a las órdenes de compra de la empresa y la administración del inventario, se seguirá la metodología DMAIC de Lean Six Sigma que se divide en cinco diferentes etapas a través de las cuales se reconocerá, cuantificará y analizará el problema, se encontrará la causa raíz y se desarrollará una herramienta a la que se le dará seguimiento en la última etapa de la metodología para mejorar el sistema en cuestión.

## Contenido

En el capítulo uno de este documento se abordará una visión general sobre la empresa en la que se desarrolló este proyecto, esta visión aborda datos importantes como el giro, el tamaño de la empresa, y los productos o servicios que aquí se desarrollan. Así como la inminente serie de actividades y procesos que se desarrollan en esta empresa para lograr la calidad de sus productos y servicios.

Por su parte, en el capítulo dos tendremos un acercamiento a la teoría que sustenta la metodología, las herramientas y su implementación en este proyecto. Estudiaremos aquellas herramientas, historia y definiciones que hicieron posible que “Lean Six Sigma” evolucionará hasta llegar a nuestras manos y ofrecernos esta importante metodología, así como las herramientas de planeación y control de la producción que hacen posible la mejora de los procesos.

En el capítulo tres, veremos un panorama detallado de la implementación de las herramientas y, del trabajo realizado a lo largo de la estancia en la empresa para el desarrollo del proyecto de mejora en el proceso de órdenes de compra y la política de inventario. Finalmente, en el capítulo cuatro encontraremos un análisis del trabajo realizado, evaluaremos los resultados del proyecto y se harán los comentarios pertinentes con el fin de poder ofrecer oportunamente una retroalimentación a la empresa que le ayude a seguir mejorando y, a comprender los alcances y límites del presente proyecto.

## CAPÍTULO 1. PERFIL DE LA EMPRESA

### 1.1 Ubicación sectorial y geográfica

Según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2018 (SCIAN 2018) la empresa “W” pertenece al sector de las industrias manufactureras, específicamente en fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica.

El SCIAN es el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, este es el clasificador de actividades económicas único para la región de América del Norte. El SCIAN contiene categorías (actividades económicas clasificadas en cualquier nivel de agrupación) acordadas de forma trilateral por Canadá, Estados Unidos y México, y otras de detalle nacional (INEGI, 2022).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2022) la industria manufacturera en México hasta febrero de 2022 tiene registro de 5,196 establecimientos que se dedican a este sector, además de ocupar a 2,854,690 de personas. Obteniendo un ingreso nacional de \$204,749,693 y un ingreso extranjero que acumula la cantidad de \$ 317,802,454. Y, hasta el 2021 el sector secundario, que es al que pertenece la industria manufacturera, alcanzó en 29% de la participación en el producto interno bruto (PIB) en el país.

### 1.2 Evolución de la organización

Actualmente la empresa desarrolla y manufactura aparatos eléctricos-electrónicos y tecnología. La empresa “W” es una empresa líder global en tecnología, involucrada en la transformación de la industria hacia un futuro más productivo y sostenible. Tiene una historia de más de 130 años, el éxito de la empresa “W” es impulsado por más de 100,000 talentosos empleados en más de 100 países.

Esta empresa busca involucrarse en las nuevas tecnologías y mercados contemporáneos implementando la conexión de software a toda su cartera de productos. Esta cartera está compuesta por 4 principales áreas de aplicación, también llamados “negocios”: Electrificación, Automatización, Robots y Motores.

En 1988 dos empresas de tecnología en Europa se fusionan para formar lo que actualmente es la empresa “W”, con sede en Suiza. El nuevo grupo inició operaciones el 5 de enero de 1988 y empleó a 160.000 personas en todo el mundo.

En 1990 lanzó una familia de sistemas de propulsión eléctrica que se fijan al exterior de los barcos y proporcionan funciones tanto de empuje como de dirección. Aumentan la maniobrabilidad, la eficiencia

y el espacio disponible. En el 2000 suministra la primera energía eléctrica comercial de alto voltaje del mundo, lo que ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los barcos. Mientras que en 2015 ofreció el innovador robot de doble brazo colaborativo con el ser humano y, revolucionario para la automatización en la industria.

Otro evento importante que ha marcado el rumbo y ha hecho sobresalir a la empresa “W” fue el lanzamiento de su oferta de soluciones digitales líder en la industria en 2017, que conecta a los clientes con el poder del Internet industrial de las cosas generando así valor para el cliente. 2020 fue un año de ruptura, quiebre e incertidumbre que llevó al límite a muchas empresas no solo en el país sino en el mundo, ese año significó una caída importante en las ventas de la organización marcada por la pandemia. Se tiene en cuenta que la economía en el país está en recuperación en este y muchos otros sectores y por ello se ha tomado acción sobre los procesos y la cadena de suministro en la empresa “W”.

### 1.3 Productos y/o servicios de la organización

Como se mencionó en el apartado anterior, la empresa “W” cuenta con una cartera de productos muy amplia que está compuesta por cuatro principales áreas de aplicación: Electrificación, Automatización, Robots y Motores.

El negocio de electrificación de esta organización ofrece una amplia gama de productos, soluciones y servicios digitales, desde la subestación hasta el tomacorriente, lo que permite una electrificación segura, inteligente y sostenible. Las ofertas abarcan innovaciones digitales e integradas para baja y media tensión, incluyendo infraestructura EV, inversores solares, subestaciones modulares, automatización de la distribución, protección de energía, accesorios de cableado, tableros, cableado, medición y control.

Los principales productos de esta área son:

- Productos para baja y media tensión
- Aplicaciones solares
- UPS y control
- Infraestructura de carga de vehículos eléctricos

El segundo negocio se trata de Automatización, que ofrece una amplia gama de soluciones para procesos e industrias híbridas, soluciones digitales y de electrificación, tecnologías de control, software y servicios avanzados, así como medición y analítica, y aplicaciones para marina y turbocargadores.

Los principales productos de esta área son:

- Sistemas de control
- Productos de medición

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

- Turbocargadores
- Controladores Lógicos Programables

Además, ofrecen soluciones para diversas industrias y servicios como:

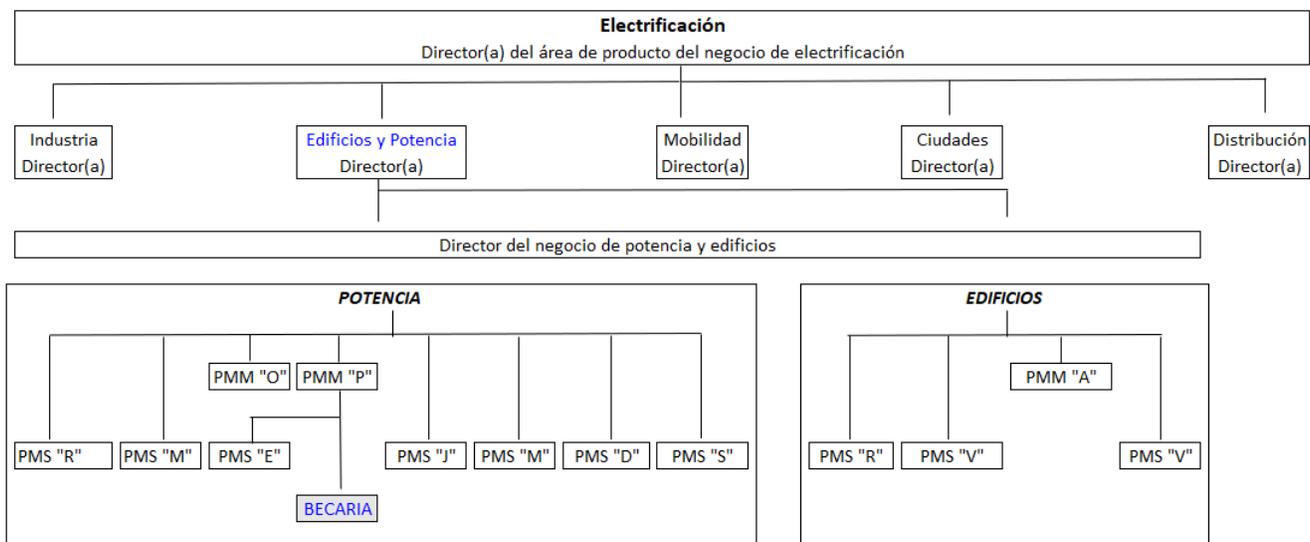
- Servicios de automatización de procesos

El área de Robots proporciona soluciones de valor agregado en robótica, automatización de máquinas y fábricas. Esta organización se centra en la innovación e incluye un extenso trabajo en inteligencia artificial, un ecosistema de asociaciones digitales y la expansión de sus capacidades de producción e investigación a través de importantes inversiones en fábricas de robótica.

El último de los negocios corresponde con Motores, la empresa "W" es la mayor proveedora de variadores y motores a nivel mundial. Ofrece una gama completa de motores eléctricos, generadores, variadores y servicios, así como productos de transmisión de potencia mecánica y soluciones integradas digitales.

### 1.4 Organigrama

En la siguiente figura, se presenta el organigrama del área en la que me desempeño directamente como becario y únicamente de la Ciudad de México, que corresponde a una minúscula parte de toda la estructura mundial que compone a la empresa "W" en México.



\*Product Marketing Specialist (PMS), Product Marketing Manager (PMM).

Figura 1. Organigrama del área de producto del negocio de electrificación. Elaboración propia.

### 1.5 Actividades por realizar

Actualmente me desempeño en el área de producto, dónde se involucra la logística, planeación y marketing para el grupo de productos por línea específica de aplicación. Las tareas del día a día que desempeño en esta área se basan en desarrollo de proyectos, asignación y análisis de precios, así como constante análisis de datos y mejora de procesos.

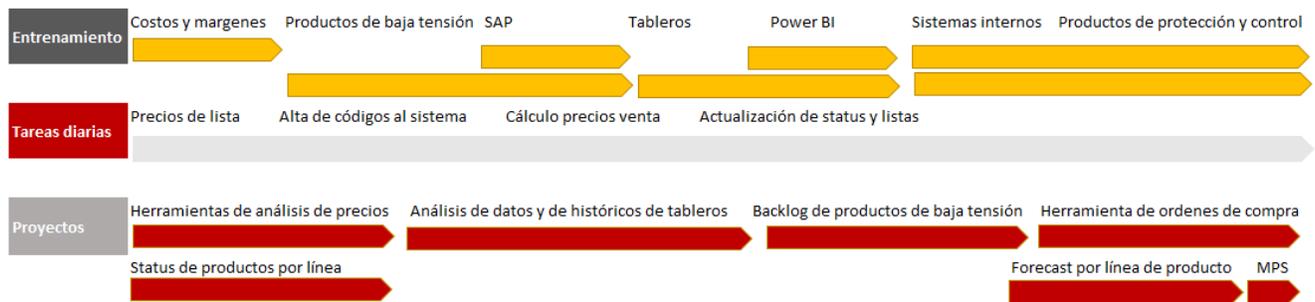


Figura 2. Diagrama de tareas y actividades desarrolladas en la empresa los primeros 6 meses de trabajo. Elaboración propia.

Este proyecto será abordado por etapas, cada una corresponde a las etapas del DMAIC. Por lo que la primera etapa Definir, se desarrollará a lo largo del mes de febrero con una duración de dos semanas dónde se comenzarán a desarrollar las primeras herramientas como la problemática, en dónde se hizo un análisis detallado de los principales problemas a resolver en la organización para elegir el de mayor importancia. Se continuará con el objetivo SMART, el mapeo del proceso del actual sistema de generación de órdenes de compra y se creará la “Project Charter”. Estas herramientas se definirán y explicarán con mayor detalle en el capítulo siguiente con el marco teórico.

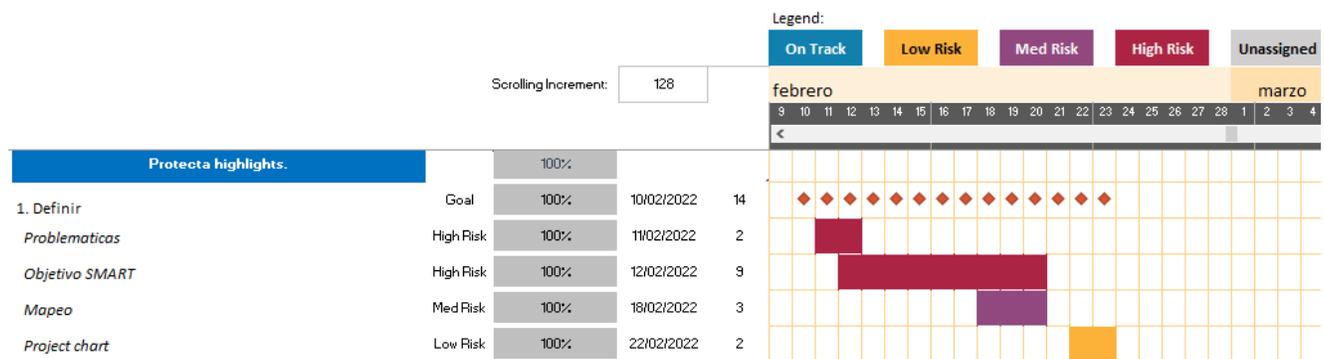


Figura 3. Gantt para el desarrollo de las actividades de la primera etapa: Definir. Elaboración propia.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

La segunda etapa del DMAIC es Medir, la cual se desarrollará en el mes de marzo y durante dos semanas, para generar un diagrama de valor que incluya las actividades del proceso completo de la generación de órdenes de compra a la fábrica en Europa que surte a México de los tableros “PT”. Para poder desarrollar esta herramienta se observará directamente a las personas de la organización realizar dicha actividad y poder cuantificar los tiempos en que se desarrolla cada actividad y lograr que la herramienta nos proporcione información confiable al final del proyecto.

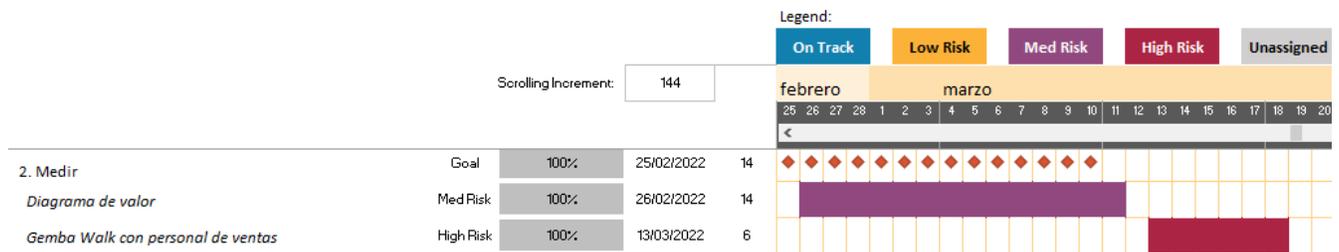


Figura 4. Gantt para el desarrollo de las actividades de la segunda etapa: Medir. Elaboración propia.

Para el desarrollo de las actividades de analizar que es la tercera etapa de la metodología, se desarrollaron herramientas como gemba walk, identificación de los 9 desperdicios, Diagrama de espina de pescado o Ishikawa, y diagrama de Pareto dónde buscamos encontrar la causa raíz del desabasto de tableros “PT”. Esta etapa se desarrolló a lo largo de 3 semanas.

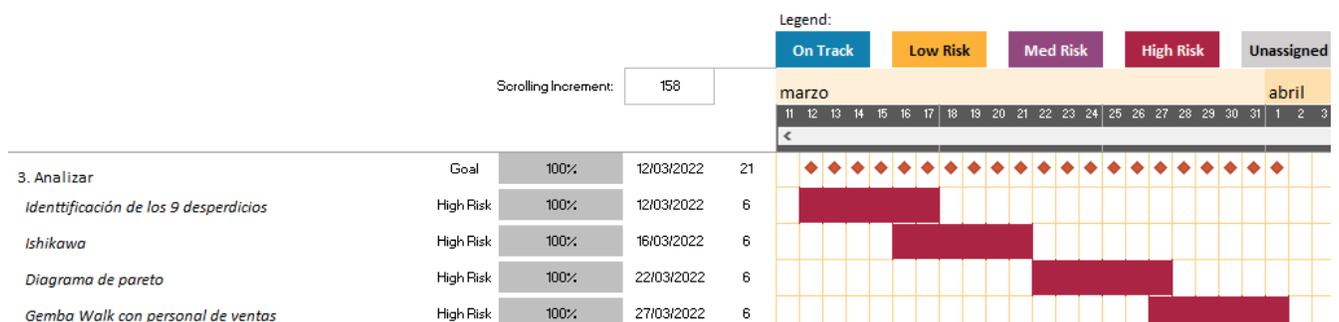


Figura 5. Gantt para el desarrollo de las actividades de la tercera etapa: Analizar. Elaboración propia.

Implementar se desarrolló durante los meses de abril y mayo, fue la etapa de mayor duración porque se desarrolló la herramienta de mejora para ayudar al proceso de generación de pedido de tableros a fábrica. Se diseñó, planeo y programó la herramienta por lo que, se necesitó de muchos recursos e información técnica además de tiempo. Aquí se recopilaron los históricos de ventas, se desarrolló el

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

método de pronóstico más adecuado del que se hablará con mayor detalle en el tercer capítulo de este trabajo y, se implementó la nueva política de inventario. Esta etapa se desarrolló a lo largo de 5 semanas.

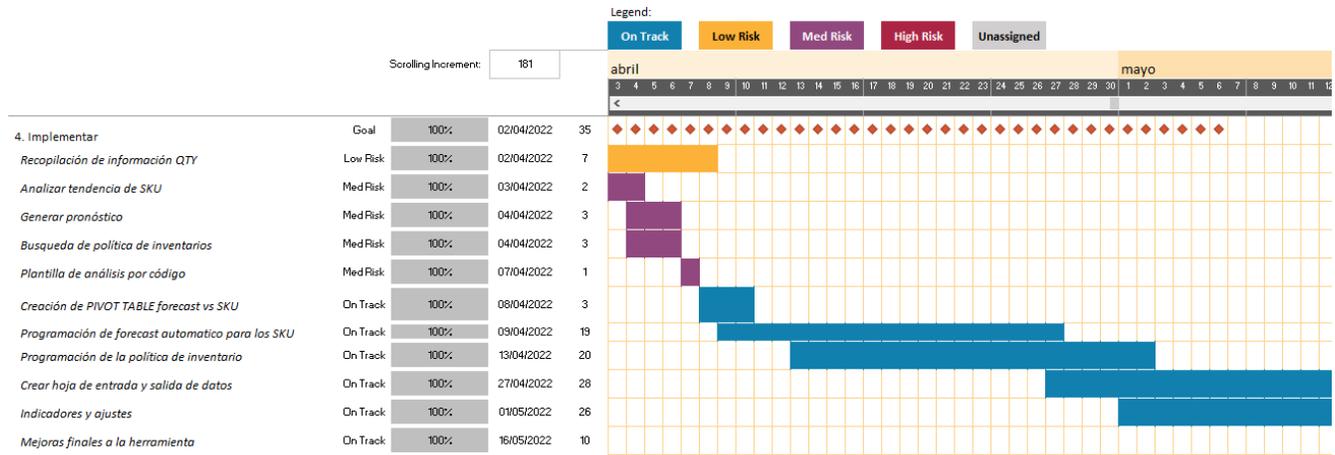


Figura 6. Gantt para el desarrollo de las actividades de la cuarta etapa: Implementar. Elaboración propia.

Finalmente la etapa de Controlar, dio inicio en la última semana de abril pero se mantuvo bajo observación por los siguientes cuatro meses, de mayo a septiembre del 2022, hasta que se cumplió un ciclo de pedidos, es decir desde que se pidió hasta que llegó el material dado el lead time de cuatro meses y, se desarrollaron dos herramientas importantes para esta etapa, la lección punto a punto en la que se explica la actualización anual que necesita la herramienta para funcionar correctamente y se complementó con un “tablero de indicadores” que para la metodología es equivalente a desarrollar un ANDON de información, esta herramienta se basó en los datos recopilados en los sistemas de información internos de la organización a los que se tuvo acceso.

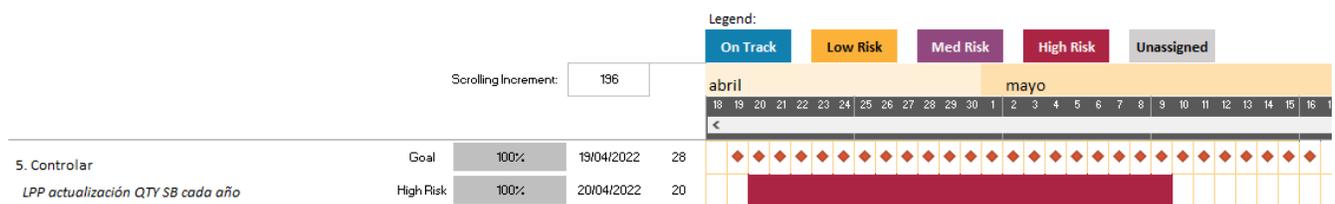


Figura 7. Gantt para el desarrollo de las actividades de la quinta etapa: Controlar. Elaboración propia.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de este proyecto se centra en la aplicación de la metodología y herramientas de Lean Six Sigma, se siguieron las etapas de la metodología para llevar poco a poco el avance del proyecto y lograr resultados significativos.

### 2.1 Lean Six Sigma

Toyota implementa en 1940 en Japón la metodología Lean Manufacturing que tiene dos principios fundamentales: eliminar desperdicios y la filosofía de la mejora continua. Por su parte Six Sigma (6 desviaciones estándar) se desarrolló por la empresa Motorola en Estados Unidos en 1980 y, desarrolla la metodología DMAIC que está basada en dos principios fundamentales: es una metodología que disminuye la variación y sirve también para medir cuánto se desvía un proceso de las especificaciones del cliente.

El término “Six Sigma” define la medida óptima de calidad, conocida como 3.4 defectos por un millón de oportunidades. La  $\sigma$  de carta griega (sigma) es un término matemático que representa una medida de variación, que tan alejado o cercano se encuentra un valor alrededor de la media, o del promedio, de cualquier proceso.

La implementación de Six Sigma involucra de forma innata el uso de la metodología con el acrónimo DMAIC. Esta metodología nos acerca de forma fiel al funcionamiento de los sistemas estudiados y nos permite identificar aquellas variables que alteran el proceso, además nos permite cuantificarlos a través de sus 5 etapas que son las que le dan el nombre a la metodología; Definir, Medir, Analizar, Mejorar (Improve en inglés) y Controlar.

#### ¿Qué es Lean Six sigma?

Lean Six Sigma combina ambas tecnologías, Lean Manufacturing y Six Sigma. Lean aporta las herramientas y Six Sigma aporta la metodología. Por el lado *Lean* el objetivo de la metodología de proceso esbelto es reducir las actividades innecesarias (las que no agregan valor) a fin de disminuir los reprocesos y el tiempo de ciclo, ahorrar costos e incrementar la capacidad de los recursos más valiosos en el proceso. Para cumplir con esto hay un punto de arranque muy sencillo: identificar el desperdicio y hacerlo visible. Así, para lograr que un proceso sea esbelto más que buscar la respuesta en una técnica en particular, la clave está en establecer principios básicos que guíen los esfuerzos y acciones enfocados

a quitar el “barro”, el “cebo”, la lentitud, las actividades innecesarias, los atascos, etc. (Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. 2009)

Una definición para Six Sigma puede interpretarse como sigue: objetivo de “cuasi-perfección” en la satisfacción de las necesidades del cliente. Otra forma de definir Six Sigma es como un esfuerzo de “cambio de cultura” radical para posicionar a una empresa, de manera que satisfaga mejor a los clientes y hacerla más productiva y competitiva. (Sánchez Ruiz E.A, 2005)

Por lo que, Lean Six Sigma como un conjunto de tecnologías se puede definir como, la suma de una metodología enfocada en la variación más las herramientas de mejora continua y, esta poderosa fusión nos ofrece una guía para la implementación de proyectos enfocados en la mejora de procesos.



Figura 8. Línea de tiempo de la evolución de Six Sigma. Elaboración propia, fuente: Westgard J.O. Consultorías integrales de calidad, segunda edición, 2018.

## 2.2 Metodología DMAIC

Como mencionamos anteriormente Six Sigma implica paralelamente a su aplicación el uso de DMAIC, acrónimo que significa: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Pero ¿qué hace al modelo DMAIC diferente o mejor que otras técnicas de resolución de problemas?

El proceso DMAIC es una parte integral de Six Sigma. Actúa como ruta para la resolución de problemas. DMAIC es un plan para recopilar y procesar datos y medir el rendimiento, las oportunidades y los defectos del proceso. Se sigue un enfoque basado en datos y bien estructurado para analizar el proceso.

Las mayores ventajas de DMAIC se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- La metodología no permite asumir o dar por hecho que se conoce el problema y se brinca automáticamente a dar posibles soluciones sino, te obliga a analizar con herramientas e incluso cuantificar y validar el problema propuesto.
- Toda mejora u acción va enfoca a la satisfacción del cliente.
- El problema debe estudiarse hasta encontrar la causa raíz y a partir de ahí entonces buscar soluciones o alternativas.
- Darle seguimiento al proyecto. En muchas ocasiones romper con los hábitos resulta ser de lo más difícil en la implementación de nuevos proyectos porque te encuentras ante costumbres y una cultura organizacional muy arraigada, por sí solo el cambio es difícil en las personas y aún más cuando se trata de gestionar a un grupo de personas que realizan procesos de forma automática. Por ello la metodología contempla el seguimiento y se continúa gestionando el proyecto aún después de su implementación para sostener los cambios.

Ahora bien, se explicará de manera concisa cada una de las etapas, que corresponden a su vez a cada una de las letras del acrónimo DMAIC, para tener una visión más amplia a cerca de lo que hace cada una de estas etapas.

### **Primera fase: Definir**

La primera fase corresponde con la letra “D” y es la fase de definir. El propósito de esta etapa es que se defina de forma clara el problema. Es fundamental que se definan los parámetros del proyecto, el alcance y comprender desde el principio lo que se quiere conseguir con este mismo. Adicionalmente se agrega un documento que funge como el documento oficial que anuncia el inicio del proyecto al que se le llama “Project Charter”, donde se enuncian los parámetros, alcance, responsables e interesados y hasta los tiempos.

Comprendiendo el alcance se definirán las reglas del proyecto, su duración, lo que examinará, sus metas, las herramientas y el personal necesario para alcanzarlas. (Sánchez Ruiz E.A, 2005)

En esta etapa se abordan preguntas medulares como:

- ¿Por qué se ha elegido esta oportunidad?
- ¿Cuál es el problema específico o el daño que queremos solucionar, y qué resultados buscamos?
- ¿Qué limitaciones se aplicarán al proyecto y qué expectativas de recursos se han hecho?
- ¿Quiénes son los miembros del equipo y otros interesados?
- ¿Cuándo se completará cada fase (DMAIC)?

### **Segunda fase: Medir**

La segunda fase corresponde con la letra “M” y es la fase de medir. La etapa de medir es una continuación lógica a la de definir y es un puente a la siguiente, analizar. La etapa de medir tiene dos objetivos principales:

- I. Tomar datos para validar y cuantificar el problema. Se debe medir, observar y documentar.
- II. Comenzar a contar con datos y números que nos puedan dar las claves para identificar las causas del problema, sin perder de vista que esta identificación se hace formalmente hasta la siguiente etapa.

Generalmente la toma de datos y de números en esta etapa puede ser de las que mayor cuidado requiere ya que de no existir los datos que necesitamos debemos comenzar a recopilarlos desde cero por lo que, observar, documentar y caminar el proceso adquieren un papel medular en esta etapa.

### **Tercera fase: Analizar**

Esta fase corresponde con la letra “A” y es la fase de analizar. Dentro de esta etapa y tomando la información recabada en las dos etapas anteriores podemos comenzar a plantear hipótesis de la razón o razones por las que se producen defectos e identificar aquellas causas que los originan.

A veces, la causa raíz de un problema es evidente. Cuando lo es, los equipos pueden moverse rápidamente a través del análisis. A menudo, sin embargo, las causas raíz están enterradas debajo de montones de papel y de procesos obsoletos, perdidas entre las complejidades de mucha gente haciendo el trabajo a su manera y sin documentarlos, año tras año. Cuando esto ocurre, el equipo puede necesitar invertir semanas o meses aplicando una serie de herramientas y ensayando varias ideas antes de finalmente cerrar el caso. (Sánchez Ruiz E.A, 2005)

### **Cuarta fase: Mejorar**

La cuarta fase corresponde con la letra “I”, esta es la fase de mejorar (Improve en inglés).

En esta etapa la solución y la acción es a la que muchos se sienten tentados a saltar desde el inicio del proyecto. De hecho, el hábito de empezar a resolver un problema sin primero entenderlo es tan fuerte que muchos equipos consideran un desafío adherirse al rigor objetivo del proceso DMAIC. Sin embargo, cuando se ve el valor de hacer preguntas, de verificar las hipótesis y de usar datos, los miembros de equipo se dan cuenta de cuánto mejor es el enfoque Six Sigma. (Sánchez Ruiz E.A, 2005)

Generalmente en esta etapa es cuando se hace uso de diversas herramientas que no necesariamente están comprendidas dentro de aquellas que nos ofrece *Lean Manufacturing* por ejemplo, en este proyecto hicimos una combinación de herramientas Lean con metodologías y procesos de ingeniería enfocados a la logística, planeación y control de la producción, para la mejora del proyecto. Así como éstas, se pueden incorporar distintas otras herramientas siempre que ayuden a la mejora y que se relacionen con el propósito del proyecto.

A menudo se sigue un enfoque iterativo cuando se aplica DMAIC. Se utiliza un conjunto de herramientas de ingeniería para ejecutar cada etapa del DMAIC. Estas herramientas se seleccionan para ajustarse a los problemas, a la situación actual del problema y a los resultados esperados de cada etapa y encajar en el marco del proyecto general Six-Sigma. No es necesario utilizar todas las herramientas Six Sigma en las etapas DMAIC, y se pueden incluir otras herramientas de ingeniería. (Basem El-haik & Raid Al-aomar, 2006)

### **Quinta fase: Controlar**

Controlar es la quinta y última fase de la metodología. El método DMAIC aleja de la mentalidad del “yo pienso”, “yo creo” o “me parece”, se basa en hechos medibles para erradicar el despilfarro y la ineficiencia. Es el conjunto de herramientas definitivas para la mejora de la calidad duradera, validada por los resultados económicos. Es el núcleo del método de solución de problemas de Six Sigma. A menudo se describe a las organizaciones y los procesos como gomas elásticas. Se puede trabajar duro y estirarlas mucho dándoles incluso formas nuevas e interesantes, pero inmediatamente que las suelte, vuelven a la forma original. Precisamente, el principal objetivo de la etapa Controlar es evitar ese efecto de regresar a los viejos hábitos y procesos. De hecho, el que se logre un impacto a largo plazo en la forma que trabaja la gente y de asegurarse que dure, depende tanto de la persuasión y de la venta de ideas como de la medición y control de los resultados. Ambos son esenciales. (Sánchez Ruiz E.A, 2005)

## 2.3 Herramientas Lean Six Sigma

### **Objetivo SMART**

Una metodología sencilla y eficaz para definir objetivos es la denominada SMART que nos ayuda a estructurar los objetivos paso a paso consiguiendo resultados importantes. El objetivo SMART es una de las múltiples herramientas que nos ofrece la metodología Lean Six Sigma y su nombre está basado en las siglas SMART que corresponden con el siguiente significado:

La letra “S” significa específico, es decir, nuestros objetivos deben estar bien focalizados, de forma clara y precisa. La “M” hace referencia a la búsqueda de objetivos medibles, del inglés «measurable». En la “A” aparece el término alcanzable. Debemos fijar objetivos que sean razonables, conociendo nuestros recursos tangibles y no tangibles y que este alineado con los objetivos generales de la organización. Por su parte la letra “R” nos indica que se trata de un objetivo relevante, es decir, que en la empresa exista un grado de implicación hacia el logro de objetivos y búsqueda de un éxito común. Por último, los objetivos tienen que estar delimitados en el tiempo, letra “T”, debemos fijar una fecha de inicio y una fecha de final, es decir acotar el tiempo del proyecto.

### **Mapeo de proceso**

El mapeo de procesos es una metodología que se emplea para mostrar de manera detallada las actividades que componen un proceso mediante una representación esquemática denominada “diagrama de flujo”, el cual está constituido por una determinada simbología. Las actividades que componen el mapeo de procesos deben tener una estructura secuencial y lógica orientada a cumplir un fin en específico. El principal objetivo del mapeo de procesos es representar gráficamente cuáles son las principales actividades que se llevan a cabo dentro de una organización, de tal manera que toda aquella persona que lo lea sea capaz de comprenderlo y llevar a cabo las actividades que se indican en la descripción. La importancia del mapeo de procesos radica en que su implementación sirve como un punto de partida para que los operarios del proceso estandaricen sus actividades con la finalidad de brindar el mismo nivel de servicio a todos los clientes sin importar la persona que brinde dicho servicio. (Damelio, R, 2011)

### **Project Charter**

El project charter o acta de constitución es una presentación de alto nivel de los objetivos, el alcance y las responsabilidades del proyecto para obtener la aprobación de los miembros del proyecto, así como de los stakeholders, al inicio del proyecto. En el project charter se proporciona una justificación del proyecto, nombres de los miembros del equipo y stakeholders, fecha de inicio y de término del proyecto, objetivos, tiempos por etapas, entregables y propósitos. Una vez colocada la información necesaria esta acta se muestra para la aprobación por parte de los principales stakeholders.

Se recomienda elaborar una project charter cuando se requiere presentar un proyecto y obtener su aprobación. Esta acta proporciona a las partes interesadas una idea clara de los objetivos, el alcance y las responsabilidades de tu proyecto. Estos participantes clave pueden usar el project charter para aprobar el proyecto o sugerir cambios. (Martins J. 2022)

## Gemba walk

El término "gemba" proviene del japonés y significa "el verdadero lugar". En la gestión Lean, "gemba" es el lugar más importante para un equipo, puesto que es el lugar donde realmente sucede el trabajo. Por ejemplo, para las bandas de rock, "gemba" es el estudio de grabación. Para los equipos de Fórmula 1, "gemba" está donde sea que el auto esté, etc. En otras palabras, es donde verdaderamente sucede el trabajo, es en donde puedes observarlo y analizarlo. La caminata gemba es un concepto desarrollado por Taiichi Ohno, quien a menudo es considerado el padre de la producción Justo a Tiempo.

Al desarrollar tal concepto, Ohno ofrece una oportunidad real para que los ejecutivos dejen su rutina diaria, observen dónde verdaderamente sucede el trabajo y construyan relaciones con los trabajadores basadas en la confianza mutua. La idea principal de la caminata gemba es que los líderes de todos los niveles realicen caminatas regulares en el lugar y se involucren en la búsqueda de actividades de desperdicio. Algo importante de esta caminata es preguntar por qué. El objetivo principal de una caminata Gemba es explorar a detalle el flujo de valor y localizar sus partes problemáticas a través de una comunicación activa (Kanbanize, 2022).

## Diagrama de valor

El flujo del valor es el conjunto de todas las acciones específicas que se requieren para producir un producto (o servicio) a través de las tres tareas críticas de cualquier negocio: tarea de resolución del problema, que va desde la conceptualización del producto, hasta el diseño e ingeniería para liberar el producto para producción; tarea de administrar información, que va desde tomar la orden o pedido del cliente hasta la programación detallada para la entrega; y tarea de transformación física, que abarca desde las materias primas o materiales hasta que el producto termina en manos del consumidor (Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. 2009).

El análisis del flujo del valor casi siempre demostrará que a lo largo del flujo del valor ocurren tres tipos de acciones que nos definen los tipos de mudas, o desperdicios, que podemos encontrar:

- I. Para muchas etapas se encontrarán acciones que crean valor: soldar los tubos para el marco de una bicicleta, por ejemplo.
- II. Se encontrarán actividades que no crean un valor, pero que son realmente inevitables con las actuales tecnologías y recursos de producción: inspeccionar soldaduras para asegurar la calidad (a estas actividades les llamaremos muda tipo 1).
- III. Se encontrarán acciones que no crean valor y que se podrían eliminar procediendo adecuadamente (muda tipo 2).

Para construir el diagrama de valor y seguir el principio del proceso esbelto es necesario crear un mapa o esquema del flujo de valor, en el que se identifiquen cada una de las acciones que actualmente se realizan para diseñar, ordenar o programar y hacer un producto específico, en este caso una actividad en específico. Después, cada una de esas actividades se clasifican en una de las categorías antes descritas. Las actividades típicas que no agregan valor y que representan una muda tipo 2, son: contar, apartar, mover, almacenar, esperar, hacer reportes que nadie lee o que nadie utiliza para tomar decisiones, cambiar de recipiente de un lugar a otro, varios tipos de inspecciones y revisiones, firmas de visto bueno que se hacen por tradición pero que no agregan nada, muchos tipos de autorizaciones del jefe, etc.

En general, las mudas son aquellas actividades diferentes a las de los procesos que crean valor. Por ejemplo, por medio de la inspección sabemos si se ha realizado correctamente algún paso que agrega valor, pero la acción en sí no agrega valor. Todas estas acciones agregan costos, pero no valor, son mudas, algunas quizá sean mudas tipo 1 porque realmente son indispensables, pero muchas de ellas son mudas tipo 2. El impedimento más importante para lograr el flujo en la creación del valor es la organización tradicional de las empresas por funciones y/o departamentos y para ello se trabaja en la última etapa del DMAIC (Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. 2009).

### 8 desperdicios

*Sobreproducción:* Hacer más de lo necesario. Generalmente este desperdicio genera otros desperdicios importantes como inventario y movimiento.

*Defectos:* Carencia o falta de una cualidad propia de algo. Incumplimiento de un requisito asociado a un uso previsto o especificado. No poseer un artículo una característica de calidad (atributos).

*Reprocesos:* Se genera cuando a un producto o servicio se le hace más trabajo del necesario, que no es parte normal del proceso y que el cliente no está dispuesto a pagar. Generalmente cuando no se tiene control del proceso en alguna de sus etapas es cuando se presenta este desperdicio porque no se tiene identificada la falla y entonces se realizan sin éxito algunas de esas actividades y se deben corregir después.

*Inventario:* Es la acumulación de productos o materiales en cualquier parte del proceso. Además, genera otras formas de desperdicio como son: el tiempo de espera, el transporte, defectos y retrabajos.

*Transporte:* Desplazar personas, material y herramientas cuando se pueden reducir o evitar esos transportes. Es un desperdicio importante que produce otros desperdicios como la espera, por ejemplo. Se refiere a mover el material más de lo necesario, ya sea desde un proveedor o un almacén hacia el proceso, entre procesos e incluso dentro de un mismo proceso.

*Movimiento:* Se define como cualquier movimiento que no es necesario para completar de manera adecuada una operación o actividad. Cada vez que una persona se estira, inclina o gira, genera un desperdicio de movimiento, así como desplazarse para ir por material, herramientas, planos, formatos, copias entre otros.

*Espera:* Indica el tiempo muerto entre actividades, operaciones o procesos y, representa una inconsistencia en el proceso porque se podría aprovechar en otras actividades o bien, reducir al máximo.

*Talento:* Asignar erróneamente tareas que pueden mecanizarse pero que se siguen haciendo de forma manual, así como la incorrecta asignación de roles y tareas además de la falta de una correcta capacitación para cada una de las actividades específicas que debe desempeñar cada uno de los miembros del equipo.

### **Diagrama de Ishikawa**

Es una técnica muy popular también llamada espina de pescado o Ishikawa. Este diagrama se usa en sesiones de tormentas de ideas para determinar posibles causas de un problema (o efecto), y coloca las posibles causas en grupos o afinidades; las causas que llevan a otras causas se unen como en una estructura de árbol. El valor del diagrama de causa-efecto es ayudar a reunir las ideas colectivas de un equipo sobre qué puede ocasionar un problema y ayudar a los miembros del equipo a pensar en todas las causas posibles mediante clarificar las categorías principales. Se sabe que el resultado de un proceso puede atribuirse a una multitud de factores, y es posible encontrar la relación causa-efecto de estos factores. Se puede determinar la estructura o una relación múltiple de causa-efecto observándola sistemáticamente. Es difícil solucionar problemas complicados sin tener en cuenta esta estructura, la cual consta de una cadena de causas y efectos, y el método para expresar esto en forma sencilla y fácil es un diagrama de causa-efecto. Los diagramas causa-efecto no dirán la causa concreta. Más bien, ayudarán a desarrollar hipótesis adecuadas sobre dónde enfocar la medida y hacer un análisis más profundo sobre la causa raíz. (Sánchez Ruiz E.A, 2005)

### **Diagrama de Pareto**

Es un gráfico de barras que tiene un nombre especial y que se utiliza con el propósito de organizar y de priorizar las causas asociadas a un problema. Este es el llamado diagrama de Pareto. Un proyecto de mejora tendrá mayor probabilidad de éxito, si está bien planeado. En este sentido, es necesario escoger un problema importante y atacar la(s) causa(s) más relevante(s). La idea es seleccionar un proyecto que pueda alcanzar la mejora más grande con el menor esfuerzo. La herramienta que permite localizar el problema principal y seleccionar la causa más importante de éste, se llama diagrama de Pareto. Este

diagrama también es utilizado para localizar áreas de mejora en donde potencialmente el éxito puede ser mayor. (Zavaleta, 2014)

La idea anterior de acuerdo con Zavaleta (2014), contiene el llamado principio de Pareto, conocido como ley 80-20 o pocos vitales, muchos triviales. Este principio reconoce que unos pocos elementos (el 20%) generan la mayor parte del efecto (el 80%), el resto de los elementos generan muy poco del efecto total.

### **ANDON**

Andon o Control Visual de la Producción, es un sistema de control y alarma que informa al personal de la planta sobre alguna anomalía, problema o acontecimiento fuera del estándar que ocurre en un puesto de trabajo o una máquina. En los sistemas de producción y manufactura Lean, el Andon, es ampliamente utilizado ya que con este se minimizan los tiempos de intervención de los procesos que presentan algún tipo de inconveniente. (Wilson, 2010)

Existen diversos sistemas Andon, desde el tradicional Andon de luces cableado, hasta los sistemas inalámbricos y el de comunicación a PC el cual lleva estadísticas exactas de cada uno de los problemas en la línea; además mantiene informados a los ejecutivos en tiempo real desde cualquier computadora de la oficina. También existen sistemas personalizados según las necesidades del cliente.

### **Lección punto a punto**

La Lección Punto a Punto (LPP) también conocida como OPL ó LUP por las siglas de los términos One Point Lesson, es una herramienta de comunicación, utilizada para la transferencia de conocimientos y habilidades simples o breves. En ocasiones desconocemos procedimientos tan simples y cotidianos como el funcionamiento de una fotocopidora bien sea porque es nueva, no se encuentra en el área al que pertenecemos, o bien porque al requerirla nos apoyamos siempre en una persona que domina el procedimiento. Procesos como este pueden ser ilustrados fácilmente en una LUP. Una buena LUP debe en esencia permitir un aprendizaje fácil, claro y preciso. (Salazar López B. 2019)

## 2.4 Planeación, pronósticos y política de inventarios

El pronóstico trata de aquello que pensamos que sucederá en el futuro. La planeación trata con lo que pensamos que debería pasar en el futuro; por lo tanto, a través de la planeación, pretendemos alterar de una manera consciente los eventos futuros en tanto que usamos los pronósticos sólo para predecirlos. Una buena planeación emplea un pronóstico como insumo; si éste no es aceptable, en ocasiones, puede diseñarse un plan para modificar el curso de los eventos.

El pronóstico es un insumo para todos los tipos de planeación y control de los negocios, tanto dentro como fuera de la función de operaciones. El marketing recurre a los pronósticos para la planeación de los productos, la promoción y el establecimiento de precios. Finanzas los usa como un insumo para la planeación financiera. El pronóstico es un insumo para las decisiones de operaciones relacionadas con el diseño del proceso, la planeación de la capacidad y los inventarios. (Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. 2009)

### **Pronósticos y demanda.**

La preparación de pronósticos es el arte y la ciencia de predecir eventos futuros. Casi siempre los pronósticos resultan ser incorrectos; es raro que las ventas sean iguales a la cantidad exacta del pronóstico. A menudo, una pequeña variación respecto del pronóstico puede absorberse por un nivel adicional de capacidad, inventarios o reprogramación de órdenes. Existen tres formas de lidiar con los errores del pronóstico. Una estriba en procurar reducir el error a través de mejores pronósticos. La segunda consiste en incorporar más flexibilidad en las operaciones en la cadena de suministro; y la tercera, en reducir el tiempo de espera a lo largo del cual se requieren los pronósticos. Incluso los buenos pronósticos tendrán algún error. (Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. 2009)

Existen dos principales métodos de pronóstico, los cualitativos y los cuantitativos. Dentro de la primera categoría encontramos aquellos métodos que se basan en características y métodos no numéricos como lo es una investigación de mercados o la conocida técnica Delphi mientras que, en los cualitativos encontramos una regresión lineal, promedios móviles o de suavizamiento exponencial que, están basados en series de tiempo. Estas series se convierten en la materia prima de dichos métodos matemáticos.

Las series de tiempo se definen según la ASCM (Association for Supply Chain Management, 2022) como un conjunto de datos que se distribuye a lo largo del tiempo, como los períodos de tiempo mensuales de datos de demanda. Y que deben considerar varios patrones de demanda estacionales, tendenciosas, cíclicas y aleatorias en el análisis de series de tiempo. Estos datos históricos que se procesan en el tiempo se usan como referencia para obtener, a través de su procesamiento en modelos matemáticos, pronósticos.

Por su parte la demanda definida según la ASCM (Association for Supply Chain Management, 2022) como la necesidad de un producto o componente en particular. La demanda podría provenir de cualquier fuente, por ejemplo, un pedido de un cliente o un pronóstico, un plan de requerimiento, una solicitud de almacén entre otros. Al final, los niveles de demanda suelen ser diferentes de los datos de ventas porque la demanda no necesariamente resulta en ventas.

La demanda se puede clasificar como dependiente o independiente. La primera es aquella que depende principalmente de la demanda de otros artículos. Ejemplo la explosión de materiales (BOM- Bill Of

Materiales) que hay en la fabricación de un lápiz. Por su parte la demanda independiente se presenta en aquellos sistemas en los que su demanda está directamente asociada a temas de mercado. En este proyecto se tiene un sistema con demanda independiente.

### Importancia de los pronósticos



Figura 9. Importancia de los pronósticos. Elaboración propia, fuente: Manual de consulta. Forecasting, 2022.

### Patrones en las series de tiempo

Usualmente en las Series de tiempo surgen patrones que pueden afectar la estimación del pronóstico. Los patrones más comunes se enuncian a continuación:

- *Tendencia.* Es la característica de una serie de datos de crecer o decrecer con el tiempo, usualmente se considera tendencia lineal, aunque hay modelos que pueden asimilarse más a una tendencia exponencial.
- *Estacionalidad.* Es cuando en un corto horizonte de tiempo se observan “picos” o “valles” en la serie de tiempo.
- *Ciclos.* Es cuando en el largo plazo, se observan comportamientos de estaciones más prolongadas, usualmente se observan en mediciones económicas.

- *Aleatoriedad o ruido.* Se da cuando en una serie de tiempo, surgen datos que no tienen un comportamiento usual al resto de datos.

### Consideraciones a los métodos con factores estacionales

- Se dice que una serie de datos presenta alguna estacionalidad cuando se puede considerar que hay un patrón que se repite cada N periodos.
- Se define al factor estacional al % por encima o por debajo de la media de la serie de datos que tiene la estación.
- La suma de los factores estacionales suma N.
- Aplicar la estacionalidad implicará el cálculo del pronóstico estacionario, aplicándole el factor estacional.

### Selección de un método de pronóstico

- I. *Sofisticación del usuario y del sistema.* ¿Qué tan sofisticados son los administradores, dentro y fuera de las operaciones, quienes se espera que usen los resultados de los pronósticos? Se encontró que el método de pronóstico debe estar acoplado con los conocimientos y la sofisticación del usuario. Casi siempre, los administradores se muestran renuentes a aplicar resultados que provienen de técnicas que no entienden.  
Otro factor relacionado es la condición de los sistemas de pronóstico que están actualmente en uso. Los sistemas de pronóstico tienden a evolucionar hacia métodos con mayor sofisticación matemática; no cambian en una medida considerable; por lo tanto, el método elegido no debe ser demasiado avanzado o sofisticado para sus usuarios o tan avanzado que se sitúe más allá del sistema actual de pronósticos. Además, los modelos más sencillos, algunas veces, pueden tener un mejor desempeño y, por lo tanto, la sofisticación no es la meta final.
- II. *Tiempo y recursos disponibles.* La selección de un método de pronóstico dependerá del tiempo disponible necesario para la recopilación de los datos y la preparación del pronóstico, lo que involucra el tiempo de los usuarios, de quienes preparan los pronósticos y de los recolectores de datos. La preparación de un pronóstico complicado, en el cual la mayoría de los datos deben recopilarse puede llevar varios meses y costar miles de dólares. En el caso de pronósticos rutinarios realizados por sistemas computarizados, tanto el costo como la cantidad de tiempo requerida pueden ser muy modestos.
- III. *Aplicación o características de la decisión.* El método de pronóstico debe relacionarse con la aplicación o las decisiones que se requieran. La aplicación, a su vez, está estrechamente vinculada con características como la exactitud requerida, el horizonte de tiempo del pronóstico

y el número de conceptos a pronosticarse; las decisiones de inventarios, de programación de la producción y de fijación de precio, por mencionar ejemplos, entrañan pronósticos a corto plazo altamente exactos respecto de un número elevado de artículos. Los métodos de análisis de series de tiempo son idealmente útiles para esas necesidades; en contraste, las decisiones asociadas con los procesos, la planeación de las instalaciones y los programas de marketing son a largo plazo e involucran menos exactitud respecto de, tal vez, una sola estimación de la demanda total. Los métodos cualitativos o causales tienden a ser más apropiados para estas decisiones. En la categoría de un plazo intermedio se encuentran la planeación agregada, el presupuesto de capital y las decisiones de introducción de nuevos productos, los cuales con frecuencia manejan métodos de series de tiempo o causales.

- IV. Disponibilidad de los datos. A menudo, la elección del método de pronóstico se restringe por los datos disponibles. Un modelo econométrico puede demandar datos que simplemente no estén disponibles en el corto plazo; por lo tanto, debe seleccionarse otro. El método de análisis de series de tiempo de Box-Jenkins requiere de cerca de 60 puntos de datos (cinco años de datos mensuales). La calidad de los datos disponibles también es esencial; los de mala calidad conducen a pronósticos deficientes. Los datos deben verificarse en busca de factores extraños o puntos inusuales.
- V. Patrón de los datos. El patrón contenido en los datos afectará el tipo de método de pronóstico que se seleccione. Si la serie de tiempo es plana, como lo hemos supuesto en la mayor parte de este capítulo, puede utilizarse un método de primer orden; pese a ello, si los datos muestran tendencias o patrones estacionales, se necesitarán métodos más avanzados. El patrón contenido en los datos también determinará si un método de análisis de series de tiempo será suficiente o si se requerirán modelos causales. Si el patrón de datos es inestable a lo largo del tiempo, puede seleccionarse un método cualitativo; por lo tanto, el patrón contenido en los datos es uno de los factores fundamentales que afectan la selección de un método de pronóstico. Una forma de detectar el patrón radica en representar los datos sobre una gráfica, lo que deberá hacerse siempre como el primer paso del pronóstico (Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. 2009).

### Pronostico por promedios móviles

Cuando hacemos uso de aquellos métodos de pronósticos que se sustentan en una serie de tiempo como el método de promedios móviles y los métodos de suavizamiento exponencial estamos asumiendo de alguna manera que la historia se repite ya que, nos basamos en los hechos ocurridos en el pasado para intentar proyectar lo que pasará en el futuro. Estos métodos siguen un fin común que es pronosticar, pero están basados en modelos matemáticos distintos que los hace diferentes, por ejemplo, en la

precisión que cada uno ofrece. Para el desarrollo de este proyecto estudiaremos el método por promedios móviles.

El método de promedios móviles es el más sencillo de pronósticos de series de tiempo. En éste, se supone que la serie de tiempo sólo tiene un componente de nivel más un componente aleatorio. No se supone la presencia de un patrón estacional, de una tendencia o de componentes cíclicos en los datos de la demanda; sin embargo, las versiones más avanzadas del promedio móvil pueden incluir todos los tipos componentes. Cuando se usa un promedio móvil, se selecciona un número dado de periodos ( $N$ ) para los cálculos. A continuación, se calcula la demanda promedio,  $F_{t+1}$ , para los  $N$  periodos anteriores en el momento:  $t$

$$F_{t+1} = \frac{D_t + D_{t-1} + \dots + D_{t-N+1}}{N}$$

### Estacionalidad

Recordemos que la estacionalidad es un patrón que se repite cada  $N$  periodos. La duración de la estacionalidad es la cantidad necesaria de periodos antes de que se repita el patrón. La estacionalidad supone que hay factores estacionales ( $C_t$ ) para  $1 \leq t \leq N$  con la siguiente propiedad:

$$\sum_1^N C_t = N$$

El factor estacional  $C_t$  es la proporción en que el dato está por encima o por debajo de la media global de los datos. Este modelo para obtener los factores estacionales está basado en el promedio de los factores estacionales para los periodos similares.

Como se mencionó anteriormente, aunque el método de promedios móviles no supone la presencia de patrones estacionales o de tendencia, podemos obligar de alguna manera al método a que nos ayude a pronosticar series con patrones estacionales, esto se logra desestacionalizando la serie, es decir se aplica la razón entre la demanda real y el factor estacional para cada periodo, de esta manera desestacionalizamos los datos y una vez que los tenemos de esta forma podemos aplicar el modelo de promedios móviles y entonces, usar nuevamente los factores para regresar la estacionalidad a la serie.

### Errores de pronóstico

El error de pronóstico es inherente al proceso de pronosticar cualquier variable. Es el parámetro que nos indica la confiabilidad de un método de pronóstico a elegir. Matemáticamente se expresa como:

$$e_t = (F_t - D_T)$$

Dónde:

$F_t =$  Valor pronosticado para el periodo  $t$

$D_T =$  Valor observado de la demanda en el periodo  $t$

Otras mediciones empleadas en frecuentemente es el MAD (Mean Absolut Desviation) o desviación media absoluta, el cuál utilizaremos como medida del error de pronóstico en este proyecto. El MAD se define como:

$$MAD = \sum \frac{|A_i - F_i|}{T}$$

Dónde:

$A_i =$  Valor real observado en “  $i$  ”

$F_i =$  Valor a pronosticar para el periodo “  $i$  ”

$T =$  Cantidad de periodos

### Funciones del inventario

El inventario puede dar servicio a varias funciones que agregan flexibilidad a las operaciones de una empresa. Las cuatro funciones del inventario son:

1. “Desunir” o separar varias partes del proceso de producción. Por ejemplo, si los suministros de una empresa fluctúan, quizá sea necesario un inventario adicional para desunir los procesos de producción de los proveedores.
2. Separar a la empresa de las fluctuaciones en la demanda y proporcionar un inventario de bienes que ofrezca variedad a los clientes. Tales inventarios son típicos de los establecimientos minoristas.
3. Tomar ventaja de los descuentos por cantidad, porque las compras en grandes cantidades pueden reducir el costo de los bienes y su entrega.
4. Protegerse contra la inflación y los cambios al alza en los precios (Cachon G. & Terwiesch C, 2011).

## Tipos de inventario

A fin de cumplir con las funciones del inventario, las empresas mantienen cuatro tipos de inventario:

1. Inventario de materias primas;
2. Inventario de trabajo en proceso;
3. Inventario para mantenimiento, reparación y operaciones (MRO)
4. Inventario de productos terminados.

El inventario de materias primas se compró, pero no se ha procesado. Este inventario se puede usar para desunir (es decir, separar) a los proveedores del proceso de producción. Sin embargo, el enfoque preferido consiste en eliminar la variabilidad en cantidad, en calidad o en tiempo de entrega por parte del proveedor, así que la separación no es necesaria. El WIP (Work In Process; inventario de trabajo en proceso) es de componentes o materias primas que han sufrido ciertos cambios, pero no están terminados. El WIP existe por el tiempo requerido para hacer un producto (llamado tiempo del ciclo). Reducir el tiempo del ciclo disminuye el inventario. Los MRO son inventarios dedicados a suministros de mantenimiento, reparación y operaciones necesarios para mantener productivos la maquinaria y los procesos. Estos inventarios existen porque no se conocen la necesidad y los tiempos de mantenimiento y reparación de algunos equipos. Aunque la demanda del inventario MRO suele ser una función de los programas de mantenimiento, es necesario anticipar las demandas no programadas de MRO. El inventario de bienes terminados está constituido por productos completados que esperan su embarque. Los bienes terminados pueden entrar en inventario por no conocer las demandas futuras del cliente (Cachon G. & Terwiesch C, 2011).

## Política de inventarios: Order Up To Level Model.

Este modelo de inventarios se usa cuando no existe obsolescencia del inventario, existe un número ilimitado de reabastecimientos y además existe demanda aleatoria durante el periodo de reabastecimiento. Se sugiere su aplicación bajo las siguientes consideraciones:

- El tiempo se divide en períodos de igual duración, por ejemplo, 1 semana, 1 día, etc.

- Durante un período ocurren las siguientes secuencias de eventos:

Se envía una orden de reabastecimiento (si es necesario)

Se recibe el inventario

Se produce una demanda aleatoria

Para el caso de este proyecto nuestro período tiene una duración en meses, es como se dividirá el tiempo para la aplicación de este modelo de inventario y que cumple con todas las consideraciones del modelo

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

---

de inventario. A demás recapitulando las condiciones para usar el modelo que se mencionaron al inicio se tiene que los tableros “PT” al ser un producto eléctrico evita la obsolescencia del inventario, es decir no caducan en un periodo de tiempo limitado porque continúan siendo funcionales. Por otro lado, se tiene la posibilidad de reabastecimientos “ilimitados” porque afortunadamente se cuenta con la capacidad y los recursos para hacer órdenes de compra cada que se necesiten y no existe un número promedio o máximo de órdenes, finalmente ocurre una demanda aleatoria en el periodo de reabastecimiento, es decir, en los 4 meses que transcurren desde que se hace la PO hasta que se recibe existe demanda (Cachon G. & Terwiesch C, 2011).

Es importante dar algunas definiciones para la aplicación del modelo como sigue a continuación.

*Plazo de entrega*: un número fijo de períodos después de los cuales se recibe un pedido.

*Inventario disponible*: el número de unidades físicamente en inventario listas para atender la demanda.

*Backorder*: cantidad total de demanda que ocurrió, pero no ha sido satisfecha.

*Inventario de pedido/inventario de canalización*: el número de unidades que se han pedido pero que no se han recibido.

*Nivel de inventario*: + Inventario disponible - Pedido pendiente.

*Posición del inventario*: + Nivel de inventario + Inventario en orden.

*Orden hasta el nivel S (Order Up To Level)*: la posición de inventario máximo que permitimos.

Order Up to level: cantidad de pedidos de cada período.

***OUTL = (S – Posición de inventario)***

A demás:

- Después de realizar el pedido, la posición del inventario es S.
- Si la demanda en un período es x, la posición del inventario disminuye de S a (S-x).
- El modelo Order Up To Level es un sistema pull porque el inventario se ordena en respuesta a la demanda (lote por lote). Sin embargo, S se establece en función de la demanda pronosticada (Cachon G. & Terwiesch C, 2011).

Dado que el modelo OUTL es un modelo basado en una revisión periódica de inventario, al inicio de cada periodo se tendrán diferentes eventos: se realizará la orden de pedido sugerida en piezas por código una vez que esta se ha calculado y llegará a ser parte del inventario on hand cuatro meses después, es decir

al inicio del periodo cuatro y, teóricamente llegará también al inicio de periodo uno la orden que se ha hecho cuatro meses atrás como se muestra en la figura 10.

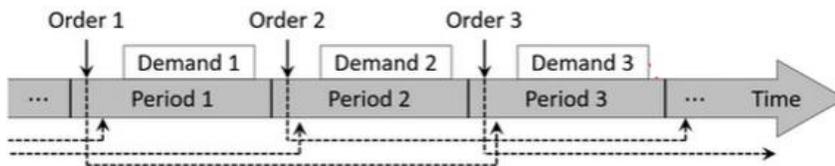


Figura 10. Trazabilidad del nivel de inventario a través del tiempo con el modelo OUTL. Recuperado de: Cachon G. & Terwiesch C, 2011.

### Indicador de rendimiento OUTL

$$\text{Tasa de cumplimiento esperada (fill rate)} = \frac{\text{Backorder esperado}}{\text{Demanda esperada en un periodo}}$$

La tasa de llenado es la fracción de la demanda satisfecha inmediatamente y se usa como indicador de rendimiento del inventario al implementar el modelo Order Up To Level.

### Sistemas PULL

Uno de los principios de la filosofía de la manufactura esbelta es producir sólo lo que el cliente requiere, lo que implica que, para su cumplimiento, se reemplace la mentalidad de productos propuestos por la empresa (push) en la producción tradicional en masa por la de productos demandados por el cliente (pull) en la producción esbelta. Una mentalidad de productos propuestos tiene como finalidad producir bienes o asegurar el suministro de servicios con mucha anticipación a la demanda, con frecuencia de acuerdo con un programa o plan creado a partir de pronósticos inexactos. En este caso, fuertes lotes de materiales de un proceso o de una máquina se transfieren a la siguiente independientemente de que se necesite el inventario o no; ello permite que las máquinas y los procesos se utilicen a toda su capacidad para reducir los costos y el inventario se considera un activo valioso.

En contraste, una mentalidad de productos requeridos por el cliente espera hasta que el consumidor final señala una necesidad de bienes o servicios antes de producir bienes o servicios para satisfacerla. La señal proveniente del cliente final es, entonces, visualmente enviada a las diversas etapas de producción —e incluso, a la cadena de suministro— para determinar lo que debe producirse y cuándo debe entregarse. [...] Las aerolíneas que vuelan de punto a punto son un ejemplo de un sistema con una mentalidad de servicios requeridos por el cliente puesto que se basan en lo que éste desea; ningún consumidor quiere pasar por un punto de escala para llegar a su destino. (Schroeder G.R et al., 2011)

## CAPÍTULO 3. PROYECTO DE MEJORA DEL PROCESO DE COMPRA Y DE INVENTARIO DE PRODUCTOS TERMINADO

### 3.1. Situación actual

Un estudio realizado en la empresa “W” devela a través de los históricos de ventas el comportamiento estacional de la mayoría de los productos por diversas causas, tanto externas como internas en la empresa, que se ha mantenido a través del tiempo y que han adquirido un comportamiento particular para cada familia de productos. Se ha estudiado como anteriormente la tendencia de crecimiento era positiva a lo largo de varios años para diversas familias de productos, pero, con la reciente pandemia de COVID-19 en casi todo el mundo, las economías se detuvieron y muchas empresas y comercios, incluido el sector de la industria manufacturera que es el sector donde se ubica la empresa “W”, tuvieron caídas en la demanda de sus productos porque las industrias, comercios, tiendas e incluso corporativos cerraron temporalmente. El 2020 fue un año de bajo demandas y, actualmente las economías están en recuperación y las industrias, comercios, tiendas de autoservicio y hasta corporativos vuelven a trabajar fuera de sus casas y, esto implica nuevas construcciones y proyectos que harán uso de los aparatos eléctrico-electrónicos que la empresa “W” ofrece al mercado.

Este año se tienen ventas importantes de las diferentes líneas y familias de productos que ofrece la empresa por lo que la reactivación e implementación de sistemas en la empresa para la mejora de procesos que ayude a satisfacer la nueva y creciente demanda es de vital importancia.

### 3.2 Aplicación de Lean Six Sigma al proceso de compra y de inventario en productos importados

Lean Six sigma como metodología nos aporta muchas herramientas importantes para la mejora de procesos y en el caso particular del proyecto abordado en este documento, nos brinda muchas herramientas que nos permiten conocer, medir y estudiar el problema a profundidad, para lograr soluciones importantes y de impacto en la empresa. A continuación, se abordan con mayor detalle cada una de las etapas que se desarrollaron siguiendo la metodología Lean Six Sigma para el desarrollo e implementación del proyecto.

### 3.2.1. Definir

#### **Problemática.**

La primera herramienta utilizada en el proyecto fue la definición de la problemática, inicialmente se plantearon dos problemáticas principales encontradas en la empresa “W” y, a partir de ellas se estudió cual era la mejor opción para abordar y que por su puesto implicaría mayores beneficios y menores esfuerzos. Una vez estudiadas las dos problemáticas principales se eligió el desabastecimiento de tableros “PT” que se redacta a detalle en las siguientes líneas.

Existe un desabastecimiento importante de tableros “PT”. Actualmente la empresa “W” fabrica los gabinetes en Europa y estos gabinetes se envían a un CEDIS en América. El tiempo de entrega (LT) es de aproximadamente 4 meses. Este año se han tenido ventas importantes de este gabinete que podrían estar en riesgo de perderse porque el CEDIS no tiene suficiente stock. Ante estos retrasos de entrega los clientes podrían cancelar sus compras o bien, esperar el producto, pero, no considerar volver a comprar aquí y buscar otros vendedores con la misma calidad de producto, pero menos tiempo de espera.

#### **Objetivo SMART.**

Mejorar el sistema de compras para la importación de producto de la línea de tableros “PT”, para saber cuándo y cuánto pedir, con base en un proyecto LSS donde desarrollaremos durante 13 semanas las herramientas de mejora, a terminarse el 22 de mayo de 2022 y posteriormente a la materia se les dará seguimiento a los indicadores hasta septiembre del 2022. Actualmente el stock cubre el 0% de demanda y se busca un nivel de servicio de al menos el 80% para cada uno de los SKU en estudio dado que entre enero y abril del 2022 se han cancelado aproximadamente 104,314 USD en tableros “PT”.

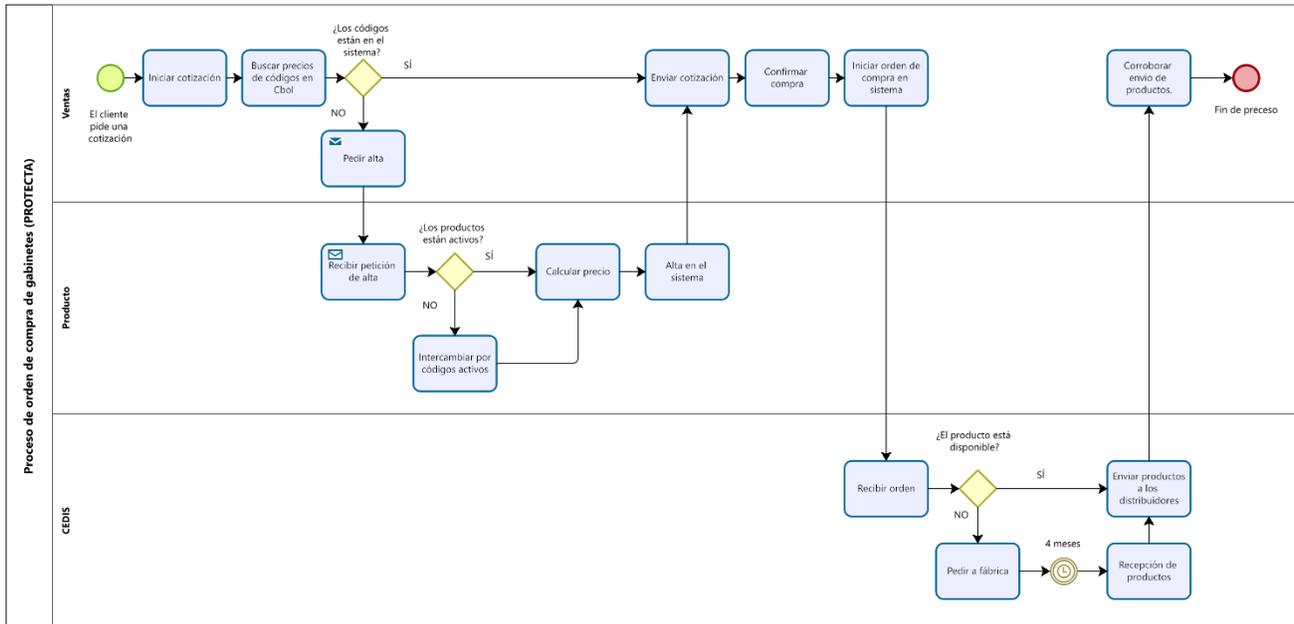
#### **Mapeo del proceso del sistema de generación de órdenes a fábrica.**

Otra de las herramientas más usada en la definición del proyecto, es el mapeo de proceso. Nos enfocamos en el proceso de generación de órdenes de compra solo para el área de producto que es quién se encarga de verificar la existencia y precios, entre otras tareas, de las diferentes líneas de productos.

En resumen, este proceso consiste en tener un primer acercamiento con el área de ventas quien notifica los pedidos hechos por los clientes y por los diferentes distribuidores, después producto verifica que los códigos estén disponibles en el sistema y con los precios correctos, una vez que se verifica su existencia en almacén se puede concretar la compra con el cliente o distribuidor y programar una entrega, pero el problema existe cuando no se tiene disponibilidad en almacén, en el mejor de los casos puede ser un

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

producto que se pueda pedir a fábrica y esté disponible en un par de semanas como máximo aunque también existe un escenario menos favorable, que es el caso de muy pocas familias de productos, donde el tiempo de entrega desde que se pide a fábrica hasta que se tiene disponible en almacén y, registrado en el sistema listo para poder concretar una entrega con el cliente, tiene una duración de hasta 4 meses y que podría variar con cualquier imprevisto que aparezca en algún punto del envío. La figura 11 muestra el mapeo del proceso antes descrito.



Powered by  
basego  
Modeler

Figura 11. Mapeo de proceso de la generación de órdenes de compra en la etapa definir. Elaboración propia.

### Project Charter.

Una vez elegida la problemática y con objetivo específico, medible, alcanzable, relevante y con un tiempo delimitado se redactó el acta con el nombre del proyecto, stakeholders, miembros del equipo, problemática abordada, tiempos definidos de inicio y fin del proyecto, así como tiempo para cada etapa del DMAIC, objetivos y propósito. Esta acta se entregó con los directivos para su aprobación y, consentimiento del tiempo que involucraba el proyecto, ya que fue un proyecto a mediano plazo por todas las herramientas y actividades involucradas.

PROJECT CHARTER			
Título del proyecto: PT highlights.		Miembros del equipo	Islas Díaz Pamela
Fecha de inicio del proyecto	Fecha de término de las herramientas / Término del proyecto	Revisión del proyecto	PMD P.C
10 de febrero 2022	28 de mayo 2022 / septiembre 2022		M.I. J.T.
Problemática de la empresa			
Mejorar el sistema de compras para la importación de producto de la línea de tableros "PT", para saber cuándo y cuánto pedir, con base en un proyecto LSS donde desarrollaremos durante 13 semanas las herramientas de mejora para terminarse el 22 de mayo de 2022 y posteriormente a la materia se les dará seguimiento a los indicadores hasta septiembre del 2022. Actualmente el stock cubre el 0% de demanda y se busca cubrir el 90% dado que entre enero y abril del 2022 se han cancelado aproximadamente 104,314 USD en tableros "PT".			
Objetivos		Entregables	
Analizar y crear un sistema que mejore el inventario disponible en el CEDIS "A" del gabinete PT para ofrecer al cliente los productos con un menor tiempo de entrega.		- Presentación con las etapas abordadas, datos, contexto, herramientas utilizadas y resultados del proyecto. - Herramienta predictiva (Excel)	
Tiempo estimado por etapa		Propósito a mejorar	
Definir	2 semanas	- Disminuir el tiempo en que se entregan los tableros protecta al cliente.	
Medir	2 semanas		
Analizar	3 semanas	- Mejorar la visualización de la demanda del tablero.	
Mejorar	5 semanas		
Controlar	4 meses		

Figura 12. Project Charter: Tablero "PT" Highlights. Elaboración propia.

### 3.2.2. Medir

#### Gemba walk del desabastecimiento de tableros "PT"

Durante la etapa de medir se desarrolló un primer gemba, con el propósito de generar una primera hipótesis sobre la causa raíz del problema para poder abordar las fallas desde las raíces e ir enfocando una solución a la problemática expuesta que realmente la solucionara. Además, caminando el proceso se pudo reconocer con mayor facilidad, los puntos más débiles del proceso, la asignación de tareas y roles en el equipo, el material disponible y la toma de decisiones que se había hecho hasta el momento basadas en la experiencia de los miembros del equipo pero que no habían sido expuestas, evaluadas ni documentadas.

Durante el diseño se plantearon preguntas claves para la investigación, se ejecutó el gemba y se obtuvieron conclusiones importantes como se muestra en la ficha de la figura 13.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.



<b>DISEÑO</b>	
Teams-SAP	¿Qué sigue después de que un cliente hace una orden de compra?
Producto	¿Qué proceso sigues para hacer una compra de material?
Jueves 03 marzo de 2022	¿Quién es el equipo de trabajo?
Compra de material	¿Qué información necesitas para realizar esta tarea?
Desabastecimiento línea de tableros "PT"	¿De donde se obtiene esta información?
Tipo de Gemba: Individual en la etapa de medir	

<b>EJECUCIÓN</b>
- Realizar REQ - Equipo de producto y adicionalmente maquila - Bases de datos de powerBI y SAP.

<b>ANÁLISIS</b>
Notas: Se encontró que actualmente el miembro del equipo encargado de este producto no había realizado un forecast y tampoco sabía como hacerlo por lo que alguien más se tuvo que hacer cargo del proceso además, la directora se encargó de recopilar los históricos del periodo pasado y compartirlos para ser utilizados de emergencia en la toma de desiciones. Se concluye que no se tenía establecido un plan de ordenes de compra y tampoco se tenía un control ni análisis de la demanda por SKU. Se concluye que una parte importante de la causa raíz es que se han estado enfocando en las personas y no en procesos ya que hay actividades que se podrían tener estandarizadas o mecanizadas y no hay un plan de acción ni un proceso definido.

Figura 13. Gemba walk en la etapa de medir. Elaboración propia.

## Diagrama de valor del proceso de PO.

Para el diagrama de valor se enlistaron las tareas que se siguen paso a paso para el proceso de “purchase order” (PO) con el tiempo de realización y, se clasificaron en el tipo de MUDA al que corresponden.

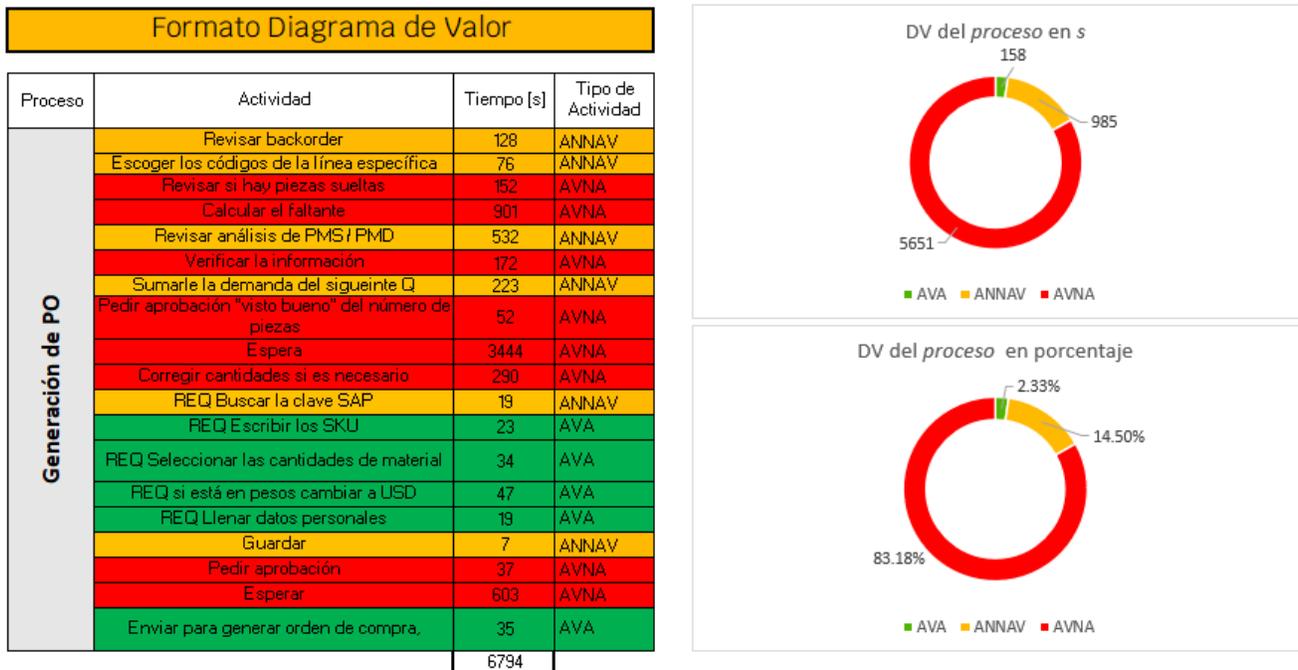


Figura 14. Diagrama de valor del sistema inicial de generación de PO. Elaboración propia.

Tipo de actividad	Porcentaje	Tiempo
<b>AVA</b>	2.33%	158
<b>ANNAV</b>	14.50%	985
<b>AVNA</b>	83.18%	5651
Tiempo total	100%	6794

Figura 15. Resultados del diagrama de valor. Elaboración propia.

De donde se obtuvo que el mayor porcentaje del tiempo de proceso corresponde con aquellas actividades que no agregan valor al proceso con un 83.18% del tiempo total invertido, le siguen las actividades necesarias en el proceso pero que no agregan valor con un 14.5% y finalmente las actividades de valor agregado aportando tan solo un 2.33% al tiempo total del proceso. De esta forma nos concentraremos en atacar las actividades necesarias en el proceso pero que no agregan valor y las que no agregan valor para lograr tener un proceso esbelto reduciendo los desperdicios que se generan y mecanizando todas aquellas tareas que sean posibles y que faciliten la realización y finalización exitosa del proceso.

### 3.2.3. Analizar

#### 8 desperdicios del proceso de generación de PO.

*Sobreproducción:* Como respuesta a la falta de planeación de ordenes de tableros a fábrica se han llegado a colocar ordenes en exceso como medida correctiva, lo cual al largo plazo podría llevar a la organización al extremo contrario donde existe un sobre inventario que absorberá más recursos de los posibles.

*Defectos:* Como medida de emergencia en años pasados se buscó un nuevo fabricante con ubicación en México tratando de reducir el tiempo de entrega, pero hasta el momento esta medida no ha sido de ayuda ya que tienen menor calidad los productos y, a pesar de que el tiempo de entrega es menor, el nuevo tiempo de fabricación es excesivo que incluso iguala los 4 meses.

*Reprocesos:* Algunos de los procesos han implicado duplicar listas de precios, órdenes de compra y análisis de datos porque no siempre se establece una comunicación efectiva entre los miembros del equipo.

*Inventario:* Todas las órdenes de compra a fábrica generadas por algún miembro del equipo deben ser aprobados por los jefes inmediatos y esto genera otros desperdicios a su vez como la espera.

*Transporte:* Otra medida correctiva en consecuencia a la urgencia de pedidos ha sido el uso de un ensamblado adicional con otra empresa en México, se piden a fábrica las piezas por separado y una vez que llegan a México se envían a otra empresa que se encarga de ensamblar el tablero ya que su ensamble implica precisión y cuidados especiales.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

*Movimiento:* Búsqueda de cantidades, códigos, inventario, históricos en carpetas viejas o plataformas.

*Esperas:* Aprobaciones y espera de información importante como los históricos.

*Talento:* Asignación incorrecta de actividades y falta de capacitación.

### Ishikawa del desabastecimiento de tableros "PT".

Una de las herramientas medulares de la etapa de analizar es sin duda el diagrama de espina de pescado o Ishikawa, porque es la herramienta que nos devela la causa raíz del problema, nos ofrece las posibilidades de descubrir esa causa a través de una primera lluvia de ideas, como nos lo sugiere la teoría. Se analizaron cuatro principales fuentes, la primera es el tiempo ya que estamos trabajando con un producto con características de tiempo de entrega diferente a la mayoría de los otros productos que se comercializan en la misma área, al ser importado los tiempos de entrega aumentan y se convierte así en un factor decisivo para la toma de decisiones.

Como segundo factor se analizó el método pues, no se tenía esclarecimiento sobre la información necesaria para tomar decisiones importantes alrededor de las compras de los tableros, por ejemplo, realizar un pronóstico para la familia de productos. Finalmente se hizo énfasis en el análisis de dos factores carentes en el proceso, herramientas y planeación.

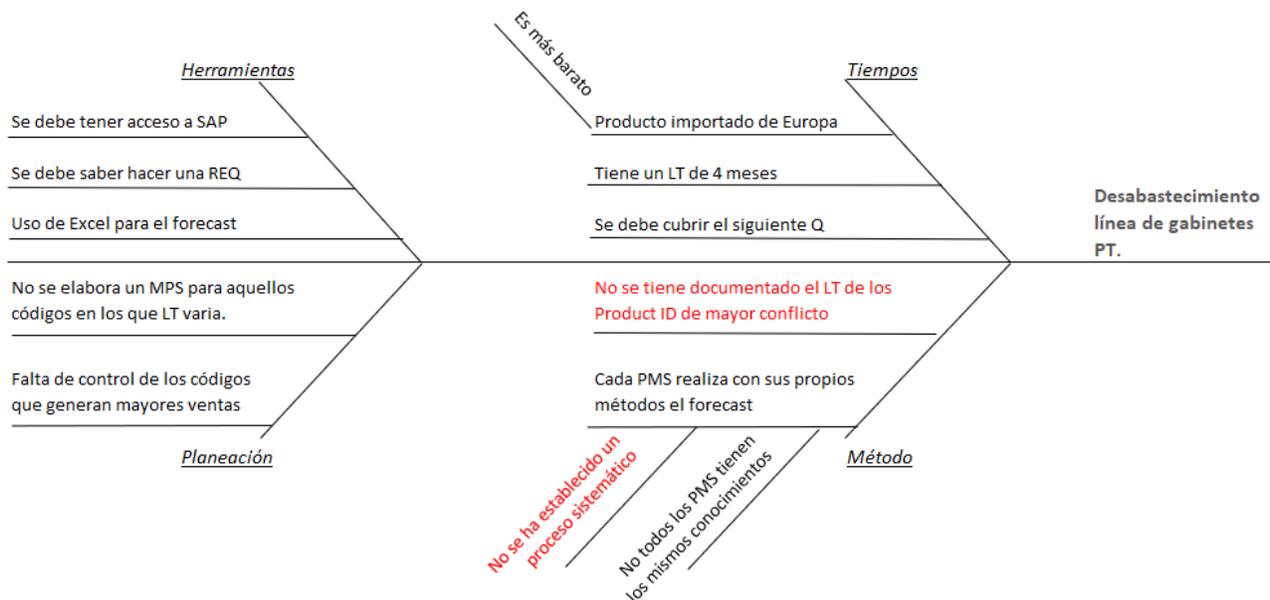


Figura 16. Diagrama de Ishikawa del desabasto de tableros "PT". Elaboración propia.

Así, se llegó a concluir la siguiente causa raíz:

El “tablero PT” es un producto con características diferentes, no se habían tomado el tiempo necesario para analizar y definir cuál sería la mejor manera de abastecerse de este tablero que tiene un tiempo de entrega mucho mayor en comparación con otros productos. En consecuencia, no se había calculado un pronóstico, política de inventario, ni una planeación formal ya que, su ejecución demandaba mayor tiempo y análisis, además implicaba muchas actividades manuales que generaban desperdicio y se podían mecanizar pero que nadie documentó.

### Pareto de los ingresos por compra de tableros.

Pareto es una herramienta importante para cuantificar e identificar cual sería el tamaño del impacto que el proyecto dejará una vez finalizado, es por ello por lo que durante la etapa de analizar se realizó un diagrama de Pareto que recopila la información de todos los tableros que se comercializan en la misma área que el tablero “PT”. Dichos tableros tienen características diferentes y aplicaciones diversas respecto al tablero “PT” pero pertenecen a la misma línea de productos por lo que es importante considerar todos ellos en este diagrama.

Dada una base de datos interna que nos proporcionó la empresa “W”, se cuantificó para cada tipo de tablero el volumen vendido en el año 2021, este es el año con información más completa, veraz y cercana a este estudio por lo que, la podemos tomar como referencia. De donde se obtuvo que:

El 80.4% de los ingresos facturados (revenues) por compra de tableros en el área de electrificación en 2021 estuvo representada por el 22.7% de los modelos de tableros, es decir, que ese 80% de ingresos está dado por 5 de los 22 tipos de productos que pertenecen a la misma línea que los tableros “PT”. Mientras que, en el caso específico de los tableros “PT” por sí solos representan el 17.2% del total de los ingresos facturados en los tableros del área de electrificación.

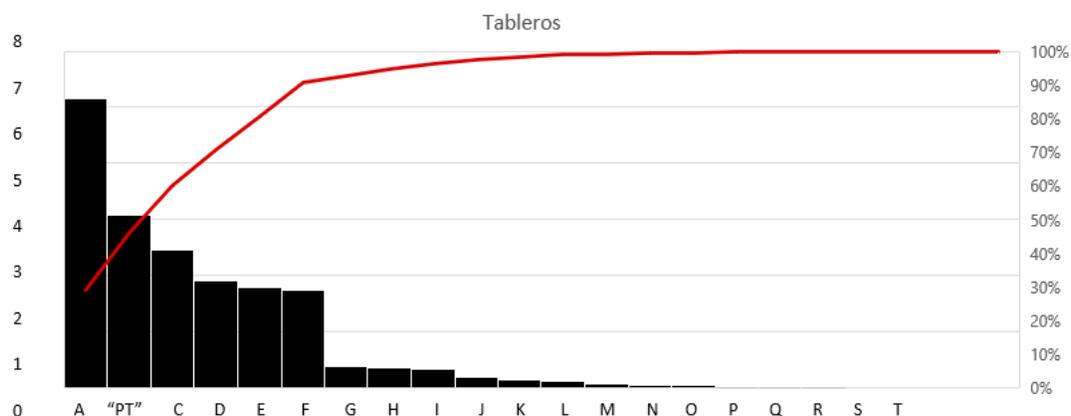


Figura 17. Diagrama de Pareto de la participación por revenues de tableros “PT”. Elaboración propia.

### Gemba walk de las mejoras al proceso de compras de material.

Se eligió oportunamente la realización de un segundo gemba walk en la etapa de analizar porque se dio una primer propuesta donde se planteaban realizar órdenes de compra cada cuatro meses aprovechando el tiempo de entrega y así pedir una nueva orden cada que llegara el embarque de las órdenes pedidas con 4 meses de anticipación y así mantener un stock adecuado además de que la empresa “W” pagaría solo 3 embarques al año pero, gracias a esta revisión junto con la gente de ventas, logística y los involucrados en el proyecto se llegó a la conclusión de que esta propuesta nos limitaba la capacidad de reacción a los proyectos emergentes que comúnmente llegan a la empresa en todo el año por lo que, se optó por hacer revisiones mensuales y dependiendo de la revisión de stock mensual se podrá elegir hacer las PO de los tableros a la fábrica en Egipto cada que se necesitara. En la ficha de la figura 18 se pueden observar los detalles de la realización del gemba de la etapa de analizar.

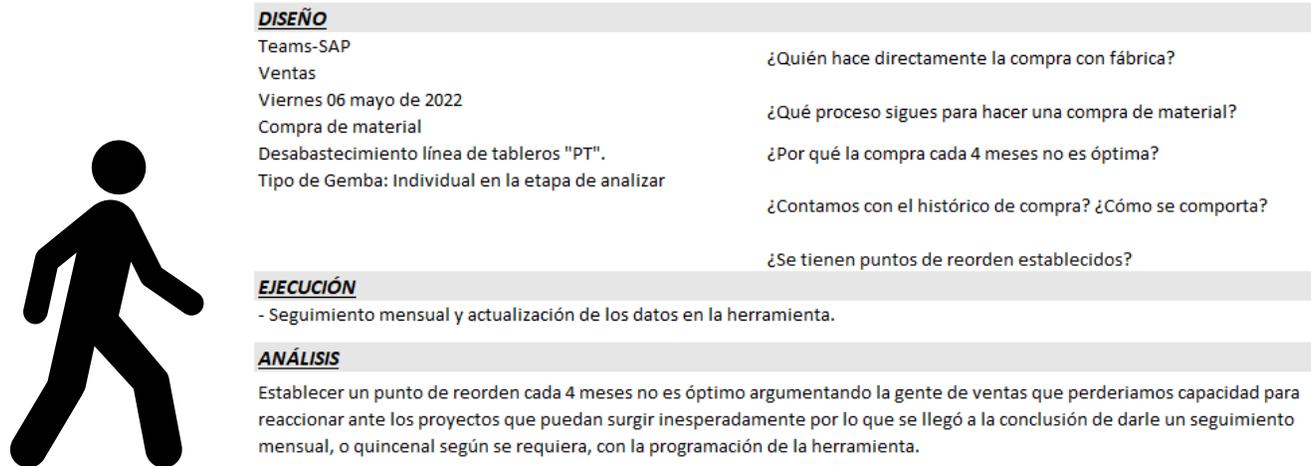


Figura 18. Gemba walk de las mejoras al proceso en la etapa de analizar. Elaboración propia.

### 3.2.4 Mejorar

Siguiendo la metodología DMAIC, llegamos a la cuarta etapa: mejorar. Simultáneamente al uso de las herramientas lean se desarrolló en un software la “Herramienta PT” diseñada y creada para automatizar la planeación de las órdenes de compra (PO) de los tableros “PT”.

Como primera tarea se obtuvieron los históricos de venta de los últimos tres años y se realizó un minucioso análisis del comportamiento de los datos para poder automatizar un pronóstico, crear la política de inventario y sugerir la cantidad de pedido por SKU.

El objetivo principal de la herramienta es ayudar a la toma de decisión de la compra de tableros además de eliminar desperdicios en el proceso.

## Series de tiempo

Más adelante se detallarán los componentes y el funcionamiento de la herramienta, lo que compete ahora es, mostrar los históricos o series de tiempo que son la materia prima de nuestra herramienta. Dichas series de datos se obtuvieron de un software interno que se maneja en la empresa “W”, la obtención de estos datos fue relativamente sencilla dado que la empresa proporcionó casi de manera inmediata el acceso a los datos que se habían recopilado de años anteriores. Por lo que tuvimos acceso a la cantidad de tableros vendidos de cada código por mes del año 2019 al año actual 2022, es decir tres años completos de registros.

La tabla 1 muestra un ejemplo de las series de tiempo que trabajamos, para fines del proyecto se renombraron los SKU y se tomaron cantidades proporcionales a las cantidades reales para mantener el comportamiento de las series de cada código o SKU, así como la privacidad de los datos. Los códigos “PT02” al “PT10” representan las 10 variaciones del tablero “PT”, estas variaciones se deben a capacidades de corriente, número de espacios para interruptores, material de los conductores y tipo de montaje entre otras características técnicas propias de los tableros “PT”.

Para fines didácticos trabajaremos toda la sección de mejorar analizando a detalle únicamente el código “PT05”, se mostrará y se analizará entonces la función detallada de este código en la herramienta para ejemplificar la forma en que se trabajó con todos los otros códigos.

Es importante recordar que las series de datos se obtuvieron mensuales por lo que, se hizo una recopilación de doce series por código, las de los doce meses del año, para tener la información mejor organizada y obtener el resultado deseado que es, observar el comportamiento de los datos. Además, es de remarcar que las cantidades obtenidas en estas series de tiempo son pedidos de clientes, es decir, son cantidades de demanda y no volúmenes de venta ya que demanda y ventas no siempre son lo mismo, cuando se estudian series de tiempo es preferible trabajar con la demanda porque son las veces que los clientes pidieron nuestros productos pero que no siempre llegan a ser ventas por muchos factores, pudo no haber llegado a tiempo, pudo haber cancelaciones de pedidos, o pudo llegar en malas condiciones y se devolvió el producto, por ejemplo.

Siempre que la demanda no esté restringida por la capacidad o por otras políticas administrativas, el pronóstico de la demanda será el mismo que el de las ventas; de lo contrario, las ventas pueden ser un tanto inferiores a la demanda real del cliente. (Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. 2009)

Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

JANUARY Material (SKU)	2019 Cantidad (pz)	2020 Cantidad (pz)	2021 Cantidad (pz)	2022 YTD Cantidad (pz)	Total Cantidad (pz)
PT17	3	-	-	-	3
PT18	3	-	-	4	7
PT19	1	2	-	3	6
PT20	2	1	-	-	3
PT21	3	1	-	-	4
PT22	2	2	-	-	4
PT23	1	2	-	-	3
PY24	3	1	4	4	12
PT25	2	1	2	4	9
<b>PT01</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>3</b>
<b>PT02</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>10</b>
<b>PT03</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>19</b>	<b>0</b>	<b>32</b>
<b>PT04</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>10</b>
<b>PT05</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>22</b>	<b>2</b>	<b>41</b>
<b>PT06</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>26</b>
<b>PT07</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>34</b>
<b>PT08</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>14</b>
<b>PT09</b>	<b>23</b>	<b>6</b>	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>57</b>
<b>PT10</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>11</b>
PT11	1	1	2	2	6
PT12	1	2	1	2	6
PT13	2	1	3	1	7
PT14	-	1	-	4	5
PT15	-	1	-	-	1
PT16	-	1	-	-	1

Tabla 1. Serie de tiempo del mes de enero desde el año 2019. Elaboración propia, obtenido del software de uso interno de la empresa “W”.

Material	Mes	2019	2020	2021
PT05	Jan	14	3	22
	Feb	1	1	6
	Mar	1	0	7
	Apr	2	7	3
	May	3	6	9
	Jun	1	2	18
	Jul	5	1	14
	Aug	2	3	20
	Sep	18	5	8
	Oct	7	0	4
	Nov	8	4	3
	Dec	8	6	2

Figura 19. Organización de los datos por año para cada código. Elaboración propia, obtenido del software de uso interno de la empresa “W”.

Es importante mencionar que hubo casos en los que algunas series de tiempo tuvieron números negativos, lo que indica devoluciones de productos, estos datos se consideraron como ceros para efectos de una mejor programación del pronóstico.

### Patrón en la serie de tiempo

Un vez recopiladas y organizadas las series de tiempo, como en la figura 19, se creó un formato en el software donde se desarrolló la herramienta, para recopilar las cantidades de órdenes para los tres años consecutivos de acuerdo con el código buscado, además, nos proporciona el gráfico para dicha serie de datos.

		2019	2020	2021
Material	Mes	Cantidad (pz)	Cantidad (pz)	Cantidad (pz)
PT05	Jan	14	3	22
	Feb	1	1	6
	Mar	1	0	7
	Apr	2	7	3
	May	3	6	9
	Jun	1	2	18
	Jul	5	1	14
	Aug	2	3	20
	Sep	18	5	8
	Oct	7	0	4
	Nov	8	4	3
	Dec	8	6	2

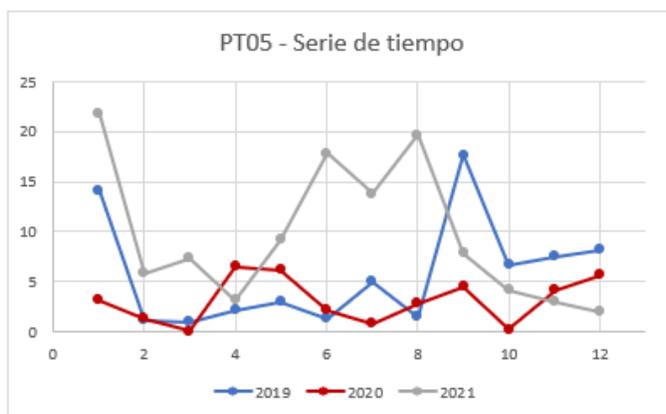


Figura 20. Análisis por código con gráfica de tendencia para los registros de demanda de los tres años anteriores. Elaboración propia.

Se analizó el comportamiento de las series en los últimos tres años anteriores para los diez SKU en cuestión y se observaron en promedio dos picos de demanda; el primero en enero y el segundo entre septiembre y octubre para toda la familia de tableros “PT”. Se llegó a la conclusión de que los picos de enero se originan con el aumento de precios que hay cada año, estos se anuncian entre diciembre y enero y se autorizan en las últimas semanas de enero por lo que, los distribuidores y otros clientes prefieren abastecerse de productos justo antes de que los nuevos precios entren en vigor. Por su parte los picos entre septiembre y octubre se originan por la falta de producto en inventario de distribuidores y otros clientes ya que se encuentran en el tercer o último cuarto del año (Q3 y Q4) y, para entonces ya han vendido lo que compraron al inicio del año, además ha coincido según la opinión de los directivos del área que, entre estos meses se presentan comúnmente proyectos con otras grandes empresas en los que la empresa “W” participa con estos y otros productos eléctricos.

Una vez realizadas estas observaciones se llegó a la conclusión de que las series de tiempo de la familia de tableros “PT” tiene un patrón estacional dado que, en un corto horizonte de tiempo, en este caso en

promedio 12 meses se observan diferentes “picos” o “valles” en la serie. Se considera además que presenta estacionalidad porque hay un patrón que se repite cada 12 periodos, es decir, el comportamiento de picos en enero y entre agosto o septiembre se repite para cada año por lo que el número de periodos para esta serie será  $N = 12$  que se utilizará más adelante en los cálculos.

Es importante mencionar que para efecto de los resultados en el proyecto se despreció la serie de tiempo del año 2020 por su inconsistencia ya que, fue un año atípico lleno de incertidumbre por la reciente pandemia surgida en el mundo. La gráfica de la figura 20 nos muestra como la serie de ese año permanece en la mayoría de los meses por debajo de las series de los años en contraste a excepción del mes de junio, que fue un mes lleno de incertidumbre porque durante abril y mayo se habían cerrado muchos lugares en el mundo, muchas producciones se detuvieron y el futuro era aún más incierto de lo que ya es, al pasar esos meses en cuarentena por la pandemia se dieron cuenta que la pandemia, el cierre y la ralentización de muchos procesos en el mundo sería un asunto a largo plazo por lo que probablemente decidieron abastecerse de productos.

En contraste tenemos la serie del 2021 que a pesar de conservar los valles o picos de la estacionalidad que estamos asumiendo lo hace en diferentes momentos, observamos como en este año algunas industrias y mercados están intentando levantarse del cierre parcial por la pandemia. Por estas razones se ha identificado que la serie de 2019 es la más representativa para la familia de tableros “PT” y, en consecuencia, para desarrollar el método de pronóstico de este proyecto se hará uso solamente de las series de los años 2019 y 2021.

### Distribución de probabilidad de la demanda

Para la aplicación del modelo de inventario Order Up To Level, que se desarrollará más adelante, es oportuno conocer primero la distribución de probabilidad del conjunto de datos analizados por lo que, se graficó la demanda mensual registrada en el año 2021, para observar la distribución de probabilidad que mejor representa la demanda de los tableros “PT”.

La figura 21 muestra la gráfica de la distribución de probabilidad para 4 de los 10 SKU en estudio de los tableros “PT” a modo de ejemplo. Se puede observar gráficamente que los histogramas presentan un comportamiento similar; la distribución Normal. Se trabajó con una muestra de 36 datos, el número de piezas vendidas por mes del año 2019 al 2021 por lo que estamos trabajando una muestra grande, es decir, mayor a 30 y con apoyo del Teorema central del Límite sabiendo que considera una muestra mayor o igual a 30 suficiente para que se mantenga el teorema, podemos decir entonces que, la distribución de las medias muestrales se distribuye de manera normal.

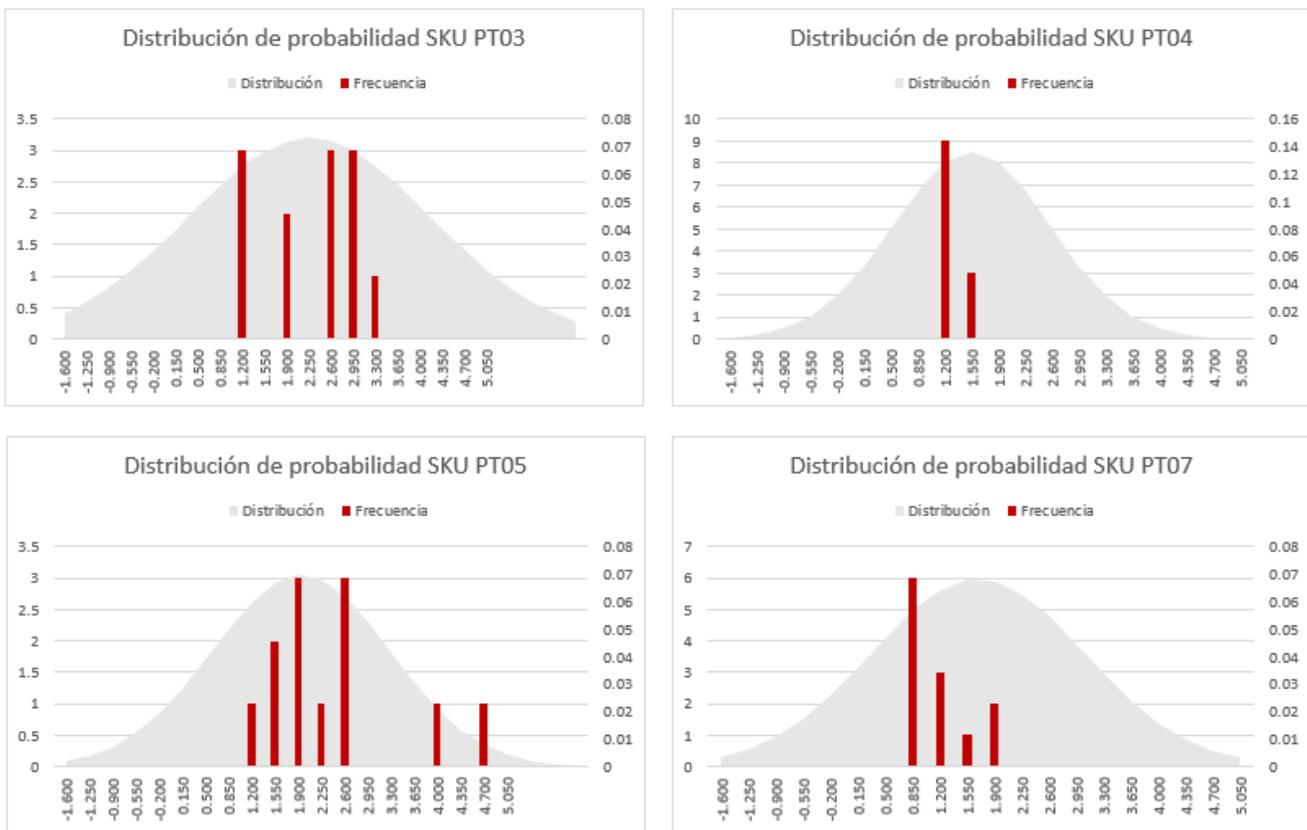


Figura 21. Distribución de probabilidad para los tableros “PT”. Elaboración propia.

### Selección del método de pronóstico

- I. Sofisticación del usuario y del sistema: Los usuarios de la herramienta que se entregará al final del proyecto, son los líderes del área de producto por lo que el método de pronóstico debe estar acoplado con los conocimientos y la sofisticación de dichos usuarios. Se ha observado que la mayoría de ellos desconoce los métodos de pronóstico además de que existe alta rotación de personal en esta área y el equipo generalmente es muy diverso, los líderes tienen distintas especialidades, edades y hasta nacionalidades por lo que el equipo se podría mostrar renuente a aplicar resultados que provienen de técnicas que no entienden además de que una vez que se entregue la herramienta no estarían motivados a darle continuidad.  
Se elegirá un modelo sencillo de pronóstico ya que, en muchas ocasiones, pueden tener un excelente desempeño de acuerdo con las veces que se le ha comparado con otros métodos, además recordamos que la sofisticación no es la meta final para el pronóstico de este proyecto y debe ser un método que esté al alcance de los usuarios.
- II. Tiempo y recursos disponibles. El tiempo disponible necesario para la recopilación de los datos y la preparación del pronóstico fue limitada ya que únicamente se contaban con 3 meses máximo para el desarrollo no sólo de del pronóstico sino de toda la herramienta, incluso el uso y las pruebas a la herramienta estaban incluidas en este periodo de tiempo. Además, se contaba con escasos recursos por lo que una sola persona fue la encargada de preparar los pronósticos y de la recolección de datos.
- III. Aplicación o características de la decisión. Un pronóstico dedicado a la programación de la producción o dirigido a la administración de inventario, como en el caso de este proyecto, es una aplicación con un horizonte de tiempo corto, por lo que se estará actualizando recurrentemente, requiere una exactitud alta y un método de pronóstico basado en una serie de tiempo como las que se obtuvieron para este proyecto.
- IV. Disponibilidad de los datos. Existen métodos de pronóstico que están restringidos por la enorme cantidad de datos que necesitan para operar eficazmente, en este caso usaremos un método sencillo que no nos exija un número exorbitante de datos pues como hemos mencionado con anterioridad aunque la obtención de datos fue rápida y sencilla se cuenta con 36 puntos de datos, es decir 3 años completos de registros pero, trabajaremos sólo con 24 puntos dado que por condiciones externas a la empresa una de la series no ofrece datos fieles al comportamiento de la demanda. Finalmente suponemos que los datos recopilados son de buena calidad porque que se actualizan diariamente en la plataforma de uso interno de la empresa “W”.
- V. Patrón de los datos. Por todas las razones expuestas anteriormente se contempla el uso de métodos de pronóstico como promedios móviles, regresión lineal o el método por suavizamiento

exponencial triple o también llamado método de Winter y, aunado a las cuatro razones ya expuestas anteriormente recordemos que, hemos definido a las series de tiempo de los tableros “PT” como series con patrones estacionales. Por experiencia en el uso de pronósticos con regresión lineal, se puede afirmar que a pesar de sus bajos niveles de error de pronóstico es un método que generalmente está por debajo de los valores de demanda observada, razón por la cual nos tomaría más tiempo recuperarnos en los periodos de valles o picos tratándose de una serie estacional, mientras que métodos como Winter nos permiten recuperarnos cuando venimos de periodos dónde sobre produjo o dónde estuvo bajo demanda por ejemplo, y costaría menos tiempo recuperarnos o reabastécenos entre un periodo y otro.

Hasta el momento el método de Winter parece el más adecuado de acuerdo con el patrón de datos de nuestra serie, pero no olvidemos que tenemos otros cuatro factores muy importantes para este proyecto como la sofisticación y conocimiento del usuario. En este caso se contempla el uso de un método mucho más simple como lo son los promedios móviles donde se podría hacer uso de otras herramientas y combinarlas, por ejemplo, desestacionalizar la serie con ayuda de los factores estacionales y aplicar el método de promedios móviles, al desestacionalizar la serie ésta se puede tratar como una serie estacionaria y una vez que se ha aplicado el método de promedios móviles se regresa la estacionalidad a la serie para obtener el pronóstico final. Este método muestra por experiencia, un acercamiento importante a métodos con mayor precisión como lo es el método Winter, además de que logran adaptarse de manera inteligente, y gracias a los factores estacionales, a las series de tiempo, por lo que también nos ofrece mayor capacidad de reacción en los picos o valles en los que el método queda por debajo o por encima de la demanda observada. Por lo tanto, se aplicará el método de promedios móviles junto con los factores estacionales para la programación de los pronósticos de las diez variaciones de los tableros “PT” en la empresa “W”.

### **Programación del pronóstico**

Una vez seleccionado el método de pronóstico se comenzó enumerando los periodos de la serie por lo que se tienen 24 periodos correspondientes a los dos años completos de registros con los que se cuenta para el proyecto, asimismo se colocó la demanda correspondiente a cada mes del año 2019 como del año 2021 como se muestra en la figura 22. Como se hizo mención en el análisis del patrón de la serie, estamos estudiando un patrón estacional que se repite cada 12 periodos, es decir, el comportamiento de picos en enero y entre septiembre y octubre, que se repite cada año por lo que, el número de periodos para esta serie será  $N = 12$  entonces, el ciclo 1 de la serie corresponde con los 12 meses del primer año y el ciclo 2 de la serie corresponde con los siguientes 12 meses del segundo año.

Como se ha mencionado anteriormente, tomaremos el código “PT05” como referencia para explicar a detalle cómo se desarrollaron los pronósticos de los diez códigos en estudio.

Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

	PERIODO	Demanda	Factor estacional	Factor estacional			D desestacionalizada	F(t) (Prom. Movil k=2 sin estacionalidad)	F(t) con estacionalidad	MAD	MAPE
				Prom	Ct	Ct					
2019	enero	14.17	ciclo1	5.78	2.4519	2.3585	6.0066				
	febrero	1.17	ciclo1		0.2019	0.4036	2.8910				
	marzo	1.00	ciclo1		0.1731	0.4669	2.1416				
	abril	2.17	ciclo1		0.3750	0.3518	6.1594				
	mayo	3.00	ciclo1	9.64	0.5192	0.7351	4.0810				
	junio	1.33	ciclo1		0.2308	1.0405	1.2815				
	julio	5.00	ciclo1		0.8654	1.1503	4.3468	3.7602	4.3252	0.6748	0.1350
	agosto	1.50	ciclo1		0.2596	1.1500	1.3044	3.4835	4.0060	2.5060	1.6707
	septiembre	17.67	ciclo1	3.0577	1.9352	9.1292	3.2191	6.2296	11.4371	0.6474	
	octubre	6.67	ciclo1	1.1538	0.7931	8.4062	4.3837	3.4765	3.1901	0.4785	
	noviembre	7.50	ciclo1	1.2981	0.8047	9.3207	4.7582	3.8287	3.6713	0.4895	
	diciembre	8.17	ciclo1	1.4135	0.8105	10.0764	5.6315	4.5642	3.6025	0.4411	
2021	enero	21.83	ciclo2	2.2651		9.2572	7.0973	16.7391	5.0942	0.2333	
	febrero	5.83	ciclo2	0.6052		14.4549	7.9157	3.1944	2.6389	0.4524	
	marzo	7.33	ciclo2	0.7608		15.7050	10.1074	4.7196	2.6138	0.3564	
	abril	3.17	ciclo2	0.3285		9.0022	11.2034	3.9410	0.7743	0.2445	
	mayo	9.17	ciclo2	0.9510		12.4696	11.3027	8.3089	0.8578	0.0936	
	junio	17.83	ciclo2	1.8501		17.1399	11.8275	12.3061	5.5273	0.3099	
	julio	13.83	ciclo2	1.4352		12.0261	13.0048	14.9591	1.1257	0.0814	
	agosto	19.67	ciclo2	2.0403		17.1017	13.4663	15.4860	4.1807	0.2126	
	septiembre	7.83	ciclo2	0.8127		4.0478	13.9074	26.9135	19.0802	2.4358	
	octubre	4.17	ciclo2	0.4323		5.2539	11.9646	9.4886	5.3220	1.2773	
	noviembre	3.00	ciclo2	0.3112		3.7283	11.3399	9.1247	6.1247	2.0416	
	diciembre	2.00	ciclo2	0.2075		2.4677	9.8830	8.0099	6.0099	3.0050	
PRONÓSTICO	enero						7.4376	18	4.6906	0.8114	
	febrero							3			
	marzo							3			
	abril							3			
	mayo							5			
	junio							8			
	julio							9			
	agosto							9			
	septiembre							14			
	octubre							6			
	noviembre							6			
	diciembre							6			

Figura 22. Programación del pronóstico por promedio móviles para el código "PT05". Elaboración propia.

El primer tratamiento que se le dio a la serie de tiempo fue quitar la estacionalidad de la serie, para lograrlo se calcularon los factores estacionales. Inicialmente se obtuvieron los promedios de la demanda observada por ciclo. Estos promedios (C), sirven para calcular el antecedente al factor estacional (C<sub>t</sub>), que se obtiene como:

$$C = \frac{\text{Demanda observada para el periodo } t}{\text{Promedio del ciclo en estudio}}$$

	PERIODO	Demanda	Factor estacional	Factor estacional			D desestacionalizada	f(t) (Prom. Movil k=2 sin estacionalidad)	F(t) con estacionalidad
				Prom	C	Ct			
2019	enero	14.17	ciclo1	5.78	2.4519	2.3585	6.0066		
	febrero	1.17	ciclo1		0.2019	0.4036	2.8910		
	marzo	1.00	ciclo1		0.1731	0.4669	2.1416		
	abril	2.17	ciclo1		0.3750	0.3518	6.1594		
	mayo	3.00	ciclo1	=E212/\$G\$208			4.0810		
	junio	1.33	ciclo1	9.64			1.2815		
	julio	5.00	ciclo1		0.8654	1.1503	4.3468	3.7602	4.3252

Figura 23. Cálculo de los promedios "C" para el código "PT05". Elaboración propia.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

Una vez que obtuvimos el antecedente ( $C$ ) se calcula el factor estacional ( $C_t$ ), o también conocidos como índices de estacionalidad, que se calculan como el promedio con respecto a los periodos semejantes ( $C$ )

$$C_t = \frac{C(t) \text{ ciclo 1} + C(t) \text{ ciclo 2}}{\text{Número de ciclos}}$$

				Factor estacional		D desestacionalizada	f(t) (Prom. Movil k=2 sin estacionalidad)	F(t) con estacionalidad		
	PERIODO	Demanda		Prom	C				C't	
2019	enero	1	14.17	ciclo1	5.78	=PROMEDIO(H208,H220)	6.0066			
	febrero	2	1.17	ciclo1				2.8910		
	marzo	3	1.00	ciclo1		0.1731	0.4669	2.1416		
	abril	4	2.17	ciclo1		0.3750	0.3518	6.1594		
	mayo	5	3.00	ciclo1	9.64	0.5192	0.7351	4.0810		
	junio	6	1.33	ciclo1		0.2308	1.0405	1.2815		
	julio	7	5.00	ciclo1		0.8654	1.1503	4.3468	3.7602	4.3252
	agosto	8	1.50	ciclo1		0.2596	1.1500	1.3044	3.4835	4.0060

Figura 24. Cálculo del factor estacional "Ct" para el código "PT05". Elaboración propia.

En este caso promediamos los factores estacionales para los periodos correspondientes a enero del ciclo uno y el ciclo 2 y así sucesivamente para todos los meses del año. Finalmente se calcula la demanda desestacionalizada como sigue a continuación:

$$D \text{ desestacionalizada}_N = \frac{\text{Demanda observada para el periodo } t}{C_t \text{ por periodo}}$$

				Factor estacional		D desestacionalizada	f(t) (Prom. Movil k=2 sin estacionalidad)	F(t) con estacionalidad		
	PERIODO	Demanda		Prom	C				C't	
2019	enero	1	14.17	ciclo1	5.78	2.4519	2.3585	6.0066		
	febrero	2	1.17	ciclo1		0.2019	0.4036			
	marzo	3	1.00	ciclo1		0.1731	0.4669	=E210/I210		
	abril	4	2.17	ciclo1		0.3750	0.3518	6.1594		
	mayo	5	3.00	ciclo1	9.64	0.5192	0.7351	4.0810		
	junio	6	1.33	ciclo1		0.2308	1.0405	1.2815		
	julio	7	5.00	ciclo1		0.8654	1.1503	4.3468	3.7602	4.3252
	agosto	8	1.50	ciclo1		0.2596	1.1500	1.3044	3.4835	4.0060
	septiembre	9	17.67	ciclo1		3.0577	1.9352	9.1292	3.2191	6.2296
	octubre	10	6.67	ciclo1		1.1538	0.7931	8.4062	4.3837	3.4765
	noviembre	11	7.50	ciclo1		1.2981	0.8047	9.3207	4.7582	3.8287
	diciembre	12	8.17	ciclo1		1.4135	0.8105	10.0764	5.6315	4.5642

Figura 25. Cálculo la demanda desestacionalizada para el código "PT05". Elaboración propia.

Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

Seguido de este cálculo, se aplicó el método por promedios móviles ( $f_t$ ). Para iniciar el método se eligió el número de periodos a promediar ( $k = 6$ ). Dado que las piezas demandadas presentan una variación importante entre cada uno de los meses del año se escogió para una mejor aproximación a la demanda y la estacionalidad observada, promediar los seis periodos inmediatos anteriores ya que se observó la variación en los porcentajes de error a través de la prueba con diferentes números de periodos. Cuando se promediaba una  $k = 2$  el error se disparaba dado que solo se tomaban en consideración dos valores de los 12 del año y al final la cantidad de tableros pronosticados a consumir en el año resultaba ser mucho menor que los años anteriores por lo que no hacía sentido de acuerdo con el crecimiento que se ha observado en los últimos años. Esto se resolvió considerando más periodos a promediar, por ello se concluyó realizar el pronóstico con una  $k = 6$ .

Entonces, se calcula la demanda promedio ( $f_t$ ) para los N periodos anteriores en el momento  $t$  como se muestra a continuación para el periodo de tiempo uno que corresponde al mes de enero 2019 como ejemplo:

$$F_{(7)}\text{desestacionalizado} = \frac{6.0066 + 2.891 + 2.1416 + 6.1594 + 4.0810 + 1.2815}{6} = 3.7602$$

Y así sucesivamente para los 24 periodos de tiempo (t). Después del periodo 24 ya no se cuenta con más datos de demanda observada por lo que el periodo 25 que se calculó con el promedio de los dos últimos datos de demanda desestacionalizada que se conserva para poder calcular el pronóstico de los siguientes 11 periodos restantes hasta el mes de diciembre.

	PERIODO	Demanda	Factor estacional						
				Prom	C	C't	D desestacionalizada	f(t) (Prom. Movil k=2 sin estacionalidad)	F(t) con estacionalidad
2019	enero	14.17	ciclo1	5.78	2.4519	2.3585	6.0066		
	febrero	1.17	ciclo1		0.2019	0.4036	2.8910		
	marzo	1.00	ciclo1		0.1731	0.4669	2.1416		
	abril	2.17	ciclo1		0.3750	0.3518	6.1594		
	mayo	3.00	ciclo1	9.64	0.5192	0.7351	4.0810		
	junio	1.33	ciclo1		0.2308	1.0405	1.2815		
	julio	5.00	ciclo1		0.8654	1.1503	4.3468	=PROMEDIO(J208:J213)	4.3252
	agosto	1.50	ciclo1		0.2596	1.1500	1.3044	3.4835	4.0060

Figura 26. Cálculo del pronóstico por promedios móviles con k=2 para la demanda desestacionalizada del código "PT05". Elaboración propia.

Finalmente, para el pronóstico regresamos la estacionalidad a la serie, multiplicando al pronóstico ( $f_t$ ) desestacionalizado con el factor estacional correspondiente al mismo periodo (t) calculado anteriormente.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

	PERIODO	Demanda	Factor estacional		C	C't	D desestacionalizada	f(t) (Prom. Movil k=2 sin estacionalidad)	F(t) con estacionalidad
			Prom						
2019	enero	14.17	ciclo1	5.78	2.4519	2.3585	6.0066		
	febrero	1.17	ciclo1		0.2019	0.4036	2.8910		
	marzo	1.00	ciclo1		0.1731	0.4669	2.1416		
	abril	2.17	ciclo1		0.3750	0.3518	6.1594		
	mayo	3.00	ciclo1	9.64	0.5192	0.7351	4.0810		
	junio	1.33	ciclo1		0.2308	1.0405	1.2815		
	julio	5.00	ciclo1		0.8654	1.1503	4.3468	3.7602	=K214*I214
	agosto	1.50	ciclo1		0.2596	1.1500	1.3044	3.4835	4.0060

Figura 27. Cálculo del pronóstico por promedios móviles con k=2 para la demanda con estacionalidad del código "PT05". Elaboración propia.

Adicionalmente al cálculo del pronóstico para los siguientes 12 periodos se calculó el error de pronóstico MAD (Mean Absolut Desviation) o desviación media absoluta y MAPE (Mean Average Percentual Error) para llevar una medida de la variación que presentó nuestro pronóstico con respecto a la demanda observada, además de poder tener un punto de comparación del error contra futuros métodos de pronóstico que se calculen.

Recordemos además que se define al factor estacional como el porcentaje por encima o por debajo de la media de la serie de datos que tiene la estación.

Adicionalmente, se prueba una de las características mencionadas en el capítulo anterior donde la suma de los factores estacionales suma  $N$ , dónde  $N$  es el número de periodos de la serie de tiempo en este caso trabajamos con 24 periodos por lo que  $\sum C = N$ .

Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

	PERIODO	Demanda	Factor estacional	Factor estacional			D desestacionalizada	f(t) (Prom. Movil k=2 sin estacionalidad)	F(t) con estacionalidad	MAD	MAPE
				Prom	C	C't					
2019	enero	14.17	ciclo1	5.78	2.4519	2.3585	6.0066				
	febrero	1.17	ciclo1		0.2019	0.4036	2.8910				
	marzo	1.00	ciclo1		0.1731	0.4669	2.1416				
	abril	2.17	ciclo1		0.3750	0.3518	6.1594				
	mayo	3.00	ciclo1	9.64	0.5192	0.7351	4.0810				
	junio	1.33	ciclo1		0.2308	1.0405	1.2815				
	julio	5.00	ciclo1		0.8654	1.1503	4.3468	3.7602	4.3252	0.6748	0.1350
	agosto	1.50	ciclo1		0.2596	1.1500	1.3044	3.4835	4.0060	2.5060	1.6707
	septiembre	17.67	ciclo1	3.0577	1.9352	9.1292	3.2191	6.2296	11.4371	0.6474	
	octubre	6.67	ciclo1	1.1538	0.7931	8.4062	4.3837	3.4765	3.1901	0.4785	
	noviembre	7.50	ciclo1	1.2981	0.8047	9.3207	4.7582	3.8287	3.6713	0.4895	
	diciembre	8.17	ciclo1	1.4135	0.8105	10.0764	5.6315	4.5642	3.6025	0.4411	
2021	enero	21.83	ciclo2	2.2651			9.2572	7.0973	16.7391	5.0942	0.2333
	febrero	5.83	ciclo2	0.6052			14.4549	7.9157	3.1944	2.6389	0.4524
	marzo	7.33	ciclo2	0.7608			15.7050	10.1074	4.7196	2.6138	0.3564
	abril	3.17	ciclo2	0.3285			9.0022	11.2034	3.9410	0.7743	0.2445
	mayo	9.17	ciclo2	0.9510			12.4696	11.3027	8.3089	0.8578	0.0936
	junio	17.83	ciclo2	1.8501			17.1399	11.8275	12.3061	5.5273	0.3099
	julio	13.83	ciclo2	1.4352			12.0261	13.0048	14.9591	1.1257	0.0814
	agosto	19.67	ciclo2	2.0403			17.1017	13.4663	15.4860	4.1807	0.2126
	septiembre	7.83	ciclo2	0.8127			4.0478	13.9074	26.9135	19.0802	2.4358
	octubre	4.17	ciclo2	0.4323			5.2539	11.9646	9.4886	5.3220	1.2773
	noviembre	3.00	ciclo2	0.3112			3.7283	11.3399	9.1247	6.1247	2.0416
	diciembre	2.00	ciclo2	0.3075			2.4677	9.8830	8.0099	6.0099	3.0050
				$\sum C =$	24.0000			7.4376	18	4.6906	0.8114
PRONÓSTICO	enero								3		
	febrero								3		
	marzo								3		
	abril								3		
	mayo								5		
	junio								8		
	julio								9		
	agosto								9		
	septiembre								14		
	octubre								6		
	noviembre								6		
	diciembre								6		

Figura 28. Suma de los factores estacionales. Elaboración propia.

Una vez que se programó de la misma manera el pronóstico, para los 10 códigos en estudio, se recopilaron los resultados. Se sigue analizando el código "PT05" como se muestra en la figura 24, donde recopilamos la demanda observada desde 2019 y su gráfica. Además, se muestra el pronóstico que se calculó ya previamente para el año 2022.

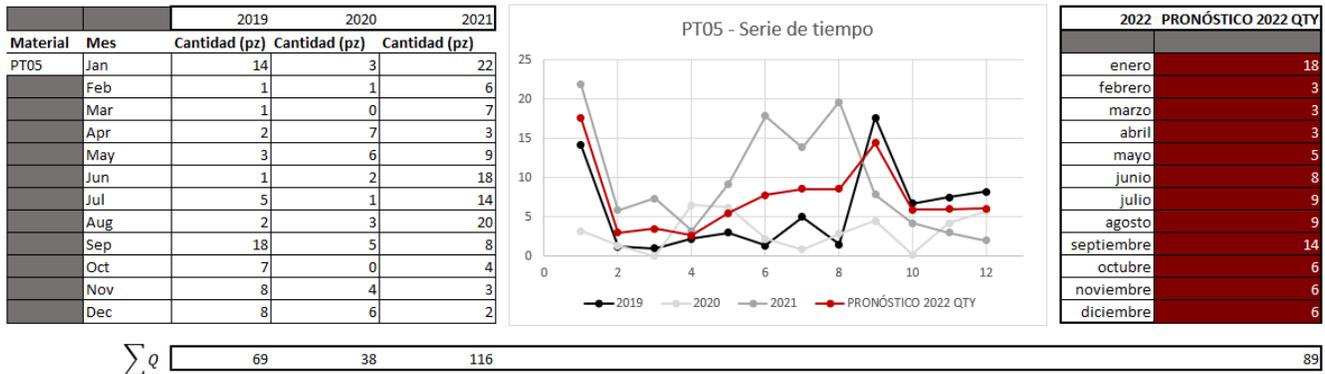


Figura 29. Gráfica de tendencia y pronóstico del año 2019, 2020 y 2021 para el código "aa". Elaboración propia.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

Una vez ejecutado el método de desestacionalización de la demanda se graficó dicha demanda desestacionalizada para observar nuevamente el comportamiento y poder confirmar que la serie presenta estacionalidad como se muestra en la figura 25.

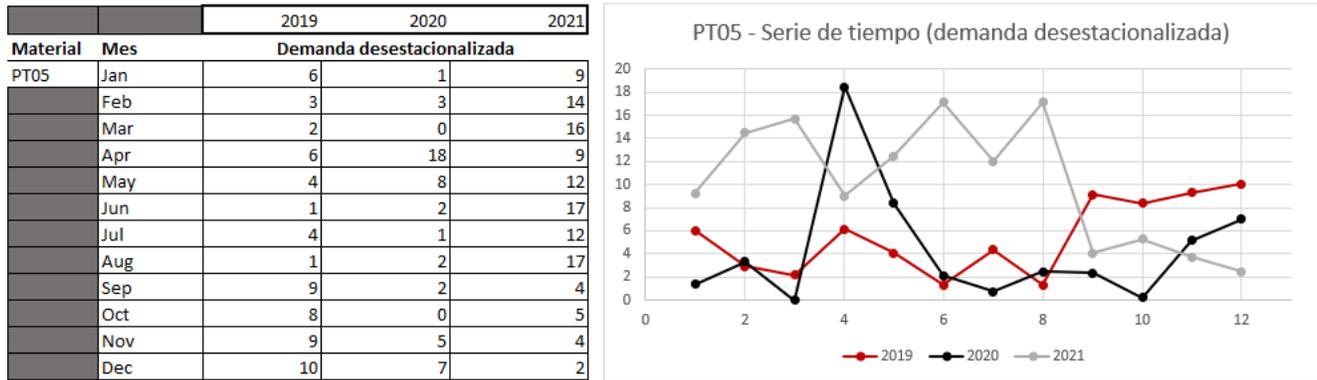


Figura 30. Gráfica de demanda desestacionalizada del año 2019 para el código “PT05”. Elaboración propia.

Para fines de la programación, se diseñó una tabla con el resumen de la lista de códigos que se soliciten en la hoja principal de la herramienta, como se explicará más adelante, que muestra el pronóstico para esa lista de códigos, lo que facilita la visualización de los pronósticos calculados y mejora la disponibilidad de estos datos de entrada a la programación de la hoja principal de la herramienta, además ayuda con la tarea del pronóstico cuando se solicita al final del año a los managers una estimación del Budget de cada línea de producto para el año siguiente.

### QTY PRONÓSTICO

Sum of PRONÓSTICO QTY	Etiquetas de columna												Total general
Etiquetas de fila	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec (en blanco)	Total general
PT01	2	2	1	1	1	1	0	1	2	1	0	1	13
PT02	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	5
PT03	7	2	2	5	2	3	6	6	7	3	6	6	55
PT04	1	1	2	0	1	1	0	1	1	1	1	1	10
PT05	18	3	3	3	5	8	9	9	14	6	6	6	89
PT06	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	9
PT07	7	2	2	4	2	2	4	6	9	3	4	3	48
PT08	1	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	10
PT09	6	1	1	2	2	3	2	7	5	2	4	3	39
PT10	2	1	1	1	1	3	0	3	1	2	3	1	20
<b>Total general</b>	<b>46</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>43</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>298</b>

Figura 31. Tabla del resumen del pronóstico por código. Elaboración propia.

## Política de inventarios

Una vez calculado el pronóstico, se programó el modelo Order Up To Level (OUTL) en el software con las reglas y definiciones presentadas en el capítulo 2 del marco teórico. En primer lugar, se establecieron los parámetros bajo los que trabajaremos los cálculos:

Duración de un periodo: 1 mes

LT (lead time o tiempo de entrega): 4 meses

Demanda promedio mensual ( $\mu_0$ ): Se sumó el volumen total en piezas de tableros, en este caso el SKU "PT05", con los registros del año 2019 al 2021, luego se dividió entre los 36 meses efectivos que son los que la empresa trabaja y corresponden con dicho periodo. Luego, se calculó el promedio mensual esperado para el número de periodos  $l + 1$ . ( $\mu_5$ ) es decir, cinco veces la demanda promedio mensual ( $\mu_0$ ) que se calculó anteriormente.

Seguido de la demanda promedio mensual se calculó la desviación estándar ( $\sigma_0$ ) y la desviación estándar para el número de periodos  $l + 1$  ( $\sigma_5$ ).

Probabilidad en stock: Se definió, en conjunto con la dirección, el nivel de servicio de 99% (Service Level) para poder entonces, calcular con la distribución normal que es la distribución que mejor representa a nuestros datos como se mostró anteriormente, la predicción del número de eventos en un determinado período de tiempo, en este caso, el número de tableros que se esperan como demanda en el intervalo de un mes, para cada mes del año en curso.

Finalmente obtuvimos el nivel S (Order Up To Level) o posición de inventario máximo que permitimos en piezas, calculando la Inversa de la distribución acumulativa normal para los términos anteriores.

Par este cálculo dentro del software usamos la fórmula de la distribución normal con la siguiente sintaxis:

**INV. NORM(probabilidad, media, desv\_estándar)**

La sintaxis de la función INV.NORM tiene los siguientes argumentos:

Probabilidad: Es una probabilidad correspondiente a la distribución normal, en nuestro caso la probabilidad en stock que se concretó del 99%.

Media: Es la media aritmética de la distribución.

Desviación estándar: Es la desviación estándar de la distribución.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

SKU 5- PT05		SKU 5- PT05	
Demanda promedio mensual	6.181	Demanda promedio mensual	6.181
$\mu_5$	30.903	$\mu_5$	30.903
Desviación estandar	5.705	Desviación estandar	5.705
$\sigma_5$	12.757	$\sigma_5$	12.757
LT	5	LT	5
Probabilidad en stock	99%	Probabilidad en stock	99%
<b>S</b>	<b>=INV.NORM(C45,C41,C43)</b>	<b>S</b>	<b>61</b>

Figura 32. Cálculo del nivel S (Order Up To Level) o posición de inventario máximo que permitimos para el SKU "PT05". Elaboración propia.

Una vez que se calculó la posición de inventario máximo que permitimos en piezas para un nivel de servicio del 99% (nivel S máximo), en este caso el número de tableros mensuales para los 10 códigos en estudio, se programó el cálculo del nivel de inventario, la posición de inventario y la cantidad a ordenar en cada periodo.

Código	Descripción	S max OUTL (S)	Inventario on hand	Backorder	Inventario de pedido	Nivel de inventario	Posición de inventario	SS	CANTIDAD A ORDENAR CADA PERIODO (SOQ)
PT01	Tablero 12 modulos N	5	1	0	33	=I41-J41	34	2	-27
PT02	Tablero 12 modulos X	23	3	8	37		32	10	2
PT03	Tablero 14 modulos N	35	3	0	41		44	10	2
PT04	Tablero 14 modulos X	16	0	32	41		9	5	12
PT05	Tablero 16 modulos N	61	38	1	43		80	30	10
PT06	Tablero 16 modulos X	33	0	21	38		17	21	37
PT07	Tablero 18 modulos N	61	0	3	44		41	30	50
PT08	Tablero 18 modulos X	28	1	54	56		3	17	42
PT09	Tablero 20 modulos N	90	76	0	35		111	40	19
PT10	Tablero 20 modulos X	14	0	87	30		-57	7	78

Figura 33. Programación del nivel de inventario. Elaboración propia.

Código	Descripción	S max OUTL (S)	Inventario on hand	Backorder	Inventario de pedido	Nivel de inventario	Posición de inventario	SS	CANTIDAD A ORDENAR CADA PERIODO (SOQ)
PT01	Tablero 12 modulos N	5	1	0	33	1	=L41+K41	2	-27
PT02	Tablero 12 modulos X	23	3	8	37		32	10	2
PT03	Tablero 14 modulos N	35	3	0	41		44	10	2
PT04	Tablero 14 modulos X	16	0	32	41		9	5	12
PT05	Tablero 16 modulos N	61	38	1	43		80	30	10
PT06	Tablero 16 modulos X	33	0	21	38		17	21	37
PT07	Tablero 18 modulos N	61	0	3	44		41	30	50
PT08	Tablero 18 modulos X	28	1	54	56		3	17	42
PT09	Tablero 20 modulos N	90	76	0	35		111	40	19
PT10	Tablero 20 modulos X	14	0	87	30		-57	7	78

Figura 34. Programación de la posición de inventario. Elaboración propia.

Posteriormente se incluyó el cálculo del inventario de seguridad (safety stock) para prevenir un desabasto en eventos imprevistos, se calculó como sigue a continuación:

$$SS = OUTL(S_{max}) - \mu_5$$

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

Código	Descripción	S max OUTL (\$)	Inventario on hand	Backorder	Inventario de pedido	Nivel de inventario	Posición de inventario	SS	CANTIDAD A ORDENAR CADA PERIODO (SOQ)
PT01	Tablero 12 modulos N	5	1	0	33	1 =G41-C5	1		-27
PT02	Tablero 12 modulos X	23	3	8	37	-6	32	10	2
PT03	Tablero 14 modulos N	35	3	0	41	3	44	10	2
PT04	Tablero 14 modulos X	16	0	32	41	-32	9	5	12
PT05	Tablero 16 modulos N	61	38	1	43	37	80	30	10
PT06	Tablero 16 modulos X	33	0	21	38	-21	17	21	37
PT07	Tablero 18 modulos N	61	0	3	44	-3	41	30	50
PT08	Tablero 18 modulos X	28	1	54	56	-53	3	17	42
PT09	Tablero 20 modulos N	90	76	0	35	76	111	40	19
PT10	Tablero 20 modulos X	14	0	87	30	-87	-57	7	78

Figura 35. Programación del inventario de seguridad. Elaboración propia.

Finalmente se calculó la cantidad sugerida a ordenar (SOQ) como se muestra en la figura 36.

Código	Descripción	S max OUTL (\$)	Inventario on hand	Backorder	Inventario de pedido	Nivel de inventario	Posición de inventario	SS	CANTIDAD A ORDENAR CADA PERIODO (SOQ)
PT01	Tablero 12 modulos N	5	1	0	33	1	34	2	2 = (G41+N41)-M41
PT02	Tablero 12 modulos X	23	3	8	37	-6	32	10	2
PT03	Tablero 14 modulos N	35	3	0	41	3	44	10	2
PT04	Tablero 14 modulos X	16	0	32	41	-32	9	5	12
PT05	Tablero 16 modulos N	61	38	1	43	37	80	30	10
PT06	Tablero 16 modulos X	33	0	21	38	-21	17	21	37
PT07	Tablero 18 modulos N	61	0	3	44	-3	41	30	50
PT08	Tablero 18 modulos X	28	1	54	56	-53	3	17	42
PT09	Tablero 20 modulos N	90	76	0	35	76	111	40	19
PT10	Tablero 20 modulos X	14	0	87	30	-87	-57	7	78

Figura 36. Programación de la cantidad a ordenar (SOQ) en cada periodo. Elaboración propia.

Dónde la cantidad a ordenar (Suggested Order Quantity) se calculó como se indica en la figura 35 y, serán las piezas que se pedirán mensualmente en cada revisión periódica del inventario a través de la herramienta.

Una vez programada la política de inventario con el modelo Order Up To Level, se creó la hoja principal de la herramienta en la que los usuarios interactúan, está segmentada en dos partes, la parte izquierda tiene los espacios disponibles para que el usuario ingrese de forma manual datos como los códigos que quiere analizar, el backorder, inventario on hand y el inventario que viene en camino, está organizado de forma mensual para tener una mejor visualización de la disponibilidad de las piezas a través del tiempo. Mientras que, la parte derecha de la herramienta se enfoca únicamente en mostrar la cantidad de piezas sugeridas a ordenar por código (SOQ) y la proyección del consumo mensual de los tableros por medio de una gráfica del comportamiento del inventario que contempla todas las acciones, backorder, inventario on hand, inventario en camino y el consumo mensual pronosticado por código. Debajo de la gráfica se muestra una tabla con el número de piezas por código previstas para los siguientes meses.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

Esta tabla está programada como un tipo de “Andon” que es una herramienta utilizada en Lean Six Sigma como un tipo de alerta visual para identificar problemas o defectos, en este caso se utilizará para señalar el mes en que alguno de los códigos se quedaría sin inventario on hand, según los cálculos del pronóstico, y de la información ingresada por el usuario.



Figura 37. Vista de la hoja principal de la herramienta. Elaboración propia.

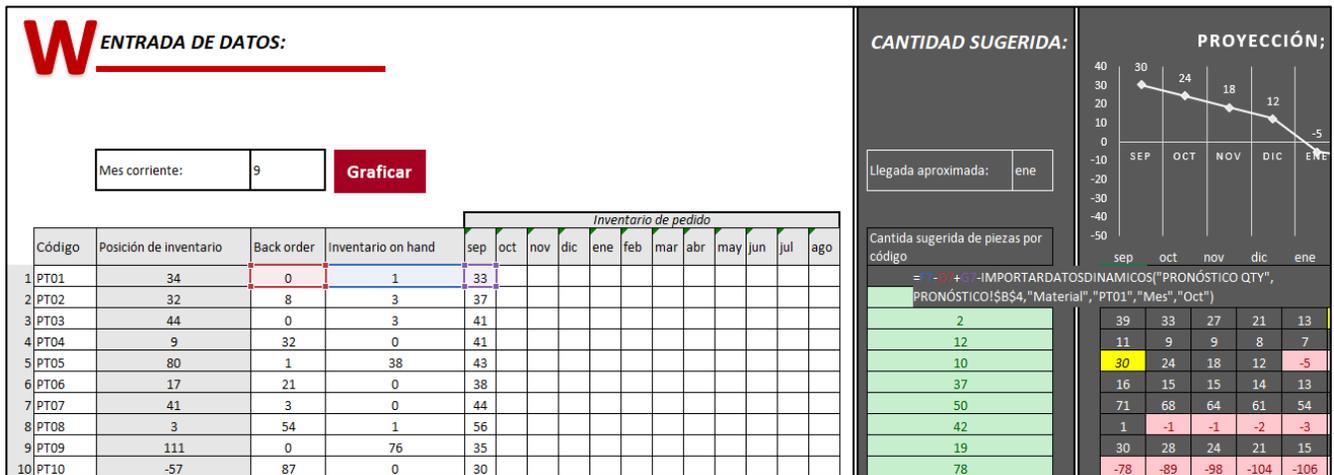


Figura 38. Programación de las celdas para la gráfica de “Proyección: Consumo mensual” por SKU. Elaboración propia.

# W ENTRADA DE DATOS:

Mes corriente:	9	<b>Graficar</b>
----------------	---	-----------------

Código	Posición de inventario	Back order	Inventario on hand	Inventario de pedido												
				sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	
1 PT01	=SUMA(F7:R7)-D7	0	1	33												
2 PT02	32	8	3	37												
3 PT03	44	0	3	41												
4 PT04	9	32	0	41												
5 PT05	80	1	38	43												
6 PT06	17	21	0	38												
7 PT07	41	3	0	44												
8 PT08	3	54	1	56												
9 PT09	111	0	76	35												
10 PT10	-57	87	0	30												

Figura 39. Programación de la columna “Posición de inventario”. Elaboración propia.

Para representar visualmente la posición de inventario por mes y por SKU se agregó la gráfica “Proyección: Consumo mensual” que viene de la tabla inferior donde se implementó además un sistema de alertas con un semáforo de colores; el verde se presenta en aquellas celdas dónde se propone un número de piezas a ordenar por código, si es que se recomienda pedir algún número de piezas, de lo contrario las celdas permanecerán sin cambio. El segundo color asignado fue el color amarillo que indica el momento en que el inventario está en el límite para hacer una orden y procurar que no se dé un desabasto considerando que el Lead time es de 4 meses mientras que, el color rojo fue asignado a todas aquellas celdas en las que podría haber cero piezas en inventario o se tienen pedidos pendientes según las proyecciones de la demanda, es por ello por lo que algunas de estas celdas contienen números negativos. De esta forma al actualizar la herramienta periódicamente se monitorea de cerca el inventario de tableros “PT” asegurando así, niveles adecuados de stock y tanto los pronósticos realizados como la programación de la política de inventario adquieren trazabilidad en el proyecto.

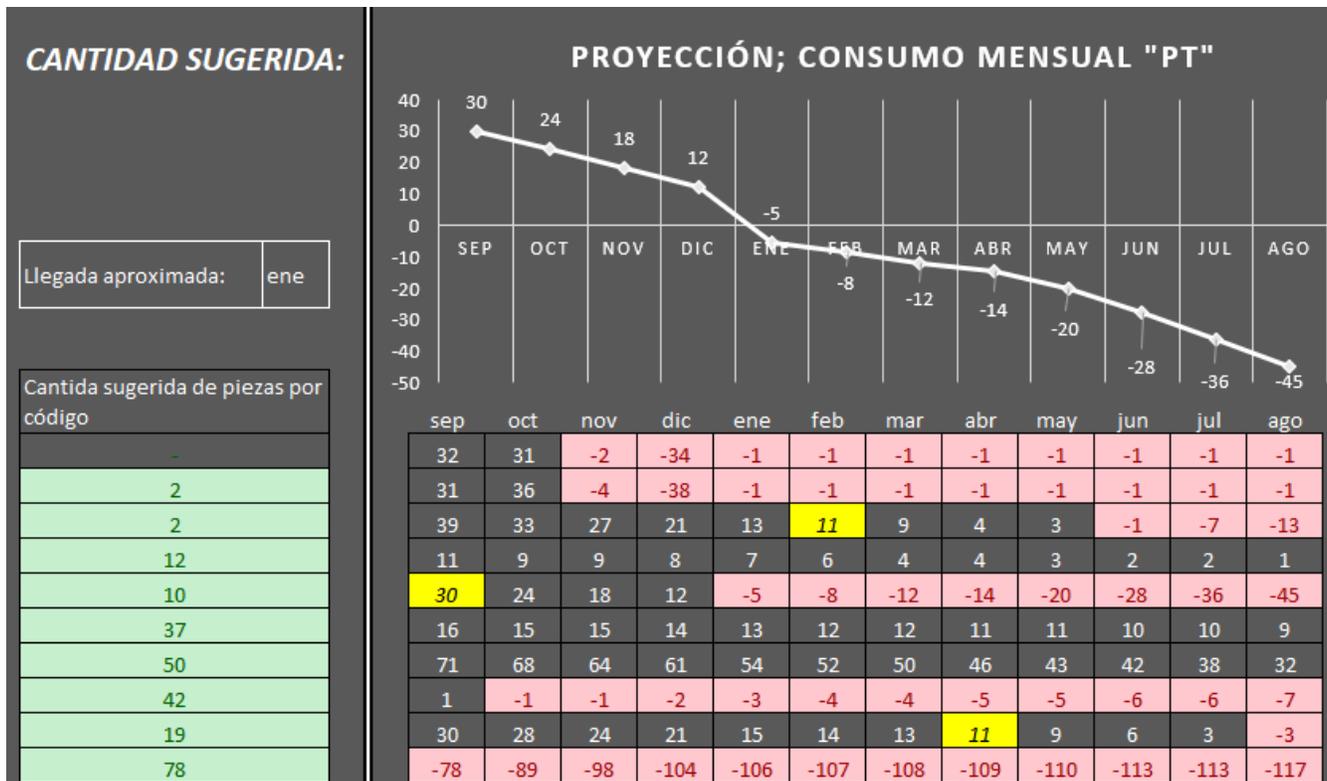


Figura 40. Gráfico "Proyección: Consumo mensual". Elaboración propia.

### 3.2.5 Controlar

Una vez lista la herramienta se inició la quinta y última fase de la metodología: controlar. No por ser la última fase del proyecto significa que sea la menos importante o más sencilla de todas, controlar el proyecto es prácticamente el aterrizaje del proyecto, una vez que hizo el lanzamiento de la herramienta, se le dio continuidad a través de la capacitación de su uso. También se les dio seguimiento a los indicadores de desempeño, en este caso llegar a cubrir el porcentaje deseado de nivel de servicio para los tableros "PT" hasta 5 meses después del lanzamiento.

En esta etapa, como primer recurso, se implementó una lección punto a punto (LPP) que se compartió con el equipo de producto y con los interesados del proyecto. Esta herramienta funge prácticamente como un instructivo donde se detalla paso a paso como obtener históricos y como actualizar posteriormente la Herramienta "PT" por medio de diez sencillos pasos a seguir, contiene links, imágenes para ejemplificar el procedimiento y una descripción de cada paso.

### LECCIÓN PUNTO A PUNTO. DESCARGA DE HISTÓRICOS

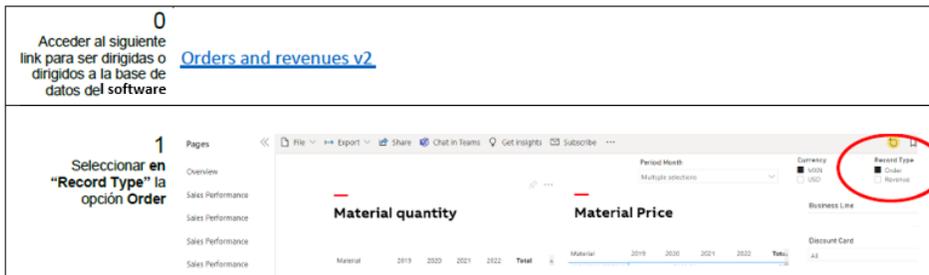


Figura 41. Ejemplo del LPP implementado en la quinta fase de la metodología. Elaboración propia.

Se mostró y explicó el funcionamiento de la herramienta a dos de las principales interesadas del proyecto quienes probaron la herramienta y ofrecieron retroalimentación. Se hicieron los ajustes necesarios en la herramienta como la implementación del semáforo de colores, la gráfica del inventario y el diseño de la hoja principal.

Una vez aprobada la herramienta se compartieron los siguientes entregables con todas las personas del equipo y las interesadas e interesados del proyecto, incluso aquellos de otras áreas:

- Presentación de resultados y conclusiones
- Herramienta con los valores actualizados de inventario al mes corriente
- Lección punto a punto para la descarga de históricos y actualización de la herramienta

Adicionalmente a la implementación del LPP en la fase de controlar, y para darle seguimiento a los indicadores de desempeño de los tableros "PT", se diseñó un tablero de indicadores (también conocido como dashboard) que muestra importantes indicadores:

- Comparación del volumen de la demanda de 2021 y 2022 por SKU
- El top de principales compradores del tablero "PT" basado en un Pareto, el 20% de los clientes o distribuidores que representan el 80% de los ingresos totales facturados por tableros "PT"
- Comparación del volumen de la demanda mensual de los 10 SKU del tablero "PT" y los ingresos facturados mensuales acumulados a través del año
- El porcentaje de ingresos por la demanda obtenida en tiempo real, comparado con el Budget planeado para el año en curso
- El porcentaje de ingresos facturados obtenidos en tiempo real, comparado con el Budget planeado para el año en curso
- Notas de proyectos y comentarios del usuario

Para su realización se siguieron, de acuerdo con W. W. Eckerson (2006), las siguientes 3 capas de información:

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

---

1. Monitoreo: datos gráficos y abstractos para monitorear las métricas clave de rendimiento
2. Análisis: datos dimensionales resumidos para analizar la causa raíz de los problemas
3. Gestión: datos operativos detallados que identifican qué acciones tomar para resolver un problema

Es de recalcar que, este tablero de indicadores es una herramienta que se actualiza en tiempo real siempre que el usuario lo desee, esto se logra al estar conectado a una base de datos brindada por la empresa “W” que se actualiza diariamente, además de que la información proporcionada se considera proveniente de una fuente confiable porque es un sistema interno de la empresa, es accesible, tiene consistencia y la granulación de los datos es buena como se ha visto con todos los detalles que se han ofrecido hasta este momento del proyecto para cada uno de los códigos.

Tablero de indicadores (Andon de resultados) para los tableros "PT".

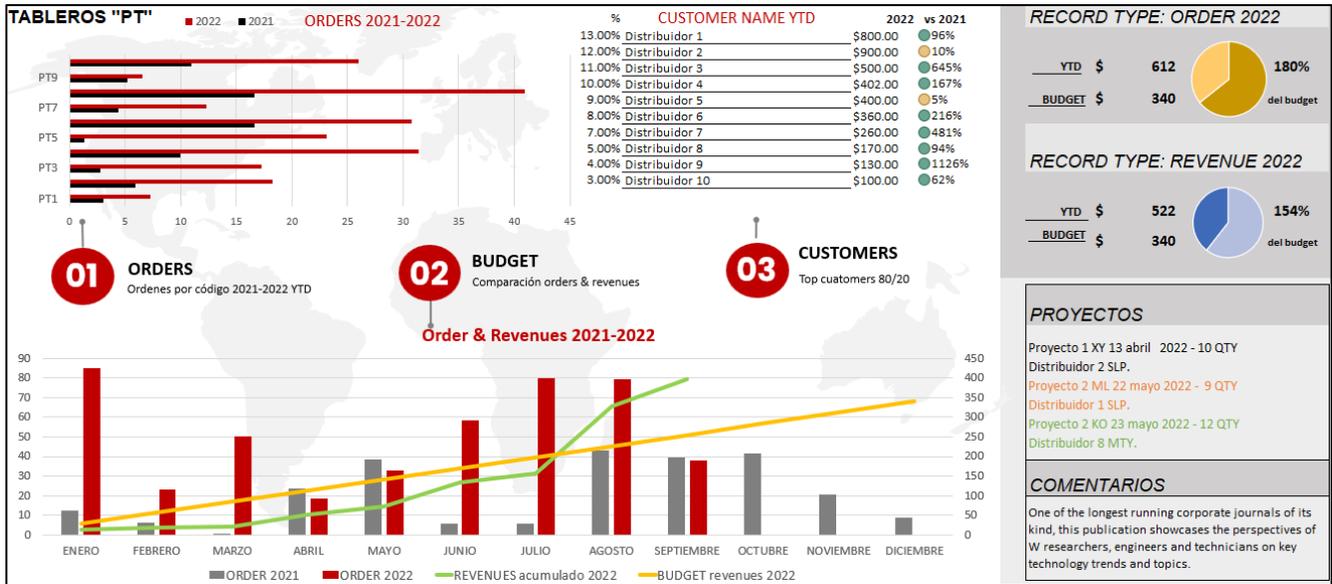


Figura 42. Tablero de indicadores para los tableros "PT". Elaboración propia.

## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis de resultados

Gracias al análisis y documentación del proceso se logró crear una herramienta que automatiza el cálculo del pronóstico por SKU, la herramienta es escalable porque funciona para otras áreas y productos proporcionando el pronóstico de cualquiera de los más de 70k códigos del negocio al que pertenecen los tableros “PT” aunque por el momento se limita al análisis de 30 códigos en simultaneo porque es una capacidad suficiente para las necesidades de este proyecto en el que actualmente únicamente se analizaron 10 códigos que representan los SKU de los tableros de interés.

Al concluir el proyecto se reveló ante los interesados del proyecto un error común en las organizaciones, como ocurrió en este caso, que se trata de enfocarse en las personas y no en los procesos pues para lograr que las actividades de un área específica puedan ser comprendidas y aprendidas por cualquier otro miembro del equipo de trabajo se deben utilizar herramientas de estandarización y documentar los procesos, de lo contrario se producen pérdidas entre las complejidades de mucha gente haciendo el mismo trabajo a su manera y sin documentarlos año tras año. No solo son pérdidas monetarias sino de conocimiento, por ejemplo, cuando has trabajado proyectos y productos en específico y no se ha documentado nada para facilitar el aprendizaje de posibles futuros miembros del equipo, se tiene una pérdida importante de conocimiento y más aún cuando se sabe que la rotación de personal es constante.

### Indicadores de desempeño

Inicialmente el nivel de servicio, entendido como el porcentaje de eventos en que la demanda fue satisfecha inmediatamente, era menor al 10% en la mayoría de los casos de los diez SKU en estudio, es decir la escasez de piezas en inventario era severa por lo que la demanda era satisfecha mucho tiempo después de las órdenes de compra por lo que los de clientes debían esperar al menos 4 meses para disponer de los productos por el tiempo de entrega. Una vez que se finalizó la herramienta en mayo de 2022 se registraron los datos de inventario y backorder para el final del segundo cuarto del año  $Q_2$  (abril, mayo y junio) para conocer el porcentaje de nivel de servicio en esta primera etapa de revisión. Antes de esta primera etapa ( $Q_2$ ) se hizo una sola orden de compra en febrero decidida por la persona a cargo de los tableros "PT" que nuevamente nació como una decisión correctiva al observar el crecimiento en el backorder. Esta decisión fue tomada de forma unilateral, es decir fue una decisión tomada de forma ajena a la propuesta en esta herramienta dado que la herramienta aún no estaba terminada, esta orden se prolongó más tiempo del esperado, además de que se colocó de forma incorrecta por un error humano en el que se desfilaron las cantidades a pedir por código y eso ocasionó tener inventarios arriba del nivel de piezas calculado en la política de inventario (S) para un par de códigos. Para el siguiente cuarto del año ( $Q_3$ ) se concentraron los esfuerzos en mitigar este error con ayuda de la nueva política de inventario y por otro lado se trabajó en alcanzar los niveles sugeridos de stock para el resto de códigos.

Una vez terminada la herramienta y puesta en marcha, se documentaron los mismos datos de inventario y backorder, para darle continuidad a la implementación de la herramienta durante el tercer cuarto  $Q_3$  (julio, agosto y septiembre) para conocer los valores finales del nivel de servicio, considerando la implementación de la nueva política de inventarios en la herramienta y la nueva orden de compra realizada en este periodo y basada en las cantidades sugeridas en la nueva política de inventario.

Código	Descripción	JUNIO (Q2)		SEPTIEMBRE (Q3)	
		Tasa de backorder	Nivel de servicio	Tasa de backorder	Nivel de servicio
PT01	Tablero 12 modulos N	⇒	320%	5%	99%
PT02	Tablero 12 modulos X	⇓	369%	3%	85%
PT03	Tablero 14 modulos N	⇓	546%	3%	98%
PT04	Tablero 14 modulos X	⇑	125%	8%	34%
PT05	Tablero 16 modulos N	⇒	224%	23%	100%
PT06	Tablero 16 modulos X	⇑	172%	10%	68%
PT07	Tablero 18 modulos N	⇒	259%	3%	74%
PT08	Tablero 18 modulos X	⇒	263%	4%	69%
PT09	Tablero 20 modulos N	⇑	0%	0%	100%
PT10	Tablero 20 modulos X	⇑	84%	21%	66%

Figura 43. Comparación niveles en porcentaje de stock durante el segundo cuarto del año. Elaboración propia.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

---

Cuatro meses después del término de la herramienta y de la aplicación de las etapas del DMAIC se pasó de un nivel de servicio promedio para los 10 SKU en estudio del 8% a un nivel de servicio del 79% en promedio y se busca lograr aumentar este nivel en los meses posteriores al proyecto ya que ahora se tiene definida una política de inventario. Dos de los SKU finalizaron este periodo del tercer cuarto del año con sobre existencias en inventario, de acuerdo con la política de inventario OUTL que se programó, porque como ya se mencionó anteriormente durante el mes de febrero mientras se trataban de mejorar la existencias en inventario, basados en los pronósticos porque era el análisis disponible hasta el momento con el avance del proyecto, ocurrió por error humano la duplicación de las cantidades de piezas en la orden de compra de ese mes para algunos de los SKU, se duplicaron y se desfazaron algunas de estas cantidades, lo que afectó invariablemente los niveles de inventario no solo en ese momento sino también los periodos posteriores. Este error no pudo ser arreglado ya que las ordenes se aceptan y se cierran rápidamente a través de un sistema automatizado. Estos nuevos niveles de inventario se tomaron en cuenta en las próximas órdenes de compra que se hicieron con ayuda de la herramienta en los meses siguientes por lo que se intentaron arreglar estos niveles por medio del seguimiento y de la programación de la nueva política de inventario.

A través del desarrollo y la implementación del proyecto en el tiempo, se logró cumplir con los objetivos específicos del proyecto. Además, gracias a la documentación se identificaron los principales desperdicios del proceso: defectos, reprocesos, movimientos y talento. Los cuales se atacaron a través de la herramienta, lo que nos redujo el tiempo total del proceso, los retrabajos, esperas y por supuesto, las actividades que no agregaban valor al proceso.

Como resultado de su implementación el mayor porcentaje del tiempo de proceso ahora corresponde con aquellas actividades necesarias en el proceso pero que no agregan valor con un 52.42% mientras que las actividades que no agregan valor al proceso representan un 30.46% del tiempo total invertido y, finalmente las actividades de valor agregado aportan el 16.95% del tiempo total del proceso.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

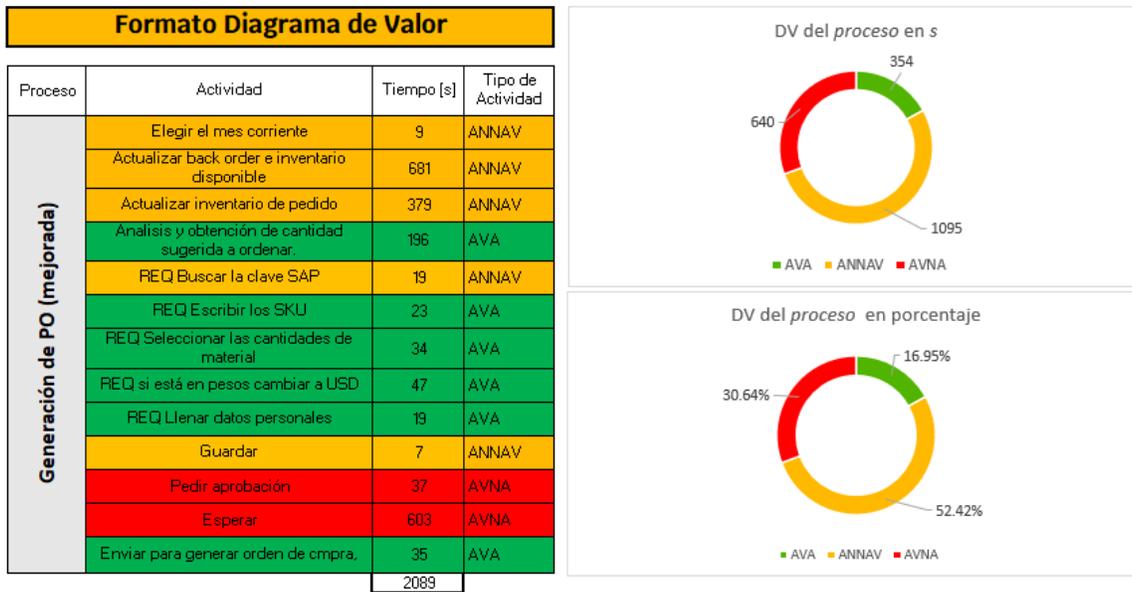


Figura 44. Diagrama de valor del nuevo sistema de generación de PO con la implementación de la herramienta de tableros “PT”. Elaboración propia.

Tipo de actividad	Porcentaje	Tiempo
AVA	16.95%	354
ANNAV	52.42%	1095
AVNA	30.64%	640
Tiempo total	1	2089

Figura 45. Resultados del diagrama de valor. Elaboración propia.

La figura 46 resume los cambios logrados entre el proceso inicial y el proceso mejorado, con una reducción del tiempo total de proceso del 69.3%.

	Porcentaje de tiempo			Tiempo en segundos			Tiempo total
	AVA	ANNAV	AVNA				
Proceso original	2.33%	14.50%	83.18%	158	985	5651	6794
Proceso mejorado	16.95%	52.42%	30.64%	354	1095	640	2089
Reducción del tiempo total =							69.3%

Figura 46. Comparación de los tiempos entre el proceso original y el proceso mejorado. Elaboración propia.

## 4.2 Conclusiones y recomendaciones.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

---

Después de siete meses de trabajo desde que se inició con la definición del proyecto Lean Six Sigma hasta que se aterrizó por completo el proyecto, se documentó el proceso de generación de compra de la línea de tableros "PT" con ayuda de los comentarios de las personas que siguen de cerca este proceso, además de que se realizaron estas actividades en propia experiencia, lo que permitió conocer a profundidad el proceso y sus actividades.

Se identificaron los principales desperdicios del proceso con el uso de las herramientas de Lean Six Sigma para este caso particular la implementación de un diagrama de valor. En el mismo hilo conductor de los desperdicio identificados se recomienda a la empresa un plan de capacitaciones y su implementación dado que es de suma importancia para aquellos nuevos miembros del equipo ya que se ha observado que en esta área existe una constante rotación de personal, en muchas ocasiones tienen la oportunidad de ser llevados de la mano por quienes dejan el puesto o quienes conocen a la perfección los procesos y actividades pero no siempre se tiene esa dinámica, muchas veces se encuentran ante procesos y tareas singulares que no cualquier miembro del equipo conoce o sabe llevar a cabo, por lo que la curva de aprendizaje de los nuevos miembros se extiende en el tiempo hasta que logran de forma autónoma conocerlos, un plan de capacitaciones prematura reduciría el tiempo que estos desperdicios ocasionan y aumentaría la productividad de los miembros del equipo. Alternativamente a esta propuesta se deben mencionar aquellas características o requerimientos que posiblemente se deban replantear o verificar al momento de las contrataciones de los PMS o de los miembros de la empresa que se moverán a estos puestos para tener conocimiento sobre planeación de la producción.

Así mismo con la implementación de diferentes herramientas se estudió el comportamiento de la demanda para la familia de productos de interés concluyendo que siguen una distribución normal, conclusión que fue parte aguas para los siguientes pasos del proyecto.

Se implementó una política de inventario OUTL, del estudio del inventario y la implementación de esta política surge una de las observaciones más importantes para la organización, que está en concentrarse en exigir a su planta de Egipto, que en este caso es el proveedor de tableros, un menor tiempo de entrega. En este proyecto y con los recursos disponibles queda fuera del alcance esa mejora por lo que se recomienda ampliamente que los directivos y gerentes del área promuevan la reducción del tiempo de entrega en dicha entidad. Siguiendo en esta línea de recomendaciones se debe mencionar que en años anteriores al proyecto se ha buscado un proveedor mexicano para dichos tableros, pero se ha encontrado que los productores locales no logran mejorar el tiempo de entrega porque tienen mayores tiempos de producción y menor calidad en los materiales. Conociendo estas limitantes la mejor opción actualmente ha sido mantener la compra de tableros ensamblados a la planta de Egipto por su calidad y conocimiento sobre los tableros y sus materiales dado que, actualmente la empresa "W" tiene gran reconocimiento por la tecnología puesta en estos tableros, su calidad y su eficiencia operativa, así como por su diversa gama de productos.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

---

Como resultado al cumplimiento de todos estos objetivos específicos y a través de la metodología DMAIC, los entregables del proyecto y su implementación, se mejoró el sistema de compras y el inventario de producto terminado de la línea de tableros "PT". Actualmente se cubre un nivel de servicio en promedio para los 10 SKU en estudio de los tableros "PT" del 79% y, la Herramienta "PT" ofrece ahora seguimiento y una propuesta al equipo de producto para saber cuándo y cuántas piezas pedir, además se eliminaron actividades que no agregaban valor al sistema de análisis y de compra.

Una vez implementado el proyecto y dándole el seguimiento correcto se recomienda continuar con la mejora de la herramienta, por ejemplo, programar un proyecto para el estudio y la implementación de una técnica más sofisticada de pronóstico que se adecue y que mejore los pronósticos brindados a la herramienta. Asimismo, se recomienda seguir involucrando a más miembros del equipo a que puedan hacer uso de la herramienta para facilitar el seguimiento de la herramienta a través del tiempo.

En consecuencia al uso de la herramienta y el análisis de datos con el que se le dio seguimiento a la familia de productos, se están aportando diversas mejoras al negocio; alcanzar el Budget esperado del año para los tableros "PT" porque se contará con el material necesario para materializar las ordenes en revenues, aportar a los objetivos de la organización con un proyecto que nació de la curiosidad por lo problemas existentes en la BU y el coraje para ponerlo en marcha con ayuda de un gran equipo de trabajo además de reducir el número de quejas expuestas por los clientes sobre el extenuante tiempo de entrega y, en consecuencia aumentar nuestra calificación en el mercado con una mejor percepción del cliente hacia la empresa.

Para dar cierre a esta serie de recomendaciones y comentarios impresos en el proyecto, es de reconocer que la labor puesta en este proyecto, desde la investigación y conocimiento técnico del tablero hasta el análisis de los datos relacionados a esta familia de producto me brindaron un conocimiento importante, como desarrolladora del proyecto, aprendí en un lapso de seis meses todo lo indispensable y más, sobre esta familia de productos por lo que pude sumergirme en proyectos posteriores para estos tableros y ayudar con el conocimiento adquirido para la mejora de procesos y apoyar en el crecimiento del negocio.

## BIBLIOGRAFÍA

ASCM (Association for Supply Chain Management), 2022. Cadena de suministro diccionario.

BASEM EL-HAIK & RAID AL-AOMAR, SIMULATION-BASED LEAN SIX-SIGMA AND DESIGN FOR SIX-SIGMA, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.

Damelio, R. The Basics of Process Mapping. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2011.

DispatchTrack. ANDON. Recuperado de internet el 22 de junio 2022. Disponible en: [<https://www.beetrack.com/es/blog/que-es-andon-lean-manufacturing#:~:text=Andon%20en%20lean%20manufacturing%20hace,aportan%20valor%20a%20la%20empresa.>]

Gerard Cachon and Christian Terwiesch. Principios de administración de operaciones. Tercera edición PEARSON EDUCACIÓN, México, 2011.

Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD Y SEIS SIGMA, McGRAW-HILL segunda edición, México, 2009.

Importancia de los pronósticos. Manual de consulta. Forecasting, 2022. Recuperado de internet el 09 de agosto 2022. Disponible en: [<https://docplayer.es/21753470-Manual-de-consulta-forecasting-1-introduccion-2-el-forecasting-2-1-definicion-y-alcance-2-2-importancia-del-forecasting.html>]

INDICADORES DE OCUPACIÓN Y EMPLEO, 2022. INEGI. Recuperado de internet el 27 de junio 2022. Disponible en: [[https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/iooe/iooe2022\\_05.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/iooe/iooe2022_05.pdf)]

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2022). Estadística Manufacturera y Maquiladora de Exportación. México: INEGI.

## Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

---

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2022). Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2018 (SCIAN 2018). México: INEGI.

KANBANIZE. Mejora continua. ¿Qué es Gemba? Recuperado de internet el 22 de junio 2022. Disponible en: [<https://kanbanize.com/es/gestion-lean/mejora-continua/caminata-gemba>]

Martins Julia. ASANA, Qué es el project charter y cómo aplicarlo en tu proyecto, 2021. Recuperado de internet el 21 de junio 2022. Disponible en: [<https://asana.com/es/resources/project-charter>]

Muñoz Guevara J.A, Zapata Urquijo C.A y Medina Varela P.D. Lean manufacturing: Modelos y herramientas. Universidad Tecnológica de Pereira, 2022.

Peñaflor A. Apuntes de Planeación y control de la producción, UNAM, 2021.

Price water house Coopers. Importancia de los pronósticos. Manual de consulta. Forecasting, 2022. Recuperado de internet el 27 de julio 2022. Disponible en: [<https://logispyme.files.wordpress.com/2015/11/forecasting1y2.pdf>]

Salazar López B. ingeniería Industrial, Lección de un punto (LUP-OPL), México 2019. Recuperado de internet el 24 de junio 2022. Disponible en: [<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-y-control-de-calidad/leccion-de-un-punto-lup-opl/>]

Sánchez Ruiz E.A. Seis Sigma, filosofía de gestión de la calidad: estudio teórico y su posible aplicación en el Perú, Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura, Piura, 2005.

Schroeder G.R et al., Administración de operaciones. Conceptos y casos contemporáneos. Quinta edición, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S. A. de C. V. México, 2011

W. W. Eckerson, “Performance Dashboards Measuring, Monitoring, and Managing Your Business,” John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2011.

Mejora del proceso de compra y de inventario de producto terminado.

---

Westgard J.O. Consultorías integrales de calidad, segunda edición, 2018. Recuperado de internet el 20 de julio 2022. Disponible en: <https://consultoriasintegrales.com.co/wp-content/uploads/2018/06/2.%20Seis%20sigma%20como%20herramienta%20de%20medicio%cc%81n%20para%20la%20FINAL.pdf>

Wilson, L. How to implement lean manufacturing. McGrawHill Education, 2010.

Zavaleta, Y., Introducción a la Metodología Estadística. Veracruz, México Universidad Veracruzana, 2014.