



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**

**CAMPUS GUADALAJARA**

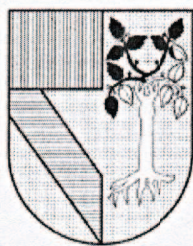
**ALTERNATIVA ÓPTIMA PARA LA DISMINUCIÓN DE  
FUGAS EN BARRILES**

**JUAN MANUEL BARRERA VILLALPANDO**

Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en Ingeniería con  
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,  
según acuerdo número 2006098 con fecha 28-II-06.

Zapopan, Jal., Julio del 2014





# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

## CAMPUS GUADALAJARA

Julio del 2014

DR. FRANCISCO ALEJANDRO OROZCO ARGOTE  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE EXÁMENES DE GRADO  
P R E S E N T E


Me permito hacer de su conocimiento que **JUAN MANUEL BARRERA VILLALPANDO**, de la Maestría en Ingeniería, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa TESIS titulada:

### **ALTERNATIVA ÓPTIMA PARA LA DISMINUCIÓN DE FUGAS EN BARRILES.**

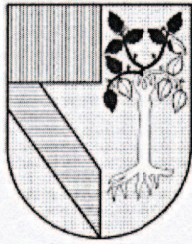
Manifiesto que, después de haber sido dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención prestada y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE

  
DR. OMAR GUILLERMO ROJAS ALTAMIRANO  
ASESOR DE TESIS





# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

## CAMPUS GUADALAJARA

### DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO

SR. JUAN MANUEL BARRERA VILLALPANDO  
Presente

En mi calidad de presidente de la Comisión de Exámenes de Grado, y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por usted en la alternativa de **TESIS** titulada:

#### **ALTERNATIVA ÓPTIMA PARA LA DISMINUCIÓN DE FUGAS EN BARRILES.**

Le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado del Examen de Grado, por lo que deberá de entregar cinco ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

ATENTAMENTE

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'F' and 'A' that are interconnected.

DR. FRANCISCO ALEJANDRO OROZCO ARGOTE  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN



## **AGRADECIMIENTOS:**

El presente trabajo fue realizado con la intención de cubrir un área de oportunidad detectada en una respetable empresa, a la cual se dedica ésta investigación.

Se agradece a los asesores involucrados en el desarrollo de la solución. La Doctora Beatriz Deiros Fraga, quien imparte la asignatura de Optimización y su instrucción fue clave en los fundamentos del modelado de programación e interpretación de resultados. A la Maestra Teresa Del Valle Domínguez, quien con su vasta experiencia en la industria en el planteamiento y solución de problemas de programación, orientó el esfuerzo para llevar a buen término las etapas involucradas con programación lineal. A los profesores Javier Masini, David Gómez Melo, Martín Marín y Sergio Velázquez, por su instrucción en las herramientas de ejecución e implementación del sistema.

Un agradecimiento especial al Doctor Omar Rojas por la orientación en la elaboración de éste documento y por la asesoría relacionada al proyecto. En general a los involucrados que apoyaron con información y datos para la realización del estadístico.

**A mi esposa, mis padres y mi familia.**



## **RESUMEN**

La presente tesis muestra el procedimiento realizado para la solución de un problema por fugas en barriles de cerveza. A continuación se mencionan las principales etapas en el desarrollo de la solución aplicada.

Se identificó como causa principal, la falta de mantenimiento mecánico en los barriles.

Se analizó el proceso logístico, recursos disponibles y datos históricos para formular la estrategia de solución.

Se formula la estrategia, la cual utiliza un modelo de programación lineal para obtener una solución que cumple con los requerimientos y restricciones previamente identificados en el sistema.

Posteriormente se diseñaron e implementaron las herramientas, sistemas y documentación necesaria para la puesta en marcha de la estrategia y la estandarización del proceso.

Finalmente se implementa la solución, obteniendo resultados satisfactorios.



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
CAPITULO I.....	8
Contexto 2011.....	9
Metodología .....	12
CAPITULO II.....	14
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ANTECEDENTES .....	14
2.1    Pronósticos .....	15
2.2    La optimización .....	18
2.3    Método simplex.....	20
2.4    Antecedentes generales.....	23
2.5    Acciones iniciales.....	24
CAPITULO III.....	30
3. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	31
3.1    Pronósticos de llegadas y de producciones.....	35
3.2    Planteamiento de modelo matemático PL.....	41
3.3    Modelo matemático:.....	42
3.4    Solución del problema.....	46
3.5    Costos teóricos .....	52
3.6    Implementación.....	54
CAPITULO IV .....	58
4.1    Resultados 2011.....	59
4.2    Comparación y evaluación de funcionalidad .....	60
4.3    Conclusiones .....	67
Bibliografía:.....	68



## ÍNDICE DE TABLAS:

<i>Tabla 1: Método Series de Tiempo para pronósticos</i> .....	17
<i>Tabla 2: Detalle de diagnóstico de reportes de Aseguramiento</i> .....	26
<i>Tabla 3: Año de adquisición</i> .....	31
<i>Tabla 4: Pronóstico de producciones para el 2011</i> .....	35
<i>Tabla 5: Código de los barriles según su año de fabricación y localidad</i> .....	37
<i>Tabla 6: Número de barriles que llegaron durante el 2010 y su año de fabricación</i> .....	38
<i>Tabla 7: Estimado de recepción del barril 2011</i> .....	40
<i>Tabla 8: Parámetros para 2011</i> .....	46
<i>Tabla 9: Resultados de variables auxiliares por mes</i> .....	48
<i>Tabla 10: Valores óptimos</i> .....	49
<i>Tabla 11: Mapa de variables binarias auxiliares</i> .....	50
<i>Tabla 12: Inversión inicial en unidades monetarias</i> .....	52
<i>Tabla 13: Costos asociados a la operación en unidades monetarias</i> .....	53
<i>Tabla 14: Costo del proyecto en unidades monetarias</i> .....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICAS:

<i>Gráfica 1: Incidencia de motivos de fugas</i> .....	25
<i>Gráfica 2: Año de adquisición y cantidades de barriles</i> .....	31
<i>Gráfica 3: Pronóstico de producciones para el 2011</i> .....	36
<i>Gráfica 4: Barriles recibidos 1er trimestre 2010</i> .....	39
<i>Gráfica 5: Barriles recibidos 2do trimestre 2010</i> .....	39
<i>Gráfica 6: Barriles recibidos 1er trimestre 2010</i> .....	38
<i>Gráfica 7: Barriles recibidos 2do trimestre 2010</i> .....	38
<i>Gráfica 8: Acumulado de recepción de barriles con diferente código durante 2010</i> ..	38
<i>Gráfica 9: Comportamiento teórico del mantenimiento de barriles 2011</i> .....	51
<i>Gráfica 10: Inventario de barriles para mantenimiento</i> .....	59
<i>Gráfica 11: Tendencia en la ocurrencia fugas</i> .....	60
<i>Gráfica 12: Tendencia de fugas a la baja durante 2011</i> .....	61
<i>Gráfica 13: Comparación y corrección de la tendencia de fugas en barriles</i> .....	62
<i>Gráfica 14: Gráfica del comportamiento de barriles retenidos y reparados en 2011</i>	63
<i>Gráfica 15: Porcentaje de utilización del personal</i> .....	63
<i>Gráfica 16: Costos de devoluciones de barril por fuga</i> .....	64



## ÍNDICE DE DIAGRAMAS:

<i>Diagrama 1: Causa efecto para las fugas en barriles.....</i>	<i>24</i>
<i>Diagrama 2: Flujo generalizado para llenado de barriles.....</i>	<i>33</i>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

<i>Ilustración 1: Empaques retirados por presentar fuga.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 2: Zonas principales de fuga.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 3: Barril con fuga por el empaque.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 4: Interior de un empaque o válvula de gas.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 5: Diferentes tipos de válvulas dispensadoras.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 6: Tipos de empaques o válvulas de gas utilizadas en los barriles.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 7: Flujo de barriles.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 8: Barriles que llegaron durante el año 2010.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 9: Interfaz para manejar datos de barriles.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 10: Ilustración de la válvula dispensadora.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 11: Espreas de lavado y llenado, “A” diseño anterior, “B” nuevo diseño.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 12: Mesa de trabajo para reparación de barril.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 13: Manual de reparación de barril.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 14: Equipo para verificar ausencia de fugas en las válvulas de barril.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 15: Sistema para el control de mantenimiento de barriles.....</i>	<i>56</i>

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis se basa en una necesidad real en la industria cervecera. Básicamente en el sector se utilizan tres tipos de envases: botella de vidrio, bote de aluminio y barriles de acero inoxidable. Este último ha tenido un crecimiento bastante acelerado, debido a ciertas ventajas, sobre todo por la vida útil del contenedor. Sin embargo, las fugas de líquido se incrementaron significativamente en un periodo de cuatro meses, por lo cual aumentaron las quejas de clientes y los costos asociados a esta falla de calidad.

Se realizó un análisis de causas, detectándose la falta de mantenimiento, como una de las principales razones, por lo cual se resolvió en elaborar e implementar un plan temporal adecuado a las capacidades y exigencias del proceso y de la situación actual. El resultado fue un plan de mantenimiento capaz de atender el retraso en el reemplazo de válvulas, en un plazo de un año, utilizando el recurso humano de una manera óptima. Reduciendo también las constantes quejas y devoluciones por fuga, e impactando en costos relacionados a las mismas.



## CAPITULO I

Los barriles son envases retornables de acero inoxidable, que son lavados y llenados durante cada ciclo de consumo. A diferencia de los envases de vidrio, los barriles cuentan con una válvula de goma que sirve de sello con la boquilla del barril, adicionalmente se le coloca un tapón que solo sirve para cubrir del polvo e identificar el tipo de producto, pero no hace la función de sello. Cuando el empaque de goma está muy desgastado o dañado, no hay un sellado eficiente y se presenta una falla muy común que se conoce como *microfuga*. La microfuga es un evento casi imperceptible ante una inspección poco minuciosa, y sucede porque el desgaste se manifiesta en pequeñas fisuras y heridas en la goma por las que se mina el líquido a presión dentro del barril.

Para evitar las micro fugas, es necesario eliminar los factores de daño y reemplazar el empaque de goma (válvula de  $CO_2$ ), dos resortes y un empaque de poliuretano, de aquellos envases cuya garantía haya expirado. En lo siguiente, se hará referencia a éstas actividades como un mantenimiento.

## **Contexto 2011**

México es el sexto mercado cervecero más grande del mundo, con un consumo de 6,500 millones de litros anuales, y uno de los principales exportadores de cerveza a nivel mundial. La empresa es líder en la elaboración, distribución y venta de cerveza en México, con una participación de mercado total (nacional y exportación) al 31 de diciembre de 2009 del 63.3%. Cuenta con una capacidad instalada de 60 millones de hectolitros anuales de cerveza [15].

*Misión:* Crecer como competidor multinacional en el mercado de bebidas, inspirando orgullo, pasión y compromiso, generando valor para nuestros grupos de interés.

*Visión:* Para el 2015 lograr que más de la mitad de nuestros ingresos provengan del área internacional e incrementar consistentemente el liderazgo en el mercado nacional, manteniendo nuestra rentabilidad.

En 2009 recibió el premio “Certificado de Industria Limpia”, otorgado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Las siete plantas cerveceras, cuentan con el certificado de cumplimiento del estándar internacional ISO 9001 y 14001. De acuerdo con el anuario de Industrias Líderes en América Latina 2008, ocupa el cuarto lugar. Desde 1994, cotiza en la Bolsa Mexicana de Valores.

La empresa se ha caracterizado por el establecimiento de metas claras y bien comunicadas entre todos sus empleados. Desde el inicio de su incursión en el mercado norteamericano tuvo claro el sector de mercado en él que quería competir, el mercado de cervezas importadas para la clase media. Decidieron respaldar una campaña publicitaria para acabar con la falacia de que lo mexicano tiene que ser malo y barato, por lo que despreciaron el mercado de las cervezas de bajo precio, vendiendo un producto de precios tan altos como las marcas holandesas más reconocidas de importación en los Estados Unidos.

Desde 1985 ha mantenido una constante lucha por ganar nuevos mercados internacionales, lo que le ha permitido en la actualidad vender sus ya bien



prestigiadas marcas en más de 150 países en todo el mundo. En Guadalajara se envasan presentaciones de botella, bote y barril.

El servicio y atención a los clientes es una prioridad. El contacto continuo y permanente con clientes y consumidores permite a la empresa identificar sus expectativas y necesidades, así como conocer su nivel de satisfacción con respecto a la calidad en el producto y el servicio que recibe por parte de Grupo.

### **Descripción del problema**

En los últimos años el número de quejas del cliente por barril con fuga se han incrementando de manera alarmante. Hasta el 2011, cuando se presentaba una fuga, se procedía a realizar un mantenimiento correctivo al barril, sin embargo aparentemente ésta actividad no ha sido suficiente para disminuir el número de fugas [19]. De acuerdo con datos analizados, se identificaron las siguientes causas potenciales:

- *Válvulas de despacho inapropiadas de acuerdo al tipo de boquilla del barril*
- *Posible daño en el proceso*
- *Falta de mantenimiento a envases*

Los barriles son envases de acero inoxidable que pueden reutilizarse indefinidamente. Sin embargo, el mecanismo que hace la función de sello consta de piezas mecánicas que sufren desgaste durante, por lo tanto es necesario reemplazar ciertas piezas para prolongar la vida del contenedor.

En 2010 había una cantidad importante de barriles cuya vida útil de los componentes del sello ya habían expirado y la capacidad de mantenimiento en ese momento superaba las necesidades. Por tal razón la mayoría de los envases en esa situación continuaban en servicio, con riesgo latente de fuga. La causa era la carencia de un plan de mantenimiento definido, que controlara la retención y reparación de los barriles, aunado al aumento en la demanda de ésta presentación. El problema era de alto impacto dado que en los futuros años se daría impulso a ésta presentación.

Los proveedores de los empaques aseguran una vida útil de 5 años en las válvulas de  $CO_2$ . Por lo tanto todos los envases anteriores al año 2006 a los que no se les ha reemplazado la válvula, son potencialmente vulnerables a presentar fuga. Hay envases desde 1997, y solo se han sustituido las piezas en los barriles que han presentado falla.

Hasta antes del 2011, los empaques de los barriles eran sustituidos hasta el momento en que éstos presentaban fuga. Sin embargo, hay muchas fugas que requieren una minuciosa observación para ser detectadas, se visualizan más fácilmente después de uno o dos días, pero debido al flujo del proceso, las fugas solo se inspeccionan al estibarse en pallets, inmediatamente después de ser lavados y rellenados. De tal manera que si la falla no se detectó cuando el barril está siendo estibado, se detectará hasta que llegue al cliente.

Del total de barriles, había 35,640 barriles que presumiblemente requerían súbitamente mantenimiento. El objetivo era sustituir los empaques en todos los barriles cuya garantía ya había expirado. Se deseaba que el tiempo de regularización fuera breve y adicionalmente, que la utilización de los recursos material y humano, fuera óptima. El objetivo es cubrir los mantenimientos pendientes durante el año 2011, utilizando el personal del área de empaquetado y en caso de ser necesario, apoyarse con personal externo.

Particularmente este tipo de envase es identificado individualmente, utilizando una etiqueta de código de barras, la cual sirve para rastrear el envase en cada uno de los tres procesos básicos: cuando se llena, cuando se vende y cuando lo devuelven. Durante cada movimiento el contenedor es registrado individualmente en la base de datos. Partiendo de lo anterior se creó dentro del sistema de control de envase, un módulo que permite alarmar y bloquear por sistema. Mediante la generación de órdenes de trabajo electrónicas, los envases que tengan asociada una orden de trabajo quedan bloqueados para que no pasen a otro proceso hasta recibir mantenimiento. El bloqueo se hace únicamente en el proceso en el que los clientes regresan el envase a la fábrica, esto debido a que el barril está vacío, y facilita la manipulación.



En el sistema de control de barriles, se cargó la fecha de compra de cada barril, así como la fecha de su último mantenimiento, esto sirve para identificar si el empaque del envase ya tiene más de cinco años. Sin embargo, si se bloquearan al mismo tiempo todos los barriles cuyos empaques exceden cinco años, el requerimiento de reparaciones probablemente superaría la capacidad de mantenimiento, por tal razón es necesario que el bloqueo tenga un orden tal que se adapte a las posibilidades de atención.

### **Metodología**

Para el planteamiento del modelo es necesario conocer por mes:

1. Capacidad de reparación por personal de fábrica.
2. Cantidad de envases que se deben bloquear y no liberar hasta después de recibir mantenimiento.
3. Turnos disponibles para dedicar al mantenimiento de los envases.
4. Costo de sueldo de empleados y costo de refacciones y uso de maquinaria.

Una vez identificado que el mantenimiento es un factor determinante en la aparición de fugas, se detectan las siguientes necesidades y se formulan las herramientas y procesos utilizados para manejarlas.

1. Recolectar datos de llegadas de barriles a la fábrica.

Se revisaron las órdenes de recibo de barriles, con el fin de obtener datos históricos que pudieran ser utilizados para la generación de un pronóstico que nos diera una idea de los barriles que se estarían recibiendo durante el 2011.

2. Clasificar los barriles según año de fabricación.

Cada barril tiene un grabado que lo identifica a manera de número de serie. Se realizó la relación de estos números con las fechas de adquisición de los contenedores nuevos, para averiguar la edad de los barriles. Enseguida fueron clasificados en rangos de números de serie, según su año de compra.

3. Obtener un pronóstico de producciones para el año 2011.

Se revisaron las órdenes de producción de barriles, con el fin de obtener datos históricos que pudieran ser utilizados para la generación de un pronóstico que nos diera una idea de los turnos que el personal del departamento de embarrilado tendrá disponible para realizar mantenimiento a los envases.

4. Modelar el sistema, para obtener valores óptimos.

Se realizó un modelo de programación lineal para obtener los valores óptimos de personal necesario y calendarización de los mantenimientos.

5. Implementación y estandarización.

Se desarrollaron las adecuaciones en el sistema de control de barriles. Se elaboraron procedimientos con instrucciones específicas para la ejecución de las reparaciones, se diseñó un sistema para el registro y monitoreo de los barriles atendidos. Se capacitó al personal y se definieron áreas específicas para el manejo de los contenedores reparados y por reparar.

6. Análisis de los resultados.

Se monitorearon los resultados, se observó que efectivamente la aparición de fugas disminuyó. Se verificó que la utilización del personal se incrementara, se realizan comparaciones de otras estrategias y se grafican resultados.

## **CAPITULO II**

### **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ANTECEDENTES**

La finalidad de los pronósticos es predecir el desarrollo futuro de un sistema o sus entornos, para ayudar a la toma de decisiones y de planificación sobre medidas de apoyo, contramedidas u otras acciones que influyan, en mayor o menor grado, sobre la tendencia del objeto planificado.

Se utilizan los datos históricos para pronosticar un comportamiento probable en los eventos, así como detectar tendencias, partiendo de esta referencia se toman decisiones. Se elige también la metodología de programación lineal como herramienta de solución del modelo.

## 2.1 Pronósticos

Los pronósticos son predicciones de lo que puede suceder o esperar, son premisas o suposiciones básicas en que se basan la planeación y la toma de decisiones. Algunos escritores consideran que los modelos de pronósticos son técnicas de la ciencia administrativa por varias razones: muchos métodos de pronósticos se apoyan en técnicas matemáticas complejas; el pronóstico se necesita como elemento de otros modelos y algunos pronósticos son una ayuda esencial en la planeación y solución de problemas [3]. En realidad, los pronósticos no sólo se utilizan como elemento de los modelos de solución de problemas mediante la ciencia administrativa, sino que establecen además las premisas a partir de las cuales se elaboran los planes y controles.

Ciertas variables básicas de carácter económico y social no son afectadas por el comportamiento de la organización. Así, los gerentes no necesitan tener en cuenta las posibles acciones de su empresa cuando efectúan predicciones sobre dichas variables. En cambio, investigarán los principales indicadores de nivel gerencial, entre ellos las estadísticas de comercio en la recopilación de la información que necesitan. Por ejemplo: Si los administradores quieren decidir si deben ampliar los servicios de su universidad, las estadísticas federales les darán alguna idea de las tendencias de inscripción universitaria a largo plazo.

Dada la importancia de predecir las futuras tendencias, usualmente se utilizan dos métodos fundamentales: pronóstico cualitativo y pronóstico cuantitativo.

*Pronóstico cualitativo.* Este método es apropiado cuando los datos confiables son escasos o difíciles de emplear. Por ejemplo: cuando se introduce un nuevo producto o tecnología, la experiencia pasada no constituye un criterio seguro para estimar cuáles serán los efectos a corto plazo. Este pronóstico implica el uso de juicios subjetivos y esquemas de clasificación para transformar la información cualitativa en estimaciones cuantitativas.

*Pronóstico cuantitativo.* Este hace una extrapolación del pasado o se utiliza cuando se cuenta con suficientes datos estadísticos o confiables para especificar las relaciones existentes entre variables fundamentales. El pronóstico basado en la extrapolación, como un análisis de series de tiempo, recurre a las tendencias



pasadas o presentes a fin de proyectar los acontecimientos futuros. Así, los registros de ventas en los últimos años podrían servir para proyectar el patrón de ventas para el próximo año.

El pronóstico cualitativo no exige datos numéricos ni estadísticos en la misma forma que el cuantitativo. Este último puede aplicarse si se cuenta con información sobre el pasado, si se le puede especificar numéricamente y si es posible suponer que continuará el patrón del pasado.

## PRONÓSTICOS CUANTITATIVOS

Todas las técnicas cuantitativas se apoyan en la suposición de que el pasado pueda extenderse hacia el futuro de manera significativa para proporcionar pronósticos precisos. Las técnicas cuantitativas se clasifican frecuentemente en dos categorías: estadísticas y determinísticas o causales.

Las técnicas estadísticas [11] se enfocan completamente en patrones, cambios en los patrones y perturbaciones causadas por influencias aleatorias, como los promedios móviles y la atenuación exponencial, descomposición de series de tiempo, proyecciones de tendencia y la metodología Box-Jenkins. Las técnicas estadísticas de pronóstico emplean básicamente dos enfoques. Uno está basado en la suposición de que los datos se puedan descomponer en componentes como tendencia, ciclo, estacionalidad e irregularidad. Se realiza una predicción mediante la combinación de las proyecciones de cada uno de estos componentes individuales. El segundo enfoque se asocia con las metodologías de modelos econométricos de series de tiempo y de Box-Jenkins. Los fundamentos teóricos se basan principalmente en conceptos estadísticos y no se supone que los datos estén representados por componentes separados.

*Las técnicas determinísticas* (causales) comprenden la identificación y determinación de relaciones entre la variable por pronosticar y otras variables de influencia. En estas técnicas se incluyen los modelos de regresión y regresión múltiple, indicadores básicos y modelos econométricos.

En la *tabla 1* se muestra cómo se clasifican estos tipos de pronósticos de una manera bastante útil y sencilla, además proporciona algunas descripciones breves de cada uno de los métodos y donde son utilizados.

*Tabla 1: Método Series de Tiempo para pronósticos*

Métodos por series de tiempo	Descripción del método	Usos	Exactitud (en un plazo)		
			Corto	Mediano	Largo
1.- Promedio móvil	El pronóstico se basa en un promedio aritmético ponderado de un número de puntos de datos del pasado.	Planeación de corto a mediano plazo, para inventarios, niveles de producción y programación. Es bueno cuando hay muchos productos.	Mala a muy buena	Mala	Muy mala
2.- Suavización exponencial	Similar al promedio móvil y da un mayor peso exponencial a los datos más recientes. Bien adaptado para usarse con computadoras y cuando es necesario pronosticar un gran número de artículos.	Igual que el promedio móvil.	Regular a muy buena	Mala a buena	Muy mala
3.- Modelos matemáticos	Un modelo lineal o no lineal ajustado con los datos de series de tiempo, normalmente mediante regresión. Incluye las líneas de tendencias, polinomios, logaritmos lineales, series de Fourier, etcétera.	Igual que el promedio móvil pero con limitaciones debido al costo y a su uso con pocos productos.	Muy buena	Regular a buena	Muy mala
4.- Box-Jenkins	Método de autocorrelación que se usan para identificar las series de tiempo subyacentes y para ajustar el "mejor" modelo. Se necesitan aproximadamente 60 puntos de datos del pasado.	Limitado debido al costo de los productos que requieren de pronósticos muy exactos a corto plazo.	Muy buena a excelente	Regular a buena	Muy mala

## PRECISIÓN DEL PRONÓSTICO [12]

El error del pronóstico es la diferencia entre el valor real y el pronosticado del período correspondiente.

$$E_t = Y_t - F_t$$

Donde  $E_t$  es el error del pronóstico del período  $t$ ,  $Y$  es el valor real para ese período y  $F_t$  el valor que se había pronosticado. Medidas de error:

Error absoluto de la media (MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^N |E_t|}{N}$$

Error absoluto porcentual de la media (MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^N \left| \frac{E_t}{Y_t} \right|}{N}$$

Desviación porcentual absoluta de la media (PMAD)

$$PMAD = \frac{\sum_{t=1}^N |E_t|}{\sum_{t=1}^N |Y_t|}$$

Error cuadrático de la media (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^N E_t^2}{N}$$

Raíz del error cuadrático de la media (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N E_t^2}{N}}$$

## 2.2 La optimización

La optimización [4] está presente en cualquier actividad planificada del ser humano. Las compañías aéreas planifican sus vuelos y la rotación de las tripulaciones con el afán de minimizar los costes o, lo que es equivalente, de maximizar sus beneficios. Los inversionistas orientan sus decisiones de forma que se minimicen los riesgos a la vez que se garanticen niveles de rentabilidad satisfactorios. En general, las industrias aspiran a una eficiencia máxima a la hora de diseñar sus productos y de organizar sus propios procesos productivos.

Por su parte la naturaleza también optimiza, y los sistemas físicos tienden a un estado de mínima energía. Las moléculas en un sistema químico aislado reaccionan entre ellas hasta que la energía potencial de sus electrones alcanza su mínimo valor. Los rayos de luz siguen aquellas trayectorias que minimizan la duración de su viaje.

La optimización arranca con la identificación de un objetivo, o medida cuantitativa de la realización del proceso o sistema estudiado. Este objetivo puede ser beneficio, tiempo, energía potencial, o cualquier cantidad o combinación de cantidades que puedan ser representadas numéricamente. El objetivo dependerá de ciertas características del sistema, llamadas variables.

El propósito es determinar valores de las variables que optimicen el objetivo. A menudo las variables están restringidas, de alguna manera. Por ejemplo, cantidades tales como la densidad de un electrón en una molécula, o la tasa de interés de un préstamo no podrán tomar valores negativos.

El proceso de identificar el objetivo, las variables y las restricciones, en relación con un problema dado, es conocido como fase de modelación. La construcción de un modelo adecuado es la primera etapa, a veces la más importante, en un proceso de optimización. Si el modelo es demasiado simplista no proporcionará la suficiente información sobre el problema real investigado, pero si es complejo en exceso, puede resultar demasiado difícil de resolver, es decir de abordar numéricamente.

Una vez que el modelo ha sido formulado, un algoritmo de optimización será aplicado para encontrar una solución. Usualmente, los modelos y los algoritmos son lo suficientemente complejos como para requerir la ayuda del ordenador en la implementación de los cálculos. No existe un algoritmo de optimización de validez universal. Más bien existen numerosos algoritmos, cada cual especialmente diseñado para resolver determinado tipo de problemas. Es responsabilidad del usuario elegir el método más adecuado a su aplicación específica. Esta elección es de gran trascendencia, siendo la clave de si el problema es resuelto de forma rápida o lenta o si, lo que es más grave, no se llega al alcanzar nunca solución alguna.

Después de que un algoritmo ha sido aplicado, tenemos que ser capaces de reconocer si ha conducido a una solución óptima o si, por el contrario, ha proporcionado una solución que no lo es. En muchos casos se dispone de elegantes expresiones matemáticas, conocidas como condiciones de optimalidad, para comprobar que la solución suministrada por el algoritmo es ciertamente óptima. Cuando las condiciones de optimalidad no son satisfechas en un determinado punto generado por el algoritmo, suelen proporcionar por defecto información muy útil acerca de la manera en que podemos mejorar la solución actual y aproximarnos de forma secuencial a un óptimo. Finalmente, el modelo puede ser perfeccionado aplicando técnicas tales como el análisis de sensibilidad, que revelan la sensibilidad de la solución a los cambios en el modelo y en los datos [12].



### 2.3 Método Simplex

Debido a que *Excel* fue la plataforma que se utilizó para la solución del modelo de programación lineal, enseguida se fundamenta y explica el método simplex, utilizado como motor de solución de *Solver Premium*.

El método simplex es un procedimiento iterativo que permite ir mejorando la solución de programación lineal, a cada paso. El proceso concluye cuando no es posible seguir mejorando más dicha solución [1].

Partiendo del valor de la función objetivo en un vértice cualquiera, el método consiste en buscar sucesivamente otro vértice que mejore al anterior. La búsqueda se hace siempre a través de los lados del polígono o de las aristas del poliedro, si el número de variables es mayor. Debido a que el número de vértices y de aristas es finito, siempre se podrá encontrar la solución.

El método simplex se basa en la siguiente propiedad: si la función objetivo  $f$ , no toma su valor máximo en el vértice  $A$ , entonces hay una arista que parte de  $A$ , a lo largo de la cual  $f$  aumenta.

Deberá tenerse en cuenta que este método sólo trabaja para restricciones que tengan un tipo de desigualdad ( $\leq$ ) y coeficientes independientes mayores o iguales a 0, y habrá que estandarizar las mismas para el algoritmo. En caso de que después de éste proceso, aparezcan (o no varíen) restricciones del tipo ( $\geq$ ) o ( $=$ ) habrá que emplear otros métodos, siendo el más común el método de las Dos Fases.

Esta es la forma estándar del modelo:

$$\begin{aligned} \text{Función objetivo:} & \quad c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n \\ \text{Sujeto a:} & \quad a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ & \quad a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ & \quad \dots \\ & \quad a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \\ & \quad x_1, \dots, x_n \geq 0 \end{aligned}$$

Para ello se deben cumplir las siguientes condiciones:

1. El objetivo es de la forma de maximización o de minimización.
2. Todas las restricciones son de igualdad.
3. Todas las variables son no negativas.
4. Las constantes a la derecha de las restricciones son no negativas.

Si en el modelo, deseamos minimizar, podemos dejarlo tal y como está, pero deberemos tener en cuenta nuevos criterios para la condición de parada (se debe parar de realizar iteraciones cuando en la fila del valor de la función objetivo sean todos menores o iguales a 0), así como para la condición de salida de la fila. Con objeto de no cambiar criterios, se puede convertir el objetivo de minimizar la función  $F$  por el de maximizar  $F \cdot (-1)$ .

*Ventajas:* No deberemos preocuparnos por los criterios de parada, o condición de salida de filas, ya que se mantienen.

*Inconvenientes:* En el caso de que la función tenga todas sus variables básicas positivas, y además las restricciones sean de desigualdad ( $\leq$ ), al hacer el cambio se quedan negativas y en la fila del valor de la función objetivo se quedan positivos, por lo que se cumple la condición de parada, y por defecto el valor óptimo que se obtendría es 0.

*Solución:* En la realidad no existen este tipo de problemas, ya que para que la solución quedara por encima de 0, alguna restricción debería tener la condición ( $\geq$ ), y entonces entraríamos en un modelo para el método de las dos fases.

Deberemos preparar nuestro modelo de forma que los términos independientes de las restricciones sean mayores o iguales a 0, sino no se puede emplear el método simplex. Lo único que habría que hacer es multiplicar por -1 las restricciones donde los términos independientes sean menores que 0.

*Ventaja:* Con ésta simple modificación de los signos en la restricción podemos aplicar el método simplex a nuestro modelo.

*Inconvenientes:* Puede resultar que en las restricciones donde tengamos que modificar los signos de las constantes, los signos de las desigualdades fueran ( $=, \leq$ ),

quedando ( $=, \geq$ ) por lo que en cualquier caso deberemos desarrollar el método de las Dos Fases. Este inconveniente no es controlable, aunque nos podría beneficiar si sólo existen términos de desigualdad ( $\leq, \geq$ ), y los ( $\geq$ ) coincidieran con restricciones donde el término independiente es negativo.

Si en nuestro modelo aparece una inecuación con una desigualdad del tipo ( $\geq$ ), deberemos añadir una nueva variable, llamada variable de exceso “si”, con la restricción  $si \geq 0$ . La nueva variable aparece con coeficiente cero en la función objetivo, y restando en las inecuaciones.

Surge ahora un problema, veamos cómo queda una de nuestras inecuaciones que contenga una desigualdad ( $\geq$ ):

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \geq b_1$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 - 1x_s = b_1$$

Como todo nuestro modelo, está basado en que todas sus variables sean mayores o iguales que cero, cuando hagamos la primera iteración con el método simplex, las variables básicas no estarán en la base y tomarán valor cero, y el resto el valor que tengan. En este caso nuestra variable  $x_s$ , tras hacer cero a  $x_1$  y  $x_2$ , tomará el valor  $-b_1$ . No cumpliría la condición de no negatividad, por lo que habrá que añadir una nueva variable,  $x_r$ , que aparecerá con coeficiente cero en la función objetivo, y sumando en la inecuación de la restricción correspondiente. Quedaría entonces de la siguiente manera:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \geq b_1$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 - 1x_s + 1x_r = b_1$$

Este tipo de variables se les llama variables artificiales, y aparecerán cuando haya inecuaciones con desigualdad ( $=, \geq$ ).

Si la inecuación tiene una desigualdad del tipo ( $\leq$ ), deberemos añadir una nueva variable, llamada variable de holgura “si”, con la restricción  $si \geq 0$ . La nueva variable aparece con coeficiente cero en la función objetivo, y sumando en las inecuaciones [21].

## 2.4 Antecedentes generales

Entre las investigaciones y artículos de optimización relacionados a la industria de bebidas gaseosas o al diseño de planes de mantenimiento que preceden al presente trabajo, se encuentra el realizado en la *Universidad Complutense de Madrid*, en el que desarrollaron un modelo de optimización multi-objetivo [2], para el control del proceso de fermentación en cerveza. En dicho trabajo, los autores construyeron un modelo no lineal cuyos objetivos eran maximizar la calidad y minimizar el tiempo de reposo, los riesgos de contaminación, costos de energía y variaciones en la temperatura de los tanques de reposo. El modelo se simuló en laboratorio con condiciones tan cercanas al ambiente industrial cómo fue posible, el resultado fue un modelo dinámico que permitía tomar decisiones de ajustes correctivos de parámetros incluso simultáneamente al control del proceso.

Por su parte en la publicación de *Minimization of non-periodic preventive maintenance cost in series-parallel systems* [14], se describe la metodología y el algoritmo desarrollado para la propuesta de un mantenimiento preventivo no periódico. El objetivo del trabajo mencionado es minimizar los costos de mantenimiento, bajo restricciones de tiempo y costo de mantenimiento, mínimo valor permisible de confiabilidad del sistema.

En la Universidad de Arkansas, Richard Cassady y Erhan Kutanoglu, publicaron su trabajo *Minimizing job tardiness using integrated preventive maintenance planning and production scheduling* [5] con la cual lograron una reducción del 30% del tiempo de retrasos de acuerdo a sus planeaciones de producción. Los autores consideraron dentro de sus parámetros y restricciones, la secuencia de producción y mantenimiento, de acuerdo a la disponibilidad de la maquinaria y probables ocurrencias de falla, así como la prioridad de atención de acuerdo a un coeficiente de ponderación.

En el escrito *Optimal integrated maintenance/production policy for randomly failing systems with variable failure rate* [22] desarrollado en la universidad Francesa *Paul Verlaine*, publicaron la estrategia de solución para un sistema combinado de producción y mantenimiento con demandas aleatorias, en el cual la frecuencia de fallas esta descrita por una función que aumenta con el tiempo y varía respecto al uso del equipo. De manera que el primer objetivo fue establecer un plan de



producción capaz de cumplir la demanda aleatoria, en base a dicho plan de producción, establecer un plan de mantenimiento preventivo óptimo, el cual considera las condiciones operativas y ambientales afectarán la programación óptima de las acciones de mantenimiento a través de la minimización del número promedio de fallos [7].

Así mismo, se consultaron algunos trabajos de optimización en la industria, a fin de estudiar diferentes perspectivas de solución [1,6]. De dichas publicaciones se extrajeron recomendaciones para la estrategia de solución, el modelado matemático [13] y la implementación de las acciones [8, 20].

## 2.5 Acciones iniciales

Abordando nuevamente la necesidad resuelta en el presente documento, se menciona las acciones y circunstancias a partir de las cuales se tomaron las decisiones para llegar al cumplimiento del objetivo de reducir fugas en barriles.

Para identificar las causas principales de las fugas, se realizó un diagrama de posibles causas [9]. A continuación se muestra el *diagrama 1*.

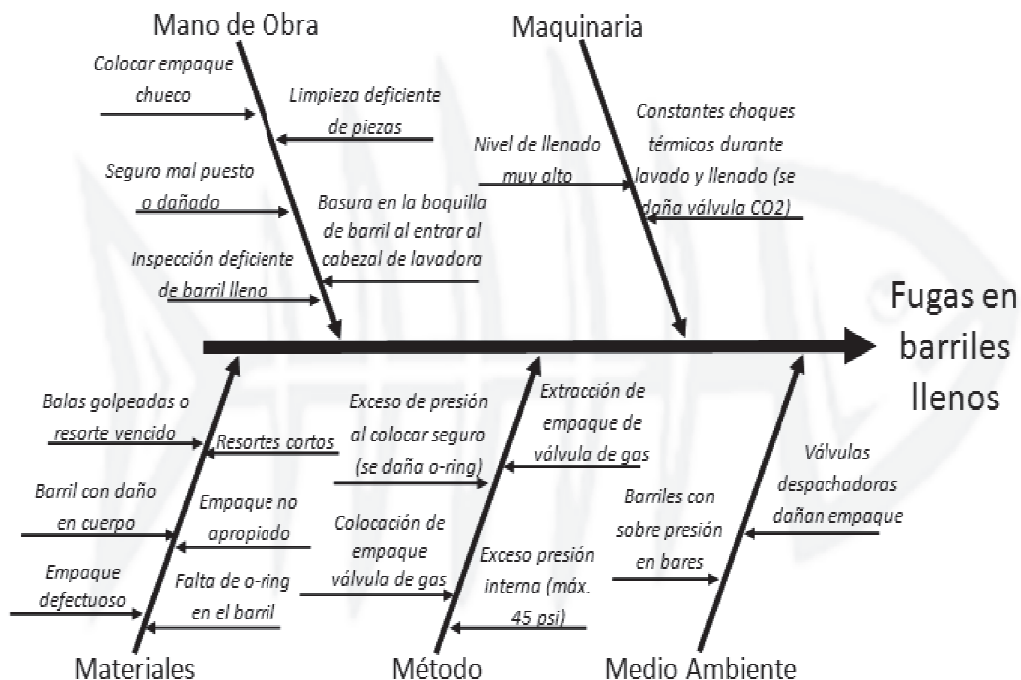
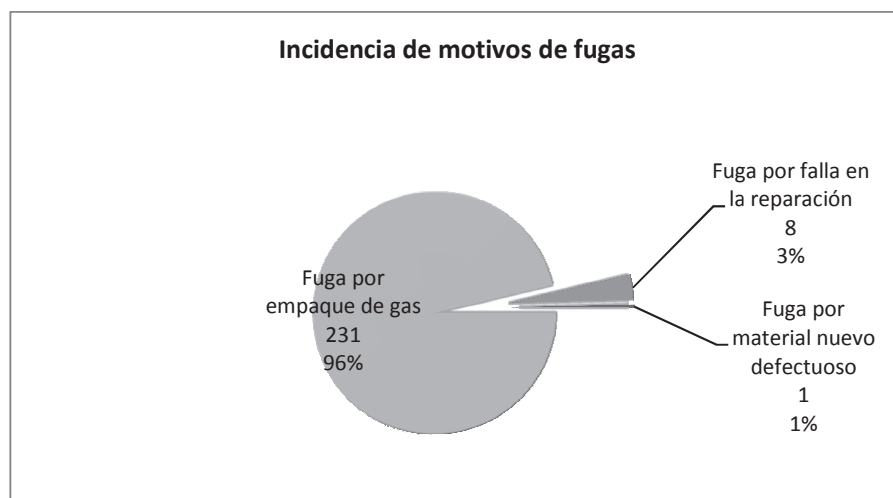


Diagrama 1: visualización causa para las fugas en barriles.

Cuando se detecta un barril con fuga, se somete a una revisión para determinar las causas, se genera un reporte en cual se describe la razón de la falla.

Para la **cuantificación** de incidencias de las causas identificadas en el diagrama se investigó en base a los reportes de aseguramiento de calidad los motivos por los cuales los barriles presentaron fuga. Se estratificaron de la siguiente manera:

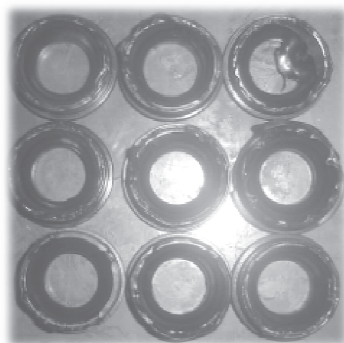
- **Fuga por empaque de gas**, en donde se incluye cualquier daño relacionada con el empaque por mal uso, uso natural o interacción con maquinaria.
- **Fuga por falla en la reparación**, empaque chueco, falta de o-ring u o-ring aplastado, falla por método o mano de obra.
- **Fuga por barril dañado**, fugas no relacionadas con el empaque, perforación en el barril.
- **Fuga por material nuevo defectuoso**, material nuevo no apropiado para reparaciones.



*Gráfica 1: Incidencia de motivos de fugas*

Como se muestra en la *gráfica 1*, de las causas mencionadas se identifica que el estado del empaque es la causa principal de aparición de fugas, de 240 eventos registrados, se observa que alrededor del 96% se deben a causas relacionadas con el empaque. Gran parte de los barriles que se encuentran circulando en el mercado ya presentan deterioro en el empaque debido a que no se ha establecido un plan de mantenimiento periódico para los mismos. Al 2010, el mantenimiento es correctivo y

no se conoce un estadístico formal de la vida útil de un empaque. En la *ilustración 1*, se puede apreciar el estado en el que la mayoría de los empaques eran retirados de los barriles.



*Ilustración 1: Empaques retirados por presentar fuga.*

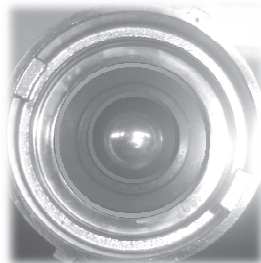
*Tabla 2: Detalle de diagnóstico de reportes de Aseguramiento.*

Fuga por interior del empaque			Fuga por exterior del empaque		
Motivo	Orig	Nvo.	Motivo	Orig.	Nvo.
Fisura en el interior en empaque con daño regular.	186	0	Empaque chueco o mal colocado	2	6
	77.5%	0%		0%	2.5%
Fisura en el interior en empaque con daño visiblemente severo.	42	1	Fisura en la parte exterior del empaque	1	0
	17.5%	0%		0%	0%
Bala sucia o con anillo de cerveza residual.	0	1	Caña ovalada que provoca que el empaque no embone totalmente.	0	0
	0%	0%		0%	0%
Resorte corto o vencido	0	0	Cuerpo de la válvula rayado	0	0
	0%	0%		0%	0%
Bala golpeada.	0	0			
	0%	0%			
Empaque defectuoso	0	1			
	0%	0%			
TOTALES EVENTOS	228	3	TOTALES	3	6
TOTALES PORCENTAJES	95%	1.25%	TOTALES	1.25%	2.5%
TOTAL FUGAS INTERIOR	231		TOTAL FUGAS EXTERIOR	9	
	96.25%			3.75%	

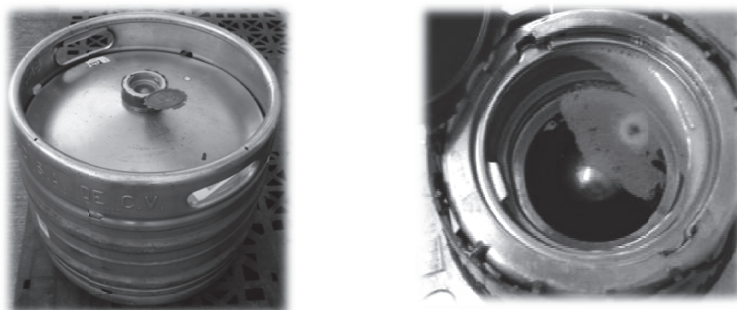
En la *gráfica 1*, se observa que las fugas más comunes fueron por el empaque de gas y por falla en la reparación. Las fugas por el empaque de gas, pueden ser internas o externas, en la *tabla 2*, se muestran las descripciones de la causa de fuga y su frecuencia expresada en número de eventos y en porcentaje. Las columnas “Orig.” se refiere a los barriles que presentaron fuga con empaque original de fábrica y “Nvo.” incluye a los que tenían un empaque recién reemplazado, que presumiblemente tuvieron una reparación deficiente.

Se observa además, que el 96.25% de las fugas internas y externas, corresponden a barriles a los que nunca se les había reparado y todos excedían la antigüedad de 5 años correspondiente a la garantía del proveedor de refacciones. El otro 3.75% se atribuye a fallas en la reparación. Con lo anterior se concluye que la falta de mantenimiento se está manifestando en fugas. Para ilustrar las fugas por el empaque, se muestran las *ilustraciones 2, 3, 4*.

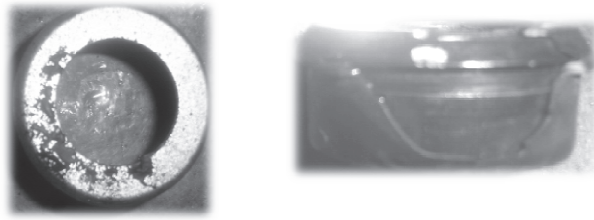
- **Fuga por interior del empaque.** Es el motivo que acapara la gran mayoría de los casos de fuga.
- **Fuga por exterior del empaque.** Es un evento poco común, usualmente causado por un armado o reparación deficiente.



*Ilustración 2: Zonas principales de fuga.*



*Ilustración 3: Barril con fuga por el empaque*



*Ilustración 4: Interior de un empaque o válvula de gas.*

Interiormente los empaques poseen un núcleo de acero inoxidable y están recubiertos con material sintético. Cuando el empaque se rompe o daña, el barril comienza a fugar. De acuerdo con los datos analizados, se determinaron las principales causas:

- *Válvulas de despacho inapropiadas de acuerdo al tipo de boquilla del barril.*
- *Posible daño en el proceso.*
- *Falta de mantenimiento a envases.*

El departamento de dirección competitiva asignó a una persona para la revisión de válvulas de despacho de barriles en los distintos puntos de venta. La revisión arrojó algunos establecimientos en los que se estaban utilizando válvulas despachadoras no suministradas por la cervecera, es sin duda un factor importante de daño. Para lo anterior se estableció un estricto control y monitoreo de los establecimientos que manejan este tipo de envases. La válvula despachadora que corresponde al tipo de válvula de barril que se utiliza es *tipo D*, ilustración 5 [16].

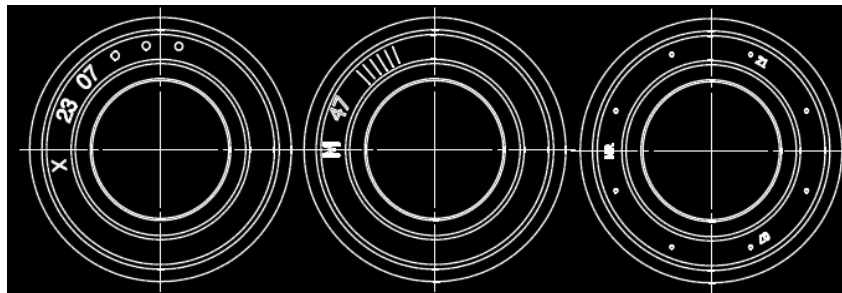


*Ilustración 5: Diferentes tipos de válvulas dispensadoras.*



Se realizaron pruebas para verificar que el proceso no causara desgaste o daño a los barriles, se analizaron espreas de llenado, alineación de boquilla de llenado y de patentes de envases, así como condiciones de operación. Los resultados de las pruebas indicaron, que los cabezales de lavado y llenado eran ligeramente de mayor diámetro que el sugerido, además, una vez dañado el empaque de gas, la pieza queda susceptible a filtraciones de los fluidos de lavado, que finalmente provocan en el interior del empaque desprendimiento del núcleo y del hule, y por consecuencia fugas. Se determinó reemplazar las espreas de lavado y llenado por nuevas con las especificaciones recomendadas por el fabricante.

Se detectaron tres diferentes tipos de empaque en los barriles, con los datos históricos recolectados se observó que la mayoría de fallas ocurrieron un tipo de empaque en particular, el cual parecía ser el más susceptible al proceso. Por lo que cuando este tipo de unidad se detectaba en proceso debía ser separada como mantenimiento correctivo. En la *ilustración 6* se ilustran los tres tipos de empaque, el que está en el centro es el que se detecta con mayor vulnerabilidad.



*Ilustración 6: Tipos de empaques o válvulas de gas utilizadas en los barriles.*

Finalmente, en lo que respecta al mantenimiento, no se tiene un programa establecido. El mantenimiento es únicamente en los envases en los que el daño es visible ya sea por apariencia o por fuga después de llenado. De esta manera se decide desarrollar e implementar un plan de mantenimiento que permita regularizar la mayor cantidad de mantenimientos pendientes, durante el transcurso del año 2011.

### **CAPITULO III**

El objetivo fue corregir las principales causas de daño a las válvulas de gas y enseguida elaborar un plan de mantenimiento que permitiera regularizar los mantenimientos retrasados así como establecer un calendario adecuado para los mantenimientos futuros. Realizar las reparaciones pendientes y correctivas, sin provocar desabasto en la línea de producción, ni tener un alto inventario en el almacén de mantenimiento.

### 3. DISEÑO EXPERIMENTAL

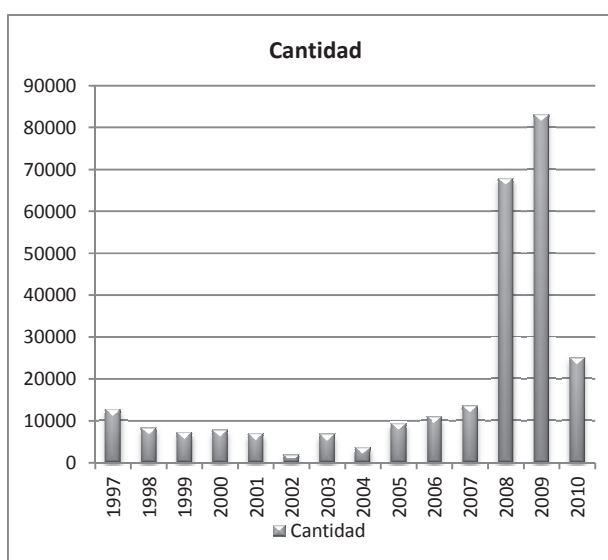
El mantenimiento de los barriles era únicamente correctivo. La separación de envase para reparación se realizaba en la línea de producción. Si el daño era muy visible, el barril se separaba antes de llenarse, pero si el daño no era fácilmente perceptible, la detección podía ser después de ser llenado, justo antes de colocar el tapón, o podía incluso ser detectado hasta que el cliente lo recibe. En el caso de la detección en fábrica, la fuga implica, perdida de 30 litros de líquido por barril, consumibles utilizados durante el proceso, tiempo y retrabajo; para el caso de las fugas que llegan al cliente, se agregan los gastos de garantía.

Debido a que aun cuando la inspección de barriles antes de entrar a la llenadora, era estricta, continuaban ocurriendo eventos de fuga. Fue necesario que además de los mantenimientos correctivos, se implementara un plan de mantenimiento periódico preventivo.

Los proveedores de los empaques aseguran una vida útil de 5 años en las válvulas de  $CO_2$ . Se investigaron las fechas de fabricación de los barriles y el porcentaje de empaques reemplazados, los datos se muestran a continuación:

*Tabla 3: Año de adquisición y cantidades de barriles adquiridos.*

AÑO	Cantidad
1997	12770
1998	8311
1999	7218
2000	7763
2001	6960
2002	1840
2003	6800
2004	3639
2005	9367
2006	10972
2007	13575
2008	67868
2009	83117
2010	25036
<b>TOTAL</b>	<b>265236</b>



*Gráfica 2: Año de adquisición y cantidades de barriles adquiridos*

La tabla 3 y la gráfica 2, muestran el año de fabricación y la cantidad de barriles que se tiene con ese año de fabricación. El universo total de barriles es de 265,236 unidades, según la garantía del proveedor, había 64,668 barriles que requerían súbitamente sustitución de empaque, sin embargo alrededor de 30,000 unidades ya recibieron mantenimiento correctivo, quedando un restante de alrededor de 35,000 envases, aproximadamente el 13% del total.

El flujo de barriles se da entre todas las fábricas, sin embargo, únicamente tres tienen el equipo necesario para reparar envase. Cada fábrica con capacidad para realizar mantenimiento, maneja cantidades de flujo diferentes, es decir, la cantidad de barriles que una planta recibe y envía, es diferente a la otra. De tal manera que la cantidad de barriles que se debían reparar es diferente para cada una.

Se utiliza un sistema de control de barriles que permite rastreabilidad para cada uno, dentro del sistema, el barril guarda atributos que permiten monitorear características de interés como fecha de llenado, último mantenimiento, entre otros. Cada barril se identifica con una etiqueta de código de barras. El flujo de los barriles es muy simple. Se utilizan 3 estados, *ilustración 7*:

**VACIO:** Cuando son recibidos del cliente, cambia su estado *cliente* a *vacío*. Permanece vacío hasta ingresar a la línea de producción en donde se llenará y cambiará a estado *lleno*. Su siguiente estado, únicamente puede ser lleno. La recepción de barriles se captura en el sistema uno a uno. En este estado es que se debe separar en caso de ser necesaria una reparación.

**LLENO:** El departamento que recibe los envases, los envía a la línea de producción. Cuando ingresan a la línea de producción deben estar en estado *vacío*, y al finalizar si el producto es conforme para venta, se cambia a estado *lleno*.

**CLIENTE:** Cuando son facturados al cliente o agencia, el barril cambia a estado *cliente* y permanece así hasta que es devuelto nuevamente.

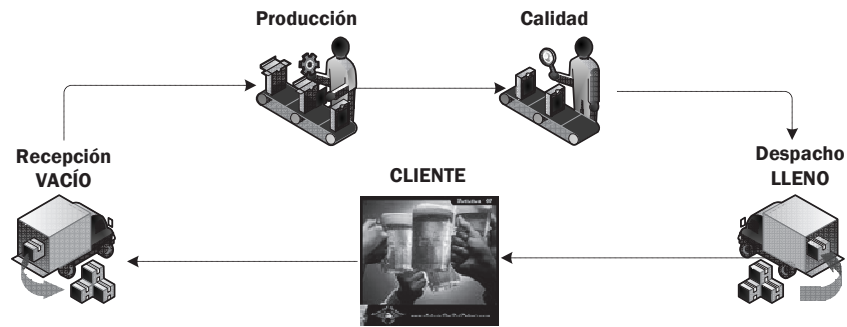


Ilustración 7: Flujo de barriles

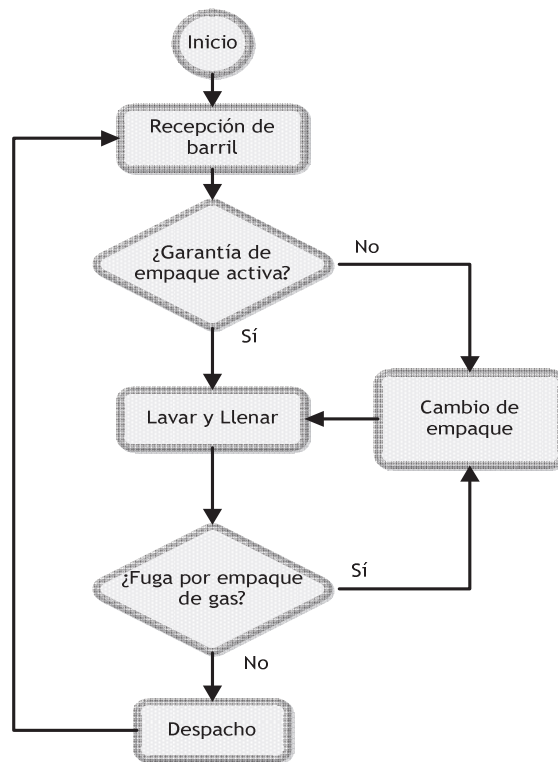


Diagrama 2: Flujo generalizado para llenado de barriles.

Dentro del sistema de control de barriles, se programó un módulo que permite alarmar y bloquear, mediante la generación de órdenes de trabajo electrónicas, para no permitir producción en un barril, que según su fecha de fabricación, ya requiere mantenimiento, *diagrama 4*, sin embargo, si se bloquean todos los barriles que requieren mantenimiento, se corre el riesgo de desabasto en las líneas de producción, o exceso de inventario en el almacén de mantenimiento, por tal razón

se requiere controlar y dosificar la cantidad de barriles que se deben almar, de manera que la capacidad de reparación no sea superada por la cantidad órdenes de trabajo que se generen. El código de los barriles es un código numérico que respeta un orden secuencial según la fecha de manufactura de cada envase.

Los envases pueden llegar a mantenimiento por dos canales, los de mantenimiento preventivo y los de mantenimiento correctivo. Los primeros se generan vía órdenes de trabajo de generación automática al momento de recibirlos del cliente, dependiendo de la edad de los barriles. Los correctivos son envases que se detectan dañados en la línea de producción y son separados antes de llenarse, para evitar posibles fugas. La cantidad de barriles que se separan por mantenimiento periódico es controlable, pero los de mantenimiento correctivo no son manipulables.

La tasa aproximada de barriles de mantenimiento correctivo es de dos envases por turno trabajado. Los turnos en los que no hay producción, con excepción de dos turnos (para limpieza y mantenimiento de la línea), semanalmente se tienen dos personas disponibles para el mantenimiento de barriles. Actualmente solo hay un kit de mantenimiento. El tiempo aproximado de reparación es de 32 barriles por turno.

Se pretendía que el plan de mantenimiento aplicara para las tres embarriladoras que tienen capacidad para reparar barriles, sin embargo los parámetros bajo los cuales se desarrolló el plan fueron los de Guadalajara, esto debido a la complejidad para recopilar datos y realizar mediciones. Además de los barriles vencidos en fecha, se debieron considerar los envases que independientemente del mantenimiento periódico, requieran mantenimiento correctivo.

De manera sintetizada, fue necesario un plan de mantenimiento, que permitiera poner al corriente los mantenimientos retrasados y que estableciera un calendario adecuado para los mantenimientos futuros.

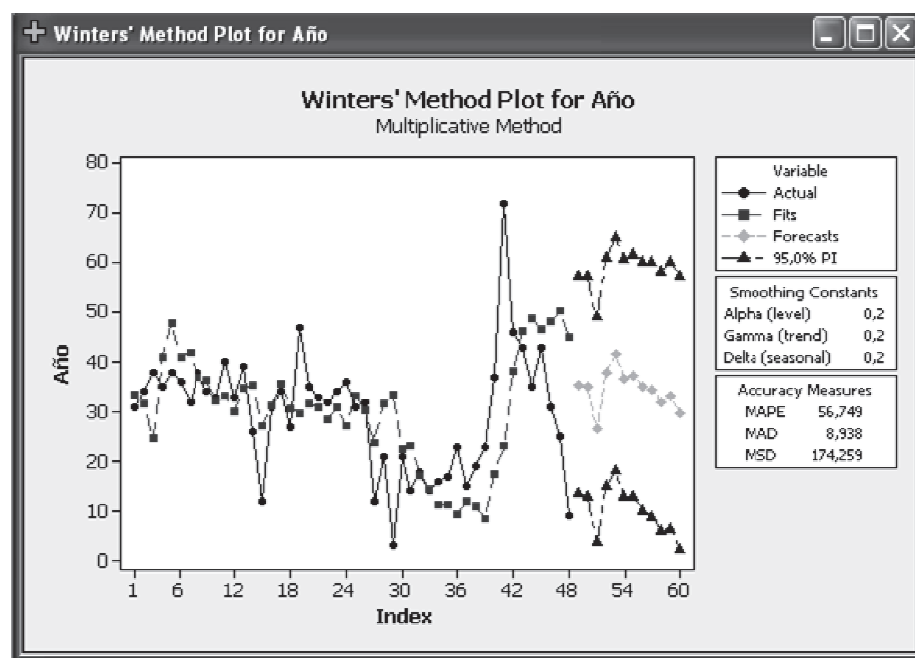


### 3.1 Pronósticos de llegadas y de producciones.

Se utilizó *MINITAB*, para obtener los pronósticos de las producciones, se utilizaron los cuatro últimos años como datos históricos, *tabla 4*. Se seleccionó la metodología de Winters, *gráfica 3*, ya que resultó ser la que entregaba un error menor, basándonos en el parámetro *MAPE*, en comparación con *Promedios Móviles* o el método de *Descomposición*. Los detalles de los pronósticos se agregan en el anexo 1.

*Tabla 4: Pronóstico de producciones para el 2011*

MES	Producciones			Turnos de producción				Pronóstico 2011	
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009		2010
Enero	7824	10138	8048	3708	31	39	31	15	35
Febrero	8657	6559	8269	4874	34	26	32	19	35
Marzo	9644	2895	2915	5973	38	12	12	23	26
Abril	8864	7839	5404	9394	35	31	21	37	37
Mayo	9680	8729	565	18555	38	34	3	72	40
Junio	9158	7013	5451	11760	36	27	21	46	36
Julio	8225	12034	3551	11179	32	47	14	43	37
Agosto	9774	8950	4528	8981	38	35	18	35	35
Septiembre	8623	8573	3481	10954	34	33	14	43	34
Octubre	8329	8121	4090	8043	33	32	16	31	32
Noviembre	10357	8776	4408	6374	40	34	17	25	33
Diciembre	8477	9131	5866	2267	33	36	23	9	29



*Gráfica 3: Pronóstico de producciones para el 2011*

Los turnos de producción mostrados en la *tabla 4*, se obtuvieron, utilizando los datos de barriles producidos y la eficiencia promedio del año correspondiente.

Enseguida se muestra la ecuación:

$$T.Prod = \frac{BPM}{TPT (EF)} \quad (ec 1)$$

*T.Prod*: Turnos de producción.

*BPM*: Barriles producidos en el mes correspondiente.

*TPT*: Tasa de producción teórica.

*EF*: Eficiencia del año correspondiente.

El pronóstico de turnos de producción, nos entrega información acerca de periodos el personal tendría más tiempo para dedicar al mantenimiento.

Para el pronóstico de llegada de barriles se recopiló la información de las bases de datos de la fábrica y se elaboró un programa en *Excel*, *ilustración 8*, para procesar la información. El procedimiento se muestra a continuación. Se obtienen los códigos de los barriles que se recibieron durante cada mes del 2010. El archivo obtenido de las bases de datos se carga en una hoja de *Excel* para filtrar la información deseada.

PRESENTACION	NUMERO	CVENUEVA	UBICACION	CERVEZA	CONDICION	DISTRIBUIDOR	ULT. RECEPCION	ULT. LLENADO	ULT. DESPACHO	DIAS	UBIC.	STS.VEN	
A	112990	COMODATO	MOD-ISP	OK	PUERTO VALLARTA	2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1		PUERTO VALLARTA	PUERTO VALLARTA	OK
A	113000	COMODATO	NEG-NOD	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113006	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113016	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113017	COMODATO	NEG-NOD	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113024	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113067	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113068	COMODATO	NEG-NOD	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113077	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113097	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113100	COMODATO	NEG-NOD	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113112	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113138	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113144	COMODATO	NEG-NOD	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113146	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK
A	113150	COMODATO	MOD-ISP	OK		2010-12-03	2010-12-03	2010-12-02	1				OK

*Ilustración 8: Barriles que llegaron durante el año 2010.*

Debido a que el sistema utilizado para el control de barriles maneja formatos diferentes y no es posible manipularlo para contabilizar, se construyó una hoja electrónica que permite dar formato y contar la cantidad de barriles que llegaron de cada año de fabricación. Para investigar el año de fabricación, el sistema busca en que rango un determinado envase, de los rangos que se tienen clasificados como se muestra a continuación.

*Tabla 5: Código de los barriles según su año de fabricación y localidad.*

Lotes	Numeración con formato						
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Planta 7
1997	F1 00001 - F1 03321	F2 00001 - F2 03051	F3 00001 - F3 00601	F4 00001 - F4 02001	F5 00001 - F5 00301	-	F7 00001 - F7 00501
1998	F1 03322 - F1 07322	F2 03052 - F2 04102	F3 00602 - F3 01202	-	F5 00302 - F5 01163	-	F7 00502 - F7 01002
1999	F1 07323 - F1 10323	F2 04103 - F2 05153	F3 01203 - F3 01503	-	F5 01164 - F5 01732	-	F7 01003 - F7 01503
2000	F1 10324 - F1 15296	F2 05154 - F2 06154	-	F4 02002 - F4 02502	-	-	F7 01504 - F7 02004
2001	F1 15297 - F1 19297	F2 06155 - F2 07235	-	F4 02503 - F4 03003	-	-	F7 02005 - F7 03085
2002	-	F2 07236 - F2 08316	-	-	F5 01733 - F5 02293	-	-
2003	F1 19298 - F1 21298	-	-	-	F5 02294 - F5 02854	F6 00001 - F6 03241	-
2004	F1 21299 - F1 21819	-	-	-	-	F6 03242 - F6 05400	-
2005	F1 21820 - F1 24827	F2 08317 - F2 09397	F3 01504 - F3 02212	-	-	F6 05401 - F6 07563	-
2006	-	F2 09398 - F2 10458	-	-	-	F6 07564 - F6 10517	-
2007	F1 24828 - F1 29328	F2 10459 - F2 12945	F3 02213 - F3 05219	-	F5 02855 - F5 03415	F6 10518 - F6 13012	-
2008	F1 29329 - F1 30844	-	-	F4 03004 - F4 03108	-	F6 13013 - F6 24950	-
2009	F1 30845 - F1 32844	F2 12946 - F2 14030	-	-	F5 03416 - F5 04416	F6 24951 - F6 26941	-

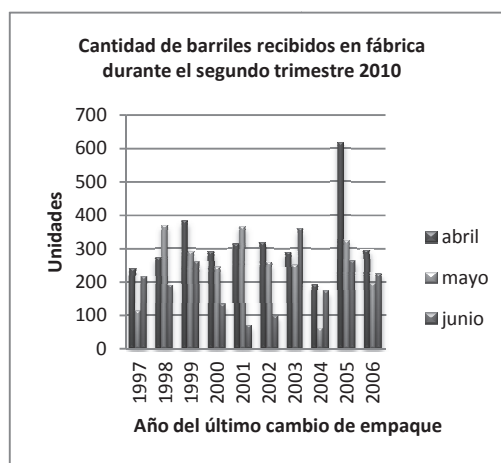
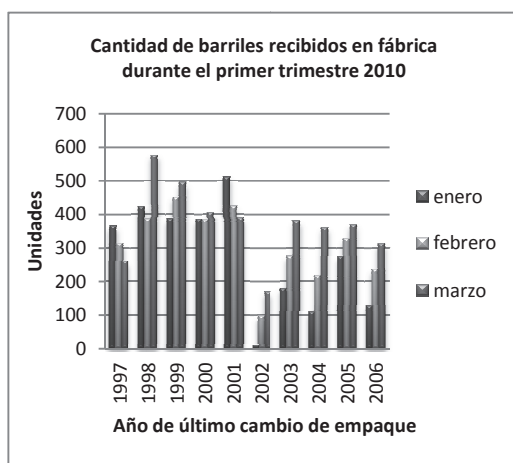
La *tabla 5* muestra los códigos que se han asignado a los barriles comprados, dependiendo del año en que estos han sido manufacturados y de la fábrica que los pagó. De esta manera podemos identificar mediante el código, cuáles barriles son los más atrasados y darles prioridad.

Después de procesar los datos de los registros de recepción de barril vacío, se obtiene el condensado que se muestra en la *tabla 6*.

Tabla 6: Número de barriles que llegaron durante el 2010 y su año de fabricación.

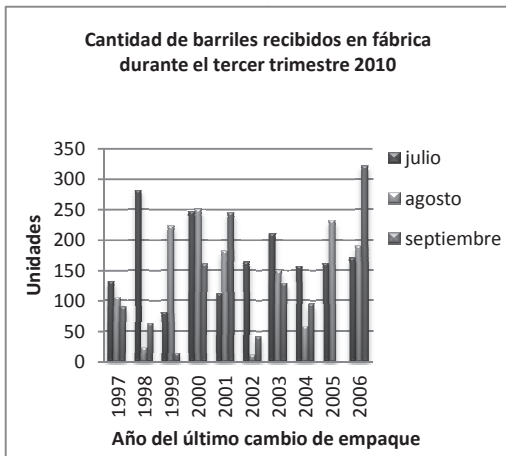
Tabla de recepción de barriles durante 2010										
Mes	Clasificación de Generaciones									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Enero	365	423	386	385	511	9	179	109	274	128
Febrero	313	386	451	384	424	97	275	217	327	236
Marzo	260	576	495	405	389	168	380	360	369	312
Abril	240	273	383	290	313	318	288	191	618	295
Mayo	112	369	290	244	366	258	250	60	324	195
Junio	215	190	260	133	70	98	359	173	263	224
Julio	132	282	81	247	112	164	210	157	162	170
Agosto	106	23	223	250	182	11	150	58	232	190
Septiembre	90	63	14	161	245	41	129	95	0	322
Octubre	69	77	51	103	90	57	170	19	150	45
Noviembre	81	91	81	98	153	10	206	39	109	64
Diciembre	108	90	43	118	109	61	40	100	117	80

En las *gráficas 4 a 7*, se muestra la cantidad de barriles que se recibieron durante el año 2010, durante cada mes del periodo.

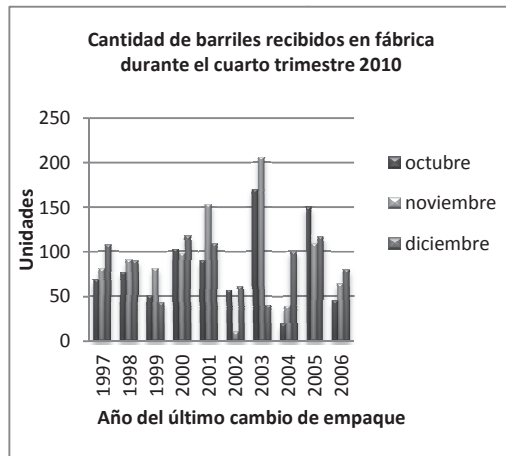


Gráfica 4: Barriles recibidos 1er trimestre 2010

Gráfica 5: Barriles recibidos 2do trimestre 2010



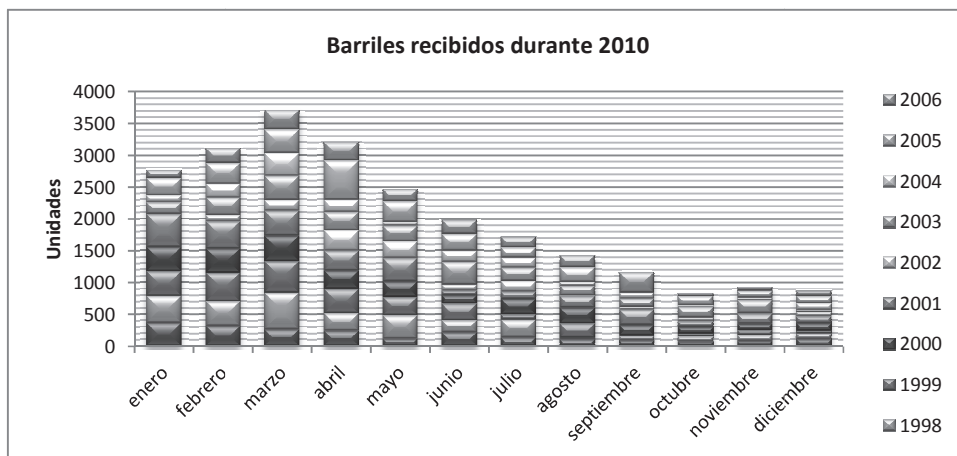
Gráfica 6: Barriles recibidos 3er trimestre 2010



Gráfica 7: Barriles recibidos 4to trimestre 2010

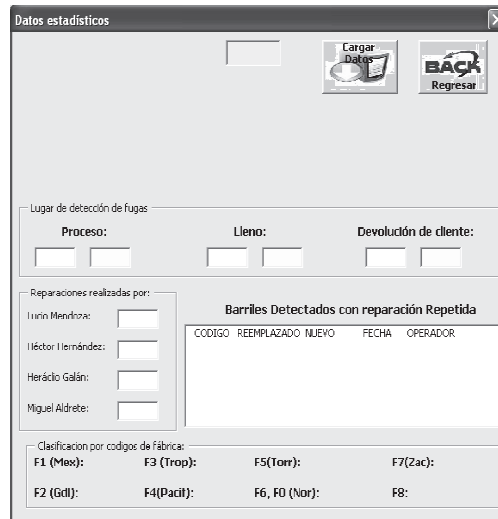
Del 2006 hacia atrás todos los envases requieren mantenimiento, pero hay que bloquearlos de una manera dosificada en la medida que se pueda reparar, comenzando por los más antiguos. Al tiempo determinado para agregar otro lote al rango de barriles que se bloquearan en la llegada, le llamaremos **periodo de inclusión**. Al número de año que se incluya con el nuevo periodo de inclusión le llamaremos **lote**.

Los contenedores fueron contabilizados únicamente la primera vez en que se recibieron, para evitar contar varias veces el mismo envase, y de ésta manera detectar la necesidad real de reparación. En la *gráfica 8* se muestra el acumulado de cantidades de barriles registrados como necesidad de cambio de empaque.



Gráfica 8: Acumulado de recepción de barriles con diferente código durante 2010.

Se desarrolló una interfaz utilizando *Excel* y *Visual Basic*, la cual procesa los datos en un formato amigable para eliminar barriles que lleguen repetidos, *ilustración 9*.



*Ilustración 9: Interfaz para manejar datos de barriles.*

Los datos recolectados se utilizaron como valores de entrada para el modelo matemático, se omitieron los meses enero y febrero, puesto que la implementación inició en marzo 2011. Se deciden utilizar datos del 2010 debido a la falta de datos históricos previos, se tiene el objetivo de incrementar el 10% la actual actividad de embarrilado, por lo que a las cantidades del 2010 se agrega el porcentaje esperado de crecimiento, y tales datos se utilizan como esperados para el siguiente año. En la *tabla 7* se muestra el estimado para el 2011.

*Tabla 7: Estimado de recepción del barril 2011*

Estimado para 2011										
Clasificación de Generaciones										
Mes de Recepción	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Enero</b>										
<b>Febrero</b>										
<b>Marzo</b>	286	633	544	445	427	184	417	396	405	343
<b>Abril</b>	263	300	421	319	344	349	316	210	679	324
<b>Mayo</b>	123	405	319	268	402	283	275	66	356	214
<b>Junio</b>	236	208	286	146	76	107	394	190	289	246
<b>Julio</b>	145	310	89	271	123	180	231	172	178	187
<b>Agosto</b>	116	25	245	274	200	12	164	63	255	209
<b>Septiembre</b>	98	69	15	177	269	45	141	104	0	354
<b>Octubre</b>	75	84	56	113	99	62	187	20	164	49
<b>Noviembre</b>	89	100	89	107	168	11	226	42	119	70
<b>Diciembre</b>	118	98	47	129	119	67	44	109	128	87



### 3.2 Planteamiento de modelo matemático PL.

**Objetivo:** Elaborar un plan de mantenimiento, que permita poner al corriente los mantenimientos retrasados y que establezca un calendario adecuado para los mantenimientos futuros. Realizar las reparaciones pendientes y correctivas, sin provocar desabasto en la línea de producción, ni tener un alto inventario en el almacén de mantenimiento.

De acuerdo a lo planteado, se elaboró el modelo matemático para la solución de la necesidad. Se utilizó para resolver el modelo, la herramienta *Solver Premium*, con un motor *Standard GRG Nonlinear*, el modelo utilizó 132 variables de auxiliares, 24 variables de decisión y 13 restricciones. Los datos de entrada provienen de un pronóstico.

*El criterio de optimización:*

#### **Minimizar requerimiento de personal externo**

*Variables enteras de decisión:*

$x_i$ : Personal externo requerido en el mes

$g_i$ : Generaciones bloqueadas del mes  $i$

$Toln$ : Tolerancia de barriles acumulados en el almacén de mantenimiento.

**Parámetros modificables.** Son parámetros de operación que el planeador define en base a las características y capacidades del proceso, son las condiciones actuales y parámetros de trabajo:

$TL_i$ : Turnos de limpieza en el mes  $i$  [turnos/mes].

$TM_i$ : Turnos de mantenimiento a maquinaria en el mes  $i$  [turnos/mes].

$TPF$ : Personal de fábrica disponible en el mes  $i$  [personas/mes].

$DL_i$ : Días laborables en el mes  $i$  [días/mes].

$KM_i$ : Kits de mantenimiento disponibles en el mes  $i$  [kits/mes].

$Ttp$ : Tasa de reparación por turno por persona [barriles/turno].

$Tol$ : Tolerancia máxima de acumulado de barriles a reparar por mes [barriles/mes].

$RA$ : Reparaciones mínimas anuales requeridas [barriles].

$TTe_i$ : Turnos totales personal externo disponibles en mes  $i$  [turnos/mes].

$Tct$ : Tasa de barriles para correctivo por turno [barriles/turno].

**Variabes auxiliares.** Proviene de un cálculo intermedio o de parámetros:

- $TD_i$ : Turnos disponibles para reparación con personal fábrica en mes  $i$  [turnos/mes].
- $TTf_i$ : Turnos totales personal de fábrica en el mes  $i$  [turnos/mes].
- $BF_i$ : Barriles reparados por personal de fábrica en el mes  $i$  [barriles/mes].
- $BE_i$ : Barriles reparados por personal externo en el mes  $i$  [barriles/mes].
- $BPE_i$ : Barriles que debe cubrir personal externo sin considerar tolerancia [barriles/mes].
- $BC_i$ : Barriles mantenimientos correctivos en el mes  $i$  [barriles/mes].
- $BP_i$ : Barriles mantenimiento periódico en el mes  $i$  [barriles/mes].
- $BRA_i$ : Barriles para reparación acumulados en el mes  $i$ , que no se repararon en  $i - 1$ . [barriles/mes].
- $BM_i$ : Total de barriles en mantenimiento en el mes  $i$  [barriles/mes].
- $CPE_i$ : Capacidad de reparación del personal externo en mes  $i$  [barriles/mes].
- $RRE_i$ : Reparaciones requeridas por personal externo en el mes  $i$  [barriles/mes].
- $TPR_i$ : Total de personal dedicado a la reparación en el mes  $i$  [personas/mes].
- $Y_{jk}$ : **Variable auxiliar entera para incluir en el mantenimiento determinada generación.**  $j$ : [1 – 12],  $k$ : [1 – 11].

**Datos de entrada provenientes del pronóstico:**

- $TP_i$ : Turnos de producción en el mes  $i$  [turnos/mes].
- $BR_{ig}$ : Barriles recibidos en el mes  $i$  de la generación  $g$  [barriles/mes].

### 3.3 Modelo matemático:

Función objetivo:

$$MinZ = \sum_{i=1}^{12} x_i \quad (ec\ 2)$$

Sujeto a:

- Calcular turnos totales que trabaja el personal de fábrica.

$$TTf_i = 2 * DL_i \quad (ec\ 3)$$

- Calcular los turnos disponibles que tiene el personal de fábrica para reparación de barriles.

$$TD_i = TTf_i - TP_i - TL_i - TM_i \quad (ec\ 4)$$

- Calcular cuántos barriles serán de mantenimiento correctivo.

$$BC_i = Tct * TP_i \quad (ec\ 5)$$

- Calcular capacidad de reparación por personal de fábrica.

$$BF_i = PFD_i * Ttp * TD_i \quad (ec\ 6)$$

- Calcular barriles a reparar preventivos.

$$BP_i = \sum_{k=1}^{G_i} BR_{ig} * Y_{ig} \quad (ec\ 7)$$

- Calcular total de barriles a reparar:

$$BM_i = BP_i + BC_i + BRA_i \quad (ec\ 8)$$

- Calcular barriles acumulados pendientes de reparar en el mes  $i$

$$si\ i > 1 \quad BRA_i = BM_{i-1} - BF_{i-1} + BE_{i-1} \quad (ec\ 9)$$

$$si\ i < 2 \quad BRA_i = 0 \quad (ec\ 10)$$

- Calcular barriles que no se cubrió la reparación con personal de fábrica.

$$si: BM_i > BF_i \quad BPE_i = BM_i - BF_i \quad (ec\ 11)$$

$$si: BM_i < BF_i \quad BPE_i = 0 \quad (ec\ 12)$$

- Calcular la capacidad de reparación del personal externo.

$$CPE_i = x_i * TTe_i * Ttp_i \quad (ec\ 13)$$

### Restricciones:

- El requerimiento de reparación por personal externo debe ser mayor que los barriles que no se alcanzaron a reparar por personal de fábrica, considerando que se permite una tolerancia de acumulado de barriles por reparar al mes.

$$RRE_i \geq BPE_i - Toln \quad (ec 14)$$

- Para limitar que no se contrate personal externo si no se necesita, establecemos que no se pida personal externo si no hay requerimiento de reparación.

$$RRE_i \geq x_i \quad (ec 15)$$

- Equipo disponible para reparaciones:

$$PFD_i + x_i \leq KM_i \quad (ec 16)$$

- Tolerancia máxima de barriles que quedaran pendientes para el mes  $i + 1$ .

$$Toln \leq Tol \quad (ec 17)$$

- Cumplir con un requerimiento mínimo de reparaciones al año.

$$RA \leq \sum_1^{12} BF_i + \sum_1^{12} BE_i \quad (ec 18)$$

Para el manejo de las variables auxiliares  $Y_{jk}$  que se utilizaron para controlar el bloqueo de generaciones:

- No se puede desbloquear generaciones de un mes a otro, es decir solo se pueden agregar generaciones.

$$G_i = \sum_{k=1}^{11} Y_{ik} \quad (ec 19)$$

$i: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12.$

$$G_i \leq G_{i+1} \quad (ec\ 20)$$

$$i: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11.$$

- En las generaciones, un valor dado incluye a sus consecutivos anteriores.

$$Y_{jk} \geq Y_{j,k+1} \quad (ec\ 21)$$

$$k: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11.$$

$$j: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12.$$

- Asegurar que el personal de fábrica no esté desocupado, con esta restricción controlamos el bloqueo de generaciones.

$$BM_i \geq BF_i \quad (ec\ 22)$$

Restricciones de no negatividad y límites.

$$x_i \geq 0 \quad (ec\ 23)$$

$$G_i \geq 0 \quad (ec\ 24)$$

$$Tol \geq Toln \geq 0 \quad (ec\ 25)$$

$$1 \leq Y_{jk} \geq 0 \quad (ec\ 26)$$

$$j: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12.$$

$$k: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11.$$

### 3.4 Solución del problema

Tomando como inicio el estimado para el año 2011 (tabla 7), se procede a calcular cuando conviene bloquear las distintas generaciones de barriles, y decidir si se requiere contratar personal externo y cuando.

Con el pronóstico de la producción anual, ilustrado en la tabla 4, se muestra la cantidad de turnos disponibles que tiene el personal de fábrica para hacer mantenimiento a los envases. La utilización del personal interno es al 100%.

Se recolectan los parámetros faltantes, como se muestra en la *tabla 8*, para comenzar los cálculos de las variables auxiliares y posteriormente de la solución óptima.

Tabla 8: Parámetros para 2011.

DATOS TEÓRICOS 2011											
MES	TURNOS DISPONIBLES PARA BARRILES [TDi]	TURNOS TOTALES POR MES [Tfi]	TURNOS DE PRODUCCIÓN POR MES [Pfi]	TURNOS DE MANTENIMIENTO A EQUIPO POR MES [Tmi]	TURNOS DE LIMPIEZA A EQUIPOS POR MES [Lfi]	DÍAS LABORABLES POR MES	PERSONAL INTERNO DISPONIBLE EN EL MES [Pfi]	BARRILES REPARADOS EN FÁBRICA [Bfi]	BARRILES A MANTENIMIENTO CORRECTIVO [BCi]	TASA DE REPARACIÓN POR TURNO POR PERSONA [Ttp]	TOLERANCIA NECESARIA PERMISIBLE DE ACUMULADOS [TOL]
Enero	6	50	35	4	5	25	0	0	100	30	300
Febrero	3	46	35	4	4	23	0	0	92	30	300
Marzo	18	52	26	4	4	26	0	0	104	30	300
Abril	1	46	37	4	4	23	2	64	92	30	300
Mayo	0	50	40	5	5	25	2	0	100	30	300
Junio	8	52	36	4	4	26	2	512	104	30	300
Julio	4	52	37	5	6	26	2	256	104	30	300
Agosto	9	52	35	4	4	26	2	576	104	30	300
Septiembre	8	50	34	4	4	25	2	512	100	30	300
Octubre	8	50	32	5	5	25	2	512	100	30	300
Noviembre	9	50	33	4	4	25	2	576	100	30	300
Diciembre	11	50	29	5	5	25	2	704	100	30	300

Enseguida se describen los parámetros referentes a la *tabla 8*.

**TURNOS DISPONIBLES PARA BARRILES [TDi]:** Al total de turnos, se le descuenta el tiempo que el personal estará en actividades de producción, mantenimiento de maquinaria o limpieza. El resultado es el número de turnos que el personal puede hacer sustitución de empaques de barriles.



*TURNOS TOTALES POR MES [TTfi]*: Son el total de turnos que se tiene disponible el personal de embarrilado, de acuerdo a los días laborables.

*TURNOS DE PRODUCCIÓN POR MES [TPi]*: Son los turnos pronosticados como producción, de acuerdo a los datos históricos de años anteriores.

*TURNOS DE MANTENIMIENTO A EQUIPO POR MES [TMi]*: De acuerdo al plan de mantenimiento a maquinaria, se dedica un turno por semana a revisiones y reparaciones menores.

*TURNOS DE LIMPIEZA A EQUIPOS POR MES [TLi]*: Al finalizar la jornada semanal, se realiza una limpieza a los equipos desenergizados, dicha actividad requiere de un turno semanalmente.

*DÍAS LABORABLES POR MES*: Son los días efectivos de trabajo, descontando días festivos.

*PERSONAL INTERNO DISPONIBLE EN EL MES [PFDi]*: Es la cantidad de trabajadores que están disponibles para hacer reparación de barriles.

*BARRILES REPARADOS EN FÁBRICA [BFi]*: Es la cantidad de barriles de acuerdo a los turnos disponibles y personal de embarrilado disponible para reparación de barriles, durante el mes en curso.

*BARRILES A MANTENIMIENTO CORRECTIVO [BCi]*: Son los barriles que son separados justo antes de entrar a proceso y son detectados mediante inspección visual.

*TASA DE REPARACIÓN POR TURNO POR PERSONA [Ttp]*: Es la cantidad de barriles que una persona puede reparar en un turno.

*TOLERANCIA NECESARIA PERMISIBLE DE ACUMULADOS [TOL]*: Es la capacidad máxima del almacén de barriles por reparar.

El modelo se resuelve bajo la plataforma de *Excel*, utilizando el complemento de optimización *Solver Premium 10*, en su versión de prueba.

Aunque el problema es de programación lineal, el sistema sugirió el motor de solución *Non linear Gear*, para problemas no lineales.

Se calculan los parámetros auxiliares, y se corre el modelo obteniendo los siguientes resultados, que se muestran en la *tabla 9*.

*Tabla 9: Resultados de variables auxiliares por mes.*

MES	BARRILES PREVENTIVO [BPi]	BARRILES REPARADOS EN FÁBRICA [BFi]	TURNOS EN EL MES DISPONIBLES PARA PERSONAL EXTERNO [TTei]	CAPACIDAD DE REPARACIÓN DE PERSONAL EXTERNO	BARRILES DE REPARACIÓN ACUMULADOS [BRAi]	TOTAL DE BARRILES PARA REPARAR (INT Y EXT) [BMi]	TOTAL DE BARRILES A REPARAR POR PERSONAL EXTERNO [BPEi]	CAPACIDAD DE REPARACIÓN DE PERSONAL EXTERNO [CPEi]	REQUERIMIENTO DE REPARACIÓN, PERSONAL EXTERNO [RREi]	TOTAL DE PERSONAL DEDICADO A REPARACIÓN [TPR]
Enero	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0
febrero	0	0	0	0	100	192	192	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	192	296	296	0	0	0
Abril	0	64	23	690	296	388	324	690	24	3
Mayo	528	0	25	750	0	628	628	750	328	3
Junio	730	512	26	780	0	834	322	780	22	3
Julio	544	256	26	780	0	648	392	780	92	3
Agosto	860	576	26	780	0	964	388	780	88	3
septiembre	814	512	25	750	0	914	402	750	102	3
octubre	745	512	25	750	0	845	333	750	33	3
noviembre	902	576	25	750	0	1002	426	750	126	3
diciembre	818	704	25	0	0	918	214	0	0	2

Enseguida la descripción de las columnas mostradas en la *tabla 9*.

*BARRILES PREVENTIVO [BPi]*: son los barriles que el sistema bloquea de manera automática, debido a que necesitan mantenimiento.

*BARRILES REPARADOS EN FÁBRICA [BFi]*: son los barriles que son atendidos por el personal de embarillado.

*TURNOS EN EL MES DISPONIBLES PARA PERSONAL EXTERNO [TTei]*: son los turnos disponibles para el personal externo.

*BARRILES REPARADOS POR PERSONAL EXTERNO* [ $BE_i$ ]: son los barriles atendidos por personal externo al departamento de barriles.

*BARRILES DE REPARACIÓN ACUMULADOS* [ $BRA_i$ ]: Son los barriles que pudieran quedar pendientes de los meses anteriores.

*TOTAL DE BARRILES PARA REPARAR (INT Y EXT)* [ $BM_i$ ]: al total de barriles bloqueados por el sistema se le agregan los de mantenimientos correctivos detectados en producción.

*TOTAL DE BARRILES A REPARAR POR PERSONAL EXTERNO* [ $BPE_i$ ]: Es la cantidad de barriles que se asignan a reparación por personal externo.

*CAPACIDAD DE REPARACIÓN DE PERSONAL EXTERNO* [ $CPE_i$ ]: Es la cantidad de barriles que puede atender el personal externo de acuerdo a los turnos disponibles y la cantidad de personas autorizadas.

*REQUERIMIENTO DE REPARACIÓN, PERSONAL EXTERNO* [ $RRE_i$ ]: Es la cantidad mínima que debe ser cubierta por el personal externo, a fin de respetar la restricción de no más de 300 unidades en el almacén de mantenimiento.

*TOTAL DE PERSONAL DEDICADO A REPARACIÓN* [ $TPR$ ]. Es el total de personal que será necesario para cubrir con las necesidades de mantenimiento, cuando la cantidad sea mayor a dos, significa que se necesita personal externo.

En la *tabla 10* se muestran los valores resultantes de las variables de decisión.

*Tabla 10: Valores óptimos.*

MES [ $i$ ]	PERSONAL EXTERNO EXTRA [ $X_i$ ]	GENERACIONES QUE SE BLOQUEAN [ $G_i$ ]
(1) ENERO	0	0
(2) FEBRERO	0	0
(3) MARZO	0	0
(4) ABRIL	1	1
(5) MAYO	1	2
(6) JUNIO	1	3
(7) JULIO	1	3
(8) AGOSTO	1	5
(9) SEPTIEMBRE	1	7
(10) OCTUBRE	1	10
(11) NOVIEMBRE	1	10
(12) DICIEMBRE	0	10

La interpretación de los resultados obtenidos es la siguiente: Los meses de enero, febrero y marzo, tienen valores nulos debido a que la implementación se realizó a partir del mes de abril. En el mes de abril, el sistema no bloquea ninguna generación de barriles porque se tiene una cantidad pendiente; el resultado también indica que será necesaria una persona externa para realizar mantenimiento.

El mes de mayo señala que se deben bloquear hasta la generación dos, es decir, barriles cuya última colocación de empaque corresponda a los años 1997 y 1998. Así mismo se indica que se requiere apoyo de una persona externa. Para los meses siguientes se interpreta de la misma forma, es importante recordar que las generaciones incluyen a las que las preceden, de tal manera que en el mes de octubre, todos los barriles cuyo empaque sea anterior al 2006 deben ser bloqueados.

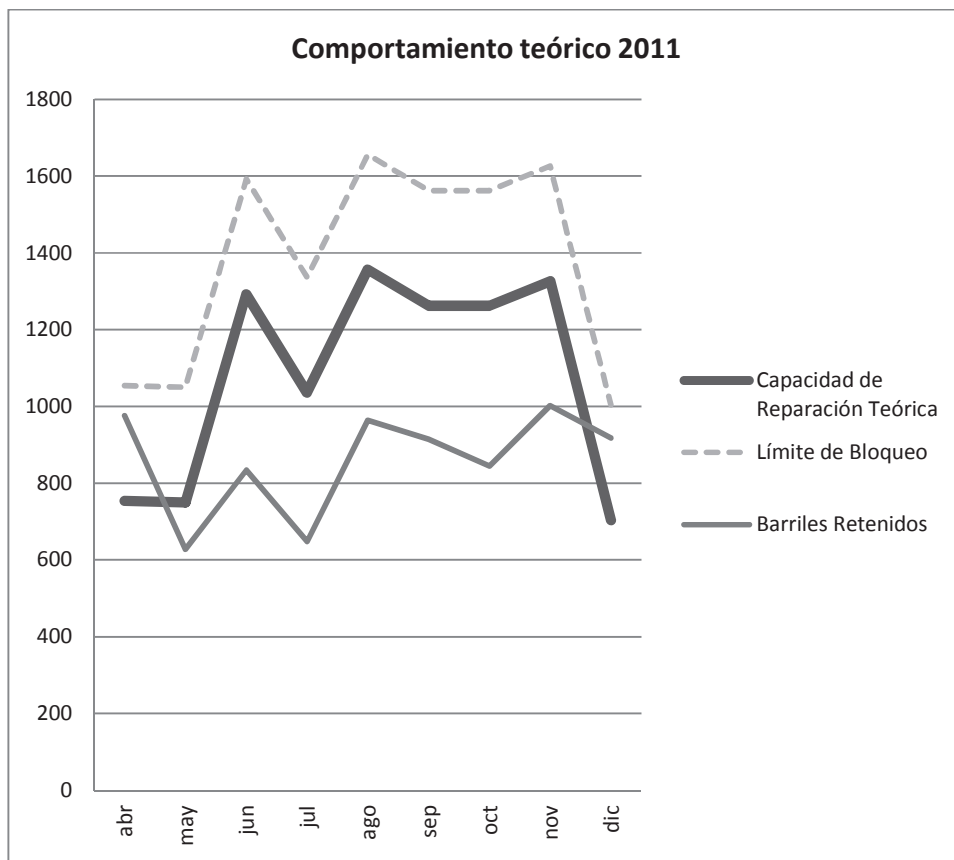
La *tabla 11* muestra las variables auxiliares, que indican cuando el sistema debe bloquear cierta generación en un mes determinado.

*Tabla 11: Mapa de variables binarias auxiliares.*

MES DEL 2011	Clasificación de Generaciones									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mayo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Junio	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Julio	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Septiembre	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Octubre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Noviembre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Diciembre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

La anterior sugiere que los meses que tienen asociado un 1, son los que automáticamente serán bloqueados para mantenimiento.

Los resultados obtenidos con los parámetros óptimos, se resumen en la *gráfica 9* que se muestra a continuación. En la gráfica se observa con línea punteada el *límite de bloqueo*, el cual considera la cantidad máxima de barriles, que de acuerdo a la tolerancia del almacén pueden ser retenidos. *La capacidad de reparación teórica* es la cantidad de envases que pueden ser reparados de acuerdo a l recurso humano disponible. Finalmente *barriles retenidos* es la cantidad de barriles que son separados por sistema o por correctivo para realizarse mantenimiento.



*Gráfica 9: Comportamiento teórico del mantenimiento de barriles 2011.*

La capacidad de reparación teórica máxima durante el año 2011 es de 9,742 unidades, la cantidad de unidades reparadas fue de 7,729 unidades, esto es una utilización del 79%, por lo que tenemos un 21% de capacidad para hacer frente a variaciones, además de 300 unidades para almacenar en inventario.

### 3.5 Costos teóricos

Como justificación también se estima el costo económico de la propuesta. Como base, se cuenta con los siguientes recursos, cuyos costos son independientes al proyecto:

- 2 personas sindicalizadas por turno.
- 1 equipo de herramientas de reparación.
- 1 prensa.
- 1 equipo para verificar correcta reparación.

Será necesario:

- Adquirir otro equipo de herramientas para la reparación.
- Acondicionar con suministro de agua, aire, voltaje 220 tres fases.
- Mesa de trabajo.
- Patín eléctrico.
- Personal externo.
- Refacciones para los barriles.
- Una persona en el área de vacío, que separe barriles a mantenimiento y sustituya etiquetas de barras dañadas.
- Que el personal sindicalizado del área no sea asignado a otras áreas aun cuando no se esté produciendo.

*Tabla 12: Inversión inicial en unidades monetarias.*

Inversión inicial	
Prensa para despresurización.	\$ 55,00
Par de cuchillas para extraer seguro	\$ 8,50
Palanca con boquilla quita-seguro	\$ 12,00
Prensa para extracción de empaque de sello	\$ 32,00
Caña de prueba para verificar después del mantenimiento.	\$ 81,00
Manómetro de prueba con entrada tipo D (boquilla de barril)	\$ 10,00
Mesa de acero inoxidable con tina	\$ 180,00
Acondicionamiento de área de trabajo	\$ 40,00
Instalación de tomas de aire, agua, electricidad.	\$ 10,00
Costo capacitación	\$ 18,00
Patín eléctrico	\$ 160,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 606,50</b>

Tabla 13: Costos asociados a la operación en unidades monetarias.

Costos variables unitarios	
Empaque para válvula de CO2	\$ 5,50
Resorte de empaque	\$ 7,00
Resorte de caña	\$ 7,00
Seguro de boquilla	\$ 6,00
Seguro de resortes	\$ 8,00
Anillo de poliuretano	\$ 0,10
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 33,60</b>
Costos fijos mensuales	
Salario de personal externo	\$ 600,00
Servicios electricidad, aire.	\$ 30,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 630,00</b>

En las *tablas 12 y 13*, se muestran los costos de la inversión inicial y costos asociados a la operación; dentro de los costos variables se incluyen las refacciones necesarias en los mantenimientos la cuales, son directamente proporcionales a la cantidad de barriles que sean reparados.

Tabla 14: Costo del proyecto en unidades monetarias.

MES	TOTAL DE BARRILES PARA REPARAR (INT Y EXT) [Bmi]	Costo variable	PERSONAL EXTERNO	Costos fijos	Total gastos mensuales
Enero	100	\$3,360.00	0	\$30	\$3,390.00
Febrero	192	\$6,451.20	0	\$30	\$6,481.20
Marzo	296	\$9,945.60	0	\$30	\$9,975.60
Abril	388	\$13,036.80	1	\$630	\$13,666.80
Mayo	628	\$21,100.80	1	\$630	\$21,730.80
Junio	834	\$28,022.40	1	\$630	\$28,652.40
Julio	648	\$21,772.80	1	\$630	\$22,402.80
Agosto	964	\$32,390.40	1	\$630	\$33,020.40
Septiembre	914	\$30,710.40	1	\$630	\$31,340.40
Octubre	845	\$28,392.00	1	\$630	\$29,022.00
Noviembre	1002	\$33,667.20	1	\$630	\$34,297.20
Diciembre	918	\$30,844.80	0	\$30	\$30,874.80
INVERSIÓN INICIAL					\$606.50
<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>\$265,460.90</b>



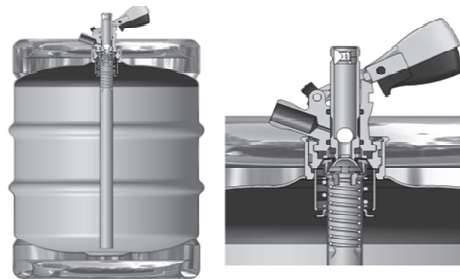
En la *tabla 14* se muestra el monto total y mensual de gastos de la operación. Ya están considerados tanto las refacciones de los envases como los sueldos del personal de mantenimiento.

Se obtiene que el costo teórico del proyecto será de \$265,461 unidades monetarias, con ésta inversión se pretende disminuir la aparición de fugas y avanzar en la regularización de reparaciones de barriles pendientes.

### 3.6 Implementación

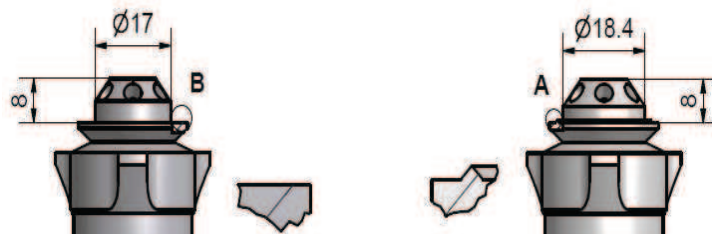
Aspectos trabajados para la implementación del plan.

- Como se mencionó en los antecedentes, las acciones comenzaron estableciendo un control y monitoreo estricto del tipo de válvulas dispensadoras que se utilizan en los barriles. *Ilustración 10.*



*Ilustración 10: Ilustración de la válvula dispensadora.*

- Se reemplazaron las espreas de lavado y llenado por nuevas con las especificaciones recomendadas por el fabricante. *Figura 11*, las espreas de llenado y lavado son iguales.

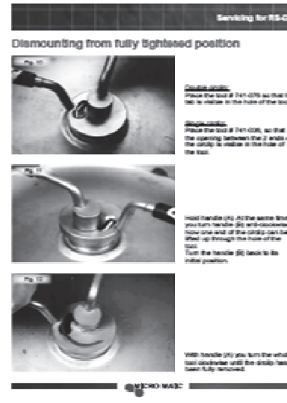


*Ilustración 11: Espreas de lavado y llenado, "A" diseño anterior, "B" nuevo diseño*

- Definir un lugar con las condiciones y suministros adecuados. Se colocó y acondicionó mesa de trabajo y un espacio organizado para facilitar el flujo de los envases mientras estaban en reparación. Se delimitaron espacios y se adquirió el herramental necesario, *ilustración 12*.

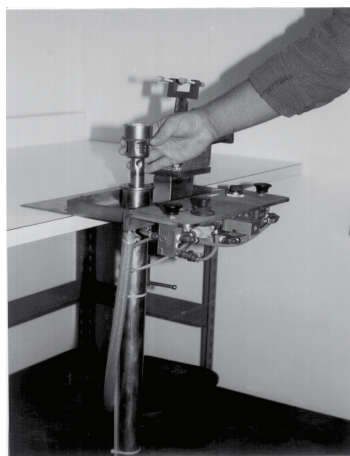


*Ilustración 12: Mesa de trabajo para reparación de barril.*



*Ilustración 13: Manual de reparación de barril.*

- Estandarizar las actividades de reparación de barriles a fin de eliminar la posibilidad de fugas debidas a reparaciones deficientes [17]. Se realizó una instrucción detallada de la actividad, *ilustración 13*, y se capacitó al personal.
- Se adquirió un equipo para revisar las válvulas reparadas antes de ser ensambladas con los barriles, lo anterior para detectar de inmediato una anomalía en la reparación, *ilustración 14*.



*Ilustración 14: Equipo para verificar ausencia de fugas en las válvulas de barril.*

- Se elaboró una aplicación para la administración y el control de los barriles reparados. En ésta se registra la persona que realiza la actividad, la fecha, hora y la razón por la que el envase llega a mantenimiento, *ilustración 15*.



*Ilustración 15: Sistema para el control de mantenimiento de barriles.*

- Finalmente es necesario definir las cantidades de inventario [18, 10] de refacciones que deben manejarse los nueve meses restantes del 2011.

$Pp$ : Punto de pedido.  
 $Tr = 30$  Tiempo de reposición de inventario en días.  
 $Cp = 28$  Consumo promedio (diario).  
 $CM = 96$  Consumo máximo (diario).  
 $Cm = 24$  Consumo mínimo (diario).  
 $EM$ : Existencia máxima.  
 $Em$ : Existencia mínima (de seguridad).  
 $CP$ : Cantidad de pedido.  
 $E = 320$  Existencia actual.

$$Em = Cm (Tr) = 24(30) = 720 \text{ kits de reparación} \quad (\text{ec } 27)$$

$$EM = CM(Tr) + Em = (96)(30) + 720 = 3600 \text{ kits de reparación} \quad (\text{ec } 28)$$

$$Pp = Cp(Tr) + Em = (28)(30) + 720 = 1500 \text{ kits de reparación} \quad (\text{ec } 29)$$

$$CP = EM + E = 3600 - 320 = 3280 \text{ kits de reparación} \quad (\text{ec } 30)$$

Se solicitó al almacén, trabajar con estos valores, hasta diciembre 2011. En ese momento se debe recalcular de acuerdo a los nuevos datos.

Cantidad máxima: *3,600 kits de reparación.*

Cantidad mínima: *720 kits de reparación.*

Punto de pedido: *1,500 kits de reparación.*

Cantidad de pedido: *3,280 kits de reparación.*

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

El programa de mantenimiento inició su ejecución en abril del 2011. La expectativa era observar como en el transcurso del 2011, las fugas disminuyeran. En el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos durante el año previsto, así como una evaluación en base a las metas planteadas inicialmente. También se compara ante dos escenarios, uno con una estrategia diferente, y otro en el que no se toman acciones, para de esta manera determinar la efectividad del proyecto.

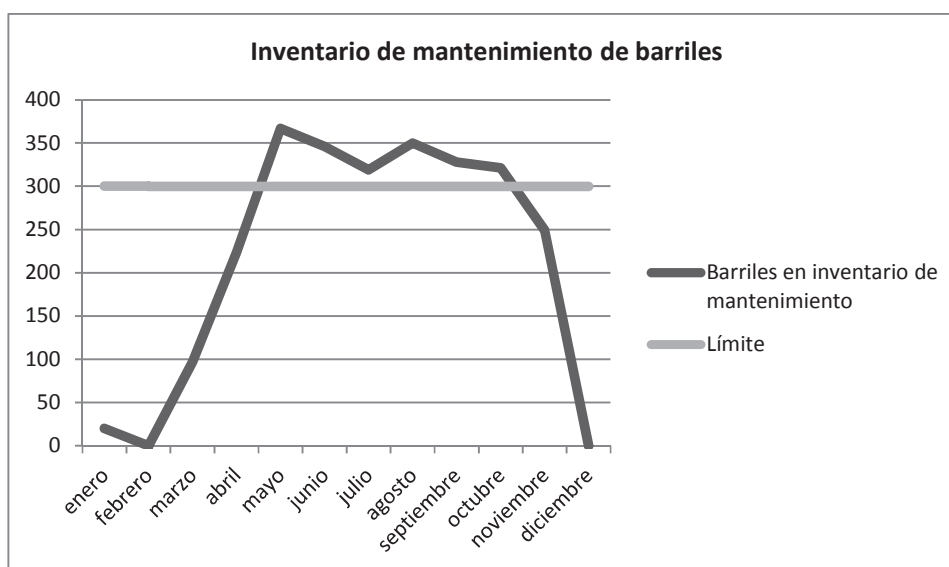
#### 4.1 Resultados 2011

Durante 2011 se segregaron 8,914 barriles, los cuales fueron reparados. En seguida, en la *tabla 15*, se muestran los flujos, según el periodo bloqueado.

*Tabla 15: Cantidades de barriles retenidos por sistema para mantenimiento en 2011.*

Mes de recepción	Clasificación de generaciones									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Enero										
Febrero										
Marzo										
Abril	646									
Mayo	221	652								
Junio	161	204	592							
Julio	185	298	392							
Agosto	76	104	129	404	213					
Septiembre	58	36	28	152	136	205	401			
Octubre	35	78	19	96	87	21	113	206	432	157
Noviembre	23	17	14	57	24	13	46	379	153	133
Diciembre	18	21	7	11	101	4	32	112	99	106

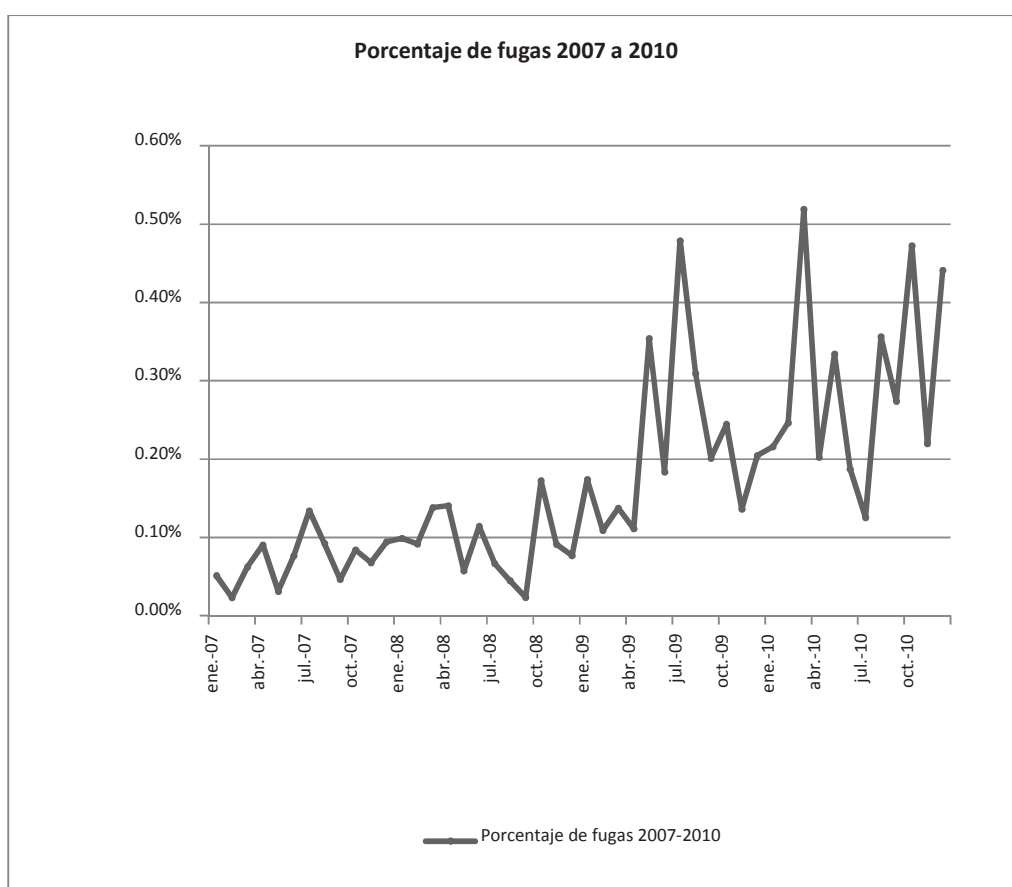
De acuerdo a la capacidad de atención, en la *gráfica 10*, se observa la cantidad de inventario en mantenimiento.



*Gráfica 10: Inventario de barriles para mantenimiento.*

## 4.2 Comparación y evaluación de funcionalidad

Puesto que es un programa eventual, no hay un valor establecido o histórico para realizar una comparación, sin embargo la manera de evaluar la efectividad del modelo, se compara la tendencia de devoluciones por fugas en los barriles, desde el 2007 hasta el 2010, contra las fugas que se presentaron en 2011. En la *gráfica 11* se muestra el porcentaje de fugas según las unidades producidas. Se observa que la tendencia va en aumento.



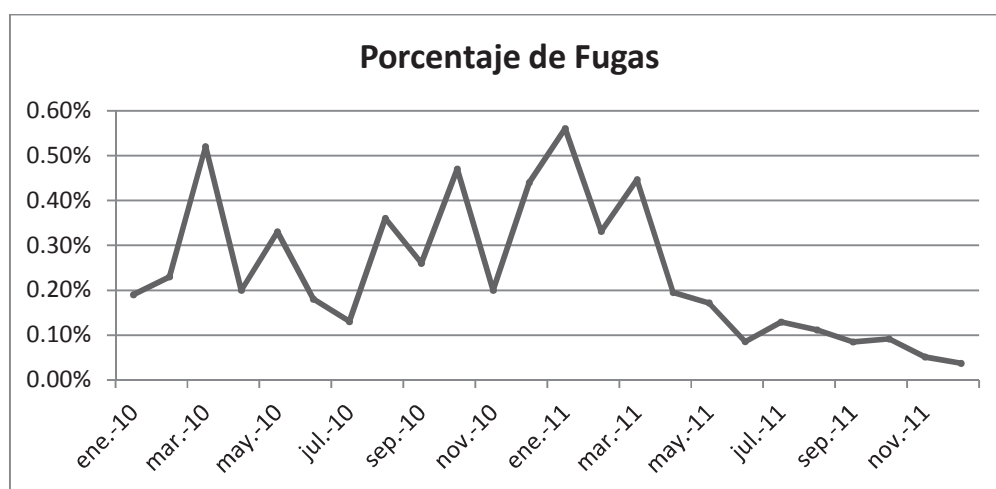
Gráfica 11: Tendencia en la ocurrencia fugas.

Se recolectaron los datos del año 2011 y se compararon con las fugas registradas en el 2010. En la *tabla 19* se ilustra la comparación de las fugas registradas durante el 2010, contra las fugas registradas durante el 2011, realizando el mantenimiento, *tabla 16*.



Tabla 16: Comparativa de quejas de cliente durante 2010 y 2011.

MES	2010			2011		
	Unidades	Fugas Cliente	% falla	Unidades	Fugas Cliente	% falla
Enero	3708	7	<b>0.19%</b>	5888	33	<b>0.56%</b>
Febrero	4874	11	<b>0.23%</b>	6944	23	<b>0.33%</b>
Marzo	5973	31	<b>0.52%</b>	9184	41	<b>0.45%</b>
Abril	9394	19	<b>0.20%</b>	12832	25	<b>0.19%</b>
Mayo	18555	62	<b>0.33%</b>	16320	28	<b>0.17%</b>
Junio	11760	21	<b>0.18%</b>	18720	16	<b>0.09%</b>
Julio	11179	14	<b>0.13%</b>	12416	16	<b>0.13%</b>
Agosto	8981	32	<b>0.36%</b>	11680	13	<b>0.11%</b>
Septiembre	10954	29	<b>0.26%</b>	15360	13	<b>0.08%</b>
Octubre	8043	38	<b>0.47%</b>	6560	6	<b>0.09%</b>
Noviembre	6374	13	<b>0.20%</b>	9760	5	<b>0.05%</b>
Diciembre	2267	10	<b>0.44%</b>	16256	9	<b>0.06%</b>

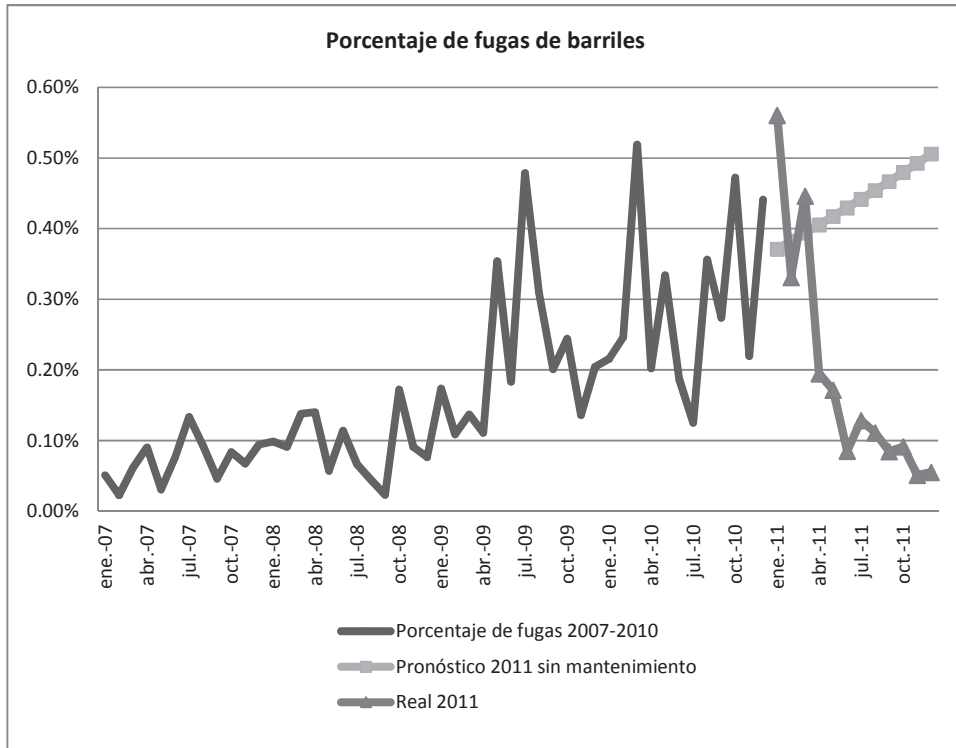


Gráfica 12: Tendencia de fugas a la baja durante 2011.

En la *gráfica 12*, se observa claramente como después del mes de abril, que comienza el mantenimiento, inmediatamente se refleja una disminución en las fugas. Esto también se le atribuye a que se procura que los barriles entren al proceso en cuanto sean reparados.

Se utilizaron porcentajes debido a que las cantidades de barriles producidos, no son necesariamente iguales durante los diferentes periodos.

Enseguida se exhiben los resultados obtenidos durante la implementación en el año 2011. En la siguiente gráfica se muestra como la tendencia se corrige, *gráfica 13*.



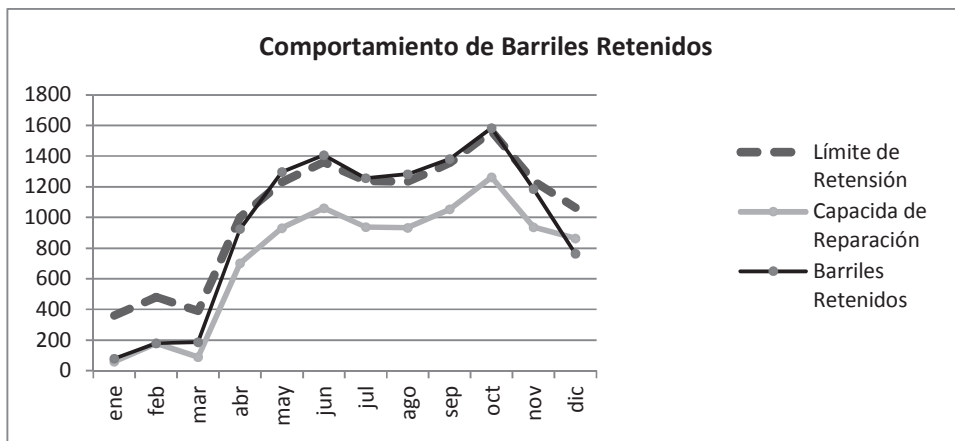
Gráfica 13: Comparación y corrección de la tendencia de fugas en barriles.

En la gráfica anterior, claramente se puede observar como la aparición de fugas decrece al comenzar las labores de mantenimiento. Lo anterior muestra que las acciones generaron resultados satisfactorios. Los barriles que entran a mantenimiento son reintegrados a la producción a la brevedad posible.

En el transcurso del 2011 se cambió el empaque a 9,013 unidades. En la *tabla 17* y la *gráfica 14*, se ilustra el comportamiento de los barriles retenidos, contra el límite sugerido, así mismo se observa la capacidad de reparación de acuerdo al personal disponible. Algunos periodos rebasaron la capacidad permisible en el almacén, sin embargo, no tiene gran importancia dado que el excedente no es una cantidad muy alejada del límite.

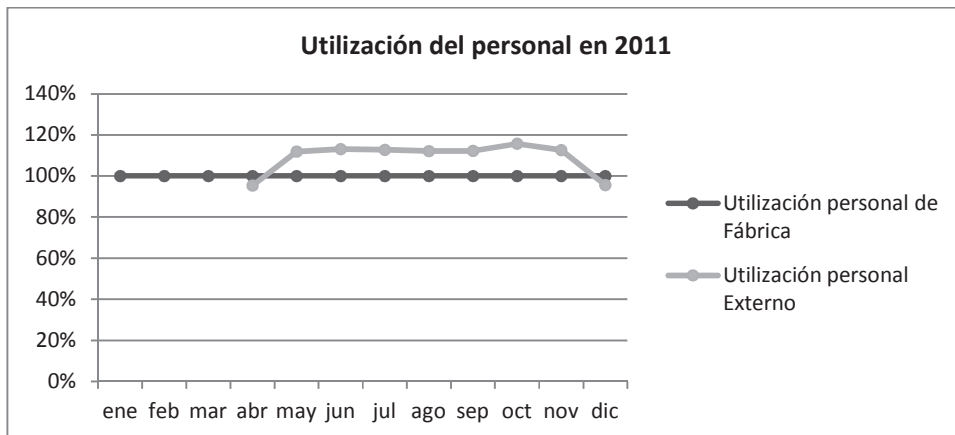
Tabla 17: Datos del comportamiento de barriles retenidos y reparados en 2011.

Mes	Límite de Retención	Capacidad de Reparación	Barriles Retenidos
Enero	360	60	80
Febrero	480	180	180
Marzo	390	90	187
Abril	1002	702	926
Mayo	1231	931	1298
Junio	1361	1061	1407
Julio	1238	938	1257
Agosto	1233	933	1283
Septiembre	1354	1054	1382
Octubre	1563	1263	1584
Noviembre	1237	937	1186
Diciembre	1065	864	765



Gráfica 14: Gráfica del comportamiento de barriles retenidos y reparados en 2011.

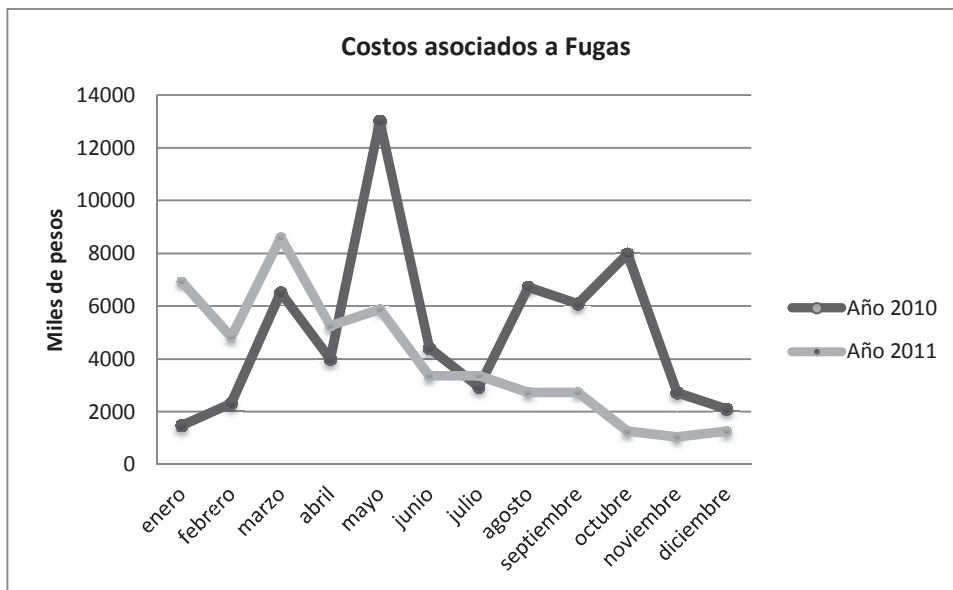
La utilización del personal se muestra a continuación en la gráfica 15.



Gráfica 15: Porcentaje de utilización del personal.

Según el modelo teórico, el mes de diciembre no sería necesario una persona extra, sin embargo, observando la tendencia del tiempo disponible de los obreros y la cantidad de inventario, se decidió conservar el personal extra en ese periodo.

En lo que respecta al beneficio económico, se presenta la *gráfica 16* con los gastos asociados a fugas durante 2010 y 2011. Del 2010 al 2011 se tiene una reducción en costos por fugas del 23% aproximadamente. Cabe mencionar que las acciones de mantenimiento preventivo iniciaron hasta el mes de abril. También es relevante mencionar que mientras que de un año a otro la actividad en el embarrilado aumento en casi 39%, las fugas disminuyeron 12%. El ahorro por disminución de fugas para 2011, fue de \$13,020 unidades monetarias, comparado con los gastos generados el año anterior.



Gráfica 16: Costos de devoluciones de barril por fuga.

En la *gráfica 16* solo se consideraron los costos de materiales, no se cuantificaron los gastos logísticos generados, o el recurso invertido en realización de reportes, ni el daño en cuanto a prestigio y confiabilidad de la marca.

En la *tabla 18* podemos observar el costo total del proyecto y las unidades a las que se les dio mantenimiento. El costo total fue mayor que el estimado, sin

embargo, gracias a que la utilización del personal aumentó, el precio por unidad disminuyó, esto generó un ahorro de \$270 unidades monetarias.

*Tabla 18: Comparación de costos de mantenimiento teóricos y reales en 2011.*

	Estimado	Real
Barriles reparados	7992	8914
Costo Total	\$ 274,297.00	\$ 305,876.00
Costo unitario	\$ 34.33	\$ 34.31

Las otras dos fábricas con actividad de embarrilado, también tomaron decisiones y elaboraron estrategias a fin de disminuir el problema de fugas, a continuación se muestra la comparación de los resultados y costos de cada una, así como una breve descripción de sus acciones.

La *Fábrica 1*, que representa el 46% de la actividad de embarrilado, decidió subcontratar el servicio de mantenimiento, enviando a reparación todos los envases recibidos cuyo último cambio de empaque haya sido antes del 2006. No reportan desabasto en sus operaciones y su porcentaje de fugas disminuyó.

La *Fábrica 2*, que representa el 23% de las actividades de embarrilado, decidió realizar los cambios de empaque en fábrica. Las reparaciones estuvieron a cargo del departamento de mantenimiento durante marzo y abril, destinaron dos personas para éste fin. La *Fábrica 2* inicialmente decidió a la recepción, retener todos los envases cuya válvula de gas excedía los 5 años de uso. Durante marzo y abril, tuvo un excedente de barriles retenidos y corrió riesgo de desabasto debido a un retraso en la captura de los mantenimientos, es decir, el personal que los reparó no estaba capacitado para registrar en sistema la actividad, por lo que fue necesario que otra persona realizara la captura. Finalmente a partir de mayo, *Fábrica 2* utilizó la misma metodología que se describió en este documento; debido a que los volúmenes de producción son parecidos, también utilizó los mismos valores de bloqueo, y a una persona externa en lugar de personal de mantenimiento.

La *Fábrica 1* gasto \$2.05 unidades monetarias por barril reparado más los costos relacionados a las refacciones. De tal manera que el ahorro comparado con esta estrategia sería de \$18,273.70 unidades monetarias.

El modelo no fue implementado en *Fábrica 1* debido a que sus condiciones son diferentes. Los volúmenes de producción y la limitante de espacio en sus instalaciones hicieron menos conveniente la estrategia para este escenario.

En la *tabla 19*, se muestran los resultados obtenidos y las comparaciones respecto a la ocurrencia de fugas, del primer y cuarto trimestre del 2011 en las tres embarriladoras.

*Tabla 19: Porcentaje trimestral de fugas en barriles durante 2011.*

<b>Porcentaje trimestral de fugas en barriles 2011</b>		
	ene - mar	oct – dic
Fábrica 1	0.26%	0.08%
Fábrica 2	0.24%	0.03%
Guadalajara	0.31%	0.06%

En la *tabla 20*, se muestra la cantidad total de unidades reparadas en las fábricas embarriladoras, presumiblemente la cantidad de barriles pendientes era de aproximadamente 35,640, de los cuales se realizaron alrededor de 33,300 mantenimientos, lo cual arroja un 94% de cumplimiento del objetivo.

*Tabla 20: unidades reparadas en las diferentes unidades de servicio.*

<b>Unidades reparadas</b>	
Fábrica 1	17,910
Fábrica 2	6,480
Guadalajara	8,914
<b>TOTAL</b>	<b>33,304</b>

Finalmente en la *tabla 21* se ilustra los ahorros obtenidos en comparación con otras estrategias. Para Guadalajara, la inversión inicial en costos fijos ajenos al proceso fue de \$5,760 unidades monetarias durante todo el año. El único requisito fue un espacio para realizar los mantenimientos.

*Tabla 21: Ahorros económicos obtenidos*

Comparador	Costo comparador	Costo Guadalajara	Ahorro
Estrategia de Fábrica 1. Contratar el servicio.	\$ 18,274	\$ 5,760	\$ 12,514
Costos de Fugas del año 2010	\$ 6,027	\$ 4,725	\$ 1,302
Costos de fugas según pronóstico 2011	\$ 13,314	\$ 4,725	\$ 8,589

### **4.3 Conclusiones**

Los resultados obtenidos, se consideran satisfactorios. Aparentemente la solución es muy sencilla y de hecho pareciera que todo se hubiera solucionado simplemente colocando una persona extra, sin embargo, la intención de este trabajo fue proporcionar una investigación formal y a su vez minimizar las posibles complicaciones que pudieran haberse presentado. Incluso cuando en el presente trabajo hay etapas de mucha especulación, definitivamente es más eficiente que tomar decisiones sin datos. Los ahorros generados y la disminución de fugas, demuestra la efectividad de las acciones.

No se hace mucho énfasis en abordar las comparaciones de los valores pronosticados contra los reales, debido a que el modelo pretende mostrar una solución flexible ante variaciones, más que predecir datos, sin embargo en los anexos se muestran algunas comparaciones.



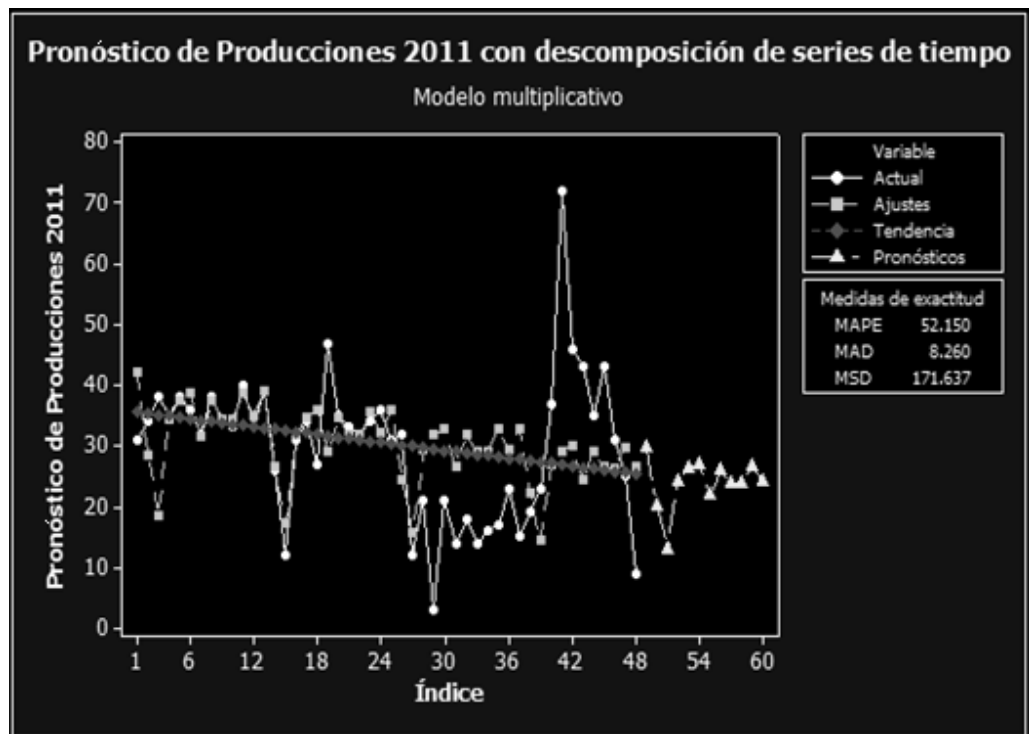
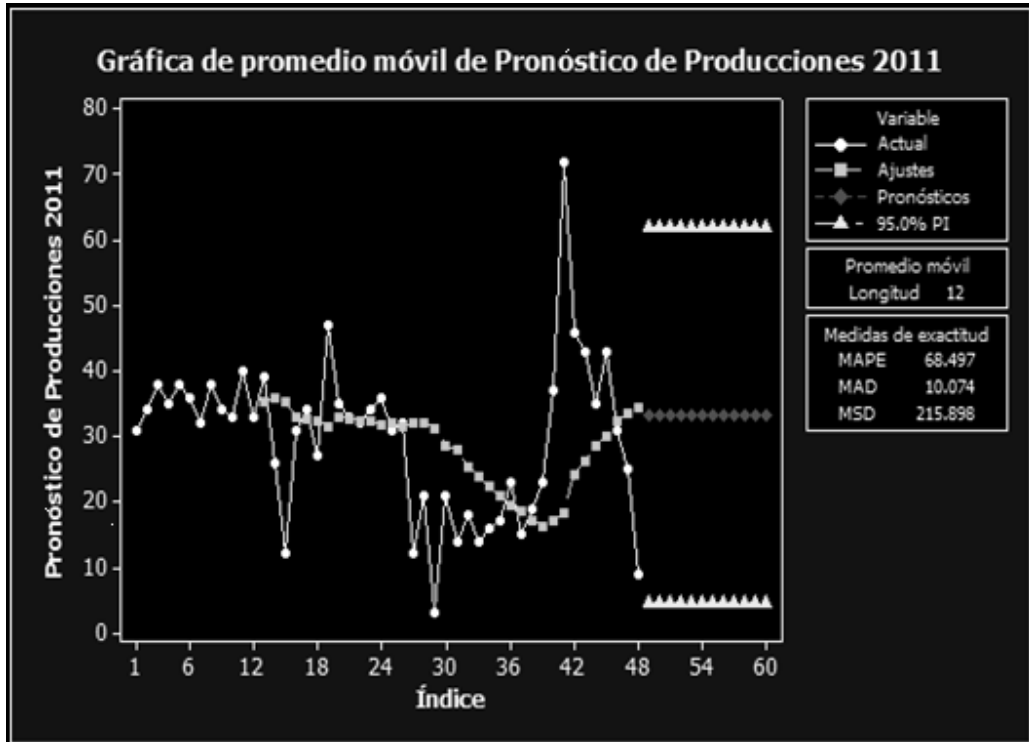
## **BIBLIOGRAFÍA:**

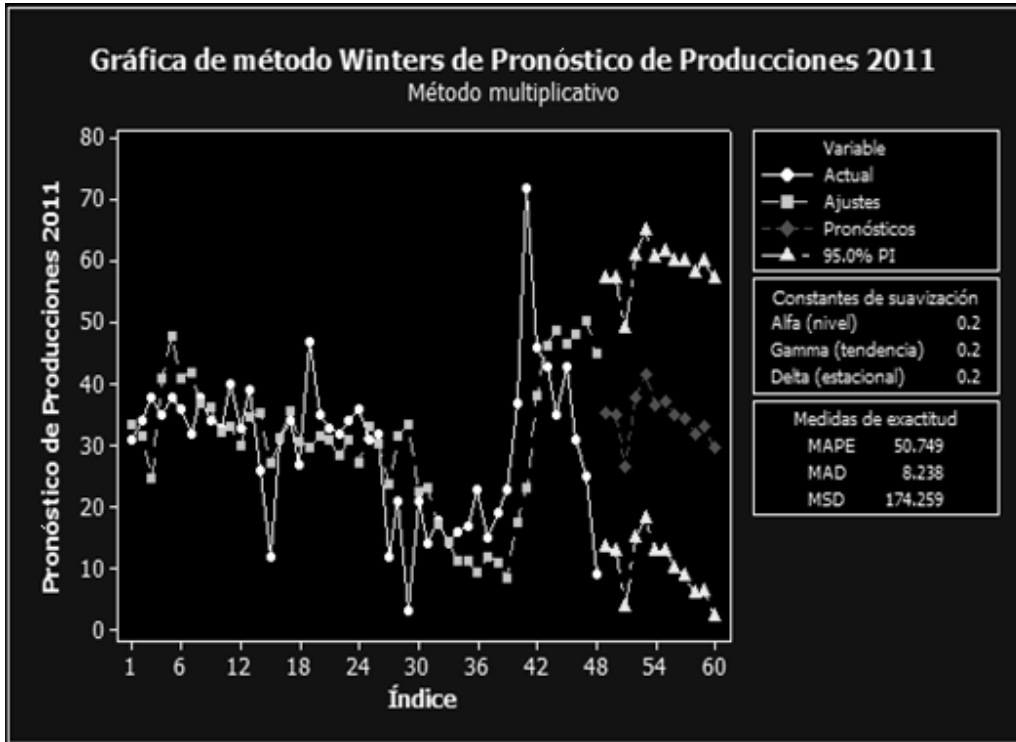
- [1] Aghezzaf, E. H.; Jamali, M. A., & Ait-Kadi, D. (2007). *An integrated production and preventive maintenance planning model*. European journal of operational research, 181(2), 679-685.
- [2] Andres, B.; Giron, J. M.; Fernandez P.; López, J. A., & Besada, E. (2004). process with the use of evolutionary algorithms. *Journal of Zhejiang University SCIENCE*, 5(4), pp. 378-389.
- [3] Armstrong, J. S. (2001). *Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners* (Vol. 30). Springer.
- [4] Barbolla R; Cerdá Emilio; Sanz P, Rosa. (2001). *Optimización: cuestiones, ejercicios y aplicaciones a la economía*. España: Prentice Hall, 2001.
- [5] Cassady, C. R., & Kutanoglu, E. (2003). *Minimizing job tardiness using integrated preventive maintenance planning and production scheduling*. *IIE transactions*, 35(6), 503-513.
- [6] Duarte, J. C.; Craveiro, J. C., & Trigo, T. P. (2006). *Optimization of the preventive maintenance plan of a series components system*. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83(4), 244-248.
- [7] Duffuaa, S.; Raouf, A., & Campbell, J. D. (2000). *Sistemas de mantenimiento: Planeación y control*. Limusa Wiley.
- [8] Fernández, J., & Raúl, M. P. (1983). *Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado*. Editorial Científico Técnico, Cuba–1983.
- [9] Hillier, F. & Lieberman, G. (2005). *Introduction to operations research*. McGraw-Hill, 3a. Edición.
- [10] Fogarty, D. W.; Blackstone, J. H., & Hoffmann, T. R. (1999). *Administración de la producción e inventarios*. Cecsca (Compania Editorial Continental).
- [11] Guerrero V. M., (1992), *Análisis Estadístico de Series de Tiempo Económicas*, Ed. Universidad Autónoma Metropolitana, México.

- [12] Grupo Modelo, *Informe de sustentabilidad 2009*. (2010). Grupo Modelo. Sitio Oficial de Grupo Modelo. <http://www.gmodelo.com.mx>
- [13] Jardine, A. K., & Tsang, A. H. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: theory and applications*. CRC press.
- [14] Lin, T. W., & Wang, C. H. (2010). *Minimization of non-periodic preventive maintenance cost in series-parallel systems*. Defence Science Journal, 61(1), 44-50.
- [15] López, C. M. A. (s.f.) *La optimización y el método científico en la toma decisiones*. En: IMDEA Matemáticas, [http://gauss.uc3m.es/web/personal\\_web/fdopico/papers/MATCOMP-CM-2007.pdf](http://gauss.uc3m.es/web/personal_web/fdopico/papers/MATCOMP-CM-2007.pdf) pp. (53-60). Universitat d Alacant.
- [16] Micromatic Frankee Corp. (2000). *Catálogo de válvulas*. Consultado en diciembre 2011. Disponible en [http://www.franke.com/content/beveragesystems/de/en/home/products/beverage\\_containers.html](http://www.franke.com/content/beveragesystems/de/en/home/products/beverage_containers.html)
- [17] Micromatic Frankee. *Manual de mantenimiento a barriles*, (s.f.). Consultado en enero 2011. Documentos de Grupo Modelo
- [18] Narasimhan, S. L.; McLeavey, D. W., & Billington, P. J. (1996). *Planeación de la producción y control de inventarios*. Prentice-Hall Hispanoamericana.
- [19] Schroeder, R., (1996) *Administración de operaciones, toma de decisiones en la función de operaciones*, McGraw Hill, México.
- [20] Sepúlveda, S. I. M. (2001). *Optimización de las líneas de producción de la Embotelladora Embonor SA*, en base al estudio del trabajo (Doctoral dissertation, Universidad de Concepción).
- [21] Terrence J. A. (1999). *Métodos numéricos aplicados a la ingeniería*. Limusa, Noriega México, D. F.
- [22] Zied, H.; Sofiene, D., & Nidhal, R. (2011). *Optimal integrated maintenance/production policy for randomly failing systems with variable failure rate*. International Journal of Production Research, 49(19), 5695-5712.

ANEXO 1:

Resultados de pronósticos de producciones, se utilizó *Winters* debido al menor MAPE:





*Pronóstico de producciones para el 2011. Método Winters*

Period	Forecast	Lower	Upper
49	35,4028	13,5059	57,2998
50	35,0136	12,7737	57,2536
51	26,4573	3,8348	49,0798
52	37,9866	14,9441	61,0291
53	41,5985	18,1005	65,0964
54	36,6897	12,7028	60,6766
55	37,3182	12,8109	61,8255
56	35,1801	10,1230	60,2373
57	34,4457	8,8111	60,0803
58	32,0900	5,8522	58,3279
59	33,2551	6,3900	60,1203
60	29,8236	2,3088	57,3385

Tabla de datos teóricos para 2011

DATOS REALES 2011																
MES	TORNOS DISPONIBLES PARA BARRILES (TDI)	TORNOS TOTALES POR MES (TTM)	TORNOS DE PRODUCCION POR MES (TPM)	TORNOS DE MANTENIMIENTO A EQUIPO POR MES (TM)	TORNOS DE LIMPIEZA A EQUIPO POR MES (TL)	DÍAS LABORABLES POR MES	REPARACION REAL REGISTRADA	CAPACIDAD DE REPARACION EN FABRICA (RFI)	CAPACIDAD DE REPARACION PERSONAL EXTERNO	BARRILES A MANTENIMIENTO CORRECTIVO (BCI)	BARRILES BLOQUEADOS POR SISTEMA	BARRILES PENDIENTES DE MANTENIMIENTO PARA SIGUIENTE PERIODO	UTILIZACION DEL PERSONAL REAL	UTILIZACION DEL PERSONAL EXTERNO TEORICA	UTILIZACION DEL PERSONAL EXTERNO REAL	RESTRICCION DE CAPACIDAD DEL ALMACEN DE MANTENIMIENTO
Enero	2	50	24	8	16	25	60	60	0	80	0	20	1	1	0	300
Febrero	6	46	28	4	8	23	180	180	0	160	0	0	1	1	0	300
Marzo	3	52	38	5	6	26	90	90	0	187	0	57	1	1	0	300
Abril	0	60	52	4	4	23	702	0	736	183	646	224	1	1	702	300
Mayo	0	72	66	2	4	27	931	0	832	201	873	357	1	1	931	300
Junio	2	84	76	2	4	28	1061	120	832	83	957	346	1	1	941	300
Julio	0	66	54	5	7	26	938	0	832	36	875	319	1	1	938	300
Agosto	0	59	48	6	5	26	933	0	832	38	926	300	1	1	933	300
Septiembre	2	75	62	4	7	25	1054	120	832	16	1016	328	1	1	934	300
Octubre	5	50	28	5	12	25	1263	300	832	12	1244	321	1	1	963	300
Noviembre	0	50	40	5	5	25	937	0	832	6	859	249	1	1	937	300
Diciembre	0	77	66	5	6	25	765	0	800	5	511	0	1	1	765	300

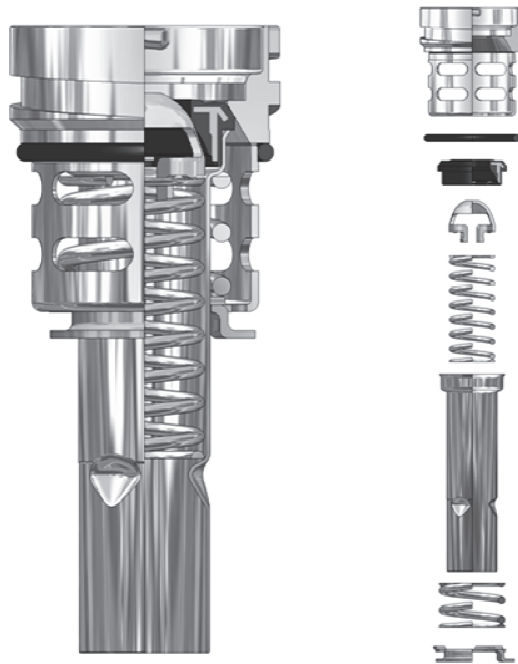
Parámetros teóricos 2011

MES	BARRILES PREVENTIVO (BPI)	BARRILES REPARADOS EN FABRICA (BFI)	TORNOS EN EL MES DISPONIBLES PARA PERSONAL EXTERNO (TTe)	CAPACIDAD DE REPARACION POR PERSONAL EXTERNO	BARRILES DE REPARACION ACUMULADOS (BRAJ)	TOTAL DE BARRILES PARA REPARAR (INT Y EXT) (BMI)	TOTAL DE BARRILES A REPARAR POR PERSONAL EXTERNO (BPE)	CAPACIDAD DE REPARACION DE PERSONAL EXTERNO (CPE)	REQUERIMIENTO DE REPARACION, PERSONAL EXTERNO (PRE)	TOTAL DE PERSONAL DEDICADO A REPARACION (TPR)
Enero	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	100	192	192	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	192	296	296	0	0	0
Abril	263	64	23	690	296	651	587	690	287	3
Mayo	528	0	25	750	0	628	628	750	328	3
Junio	730	512	26	780	0	834	322	780	22	3
Julio	544	256	26	780	0	648	392	780	92	3
Agosto	860	576	26	780	0	964	388	780	88	3
Septiembre	814	512	25	750	0	914	402	750	102	3
Octubre	745	512	25	750	0	845	333	750	33	3
Noviembre	902	576	25	750	0	1002	426	750	126	3
Diciembre	818	704	25	0	0	918	214	0	0	2

Parámetros reales 2011

DATOS TEORICOS 2011											
MES	TORNOS DISPONIBLES PARA BARRILES (TDI)	TORNOS TOTALES POR MES (TTI)	TORNOS DE PRODUCCION POR MES (TPM)	TORNOS DE MANTENIMIENTO A EQUIPO POR MES (TM)	TORNOS DE LIMPIEZA A EQUIPO POR MES (TL)	DÍAS LABORABLES POR MES	PERSONAL INTERNO DISPONIBLE EN EL MES (BDI)	BARRILES REPARADOS EN FABRICA (BFI)	BARRILES A MANTENIMIENTO CORRECTIVO (BCI)	TASA DE REPARACION POR TURNO POR PERSONAL REAL	TOLERANCIA NECESARIA PERMISIBLE DE ACUMULADOS (TOL)
Enero	6	50	35	4	5	25	0	0	100	30	300
Febrero	3	46	35	4	4	23	0	0	92	30	300
Marzo	18	52	26	4	4	26	0	0	104	30	300
Abril	1	46	37	4	4	23	2	64	92	30	300
Mayo	0	50	40	5	5	25	2	0	100	30	300
Junio	8	52	36	4	4	26	2	512	104	30	300
Julio	4	52	37	5	6	26	2	256	104	30	300
Agosto	9	52	35	4	4	26	2	576	104	30	300
Septiembre	8	50	34	4	4	25	2	512	100	30	300
Octubre	8	50	32	5	5	25	2	512	100	30	300
Noviembre	9	50	33	4	4	25	2	576	100	30	300
Diciembre	11	50	29	5	5	25	2	704	100	30	300

Figura de la válvula de un barril, para ilustrar donde está el empaque.



Reparación de barril:





Interfaz gráfica de adaptación al sistema de control de barriles.

Datos estadísticos ✕

**TOTAL DE BARRILES REPARADOS:** 397

Periodo del: 15/09/2009 al 24/11/2009





A los barriles reparados se les colocaron empaques:

<b>Originales:</b>	<b>Vulcanizados:</b>
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">396</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">100%</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">1</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">0%</span>

A los barriles reparados se les retiraron empaques:

<b>Originales:</b>	<b>Vulcanizados:</b>
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">77</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">19%</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">320</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">81%</span>

Lugar de detección de fugas

<b>Proceso:</b>	<b>Lleno:</b>	<b>Devolución de cliente:</b>
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">308</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">78%</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">24</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">6%</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">65</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">16%</span>

Reparaciones realizadas por:

Lucio Mendoza: 184

Héctor Hernández: 180

Heráclio Galán: 16

Miguel Aldrete: 7

**Barriles Detectados con reparación Repetida**

CODIGO	REEMPLAZADO	NUEVO	FECHA	OPERADOR
F607379A	Original	vulcanizado	23/09/20	Hector Hernández
F607379A	Vulcanizado	original	02/11/20	Lucio Mendoza

Clasificación por códigos de fábrica:

<b>F1 (Mex): 105</b>	<b>F3 (Trop): 42</b>	<b>F5(Torr): 2</b>	<b>F7(Zac): 3</b>
<b>F2 (Gdl): 95</b>	<b>F4(Pacif): 7</b>	<b>F6, F0 (Nor): 135</b>	<b>F8: 6</b>