

UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Con estudios incorporados a la Secretaría de Educación Pública

**Modelos de optimización para la selección y  
operación de almacenes mejorando el desempeño  
y las utilidades de los servicios**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**MAESTRA EN INGENIERÍA**

P R E S E N T A

**ANDREA GABRIELA CEVALLOS VEGA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**LORENA ALEXANDRA BERUMEN GLINZ**

**CIUDAD DE MÉXICO**

**2020**



## Resumen

Los modelos de optimización para la selección y operación de almacenes se desarrollaron e implementaron en una empresa dedicada a los servicios en el sector energía, teniendo como objetivo principal el mejorar el desempeño y las utilidades de los servicios.

La solución propuesta se basó en el estudio de factores que influyen directamente en las utilidades de los servicios, los inventarios y almacenes, su administración y el correcto uso y cuidado de los equipos que según el estudio resultan ser el factor limitante en la ejecución de los servicios.

Tras una difícil situación económica en la empresa, fue necesario efficientar la operación de los servicios y ajustar los recursos para poder atender la demanda sin reducir la calidad en la ejecución de los servicios.

Después de un análisis profundo de la operación y la logística de los servicios, se descubrió que la capacidad instalada para atender los servicios sobrepasaba la demanda, misma que se redujo notablemente por la caída de los principales clientes. El estudio se centró en el análisis de cada uno de los almacenes para entender su capacidad y poder proponer una nueva distribución que, reduciendo los costos integrales de la operación, logrará atender los servicios conservando los tiempos de respuesta y resultados de los mismos.

El factor limitante de los servicios son los equipos, por lo tanto, una parte de la investigación está basada en el estudio del estado de cada uno de ellos y las acciones a tomar para que su uso, revisiones y mantenimiento sean las adecuadas.

Cada una de las acciones propuestas se empezaron a implementar en la empresa, después del análisis y los cálculos, logrando resultados tangibles y ahorros significativos.



## Agradecimientos

### **A Dios**

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme acompañado a lo largo de todo el camino, regalándome salud para lograr mis objetivos.*

### **A mis padres**

*Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.*

*Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.*

### **A mis hermanos**

*Sebastián y Berny por su apoyo incondicional y constante apoyo.*

### **A mi abuelita y mi tío Jorge**

*Por haberme acompañado en este camino y apoyado en todo siempre.*

### **A mis maestros**

*Por todas sus enseñanzas durante todos estos años.*



## Tabla de contenido

1. Introducción .....	1
1.1 Situación actual .....	3
1.1.1 Empresa.....	3
1.1.2 LÍNEA DE SERVICIOS .....	3
1.2 Problemática .....	4
1.2.1 INVENTARIOS, ALMACENES .....	7
1.2.2 EQUIPOS.....	16
2. Análisis estadístico.....	18
2. 1 ENCUESTA INICIAL .....	18
2.2 ANÁLISIS CAUSAL DEL PROBLEMA.....	18
DIAGRAMA CAUSA-EFECTO .....	18
2.3.1 DIAGRAMA DE PARETO. ....	20
2.3.2 CAJAS – BIGOTES.....	23
2.4.1 TEORÍA DE RESTRICCIONES (TOC).....	25
2.4.2 GRÁFICA DE DISPERSIÓN .....	27
2.4.3 DISTRIBUCIÓN WEIBULL .....	28
3. Marco teórico .....	34
3.1 EVOLUCIÓN DE LAS EMPRESAS .....	34
3.2 SINCRONIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO .....	34
3.3 TEORÍA DE RESTRICCIONES .....	35
3.4 OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS .....	37
3.5 <i>JUST IN TIME (JIT)</i> .....	41
3.6 MANUFACTURA ESBELTA .....	43
3.7 CENTRO DE GRAVEDAD .....	44
3.8 PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA.....	46
3.9 MÉTODO SIMPLEX .....	47
3.10 PROBLEMAS DE ASIGNACIÓN .....	48
3.11 PLAN DE MANTENIMIENTO .....	48
3.12 ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD .....	51
4. Propuesta de solución .....	53
4.1 ALMACENES .....	53
4.2 EQUIPOS.....	62
5. Implementación y resultados obtenidos.....	69
5.1 INVENTARIOS, ALMACENES .....	69
5.2 EQUIPOS.....	90
7. Recomendaciones .....	110

## Índice de Tablas

<b>TABLA 1.</b> VALOR DE LOS INVENTARIOS EN MÉXICO .....	13
<b>TABLA 2.</b> INVENTARIO MENSUAL POR DIVISIÓN EN EL 2016 .....	14
<b>TABLA 3.</b> WIP DE LÍNEA DE SERVICIO EN PESOS EN EL 2016 .....	15
<b>TABLA 4.</b> PRODUCTOS LÍNEA DE SERVICIOS, PRECIO Y DEMANDA.....	20
<b>TABLA 5.</b> DEMANDA MENSUAL PRINCIPALES PRODUCTOS PARA REALIZAR UN SERVICIO .....	21
<b>TABLA 6.</b> ABC PRODUCTOS SERVICIOS TC.....	22
<b>TABLA 7.</b> RESUMEN MÉTODO ABC.....	22
<b>TABLA 8.</b> PORCENTAJES MENSUALES DE ESTADO DE LOS EQUIPOS DE 400-600 GPM .....	27
<b>TABLA 9.</b> TIEMPO FALLA BOMBA.....	28
<b>TABLA 10.</b> TIEMPO FALLA MOTOR.....	28
<b>TABLA 11.</b> TIEMPO FALLA TABLERO ELÉCTRICO .....	28
<b>TABLA 12 Y 13.</b> FALLA MOTOR, FALLA BOMBA .....	30
<b>TABLA 14.</b> FALLA TABLERO ELÉCTRICO .....	30
<b>TABLA 15.</b> CAPACIDAD ORIGINAL DE ALMACENES.....	55
<b>TABLA 16.</b> COSTOS TOTALES ORIGINALES DE OPERACIÓN DE ALMACENES .....	56
<b>TABLA 17.</b> COSTOS DE TRANSPORTES DE ALMACÉN A PLANTA COSTOS 2016 .....	60
<b>TABLA 18.</b> MONTO EN MXN DE DEMANDA A DISTRIBUIR POR ALMACÉN .....	61
<b>TABLA 19.</b> EQUIPOS NECESARIOS PARA CADA TIPO DE SERVICIO .....	62
<b>TABLA 20.</b> CANTIDAD DE EQUIPOS Y COSTOS MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MXN) .....	63
<b>TABLA 21.</b> VENTAS POR SERVICIO EN PESOS Y NÚMEROS DE SERVICIOS POR TIPO .....	63
<b>TABLA 22.</b> CARACTERÍSTICAS DE DAÑOS A REPARAR.....	65
<b>TABLA 23.</b> TIEMPO DE REPARACIÓN DE EQUIPOS PROVEEDOR VS TALLER.....	66
<b>TABLA 24.</b> TIEMPOS EN REPARAR LOS EQUIPOS, CON Y SIN STOCK.....	67
<b>TABLA 25.</b> COSTO <i>Stock</i> DE REFACCIONES POR EQUIPO .....	67
<b>TABLA 26.</b> COSTOS DE OPERACIÓN POR ALMACÉN.....	69
<b>TABLA 27.</b> CAPACIDAD DE ALMACENES CON LOS CAMBIOS APLICADOS.....	69
<b>TABLA 28.</b> CAPACIDAD POR ALMACÉN AJUSTADA .....	70
<b>TABLA 29.</b> DISTRIBUCIÓN DE CARGAS ENTRE ALMACENES Y CLIENTES .....	79
<b>TABLA 30.</b> COSTOS TOTALES DE OPERACIÓN POR ALMACÉN.....	79
<b>TABLA 31.</b> COSTOS PARTE INVENTARIO OBSOLETO .....	81
<b>TABLA 32.</b> MONTO <i>Stock</i> POR TIPO DE COMPONENTE.....	81
<b>TABLA 33.</b> FORECAST INVENTARIOS DE SEGURIDAD PARA LÍNEA TC FILTROS HP-101L34-1.....	83
<b>TABLA 34.</b> ERRORES PRONÓSTICOS .....	85
<b>TABLA 35.</b> COMPARATIVA PRONÓSTICO, <i>Stock</i> Y CONSUMO REAL.....	85
<b>TABLA 36.</b> MONTOS <i>Stock</i> ENERO 2015.....	86
<b>TABLA 37.</b> MONTOS <i>Stock</i> ENERO 2017 .....	86
<b>TABLA 38.</b> INVENTARIOS FILIALES .....	87
<b>TABLA 39.</b> MONTO INVENTARIOS POR ALMACÉN .....	88
<b>TABLA 40.</b> MONTO <i>Stock</i> POR TIPO DE COMPONENTE, 2016.....	89
<b>TABLA 41.</b> RESUMEN ESTATUS DE EQUIPOS.....	90
<b>TABLA 42.</b> PORCENTAJES MENSUALES DE ESTADO DE LOS EQUIPOS DE 400-600 GPM .....	102
<b>TABLA 43.</b> DIFERENCIA DE ESTADO DE EQUIPOS CON PLAN DE MANTENIMIENTO Y SIN PLAN.....	102

<b>TABLA 44.</b> ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS.....	103
<b>TABLA 45.</b> ÍNDICE DE DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS CON EL PROCESO ORIGINAL.....	103
<b>TABLA 46.</b> ÍNDICE DE DISPONIBILIDAD CON EL PROCESO IMPLEMENTADO .....	104
<b>TABLA 47.</b> RESULTADOS ENCUESTAS .....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> PROCESO GENERAL DE EJECUCIÓN DE SERVICIOS .....	5
<b>FIGURA 2.</b> VENTAS ANUALES PEMEX MXN .....	6
<b>FIGURA 3.</b> VENTAS ANUALES CFE MXN .....	6
<b>FIGURA 4.</b> INVENTARIOS DE BAJA ROTACIÓN MXN EN 2016 .....	8
<b>FIGURA 5.</b> DESCRIPCIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO .....	10
<b>FIGURA 6.</b> INVENTARIO EN FILIALES EN ABRIL DEL 2016.....	12
<b>FIGURA 7.</b> TENDENCIA MENSUAL DE INVENTARIOS MÉXICO MXN .....	13
<b>FIGURA 8.</b> INVENTARIOS EN MÉXICO POR ALMACÉN EN MXN .....	14
<b>FIGURA 9.</b> WIP DE LA LÍNEA DE SERVICIOS 2016 EN MXN .....	15
<b>FIGURA 10.</b> DIAGRAMA ISHIKAWA: PROBLEMÁTICA SERVICIO CON BAJA UTILIDAD .....	19
<b>FIGURA 11.</b> DEMANDA MENSUAL DE LOS 3 PRODUCTOS GRUPO A 2016.....	23
<b>FIGURA 12.</b> GRÁFICA CAJAS Y BIGOTES CON LOS PRODUCTOS A, 2016 .....	24
<b>FIGURA 13.</b> PROCESO <i>FLUSHING</i> , SERVICIOS TC .....	25
<b>FIGURA 14.</b> ESTADO EQUIPOS 400-600 GALONES POR MINUTO, EXPRESADO EN %.....	27
<b>FIGURA 15.</b> TIEMPO FALLA MOTOR .....	31
<b>FIGURA 16.</b> TIEMPO FALLAS BOMBA .....	31
<b>FIGURA 17.</b> TIEMPO FALLAS TABLERO ELÉCTRICO .....	32
<b>FIGURA 18.</b> COMPARATIVO TIEMPO FALLA.....	32
<b>FIGURA 19.</b> PROCESO DE GESTIÓN DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES.....	36
<b>FIGURA 20.</b> MAPA CONCEPTUAL SOBRE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE MANUFACTURA ESBELTA.....	43
<b>FIGURA 21.</b> MAPA ALMACENES, PRINCIPALES CLIENTES (PEMEX, CFE).....	53
<b>FIGURA 22.</b> TRÁFICO ACTUAL, TRÁNSITO DE TODOS LOS ALMACENES A TODOS LOS CLIENTES .....	54
<b>FIGURA 23.</b> TRÁFICO CON RESTRICCIÓN DE CERCANÍA .....	54
<b>FIGURA 24.</b> UBICACIONES CENTRALES CFE .....	61
<b>FIGURA 25.</b> PROPUESTA ALMACENES.....	71
<b>FIGURA 26.</b> RUTAS DISTRIBUCIÓN ALMACÉN DE MONTERREY .....	72
<b>FIGURA 27.</b> NUEVAS RUTAS ALMACÉN MONTERREY .....	72
<b>FIGURA 28.</b> RUTAS DISTRIBUCIÓN ALMACÉN DE TULA .....	73
<b>FIGURA 29.</b> NUEVAS RUTAS ALMACÉN TULA .....	73
<b>FIGURA 30.</b> NUEVAS RUTAS ALMACÉN MINA .....	74
<b>FIGURA 31.</b> RUTAS DISTRIBUCIÓN ALMACÉN DE MINA .....	74
<b>FIGURA 32.</b> RUTAS DISTRIBUCIÓN ALMACÉN DE VILLAHERMOSA .....	75
<b>FIGURA 33.</b> NUEVAS RUTAS ALMACÉN VILLAHERMOSA .....	75
<b>FIGURA 34.</b> RUTAS DISTRIBUCIÓN ALMACÉN DE HERMOSILLO.....	76
<b>FIGURA 35.</b> RUTAS DISTRIBUCIÓN ALMACÉN DE DELICIAS .....	76
<b>FIGURA 36.</b> RUTAS DISTRIBUCIÓN ALMACÉN DE SALAMANCA .....	77
<b>FIGURA 37.</b> RUTAS DISTRIBUCIÓN ALMACÉN DE MADERO.....	77
<b>FIGURA 38.</b> TRÁFICO ENTRE ALMACENES PROPUESTOS Y CLIENTES ACTUALES .....	78
<b>FIGURA 39.</b> GRÁFICA <i>FORECAST</i> FILTROS HP-101L34-1M, 2016 .....	83

<b>FIGURA 40.</b> NIVELES DE STOCK 2017 CONTRA 2015 EN MXN .....	87
<b>FIGURA 41.</b> NIVELES DE INVENTARIO MÉXICO 2015-2017 .....	88
<b>FIGURA 42.</b> FORMATO FICHA TÉCNICA .....	91
<b>FIGURA 43.</b> FORMATO INGRESO DE EQUIPOS A MANTENIMIENTO .....	92
<b>FIGURA 44.</b> FORMATO INGRESO DE EQUIPOS A MANTENIMIENTO .....	93
<b>FIGURA 45.</b> FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE MANTENIMIENTO .....	94
<b>FIGURA 46.</b> FORMATO MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	95
<b>FIGURA 47.</b> DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO .....	96
<b>FIGURA 48.</b> FICHA TÉCNICA EQUIPO DE 80 .....	97
<b>FIGURA 49.</b> LISTADO DE INGRESOS EQUIPOS SEMANA 3/2018 .....	98
<b>FIGURA 50.</b> FORMATO DE INGRESO EQUIPO 80 A MANTENIMIENTO.....	99
<b>FIGURA 51.</b> FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE MANTENIMIENTO .....	100
<b>FIGURA 52.</b> FORMATO MANTENIMIENTO PREVENTIVO EQUIPO 80.....	101
<b>FIGURA 53.</b> ESTADO EQUIPOS 400-600 GALONES POR MINUTO, EN %.....	102
<b>FIGURA 54.</b> RUTAS PROPUESTAS CON LOS ALMACENES ACTUALES EN REACTIVACIÓN DE PEMEX .....	110

# 1. Introducción

Por motivos de confidencialidad, no se dará el nombre de la empresa en la que se aplicó esta tesis, sin embargo, la información, números y situación son reales.

Actualmente debido a las dificultades que la economía mundial presenta, se han generado distintos cambios tanto en la organización como en la forma de trabajar de la mayoría de las industrias. El proceso de evolución y adaptación tiene que ser constante, sin embargo, es necesario contar con un plan que respalde teórica y matemáticamente cada una de las decisiones.

La empresa que se analizará ha tenido que evolucionar para poder permanecer firme en el mercado, realizando cambios en su cadena para hacerla más esbelta y buscar mejorar sus procesos eficientando sus operaciones y ahorrando recursos.

Se detectaron diferentes áreas de oportunidad en la empresa y se estudiaron varios métodos buscando eficientar las operaciones y lograr con esto, la sobrevivencia de la compañía.

Se desarrolló un modelo para la selección y operación de distintos almacenes distribuidos a lo largo de la República Mexicana, lo que contribuye de manera directa en las utilidades de los servicios.

Esta tesis tiene como objetivo general el diseñar modelos capaces de establecer la mejor ubicación de los almacenes considerando tanto clientes como proveedores, analizar los inventarios y diseñar un plan de mantenimiento preventivo de equipos para mejorar el desempeño y utilidades de los proyectos en una empresa de servicios.

Las preguntas de investigación que se pretenden resolver a lo largo de este estudio son:

1. ¿Los modelos de optimización propuestos lograrán reducir los gastos de almacenaje, transporte y mantenimiento de almacenes?
2. ¿Al aplicar los modelos el desempeño se verá beneficiado?
3. ¿Las utilidades lograrán verse afectadas positivamente con los cambios propuestos?

Los objetivos específicos son:

- Estudiar las operaciones presentes en el área de servicios de una empresa que atiende principalmente al sector energético.
- Detectar los factores que contribuyen al desempeño y utilidad en los servicios.
- Determinar la ubicación y capacidad de los almacenes, que contribuyan a una mejor respuesta y a un mejor uso de recursos.
- Establecer un programa de mantenimiento preventivo para la flotilla de equipos encargados de brindar los servicios.

Los modelos de optimización se desarrollan en una empresa que cuenta con varias líneas de negocio; una de ellas dedicada a la venta de equipos de lubricación, filtración y purificación de aceite; la segunda enfocada al mantenimiento de estos equipos; y la última encargada de ofrecer servicios de filtración y limpieza de aceite, de tuberías, turbinas, calderas, compresores y maquinaria de la industria en general. En esta ocasión el estudio se dedicará a la tercera línea de negocio, los servicios. Tanto la empresa como la línea de servicios son descritas en el Capítulo I.

Conociendo el origen y evolución de la empresa, se puede entender y estudiar su situación actual, logrando identificar los principales problemas que ésta enfrenta, también descritos en el Capítulo I. Para poder entender la problemática y la influencia que distintos factores tienen en las operaciones de la empresa, se realizó un análisis estadístico, Capítulo II, que contribuye a la evaluación monetaria de los problemas que se presentan. En este capítulo se encontró que uno de los factores limitantes de los servicios son los equipos, por lo que se trabajó en un plan detallado de mantenimiento, lo que permitiría la disponibilidad de los equipos y la reducción de gastos por fallos inesperados por falta de atención y mantenimientos preventivos.

Después del estudio detallado de la problemática, se consultaron diferentes teorías y herramientas mostradas en el Capítulo III. Con base en el análisis de los problemas y el estudio de los diferentes métodos para la solución de este tipo de problemas, con las modificaciones y adaptaciones pertinentes en el Capítulo IV se exhiben las soluciones propuestas. Las propuestas se implementaron y los resultados obtenidos de este proceso se citan en el quinto capítulo. Las conclusiones de esta investigación se presentan en el Capítulo VI y las recomendaciones en el Capítulo VII.

## 1.1 Situación actual

### 1.1.1 Empresa

La empresa que se estudia pertenece al sector servicios la cual tiene sede en la Ciudad de México y presencia en Iberoamérica.

Es líder mundial en soluciones tribológicas de la Industria Energética. Cuenta con gran experiencia y tecnología orientadas a difundir innovaciones de alta calidad mediante la entrega de sistemas y programas. Busca incrementar a corto plazo la confiabilidad, disponibilidad y mantenimiento de la maquinaria industrial.

### 1.1.2 Línea de servicios

En la empresa la línea dedicada a ofrecer soluciones tribológicas, a través del proceso conocido como *High Speed Oil Flushing*, se dedica a la limpieza interna de sistemas de sello, control, lubricación, y sistemas hidráulicos de equipos críticos.

La importancia de esta línea surge de la preocupación de toda industria por la confiabilidad del equipo. La prevención y el mantenimiento adecuado del sistema de lubricación, sello y control, son la mejor manera de asegurar la confiabilidad del equipo y con esto la del mismo sistema.

Los servicios tienen como objetivo acabar con los graves inconvenientes que se generan de los contaminantes residuales, propios de la operación del equipo, por la falta de prevención y mantenimiento, dañando elementos críticos de las máquinas. Para asegurar la confiabilidad del sistema, estos contaminantes necesitan ser removidos.

El principal pilar del área es la logística, se debe asegurar que los transportes lleven a tiempo el material, reduciendo los costos integrales al mínimo, entregando conforme a las expectativas del cliente y reduciendo el uso del capital, planeando la recolección y entrega de materiales y la gestión de recursos materiales, humanos y el activo fijo.

Industrias con las que se trabaja: refinería, papelera, minera, petroquímica, vidrio, generación de energía, cementera, siderurgia, alimenticia, entre otras.

Equipos que se atienden: turbinas, bombas, compresores, motores, centrífugos, rotativo-helicoidal.

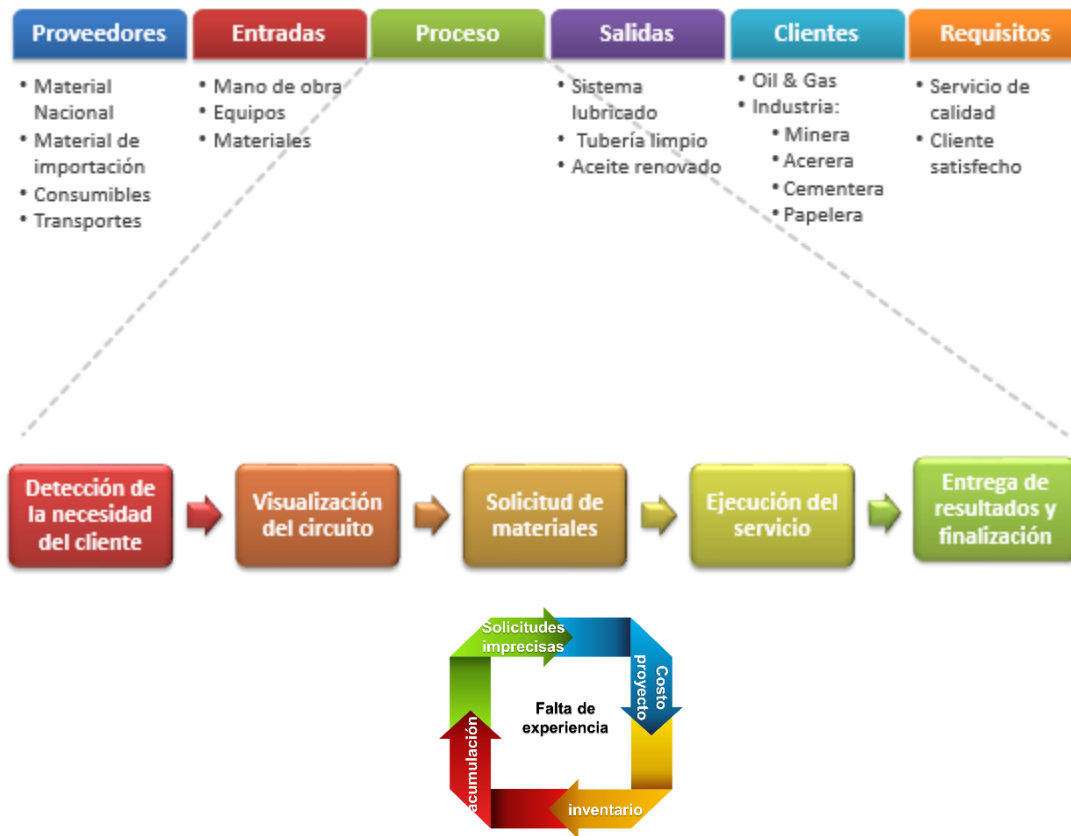
## 1.2 Problemática

La empresa de estudio nació como una empresa familiar dedicada a la limpieza de diferentes tipos de maquinaria, principalmente en industrias de generación de energía. Pionera en muchas de las soluciones tribológicas que ofrecía, la competencia era casi nula. Las formas de vender y operar eran totalmente diferentes a lo que hoy se conoce.

En sus inicios, esta empresa no contaba con sistemas de información, ni procesos definidos para cumplir con los diferentes requerimientos de los servicios que ofrecían, por ejemplo, los métodos para saber cómo formar los circuitos que permitieran limpiar el sistema, los materiales necesarios, la forma de solicitarlos, los tiempos de entrega y el desarrollo de proveedores se ejecutaban prácticamente por intuición pues no había controles o estándares para la ejecución de los servicios. Fue gracias al tiempo y al crecimiento que se fueron formando expertos en campo, basados en la experiencia y mucho trabajo, lo cual consolidó a la empresa como líder en el ramo.

Al ser una empresa familiar con todo el mercado por explotar y con un rápido crecimiento, la logística, compras, distribución y almacenaje se daban de acuerdo con las necesidades que se presentaban en el momento. Cada técnico solicitaba lo que requería y eso se compraba, muchas veces no sabían si lo solicitado era necesariamente lo requerido, pero la única forma de empezar era probar y descubrir.

En la Figura 1 se muestra, a través de un diagrama de proceso, el inicio y desarrollo de un servicio. Se describen los proveedores que contribuyen a la cadena, las entradas y sus salidas, señalando el proceso y los problemas que se originan en este, por la falta de experiencia. Al no saber pedir los materiales que se ocuparán en el proyecto, se solicitan con premura, se piden imprecisamente, afectando directamente al proyecto y si no se llegan a utilizar se quedan en inventario generando costos de manejo y almacenaje de los mismos.

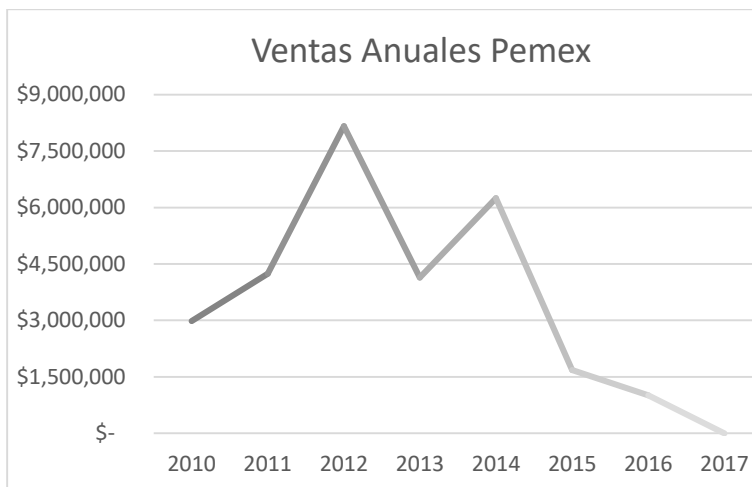


**Figura 1.** Proceso general de ejecución de servicios

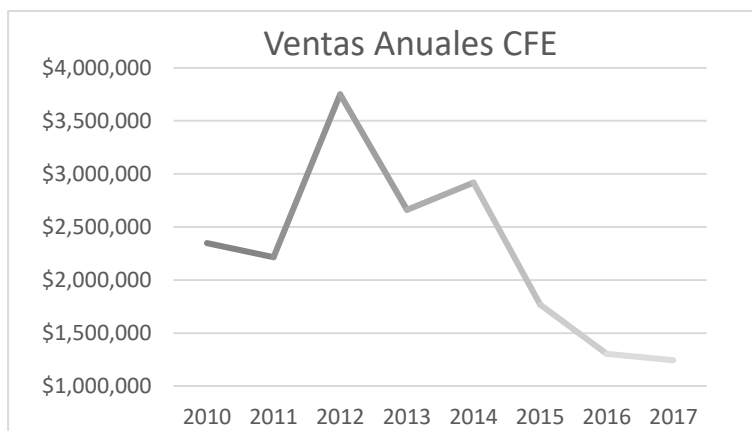
Con el paso del tiempo la situación de la empresa empezó a ser distinta, los expertos se empezaron a desarrollar y la forma de trabajo a estandarizar. Los servicios empezaron a tomar forma, y se empezó a conocer el modo de pedir y los tiempos de entrega de cada uno de los materiales.

La principal industria atendida por esta empresa es la de *Oil & Gas*, sus equipos y servicios están enfocados a atender principalmente a esta industria. Por muchos años CFE y PEMEX fueron los clientes más importantes.

Debido a todos los cambios que ha sufrido esta industria, las ventas de las distintas líneas de la empresa se han visto severamente afectadas. En las Figuras 2 y 3 se muestra la tendencia de ventas de los últimos años de dos de los principales clientes de la empresa: PEMEX y CFE, basado en datos de las ventas que la empresa tuvo con ambos clientes.



**Figura 2.** Ventas Anuales Pemex MXN



**Figura 3.** Ventas Anuales CFE MXN

Al ofrecer una tecnología de vanguardia fue necesario iniciar enseñando la efectividad de los productos y servicios a los clientes, una vez que estos se dieron cuenta de las soluciones que se presentaban y los recursos que se ahorraban (disminución de paros no programados, mantenimientos preventivos más cortos, menos índice de falla en los equipos, entre otros), las ventas se fueron propagando por todas las centrales de ambos grupos.

Como se observa en las Figuras 2 y 3, 2012 fue el mejor año para la empresa, con un pico que entre los dos clientes sumaba más de 11 millones de pesos. A partir de ese año la venta de la tecnología empezó a decaer, sin embargo, los servicios y mantenimientos generales de la tecnología que el cliente adquirió empezaron a soportar a la empresa.

En el año 2015, al agudizarse la crisis en el sector energético, donde las paraestatales dejaron de invertir en la adquisición de más tecnología, la empresa obtuvo sus ingresos a partir de los servicios y mantenimiento. Finalmente, en el año 2017, uno de los principales clientes, PEMEX, no contrató ningún servicio a la empresa (Figura 2), lo que afectó la fuente más fuerte de ganancias de esta empresa.

Muchas de las áreas tenían como principal y único cliente a Pemex, y al perderlo varias líneas de la empresa se vieron severamente afectadas. Por lo que en estos momentos la única forma para lograr mantener a la empresa con márgenes de ganancia positivos es enfocando todos los esfuerzos en eficientar las actividades, tratar de reducir costos y hacer más esbelto el proceso, de manera que cuando la industria se reactive, la empresa podrá seguir presente y solventar sus necesidades. Algunas líneas, aunque sufrieron el efecto de la caída de ventas por parte de estas empresas, gracias al sector privado, siguen siendo importantes para el negocio, pero es necesaria una reestructura.

Actualmente la empresa presenta oportunidades de mejora en el manejo de inventarios, almacenes y equipos.

### 1.2.1 Inventarios, almacenes

El inventario total de la empresa se compone de:

#### 1.2.1.1 Inventario de baja rotación:

Materiales, herramientas e incluso equipos que se solicitaron desde el 2012 y que, por no contar con los controles adecuados, información y formación para solicitarlos se han acumulado en los distintos almacenes, ocasionando costos de:

1. Mantenimiento
2. Almacenamiento
3. Costos de obsolescencia

La mayor parte de estos materiales son obsoletos, ya caducaron o son tan especializados que actualmente no se les puede dar el uso para el que fueron solicitados y una adaptación es casi imposible, por lo que se siguen acumulando.



**Figura 4.** Inventarios de Baja Rotación MXN en 2016

En la Figura 4 se observan los altos niveles de *stock* de baja rotación que tiene la empresa; cada cuatrimestre se hace una evaluación y se observa que, a pesar de los esfuerzos para reducir el *stock* para fin de año, este se encuentra por encima de los 5.5 millones de pesos en diciembre de 2016.

#### 1.2.1.2 Inventario de respaldo para las líneas:

Se solicita para poder hacer frente a la demanda, sin embargo, no se lleva un control y el inventario empieza a crecer.

Los clientes solicitan un servicio, la línea se prepara, se compran materiales (basándose en las especificaciones del cliente) y si el cliente retrasa el servicio (porque la máquina no para, por ejemplo) el área se queda con los materiales listos hasta que el cliente reanude el paro. Cuando son problemas de este tipo, el cliente puede avisar de un día a otro el inicio de operaciones y se debe de contar con los materiales para reaccionar, pero a veces puede llevar meses que se reactiven los proyectos. Esto produce dos grandes problemas: grandes niveles de inventario y procesos deficientes.

Frecuentemente en el área de servicios, se presenta una carencia de materiales, (los servicios son muy frecuentes, dinámicos y la mayoría de las veces se solicitan de un día a otro), lo que significa que los materiales no están en sitio cuando son requeridos, generando costos adicionales y retrasos en los servicios, sin embargo, la mayoría de los

servicios presenta los mismos insumos básicos, por lo que todos los consumibles, sin importar su costo o tiempo de entrega, se deben tener en *stock*.

Este *stock* permite que el servicio arranque cuando el cliente lo pide sin tener que esperar los elementos básicos. Uno de los productos más importantes son los filtros, estos se ocupan para todos los servicios, evidentemente de diferentes tamaños y micrajes, pero siempre tiene que haber al menos una carga disponible en cada almacén para poder iniciar el servicio. Cada carga es de cuatro filtros, mismos que se utilizan en tres micrajes diferentes de 1, 3 y 6 micras.

Estos filtros son de importación, cada uno tarda aproximadamente un mes desde que se realiza el pedido hasta que llega al almacén y tienen un costo aproximado de \$ 2,300 pesos. Por esta razón el inventario global no puede ser bajo, por lo menos en el área de servicios.

El inventario se nutre de muchos productos para la realización de los servicios y los mantenimientos y muchas refacciones que se adquirieron, pero al final nunca se utilizaron y se empezaron a acumular. El inventario se evalúa en aproximadamente 9 millones de pesos.

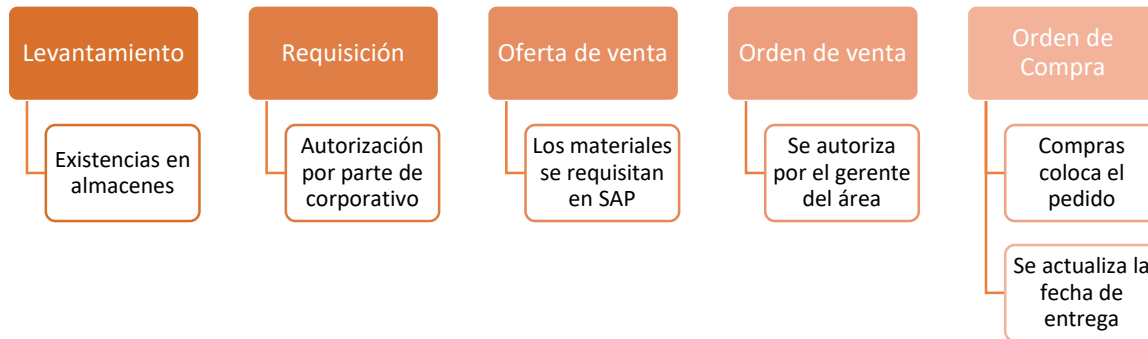
Existe, también, un desbalanceo entre los inventarios de materias primas para atender un servicio y los pedidos de los clientes, lo que resulta en una gestión insuficiente de la cadena de suministro de la empresa. Parte de las causas de esta problemática obedece al enfoque individualizado que se tiene de las operaciones.

La empresa cuenta con 8 almacenes ubicados en: Tula, Monterrey, Madero, Salamanca, Hermosillo, Delicias, Minatitlán, Villahermosa, de los cuales, los tres principales son el de Tula, Monterrey y Minatitlán.

El vasto número de almacenes ayuda a tener una respuesta rápida, sin embargo, no siempre es la más eficiente, en realidad lo que se busca es tener una oficina cercana al cliente para poder responder rápidamente ante cualquier necesidad. Sin embargo, esto propicia que se eleve el costo de manejo y exista una mayor probabilidad de generar inventario obsoleto.

A continuación, se describe el proceso de abastecimiento de los materiales para poder evaluar el uso y las funciones de los almacenes.

### 1.2.1.3 Proceso de abastecimiento de materiales



**Figura 5.** Descripción de la cadena de suministro

El proceso de abastecimiento de materia prima, que se resume en la Figura 5, se describe a continuación:

#### **A. Proceso de abastecimiento**

##### a) Levantamiento

Antes de la orden de compra se realiza el levantamiento, se revisa el sistema a intervenir y se calculan los materiales que se requerirán. En el almacén se revisan las existencias físicas de materiales, materiales en el *stock* de servicios, que han sido utilizados en servicios pasados, que se limpian, almacenan y que sirven para el armado de diferentes circuitos.

##### b) Requisición

Con base en el levantamiento, se solicitan en el sistema los materiales que se requerirán, esta solicitud es realizada por la persona que realizó el levantamiento y que será el que los utilizará. En dicha solicitud se especifican cantidades, código de producto, y almacén de entrega.

##### c) Oferta y orden de venta

En el corporativo se revisan las requisiciones y se crea una oferta de venta, ésta se realiza en SAP<sup>1</sup>, los gerentes de línea autorizan la oferta y se crea una orden de venta, esa última llega al departamento de compras para su colocación. Después

<sup>1</sup> SAP: Sistemas, Aplicaciones y Productos para Procesamiento de Datos, software para aplicaciones de negocios, ERP.

de que el sistema “arroja negativos”, que significa que hay una diferencia entre lo que existe en *stock* y lo que es necesario comprar, se realiza la orden de compra.

d) Orden de compra

El departamento de compras actualiza la fecha de entrega de cada uno de los productos solicitados y estos son enviados al almacén indicado.

### **B. Proceso de Distribución (costos y tiempos de importación)**

La empresa cuenta con proveedores en Estados Unidos, España y Holanda. Entre los proveedores estadounidenses sobresalen tres: Hypro, EPT y TLM, a pesar de ser tres proveedores diferentes, todos entregan en las oficinas del agente aduanal, en donde se crean paquetes, y al tener una cantidad suficiente se realiza la importación. El costo por la importación de cada paquete armado es de 200 dólares más el transporte. Si la entrega se realiza al almacén de Monterrey, tiene un costo de 420 dólares y si llega hasta Tula, el costo aumenta a 1,200 dólares. El tiempo de entrega una vez enviado el paquete es de 2 días, sin importar el almacén destino.

Entre los proveedores europeos se encuentran Norteck (España) e Interflón (Holanda), para ambos se utiliza el servicio del agente aduanal Prida Bravo. Los costos que se manejan con este agente son generalmente: Recolección 3,054 €, importación 2,600 €, gastos aduanales 3,273 €, vuelo 2,618 €. En total tarda 15 días y su destino final es el aeropuerto de la Ciudad de México.

Los costos que engloba la importación con los proveedores europeos son casi los mismos, sin embargo, en el caso de la importación de equipos especiales, que generalmente tienen medidas y pesos más grandes de lo normal, provocan un incremento en el costo precisamente por tener mayor volumen y peso; los tiempos de entrega aumentan puesto que son enviados vía marítima. Esto solo es en casos esporádicos, o para otras líneas, por lo que no se estudiarán en este caso.

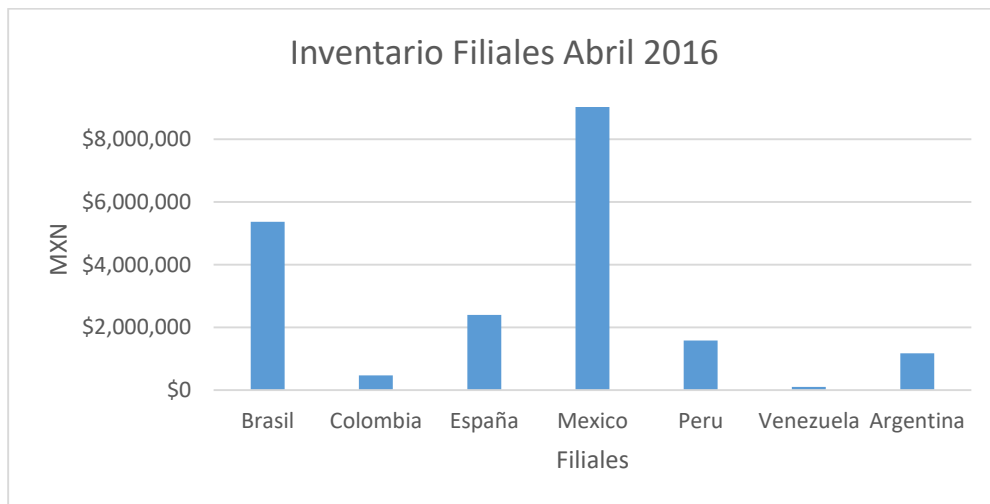
Las tarifas mencionadas incluyen:

- Almacenamiento de mercancías.
- Manejo de carga y descarga de vehículos
- Administración de inventarios.
- Alistamiento de pedidos.

#### 1.2.1.4 Análisis de inventarios

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales problemas que enfrenta la empresa es el manejo de sus inventarios, aunado a la complejidad del correcto manejo de almacenes. Debido a lo anterior, a continuación, se realiza un análisis del comportamiento de los mismos.

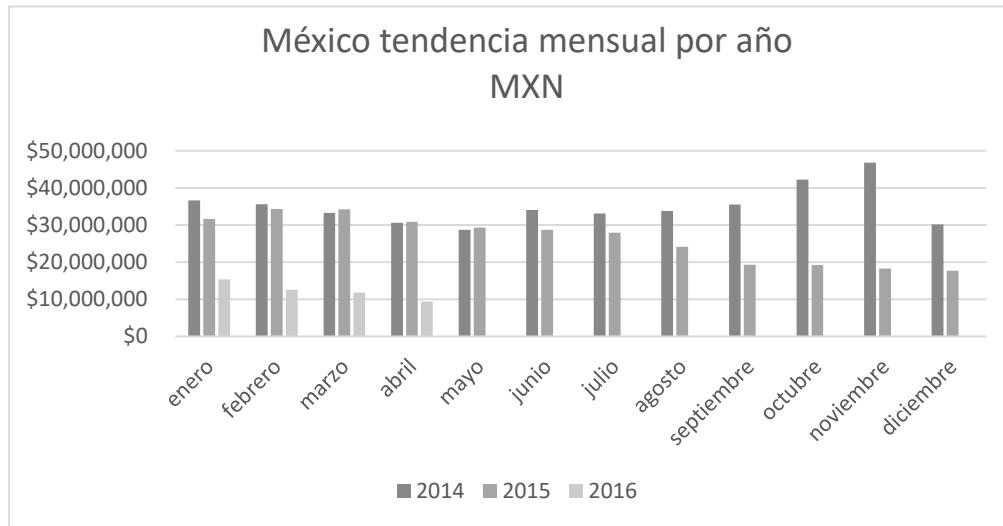
Las distribuciones de inventarios en filiales en abril del 2016 se muestran en la Figura 6.



**Figura 6.** Inventario en filiales en abril del 2016

México representa 46% del inventario de filiales, con más 9 millones de pesos en inventario, seguido por Brasil con 5 millones; la diferencia entre el inventario de México y el resto de las filiales es muy notorio (Figura 6) y un problema que sin duda se tiene que resolver. Estos montos muestran el total de inventario: inventario obsoleto, inventario de baja rotación e inventario de seguridad.

Para entender el origen y posibles soluciones del problema, en la Figura 7 se muestra la evolución del inventario desde enero del 2014 hasta diciembre del 2016. La gráfica se muestra hasta abril, mismo mes en el que se muestra el corte de las filiales (Tabla 1). A partir de ese mes las propuestas, que se describirán más adelante, se empiezan a ver reflejadas y se analizan en los siguientes capítulos.



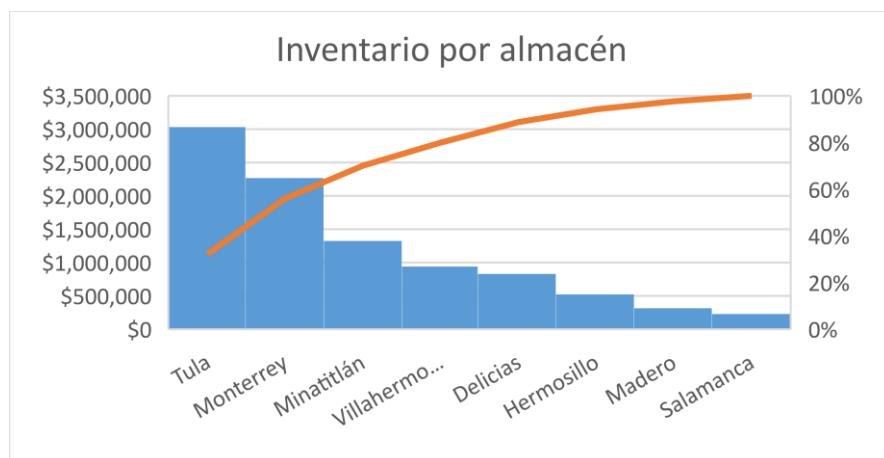
**Figura 7.** Tendencia Mensual de inventarios México MXN

Para tener un poco más de detalle, en la Tabla 1 se indican los montos de inventario por almacén.

**Tabla 1.** Valor de los inventarios en México

Almacén	Total MXN
Tula	\$3,032,446
Monterrey	\$2,266,708
Minatitlán	\$1,324,164
Villahermosa	\$938,920
Delicias	\$827,788
Hermosillo	\$524,164
Madero	\$316,532
Salamanca	\$228,439
<b>Total</b>	<b>\$9,459,160</b>

Como se observa en la Figura 8, el inventario se concentra en los 3 almacenes principales: Tula, con más de 3 millones de pesos en inventario, Monterrey con 2 millones y Minatitlán con 1 millón, seguido por Delicias y Villahermosa.



**Figura 8.** Inventarios en México por almacén en MXN

Dado que la empresa está dividida en distintas líneas de servicios, cada una dedicada a ofrecer una solución distinta al cliente, desde la venta de equipos, el mantenimiento de estos, hasta el servicio de limpieza de la maquinaria industrial, es necesario que cada línea cuente con su propio nivel de inventario, lo que provoca que sus niveles y composición sean distintos.

En la Tabla 2 se observa el monto de inventario por línea, Lubrimist es la línea que más valor de inventario presenta, se dedica al manejo de equipos; pocos equipos representan un gran costo. Por otro lado, DinaFlu es una línea de lubricación por lo que su *stock* es relativamente bajo, solo unas grasas y lubricantes lo conforman; mucho producto representa poco valor. La línea de servicios de limpieza *Turboclean* (TC) cuenta con un *stock* considerable, este inventario es el objeto de estudio en esta ocasión.

**Tabla 2.** Inventario mensual por división en el 2016

División	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total general
Lubrimist	\$3,901,394	\$1,928,908	\$541,035		\$6,371,337
Pureoil	\$3,087	\$11,250		\$1,462,692	\$1,477,029
Turboclean	\$200,712	\$601,231	\$279,721		\$1,081,664
PADELI	\$146,440	\$28,486	\$188,208		\$363,134
DinaFlu	\$19,240	\$128,427	\$18,329		\$165,996
<b>Total general</b>	<b>\$4,270,873</b>	<b>\$2,698,302</b>	<b>\$1,027,293</b>	<b>\$1,462,692</b>	<b>\$9,459,160</b>

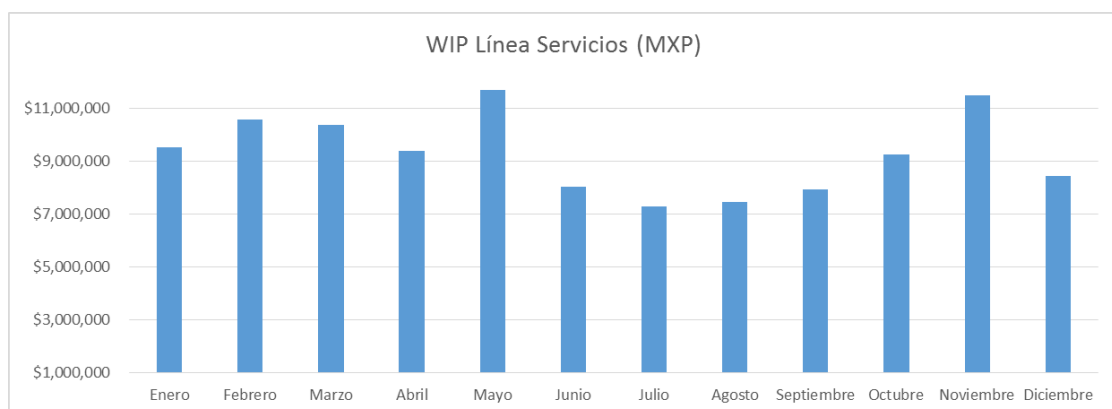
#### 1.2.1.4.1 Work in Process (WIP)

Los gastos de materiales, personal y transportes en los que el proyecto ha incurrido y que no han podido descargarse porque el proyecto no se ha facturado, se conocen como WIP y forman parte importante del inventario.

**Tabla 3.** WIP de línea de servicio en pesos en el 2016

Mes	WIP Línea Servicios (MXN)
Enero	\$ 9,546,096
Febrero	\$ 10,567,169
Marzo	\$ 10,387,570
Abril	\$ 9,401,797
Mayo	\$ 11,691,165
Junio	\$ 8,038,581
Julio	\$ 7,306,509
Agosto	\$ 7,464,783
Septiembre	\$ 7,950,932
Octubre	\$ 9,262,851
Noviembre	\$ 11,498,539
Diciembre	\$ 8,435,788

En la Tabla 3 se refleja el WIP de la línea encargada de atender los servicios, el pico más alto supera los 11 millones, el objetivo es que el WIP al final del mes sea el menor posible, pues un servicio ejecutado un mes debería ser facturado el mismo mes en el que se realizó, para no tener que arrastrar esos costos después de realizado el cierre del periodo. Esto se logra facturando lo ejecutado en el mismo mes, por lo anterior los procesos se buscan hacer lo más esbelto para lograr cerrar el ciclo en el menor tiempo posible.



**Figura 9.** WIP de la línea de servicios 2016 en MXN

Mayo y noviembre del 2016 (Figura 9) presentan el mayor nivel de WIP, lo que impacta directamente en los números del inventario, esto se debe principalmente a que en esos meses se presentó más carga de trabajo y no se logró terminar de facturar todos los servicios realizados, lo que provoca que no se logre descargar estos gastos en los proyectos, sino que se empiezan a acumular en el siguiente periodo.

#### 1.2.1.5 Beneficios y gastos del sistema actual

Beneficios:

- Se cuenta con el material en el momento requerido, ya sea por el exceso de material en *stock* o por compras locales cuando es requerido.
- Al contar con varios almacenes los materiales se encuentran más cerca de la gente.

Gastos:

- Se duplican las compras por productos que no llegan en tiempo
- Almacenes repletos de materiales que nadie usará, materiales propensos a volverse obsoletos.
- Inventario de seguridad por cada uno de los almacenes, aumenta el nivel de inventario de la empresa y los costos por su manejo.
- Más almacenes, más materiales, más gastos administrativos.

#### 1.2.2 Equipos

La flotilla dedicada a atender servicios cuenta con más de 220 equipos, dependiendo de la cantidad de aceite que se desea limpiar y las condiciones en las que se encuentre el mismo, (contaminación con agua, contaminación con barnices, partículas sólidas, entre otros) es que se elige los equipos a utilizar.

En uno de los almacenes principales, ubicado en Monterrey, se encuentra un área de manufactura, en la que se elaboran los equipos y se le brinda mantenimiento a la flotilla, sin embargo, por la cantidad de servicios y el alto índice de utilización de los equipos no hay tiempo ni programación para los mantenimientos, por lo que todos son mantenimientos correctivos y muy pocos preventivos.

## Problemas:

- Registro nulo de la cantidad de mantenimientos.
- Falta de programación de mantenimientos preventivos.
- Constantes mantenimientos correctivos.
- Poco registro de ubicación de equipos.

Al no existir un plan de mantenimiento de equipos, este procedimiento se deja pasar hasta que el equipo deja de trabajar y lamentablemente la mayoría de las veces es frente a un cliente, ocasionando con esto serios problemas:

- Mala imagen frente al cliente.
- Retraso en el servicio y todos los costos que conlleva.
- Reparaciones locales caras y poco eficientes.
- Probabilidad de fugas o contaminación de fluidos.
- Necesidad de cambio de equipos.
  - Costo transporte.
  - Costo espera (por detener el servicio en curso) .
  - Costo de oportunidad por el equipo sin utilizar.

A continuación, se muestran distintas evaluaciones estadísticas que se realizaron con el fin de conocer la criticidad de los problemas y el origen de los mismos.

## 2. Análisis estadístico

Para poder determinar la complejidad de los problemas que influyen en las utilidades de los servicios y establecer el nivel de prioridades a resolver, se realizó un análisis estadístico detallado, evaluando los factores que repercuten directamente las utilidades de los servicios.

### 2.1 Encuesta inicial

Para poder evaluar la situación actual de la empresa se realizó una encuesta, a 15 *Project Leads*, encargados de la organización y logística de los servicios en campo, y líderes frente al cliente.

Al aplicar la encuesta se obtuvo que las funciones no se encuentran bien definidas y los *Project Leads* no saben cuál es la importancia de su labor en la empresa. Lo anterior desmotiva e impide que desarrollen todo su potencial; solamente la mitad de los líderes conoce la misión y visión de la empresa, por lo que no todos están totalmente involucrados con la misma. Las preguntas aplicadas y el resumen de los resultados se pueden consultar en el Anexo I.

Uno de los principales problemas que la empresa enfrenta, probablemente por la falta de compromiso y motivación de su personal, que se descubrió con la encuesta anterior, es la baja utilidad en sus proyectos. Por lo anterior se realizó un análisis especial para poder encontrar las causas de las bajas utilidades.

### 2.2 Análisis causal del problema

Existen diferentes métodos para poder entender el origen del problema. Es necesario poder identificar las causas que los originan, buscar resolverlas y generar un resultado diferente. Para poder entender las causas que intervienen en la baja de utilidades de la empresa, se realizó un análisis causa-efecto.

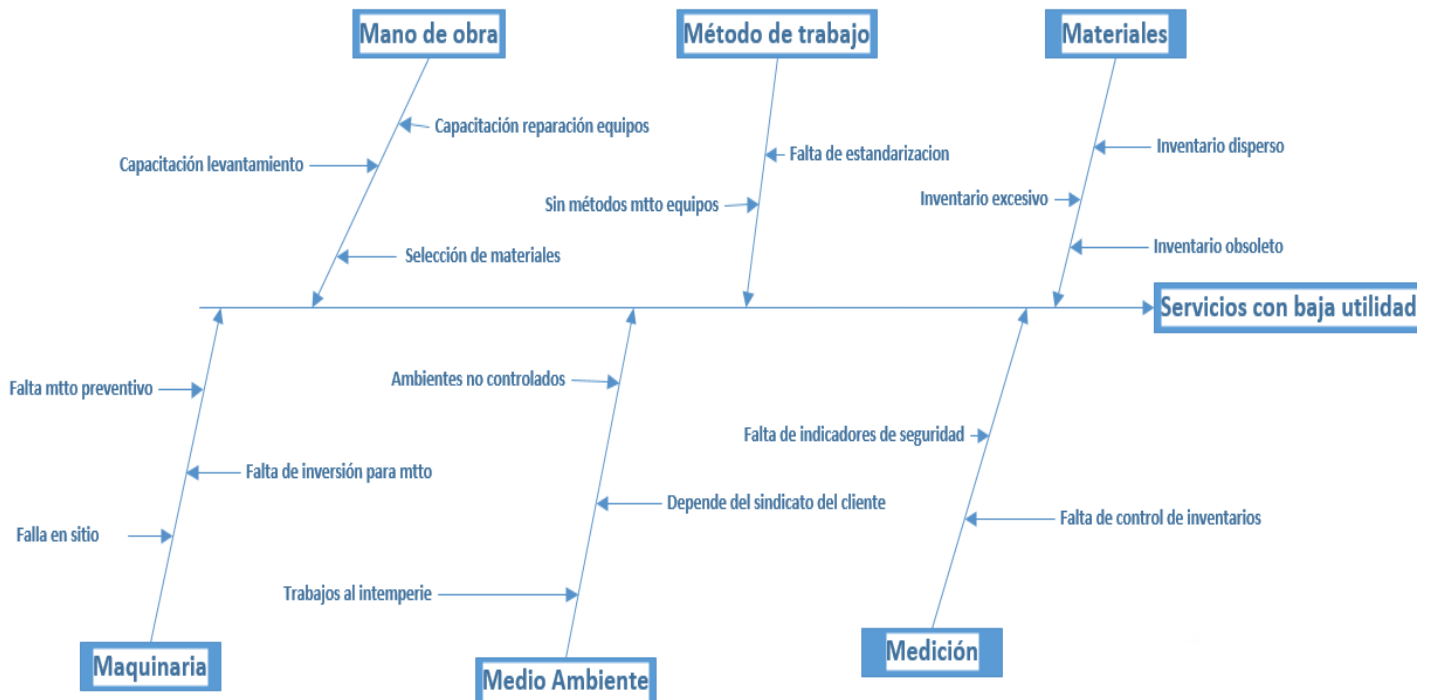
#### Diagrama Causa-Efecto

El diagrama Ishikawa (Alberto Galgano, 1995) es un método gráfico que relaciona el efecto (problema) con sus causas potenciales.

En la Figura 10 se analiza a través de distintas causas, el efecto de las bajas utilidades en los servicios. Entre las variables que se estudian se encuentran: mano de obra, método de trabajo, materiales, maquinaria, medio ambiente y medición.

Tomando en cuenta las principales causas que ocasionan servicios con baja utilidad se encontró que:

- Existen problemas con los inventarios
- Se requiere mantenimiento preventivo y correctivo en los equipos
- Se requiere capacitación



**Figura 10.** Diagrama Ishikawa: Problemática servicio con baja utilidad

Para poder aminorar las causas se evaluarán cada una de ellas con mayor detalle.

El primer tema a analizar es el inventario y para eso se realizó un diagrama Pareto, que ayudará a definir los materiales principales en cada servicio y con eso delimitar el tamaño de *stock* necesario y la combinación ideal de producto.

Entendiendo que uno de los principales problemas son los almacenes y sus inventarios, su análisis iniciará con el diagrama Pareto, tratando de priorizar los elementos esenciales de los servicios.

Posteriormente, mediante un diagrama de cajas y bigotes, se establecen los niveles mínimos y máximos de cada uno de los insumos necesarios para la ejecución de los servicios.

### 2.3.1 Diagrama de Pareto.

El principio del 80-20 (Richard Koch, 2009) reconoce que unos pocos elementos (el 20%) generan la mayor parte del efecto (80%); el resto de los elementos generan muy poco del efecto total.

En la Tabla 4 se presentan productos, precio unitario y la demanda de los 20 principales materiales necesarios para realizar un servicio. Se enumeran por nivel de importancia para el servicio, es decir sin las primeras nueve partidas sería imposible realizar un servicio por más fácil que este fuera.

**Tabla 4.** Productos línea de servicios, precio y demanda

#	Código	Descripción	Precio unitario (MXN)	Demanda Anual (PZA)	Demanda Anual (MXN)
1	HP-101L34-1MB	FILTRO DE 1 MICRONES	\$ 2,321	675	\$ 1,566,540
2	HP-101L34-3MB	FILTRO DE 3 MICRONES	\$ 2,245	451	\$ 1,012,531
3	HP-101L34-6MB	FILTRO DE 6 MICRONES	\$ 1,904	192	\$ 365,558
4	GEOMEMBRANA	GEOMEMBRANA	\$ 5,767	38	\$ 219,146
5	C-FELPA-A	FELPA ABSORVENTE	\$ 1,627	154	\$ 250,575
6	TRAPO-I	TRAPO INDUSTRIAL	\$ 14	5,700	\$ 77,634
7	FM-110-N	FRASCO MUEST. POLIETILENO	\$ 15	2,275	\$ 33,170
8	FM-06591-P	120CC CLEAR PETE PACKER	\$ 11	3,300	\$ 35,937
9	SOLV-DES-IND	DESENGRASANTE INDUSTRIAL	\$ 25	7,940	\$ 198,500
10	P-GAR-1/16	PLACA GARLOCK	\$ 1,228	34	\$ 41,752
11	SOLV-QP-10	PRODUCTO QUIMICO QP-10	\$ 28	12,230	\$ 336,937
12	SOLV-QP-16	PRODUCTO QUIMICO QP-16	\$ 37	11,880	\$ 440,154
13	SOLV-QP-26	PRODUCTO QUIMICO QP-26	\$ 15	5,030	\$ 76,456
14	TBAI2	TUBO CED. 40 DE 2" INOX.	\$ 445	523	\$ 232,677
15	TBGL3/4	TUBO GALV 3/4" CED.40 S/ROSCA	\$ 47	7,781	\$ 364,306
16	THGL3/8	TUERCA HEXAG. DE 3/8" GALVANIZADA	\$ 1	2,904	\$ 2,904
17	TUBAI-3/8	TUBING INOX DE 3/8" TIPO 304 CAL.20	\$ 89	4,353	\$ 388,331
18	J-BRID-F-150-1	EMPAQUE FLEXITALIC	\$ 39	1,135	\$ 43,947
19	943203Q	FILTER ELEMENT 12 MICRONES PARKER 34" LONG.	\$ 2,150	159	\$ 341,928
20	933736Q	ELEMENTO FILTRANTE IL8-3, 20 MICRAS	\$ 3,595	144	\$ 517,729
			\$ 21,602	66,898	\$ 6,546,713

Para poder conocer el tamaño de stock ideal se comienza con el estudio de la demanda mensual de las partidas más importantes para la realización de un servicio de limpieza; esta demanda se presenta por mes en la Tabla 5.

De acuerdo con la demanda anual y el costo que ésta representa se realizó un ABC de los productos, Tabla 6. El método ABC (David de la Fuente, 2008) establece que, al revisar el inventario, la empresa debería clasificar los artículos de la A a la C. Artículos clase A son aquellos cuyo valor de consumo anual es el más elevado, basados en el principio Pareto. El 80% del consumo estará distribuido en un 20% de los artículos. Los artículos C son los de menor consumo, el 5% más bajo que generalmente representan el 50% de los artículos y los artículos B tienen un consumo medio, entre el 15- 25% que representan el 30% de artículos.

**Tabla 5.** Demanda Mensual principales productos para realizar un servicio

#	Código	Meses Enero-Diciembre												Promedio	Desv. Est
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	HP-101L34-1MB	43	53	62	57	50	68	68	74	51	60	40	49	56	10
2	HP-101L34-3MB	18	18	44	39	43	32	40	77	43	30	30	37	38	15
3	HP-101L34-6MB	37	18	28	32	23	8	2	11	8	2	19	4	16	12
4	GEOMEMBRANA	6	0	5	2	4	4	3	3	4	3	2	2	3	2
5	C-FELPA-A	18	4	21	9	7	21	12	13	16	17	9	7	13	6
6	TRAPO-I	885	274	641	400	300	441	603	615	725	315	279	222	475	213
7	FM-110-N	170	70	165	200	152	173	300	277	172	298	176	122	190	70
8	FM-06591-P	330	112	386	122	320	433	332	210	273	364	127	291	275	109
9	SOLV-DES-IND	1395	590	1120	600	470	205	770	560	710	240	545	735	662	333
10	P-GAR-1/16	3	4	0	4	1	1	4	4	10	0	2	1	3	3
11	SOLV-QP-10	1000	200	350	1350	240	1290	2500	1350	1200	950	800	1000	1019	625
12	SOLV-QP-16	1000	800	250	1350	240	2500	740	1000	1400	800	1000	800	990	592
13	SOLV-QP-26	430	350	300	450	500	520	600	300	400	430	250	500	419	104
14	TBAI2	53	56	59	36	48	23	34	54	22	41	43	54	44	13
15	TBGL3/4	748	512	722	1000	750	604	450	478	875	732	512	398	648	185
16	THGL3/8	116	200	120	120	192	500	758	108	252	140	238	160	242	195
17	TUBAI-3/8	555	463	390	534	224	354	250	900	220	200	163	100	363	224
18	J-BRID-F-150-1	154	113	175	140	155	80	78	50	70	40	50	30	95	51
19	943203Q	30	20	19	9	12	7	6	9	16	9	12	10	13	7
20	933736Q	28	15	9	15	7	11	8	9	13	12	8	9	12	6

**Tabla 6.** ABC productos servicios TC

Análisis ABC Consumibles				
#	Código	% uso	% acumulado	Tipo
4	GEOMEMBRANA	26.69%	26.69%	A
20	933736Q	16.64%	43.34%	A
1	HP-101L34-1MB	10.74%	54.08%	A
2	HP-101L34-3MB	10.39%	64.47%	A
19	943203Q	9.95%	74.42%	A
3	HP-101L34-6MB	8.81%	83.24%	A
5	C-FELPA-A	7.53%	90.77%	B
10	P-GAR-1/16	5.68%	96.45%	B
14	TBAI2	2.06%	98.51%	C
17	TUBAI-3/8	0.41%	98.92%	C
15	TBGL3/4	0.22%	99.14%	C
18	J-BRID-F-150-1	0.18%	99.32%	C
12	SOLV-QP-16	0.17%	99.49%	C
11	SOLV-QP-10	0.13%	99.62%	C
9	SOLV-DES-IND	0.12%	99.73%	C
13	SOLV-QP-26	0.07%	99.81%	C
7	FM-110-N	0.07%	99.87%	C
6	TRAPO-I	0.06%	99.94%	C
8	FM-06591-P	0.05%	99.99%	C
16	THGL3/8	0.01%	100.00%	C

**Tabla 7.** Resumen método ABC

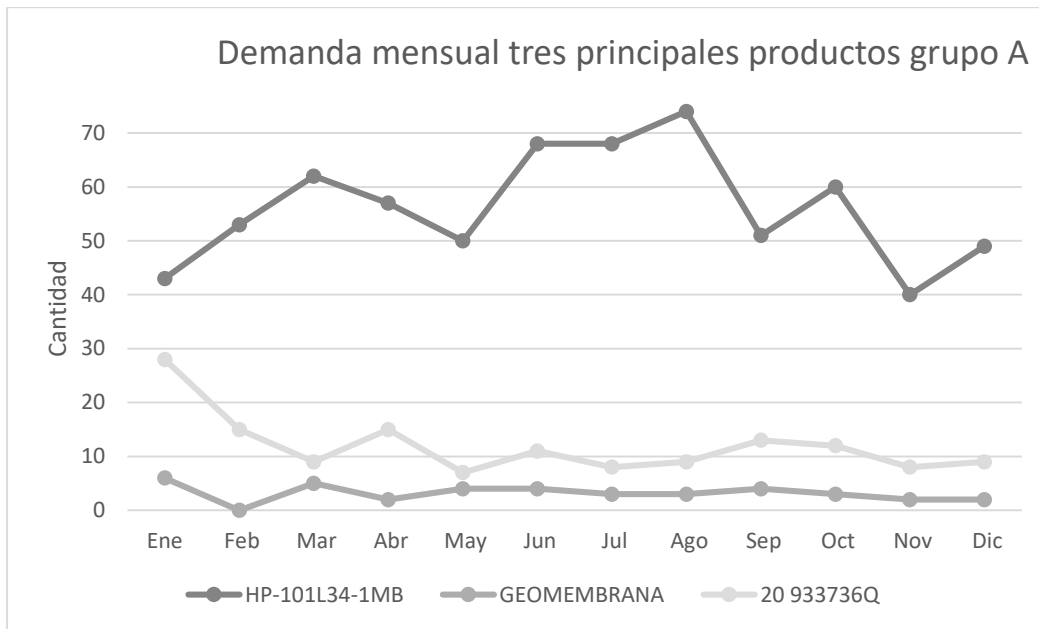
Tipo	Cantidad	% uso
A	6	83.24%
B	2	13.22%
C	12	3.55%

En la Tabla 7 se muestra el resumen del método ABC:

- Los 6 primeros productos representan el 83.24% de los consumos
- Los siguientes, tipo B, representan el 13%
- Los últimos 12 productos representan el 3.55%

La Figura 11 refleja la demanda mensual de los tres primeros productos de la familia A.

El conocer la demanda permitirá analizar los niveles ideales de stock para cada uno de los principales productos.



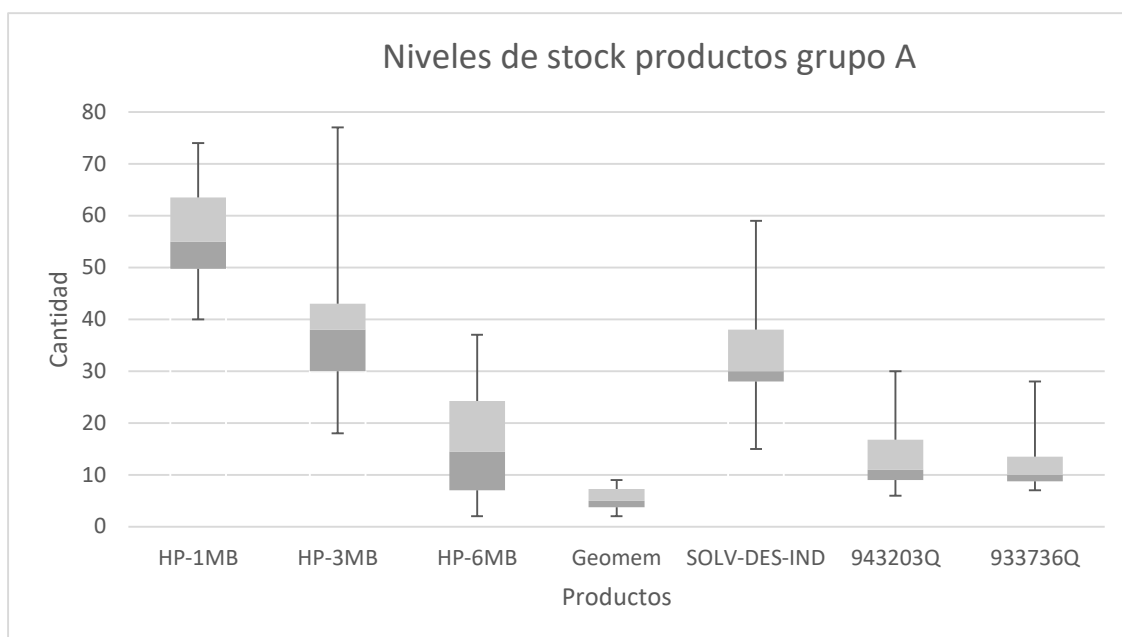
**Figura 11.** Demanda mensual de los 3 productos grupo A 2016

### 2.3.2 Cajas – bigotes

El diagrama de Caja-Bigotes (Humberto Llinás Solano, 2006), es una presentación visual que describe, en un solo diagrama la dispersión y simetría, representada por tres cuartiles, los valores mínimo y máximo de los datos.

En la Figura 12 se logra visualizar los niveles mínimos y máximos, los cuartiles Q1, mediana y Q3, de las cantidades de *stock* necesarias de cada uno de los productos categorizados como A.

Ninguna de las distribuciones de la Figura 12 son simétricas, todas representan una asimetría positiva; esto significa que todos los datos tienden a concentrarse hacia la parte superior de la distribución.



**Figura 12.** Gráfica cajas y bigotes con los productos A, 2016

En productos como el solvente y los dos filtros del extremo derecho de la Figura 12, (943203Q, 933736Q) se observa que tienen límites superiores altos. En la caja gris claro (tercer cuartil (Q3)) se concentra la mayor parte de los datos.

Los consumos de geomembrana son muy parecidos a lo largo de los meses; ni la caja ni los bigotes son muy largos, lo que muestra una demanda uniforme a lo largo del año.

El filtro HP-6MB tiene una caja y bigotes largos, representando una distribución de datos más dispersa.

La gráfica nos dicta las cantidades máximas y mínimas de productos que fueron utilizadas a lo largo del año; esto da una clara idea de las cantidades que se deben tener en stock para hacer frente a la demanda de la mejor manera. Las variaciones son muy pequeñas y sin duda mantener un *stock* de seguridad que ayude a amortizar los tiempos de entrega será una buena iniciativa para implementar al término del presente estudio.

Los inventarios, aunque parte importante del análisis, no son el único factor que contribuye a la baja utilidad de los servicios. Otra de las causas se puede deber a la forma de realizar los servicios, por ello se analizará el proceso, para poder conocer las restricciones que tiene y saber en qué se necesita enfocar los esfuerzos.

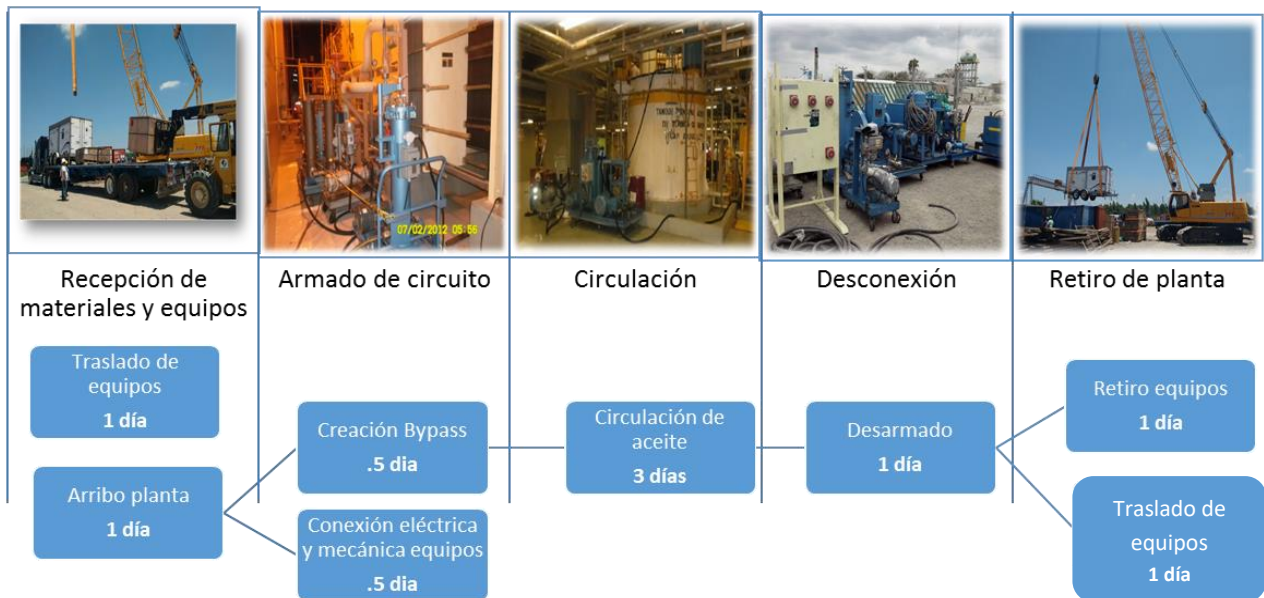
El segundo factor que se analiza son los equipos, mismo que se presentó como una de las principales causas en el diagrama Ishikawa y que se analiza mediante la teoría de restricciones, los diagramas de dispersión y la distribución Weibull

### 2.4.1 Teoría de Restricciones (TOC)

#### A. Identificación de la restricción del sistema

A continuación, se describe el proceso de un *flushing* que consiste en hacer que un fluido a alta velocidad viaje a través del sistema para remover partículas contaminantes.

El proceso se descompone en fases y actividades; se obtienen los tiempos para poder identificar el cuello de botella, la restricción del sistema.



**Figura 13.** Proceso *flushing*, servicios TC

Como se puede observar en el diagrama; Figura 13, la circulación es el proceso más tardado, dura 3 días, en esta fase del proceso se ocupan muchos equipos, que son un recurso limitado, aunque se cuenta con una flotilla de más de 220, entre ellos bombas y laboratorios.

El personal, los transportes y materiales son recursos que se consideran limitantes, pero estos sólo se requieren en las primeras y últimas fases del servicio; en la etapa de circulación, solo se requiere una guardia pasiva (personal al pendiente del proceso, pero

sin necesidad de actividades físicamente demandantes) por lo que el personal se reduce a la mitad.

Por lo tanto, los equipos son la parte esencial en esos tres días. Si algún equipo falla, el tiempo que se pierde y los costos que conlleva el no tener el equipo en operación son muy altos.

### **B. Explotar la restricción**

Se trata de una restricción física y para explotarla se consideran varias opciones. La primera es hacer crecer la flotilla de equipos TC; sin embargo, no es viable por la inversión requerida. La segunda opción sería rentar equipos; esta opción no se autoriza, por contar con equipos propios.

El problema no es tener pocos equipos, sino no tenerlos disponibles por falta de mantenimiento preventivo y correctivo. Por lo anterior, para poder explotar la restricción es necesario tener un programa y recursos destinados al mantenimiento preventivo y correctivo.

### **C. Subordinar el sistema**

Se requiere que el personal se dé el tiempo de dar el debido mantenimiento a los equipos, que como parte de su labor diaria se consideren los recursos, tiempos y programas para la reparación de la flotilla TC.

### **D. Elevar la restricción**

Para lograr elevar la restricción se construirá un programa que permita entender las principales fallas de los equipos, las refacciones necesarias y su número de parte, así como una guía rápida o referencia para poder solucionar los principales problemas y capacitaciones para poder atender el problema de la mejor manera, sin que llegue a afectar el equipo o servicio severamente.

### **E. Regresar al inicio**

Para poder atender las necesidades anteriores se iniciará por identificar las principales fallas que pueden tener los equipos.

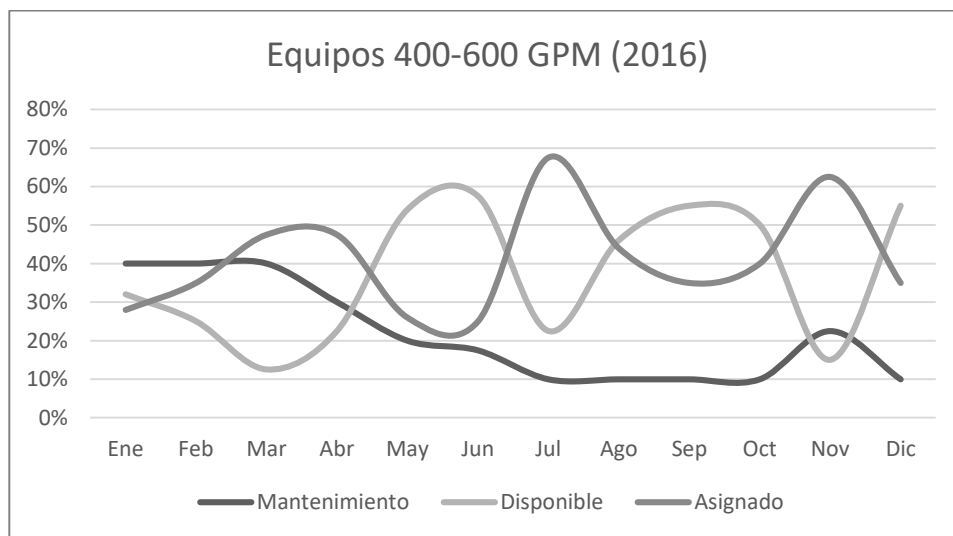
## 2.4.2 Gráfica de dispersión

Como consecuencia de los problemas que arrojó el diagrama Ishikawa y el análisis de la teoría de restricciones, se evalúa el estado de los equipos. En particular se analizaron los equipos denominados “400-600 Galones por minuto (GPM)”, el porcentaje mensual de mantenimiento, disponibilidad y asignación (porcentaje de uso en campo) de los equipos, reflejado en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Porcentajes mensuales de estado de los equipos de 400-600 GPM

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>Mantenimiento</b>	40%	40%	40%	30%	20%	18%	10%	10%	10%	10%	23%	10%	22%
<b>Disponible</b>	32%	25%	13%	23%	54%	58%	23%	46%	55%	50%	15%	55%	37%
<b>Asignado</b>	28%	35%	48%	48%	26%	25%	68%	44%	35%	40%	63%	35%	41%

En la Figura 14 se pueden observar los porcentajes de mantenimiento, asignación y disponibilidad de los equipos. Esto se realizó para cada uno de los tipos de equipos existentes en la flotilla. Con este tipo de equipos en particular se observa una baja asignación y un alto índice de mantenimiento.



**Figura 14.** Estado equipos 400-600 galones por minuto, expresado en %

Una vez analizados los tiempos tanto de operación como de mantenimiento de los equipos se decidió conocer el porqué de estos y la relación que presentan. Esto se estudió a través de la distribución Weibull.

### 2.4.3 Distribución Weibull

La distribución Weibull (Ronald E. Walpole 1999), usada para variables aleatorias continuas, modela la distribución de fallos cuando la tasa de estos es proporcional a una potencia del tiempo.

Se han recabado datos del tiempo, en minutos, que opera un equipo de 400-600 GPM antes de que este falle por problemas con la bomba, el motor o el tablero eléctrico. Se tienen 25 datos para cada uno de los fallos. Los tiempos de fallo de la bomba, motor y tablero eléctrico se muestran en las Tablas 9, 10 y 11 respectivamente, medido en un periodo de 6 meses.

**Tabla 9.** Tiempo falla bomba

<b>Minutos fallo para una bomba de equipo 400-600</b>				
155,520	112,320	125,409	154,829	212,285
103,680	169,344	174,182	179,263	97,978
172,800	145,152	87,091	137,894	163,296
168,480	190,080	150,336	216,691	224,640
116,813	129,600	181,440	106,704	134,784

**Tabla 10.** Tiempo falla motor

<b>Minutos de fallo para un motor de equipo 400-600</b>				
216,000	349,920	168,300	224,640	231,192
345,600	280,680	206,160	280,800	302,328
259,200	289,380	209,955	172,800	278,592
241,920	360,720	174,945	124,114	237,888
207,360	339,960	180,390	210,038	310,920

**Tabla 11.** Tiempo falla tablero eléctrico

<b>Minutos de fallo para tablero eléctrico 400-600</b>				
72,576	48,787	60,480	132,118	51,840
22,680	103,680	151,200	150,190	115,531
96,768	161,280	46,656	49,102	69,120
30,240	102,816	145,152	81,714	72,576
80,640	111,629	34,560	69,003	80,640

Los equipos se tuvieron en observación durante la operación para poder saber los tiempos de fallos de cada uno de los componentes principales. Los equipos después de ser reparados y ajustados salen del taller a operar en los servicios. La muestra de los tiempos indica los minutos de operación hasta que alguno de los componentes falla.

Los datos obtenidos se analizaron en las Tablas 12, 13 y 14, una por cada uno de los componentes, para poder obtener una distribución Weibull. El objetivo de obtener esta distribución es conocer cuál es el elemento más crítico o más propenso a tener una falla, para poder invertirle a este más tiempo de mantenimiento o componentes de mejor calidad y poder aumentar su tiempo de operación entre fallas.

Se calcula el rango de mediana, que es un estimador no paramétrico basado en el orden de las fallas (Bryan Dodson, 2006), que sirve para trazar la recta de regresión. Este aspecto implica que la muestra de datos se debe organizar de menor a mayor (en forma ascendente).

$$S(x_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (1)$$

*S(x<sub>i</sub>): Rango de mediana.*

*i: Orden de falla.*

*n: Número total de datos de la muestra.*

Se calcula el logaritmo natural del tiempo entre fallas para cada observación. Cuando el parámetro de localización vale cero, la x correspondiente será X<sub>0</sub>.

Por último, se calcula el valor de la ordenada (el logaritmo del logaritmo del inverso de uno menos el rango de mediana) para cada una de las observaciones de la muestra.

**Tabla 12 y 13.** Falla motor, falla bomba

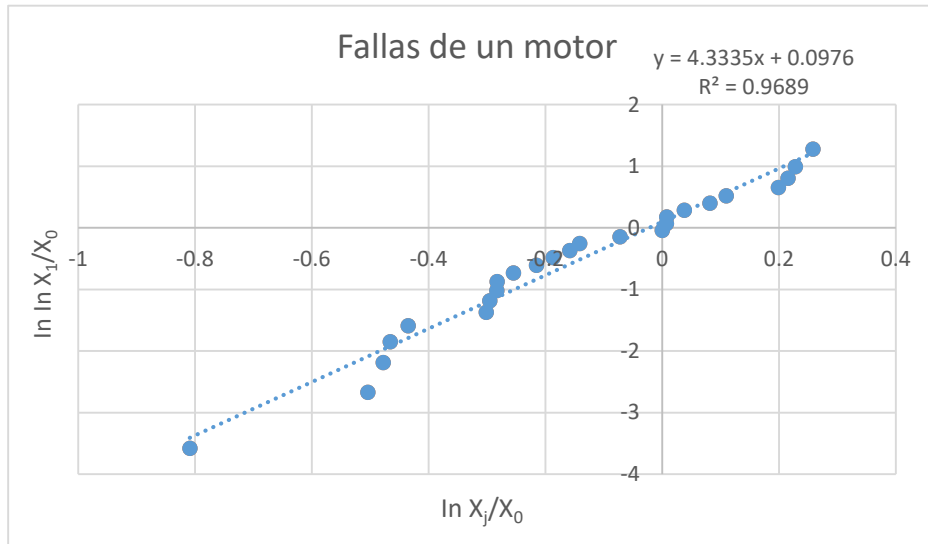
J0	Minutos de fallo para un motor de equipo 400-600					
16	Rank	S	x	x/xo	ln Xj/X0	ln ln 1/Sj
	1	0.972441	124,114	0.45	-0.80855	-3.57748
	2	0.933071	168,300	0.60	-0.504	-2.66968
	3	0.893701	172,800	0.62	-0.47761	-2.18583
	4	0.854331	174,945	0.63	-0.46528	-1.84873
	5	0.814961	180,390	0.65	-0.43463	-1.58662
	6	0.775591	206,160	0.74	-0.3011	-1.36991
	7	0.73622	207,360	0.74	-0.29529	-1.18343
	8	0.69685	209,955	0.75	-0.28286	-1.01837
	9	0.65748	210,038	0.75	-0.28246	-0.86907
	10	0.61811	216,000	0.78	-0.25447	-0.7317
	11	0.57874	224,640	0.81	-0.21525	-0.60349
	12	0.53937	231,192	0.83	-0.1865	-0.48231
	13	0.5	237,888	0.85	-0.15795	-0.36651
	14	0.46063	241,920	0.87	-0.14114	-0.25469
	15	0.42126	259,200	0.93	-0.07215	-0.1456
	16	0.38189	278,592	1.00	0	-0.03809
	17	0.34252	280,680	1.01	0.007467	0.068991
	18	0.30315	280,800	1.01	0.007894	0.176914
	19	0.26378	289,380	1.04	0.037992	0.287163
	20	0.224409	302,328	1.09	0.081764	0.401646
	21	0.185039	310,920	1.12	0.109787	0.523062
	22	0.145669	339,960	1.22	0.19908	0.655661
	23	0.106299	345,600	1.24	0.215534	0.807144
	24	0.066929	349,920	1.26	0.227956	0.994777
	25	0.027559	360,720	1.29	0.258354	1.278549

J0	Minutos fallo para una bomba de equipo 400-600					
16	Rank	S	x	x/xo	ln Xj/X0	ln ln 1/Sj
	1	0.97244	87,091	0.52	-0.6599	-3.5775
	2	0.93307	97,978	0.58	-0.5421	-2.6697
	3	0.8937	103,680	0.62	-0.4855	-2.1858
	4	0.85433	106,704	0.63	-0.4568	-1.8487
	5	0.81496	112,320	0.67	-0.4055	-1.5866
	6	0.77559	116,813	0.69	-0.3662	-1.3699
	7	0.73622	125,409	0.74	-0.2952	-1.1834
	8	0.69685	129,600	0.77	-0.2624	-1.0184
	9	0.65748	134,784	0.80	-0.2231	-0.8691
	10	0.61811	137,894	0.82	-0.2003	-0.7317
	11	0.57874	145,152	0.86	-0.149	-0.6035
	12	0.53937	150,336	0.89	-0.1139	-0.4823
	13	0.5	154,829	0.92	-0.0845	-0.3665
	14	0.46063	155,520	0.92	-0.08	-0.2547
	15	0.42126	163,296	0.97	-0.0313	-0.1456
	16	0.38189	168,480	1.00	0	-0.0381
	17	0.34252	169,344	1.01	0.00512	0.06899
	18	0.30315	172,800	1.03	0.02532	0.17691
	19	0.26378	174,182	1.03	0.03329	0.28716
	20	0.22441	179,263	1.06	0.06204	0.40165
	21	0.18504	181,440	1.08	0.07411	0.52306
	22	0.14567	190,080	1.13	0.12063	0.65566
	23	0.1063	212,285	1.26	0.23111	0.80714
	24	0.06693	216,691	1.29	0.25166	0.99478
	25	0.02756	224,640	1.33	0.28768	1.27855

**Tabla 14.** Falla tablero Eléctrico

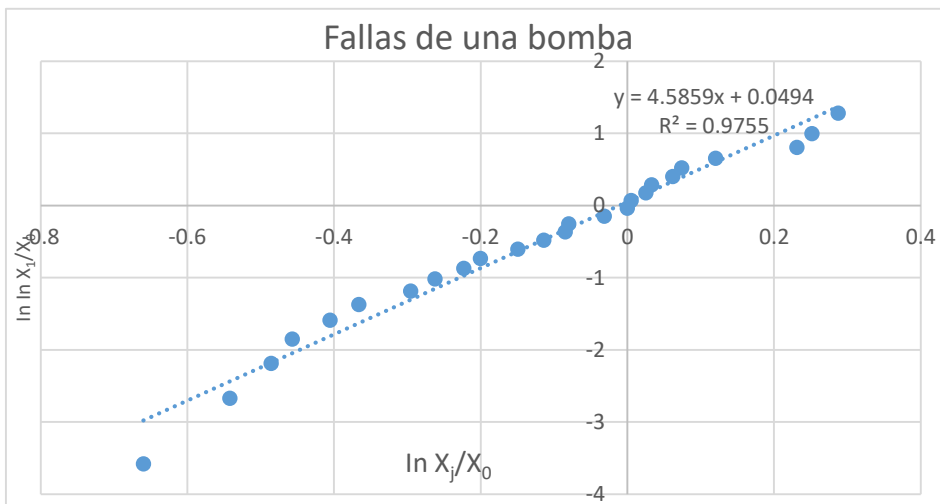
J0	Minutos de fallo para tablero eléctrico 400-600					
16	Rank	S	x	x/xo	ln Xj/X0	ln ln 1/Sj
	1	0.972441	22,680	0.23	-1.45083	-3.577484
	2	0.933071	30,240	0.31	-1.16315	-2.669684
	3	0.893701	34,560	0.36	-1.02962	-2.185831
	4	0.854331	46,656	0.48	-0.72951	-1.84873
	5	0.814961	48,787	0.50	-0.68485	-1.586623
	6	0.775591	49,102	0.51	-0.67842	-1.369907
	7	0.73622	51,840	0.54	-0.62415	-1.183433
	8	0.69685	60,480	0.63	-0.47	-1.018366
	9	0.65748	69,003	0.71	-0.33817	-0.869072
	10	0.61811	69,120	0.71	-0.33647	-0.731704
	11	0.57874	72,576	0.75	-0.28768	-0.603486
	12	0.53937	72,576	0.75	-0.28768	-0.482314
	13	0.5	80,640	0.83	-0.18232	-0.366513
	14	0.46063	80,640	0.83	-0.18232	-0.254685
	15	0.42126	81,714	0.84	-0.16909	-0.145598
	16	0.38189	96,768	1.00	0	-0.038093
	17	0.34252	102,816	1.06	0.060625	0.068991
	18	0.30315	103,680	1.07	0.068993	0.176914
	19	0.26378	111,629	1.15	0.142863	0.287163
	20	0.224409	115,531	1.19	0.177221	0.401646
	21	0.185039	132,118	1.37	0.311379	0.523062
	22	0.145669	145,152	1.50	0.405465	0.655661
	23	0.106299	150,190	1.55	0.439585	0.807144
	24	0.066929	151,200	1.56	0.446287	0.994777
	25	0.027559	161,280	1.67	0.510826	1.278549

Se obtuvo una gráfica para cada una de las posibles fallas de los equipos dentro de 400-600 GPM, obteniendo la información de la Figura 15.



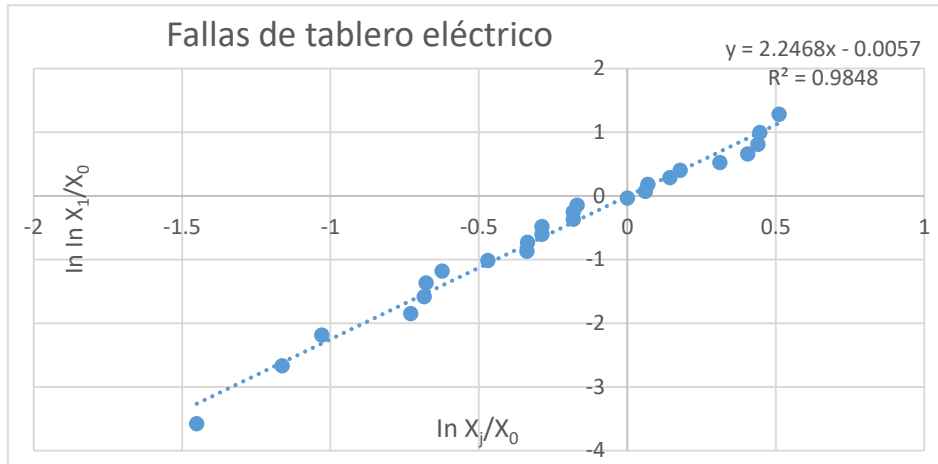
**Figura 15.** Tiempo falla motor

La falla del motor (Figura 15) tiene una  $m$  de Weibull de 4.33, y una correlación de sus datos del 0.96, lo que significa que la variación total de la variable  $Y$  está explicada en un 96% por este modelo, suficiente para aceptar su representatividad, ya que es un valor próximo al 100%. Entre más cercana a cero es la  $m$  de weibull, mayor será la probabilidad de que este falle.



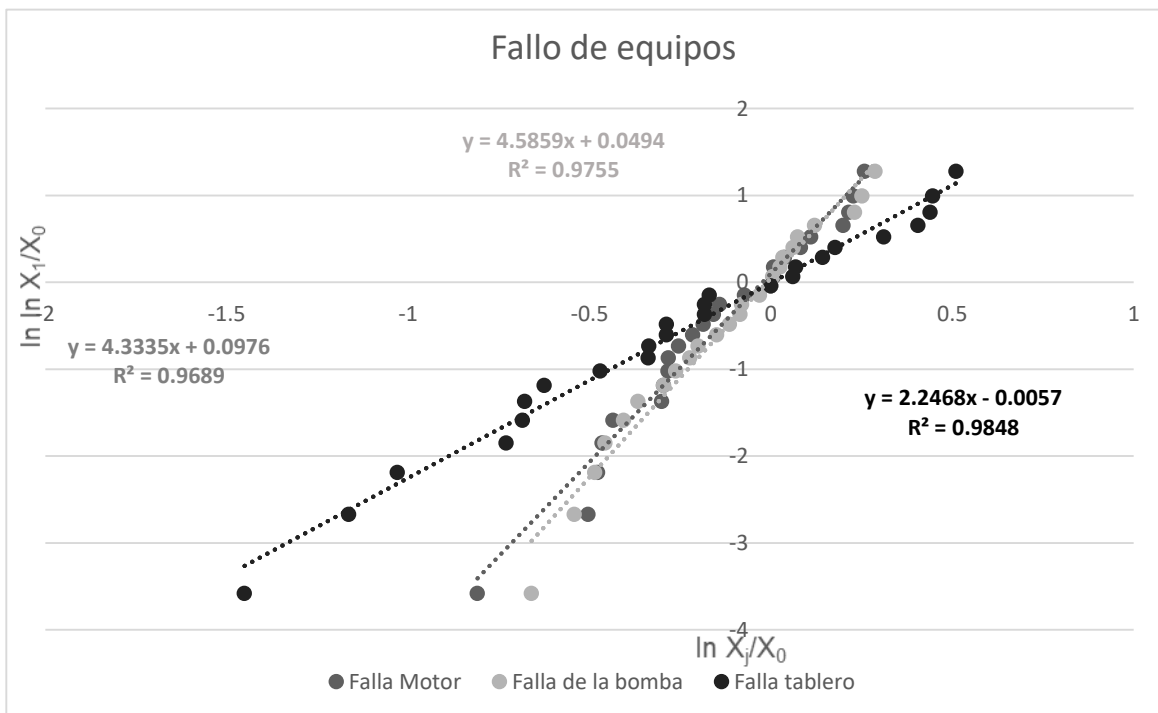
**Figura 16.** Tiempo fallas bomba

Las fallas de la bomba (Figura 16) tienen una  $m$  de Weibull de 4.58 y una correlación del 97.55%. Es decir que la probabilidad de que la bomba falle es ligeramente menor a la del motor.



**Figura 17.** Tiempo fallas tablero eléctrico

Las fallas del tablero eléctrico (Figura 17) representan una  $M$  pequeña de 2.24, la menor de las tres, y la mayor correlación 98%. Es decir, que entre menor sea la  $M$ , mayor es la probabilidad de fallo del equipo. Para poder observarlos de mejor manera, se realizó una gráfica con los datos de las tres principales fallas en la Figura 18.



**Figura 18.** Comparativo tiempo falla

En la Figura 18 se comparan los tres problemas recurrentes de los equipos:

La  $m$  de Weibull de la gráfica del tablero eléctrico (2.24) es la que representa mayor variabilidad en las fallas; el equipo es más propenso a fallar por el tablero eléctrico.

Para poder solucionar los problemas de los equipos es necesario crear un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para cada uno de los equipos. Este plan deberá iniciar con la capacitación oportuna de los trabajadores para que sean capaces de evaluar oportunamente los equipos antes de operarlos y detectar cualquier anomalía mientras operan para poder detenerlo antes de que sea muy tarde y llegue al taller, requiriendo un cambio total de motor, bomba y/o tablero eléctrico.

## 3. Marco teórico

### 3.1 Evolución de las empresas

De acuerdo con Anais Hamlin (2012), en su artículo sobre la influencia de las familias en las empresas familiares, las empresas que son en su mayoría propiedad de una familia tienen un nivel bajo de crecimiento económico, porque la empresa presenta una financiación interna de recursos y su crecimiento es limitado.

Según Stephen Roperv (1999), la rentabilidad de una empresa depende de su entorno operativo, su posición en el mercado y la estrategia de negocio utilizada. La selección del enfoque estratégico depende de su entorno empresarial (presente y futuro), de sus capacidades, aspiraciones e historia.

Conforme a las investigaciones de Almus y Nerlinger (1999), las empresas más jóvenes tienden a tener un mayor crecimiento, compensando así la necesidad de aumentar su tamaño por su responsabilidad de novedad.

Es importante entender de manera teórica cómo se debe atacar el problema de los almacenes, las técnicas e importancia que tiene el analizar los almacenes e inventarios en una organización. Para entender el buen manejo de los inventarios a continuación se analizan: la sincronización de la cadena de suministro, la teoría de restricciones, optimización de la gestión de inventarios, costos de inventarios y el inventario obsoleto.

### 3.2 Sincronización de la cadena de suministro

Al existir problemas con los tiempos de respuesta, el esquema de costos y de precios, la presión obliga a las empresas a sincronizar sus procesos logísticos para satisfacer las necesidades del mercado. Para poder abordar el problema es necesarios sincronizar las operaciones y las decisiones en una cadena de suministro dentro de la empresa.

Algunas de las herramientas que se buscarán explicar y aplicar a lo largo de la tesis son:

- *Just in time*: Reducción del desperdicio. Taiichi y SeTCuo, 1998.
- Teoría de Restricciones (TOC): sincronización de operaciones y decisiones logísticas de la cadena de suministro. Goldratt, 1993.
- Contabilidad de *Throughput*. Tasa en que un sistema genera dinero a través de las ventas. Goldratt, 1995.

- *Lean Manufacturing*: Minimizar desperdicios, todo aquello que añade costo sin añadir valor al producto, y mejorar las operaciones. Escalona, 2009
- Metodologías clásicas:
  - Planeación de requerimientos de materiales (*MRP, Material RequirementTC Planning*). Escalona,2009
  - Programación maestra de la producción (*MPS, Master Production Schedule*). Chase, 2009

Las empresas han desarrollado e implementado herramientas clásicas para desarrollar los MRP y las herramientas usualmente se han integrado en sistemas:

- Planeación de recursos de la empresa (*ERP Enterprise Resource Planning*).  
Las empresas constantemente están organizadas en departamentos, por lo que cada herramienta aplicada opera aisladamente. Cada una busca conseguir su objetivo, no un objetivo global (Salazar, 2007).
- Sistemas Avanzados de Planeación y Programación (*APS: Advanced Planning and Scheduling*). Se intenta pronosticar la demanda, planear la producción y administrar los inventarios, basándose en algoritmos complejos. Sin embargo, el costo de dichos programas asciende a 2,000 millones de pesos y según Hvolby y Steger Jensen (2010), solo un 20% de las implementaciones del sistema han resultado exitosas.

### 3.3 Teoría de restricciones

Para incrementar la eficiencia, la productividad y lograr ventajas competitivas que garanticen permanencia, crecimiento y desarrollo, es necesario implementar un proceso de mejoramiento continuo, exitoso y perdurable.

Everardo Aguilar y Jaime Vargas (2008), concluyeron que las empresas pequeñas en México presentan como problema principal el mal manejo de personal, recursos y medio ambiente, así como métodos ineficientes de trabajo, entre los cuales resaltan la evaluación de las actividades de los operarios, las fallas de la maquinaria, y la subutilización de los recursos materiales.

Para que una empresa logre sobresalir es necesario transformar ideas innovadoras en realidad, logrando beneficios tangibles, económicamente viables y sostenibles en el tiempo.

Para encontrar el punto de partida se utiliza la Teoría de Restricciones (TOC), su objetivo es conocer la situación actual para definir la restricción del sistema, poder explotarla y mejorar. Esta teoría, basada en el pensamiento sistémico, Eliyahu Goldratt (1993), es un proceso de mejoramiento continuo. Se busca la restricción para efectuar los cambios necesarios para eliminarlos.

Esta teoría menciona que cualquier proceso de producción requiere de varios pasos, donde todos se encuentran relacionados y el resultado de uno depende de los pasos anteriores. El resultado del proceso productivo general se verá limitado por el paso menos productivo, la restricción, lo que se conoce como cuello de botella.

La restricción es el elemento que limita al sistema a cumplir su meta. Aquello que impide, para las empresas con fines de lucro, ganar más dinero, pudiendo ser: capacidad, logística, materiales, mercado, recursos humanos preparados, entre otras. Toda empresa debe identificar y eliminar restricciones de forma sistemática. Para lo cual Eliyahu Goldratt (1993), propone un proceso de gestión y enfoque de esfuerzos de mejora. El proceso Figura 19 se compone de 5 pasos:



**Figura 19.** Proceso de gestión de la teoría de restricciones

Fuente: (2015). ¿Qué es la Teoría de las Restricciones (TOC)? 20 noviembre 2016, de ConexiónEsan Sitio web: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2015/10/que-teoria-restricciones-toc/>

Eliyahu Goldratt (1993), sostiene que la capacidad de la planta depende de la capacidad del recurso con restricción, por eso es necesario balancear el flujo de todos los recursos

productivos al ritmo del cuello de botella y aprovecharlos al máximo, cualquier minuto perdido en este recurso es tiempo perdido en todo el sistema.

El objetivo final de la Teoría de Restricciones es el mejoramiento continuo de los procesos. Impacta fortaleciendo la competitividad mediante la calidad y el servicio al cliente; busca reducir costos, tiempo de entrega y niveles de inventario e incrementar ventas y utilidades netas, obteniendo el máximo rendimiento del recurso con restricción ya que este repercute en el nivel de producción de todo el sistema.

La liquidez, la utilidad y la rentabilidad (ROI), son las variables financieras que mostrarán qué tan cerca está una empresa de su meta. Esta medición se lleva cabo a través del *throughput* (T), Gastos Operativos (GO), Inventarios (I).

- *Throughput*: Definido por Eliyahu Goldratt (1993) como: “la velocidad a la cual el sistema genera dinero mediante la venta”.
- Inventario: Dinero que se encuentra retenido en el sistema en forma de bienes.
- Gastos operativos: Dinero desembolsado por una empresa u organización en el desarrollo de sus actividades.

Para que una empresa sea capaz de cumplir con sus objetivos es necesaria la interrelación de los diferentes subsistemas y el análisis de estos a través de una visión sistémica.

De acuerdo con la experiencia del consultor Rafael Conde (2010), las organizaciones empresariales públicas y privadas realizan comportamientos ilógicos y estos son derivados de los medidores utilizados: si me mides de manera ilógica, no te sorprenda mi comportamiento ilógico, sostiene. Así mismo considera que: Tomar decisiones exitosas permite afirmar que casi todos los que han intentado hacer implementaciones con TOC han logrado resultados grandes.

### 3.4 Optimización de la gestión de inventarios

La cadena de suministro genera un gran valor, busca satisfacer las necesidades del cliente mediante: los flujos financieros, de material e información, que se establecen desde los proveedores hasta los consumidores, esto sólo es posible a través de la cooperación e integración de los participantes.

Es por eso que la optimización inicia con la integración de proveedor-comprador, con un enfoque en los costos totales de inventario.

Sunil Chopra (2008), sostiene que el diseño, la planeación y la operación de una cadena de suministro tienen un fuerte impacto en la rentabilidad y en el éxito.

Los principales propósitos de la gestión de inventarios son:

- Flexibilidad entre las operaciones al independizarlas.
- Satisfacer las variaciones en la demanda de productos.
- Flexibilizar los programas de producción.
- Contar con un *stock* para amortiguar la variación en la demanda.
- Aprovechar el tamaño económico de pedido.

Los costos de inventario representan uno de los costos logísticos más importantes, pues generan un importante porcentaje del costo total. En la modelación y optimización de los inventarios en una empresa se deben considerar los costos internos y la relación con los factores externos.

#### 3.4.1 Costos de inventarios

Ignacio González (2013), en “Sistema de costos de inventarios”, explica el significado de varios términos relacionados con los costos del manejo de inventarios que son necesarios considerar en la evaluación de los mismos:

- Costos de pedido: Todos los costos de lanzar una orden de compra. Es proporcional a la cantidad de pedidos que se compra e independientes de la cantidad que se compra.
- Costos de almacenamiento: El costo asumido por el periodo de cada artículo en inventario por el tiempo que se mantiene ahí. Pueden clasificarse según su actividad (almacenaje y manejo), por imputabilidad (fija y variable) y por origen (directo e indirecto).
- Costos de adquisición: Costo unitario.
- Costos de penalización: Costos incurridos al no contar con el producto.

### 3.4.2 Inventario obsoleto

El buen funcionamiento de cualquier empresa depende en gran parte de saber usar el dinero sabiamente. Generalmente las empresas invierten y bloquean una gran cantidad de su capital de trabajo en el inventario en materia prima, trabajo en proceso (WIP) o productos terminados. La mayoría de las veces los productos terminados al ser descuidados por un largo plazo, no se pueden vender, y la solución debe ser darlos de baja y presentarlos como un gasto en los libros, como el inventario obsoleto (FIAEP<sup>2</sup>, 2014).

Contabilidad de gestión de inventario: Proceso de negocio interno, para mejorar el control del inventario de la empresa. Consiste en conciliar la información almacenada con el estado del inventario real en el almacén.

Contabilidad de inventario obsoleto: Inventario existente que no se puede utilizar ya sea (materias primas) o vendidos (productos terminados). La obsolescencia de inventario puede deberse a:

1. Productos que ya no son comprados por los clientes
2. Productos que ya no se pueden utilizar en los procesos de manufactura.
3. Exceso de materia prima o producto terminado
4. Desarrollo de una nueva y mejorada tecnología (cambio de diseño)
5. Productos de rápida obsolescencia

### 3.4.3 Aspectos por considerar para la contabilidad de inventario obsoleto

Una gestión deficiente del inventario puede aumentar los niveles de inventario obsoleto de una empresa. Existen varios elementos importantes para considerar contablemente.

- Tiempo: No puede haber alguna alteración no estructurada en el informe de los resultados financieros de la empresa, las disposiciones reales de inventario obsoleto se alteran.
- Gastos de reconocimiento: Se requiere el reconocimiento inmediato de cualquiera obsolescencia después de que se detecta.

---

<sup>2</sup> Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales

- Revisión oportuna: Si los inventarios son revisados periódicamente, la cantidad incremental de la obsolescencia detectada será pequeña en un período determinado.
- Métodos de contabilidad para el inventario obsoleto: El de inventario que no puede ser vendido se da de baja como un gasto como el inventario obsoleto.

Problemas: Una gran cantidad de material obsoleto reservado. Los gerentes se reusan a tomar estos costos en cuenta y mostrar la reducción de los ingresos en la cuenta de resultados. Aunque los administradores pueden amortizar el valor de inventario obsoleto en pequeño.

#### 3.4.4 Consideraciones para el inventario obsoleto

La administración de inventarios tiene como objetivo la actividad de planeación y utilización correcta de recursos al menor costo posible. A través de diferentes etapas:

##### **a) Prevención:**

- Chequeo periódico de inventarios.
- Registro perpetuo de inventario, que muestre la última fecha de uso.
- Revisar el inventario de trabajo en proceso.
- Revisión de *stock* de almacenamiento físico.
- Revisión de material (informe "dónde se usa").
- Comparar el inventario disponible de uso histórico.
- Identificación de inventario potencialmente obsoleto a partir de la base de datos.
- Evitar la reordenación automática.
- Almacenar el inventario obsoleto en un área designada.

##### **b) Detección: Revisión de materiales y chequeo.**

Se determinan el precio de disposición de tales elementos obsoletos y se crea una reserva de obsolescencia.

##### **c) Rápida eliminación:**

- Regreso material al proveedor (si es posible).
- Subastar
- Usarlo para reemplazo de garantía y reparaciones.
- Donar a la caridad (y reclamar impuestos deducción).

### 3.5 *Just in Time (JIT)*

Jeffrey Chase (2001), define *JIT* como el conjunto integrado de actividades diseñadas para lograr un alto volumen de producción, utilizando inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y productos terminados.

Los servicios TC requieren ser más competitivos, mejorando operaciones y reaccionando rápido ante las urgencias de los clientes. Para poder atender estos servicios y estar presentes en cuanto el cliente lo solicite es necesario que nuestros almacenes se readapten y ayuden a enfrentar esta nueva realidad. Necesitan actuar no solo como almacén, solo guardando materiales y equipos, sino ir más allá, operar como un cross-docking, un nuevo enfoque que requiere mapear la distribución y funciones internas del almacén.

Los sistemas JIT tienen por objetivo buscar problemas y analizar soluciones que eliminen los desperdicios que se derivan de las actividades innecesarias, como: sobreproducción, movimientos extras, inventarios, tiempos de espera, rediseños, reprocesos, etc. Para encontrar los problemas antes de que estos se manifiesten JIT trabaja proactivamente buscando la mejora continua en todas las áreas del sistema productivo.

El primero en adaptar esta filosofía en un modelo para un sistema de suministro EOP fue Ching-Jong Liao (1989).

La cadena de suministro genera un gran valor, busca satisfacer las necesidades del cliente mediante los flujos de financieros, de material e información, que se establecen desde los proveedores hasta los consumidores, esto solo es posible a través de la cooperación e integración de los participantes.

Es por eso que la optimización inicia con la integración de proveedor-comprador, con un enfoque en los costos totales de inventario en la cadena.

Posteriormente, gracias a la aportación de Kelle y Miller (1998), se empiezan a utilizar herramientas cuantitativas para la negociación comprador-proveedor bajo un esquema JIT. Con esta lógica de Just In Time el comprador requiere recibir envíos pequeños y frecuentes, lo que impacta en la disminución de los costos de inventario, sin embargo, pudiera aumentar los costos del proveedor por lo que resulta conveniente una relación colaborativa.

La actividad colaborativa entre las entidades genera un menor costo total anual, sustituyendo el ganar-perder por el ganar-ganar. El óptimo global pareciera perjudicar los intereses individuales de algunos de los miembros de la cadena, es por eso que se requiere un proceso de negociación entre las diferentes entidades para acordar los valores más convenientes, evaluar distintas alternativas y calcular posibles compensaciones entre las partes.

El análisis colaborativo y su enfoque Just In Time, constituyen herramientas que gestionan cadenas de suministro, evitando las decisiones óptimas individuales que no equivalen al óptimo de la cadena de suministro en su conjunto. Es una herramienta importante para la toma de decisiones acerca de las variables principales que definen el comportamiento y costo de los inventarios.

La aplicación de esta filosofía no es sencilla y requiere de compromiso, análisis costo-beneficio, comprensión de los beneficios y el trabajo necesario, requiere un cambio de total actitud en la empresa.

Para lograr implementar de manera fructífera el Just In Time se necesita seguir los siguientes pasos:

1. Identificar el problema raíz
2. Eliminar despilfarros
3. Simplificar procesos
  - a. Buscando líneas de flujo directas
4. Sistemas de identificación de problemas
  - a. Domínguez, J. (2003), establece que los objetivos y estrategias asumidos por el JIT se derivan, en gran medida, del intento de acomodar la gestión de empresas a las características propias del país.

Para lograrlo se requiere:

- Realizar los procesos bien a la primera.
- Trabajar con autocontrol, sin necesidad de supervisión asfixiante.
- Garantizar el proceso a través de un control estadístico.
- Identificar y prevenir los riesgos de cada proceso.
- Reducir *stocks* al máximo.

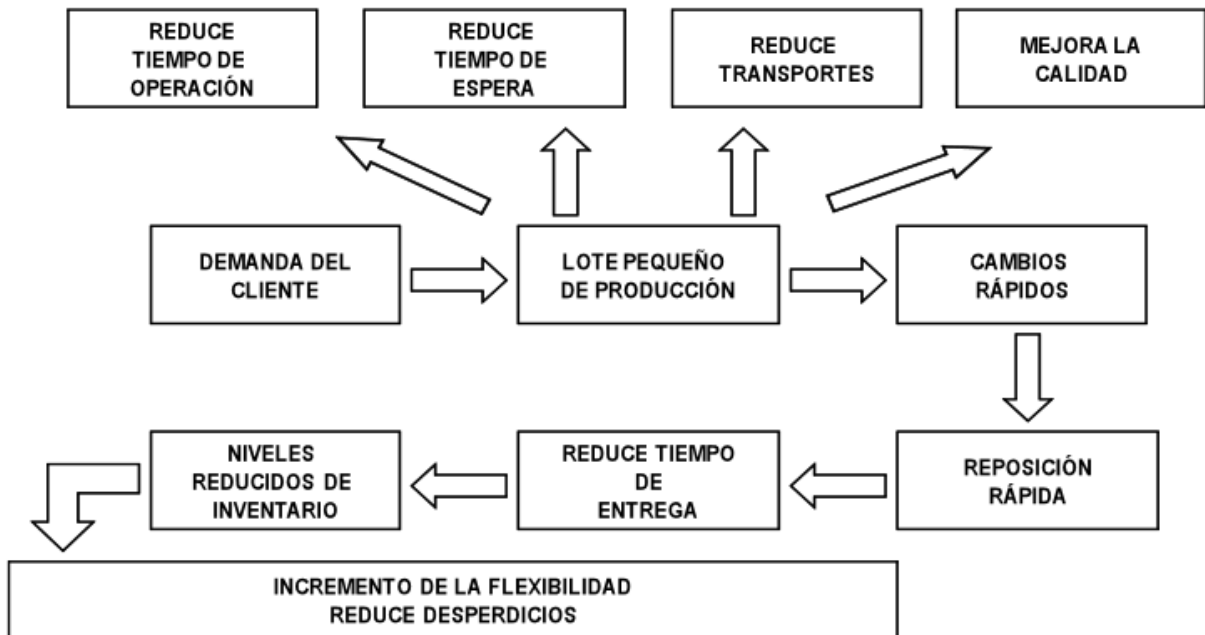
### 3.6 Manufactura esbelta

La filosofía de manufactura esbelta está compuesta por distintas prácticas y herramientas que tienen como objetivo producir servicios de mayor calidad a un menor costo, enfocándose en la eliminación de los desperdicios, considerando los desperdicios como todo aquello que no le añade valor al producto, y que el cliente no está dispuesto a pagar.

Entre los tipos de residuos se clasifican: transporte, inventarios, movimientos, tiempo de espera, procesos repetidos, sobreproducción y producción de objetos con defectos. Cualquier desperdicio tiene como característica principal un impacto directo sobre los tiempos, el rendimiento, la calidad y los costos y no generan valor agregado.

Las herramientas en las que se apoya se encuentran:

- Jidoka: automatización con un toque humano, Sakichi Toyoda (1896).
- Poka Yoke: a prueba de errores término inventado por Shigeo Shingo
- Andon: sistema para alertar problemas de forma visual.
- Kaizen: Mejoramiento continuo (Productivity Press Development Team, 2002)
- Heijunka (Lippolt y Furmans, 2008)
- Kanban: Sistema visual de gestión de proceso que le indica qué producir, cuándo producirlo, y cuánto producir (Taiichi Ohno, 1978)



**Figura 20.** Mapa conceptual sobre la operación del sistema de manufactura Esbelta

Fuente: Niño y Bednarek, 2010

La manufactura esbelta se describe en la Figura 20, se escucha al cliente a través de su demanda, se busca la reducción de tiempos de espera y operación, tratando de reducir los transportes y mejorar la calidad, buscando con lo anterior poder tener cambios rápidos, reposiciones ágiles, mejorando los tiempos de entrega y reduciendo los niveles de *stock*, logrando una mayor flexibilidad y menor tiempo de respuesta.

Sin embargo, la empresa corre un riesgo, si las herramientas se implementan de forma separada y sin ver el sistema completo no se podrá lograr la eliminación de todo tipo de desperdicio. El pensamiento *lean* se describe, según James Womack y Daniel Jones (2003), en cinco pasos claves:

1. Identificar el valor
  - a. Cómo atender las necesidades de un cliente con un producto, precio y momento determinados.
2. Mapa del flujo de valor
  - a. Cadena de valor para satisfacer las necesidades del cliente.
    - i. Resolución de problemas
    - ii. Información
3. Flujo
  - a. Secuencia de pasos de valor para llevar el producto o servicio al cliente.
4. Estrategia de producción *Pull*
  - a. Brindar el producto o servicio solo cuando el cliente los solicita. Cuando se demanda se otorga, no antes ni después.
5. Buscar la perfección
  - a. Eliminar los procesos que no ofrecen valor
  - b. Mejorar el flujo
  - c. Cumplir con los tiempos y especificaciones del cliente

### 3.7 Centro de gravedad

Inho Hong (2016), sostiene que el modelo de gravedad busca predecir los flujos utilizando parámetros externos independientes, como: la población, el tamaño económico, la comunicación, la distancia y el tiempo, usando como parámetros principales la población y la distancia, debido a que la primera es una fuente primaria del tráfico y la segunda del costo del movimiento.

Los modelos de movilidad se han desarrollado con la finalidad de predecir los flujos de tráfico futuros.

El modelo de gravedad es uno de los modelos de movilidad mayormente aceptado, que predice el flujo de tráfico entre zonas y su costo relativo se ha aplicado en muchos tipos de redes de movilidad como carreteras, comercio mundial y la comunicación móvil. El modelo gravedad se utiliza comúnmente para ubicar una sola planta, terminal, almacén.

Ronald H. Ballou (2004), menciona un modelo que matemáticamente se clasifica como un un modelo de ubicación continua estático. Para desarrollar este modelo se consideran los puntos de origen, los de demanda, los volúmenes de lanzamiento y recepción desde una instalación desconocida, así como las tarifas de transporte asociadas. El resultado se obtiene minimizando la suma producto del volumen y la tarifa de transporte para el envío de cada punto multiplicando a su vez la distancia del punto para obtener el costo total de transportación:

$$\text{Min } Z = \sum_i V_i R_i d_i \quad (2)$$

*En donde:*

*Z= Costo total de transportación*

*V<sub>i</sub> = Volumen en el punto i*

*R<sub>i</sub> = Tarifa de transportación al punto i*

*d<sub>i</sub> = Distancia al punto i desde la instalación que se ubicará*

Para obtener el centro de gravedad se requiere de dos ecuaciones, una para cada coordenada, como se observa en las ecuaciones 3 y 4:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad (3)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad (4)$$

*En donde:*

$\bar{X}, \bar{Y}$  = puntos de coordenadas de la instalación ubicada

$X_i, Y_i$  = puntos de coordenadas de los puntos de fuente y de demanda

La distancia  $d_i$  se estima mediante:

$$d_i = \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5)$$

### 3.8 Programación lineal entera

Para la optimización, una de las herramientas más importantes es la programación lineal. Iris Salazar (2014), expone que un problema de programación lineal se compone por una función lineal de distintas variables que buscan ser optimizadas, ya sea minimizándolas o maximizándolas, cumpliendo con restricciones también lineales.

La programación entera está relacionada con la resolución de problemas de optimización en los cuales al menos algunas de las variables deben tomar solo valores enteros. Cuando todos los términos son lineales se habla de programación lineal entera.

Entre los problemas de programación lineal se encuentran: asignación de recursos, planificación de producción, administración de redes de transporte, análisis de redes de distribución, entre otros.

Algunos casos comunes de programación entera son: ubicación de insumos, balanceo de líneas, asignación biunívoca, distribución de cargas, cambio de máquinas y control de inventarios.

La programación lineal es la optimización del problema que se muestra a continuación:

*Minimizar:*

$$C^T x \quad (6)$$

*Sujeto a:*

$$Ax = b \quad (7)$$

$$x \geq 0; x \in Z^n$$

*En donde:*

$$c \in \mathbb{R}^n, b \in \mathbb{R}^m, A \in \mathbb{R}^{m \times n}$$

### 3.9 Método simplex

El método simplex fue creado en 1947 por George Bernard Dantzig y Leonid Vitalievich Kantorovich, quienes tenían como objetivo crear un algoritmo capaz de solucionar problemas de  $m$  restricciones y  $n$  variables.

Es un método analítico de solución de problemas de programación lineal capaz de resolver modelos más complejos que los resueltos mediante el método gráfico sin restricción en el número de variables. Es un método iterativo que permite ir mejorando la solución en cada paso. Mokht Bazaraa (1998), explica que la razón matemática de esta mejora radica en que el método consiste en caminar del vértice de un poliedro a un vértice vecino, de manera que aumente o disminuya (según el contexto de la función objetivo, sea maximizar o minimizar). Dado que el número de vértices que presenta un poliedro solución es finito siempre se hallará solución.

La forma general del modelo consta de una función objetivo sujeta a determinadas restricciones:

*Función objetivo:*

$$c_1 * x_1 + c_2 * x_2 + \dots + c_n * x_n \quad (8)$$

*Sujeto a:*

$$C = AX = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \cdot (x_1 \dots x_n) = (b_1 \dots b_m) \quad (9)$$

$$x_1, \dots, x_n \geq 0$$

El método tiene las siguientes condiciones:

- Objetivo: maximiza o minimiza el valor de la función objetivo.
- Restricciones: se presentan en ecuaciones de igualdad (identidades matemáticas).
- Variables ( $x_i$ ): deben tener valor positivo o nulo (condición de no negatividad).
- Términos independientes ( $b_i$ ): deben ser no negativos.

De igual forma es importante entender los métodos existentes para el cuidado, mantenimiento y control de los equipos, mismos temas que se citan en las siguientes páginas.

### 3.10 Problemas de asignación

Ronald Ballou (2004), define los problemas de asignación cuando existen múltiples puntos de origen que pueden servir a múltiples puntos de destino y se pueden encontrar las mejores rutas entre estos puntos.

El modelo de asignación tiene la particularidad de que no es necesario que el número de fuentes sea igual al número de destinos.

Una de las formas más complicadas de este modelo se presenta cuando los puntos de origen están limitados por la demanda que se puede suministrar desde cada origen; estos se resuelven comúnmente con un algoritmo de programación lineal: Método de transporte.

Una variación del problema original de transporte, se produce cuando las variables de decisión  $x_{(i,j)}$  solo pueden tomar valores binarios (0, 1), en la solución óptima, lo que supone que la oferta y la demanda están perfectamente alineadas, ambas iguales a 1.

### 3.11 Plan de mantenimiento

De acuerdo con el autor El-Houssaine Aghezzaf (2016), el estado de funcionamiento de un sistema de fabricación es estocásticamente predecible en términos de su edad operativa y pueden, en consecuencia, ser mantenidos de forma preventiva durante los períodos de preparación, buscando la integración de la producción y la planificación del mantenimiento en sistemas de fabricación propensos a fallar.

La tendencia de fallas llevó a considerar que el mantenimiento preventivo es imperfecto, es decir, cuando se realiza, trae al sistema de fabricación a un estado operativo que se encuentra entre 'tan malo como viejo' y 'tan bueno como nuevo'. Solo un reacondicionamiento del sistema lo lleva a estado operativo como nuevo.

El-Houssaine Aghezzaf (2016), propone la planeación de un modelo que integre la producción y el mantenimiento preventivo, tomando en cuenta la capacidad del sistema y su estado de producción óptima. El modelo se formula, como un problema de optimización

no lineal entero mixto, para lo cual se propone una reformulación lineal de un número entero mixto más amplio.

La sofisticada tecnología en sistemas de manufactura crea una interdependencia natural entre las actividades de producción y mantenimiento de estos sistemas. En determinadas industrias, algunas líneas de montaje están totalmente integradas, por lo que el fallo de una de las máquinas o estaciones de trabajo puede causar que la línea completa deje de operar y ocasionar retrasos con consecuencias técnicas y económicas. Debido a lo anterior, la integración y la planificación de mantenimiento preventivo es esencial para mantener el sistema de fabricación operando óptimamente y con un nivel adecuado de producción.

El autor Mustapha Nourelfath (2016), plantea que el objetivo es integrar la producción, mantenimiento y calidad para un proceso imperfecto de multi-período y multi-producto, modelando el sistema de producción como una máquina imperfecta, cuyo estado es, igual que en el caso pasado, en control o fuera de control. Cuando la máquina está fuera de control, se produce una fracción de elementos no conformes. Durante cada período, esta máquina es inspeccionada y actividades de mantenimiento preventivo se realizan simultáneamente para reducir su edad, proporcional al nivel de mantenimiento preventivo.

El objetivo es reducir al mínimo el costo total, al tiempo que satisface la demanda de todos los productos. El modelo de optimización propuesto por Mustapha Nourelfath (2016), permite una selección conjunta de los valores óptimos de plan de producción, y la política de mantenimiento, teniendo en cuenta los costos.

Se ha encontrado que el aumento en el nivel del mantenimiento preventivo conduce a reducciones en los costos de control de calidad. Sin embargo, si los costos de realizar mantenimientos preventivos son más altos y el costo de calidad no se ve reducido. El realizar los mantenimientos preventivos no es justificable.

En la práctica, la planificación de la producción se lleva a cabo dentro de los límites impuestos por el programa de mantenimiento del sistema. Por lo que los planes de producción y mantenimiento no consideran el objetivo general de minimizar los costos tanto de producción como de mantenimiento.

La propuesta es un modelo de planificación de la producción agregada, que además de los datos y parámetros de producción pertinente, considere también las estadísticas de confiabilidad del sistema, para generar un plan óptimo de producción táctico que especifican los períodos óptimos de mantenimiento preventivo.

La mayor parte de la literatura de investigación disponible, que trata de la producción y la integración de mantenimiento preventivo, se centra en la programación de las operaciones. La propuesta de producción y programas de mantenimiento preventivos integrados asumen que los períodos durante el cual el mantenimiento preventivo se llevará a cabo son conocidos desde un principio, y son formulados como modelos determinísticos con restricciones de disponibilidad.

El-Houssaine Aghezzaf (2016), propone un programa de producción integrada y mantenimiento preventivo mediante un modelo de optimización. El modelo supone que el sistema se repara mínimamente cuando se produce un error al azar durante un período de producción. Es decir, el sistema regresa a un estado operativo sin alterar su tasa de fracaso. Cuando el sistema se mantiene de forma preventiva vuelve a una condición de tan bueno como nuevo. Su tasa de fracaso es la misma que la de un nuevo sistema; también asume que cualquier acción de mantenimiento, reparación mínima o pre-mantenimiento preventivo, reduce la capacidad de producción disponible del sistema.

Mustapha Nourelfath (2016), estudia el problema de la integración del mantenimiento preventivo y la planificación de la producción en el contexto de un proceso imperfecto que tiene una distribución general de deterioro con el aumento de la probabilidad de riesgo.

El mantenimiento, la producción, y la calidad se relacionan entre sí, mientras que la investigación solo integra el mantenimiento preventivo con la planificación, mantenimiento y calidad, mediante el desarrollo de modelos como el EPQ (*Economic Production Quantity*), que se aplican únicamente a los elementos individuales de inventario. El Lote Económico de Producción (EPQ) es un modelo matemático encargado de controlar los inventarios, basado en el modelo de Cantidad Económica de Pedido a una tasa finita de producción. Este modelo supone que tanto la recepción, producción y venta ocurren al mismo tiempo. Su objetivo es encontrar el lote de producción ideal, de un solo producto, en el que los costos por generar una orden de producción y por mantener el inventario sean iguales. Este modelo no funciona si la demanda es variable con el tiempo.

Para considerar los 3 aspectos el autor Mustapha Nourelfath (2016), propone un modelo multi-periodo y multi-producto, lineal mixto, para la determinación conjunta de los valores óptimos del plan de producción, y los niveles de mantenimiento preventivo de la máquina, tomando en cuenta los costos de calidad. A diferencia de los modelos clásicos, el autor propone tomar en cuenta la existencia de elementos defectuosos en los lotes de producción, teniendo en cuenta la inspección de la máquina con fines de mantenimiento y restauración.

Teniendo como objetivo el reducir al mínimo los costos de: inspección, mantenimiento preventivo, elementos defectuosos, restauración, producción, instalación, mantenimiento de inventario, y pedidos pendientes. Determinando una estrategia que integre tamaño de lote y el mantenimiento preventivo del sistema que logre minimizar la suma de los costos de mantenimiento, los de calidad y los de producción.

### 3.12 Índices de disponibilidad

Uno de los problemas a los que se enfrenta la empresa es el cuidado y mantenimiento de la flota de equipos, sin embargo, la única forma de mejorar es medir la evolución de los aspectos más importantes que determinan la calidad del trabajo realizado por los equipos.

**Disponibilidad total:** Porcentaje obtenido de la división de horas disponibles entre el total de horas. Es la razón del tiempo real de disponibilidad por las horas totales:

$$\text{Disponibilidad total} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas mantenimiento}}{\text{Horas totales}} \quad (10)$$

**Disponibilidad por averías:** Disponibilidad de equipos eliminando las horas de mantenimiento por fallas:

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de paro por avería}}{\text{Horas totales}} \quad (11)$$

**Tiempo medio entre fallos:** revela la frecuencia con que suceden las averías:

$$\text{Tiempo medio entre fallas} = \frac{\text{Número total de horas}}{\text{Número de averías}} \quad (12)$$

**Tiempo medio de reparación:** Horas de paro entre el número de averías:

$$TMR = \frac{\text{Número de horas de paro por falla}}{\text{Número de fallos}} \quad (13)$$

### 3.13 Índices de proporción de tipo de mantenimiento

Uno de los pilares que soportan el buen funcionamiento de los equipos se basa en el mantenimiento de los mismos y su control.

- **Índice de Mantenimiento Programado:** Cociente de la división entra horas de mantenimiento programado y horas totales:

$$IMP = \frac{\text{Horas dedicadas al mantenimiento programado}}{\text{horas totales de mantenimiento}} \quad (14)$$

- **Índice de Correctivo:** Porcentaje de horas en mantenimiento correctivo sobre horas totales:

$$IC = \frac{\text{Horas dedicadas al mantenimiento correctivo}}{\text{horas totales de mantenimiento}} \quad (15)$$

- **Índice de Emergencias:** Porcentaje de horas usadas para mantenimientos de crisis, sobre horas de mantenimiento general:

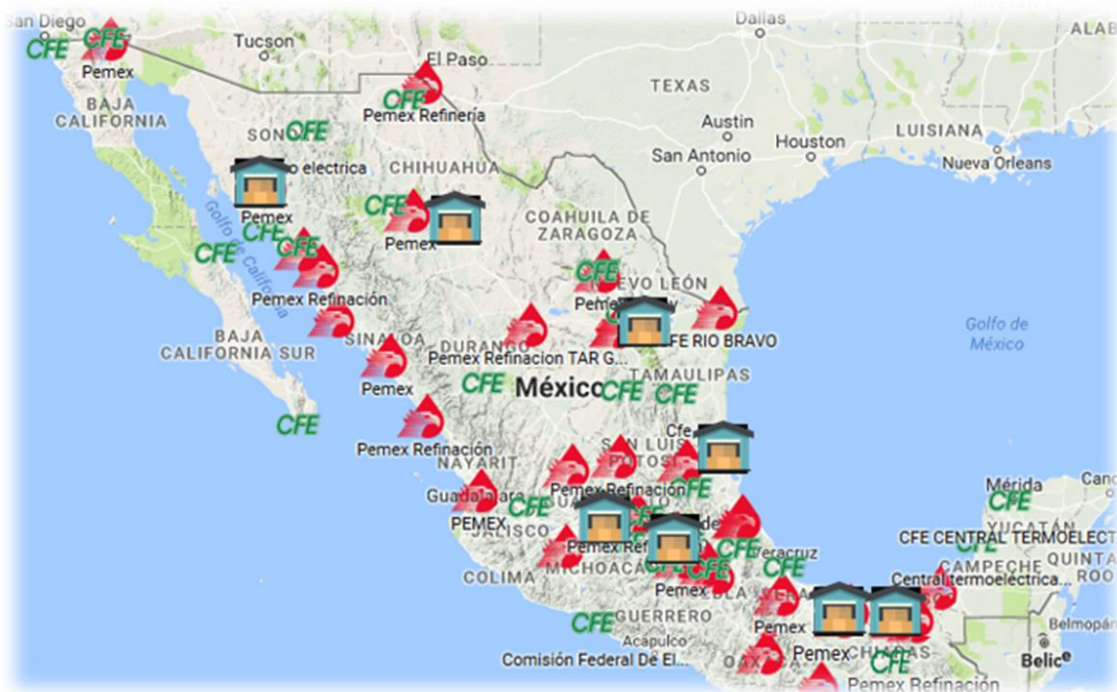
$$IME = \frac{\text{Horas de mantenimiento de prioridad máxima}}{\text{horas totales de mantenimiento}} \quad (16)$$

## 4. Propuesta de solución

### 4.1 Almacenes

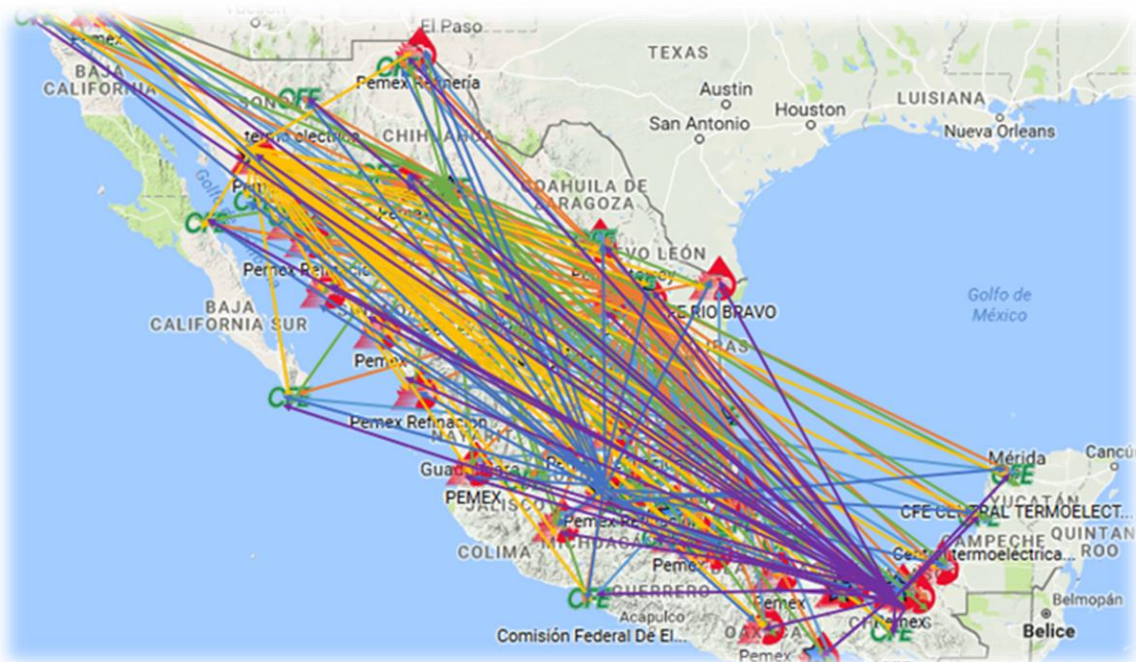
Debido a la difícil situación del país, la empresa se ve obligada a tener un proyecto de reestructuración para elegir los almacenes que permanecerán en operación. Para poder seleccionarlos de la mejor manera y elegir su ubicación ideal, se generaron dos modelos, que se muestran a continuación:

Se muestra en la Figura 21 la ubicación original de los ocho almacenes y los principales clientes (PEMEX y CFE).



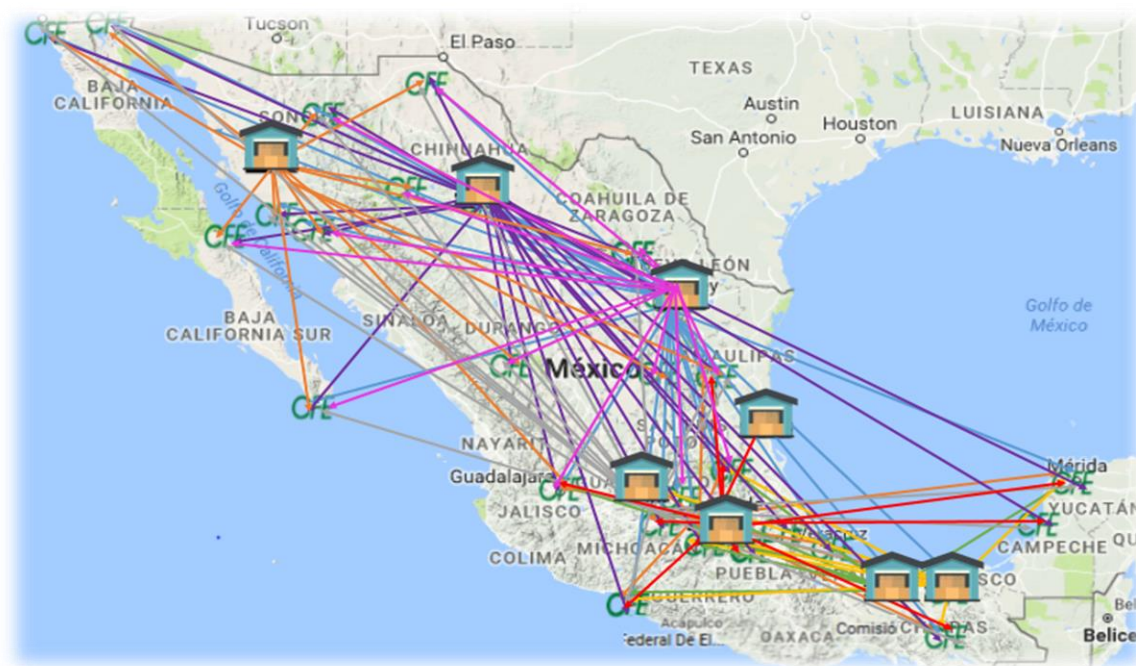
**Figura 21.** Mapa almacenes, principales clientes (PEMEX, CFE)

En la Figura 22 se puede observar el flujo que se tiene actualmente entre almacenes y clientes sin importar su ubicación. Cualquier almacén puede satisfacer la necesidad del cliente, incluso se pueden mandar materiales de varios almacenes para un mismo cliente.



**FIGURA 22.** Tráfico actual, tránsito de todos los almacenes a todos los clientes.

En la Figura 23 se observa el tráfico con restricciones de cercanía, solo considerando a CFE como principal cliente, debido a que PEMEX durante todo el 2016 y 2017 no tendría actividades. Se muestran rutas simplificadas dependiendo de la cercanía de los almacenes a los clientes.



**FIGURA 23.** Tráfico con restricción de cercanía

Para poder evaluar la utilidad y capacidad de cada almacén, se analizan los principales parámetros de operación de cada uno. Dependiendo del costo anual de la renta del almacén y la capacidad que este tiene frente al cliente, se obtienen índices que permitirán comprar la rentabilidad de cada uno de los almacenes.

La capacidad de almacenes, Tabla 15, representa el total de dinero que se mueve, en materiales, de cada almacén para los servicios TC. Su principal foco de atención son los materiales, para contar con disposición de los mismos en cuanto el cliente los solicite. El índice se obtiene de dividir el costo anual entre la capacidad anual, por lo que los almacenes con índices mayores son los primeros candidatos para cerrar sus operaciones. Los índices expresados en la Tabla 15 reflejan que operar los almacenes que presentan los mayores índices, ubicados en: Hermosillo (4.6), Salamanca (3.01), Madero (1.69), Delicias (0.93), son menos rentables que operar los ubicados en Villahermosa (0.34), Monterrey (0.36), Tula (0.52), Minatitlán (0.56). A menor índice mayor rentabilidad.

**Tabla 15.** Capacidad original de almacenes

	Hermosillo	Monterrey	Delicias	Madero	Salamanca	Tula	Minatitlán	Villahermosa
<b>Costo almacén</b>	\$ 21,500	\$ 82,007	\$ 34,045	24,700	\$ 18,500	\$ 52,968	\$ 47,461	\$ 28,490
<b>Costo anual</b>	\$ 258,000	\$ 984,084	\$ 408,540	\$ 296,400	\$ 222,000	\$ 635,616	\$ 569,532	\$ 341,880
<b>Capacidad</b>	\$ 56,054	\$2,746,388	\$ 440,527	\$ 174,925	\$ 73,767	\$1,213,689	\$1,024,945	\$1,012,825
<b>Demanda anual</b>	\$ 56,054	\$1,990,785	\$ 440,527	\$ 174,925	\$ 73,767	\$ 993,896	\$ 993,896	\$ 538,049
<b>Índice</b>	4.60	0.36	0.93	1.69	3.01	0.52	0.56	0.34
<b>Capacidad extra</b>	-\$ 0	\$ 755,603	-\$ 0	-\$ 0	-\$ 0	\$ 219,793	\$ 31,049	\$ 474,776

En la Tabla 15 se muestra cómo los almacenes que se propone dejar operando (Monterrey, Tula, Minatitlán, Villahermosa), cuentan con capacidad extra para seguir operando, a pesar de la propuesta de cerrar cuatro de ellos (Hermosillo, Delicias, Madero, Salamanca).

La demanda total anual es por \$ 5,261,900 de pesos y la capacidad de los almacenes que se propone dejar en operación es de: \$ 5,997,847 pesos, por lo que es posible satisfacer la demanda. El costo de tener todos los almacenes abiertos se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Costos totales originales de operación de almacenes

Costos totales operación almacenes									
Almacén	Hermosillo	Delicias	Monterrey	Madero	Salamanca	Tula	Minatitlán	Villahermosa	Total
Renta almacén	\$ 10,500	\$ 15,000	\$ 50,000	\$ 10,000	\$ 6,000	\$ 20,000	\$ 18,000	\$ 15,000	\$ 144,500
Administradora	\$ 10,000	\$ 17,645	\$ 16,216	-	\$ 12,000	\$ 14,183	\$ 13,114	-	\$ 83,158
Almacenista	-	-	\$ 13,291	\$ 13,500	-	\$ 17,186	\$ 14,747	\$ 12,490	\$ 71,213
Gastos fijos	\$ 1,000	\$ 1,400	\$ 2,500	\$ 1,200	\$ 500	\$ 1,600	\$ 1,600	\$ 1,000	\$ 10,800
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 21,500</b>	<b>\$ 34,045</b>	<b>\$ 82,007</b>	<b>\$ 24,700</b>	<b>\$ 18,500</b>	<b>\$ 52,968</b>	<b>\$ 47,461</b>	<b>\$ 28,490</b>	<b>\$ 309,671</b>

Para poder satisfacer la demanda de los clientes y contar con almacenes a lo largo de la república mexicana se destinan \$309,671, mensualmente, para operar ocho almacenes. Dicha cuota es muy difícil de cubrir por la baja que se presentó en las ventas y las repercusiones que esto ha tenido. Por lo anterior, es necesario realizar un análisis en el que se puedan elegir almacenes capaces de satisfacer la demanda.

Para la selección de almacenes se desarrollaron dos modelos:

a) Modelo de gravedad

En la zona norte se cuenta actualmente con 4 almacenes: Hermosillo, Delicias, Monterrey y Madero. En esta zona se buscará tener solo un almacén que pueda atender el norte del país. Para desarrollar el modelo se obtuvieron las coordenadas de los almacenes y de los principales clientes. El modelo desarrollado se describe a continuación:

**Función Objetivo:**

$$Min = dnCt \quad (17)$$

**Variabes:**

*Pendiente*

$$m = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (18)$$

$$S_{xy} = n \sum_{i=1}^n iDi \frac{n(n+1)}{2} \sum_{i=1}^n Di \quad (19)$$

$$S_{xx} = \frac{n^2(n+1)(2n+1)}{6} - \frac{n^2(n+1)2}{4}$$

$$b = \bar{D} - \frac{m(n+1)}{2} \quad (20)$$

$$d(x, y) = \left( \sum_{j=1}^d (x_j - y_j)^2 \right)^{1/2} \quad (21)$$

$$c_x = \frac{\sum_{i=1}^n d_{ix} * C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad c_y = \frac{\sum_{i=1}^n d_{iy} * C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (22)$$

en donde:

$c_x$  = Coordenada de la nueva bodega en X

$c_y$  = Coordenada de la nueva bodega en Y

$d_{ix}$  = Distancia de la ubicación i en términos de la coordenada X

$d_{iy}$  = Distancia de la ubicación i en términos de la coordenada Y

$C_i$  = Costo promedio del transporte

La ecuación 21 se utiliza para conocer las distancias, tomando como base la distancia euclidiana, la cual se deduce a partir del teorema de Pitágoras, utilizando las coordenadas cartesianas. Demey, Jhonny R. (2011).

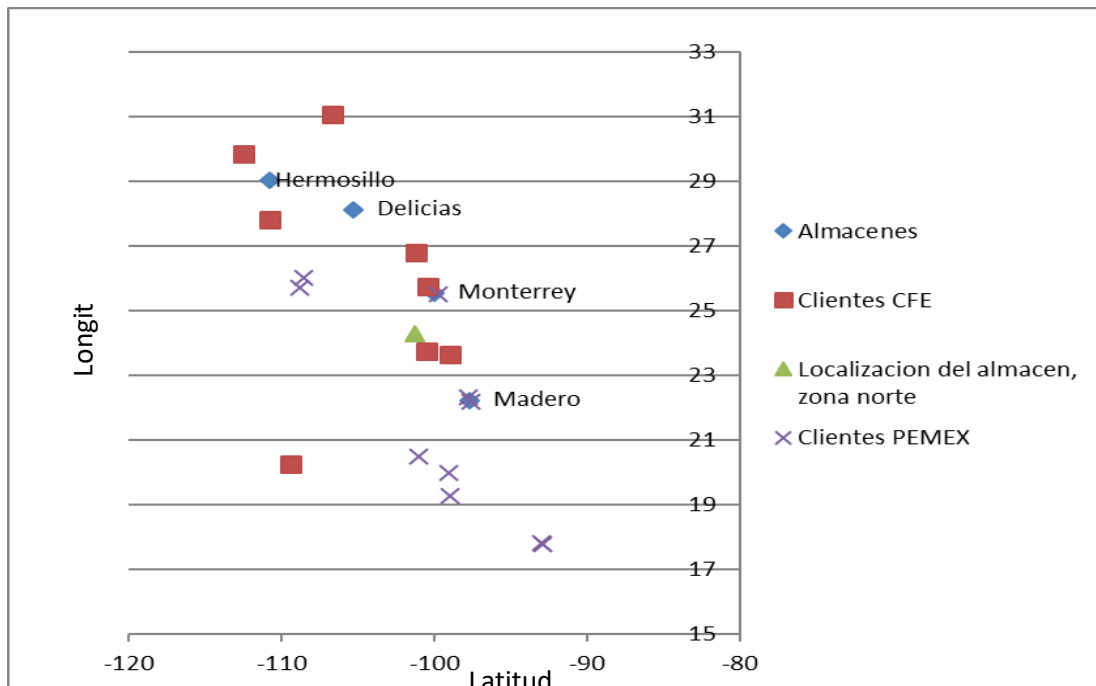


Figura 24. Ubicación almacén propuesto zona norte

En la Figura 24 se muestra el modelo de Gravedad para establecer un almacén capaz de representar la zona norte.

El modelo demuestra cómo la mejor localización del almacén es muy cerca del almacén de Monterrey. Por lo que la principal propuesta, al analizar este modelo, es el cierre de los otros tres almacenes (Hermosillo, Delicias y Madero) y atender toda la demanda con el almacén de Monterrey, aunque tal vez ubicado más cerca del centro de equilibrio, pero dentro del estado de Nuevo León.

Monterrey cuenta con la capacidad necesaria para atender todos los servicios de la zona norte y con esto se ahorrarán los costos fijos de mantener y operar los almacenes.

b) Modelo de programación lineal entera mixta

Actualmente se cuenta con ocho almacenes responsables de satisfacer la demanda de al menos 50 clientes. De los almacenes de la zona norte se propone dejar uno solo, cerca de Monterrey, para atender la demanda de toda esa zona.

Con el mapeo de los clientes y almacenes, considerando la demanda en dinero de los principales clientes y la capacidad de cada almacén para atenderla, se busca encontrar qué almacenes cerrar y cuáles atenderán a qué cliente y en cuántos servicios. A continuación, se presenta el modelo de programación lineal entera mixta que busca resolver el problema de manera eficiente, que como se comentaba anteriormente, es una técnica que permite modelar y resolver problemas en los cuales las soluciones factibles son siempre discretas.

**Función Objetivo:**

$$\text{Minimizar} = \sum_{i=1}^n f_i y_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} x_{ij} \quad (23)$$

**Sujeto a:**

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = D_j \text{ con } j = 1, \dots, m \quad (24)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq K_i Y_i \text{ con } i = 1, \dots, n \quad (25)$$

$$Y_i \in \{0,1\} \text{ con } i = 1, \dots, n, x_{ij} \geq 0$$

*n* = número de almacenes actuales y capacidades de la planta potencial

*m* = número de clientes o puntos de demanda

*D<sub>j</sub>* = demanda anual del mercado *j*

*K<sub>i</sub>* = capacidad potencial del almacén *i*

*f<sub>i</sub>* = costo fijo anualizado para mantener abierto el almacén *i*

*C<sub>ij</sub>* = costo de enviar una unidad desde el almacén *i* al cliente *j*

*Y<sub>i</sub>* = 1 si el almacén *i* está abierto, 0 si está cerrado

*X<sub>ij</sub>* = cantidad enviada desde el almacén *i* al cliente *j*

En el modelo se consideró el costo que tendría el traslado de cada almacén a cada uno de los principales clientes.

Para calcular el costo de transporte se realizó una estimación por mínimos cuadrados a partir de un historial de los costos de traslado de un rabón (camión con capacidad de 8 tons de carga). Con esta metodología se obtuvo una regresión lineal que permitió estimar los costos de movimiento de las unidades, a través de las distancias.

$$C_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_1 \quad (26)$$

$$Y_{ij} = \frac{C_{ij}}{X_{ij}} \quad (27)$$

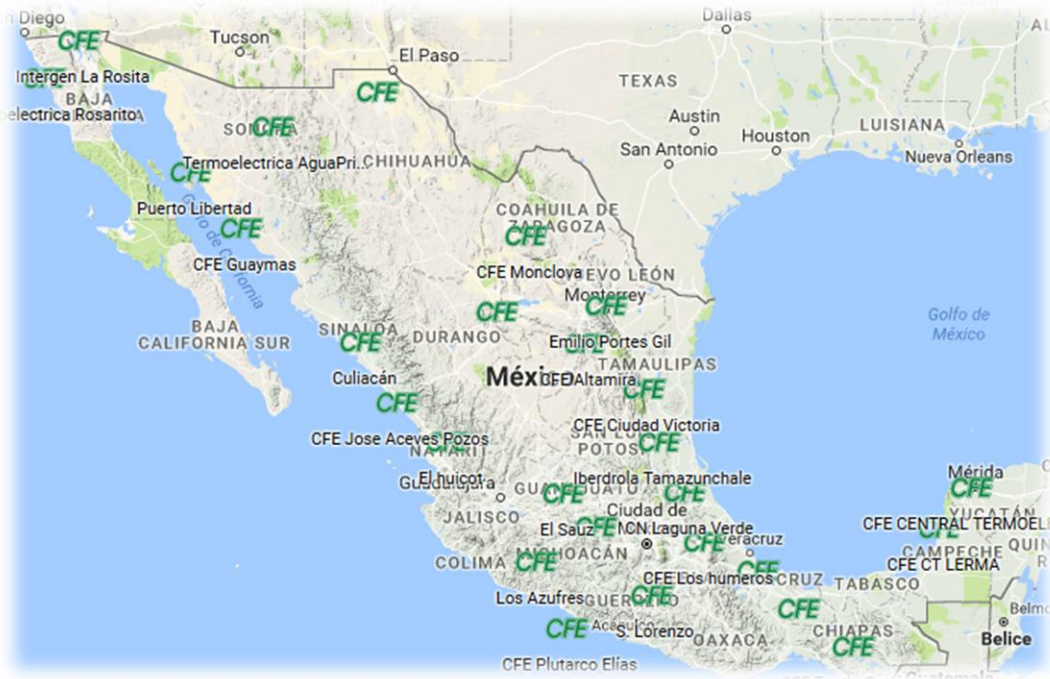
En la Tabla 17 se muestra parte del modelo creado, en donde se expresa, por ejemplo, el costo de movilizar equipos para un servicio común, de Hermosillo a la Termoeléctrica Rosarito; la primera ubicación de la Tabla 17 es de \$16,783 pesos. Entre más se alejan las coordenadas entre almacenes y clientes, aumenta el costo de transporte, porque también físicamente se encuentran más lejos.

**Tabla 17.** Costos de transportes de almacén a planta costos 2016

Almacén/ Cliente	Costo Transporte, rabón de almacén i a planta j								
	1	2	3	4	5	...	21	22	23
Hermosillo	\$ 16,783	\$ 14,332	\$ 7,121	\$ 8,579	\$ 8,385	...	\$ 33,051	\$ 32,277	\$ 29,168
Delicias	\$ 26,614	\$ 23,711	\$ 15,880	\$ 14,629	\$ 19,544	...	\$ 24,653	\$ 18,164	\$ 23,118
Monterrey	\$ 38,314	\$ 35,411	\$ 27,994	\$ 26,175	\$ 31,090	...	\$ 13,042	\$ 9,017	\$ 16,435
Madero	\$ 45,989	\$ 43,087	\$ 31,967	\$ 32,315	\$ 36,082	...	\$ 7,869	\$ 8,360	\$ 13,855
Salamanca	\$ 40,378	\$ 37,204	\$ 26,601	\$ 30,393	\$ 30,716	...	\$ 10,295	\$ 12,268	\$ 7,392
Tula	\$ 42,803	\$ 40,352	\$ 29,748	\$ 33,580	\$ 33,863	...	\$ 8,566	\$ 14,203	\$ 8,063
Minatitlán	\$ 50,466	\$ 48,015	\$ 37,411	\$ 41,255	\$ 41,526	...	\$ 15,016	\$ 18,293	\$ 15,738
Villahermosa	\$ 52,801	\$ 50,350	\$ 39,733	\$ 43,577	\$ 43,848	...	\$ 17,351	\$ 20,615	\$ 18,060
Demanda anual	116,466	1,412,064	326,088	1,583,744	220,230	...	927,738	209,772	325,314

Algunos de los clientes considerados se muestran en la Figura 24 y son:

1. Termoeléctrica Rosarito
2. Intergen La Rosita
3. CFE Guaymas
4. Termoeléctrica Agua Prieta
5. Puerto Libertad
6. CFE Samalayuca
7. CFE Guadalupe Victoria
8. CFE Monclova
9. CFE Altamira
10. Iberdrola Tamazunchale
11. CFE Ciudad Victoria
12. CFE Los Azufres
13. CFE Plutarco Elías
14. CFE San Lorenzo Potencia
15. CFE Los humeros
16. CFE Francisco Pérez Ríos
17. CFE El Sauz
18. Central Nucleoeléctrica Laguna Verde
19. CFE CCC 2 Bocas
20. Braskem IDESA
21. CFE Tuxtla Gutiérrez
22. CFE Mérida II
23. CFE Central Termoeléctrica Lerma



**Figura 24.** Ubicaciones centrales CFE

Al correr el modelo de optimización, Tabla 18, se sugiere el cancelar ciertas rutas y cumplir con la demanda de cada cliente con la capacidad de otro almacén. El objetivo final es lograr cumplir con la demanda, tomando en cuenta la capacidad de cada uno de los almacenes y minimizar el costo de operación.

**Tabla 18.** Monto en MXN de demanda a distribuir por almacén

Almacén/ Cliente	Monto a distribuir de almacén i a cliente j								
	1	2	3	4	5	...	21	22	23
Delicias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	...	\$ 440,527	\$ -	\$ -
Monterrey	\$ 8,986	\$ 182,147	\$ 31,516	\$ 193,705	\$ 17,416	...	\$ 722,972	\$ 5,885	\$ 17,449
Madero	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	...	\$ 174,925	\$ -	\$ -
Tula	\$ 8,735	\$ 31,156	\$ 22,667	\$ 62,964	\$ 16,517	...	\$ 361,486	\$ 5,775	\$ 16,547
Minatitlán	\$ 8,735	\$ 31,156	\$ 22,667	\$ 62,964	\$ 16,517	...	\$ 361,486	\$ 5,775	\$ 16,547
Villahermosa	\$ 8,484	\$ 27,959	\$ 20,975	\$ 49,907	\$ 15,619	...	\$ -	\$ 5,665	\$ 15,645
<b>Demanda anual</b>	<b>\$ 34,940</b>	<b>\$ 272,419</b>	<b>\$ 97,826</b>	<b>\$ 369,540</b>	<b>\$ 66,069</b>	...	<b>\$ 2,061,396</b>	<b>\$ 23,101</b>	<b>\$ 66,188</b>
	=	=	=	=	=	...	=	=	=
Ventas anual	116,466	908,064	326,088	1,231,801	220,230	...	\$ 7,304,058	\$ 77,004	\$ 220,626
<b>Materiales dem</b>	<b>34,940</b>	<b>272,419</b>	<b>97,826</b>	<b>369,540</b>	<b>66,069</b>	...	<b>2,191,217</b>	<b>23,101</b>	<b>66,188</b>

El resultado que arroja el modelo es el plan óptimo de manejo de almacenes, en el que por la cantidad de servicios que se le destina a atender a cada uno y la demanda de los clientes a su alrededor, expresa la mejor manera de repartir los recursos, disminuyendo con esto el costo de los transportes. Los almacenes que se propone cerrar, derivado de este modelo de optimización son: Hermosillo, Delicias, Madero, Salamanca, porque solo atienden de uno a tres servicios al mes.

Estos almacenes resultan muy poco rentables; los costos de mantenerlos operando se componen del pago de nómina de un administrador, un almacenista; el pago de la bodega, y el costo de manejo de inventario y los costos fijos del espacio. Por lo que el cerrarlos puede ser una decisión congruente y que ayudará a reducir costos. Esta solución coincide con la propuesta del primer modelo de cerrar Hermosillo y Delicias y dejar a Monterrey a cargo de esas operaciones.

## 4.2 Equipos

Para poder generar el plan de mantenimiento preventivo y la mejor asignación de equipos, se evalúa en la Tabla 19 el tipo de equipos que son necesarios para los distintos tipos de servicios que se realizan, el costo de cada servicio y los días que el equipo es utilizado.

**Tabla 19.** Equipos necesarios para cada tipo de servicio

Servicios	Equipo						Info adicional		
	HiFi	80	BQ	TJ2500	300	500/600	Días	# Serv/ mes	Costo
FH	X						5	4	\$ 129,000
FM	X	X					7	3	\$ 197,000
PTJ	X	X		X			13	1	\$ 160,000
FO	X				X		18	3	\$ 460,000
FQO			X			X	22	2	\$ 743,225

Tipo de servicio: FH: Filtración con HiFi, FM: Filtración mediana con equipos de 80GPM, FO: Flushing Oleodráulico, FQO: Flushing Químico Oleodráulico, PTJ: Purificación con equipo TJ.

A continuación, se analiza la cantidad de equipos de cada tipo con los que se cuentan, Tabla 20, se observa cuántos de estos se encuentran en mantenimiento: cuántos están listos, es decir, se pueden ocupar en cualquier momento: y el costo promedio para hacerles un mantenimiento preventivo.

**Tabla 20.** Cantidad de equipos y costos mantenimiento preventivo (MXN)

Equipos	Cantidad	Horas Mantenimiento	Equipos listos	Equipos mantenimiento	Mantenimiento preventivo
HiFi	87	12	67	20	\$ 2,500
80	13	12	13	0	\$ 5,500
300	6	15	6	0	\$ 6,000
500	5	15	3	2	\$ 6,000
600	3	19	2	1	\$ 6,000
1200	1	29	0	1	\$ 8,000
Cal	6	25	6	2	\$ 7,500
TJ	8	16	6	2	\$ 9,500
BQ	22	17	12	10	\$ 9,000

A pesar de que la flota de equipos es grande, muchos de estos se encuentran en el taller y el tiempo de mantenimiento es muy largo. Los mantenimientos no se encuentran programados, lo que ocasiona que muchos de esos equipos pasen meses en el taller sin ser reparados.

Para poder conocer la importancia de los equipos y que estos se encuentren funcionales, en la Tabla 21 se resumen la cantidad anual de servicios y su equivalente en dinero.

**Tabla 21.** Ventas por servicio en pesos y números de servicios por tipo

		2014	2015	2016
FH	Ventas	\$ 4,399,222	\$ 6,881,304	\$ 371,375
	Cantidad	19	43	5
FM	Ventas	\$ 5,063,507	\$ 7,528,066	\$ 604,342
	Cantidad	21	31	5
PTJ	Ventas	\$ 17,112,297	\$ 1,527,071	\$ 28,900
	Cantidad	11	12	1
FO	Ventas	\$ 8,544,361	\$16,961,737	\$3,362,132
	Cantidad	17	38	8
FQO	Ventas	\$ 3,705,521	\$11,515,547	\$1,070,553
	Cantidad	8	11	2

#### 4.2.1 Reparación de equipos

Como se ha revisado anteriormente, uno de los elementos críticos del proceso son los equipos. En estos se busca tener la mayor confiabilidad y disposición.

Por lo anterior, una de las propuestas fue centralizar en el almacén de tula a los expertos, para brindarles a los equipos un mantenimiento oportuno y constante, modelo que

funcionó y del que más adelante se comentarán los resultados. Sin embargo, nos enfrentamos a un nuevo problema con el tiempo de reparación de los equipos.

Los equipos tienen fallas de elementos comunes, pero las prácticas actuales nos dictan que al dañarse un equipo se evalúa y se solicitan los componentes necesarios para su reparación. La propuesta es contar con las refacciones en *stock*.

En la Tabla 22 se evalúan los tiempos de reparación de los equipos; muestra la forma de trabajar con y sin *stock*, los tiempos aproximados de espera y los equipos que pueden llegar a necesitar cada uno de esos cambios.

Anteriormente se pedían los materiales a ocupar y todos se iban a tiempo de entrega, la propuesta es contar con un *stock* de refacciones que disminuya el tiempo de reparación al mínimo.

Es importante analizar los tiempos que cada uno de los modelos de los equipos requiere para ser reparado, estos tiempos nos ayudarán a conocer la disponibilidad de los equipos y las pérdidas que ocasionan al encontrarse en el taller, en lugar de en algún servicio, generando dinero.

**Tabla 22.** Características de daños a reparar

Características daños a reparar			
Posibles fallas	Equipos	Proceso Anterior	Proceso Actual
Daño motor	HIFI, 80, 100-300, 400-600, TJ, BQ	Revisar, desmontar y reparar con un proveedor local, el tiempo de reparación depende del motor pero va de <b>tres a seis días</b> .	Contando con un motor nuevo o previamente reparado, se desmonta y monta el nuevo en <b>dos días</b> en el taller.
Daño bomba	HIFI, 80, 100-300, 400-600, TJ, BQ	Inspección del equipo, revisión de bomba, diagnostico de daños, (interno), se lleva con un proveedor para repararlo, <b>tres días</b> .	Si se tiene la bomba nueva o previamente reparada, se desmonta y coloca en <b>un día</b> .
Cambio retenes	HIFI, 80, 100-300, 400-600, TJ, BQ	Se compra el reten, el tiempo de entrega es de <b>tres a cuatro días</b> . Al llegar, se desmonta la bomba, se retira el retén dañado, se coloca el nuevo en <b>un día</b> .	Tiempo de colocación <b>un día</b> .
Cambio Manómetros	HIFI, 80, 400-600	El proceso de compra es de <b>siete a diez días</b> .	Tiempo de colocación <b>media hora</b> .
Cambio Filtros	80, 100 a 300, 400-600	Este material es de importación, su tiempo de entrega es de <b>25 días</b> .	Se drena el equipo se aflojan tornillos y se retira el Filtro, de <b>30 Minutos a una hora</b> .
Controlador de temperatura	TJ	El tiempo de entrega de este material es de <b>20 a 25 días</b> .	Se desmonta del tablero y se retira el controlador dañando, se monta y conecta el nuevo, tiempo de colocación <b>un día</b> .
Switch de Presión	TJ	El tiempo de entrega de este material es de <b>20 a 25 días</b> .	Tiempo de instalación <b>un día</b> .
Interruptor	80	El tiempo de entrega de un interruptor <b>20 días</b> .	Tiempo de reparación <b>un día</b> .
Limpieza equipo	HIFI, 80, 100-300, 400-600, TJ, BQ		<b>30 min a 1 hora</b>

Considerando cada día de espera como día laboral de ocho horas, en la Tabla 23, se muestran los tiempos para la reparación de cada uno de los equipos. En la primera columna se muestran los tiempos si, al notar la falla se contacta al proveedor para la reparación o compra de las refacciones y en la segunda, los tiempos si se cuenta con los materiales en *stock*.

**Tabla 23.** Tiempo de reparación de equipos proveedor vs taller

HiFi			
Posibles fallas	Tiempo proveedor		Tiempo taller
	Compra (días)	Reparación (días)	Reparación (días)
Daño motor	20	5	2
Daño bomba	30	2	3
Cambio retenes	4	-	1
Cambio Manómetros	10	-	30 min
Cambio Filtros	25	-	1
Limpieza equipo	-	-	1
<b>Tiempo máximo</b>	<b>89 días</b>	<b>7 días</b>	<b>8 días 30 min</b>

TJ 2500			
Posibles fallas	Tiempo proveedor		Tiempo taller
	Compra (días)	Reparación (días)	Reparación (días)
Daño motor	30	6	2
Daño bomba	60	2	3
Cambio retenes	4	-	1
Controlador de temperatura	25	15	1
Switch de Presión	59	15	1
<b>Tiempo máximo</b>	<b>178 días</b>	<b>38 días</b>	<b>8 días</b>

EQUIPO DE 80 GPM			
Posibles fallas	Tiempo proveedor		Tiempo taller
	Compra (días)	Reparación (días)	Reparación (días)
Daño motor	30	6	3
Daño bomba	40	3	3
Cambio retenes	4	-	2
Interruptor	20	-	1 hora
Cambio Manómetros	10	-	1 hora
Cambio Filtros	25	-	1 hora
Tubing	3	-	1
<b>Tiempo máximo</b>	<b>102 días</b>	<b>3 días</b>	<b>6 días 3 horas</b>

EQUIPO DE 100 GPM A 300 GPM.			
Posibles fallas	Tiempo proveedor		Tiempo taller
	Compra (días)	Reparación (días)	Reparación (días)
Daño bomba	30	4	4
Cambio retenes	4	4	2
Cambio Filtros	25	-	1 hora
<b>Tiempo máximo</b>	<b>59 días</b>	<b>8 días</b>	<b>6 días 1 hora</b>

EQUIPO DE 400 GPM A 600 GPM.			
Posibles fallas	Tiempo proveedor		Tiempo taller
	Compra (días)	Reparación (días)	Reparación (días)
Daño motor	30	6	3
Daño bomba	60	4	4
Cambio retenes	4	4	2
Cambio Manómetros	10	-	30 min
Cambio Filtros	25	-	1 hora
<b>Tiempo máximo</b>	<b>129 días</b>	<b>14 días</b>	<b>9 días 1.5 horas</b>

EQ. QUIMICO (BQ)			
Posibles fallas	Tiempo proveedor		Tiempo taller
	Compra (días)	Reparación (días)	Reparación (días)
Daño motor	30	5	2
Daño bomba	90	2	1
Cambio retenes	4	4	1
<b>Tiempo máximo</b>	<b>124 días</b>	<b>11 días</b>	<b>4 días</b>

**Tabla 24.** Tiempos en reparar los equipos, con y sin stock

Resumen tiempos (horas)			
Equipo	Sin Stock	Con Stock	Diferencia
HiFi	768	64.5	703.5
TJ 2500	1728	64	1664
80	840	51	789
100-300	536	49	487
400-600	143	73.5	69.5
BQ	1080	32	1048

Para realizar el comparativo entre reparar los equipos contando o no con el *stock* necesario, la Tabla 24 muestra el resumen de tiempos de reparación para cada situación. Contar con los materiales en *stock*, equivaldría a un ahorro de, en promedio, 800 horas por equipo. Sin embargo, para poder contar con el *stock* de refacciones también es necesario evaluar el costo que representa esta inversión.

**Tabla 25.** Costo *Stock* de refacciones por equipo

Posibles Fallas	Costo Stock Refacciones					
	HiFi	Tj 2500	80	100-300	400-600	BQ
Daño motor	\$ 4,630	\$ 18,540	\$ 12,135		\$ 11,562	\$ 9,227
Daño bomba	\$ 1,866	\$ 3,870	\$ 10,986	\$ 15,661	\$ 9,765	\$ 10,569
Cambio retenes	\$ 621	\$ 621	\$ 621	\$ 621	\$ 621	\$ 621
Cambio Manómetros	\$ 540		\$ 1,050		\$ 680	
Cambio Filtros	\$ 2,400		\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	
Controlador de temperatura		\$ 5,735				
Switch de Presión		\$ 758				
Limpieza equipo	\$ 100.00	\$ 150.00	\$ 100.00	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 150.00
Interruptor		\$ 880				
Tubing		\$ 1,320				
<b>Total</b>	<b>\$ 10,157</b>	<b>\$ 31,874</b>	<b>\$ 27,292</b>	<b>\$ 18,882</b>	<b>\$ 25,228</b>	<b>\$ 20,567</b>

La Tabla 25 muestra el costo de las refacciones necesarias para cada modelo de los equipos de la flotilla. En total el área TC cuenta con más de 220 equipos distribuidos en las 8 categorías enlistadas anteriormente, por lo que el mismo kit de refacciones de los HiFi, por ejemplo, podría servir para 89 equipos.

Entre los costos que se observan, los de motor y bomba son un costo promedio, pues la mayoría de las veces estos elementos se pueden reparar con proveedores, por lo que no siempre es necesaria la compra. Para obtener el costo de limpieza del equipo, se considera felpa y trapo que son los principales consumibles, la mano de obra no se contabiliza.

Esto resume que contando con un stock promedio de \$ 22,300 por equipo podemos asegurar la disponibilidad de equipos y el ahorro de valioso tiempo en su reparación.

La flotilla TC cuenta con alrededor de 220 equipos, que en temporada alta reflejan un índice de utilización de más del 80%, lo que significa que solo se cuenta con un 20% de equipos de respaldo para poder hacer frente al problema, sin embargo, no todos los equipos sirven para lo mismo, y el costo de movilizarlos sería un costo no considerado en el proyecto. Tener una falla grave en el equipo en la temporada alta (octubre, noviembre, diciembre) representaría tener un equipo parado sin facturar en la época en que más se demanda, y que podría representar el retraso o pérdida de algún servicio.

## 5. Implementación y resultados obtenidos

### 5.1 Inventarios, almacenes

#### 5.1.1 Reestructura de almacenes

Después de evaluar los almacenes que se deben quedar para poder atender de manera eficiente a los clientes se decidió empezar cerrando los almacenes ubicados en:

- Hermosillo
- Salamanca

Las operaciones del almacén de Hermosillo se absorbieron por las del almacén ubicado en Delicias y las de Salamanca por el almacén de Tula, logrando un ahorro mensual de \$40,000. Los costos de operación de los almacenes restantes se muestran en la Tabla 26.

**Tabla 26.** Costos de operación por almacén

Costos totales operación almacenes								Ahorro mensual
Almacén	Delicias	Monterrey	Madero	Tula	Minatitlán	Villahermosa	Total	
Renta almacén	\$ 15,000	\$ 50,000	\$ 10,000	\$ 20,000	\$ 18,000	\$ 15,000	\$128,000.00	
Administradora	\$ 17,645	\$ 16,216	-	\$ 14,183	\$ 13,114	-	\$ 61,157.89	
Almacenista	-	\$ 13,291	\$ 13,500	\$ 17,186	\$ 14,747	\$ 12,490	\$ 71,213.46	
Gastos fijos	\$ 1,400	\$ 2,500	\$ 1,200	\$ 1,600	\$ 1,600	\$ 1,000	\$ 9,300.00	
<b>TOTAL</b>	\$ 34,045	\$ 82,007	\$ 24,700	\$ 52,968	\$ 47,461	\$ 28,490	\$ 269,671	\$ 40,000

En una segunda etapa de cierres y modificaciones se decidió eliminar los almacenes; de Delicias y Madero, siendo Monterrey quien absorbió todas las operaciones.

**Tabla 27.** Capacidad de almacenes con los cambios aplicados

	Monterrey	Tula	Minatitlán	Villahermosa	Total
<b>Costo Almacén</b>	\$ 82,007	\$ 52,968	\$ 47,461	\$ 28,490	
<b>Costo anual</b>	\$ 984,084	\$ 635,616	\$ 569,532	\$ 341,880	
<b>Capacidad</b>	\$2,746,388	\$1,213,689	\$1,024,945	\$1,012,825	\$ 5,997,847
<b>Demanda anual</b>	\$2,662,291	\$1,287,456	\$ 993,896	\$ 538,049	\$ 5,481,692
<b>Índice</b>	0.36	0.52	0.56	0.34	

En la Tabla 27 se evalúan los costos para mantener cada uno de los almacenes; el costo anual se compara con la capacidad con la que cada uno cuenta y la demanda que tiene por año.

La capacidad, aunque sigue estando por encima de la demanda, aumentó notablemente en Tula, por lo que se tomaron las medidas necesarias para que este almacén fungiera como el almacén principal, aumentando su capacidad. Se rentó, en la misma ubicación, contando con 500 m<sup>2</sup> más de espacio en el almacén que permitiera satisfacer las necesidades de la empresa y con esto la de los clientes.

El almacén de Monterrey que antes fungía como principal cambió de ubicación y se redujo el espacio. Por lo mismo los costos de operación disminuyeron. Se decidió cambiar el taller para mantenimiento y modificación de equipos TC a Tula, en donde se lleva un mayor control, con los planes más detallados y son más frecuentes las visitas de supervisión por encontrarse más cerca de la Ciudad de México. El espacio de este taller se duplicó, dentro de la misma localización, por lo que su capacidad de almacenamiento y mantenimiento de equipos se vio beneficiada.

Con estos cambios se cuenta con las capacidades expresadas en la Tabla 28. La capacidad del almacén de Tula aumentó, al igual que su costo mientras que la capacidad y el costo del almacén de Monterrey disminuyeron, apeándose ambos a la demanda.

**Tabla 28.** Capacidad por almacén ajustada

	Monterrey	Tula	Minatitlán	Villahermosa	Total
<b>Costo almacén</b>	\$ 51,007	\$ 73,368	\$ 47,461	\$ 28,490	
<b>Costo anual</b>	\$ 612,084	\$ 880,416	\$ 569,532	\$ 341,880	
<b>Capacidad</b>	\$1,746,388	\$ 2,213,689	\$1,024,945	\$ 1,012,825	\$ 5,997,847
<b>Demanda anual</b>	\$2,662,291	\$ 1,287,456	\$ 993,896	\$ 538,049	\$ 5,481,692
<b>Índice</b>	0.35	0.40	0.56	0.34	

Por lo anterior, los almacenes que se quedarán para satisfacer la demanda se muestran en la Figura 25. Se propone dejar activos cuatro almacenes: Monterrey, Tula, Villahermosa y Minatitlán. Cada almacén tiene asignados clientes específicos y cada uno tiene la capacidad suficiente para brindarles el servicio adecuado.



**Figura 25.** Propuesta almacenes

Anteriormente cada almacén era capaz de atender la demanda de cualquier cliente sin importar la distancia a la que se encontrara. Actualmente la capacidad de cada almacén se ajustó para poder atender determinados clientes y la comparación de rutas y clientes designados se muestran en las Figuras 26-33.

Cada mapa muestra a un almacén. El primero de los mapas refleja todas las rutas que ese almacén cubría, listo para atender la demanda de cualquier cliente, sin importar su ubicación. El segundo de los mapas muestra las rutas que ese almacén seguirá para atender a clientes específicos, evaluados y asignados gracias al programa de optimización presentado anteriormente.

Almacén Monterrey, antes y después de las rutas de distribución (Figuras 26 y 27).



Figura 26. Rutas distribución almacén de Monterrey

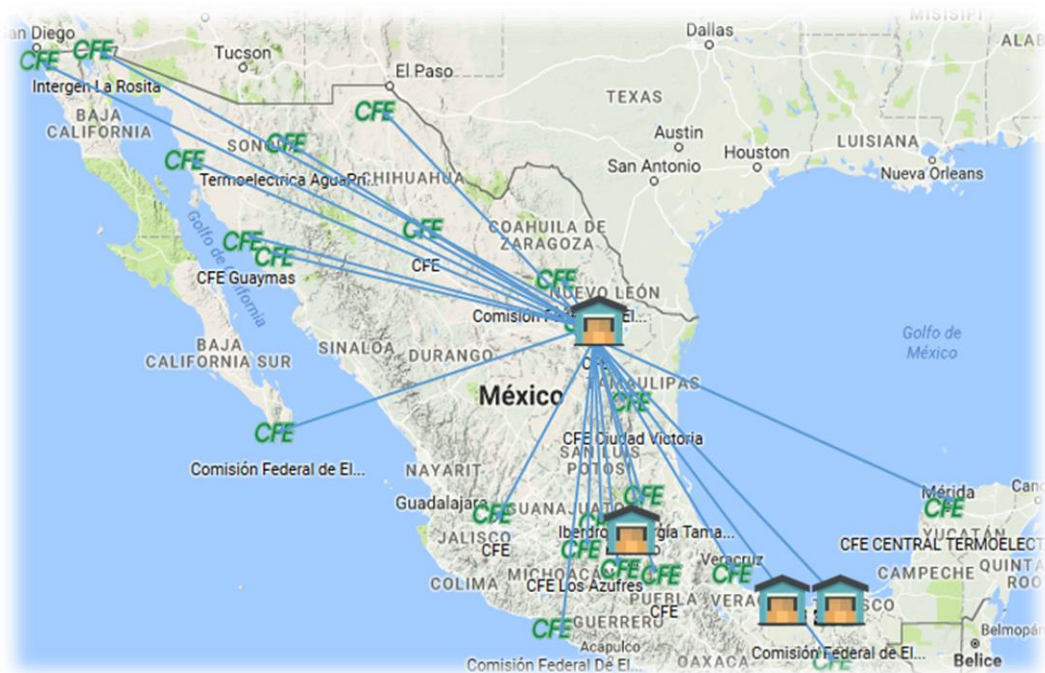


Figura 27. Nuevas rutas almacén Monterrey

Almacén Tula, antes y después de las rutas de distribución (Figuras 28 y 29).

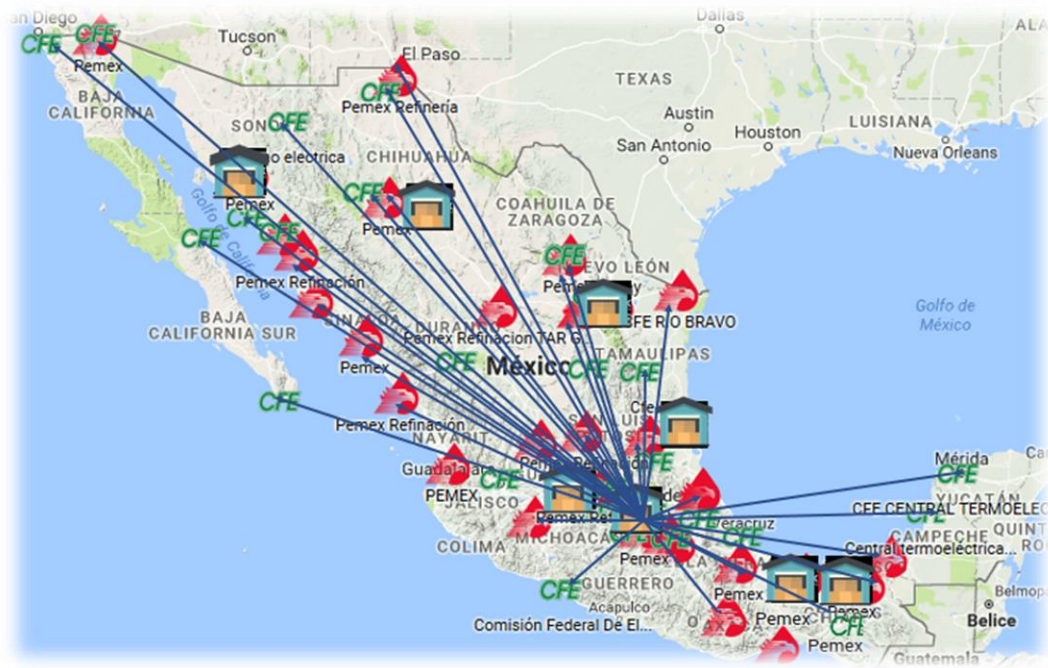


Figura 28. Rutas distribución almacén de Tula

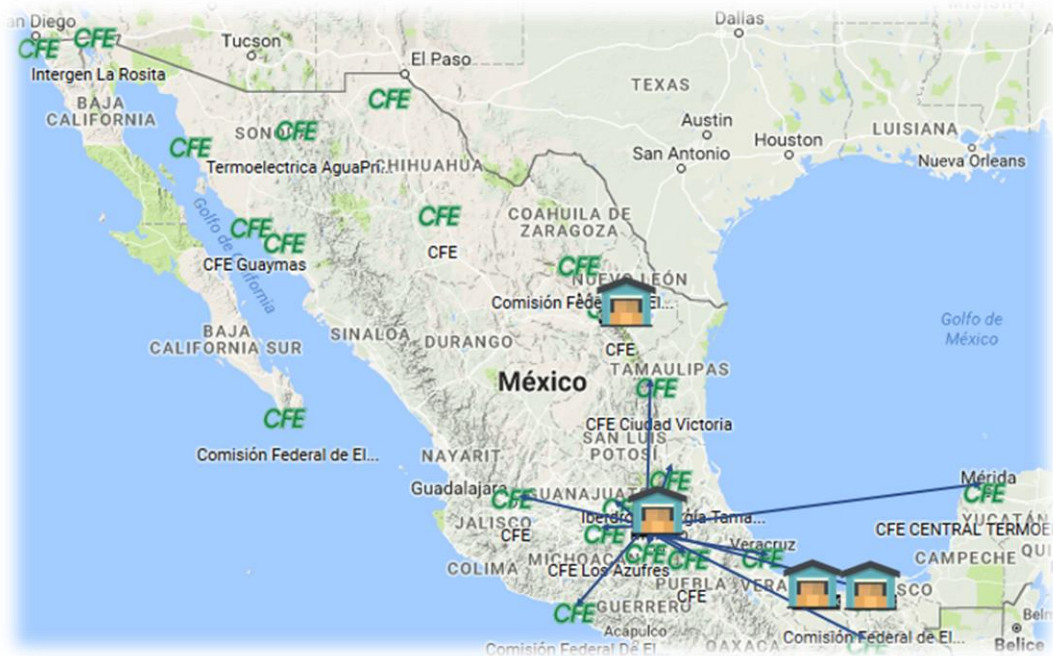


Figura 29. Nuevas rutas almacén Tula

Almacén Minatitlán, antes y después de las rutas de distribución (Figuras 30 y 31).



Figura 30. Nuevas rutas almacén Mina

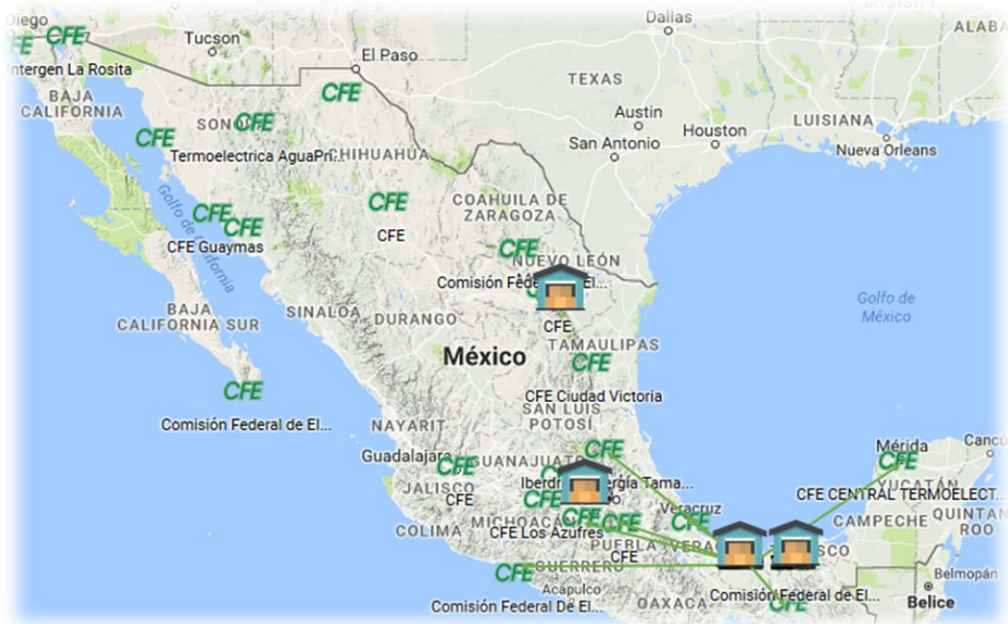


Figura 31. Rutas distribución almacén de Mina

Almacén Villahermosa, antes y después de las rutas de distribución (Figuras 32 y 33).

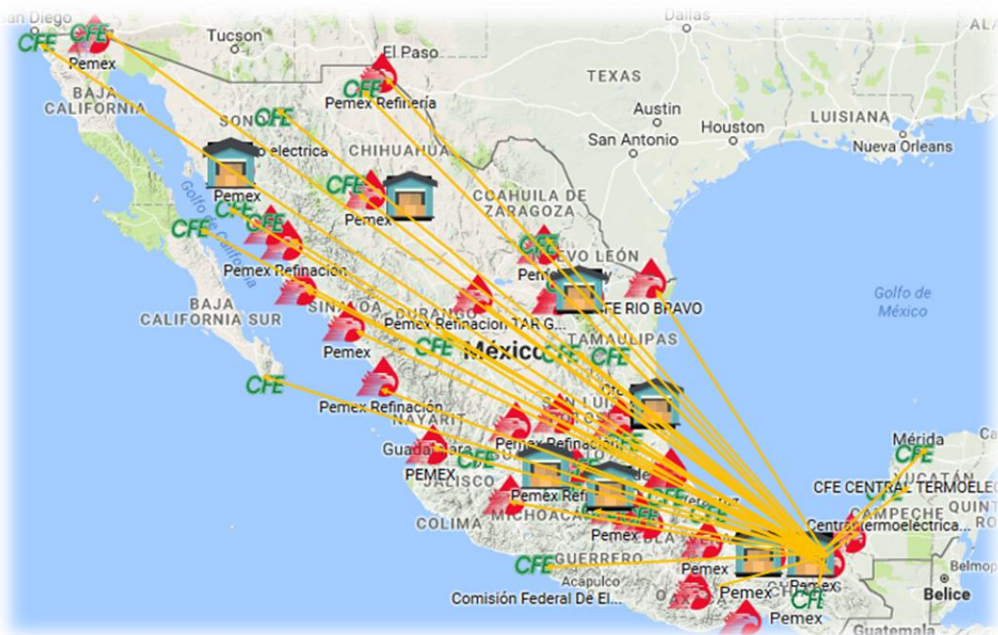


Figura 32. Rutas distribución almacén de Villahermosa

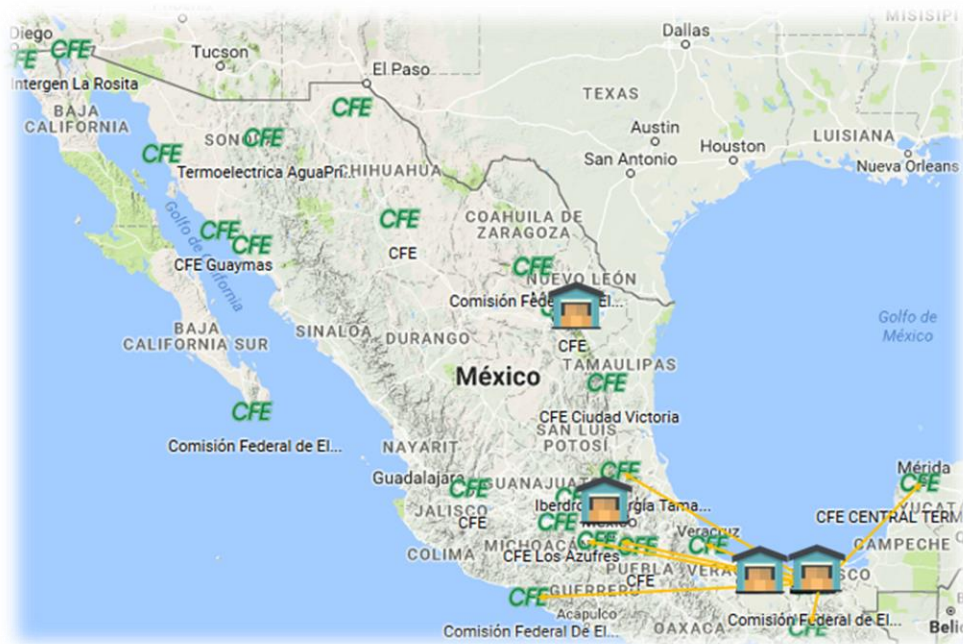


Figura 33. Nuevas rutas almacén Villahermosa

Los almacenes que desaparecen con el ajuste establecido son:

Almacén Hermosillo, rutas eliminadas (Figura 34).



Figura 34. Rutas distribución almacén de Hermosillo

Almacén Delicias, rutas eliminadas (Figura 35).

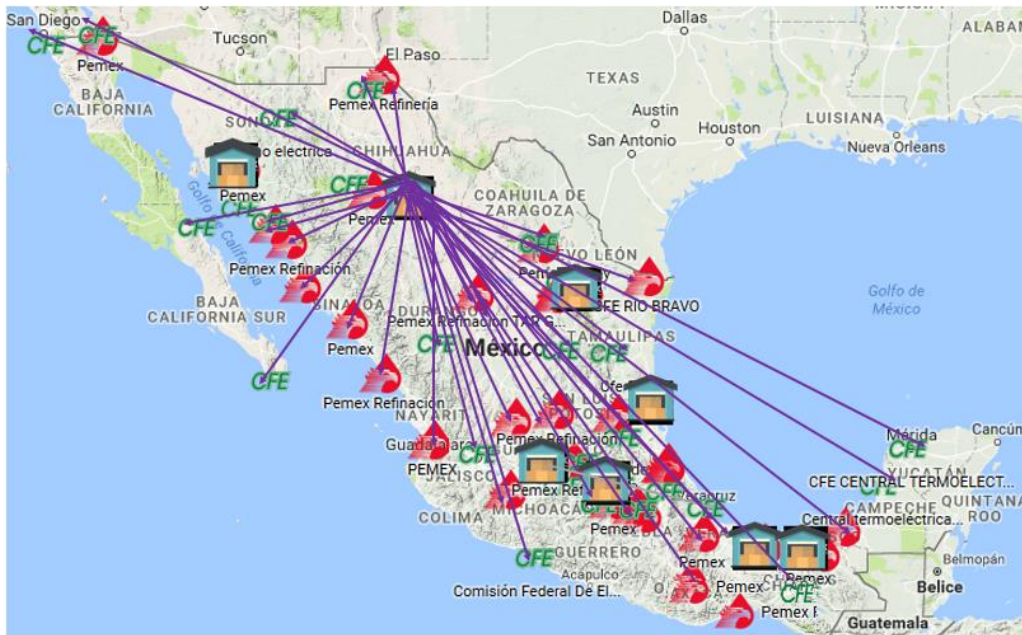


Figura 35. Rutas distribución almacén de Delicias

Almacén Salamanca, rutas eliminadas (Figura 36).



Figura 36. Rutas distribución almacén de Salamanca

Almacén Madero, rutas eliminadas (Figura 37).

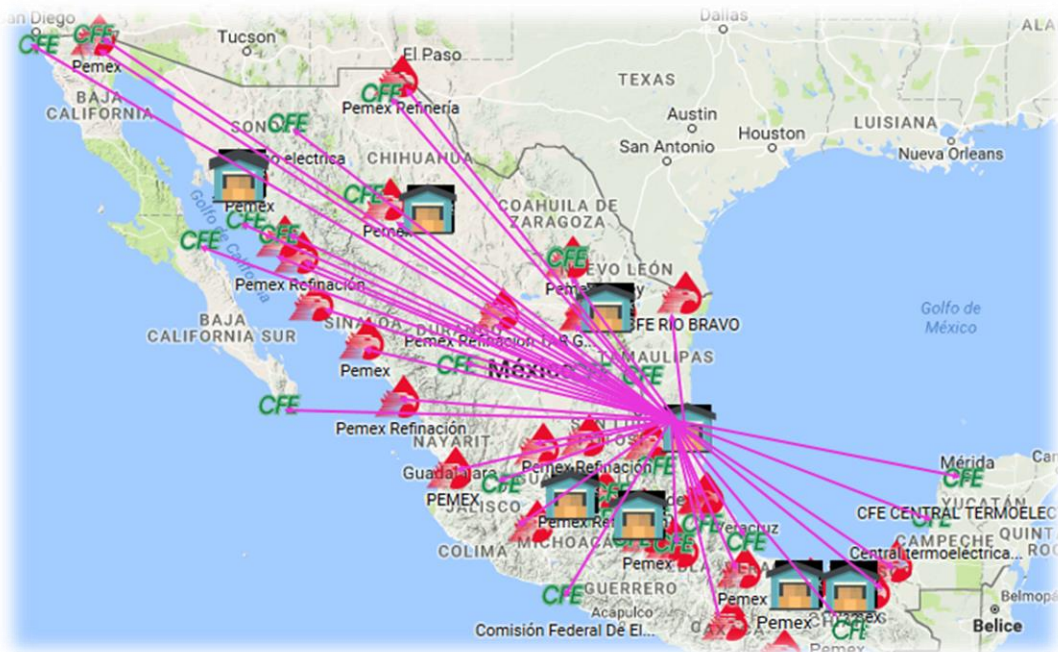
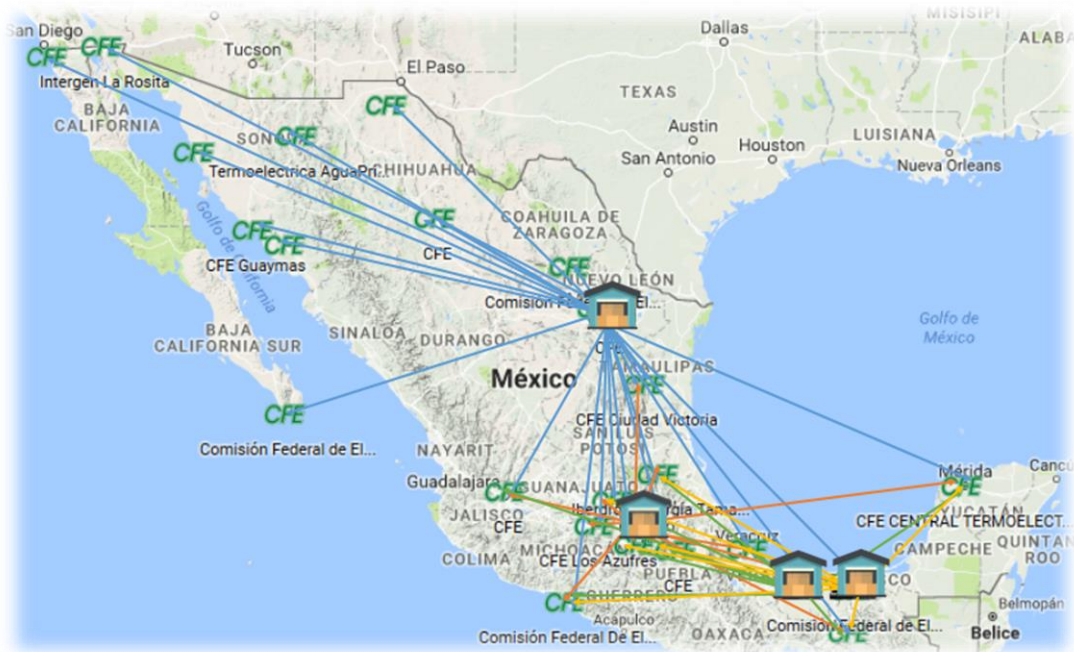


Figura 37. Rutas distribución almacén de Madero

Para poder tener una vista general, en la Figura 38 se muestra el tráfico propuesto entre CFE y almacenes seleccionados.



**Figura 38.** Tráfico entre almacenes propuestos y clientes actuales

### 5.1.2 Resumen de distribución de cargas

Dependiendo de la capacidad de cada uno de los almacenes y la demanda de los clientes, en la Tabla 29 se puntualiza cómo se configurarán las capacidades de cada almacén para atender a cada uno de los clientes. El enfoque principal es lograr atender el 100% de la demanda, buscando que los costos de movimientos sean los menores.

Algunos de los clientes son atendidos por más de un almacén, esto quiere decir que dependiendo del servicio y del tamaño de este, atenderá uno u otro almacén. A lo largo del año, por la demanda estimada, más de un almacén podrá atender al mismo cliente.

**Tabla 29.** Distribución de cargas entre almacenes y clientes

Centrales CFE	Almacén				Total cliente
	Monterrey	Tula	Minatitlán	Villahermosa	
Termoeléctrica Rosarito	100%	0%	0%	0%	100%
Inergen la rosita	100%	0%	0%	0%	100%
CFE Guaymas	100%	0%	0%	0%	100%
Termoeléctrica Agua Prieta	100%	0%	0%	0%	100%
Puerto Libertad	100%	0%	0%	0%	100%
CFE Samalayuca	100%	0%	0%	0%	100%
CFE Guadalupe Victoria	100%	0%	0%	0%	100%
CFE Monclova	100%	0%	0%	0%	100%
CFE Altamira	100%	0%	0%	0%	100%
Iberdrola Tamazunchale	90%	10%	0%	0%	100%
CFE Ciudad Victoria	52%	48%	0%	0%	100%
CFE Los Azufres	49%	42%	9%	0%	100%
CFE Plutarco Elías	36%	30%	34%	0%	100%
CFE San Lorenzo Potencia	26%	22%	27%	26%	100%
CFE Los humeros	27%	25%	23%	24%	100%
CFE Francisco Pérez Ríos	31%	24%	22%	23%	100%
CFE El Sauz	27%	24%	24%	24%	100%
CFE Laguna Verde	35%	21%	23%	21%	100%
CFE CCC 2 Bocas	34%	24%	21%	22%	100%
Braskem IDESA	33%	24%	21%	22%	100%
CFE Tuxtla Gutiérrez	24%	24%	30%	22%	100%
CFE Mérida II	25%	14%	37%	25%	100%
CFE C.T. Lerma	27%	23%	26%	24%	100%
<b>Capacidad requerida</b>	2,457,947	970,538	1,023,874	809,540	5,261,900
<b>Capacidad almacén</b>	2,746,388	1,213,689	1,024,945	1,012,825	5,997,847
<b>Capacidad extra</b>	288,441	243,151	1,071	203,285	735,948

Considerando esta distribución, se analiza en la Tabla 30, los cambios y ahorros con esta implementación.

**Tabla 30.** Costos totales de operación por almacén

Costos totales operación almacenes						Ahorro mensual
Almacén	Monterrey	Tula	Minatitlán	Villahermosa	Total	
Renta almacén	\$ 20,000	\$ 40,000	\$ 18,000	\$ 15,000	\$ 93,000	
Administrador	\$ 16,216	\$ 14,183	\$ 13,114	-	\$ 43,513	
Almacenista	\$ 13,291	\$ 17,186	\$ 14,747	\$ 12,490	\$ 57,713	
Gastos fijos	\$ 1,500	\$ 2,000	\$ 1,600	\$ 1,000	\$ 6,100	
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 51,007</b>	<b>\$ 73,368</b>	<b>\$ 47,461</b>	<b>\$ 28,490</b>	<b>\$ 200,326</b>	<b>\$ 109,345</b>

Con respecto a la configuración original se están ahorrando \$109,345 de manera mensual, y \$1,312,140 de manera anual, debido a la distinta gestión de almacenes.

Tula, por su ubicación, puede apoyar a cualquiera del resto de los almacenes. Al concentrarse ahí la mayoría de los recursos y equipos, el *stock* se reducirá notablemente y disminuirá el inventario obsoleto, pues habrá mayor control de lo que se tiene,

empezando por una mejor organización física del lugar. Otra acción necesaria e igualmente útil fue la actualización del ERP, en este caso SAP, en el que toda la información de materiales y cantidades de los mismos se actualizó para que tanto en sitio como en corporativo se tuviera la conciencia de los materiales con los que se cuenta, y que por el tiempo se han vuelto de baja rotación, pero que se pueden usar sustituyendo los que actualmente se compran.

Tras el análisis detallado de los materiales que se encuentran en almacén, se decidió clasificar y separar los que conforman el inventario obsoleto y tomar una decisión para procesarlos y evitar que sigan formado parte del *stock*.

### 5.1.3 *Inventario obsoleto México*

Como se ha venido señalando, gran parte del inventario de México es obsoleto, materiales que han estado en el sistema por más de 4 años y que hoy en día no funcionan, pero contribuyen a los números y reducen el espacio de almacenes.

Se analizó el inventario, se revisó si alguna de las divisiones podría llegar a ocupar alguno de los materiales y finalmente se concluyó, que lo mejor era deshacerse de él, aunque no se pudiera, con esto, recuperar el valor original del producto.

En la primera etapa de limpieza de inventario se separaron más de 200 tipos distintos de materiales que representan \$ 2,285,024.

En la Tabla 31 se describe el tipo de producto que se consideró como obsoleto y el precio al que se compró, que es con el que se evalúa en el *stock*.

Desgraciadamente, no se encontró un cliente que le encontrara valor a estos productos tan especializados y se tomó la decisión de venderlos por kilogramo; la recuperación fue de \$ 71,124.94, no se compara con el valor inicial, sin embargo, nos ofrece ahorros, como:

- Liberación de espacio en el almacén de Tula
- Mayor orden y mejor detección de materiales (ahorro de tiempo)

En la Tabla 32 se muestran las categorías en las que se dividió el inventario de acuerdo a los materiales que lo distinguen en mayor cantidad y el precio dado por kilogramo de cada uno de ellos. El monto total señalado fue el que se obtuvo por su venta.

**Tabla 31.** Costos parte inventario obsoleto

Artículo	Descripción	Cantidad	Precio base MXN	Total MXN
8A0800	BULK SYSTEM ADVANCED	1	\$ 390,462.60	\$ 390,462.60
8W-0400	Lubrication Work Center	1	\$ 286,237.73	\$ 286,237.73
ES6-5H-220V-N	Compresor de aire A.P.E.	1	\$ 102,645.93	\$ 102,645.93
890150	BULK STORAGE CABINET	1	\$ 89,270.73	\$ 89,270.73
ECB-DC-25-40-A4	ESTACION DE BOMBEO ELECTRICA	1	\$ 60,032.74	\$ 60,032.74
LR-HTCO	ISOPUR FLUID PURIFICATION SYSTEM	1	\$ 51,048.25	\$ 51,048.25
SEN-CTQ-MGA-MB1	SENSOR DE NIVEL CONTINUO MTS	1	\$ 50,027.29	\$ 50,027.29
894500	55 GALLON DRUM WORK STATION	1	\$ 36,852.38	\$ 36,852.38
FG-K16088-KW	DIGI INDUSTRIAL OIL TEST KIT	1	\$ 35,455.90	\$ 35,455.90
ECB-10-10-A4	ESTACION CENTRAL DE BOMBEO	1	\$ 31,257.86	\$ 31,257.86
CTQ-E594	ANALIZADOR DE CALIDAD DE DIESEL	1	\$ 21,223.96	\$ 21,223.96
EJB-121206	CAJA A.P. EXPLOSION S/PLACA	1	\$ 19,253.05	\$ 19,253.05
250032-541-N	RADIADOR 7.5 & 10 HP	1	\$ 18,586.06	\$ 18,586.06
IVTSUB2	PHANTOM, IVT AUTO-BULK FILL	1	\$ 18,377.37	\$ 18,377.37
:	:	:	:	:
77500356	THERMOSTAT	1	\$ 5,914.04	\$ 5,914.04
REAI-SC-6-3	REDUCCION EXCENTRICA 6" X 3"	1	\$ 5,586.00	\$ 5,586.00
IMI-254	IONIZADOR PARA AGUA DE 1"	2	\$ 5,424.00	\$ 10,848.00
77500986	THERMOSWITCH (ADJUSTABLE)	3	\$ 5,391.72	\$ 16,175.16
<b>Total</b>		<b>3411</b>	<b>\$ 1,528,879.00</b>	<b>\$2,285,024.91</b>

**Tabla 32.** Monto *stock* por tipo de componente

Tipo	Kg	PU	Total
Inoxidable	2918	\$ 12.50	\$36,475.00
Aluminio	235	\$ 18.10	\$ 4,253.50
Bronce	9	\$ 44.82	\$ 403.38
Cable forrado	294	\$ 24.14	\$ 7,097.16
Acero variado	3149	\$ 3.90	\$12,281.10
Acero varios calibres	3791	\$ 2.80	\$10,614.80
<b>Total</b>			<b>\$71,124.94</b>

Continuando con el análisis de inventarios, se analizan los niveles ideales de *stock* de cada una de las partidas que en el análisis ABC se obtuvieron como las principales.

### 5.1.7 Inventario de seguridad línea de servicios

Para lograr un nivel óptimo de *stock* de seguridad en la línea TC se probaron varios métodos de pronósticos y analizando el historial de compras del año 2015 se concluyó que el método a utilizar sería el método de alisamiento exponencial con tendencia (Holt). Se eligió este método porque la demanda de estos productos presentó tendencia, pero no estacionalidad y se le quiso dar más enfoque en los últimos periodos de demanda. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 33.

A continuación, se detalla el método utilizado para pronosticar la demanda.

#### **Alisamiento Exponencial con Tendencia (Holt)**

$$F_{t+i} = L_t + iT_t \quad (28)$$

$$L_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (29)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (30)$$

$$F_{t+i} = L_t + iT_t \quad (31)$$

*donde:*

$$L_t = b$$

$$L_t = \text{nivel}$$

$$b = \text{intersección estimado de la demanda en el periodo } t = 0$$

$$T_i = m$$

$$T_i = \text{tendencia}$$

$$m = \text{pendiente tasa de cambio en la demanda por periodo}$$

$$T = \text{número de periodos}$$

$$\beta = \text{constante de alisamiento de la tendencia}$$

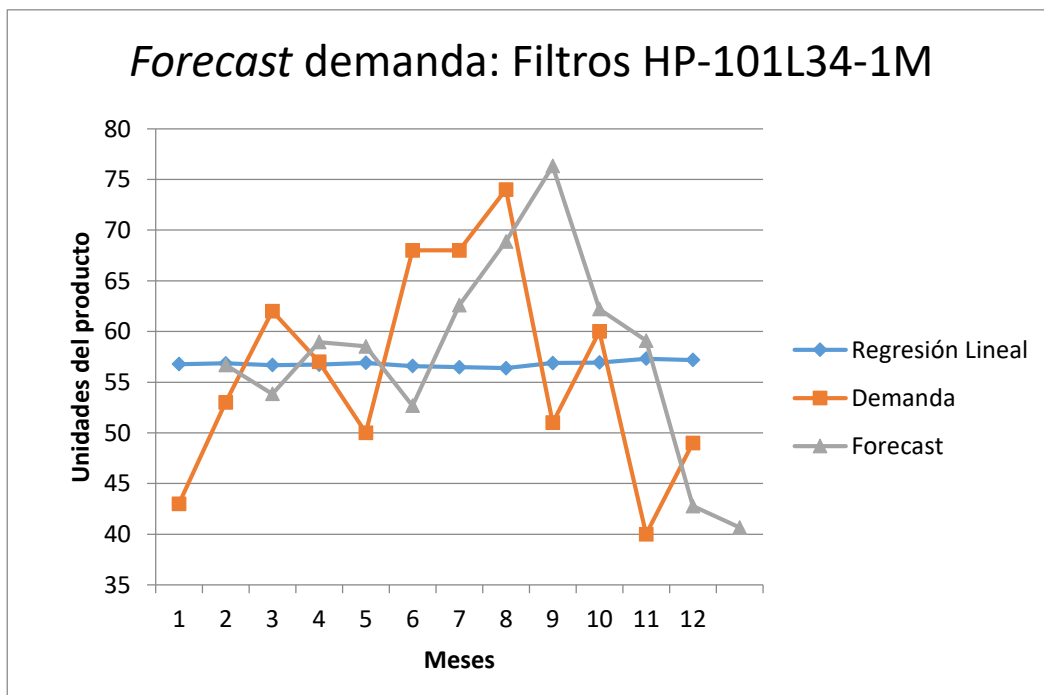
$$\alpha = \text{constante de suavizamiento para el nivel}$$

$$0 < \alpha < 1 \quad 0 < \beta < 1 \quad \beta < \alpha$$

Para el *stock* TC se considerará tener para el primer mes 41 unidades de filtros de 1 micra, HP-101I34-1M, Tabla 33. En la Figura 39 se grafica la demanda, la regresión lineal y finalmente el *forecast* de los filtros HP-101I34-1M.

**Tabla 33.** Forecast inventarios de seguridad para línea TC Filtros Hp-101I34-1

Periodo	Mes	Demanda	Level Lt	Tendencia	Forecast	Reg. Lineal
	A	0.5	pendiente	-0.08042		
	B	0.4	intersección	56.77273		
1	Enero	43	57	-0.080		57
2	Febrero	53	55	-0.745	57	57
3	Marzo	62	58	0.644	54	57
4	Abril	57	58	0.391	58	56
5	Mayo	50	54	-1.078	58	56
6	Junio	68	60	1.548	53	56
7	Julio	68	64	2.714	62	56
8	Agosto	74	70	3.946	67	56
9	Septiembre	51	64	-0.226	74	56
10	Octubre	60	62	-0.860	64	56
11	Noviembre	40	52	-4.654	61	56
12	Diciembre	49	48	-4.283	47	56
					<b>44</b>	



**Figura 39.** Gráfica *Forecast* filtros Hp-101I34-1M, 2016

Para poder comprobar la validez de este modelo y cuantificar la diferencia que podría existir del *forecast* con la demanda real se obtuvieron los errores del modelo.

$$E_t = \text{error del pronóstico} \quad (32)$$

$$E_t = F_t - D_t$$

$MSE = \text{Error cuadrático medio}$

$$MSE_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E_t^2 \quad (33)$$

$A_i = \text{valor absoluto del error}$

$$A_i = |E_t| \quad (34)$$

$MAD = \text{desviación absoluta media}$

$$MAD_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (35)$$

$\sigma = \text{desviación estándar}$

$$\sigma = 1.25 MAD \quad (36)$$

$MAPE_n = \text{Error absoluto promedio, \% de la demanda}$

$$MAPE_n = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{E_t}{D_t} \right| 100}{n} \quad (37)$$

Los resultados de los cálculos realizados se expresan en la Tabla 34. El error de sesgo es bajo, se sobre-estimó la demanda por dos unidades, si comparamos este dato con la demanda promedio, contar con dos unidades más no representa gran problema. El error de dispersión es de casi 9 unidades, lo que representa 17% de error.

Se calculó el pronóstico para cada uno de los productos de la familia A, ajustando para cada uno las variables  $\alpha$ ,  $\beta$ , buscando obtener un valor de error aceptable.

**Tabla 34. Errores pronósticos**

Errores de pronóstico									
Errores de sesgo			Errores de dispersión						
Et	CFE	E Promt	Et2	MSEt	ESV_s	Abs	MADt	Et/Dt	MAPEt
-4			14			3.69231		0.06966618	
8	4		60	37	8.06566542	7.71427	5.70329	0.12442364	10
-1	3		2	25	6.03384623	1.40069	4.26908671	0.02457345	7
-8	-6		67	35	6.68444446	8.16179	5.24226177	0.16323574	10
15	9		213	71	9.19479087	14.58873	7.11155533	0.21454014	12
6	16		42	66	8.44178771	6.47554	7.00555317	0.09522856	12
7	22		47	63	7.87270494	6.84769	6.98300153	0.09253637	11
-23	-1		537	123	11.8358697	23.18021	9.00765267	0.45451393	15
-4	-4		12	110	11.1300482	3.52312	8.39826004	0.05871865	14
-21	-25		444	144	12.3504758	21.07756	9.66618975	0.52693893	18
2	-23	-2.12254333	4	131	11.7985794	2.06146	8.97485	0.04207066	17

El cálculo del error más significativo para conocer si el pronóstico es adecuado es el MAPEt, mismo que tiene que ser menor a 20. El error Porcentual Absoluto Medio es un indicador de desempeño del pronóstico que mide el tamaño del error absoluto en términos porcentuales y siendo así es más fácil su interpretación.

El resultado de los pronósticos de cada uno de los productos que conforman el grupo A, se describe en la Tabla 35.

**Tabla 35. Comparativa Pronóstico, Stock y consumo real**

Tipo	Pronóstico	Stock	Consumo Real
Fecha	ene-17	ene-15	ene-15
HP-101L34-1MB	44	50	43
HP-101L34-3MB	36	50	18
HP-101L34-6MB	8	50	37
Geomembrana	6	10	2
Desengrasante	687	2000	1395
943203Q	11	30	30
933736Q	9	30	28

El monto, en pesos del *stock* que mantienen la línea TC, se redujo notablemente, a pesar de que en 2015 los precios de los materiales eran menores a los de hoy en día, el ahorro, solo considerando los productos de la familia A es \$ 60,274.60 pesos mensuales.

En la Tabla 36 se muestran las cantidades de producto con las que se contaban en el *stock* en enero del 2015, mientras que en la Tabla 37 se muestran las cantidades y montos de enero del 2017. Se observa un gran ahorro gracias a las modificaciones propuestas del *stock*.

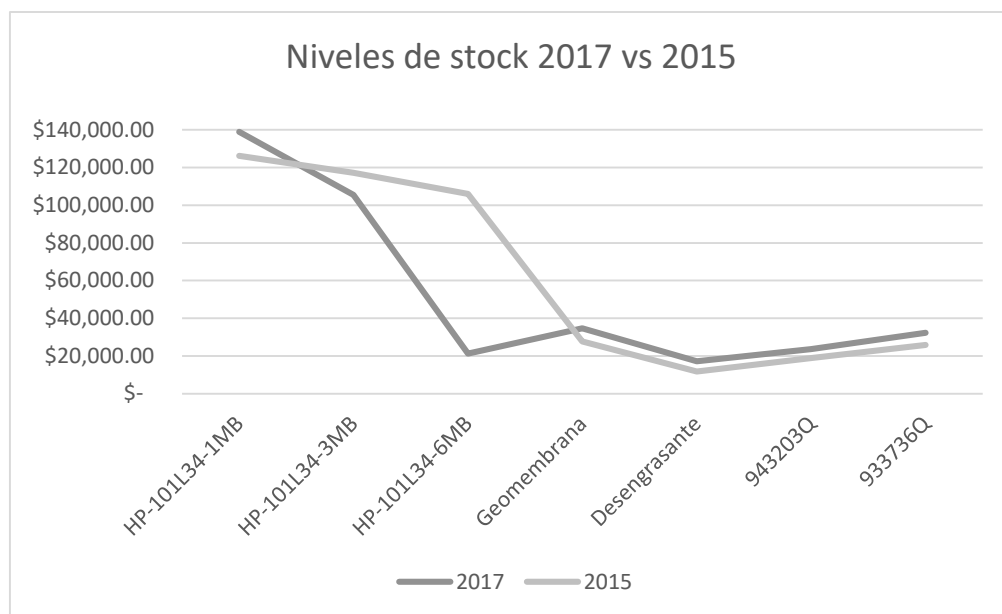
**Tabla 36.** Montos *stock* enero 2015

	Pronóstico	Precio unitario	Total
HP-101L34-1MB	50	\$ 2,525.60	\$ 126,280.00
HP-101L34-3MB	50	\$ 2,344.00	\$ 117,200.00
HP-101L34-6MB	50	\$ 2,120.00	\$ 106,000.00
Geomembrana	6	\$ 4,613.60	\$ 27,681.60
Desengrasante	687	\$ 17.00	\$ 11,679.00
943203Q	11	\$ 1,720.00	\$ 18,920.00
933736Q	9	\$ 2,876.00	\$ 25,884.00
			<b>\$ 433,644.60</b>

**Tabla 37.** Montos *stock* enero 2017

	Pronóstico	Precio unitario	Total
HP-101L34-1MB	44	\$ 3,157.00	\$ 138,908.00
HP-101L34-3MB	36	\$ 2,930.00	\$ 105,480.00
HP-101L34-6MB	8	\$ 2,650.00	\$ 21,200.00
Geomembrana	6	\$ 5,767.00	\$ 34,602.00
Desengrasante	687	\$ 25.00	\$ 17,175.00
943203Q	11	\$ 2,150.00	\$ 23,650.00
933736Q	9	\$ 3,595.00	\$ 32,355.00
			<b>\$ 373,370.00</b>

Por la rotación y tiempos de entrega solo se considera tener *stock* de seguridad de los productos de la familia A. Estos productos son de importación, por lo que su tiempo de entrega es de tres semanas. En la Figura 40 se observa la gran diferencia de montos en MXN gracias a los nuevos niveles de *stock* propuestos.



**Figura 40.** Niveles de stock 2017 contra 2015 en MXN

Con los cambios propuestos los niveles de *stock* se han modificado y bajado notablemente

#### 5.1.4 Tendencia de inventarios filiales

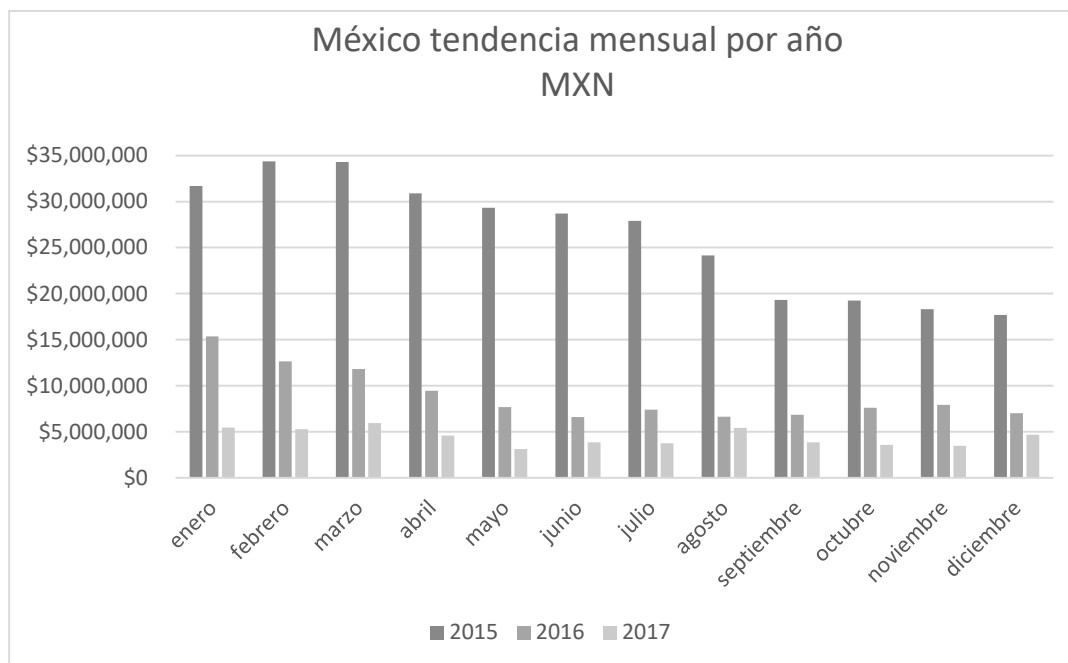
En la Tabla 38 se muestra el segundo semestre del 2017 de inventarios en México y en las distintas filiales.

**Tabla 38.** Inventarios Filiales

Tendencia Inventario mensual Filiales 2017 MXN							
MES	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	octubre	noviembre	Diciembre
México	\$3,871,980	\$3,737,678	\$5,409,451	\$3,856,995	\$3,570,403	\$3,485,965	\$4,691,728
Argentina	\$576,712	\$530,822	\$695,656	\$513,256	\$510,416	\$514,093	\$487,222
Venezuela	\$403,557	\$403,557	\$401,262	\$401,262	\$399,779	\$403,000	\$398,112
Brasil	\$248,069	\$252,845	\$249,751	\$248,057	\$247,998	\$245,439	\$230,431
Colombia	\$267,397	\$180,501	\$207,655	\$180,501	\$305,259	\$250,423	\$20,032
Perú	\$73,792	\$76,084	\$63,828	\$74,288	\$87,796	\$90,342	\$71,321
España	\$37,788	\$49,452	\$48,678	\$49,042	\$48,671	\$50,342	\$37,321
<b>Total general</b>	<b>\$5,479,296</b>	<b>\$5,230,940</b>	<b>\$7,076,281</b>	<b>\$5,323,400</b>	<b>\$5,170,321</b>	<b>\$5,039,604</b>	<b>\$5,936,167</b>

### 5.1.5 Tendencia de inventarios México

Después de casi un año de empezar con la implementación de acciones para la reducción de inventarios, los resultados han sido sorprendentes. En la Figura 41 se muestra la tendencia mensual de los últimos tres años de inventarios a nivel México.



**Figura 41.** Niveles de inventario México 2015-2017

### 5.1.6 Inventarios por almacén

Gracias a la modificación de almacenes, sus capacidades y la evaluación de la necesidad de contar o no con almacenes a lo largo de la República Mexicana, los inventarios se fueron modificando hasta contar con el inventario necesario en cada uno de los tres almacenes que se decidieron dejar.

**TABLA 39.** Monto inventarios por almacén

Almacén	Inventario MXN
Tula	\$4,513,286
Monterrey	\$115,016
Minatitlán	\$63,426
<b>Total general</b>	<b>\$ 4,691,728</b>

La Tabla 39 representa, en pesos, el *stock* de seguridad que se mantiene en cada almacén para poder hacer frente a los servicios TC y distintas refacciones para la reparación de equipos (diciembre 2016).

Para conocer la composición del inventario se detallan, en la Tabla 40, las categorías de materiales con las que está formado el *stock* y los montos de cada uno.

**Tabla 40.** Monto *stock* por tipo de componente, 2016

<b>Producto</b>	<b>Costo</b>
Válvulas	\$1,705,690
Filtros	\$1,226,374
Conexiones	\$375,767
Bridas	\$273,175
Cables	\$270,783
Tornillería	\$240,307
Químicos/Desengrasantes	\$220,981
Manómetro/Termómetro	\$108,568
Empaques	\$104,862
Mangueras	\$73,751
Motores	\$47,748
Rodamiento/Sellos	\$27,357
Laboratorio	\$26,060
Rodajas	\$15,575
Consumibles	\$4,732
<b>Total general</b>	<b>\$4,691,728</b>

Tula tiene más inventario que los almacenes de Monterrey y Minatitlán, esto se debe a que, en Tula, tras la nueva implementación, se cuenta con el *stock* de refacciones para la reparación de equipos y posee el *stock* general de la empresa. Los otros dos almacenes solo cuentan con el *stock* necesario para responder ante cualquier emergencia de servicio TC.

## 5.2 Equipos

### 5.2.1 Plan de mantenimiento preventivo

Para el desarrollo del plan de mantenimiento es necesario tener el control de los equipos, contar con la información precisa de la cantidad, tipo de equipo, las características y el estado de cada uno de ellos.

La información que se requiere de cada uno de los equipos es:

#### 1. Listado de equipos:

Se enumeran los equipos existentes de cada tipo y su estado. Especificando las horas de mantenimiento que cada uno necesita. El resumen (Tabla 41) sirve para conocer las condiciones generales de los equipos y las necesidades principales de mantenimiento.

**Tabla 41.** Resumen estatus de equipos

Resumen estatus equipos				
Equipos	Cantidad	# listos	# mtto	Horas mtto
HiFi	87	67	20	12
80	13	13	0	12
300	6	6	0	15
500	5	3	2	15
600	3	2	1	10
1200	1	0	1	20
Cal	6	6	2	25
TJ	8	6	2	16
BQ	22	12	10	17

## 2. Ficha Técnica del Equipo:

Documento en el que se describen las principales características de cada uno de los equipos. Los datos más importantes son: el año de fabricación, la capacidad, presión, flujo y la marca de los principales componentes, así como una foto general del equipo. El formato se muestra en la Figura 42.

### FICHA TÉCNICA

<b>MODELO:</b>	<b>MOTOR:</b>
<b>POTENCIA HP:</b>	<b>RPM:</b>
<b>BOMBA:</b>	<b>GPM:</b>
<b>VISCOSIDAD DE TRABAJO:</b>	

### DESCRIPCION DEL EQUIPO

<b>Equipo:</b>	
<b>Modelo:</b>	<b>N° Serie:</b>
<b>Requerimientos de instalación:</b>	
<b>Voltaje de entrada</b>	
<b>Puerto de entrada</b>	
<b>Puerto de salida</b>	
<b>Especificaciones de operación mecánica</b>	
<b>Flujo nominal</b>	
<b>Máxima presión de trabajo</b>	
<b>Máxima viscosidad de trabajo</b>	
<b>Material de los sellos</b>	
<b>Marca</b>	
<b>Año de Fabricación</b>	
<b>Grado de Conservación:</b>	
<b>Último mantenimiento</b>	

Foto del equipo

**Figura 42.** Formato ficha técnica

### 3. Historial de revisiones y reparaciones:

Cuando uno de los equipos ingresa al taller se debe registrar en el formato que se muestra en la Figura 43, esto ayuda a tener un control de los equipos ingresados diariamente y el tipo de mantenimiento que se le práctica. Se llena una por semana.

En el registro se indica el tipo de equipo que ingresa al taller, su número de serie, el tipo de mantenimiento que se le realizará (preventivo / correctivo) y la fecha de salida, que muestra que el equipo se encuentra disponible para asignarlo al próximo servicio que lo requiera.

Plan Mantenimiento de equipos					
Fecha:				Consecutivo:	
Encargado:					
Ingreso de equipos a taller					
Tipo equipo	N° Serie	Tag	Mantenimiento	Descripción general	Fecha salida
Encargado mantenimiento:					
Encargado taller:					
Observaciones:					

Figura 43. Formato ingreso de equipos a mantenimiento

#### 4. Formato de revisión para el mantenimiento preventivo

Al ingresar un equipo al taller se deberá buscar conocer las características con las que se recibe, conocer el estado general en el que se encuentra y las principales acciones que se tomarán. Esta información se registra en el formato de la Figura 44. Este formato se divide en tres puntos principales que se deben revisar: sistema eléctrico, hidráulico, y mecánico, especificando la condición en la que se encuentra y si es o no necesario cambiar alguna de las piezas, incluyendo fotos que ilustren la condición del equipo.

Si en campo, al realizar el servicio, se detecta alguna condición que requiera reparar el equipo, se deberá llenar el formato y colocar una etiqueta roja en el equipo, esto indicará que el equipo debe pasar directo al taller antes de cualquier otro servicio.

<b>FORMATO DE REVISIÓN PARA MTTTO PREVENTIVO</b>			
N° de serie		Zona	
Modelo		Sitio	
Flujo			
<b>Eléctrico</b>			
Condición general:		Partes necesarias:	
<b>Hidráulico</b>			
Condición general:		Partes necesarias:	
<b>Mecánico</b>			
Condición general:		Partes necesarias:	
<b>Fotografías</b>			
Responsable que realizó el formato _____			

**Figura 44.** Formato ingreso de equipos a mantenimiento

## 5. Formato de descripción del mantenimiento

Para tener un mayor control del mantenimiento realizado, se implementa el formato de la Figura 45, en el que se deberán registrar y describir cada una de las actividades realizadas en el equipo. Se registra la fecha, tiempo de mantenimiento, pieza reemplazada, limpieza o ajuste realizado. Indicando la hora de inicio y fin de cada actividad.

Historial de revisiones/ reparaciones				
Fecha:		Consecutivo:		
Líder:		Próx. Revisión:		
Mantenimiento por equipo				
Equipo:		N° Serie:		
Descripción mantenimiento realizado:		Tiempo hora/fecha	Códigos material utilizado	
1				
2				
3				
4				
5				
Encargado mantenimiento:				
Encargado taller:				
Observaciones:				

Figura 45. Formato de descripción de actividades realizadas durante mantenimiento

## 6. Plan de mantenimiento preventivo:

Con base en el historial que se realizó durante meses para cada uno de los equipos, se concluye con las principales tareas que cada uno de los equipos requiere y la periodicidad en la que cada una es necesaria Figura 46.

El plan de mantenimiento preventivo es individual para cada uno de los equipos.

<b>Plan Mantenimiento de equipos</b>			
<b>Fecha:</b>		<b>Consecutivo:</b>	
<b>Líder:</b>		<b>Próx. Revisión:</b>	
<b>Mantenimiento preventivo</b>			
<b>Equipo:</b>		<b>N° Serie:</b>	
<b>Puntos a checar por equipo:</b>		<b>Materiales necesarios</b>	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
<b>Encargado mantenimiento:</b>			
<b>Encargado taller:</b>			
<b>Observaciones:</b>			

Figura 46. Formato mantenimiento preventivo

## 7. Diagrama de flujo

Indica el proceso necesario para el mantenimiento de los equipos (Figura 47), inicia con la información, fichas, manuales e historial de reparaciones para poder elaborar un plan de mantenimiento e ir actualizando las bases de datos al ir reparándolos.

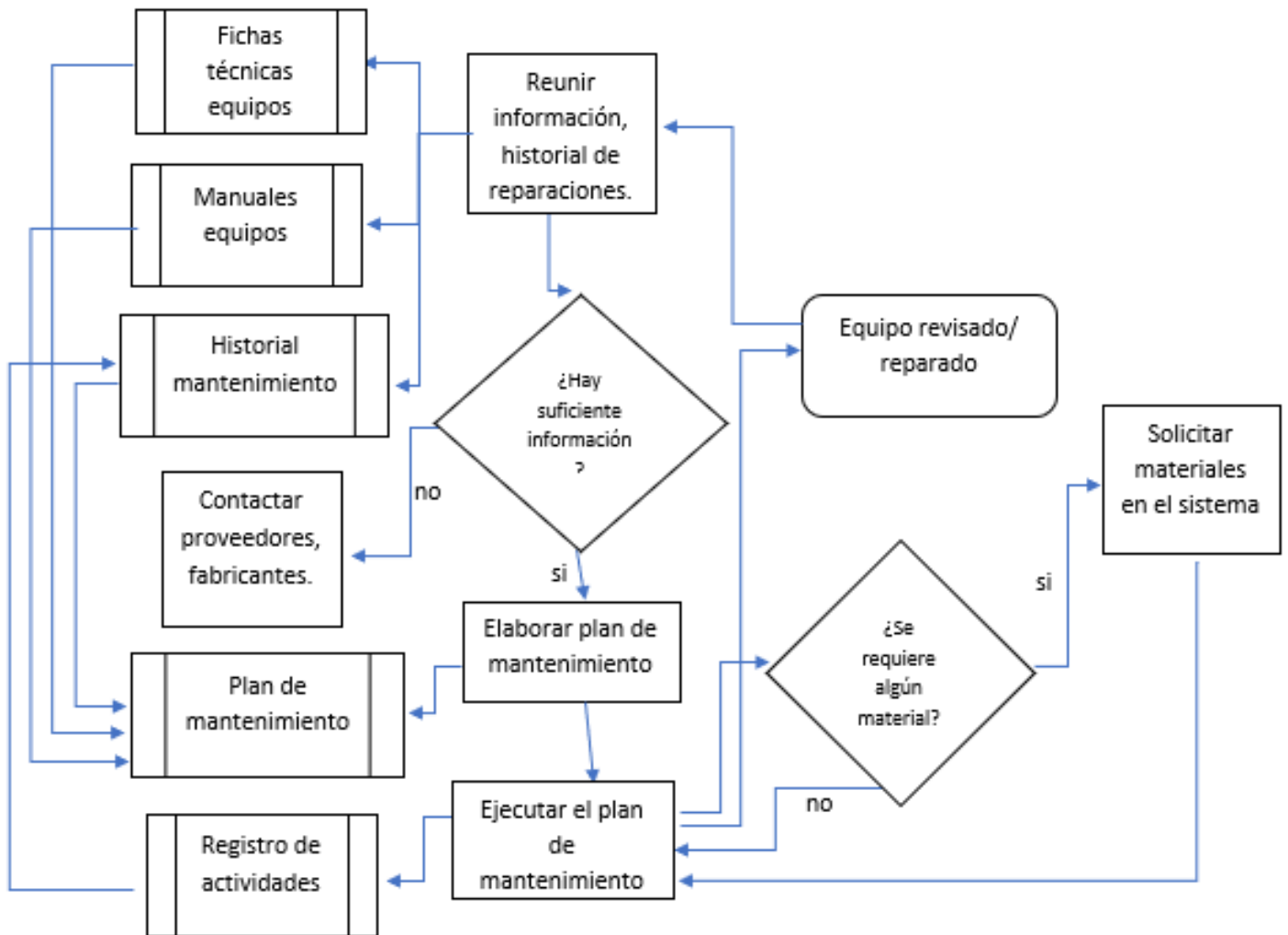


Figura 47. Diagrama de flujo para la ejecución de mantenimiento

Todos los formatos anteriores se implementan en el taller, obteniendo un gran cambio en la organización y priorización del mantenimiento de equipos. El objetivo es la implementación de los mantenimientos preventivos, generar la cultura de ingresar los equipos para revisarlos con periodicidad y poder detectar cualquier anomalía durante las revisiones y no en el servicio, poder detectar a tiempo cuando alguna pieza corra el riesgo de dañarse o dañar todo el equipo por falta de alineación, lubricación o ajuste.

A continuación, se muestra todo el proceso que se generó alrededor de un equipo de 80 que ingresó en el taller. Cada uno de los formatos necesarios para su ingreso, evaluación y mantenimiento se muestran de la Figura 48 a la 52.

## 1. Ficha técnica equipo de 80

### FICHA TÉCNICA

<b>MODELO:</b> DP-80V-2/840X-40-220/440-EX680-600	<b>MOTOR:</b> US
<b>POTENCIA HP:</b> 7.5	<b>RPM:</b> 1750
<b>BOMBA:</b> COMERCIAL SHARING	<b>GPM:</b> 80
<b>VISCOCIDAD DE TRABAJO:</b> 68cSt	

### DESCRIPCION DEL EQUIPO

<b>Equipo:</b> 80	
<b>Modelo:</b> DP-80V-2/840X-40-220/440-EX-680-600	<b>N° Serie:</b> SCL-80-9-440
<b>Requerimientos de instalación:</b>	
<b>Voltaje de entrada</b>	460 V, 3 FASES, 60 HZ
<b>Puerto de entrada</b>	Bridado de 3" 150 PSI
<b>Puerto de salida</b>	Bridado de 2" 150 PSI
<b>Especificaciones de operación mecánica</b>	
<b>Flujo nominal</b>	80 GPM
<b>Máxima presión de trabajo</b>	150 PSI (10.8 Kpa)
<b>Máxima viscosidad de trabajo</b>	1500 SSU (323 cSt)
<b>Material de los sellos</b>	Buna
<b>Marca</b>	Viking
<b>Año de Fabricación</b>	2012
<b>Grado de Conservación:</b>	100%
<b>Último mantenimiento</b>	Noviembre 2017




Figura 48. Ficha técnica equipo de 80

## 2. Historial de revisiones y reparaciones:

Plan Mantenimiento de equipos					
<b>Fecha:</b>	Semana 3/ 2018			<b>Consecutivo:</b>	IE-003-18
<b>Encargado:</b>	Daniel Jaime Posseta				
Ingreso de equipos a taller					
Tipo equipo	N° Serie	Tag	Mantenimiento	Descripción general	Fecha salida
80	SCL-TC-80-9-440	Rojo	Correctivo	Fuga en el cople del motor	30/01/2018
300	SCL-TC-400-1-440	Rojo	Correctivo	Bomba sin eficiencia	13/02/2018
TJ	SCL-TJ-01-440	Verde	Preventivo	Revisar pintura externa	17/01/2018
80	SCL-TC-80-7-440	Verde	Preventivo	Limpieza general	19/01/2018
BQ	SCL-BQ5-7-440	No tiene	Correctivo	Bomba dañadas por el químico	02/02/2018
BQ	SCL-BQ5-8-440	No tiene	Correctivo	Bomba dañadas por el químico	02/02/2018
<b>Encargado mantenimiento:</b>		Daniel Jaime			
<b>Encargado taller:</b>		Martín Medina			
<b>Observaciones:</b> Los equipos estan ingresando a taller sin el drenado previo en los servicios.					

Figura 49. Listado de ingresos equipos semana 3/2018

### 3. Formato de revisión para el mantenimiento preventivo

<b>FORMATO DE REVISIÓN PARA MTTO PREVENTIVO</b>			
N° de serie	SCL-80-9-440	Zona	Noreste
Modelo	DP-80V-2/840X-40-220/440-EX680-600	Sitio	Delicias
Flujo	80 GPM		
<b>Eléctrico</b>			
Condición general:		Partes necesarias:	
Revisión general, revisión, cambio de fusibles.		Fusibles	
<b>Hidráulico</b>			
Condición general:		Partes necesarias:	
Revisión de válvula principal		Válvulas de 2", 1/2"	
<b>Mecánico</b>			
Condición general:		Partes necesarias:	
Revisión general, revisión aislamiento del motor.		A revisar	
<b>Fotografías</b>			
			
Responsable que realizó el formato		<u>David Reyes</u>	

**Figura 50.** Formato de ingreso equipo 80 a mantenimiento

#### 4. Formato de descripción del mantenimiento

Historial de revisiones/ reparaciones			
<b>Fecha:</b>	23/10/2017	<b>Consecutivo:</b>	ME-010-18
<b>Líder:</b>	Martín Medina	<b>Próx. Revisión:</b>	23/11/2017
Mantenimiento por equipo			
<b>Equipo:</b>	80	<b>N° Serie:</b>	SCL-TC-80-9-440
Descripción mantenimiento realizado:		Tiempo hora/fecha	Material utilizado
1. Drenado y limpieza general, se encontró completamente lleno de aceite.		1:20 hrs	Felpa, trapo, desengrasante
2. Se realizar la revisión eléctrica y del aislamiento del motor.		1:15 hrs	Cable, fusibles
3. Se observó que el cople se encontraba desgastada y se reemplazó para evitar una falla en la bomba.		2 hrs	Cople
4. Se ajusta el cople y se prueba con aceite por 2 horas.		2:20 hrs	
5			
<b>Encargado mantenimiento:</b>		Gilberto Reyes	
<b>Encargado taller:</b>		Martin Medina	
<b>Observaciones:</b> El equipo no se drenó al finalizar el servicio.			

**Figura 51.** Formato de descripción de actividades realizadas durante mantenimiento

## 5. Plan de mantenimiento preventivo

Plan Mantenimiento de equipos			
<b>Fecha:</b>	09/10/2017	<b>Consecutivo:</b>	PM-005-18
<b>Líder:</b>	Martin Medina	<b>Próx. Revisión:</b>	30/10/2017
Mantenimiento preventivo			
<b>Equipo:</b>	80	<b>N° Serie:</b>	SCL-TC-80-9-440
Puntos a checar por equipo:		Materiales necesarios	
1. Drenado de equipo		Cubetas	
2. Limpieza general		Felpa, trapo, desengrasante	
3. Revisión eléctrica del equipo			
4. Cambio de fusibles		Fusibles	
5. Revisión hidráulica			
6. Revisión de válvulas		Válvulas 1", 1/2" 2"	
7. Revisión de presión y flujo			
8. Revisión de conexiones hidráulicas			
9. Revisión mecánica			
10. Revisión del aislamiento del motor			
11. Revisar pintura exterior		Pintura azul	
<b>Encargado mantenimiento:</b>		Rafael Alpízar	
<b>Encargado taller:</b>		Martín Medina	
<b>Observaciones:</b>			

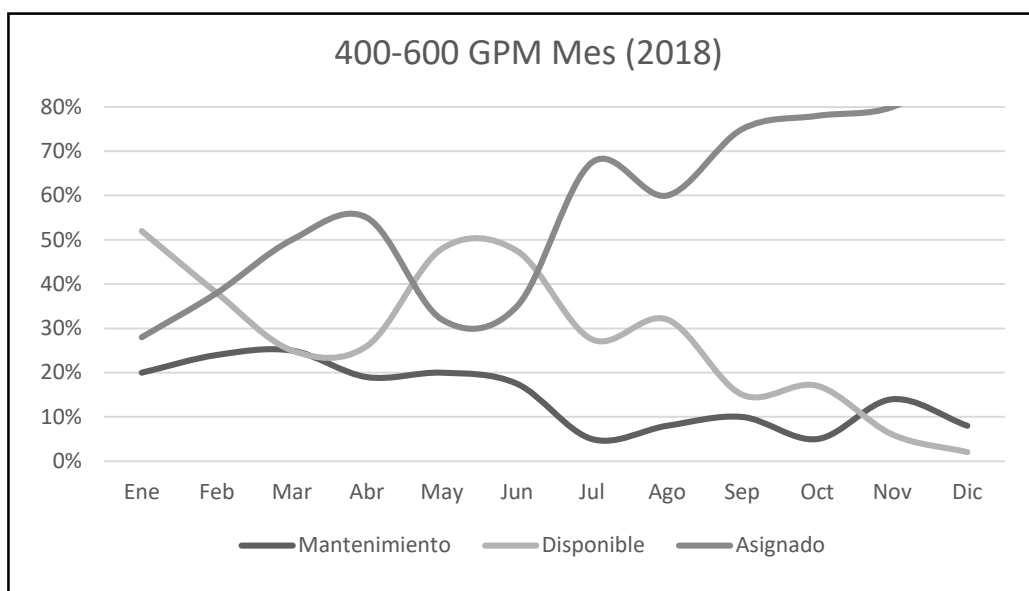
**Figura 52.** Formato mantenimiento preventivo equipo 80

Tras la implementación de los distintos formatos para el chequeo de los equipos y la ejecución de los mantenimientos preventivos, contando con el *stock* planteado, se redujo notablemente los tiempos de espera para la reparación de los equipos. Esto se ve reflejado

en los porcentajes de disponibilidad y mantenimiento de los equipos. Tomando en cuenta el caso expuesto al principio, el estado de los equipos de 400-600 GPM. A continuación, se muestran, en la Tabla 42, los porcentajes de asignación, mantenimiento y disponibilidad de estos equipos y la diferencia con el 2016, Figura 53, cuando no se contaba con estos controles.

**Tabla 42.** Porcentajes mensuales de estado de los equipos de 400-600 GPM

400-600	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Mantenimiento	20%	24%	25%	19%	20%	18%	5%	8%	10%	5%	14%	8%	15%
Disponible	52%	38%	25%	26%	48%	48%	28%	32%	15%	17%	6%	2%	28%
Asignado	28%	38%	50%	55%	32%	35%	68%	60%	75%	78%	80%	90%	57%



**Figura 53.** Estado equipos 400-600 Galones por minuto, en %

**Tabla 43.** Diferencia de estado de equipos con plan de mantenimiento y sin plan

Diferencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Mantenimiento	-20%	-16%	-15%	-11%	0%	0%	-5%	-2%	0%	-5%	-9%	-2%	-7%
Disponible	20%	13%	13%	4%	-6%	-10%	5%	-14%	-40%	-33%	-9%	-53%	-9%
Asignado	0%	3%	3%	8%	6%	10%	0%	16%	40%	38%	18%	55%	16%

En la Tabla 43 se observa el enorme cambio que produjo el contar con: un plan estructurado de ingreso de equipos al taller, mantenimientos preventivos y las piezas básicas para el mantenimiento de los equipos. Haciendo la diferencia del porcentaje de

equipos en mantenimiento en 2016 menos el porcentaje de los registrados en el 2017 se encontró que hay 7 % menos, en promedio, de equipos en mantenimiento, la disponibilidad de los equipos se redujo, lo que significa que la asignación de los equipos aumentó un 16%.

### 5.2.2 Índices de disponibilidad de equipos

La mejor manera para poder evaluar los cambios obtenidos gracias a la implementación tanto del mantenimiento preventivo, su seguimiento y reporte, así como de la disponibilidad de refacciones a través del *stock* básico se ve reflejada en los índices de disponibilidad de los equipos. Las fórmulas utilizadas para poder obtener estos resultados se resumen en la Tabla 44, comentadas anteriormente en el marco teórico.

**Tabla 44.** Índices de disponibilidad de equipos

Indicador	Fórmula
Disponibilidad total	$\frac{\text{Horas totales} - \text{Horas mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$
Disponibilidad por falla	$\frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de paro por avería}}{\text{Horas totales}}$
Tiempo medio entre fallos	$\frac{\text{Número total de horas}}{\text{Número de averías}}$
Tiempo medio de reparación	$\frac{\text{Número de horas de paro por falla}}{\text{Número de fallos}}$

**Tabla 45.** Índice de disponibilidad de equipos con el proceso original

	Proceso anterior					
	HiFi	TJ	80	100-300	400-600	BQ
Disponibilidad total	90%	83%	75%	81%	78%	68%
Disponibilidad por averías	-219%	-620%	-250%	-123%	40%	-350%
Tiempo medio entre fallos	24	30	80	121	120	34
Tiempo medio de reparación	77	216	280	268	72	154
Núm. de fallos	10	8	3	2	2	7

**Tabla 46.** Índice de disponibilidad con el proceso implementado

	Proceso actual					
	<i>HiFi</i>	<i>TJ</i>	<i>80</i>	<i>100-300</i>	<i>400-600</i>	<i>BQ</i>
<b>Disponibilidad total</b>	94%	83%	75%	100%	78%	68%
<b>Disponibilidad por averías</b>	73%	73%	79%	80%	69%	87%
<b>Tiempo medio entre fallos</b>	40	80	120	240	120	48
<b>Tiempo medio de reparación</b>	11	21	26	49	37	6
<b>Núm. de fallos</b>	6	3	2	1	2	5

El número de fallos ha reducido notablemente debido a la programación de mantenimiento preventivo logrado a lo largo del 2017. Este programa permite que ningún equipo salga de Tula (el almacén dedicado al mantenimiento de equipos) a atender algún servicio, sin antes haber sido checado y liberado por este departamento.

Es importante señalar que la cultura y las prácticas en campo han evolucionado rápida y favorablemente. Todos los técnicos han sido capacitados por los expertos en el taller para poder conocer los principios básicos de funcionamiento de los equipos, conocen los fallos principales y la manera adecuada de tratarlos en campo, cada uno de ellos cuenta con los conocimientos y las herramientas básicas para poder solucionar los problemas que requieran de ajustes menores.

Después de cada uno de los servicios, se solicitó que el equipo fuera etiquetado dependiendo su estado; una etiqueta verde, si el equipo está drenado y en buenas condiciones operativas y una etiqueta roja si el equipo necesita alguna revisión, especificando en la etiqueta qué fallas presenta el equipo.

En las etiquetas se plasman los datos básicos del equipo y de su funcionamiento. La etiqueta se encuentra físicamente en el equipo, sin embargo, toda la información del fallo y del equipo se envía electrónicamente para poder nutrir el historial del equipo. Se busca informar al taller los equipos que llegarán y la fecha aproximada de arribo, así como la programación de uso de ese equipo para otro servicio, para que ellos puedan esperar su llegada preparados para atender y darles el mantenimiento requerido. Y que en conjunto con el líder de corporativo se puedan fijar fechas y prioridades de entrega.

Si el equipo llega al taller con comentarios de sus fallas, es más fácil que ingrese a mantenimiento, sin embargo, al ingresar el equipo al taller se le hacen pruebas para descartar daños mayores o fallas no detectadas en campo.

Gracias a las gráficas Weibull se encontró que el tablero eléctrico era el elemento de los equipos más propenso a fallar. El tablero era el elemento más delicado por la forma como se estaba trabajando. Al establecer el chequeo continuo del equipo, las bitácoras y registros de los mantenimientos y el mantenimiento preventivo se logró empezar a detectar anomalías desde que el equipo estaba trabajando en campo y poder llegar a resolverlas a tiempo, evitando así que elementos esenciales como los son los tres analizados (bomba, motor y tablero eléctrico) se vieran afectados en menor medida. Al realizar revisiones en campo se dieron cuenta que acciones sencillas como el cambio de cople y la alineación de este, podía evitar en gran medida que el motor y la bomba se vieran severamente afectados. Si el cople se encuentra torcido, indica que hay desalineación entre la bomba y el motor. El cambiar el cople estrella a tiempo puede proteger tanto la bomba como el motor, por eso uno de los elementos del kit básico de mantenimiento que ahora se encuentra con cada uno de los equipos, son coples, entre otras herramientas y piezas de los equipos.

Este es uno de los ejemplos de las acciones que se tomaron gracias a la retroalimentación que se generó al realizar el estudio, historial y seguimiento de cada uno de los equipos con todas las herramientas antes expuestas.

## 6. Conclusiones

El objetivo principal de las empresas es poder generar más para lo que fueron creadas; utilizar lo mejor posible los recursos con los que cuenta y ser lo suficientemente flexibles para poder evolucionar y adaptarse a los cambios que tiene el mercado, los clientes e incluso la misma organización. La meta es buscar la mejor manera para eficientar los resultados, considerando siempre el ganar- ganar como la mejor de las estrategias.

Algunas decisiones no son fáciles de tomar. El implementar acciones requiere del esfuerzo y colaboración de todos los eslabones involucrados. El concientizar en los implicados la meta que se busca alcanzar y la forma en la que se actuará para ponerla en práctica resulta esencial para poder contar con el apoyo de todos y tratar de reducir la resistencia al cambio que se presenta al establecer formas de trabajo diferentes.

A lo largo de esta investigación se encontraron dos factores que afectaban directamente las utilidades de los servicios e incluso su calidad. El primer factor que se estudió fue el de los almacenes e inventarios; se descubrió que la capacidad de la empresa excedía la demanda con la que esta estaba acostumbrada a trabajar. Al caer uno de los principales clientes, como Pemex, las ventas disminuyeron drásticamente y la capacidad de respuesta era exagerada para el nivel de demanda existente.

La capacidad estaba distribuida por toda la república mexicana. En su momento esta estrategia funcionó, debido a que cada almacén contaba con equipos, materiales y personas para atender un servicio con una respuesta inmediata, sin embargo, al final los clientes que valoraban esta respuesta desaparecieron. Para poder satisfacer la demanda y contar con almacenes a lo largo de la república mexicana se destinaban 309,671 pesos mensualmente, para operar ocho almacenes.

Los nuevos clientes, la industria privada, se lograron ir moldeando, enseñándoles que, aunque se podría tener una respuesta rápida hacia sus solicitudes, se tendría que considerar al menos un día de traslados. Este nuevo estándar fue aceptado por los clientes; antes se tenía el pensamiento que al no responder inmediatamente el cliente rechazaría el servicio. Ahora el diferenciador de la empresa es la calidad, mejores tiempos de ejecución (reduciendo notablemente los paros de las máquinas) y la garantía que se ofrece por el servicio realizado.

El segundo factor analizado fueron los equipos, el recurso limitante en los servicios, necesarios para la circulación de aceite a grandes velocidades y altas temperaturas, su cuidado requiere de capacitación de los técnicos en campo, la notificación del estado de cada equipo, y el contar con las piezas necesarias para atacar los problemas más comunes. Esta cultura y serie de acciones no se llevaban a cabo y provocaban el fallo constante de equipos.

Las distintas propuestas para lograr la evolución y adaptación de la empresa a una nueva realidad no fueron una tarea sencilla, fue necesario invertir meses de esfuerzo, estudio y análisis para poder encontrar la mejor solución que alcanzara mejores utilidades, sin dejar de ofrecer una respuesta ágil para poder atender los servicios y seguir satisfaciendo a los clientes con la mejor calidad.

El análisis que se presenta a lo largo del proyecto obtuvo grandes resultados; inició con el cambio de cultura y prácticas en campo, que se vio reflejado en las utilidades de los servicios, con ahorros significativos al reducir los almacenes y solo contar con los materiales necesarios para atender los servicios, eliminando los materiales obsoletos y los de baja rotación, este inventario se valuó en \$ 2,285,024 y al venderlo se tuvo una recuperación de \$ 71,124.94, reduciendo con esto desperdicio de espacio y dinero dedicado al cuidado y almacenamiento de inventario.

El decidir cerrar los almacenes no fue sencillo; la resistencia al cambio y el miedo por las consecuencias de esas propuestas fueron los primeros obstáculos, sin embargo, el respaldar las decisiones con hechos teóricos y comprobaciones numéricas, impulsó la propuesta y el inicio de la reestructura. Los resultados fueron palpables desde los primeros días.

Con la estrategia de reubicación y cierre de almacenes se logró tener un ahorro anual de \$1,312,140. Reduciendo con esto un 35% del gasto fijo de la operación, únicamente al redistribuir los almacenes. El modelar con anterioridad el flujo de los servicios, qué almacén atendería y saber a qué cliente, ayudó a asegurar que la capacidad de los almacenes soportaría servicios de calidad y que los servicios se podrían anticipar, preparando con antelación los requisitos del cliente, sabiendo previamente qué almacén y qué grupo de personas lo atenderían.

Otro gran problema de la empresa que iba de la mano con los almacenes era el inventario, más de 15 millones de pesos en inventarios en 2016 en productos y equipos tanto para servicios como para instalaciones. Después de varios controles y ajustes, el inventario se redujo en un poco más de un año a \$4,691,728 pesos. Para lograr este número fue importante que cada una de las áreas reconociera realmente lo que necesitaba para poder operar. En la línea estudiada se encontró que el stock mínimo necesario no era entre 400,000 y 500,000 pesos que se habían manejado en los últimos años, si no que el stock ideal era de 373,370 pesos, un poco más de 60,000 pesos mensuales menos, sólo en esta línea.

El tener claro cuál es el uso y la utilidad de cada uno de los recursos ayuda a analizar si se están explotando de manera adecuada, sobre todo aquellos que son el factor limitante, en este caso los equipos. En estos se deben enfocar los esfuerzos ya que este recurso afecta directamente el resultado del servicio.

El ingreso de los equipos al taller para brindarles un mantenimiento correctivo disminuyó notablemente. La prevención desde campo, en donde los técnicos que los operan cuentan ya con nociones esenciales de funcionamiento y medidas básicas de prevención como la lubricación, los puntos óptimos de chequeo y las características a revisar de cada uno de los equipos dio como resultado la disminución de bombas, tableros eléctricos y motores dañados. Anteriormente estos eran los componentes más afectados tras la ejecución de cualquier servicio. Actualmente, antes de que alguno de estos elementos tenga que ser reparado o sustituido en un mantenimiento mayor en el taller, se toman las precauciones necesarias, se checan los elementos periféricos que de presentar alguna falla pueden dañar directamente alguno de estos tres elementos que resulta ser lo más costoso, difícil de reparar y conseguir para los equipos.

Otra de las medidas tomadas fue el tener un stock de refacciones para cada uno de los equipos, destinar en promedio 22 mil pesos por tipo de equipo asegura la disponibilidad de equipos y ahorra tiempo en su reparación. El no tener las refacciones representaba una reparación de hasta 25 días por equipo por el tiempo de entrega de los materiales, que gracias al stock el equipo más difícil de reparar ahora tarda 9 días.

El capacitar a los empleados en el correcto uso y mantenimiento de las herramientas y equipos con los que día a día laboran es parte fundamental de ofrecer un buen servicio.

Todas las acciones tomadas dieron como resultado operaciones eficientes, servicios de mejor calidad y ahorros constantes gracias al mejor manejo de los almacenes, aprovechando su capacidad de almacenamiento y de reacción al enfocarse a clientes específicos. El contar con una previa estimación de rutas y asignación de clientes permite mejorar los costos periféricos, por ejemplo, poder negociar con los transportes el precio del movimiento previendo la cantidad de servicios de ese almacén a esa zona.

Las operaciones mejoraron gracias a la implementación de mantenimientos oportunos, reduciendo los costos y haciendo imperceptible para el cliente el cambio de logística.

La logística busca hacer el mejor uso de los recursos con los que se cuentan. Este fue el objetivo de todos estos estudios y propuestas, logrando con ellas explotar al 100% los recursos con los que la empresa ya contaba, buscando sacarles el mayor de los provechos y el objetivo no solo se alcanzó, se logró superar.

## 7. Recomendaciones

El modelo para la selección de almacenes se elaboró tomando en cuenta que desde el 2015 las operaciones para PEMEX se verían severamente afectadas. Incluso que estas serían inexistentes en el 2016 y 2017, sin embargo, se prevé que resurjan actividades paulatinamente después del 2018.

El modelo que se presentó puede funcionar para atender PEMEX, sin tener que cambiar las ubicaciones ya elegidas de los almacenes.

Se prevé que en el 2018 inicien con actividades las siguientes plantas:

1. Refinería El Encino
2. Pemex Refinación TAR Gómez Palacio
3. Refinería Cadereyta
4. Refinería Madero
5. Complejo Petroquímico Tula
6. Refinería Lázaro Cárdenas
7. Complejo Petroquímico Cosoleacaque

Con el mismo modelo, pero añadiéndole la posible demanda que tenga PEMEX a partir del 2018 se corrió nuevamente el modelo obteniendo, se muestra la Figura 54.



**Figura 54.** Rutas propuestas con los almacenes actuales en reactivación de PEMEX

## 8. Bibliografía

1. Aguilar, Everardo y Vargas, Jaime (2008). Personas, economía y medio ambiente: las problemáticas de la pequeña empresa. Centro Regional de Investigación en Psicología.
2. Aghezzaf, El-Houssaine, Jamali MA, Ait-Kadi D. (2007). An integrated production and preventive maintenance-planning model. EUA: Elsevier B.V.
3. Aghezzaf, El-Houssaine, Khatab, Abdelhakim, Phuoc Le Tam. (2016). Optimizing production and imperfect preventive maintenance planning's integration in failure-prone manufacturing systems. EUA: Elsevier B.V.
4. Almus, M. y E. Nerlinger, (1999) Growth of New Technology-Based Firms: Which Factors Matter, Small Business Economics 13, 141–154.
5. Ballou, Ronald H. (2004). Logística, Administración de la cadena de suministro. México: Pearson Educación.
6. Capasso., Dr. Carmelo M (2000). La teoría de las restricciones y la contabilidad del throughput, de Comisión de Estudios de Costosl Sitio web: <http://www.consejo.org.ar/coltec/capasso.htm> Consultado (2 de octubre 2015)
7. Chase, Jeffrey (2001). Administración y Producción de Operaciones. 8va. Edición McGraw-Hill
8. Chase, Richard B. et al. (2009) Administración de operaciones: producción y cadena de suministros: McGraw-Hill Interamericana (12a. ed.).  
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/upanamericanasp/detail.action?docID=44234>
9. Cherrafi, Anass, Elfezazi, Said et al. (2012) The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. Online: Springer Science+Business Media New York
10. Chopra, Sunil y Meindl, Peter. (2008). Administración de la cadena de suministro, Estrategia, planeación y operación. México: Tercera edición. Person Educación.
11. Conde, Rafael Enrique. (2010). Actualización sobre el estado del arte de toc. La importancia de tomar buenas decisiones en la empresa, de Expertos TOC consultores Sitio web: <http://www.etoc.com/la%20realidad%20actual%20de%20teora%20de%20restriccio>

[nes%20aplicada%20a%20la%20empresa%20en%20colombia.pdf](#) Consultado (5 Noviembre 2015)

12. De la Fuente García, David, et al. (2008). Ingeniería de organización en la empresa: Dirección de operaciones. Asturias: Universidad Oviedo.
13. Díaz-Batista, José Antonio, Pérez-Armayor Dania. (2012). Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministro. 2015, del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría Sitio web: [scielo.sld.cu/scielo.php? pid=S1815-59362012000200004&script](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362012000200004&script) consultado (5 noviembre 2015)
14. Dodson, Bryan. The Weibull Analysis Handbook. 2da ed. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, 2006.
15. Domínguez, J. (2003). Dirección de Operaciones: 3ª edición, McGraw Hill
16. Escalona, Iván. (2009). Planeación integral agregada e interrelación de los sistemas intermitentes con el MRP y filosofía JIT, kanban, reingeniería: El Cid Editor
17. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upanamericanasp/detail.action?docID=31818>
18. Galgano, Alberto. (1995). Los Siete Instrumentos de la Calidad Total. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S.A
19. Goldratt, E. y Cox, J. (1993). La meta. Un proceso de mejora continua. México: Ediciones North RiverPress.
20. Goldratt, Eliyahu. (2002). Cómo Extraer Información del Océano de Datos. El Síndrome del Pajar. Quinta Ed. Ediciones Castillo. pp. 283-285.
21. Goldratt, Eliyahu. (2009). La carrera: en busca de las ventajas competitivas. 1a ed. Buenos Aires: Granica.
22. Goldratt, Eliyahu. (1995). La Carrera. México: Castillo.
23. González Ignacio (2013). Sistemas de costos de inventarios. Recuperado de <https://www.gesyopolis.com/sistema-costos-inventarios/>
24. Gutiérrez Garza, Gustavo (2000). Justo a Tiempo y Calidad Total, Principios y Aplicaciones. México: Castillo S.A de C.V
25. Hamelin, Anai's. (2012). Influence of family ownership on small business growth. Online: Springer Science+ Business Media New York 2012.
26. Hine, D. William (1996). Probabilidad Y Estadística Para Ingeniería. México: Compañía editorial continental

27. Hvolby, Hans-Henrik y Steger-Jensen, Kenn (2010). "Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems". Computers in Industry. vol. 61, pp. 845-851.
28. Hvolby, Hans-Henrik, Jensen, Kenn Steger (2010). Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems. EUA: El Sevier.
29. Demey, Jhonny R., Laura Pla, José L. Vicente-Villardón, Julio A. Di Rienzo, Fernando Casanoves. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Costa Rica: CATIE Turrialba
30. Kelle, P.; Miller, P. A., «Quantitative support for buyer–supplier negotiation in JIT purchasing» International Journal of Purchasing and Materials Management, 1998, vol. 34, no. 2.
31. Koch, Richad. (2009). Living the 80/20 Way. Londres y Boston: Nicholas Brealey Publishing.
32. Lippolt, Christian, Furmans Kai. (2008). Sizing of Heijunka-Controlled Production Systems with Unreliable Production Processes. EUA: Springer
33. Mokhtar S. Bazaraa, John J. Jarvis, Hanif D. Sherali. (1998). Programación lineal y flujo en redes. México: Limusa
34. Montgomery, Douglas C. George C. Runger. (2002). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Limusa.
35. Nahmias, Steven. (2005). Production and Operations Analysis. Boston: McGraw- Hill.
36. Niño y Bednarek. (2010). Metodología para implantar el sistema de manufactura esbelta en PyMES industriales mexicana.
37. Nourelfatha, Mustapha, Nahasb, Nabil, Ben-Dayab, Mohamed (2016). Integrated preventive maintenance and production decisions for imperfect processes. EUA: Elsevier.
38. Ohno, Taiichi, Mito SeTCuo. (1988). Just-In-Time for Today and Tomorrow. EUA: Productivity Press
39. Ohno, Taiichi. (1978). Toyota Production System. Beyond Large Scale Production. EUA: Productivity Press.
40. Oleghe, Omogbai, Salonitis, Konstantinos. (2016). Variation Modeling of Lean Manufacturing Performance Using Fuzzy Logic Based Quantitative Lean Index. EUA: El Sevier.

41. Liao, Ching-Jong. (1989). Inventory model under just-in-time purchasing agreement. *EUA: Production and Inventory Management Journal*.
42. Llinás Solano, Humberto. (2006). *Estadística Descriptiva y distribuciones de probabilidad*. Colombia: Ediciones Uninorte.
43. Productivity Press Development Team (2002). *Kaizen for the Shopfloor, A Zero-Waste Environment with Process Automation*. EUA: Productivity Press
44. Roper, Stephen. (1999). *Modelling Small Business Growth and Profitability*. Netherlands: Small Business Economics 13
45. Salazar, Angel, and Steve Sawyer. (2007). *Handbook of Information Technology in Organizations and Electronic Markets*: World Scientific Publishing Co Pte Ltd. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/updf-ebooks/detail.action?docID=312282>.
46. Walpole, Ronald E., Raymond H. y Sharon L. Myers. (1999). *Probabilidad y estadística para Ingenieros*. México: Prentice Hall Hispanoamericana.
47. Womack James, Jones Daniel. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*. Nueva York: Productivity Press.

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

1.- ¿Sabes cuál es la misión y la visión de la empresa? SI\_\_\_\_\_ NO\_\_\_\_\_

SI: ¿Cuál es?

\_\_\_\_\_

NO: ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

2.- ¿Conoces la importancia de tu trabajo en empresa?, SI\_\_NO\_\_ ¿cuál es?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3.- ¿Conoces cuáles son tus capacidades y responsabilidades? SI\_\_NO\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4.- ¿Tus responsabilidades se encuentran por escrito? SI\_\_ NO\_\_

5.- ¿Consideras que la función de tu cargo está bien definida? SI\_\_ NO\_\_

\_\_\_\_\_

**Tabla 47.** Resultados Encuestas

	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1	8	7
2	6	9
3	5	10
4	4	11
5	3	12
Total	<b>26</b>	<b>49</b>