



Tesis de Grado Ingeniería Industrial

**Mejora de
abastecimiento en
cañería de Polietileno**

Autor: Martín Otaduy

Tutor: Martín Tilve

2012

Resumen ejecutivo

Objetivo:

El proyecto tiene como objetivo poder determinar puntos de mejora en el proceso de compra de materiales para la distribuidora de Gas que opera en Capital Federal y barrios cercanos del sur.

La ley de privatización de Gas del estado (ley n° 24076), establece ciertas restricciones y requisitos (tales como licitaciones públicas, período mínimo de exposición de pliegos en medios de comunicación de alta difusión, etc) a la hora de realizar compras por montos superiores a \$10.000 (diez mil pesos). Dichas restricciones hacen que prácticamente cualquier compra deba ser programada con gran anterioridad, quitando capacidad de reacción ante cualquier inconveniente que pueda surgir.

Alcance:

El alcance de este proyecto será los caños de Polietileno de 25, 32, 50 y 90 mm de Diámetro. La selección de dichos caños no fue al azar, sino debido a la gran demanda de los mismos en lo que se refiere a renovación de cañerías y servicios existentes.

Dichos caños se venden en rollos de 150 metros (100 m para los de 90cm de diámetro), y son almacenados bajo media sombra.

El caso:

En 1992 a raíz de la ley de privatización de gas del estado, la empresa gas del estado deja de funcionar como tal, y sus operaciones son divididas en dos grandes ramas; transporte y distribución de gas.

En lo que hace a transporte, se cedió la concesión a dos empresas (Transportadora Gas del Norte (TGN) y Transportadora Gas del Sur (TGS)). Y en cuanto a la distribución, se dividió al país en 9 regiones cada una operada por una distribuidora. Paralelamente se crea un ente regulador encargado de regularlas (ENERGAS); este ente responde ante la secretaría de energía.

La empresa sobre la cual se realiza el proyecto de mejora en la compra de materiales, es una de estas 9 distribuidoras¹; mas precisamente aquella que opera en la zona de capital federal, y barrios del sur.

MetroGAS cuya licencia se extiende hasta 2027², opera con una red que consta de 3 presiones de trabajo (alta , media, y baja) . La alta presión se distribuye a través de cañerías de acero, siendo de vital importancia su protección catódica. La media, se canaliza a través de cañerías de acero y de polietileno³; (siendo esta última la tecnología mas reciente, menos costosa y de mayor facilidad para trabajar). Por último queda la red de baja presión, la cual se distribuye en caños de hierro fundido y de polietileno. Todas estas redes se encuentran interconectadas entre sí mediante plantas reguladoras.

Dentro de las Pautas contractuales esta establecido que la empresa al momento de finalizar la licencia, debe devolver la empresa con ninguno de sus activos fuera de su vida útil técnica. En el caso de caños de hierro fundido, esta fue fijada en 80 años.

Para esto, la empresa cuenta con programas de renovación de cañería .

Durante los últimos años MetroGAS se vio afectada por factores político/económicos que hacen que la empresa no cuente con capital para realizar nuevas extensiones de red, por lo que actualmente solamente se esta haciendo renovación de redes, y casi nada de extensiones.

Antiguamente la empresa realizaba contratos marcos con sus proveedores de caños, en los que estos también se encargaban del almacenamiento. Simplificando así los problemas de Stocks y abastecimiento.

Actualmente debido a las pocas obras que realiza la empresa, se dejó de usar este tipo de contratos. Por lo que se paso a tener que administrar un Stock que antes no se tenía (físicamente).⁴

Esta nueva forma de manejar los stocks, hicieron que en varias oportunidades, se deba alterar el orden de las obras, por la falta de material en almacén.

¹ Estas son : MetroGAS, GasBan, Ecogas Cuyo, Ecogas Cordoba, Litoral Gas, Camuzzi Gas Pampeada, Camuzzi Distribuidora Sur, GasNor distribuidora Norte, y GasNea

² Con opción de extenderla hasta el 2037

³ Esta tecnología comienza a ser utilizada por MetroGAS. Antiguamente Gas del Estado utilizaba caños de acero para la MP, y de hierro fundido para la BP.

⁴ Antiguamente los rollos eran llevados directamente a la obra.

Para corregir esto, se muestran dos modelos teóricos, el modelos de stock básico, y el modelo básico con stock de seguridad. También se explica cómo varia el modelo en el caso que se trate de un análisis multiproducto sin restricciones; donde tenemos cantidades óptimas para cada producto, pero más de un Costo Total mínimo (regiones de isocostos).

Si bien el modelo optado es el básico, se podría decir que a fines prácticos se busca generar un pequeño stock de seguridad incremental con el tiempo. Y la manera de generarlo es adelantando en un día periodo de reposición.

Finalmente cabe decir que se han calculado el tamaño de los lotes óptimos a pedir para cada diámetro específico, y se validaron los modelos con los datos históricos reales.

INDICE:

Resumen ejecutivo.....	1
Objetivo:.....	1
Alcance:.....	1
El caso:	1
Introducción.....	5
Selección de obras y pedido de materiales	7
Modelo teórico (modelo determinístico de Inventario).....	9
Modelo Básico.....	9
Suposiciones de modelos determinísticos.....	9
Sensibilidad de la Solución.....	14
Modelo básico con Stock de protección.....	15
Modelo multiproducto sin restricciones.....	17
Modelo de Datos.....	19
Modelo para caño de 25	19
Modelo para caño de 32	22
Modelo para caño de 50	23
Modelo para caño de 90	25
Conclusión.....	27
Fotos.....	28
Bibliografía	30

Introducción.

En 1992 a raíz de la ley de privatización de gas del estado, la empresa gas del estado deja de funcionar como tal, y sus operaciones son divididas en dos grandes ramas; transporte y distribución de gas.

En lo que hace a transporte, se cedió la concesión a dos empresas (Transportadora Gas del Norte (TGN) y Transportadora Gas del Sur (TGS)). Y en cuanto a la distribución, se dividió al país en 9 regiones cada una operada por una distribuidora. Paralelamente se crea un ente regulador encargado de regularlas (ENERGAS); este ente responde ante la secretaría de energía.

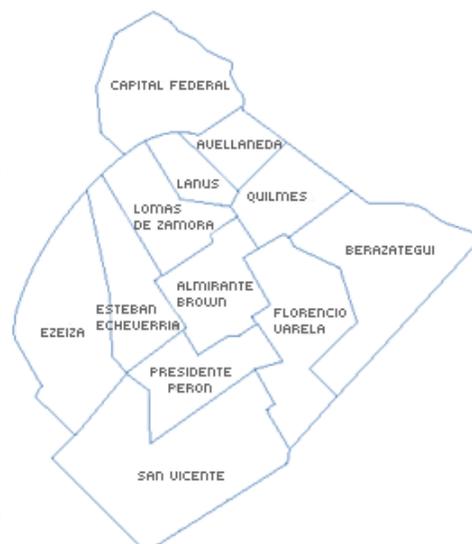
La Empresa

La empresa a estudiar, es una de estas 9 distribuidoras⁵; mas precisamente aquella que opera en la zona de capital federal, y barrios del sur (Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora, Esteban Echeverría, Ezeiza, Almirante Brown, Berazategui, Florencio Varela, Presidente Perón, y San Vicente).

Siendo la distribuidora de gas más grande de la Argentina, en términos de cantidad de clientes y volúmenes de gas entregado. MetroGas cuenta con una distribución aproximada del 22%⁶ del total del gas natural abastecido por las nueve distribuidoras; y hoy cuenta con más de 2 millones de clientes en su área de servicio.

MetroGAS cuya licencia se extiende hasta 2027⁷, opera con una red distribución que consta de 3 presiones de trabajo (alta, media, y baja).

La alta presión, dentro de la cual existen dos tipos de presiones (22 y 10 bares) se distribuye a través de cañerías de acero, siendo de vital importancia su protección catódica, para evitar la corrosión. Esta red de alta abastece directamente a Industrias, usinas y GNC. También mediante estaciones reductoras de Presión, sostienen la red de media presión.



⁵ Estas son : MetroGAS, GasBan, Ecogas Cuyo, Ecogas Cordoba, Litoral Gas, Camuzzi Gas Pampeada, Camuzzi Distribuidora Sur, GasNor distribuidora Norte, y GasNea

⁶ De acuerdo con la última información disponible suministrada por el Ente Nacional Regulador del Gas ("ENERGAS") –diciembre 2009

⁷ Con opción de extenderla hasta el 2037

La media Presión (entre 4 y 0.5 bares) se canaliza a través de cañerías de acero o de polietileno⁸; (siendo esta última, la tecnología más reciente, menos costosa y de mayor facilidad para trabajar). Con esta se abastece gran parte del servicio residencial y comercial. Y mediante plantas reguladoras de presión, abastecen a la red de baja.

Por último queda la baja presión, la cual se distribuye en caños de hierro fundido y de polietileno. Su presión de trabajo ronda los 0.02 bar.

Dentro de las Pautas contractuales está establecido que la empresa al momento de finalizar la licencia, debe devolver la empresa con ninguno de sus activos fuera de su vida útil técnica. En el caso de caños de hierro fundido, esta fue fijada en 80 años; por lo que todos aquellos caños de hierro fundido que hayan sido colocados antes de 1947, deberán ser reemplazados por caños de polietileno.

Para esto, la empresa cuenta con programas de renovación de cañería.

Otro factor importante al cual debe apegarse MetroGas por ser una empresa concesionaria de servicios públicos, es a la ley de 25551, la cual establece que toda compra mayor a 10.000 \$ (diez mil pesos) deba realizarse mediante concurso público, y anunciarse en medios de comunicación a fin, por periodo no menor a 30 días.

Esto hace que cualquier compra mayor a \$10.000 que la empresa deba realizar, tenga que ser planificada con un periodo no menor a los 60 días (tiempo de realización del pliego, oferta pública, consulta, apertura de sobres, adjudicación y tiempo de entrega si fuese necesario).

Durante los últimos años MetroGAS se vio afectada por factores político/económicos que hicieron que la empresa no cuente actualmente con capital para realizar inversiones en extensiones de red, por lo que prácticamente se está trabajando con renovación y reparación de redes.

Antiguamente la empresa realizaba contratos marcos con sus proveedores de caños, en los que estos también se encargaban del almacenamiento. Simplificando así los problemas de Stocks y abastecimiento. MetroGas solamente se encargaba de indicar que cantidad y en qué frente de obra se necesitaban los materiales.

Actualmente debido a las pocas obras que realiza la empresa, se dejó de usar este tipo de contratos. Por lo que se pasó a tener que administrar un inventario de materiales que antes no se tenía (físicamente).

Esta nueva forma de manejar los stocks, hicieron que en varias oportunidades, se deba alterar el orden temporal de las obras, por la falta de material en almacén.

Esto se manifiesta tanto en la falta de insumos frente a la demanda, como así también en inventarios sobreestimados que aumentan los costos financieros de su mantenimiento

⁸ Esta tecnología comienza a ser utilizada por MetroGAS. Antiguamente Gas del Estado utilizaba caños de acero para la MP, y de hierro fundido para la BP.

Este trabajo tiene como objetivo poder determinar lotes óptimos de compra, y periodos regulares de abastecimiento.

Los depósitos de MetroGas, se encuentran en la base de operaciones de LAVALLOL, ubicada camino de cintura (ruta prov. Nro 4), y Libres del Sur.

Los caños de polietileno se comercializan en bobinas de 150/100 metros, según el diámetro, (150 m para los diámetros de 25, 32 y 50 mm; y 100 m para los de 90 mm). Estos rollos son almacenados bajo un tinglado en la planta lavallol, y cubiertos con una media sombra. Su contacto directo con el sol degrada los caños reduciendo su vida útil. No hay restricciones en cuanto a la cantidad, ya tamaño del tinglado está altamente sobre dimensionado.

Los caños de 25 y 32 mm, son utilizados para servicios de baja presión; los de 50 mm para servicios de media presión como así también como caño mayor. Y finalmente los de 90 mm, son utilizados como caño mayor.

Selección de obras y pedido de materiales

Para la selección de las obras a realizar, la empresa cuenta con modelos de riesgo de toda su red. Dichos modelos están alineados con los objetivos estratégicos de la empresa, (reemplazar toda cañería que se encuentre fuera de la vida útil).

Existen 3 modelos, uno para cada presión de operación (alta, media, y baja presión).

Para el alcance del presente trabajo, solamente desarrollaremos el modelo de baja presión.

Para las obras de renovación, se trabaja con el modelo de baja presión, sabiendo que las zonas de baja presión, estan formadas por cañerías más antiguas, y por lo que se encuentran más degradadas.

Lo primero que se hace es identificar todos los bloques (cuadras) cuya cañería no haya sido reemplazada por cañería de polietileno, y ver como se distribuyen dentro de la zona que opera MetroGas. Luego se agrupan estos bloques en áreas, que serán las futuras obras.

Para la definición de las obras, se tiene en cuenta el estado de la red de gas, de donde se puede tomar media presión, la distribución de las plantas reguladoras de presión, etc.

Actualmente por las inversiones que estamos realizando, el tamaños de las obras se encuentra entre 60 - 70 bloques por obra.

Una vez segmentada toda el área de operación en distintas zonas, se cargan estas zonas al modelo de riesgo.

Este modelo, se alimenta con la información de todas las intervenciones realizadas en la red de gas, junto con otra información relevante, tal como distancia a línea municipal, tapada, material, etc.

El objetivo de este modelo es poder identificar que bloques presentan mayor riesgo. Definiendo al riesgo como el producto entre la probabilidad de falla y la consecuencia. Es un modelo cualitativo, que indica que un bloque es más riesgoso que otro.

Una vez identificado el riesgo de todos los bloques, se calcula el de las zonas, como promedio de sus bloques; y con esta información, se seleccionan las obras de mayor riesgo.

El modelo, separa los riesgos que afectan a la red en dos tipos de riesgos.

El primero es el riesgo inherente, el cual establece que por el simple hecho de colocar la cañería de gas, se está incurriendo en un riesgo; (son aquellos que se presentan inherentes a las características del Sistema de Control Interno). En este riesgo, tiene una gran incidencia el factor daño potencial, el cual está formado por variables como: densidad poblacional, la existencia de edificios públicos, y el costo de construcción.

Y luego el riesgo total; el cual está formado por los índices: índice de falla (este tiene en cuenta si la falla se debe a rotura de caño mayor o pérdida de junta), factor ingreso de gas, y factor daño potencial.

La gran diferencia entre este riesgo y el riesgo inherente, es la introducción de variables relacionadas al factor ingreso de gas en las propiedades.

Una vez establecidos los radios de las obras, se realiza un censo detallado in situ; y con esto, el estudio técnico de la misma.

Luego se realiza el cómputo y pedido de materiales. Si se cuenta con los materiales en depósito, se inicia con la obra; caso contrario se pasa a la siguiente obra de mayor riesgo. Y así sucesivamente...

El problema con este método de "saltar" obras; es que ante una auditoria, la falta de materiales no es una excusa válida para explicar porque no se atacaron las zonas de mayor riesgo. Y además atenta contra la idea de ir renovando la red más deteriorada y de mayor riesgo, que es uno de los objetivos estratégicos de la empresa.

Actualmente, la empresa canaliza la gestión de Stock a través del módulo Materiales de Sap. En este programa, están cargados los activos de la empresa, como sus costos unitarios. Cada vez que se hace un retiro de materiales de los depósitos, se registra el descuento correspondiente, contabilizándose en los módulos de finanzas y gestión de la empresa.

La única alarma que aparece en el sistema, surge cuando se carga un retiro de material por cantidades mayores a las existentes en depósito.

Modelo teórico (modelo determinístico de Inventario)

Modelo Básico.

Para poder satisfacer la demanda a tiempo, toda empresa suele tener a mano la mercancía que espera tener. El problema radica en determinar cuanta, y en qué momento hacer los pedidos.

El propósito de la teoría de inventarios es determinar las reglas para minimizar los costos asociados con mantener el inventario y satisfacer la demanda del cliente. Dicho en otras palabras, poder determinar cuándo se debe hacer el pedido de un producto, y cuál debe ser el tamaño del mismo.

Suposiciones de modelos determinísticos.

Pedido repetitivo.

La decisión de pedido es repetitiva, en el sentido de que se repite de manera regular.

Demanda Constante y conocida.

Se supone que la demanda es determinista, y ocurre a una tasa constante, conocida. Esto implica por ejemplo, que la demanda ocurre a una tasa de X unidades por año, la demanda durante cualquier periodo de t meses será de $\frac{Xt}{12}$.

Plazo de entrega constante.

El plazo de entrega de cada pedido es una constante conocida, L ; entendiendo por plazo de entrega al tiempo transcurrido desde que se hace un pedido hasta el momento en que este llega.

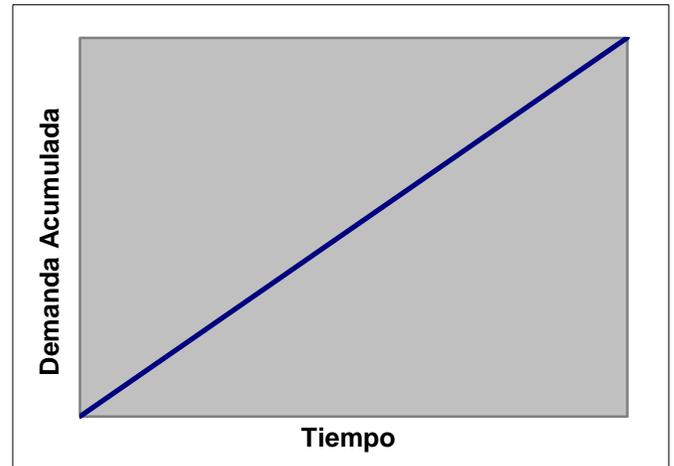
Pedidos Continuos.

El pedido se puede realizar en cualquier instante. Los modelos de inventario que permiten esto, se llaman modelos de revisión continua.

El modelo resume los costos como la sumatoria de tres factores; el costo de hacer pedidos, el de la compra, y el de almacenar.

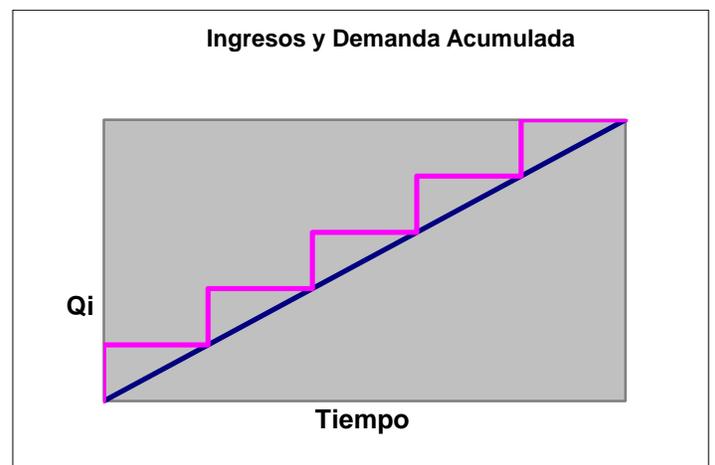
Entonces analizando las suposiciones del modelo básico de stock, tenemos:

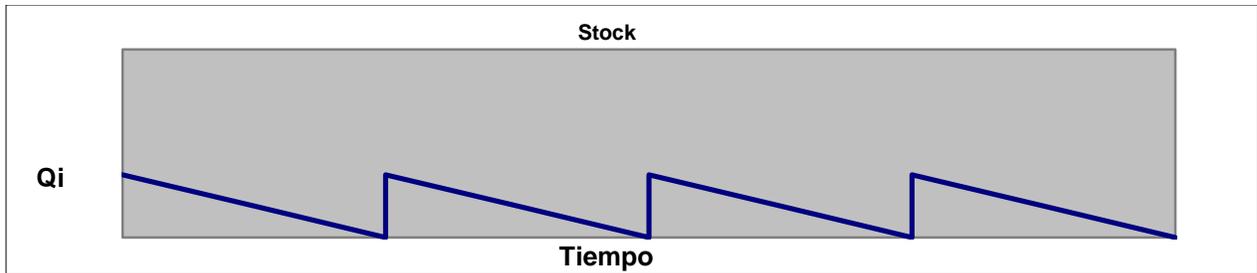
Demanda: Supóngase que en un período de tiempo T se demandara cierta cantidad D de unidades de un producto, y que el cociente $d = D/T$ se mantiene constante para todos los valores de T que se consideren. La representación gráfica de la cantidad demandada en función del tiempo será una recta que pasa por el origen con pendiente d .



Cantidad ingresada a depósito: Supóngase que a intervalos de tiempos definidos e iguales entre sí T_i , ingresan a depósito cantidades iguales de producto Q_i . Si dicho ingreso es instantáneo, la cantidad ingresada acumulada, es función del tiempo, tendrá un gráfico en forma escalonada.

Cantidad Almacenada: Supóngase que en un instante inicial no hay Stock acumulado ni demanda insatisfecha e ingresan Q_i unidades, suficientes para satisfacer la demanda D_i en el período T_i , al cabo del cual ingresa otra cantidad Q_i , etc. Siempre resultara la cantidad ingresada acumulada mayor o igual que la demanda acumulada. La diferencia entre ambas será, para cada instante, la cantidad acumulada. Por definición $d = D/T = D_i/T_i$ y de $Q_i = D_i$ resulta $Q_i = d_i * T_i = (D/T) * T_i$. El número de reaprovisionamientos que se producen en el período T será $n = D/D_i = T/T_i$.





Costo de Almacenamiento: Supóngase que existe un costo c_1 asociado al mantenimiento de cada unidad en stock por unidad de tiempo, por ejemplo el costo de oportunidad del dinero inmovilizado, o de espacio ocupado. Entonces se tendrá un costo de almacenamiento dado por:

$$\int c_1 * S(t) dt \quad \text{donde } c_1 = \frac{\$}{u.t}$$

$S(t)$: Cantidad de unidades de Stock en el instante t.

En este caso, para cada T_i , $S(t)$ decrece linealmente de T_i a 0 y el área equivale a la de un rectángulo de base T_i y de altura $Q_i/2$ por lo que resulta:

$$\text{Costo de almacenamiento (i)} = c_1 * \frac{Q_i}{2 * T_i} = \frac{1}{2} * c_1 * \frac{Q_i}{T_i}$$

Costo de hacer el pedido o de reposición: es independiente del tamaño del mismo. (Cada vez que se tenga que realizar un pedido se incurrirá en este costo, independientemente del tamaño del pedido). En este costo están incluidos los costos asociados a papeleo, facturación, trabajo administrativo. En caso de ser una empresa productiva, estos serán los costos asociados al set up de las maquinas, para satisfacer el pedido de producción.

$$\text{Costo de reposición (Y)} = k \quad k = \$$$

Costo de compra: Cada unidad adquirida tiene un costo b que no depende de la cantidad adquirida. La compra de las Q_i unidades del período será:

$$\text{Costo de compra} = b * Q_i \quad b = \frac{\$}{u}$$

Costo Total: Supóngase que los únicos costos involucrados en la administración del stock son los tres anteriores. Supóngase también que los valores de c_1 , k y b no varían en el período T considerado. Resultará que el costo total, en un período, es la suma de los de almacenamiento, reposición y compra.

$$CT_i = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot c_1 \cdot Q_i \cdot T_i + k + b \cdot Q_i$$

CT_i = Costo Total en el periodo T_i .

En el periodo total T , que contiene n ciclos de reaprovisionamiento se tendrá el Costo Total:

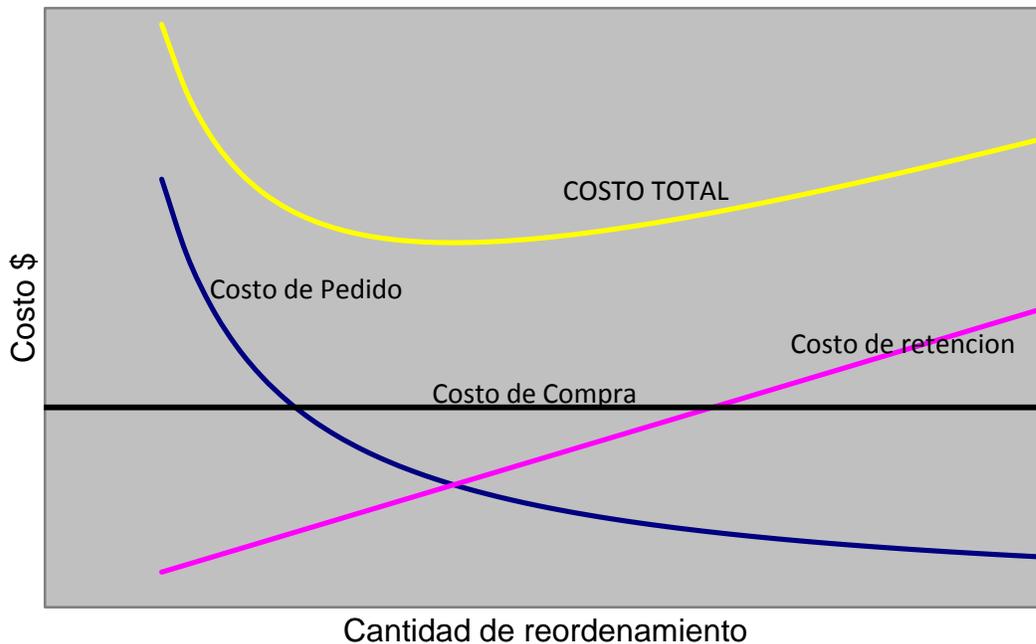
$$CT = \left(\left(\frac{1}{2}\right) \cdot c_1 \cdot Q_i \cdot T_i + k + b \cdot Q_i\right) \cdot n$$

CT = Costo Total en el periodo T .

Y con $n = T/T_i = D/D_i = D/Q_i$ se podrá expresar el Costo Total en función de una única variable Q_i .

$$CT = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot c_1 \cdot Q_i \cdot T + k \cdot D/Q_i + b \cdot D$$

La función CT consta de tres términos; uno que es directamente proporcional a Q_i (Costo Total de almacenamiento), Otro que es inversamente proporcional a Q_i (Costo Total de reposición), y por ultimo un costo que es constante (Costo Total de Compra).



El objetivo de este modelo es el de poder determinar el valor de Q_i que minimice el Costo Total en el periodo T .

$$\min\{CT\} = \min\left\{\left(\frac{1}{2}\right) \cdot c_1 \cdot Q_i \cdot T + k \cdot D/Q_i + b \cdot D\right\}$$

Como D , T , c_1 y k son datos, CT solamente esta expresado en función de una única variable Q_i . Por lo tanto haciendo:

$$\frac{dCT(Q_i)}{dQ_i} = 0$$

Y despejando Q obtenemos:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot D}{c_1 \cdot T}}$$

Una ves determinado Q^* se puede determinar T^* mediante:

$$n = D/Q_i = T/T_i \quad \text{entonces} \quad T_i = Q_i \cdot T/D$$

dando

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T}{c_1 \cdot D}}$$

Finalmente tenemos un Costo Total mínimo de

$$CT^* = \sqrt{2 \cdot k \cdot D \cdot c_1 \cdot T} + D \cdot b$$

Observaciones:

Caso particular de c_1

Si el costo de almacenamiento c_1 es exclusivamente el costo de oportunidad del capital inmovilizado, se podrá expresar como producto de una tasa de interés i por el costo de la unidad de producto b . Si la tasa de interés permanece constante en todo el periodo T considerado, también será constante $c_1 = b \cdot i$

El modelo básico se modificara en ese caso del siguiente modo:

La respectiva hipótesis será: costo unitario de almacenamiento por unidad de tiempo ($c_1 = b \cdot i$), constante. El costo Total se expresará:

$$CT = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot b \cdot i \cdot Q_i \cdot T + k \cdot D/Q_i + b \cdot D$$

Siendo sus soluciones óptimas:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2.k.D}{b.i.T}}$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2.k.T}{b.i.D}}$$

$$CT^* = \sqrt{2.k.D.b.i.T} + D.b$$

Sensibilidad de la Solución

Se desarrollan analíticamente dos enfoques del tema: la variación que causa en el costo tomar un valor α . Q_i que difiera del Q^* , y la que ocasiona adoptar valores diferentes de los verdaderos c_1 y k

Variación en el costo por adoptar una cantidad de reordenamiento $Q_i \neq Q^*$

Supóngase que se decide adoptar una cantidad de reordenamiento $Q'_i = \varepsilon.Q_i^*$

$$CT = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot c_1 \cdot \varepsilon \cdot Q_i^* \cdot T + k.D/\varepsilon.Q_i + b.D$$

Y como

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2.k.D}{c_1.T}}$$

Resulta:

$$CT = b.D + \sqrt{2.k.D.c_1.T} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{2} + \frac{1}{2.\varepsilon}\right)$$

Variación en el costo por adoptar valores de k y c_1 diferentes a los reales.

Sean k y c_1 los valores verdaderos de los costos de reordenamiento y almacenamiento.

Sean $k' = \alpha.k$ y $c'_1 = \beta.c_1$

Se calculara un valor $Q_i = \sqrt{\frac{2.k'.D}{c'_1.T}}$ que puede vincularse con Q^* (valor que se hubiese obtenido con k y c_1 verdaderos.)

$$Q_i = \sqrt{\frac{2.\alpha.k.D}{\beta.c_1.T}} = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} \cdot \sqrt{\frac{2.k.D}{c_1.T}} = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} \cdot Q^*$$

Comparando con el caso anterior se observa que $\varepsilon = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}}$.

Modelo básico con Stock de protección

Una hipótesis del modelo básico supone demanda constante $d = D/T$ que representa la cantidad demandada por unidad de tiempo. Por eso se adquiere para cada periodo T_i una cantidad de unidades Q_i . Pero el valor asignado a d puede ser una suposición o el resultado de una estimación estadística. Puede ocurrir que, en un periodo determinado la demanda no cumpla exactamente con la relación $d = D/T$.

Si la demanda D_i en un periodo T_i resulta inferior a la cantidad adquirida Q_i , quedaría un saldo en stock para el periodo siguiente. Pero si fuere mayor no habría stock inicial, se obtendría una demanda insatisfecha. Existiría una cantidad de unidades requeridas por clientes, que no se entregaron de inmediato y se debe esperar la llegada del siguiente lote de reposición para cumplir esos pedidos. Si el valor d supuesto en el modelo es correcto, aunque sea en promedio, se tendrán periodos con saldo de stock y periodos con demanda insatisfecha.

Sin embargo por diversos motivos se puede decidir no aceptar esta situación. Por ejemplo, podría perderse la demanda que no sea satisfecha de inmediato, o perderse un contrato por incumplimiento, o sufrirse penalidades contractuales, o simplemente se quiere brindar una imagen de servicio al cliente no haciéndolo esperar nunca.

Para evitar la aparición de demanda insatisfecha, se mantiene un stock adicional, llamado de protección, al que solo se recurre cuando la demanda del periodo es superior a la cantidad normalmente disponible para satisfacerla.

Una forma de determinar la cantidad de unidades que deben tenerse en stock es conociendo la variabilidad del cociente d en un periodo y tomarse una decisión sobre el riesgo que se quiere asumir.

Puede fijarse una cantidad que cubra el mayor apartamiento posible o que solo alcance, por ejemplo para las desviaciones que ocurren en el 90% de los casos etc. Una vez fijado el valor de S_p , el modelo matemático es totalmente igual al básico, con el agregado de una cantidad fija de S_p a las unidades mantenidas en stock (en la realidad pueden variar d , pero en el momento siguen constante).

La hipótesis del modelo básico se reemplaza por la siguiente:

Se mantiene permanentemente almacenada una cantidad S_p de unidades y no hay pedidos insatisfechos.

El costo total resulta

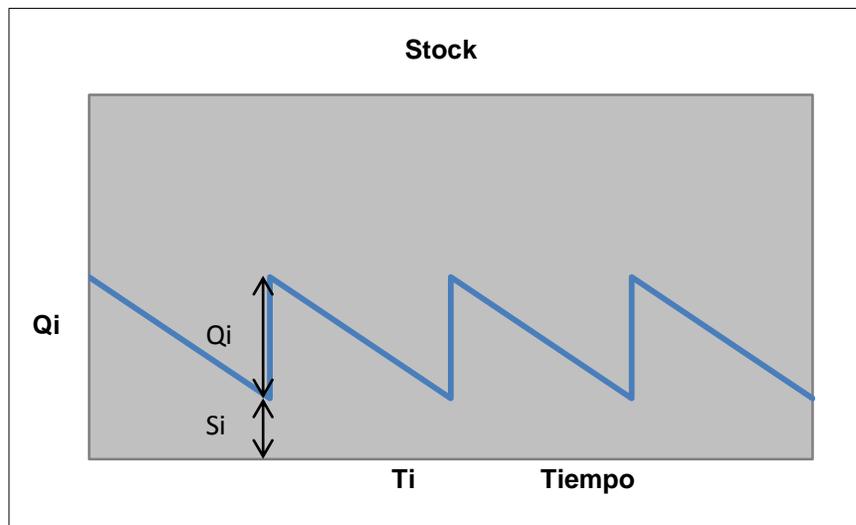
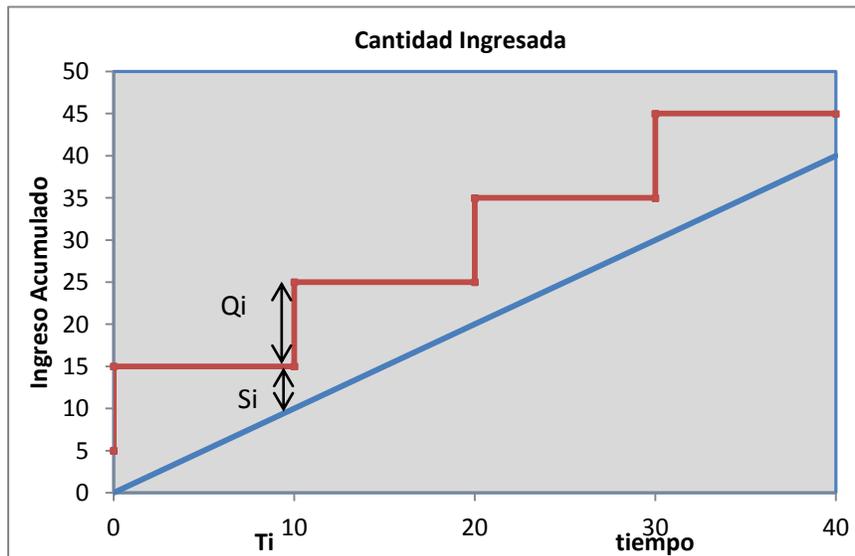
$$CT = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot Q_i \cdot T + c_1 \cdot Sp \cdot T + k \cdot \frac{D}{Q_i} + b \cdot D$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot D}{c_1 \cdot T}}$$

Esto era evidente porque el costo de almacenaje de stock de protección es fijo y no depende de Q_i .

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T}{c_1 \cdot D}}$$

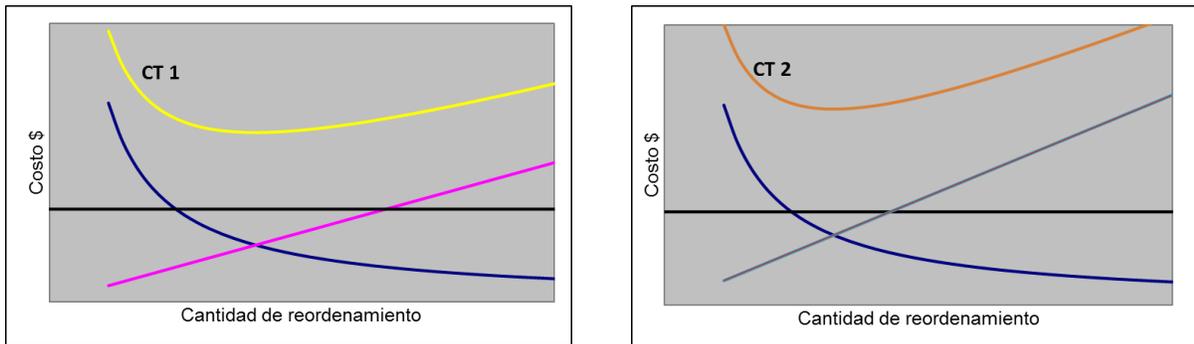
$$CT = \sqrt{2 \cdot k \cdot D \cdot c_1 \cdot T} + Db + c_1 \cdot Sp \cdot T$$



Modelo multiproducto sin restricciones

Es un modelo en que una empresa maneja simultáneamente varios productos y requiere minimizar el costo total de la administración de los mismos.

Sea una empresa que maneja 2 productos, cada uno de los cuales cumplen las hipótesis del modelo básico.



$$CT_1 = b_1 \cdot D_1 + \frac{1}{2} \cdot c_{11} \cdot Q_{i1} \cdot T + K_1 \cdot \frac{D_1}{Q_{i1}}$$

$$CT_2 = b_2 \cdot D_2 + \frac{1}{2} \cdot c_{12} \cdot Q_{i2} \cdot T + K_2 \cdot \frac{D_2}{Q_{i2}}$$

Se han graficado $CT_1(Q_{i1})$ y $CT_2(Q_{i2})$, y se indicaron los respectivos valores de Q_{ij} para los cuales se tiene el costo mínimo.

El costo total para ambos productos será:

$$CT = CT_1 + CT_2 = b_1 \cdot D_1 + \frac{1}{2} \cdot c_{11} \cdot Q_{i1} \cdot T + K_1 \cdot \frac{D_1}{Q_{i1}} + b_2 \cdot D_2 + \frac{1}{2} \cdot c_{12} \cdot Q_{i2} \cdot T + K_2 \cdot \frac{D_2}{Q_{i2}}$$

Graficando la función $CT(Q_{i1}; Q_{i2})$, donde cada punto representa una combinación de dos valores posibles de ambas variables y tiene asociado un valor de CT ; que es la suma de valores de CT_1 y CT_2 . Se obtienen curvas llamadas "isocostos"

Se han graficado las curvas para cuatro valores de CT que verifican la relación $CT_I < CT_{II} < CT_{III} < CT_{IV}$.

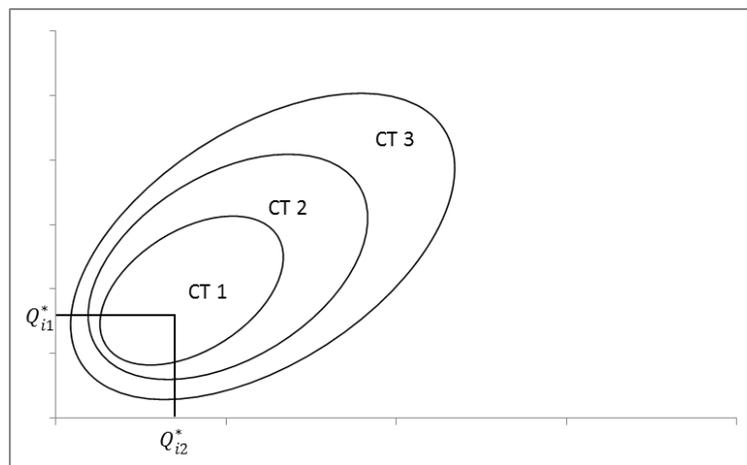
En realidad CT_I es solo un punto, cuyas coordenadas resultan Q_{i1}^* y Q_{i2}^* , valores que, para cada producto por separado minimizan su correspondiente costo.

Resulta entonces que el mínimo de CT es CT_I y los valores de las variables que lo minimizan son Q_{i1}^* y Q_{i2}^* . Esto se comprueba fácilmente si se plantea analíticamente la condición de óptimo de $CT(Q_{i1}; Q_{i2})$.

$$\frac{\partial CT(Q_{i1}; Q_{i2})}{\partial Q_{i1}} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial CT(Q_{i1}; Q_{i2})}{\partial Q_{i2}} = 0$$

Hasta ahora se ha supuesto un modelo sin restricciones donde todos los pares ordenados $(Q_{i1}; Q_{i2})$ son soluciones posibles.

Entonces tenemos como conclusión, que el mínimo costo total se obtiene para un conjunto de valores Q_{ij}^* , cada uno de los cuales hace mínimo su respectivo costo total CT_j .



Modelo de Datos

Una vez explicado el modelo teórico a aplicar, ya tenemos una idea de cuál es la información que vamos a necesitar como input para este modelo. El problema como el todo modelo teórico, radica en como inferir aquellas variables que son difíciles de calcular.

La primera variable a calcular es la del costo de hacer el pedido, o también llamado costo de reposición (K).

Para estimar esta variable, se decidió tomar el valor promedio de los últimos pliegos licitados. (Toda compra que realiza MetroGas, debe ser adjudicada a través una licitación pública). El pliego para la participación de dicha licitación tiene un costo.

En definitiva dicho costo, incluirá el costo dedicado a armar el pliego, atender a los participantes, contestar sus dudas, etc. Dicho costo se establece en 10.000 pesos.

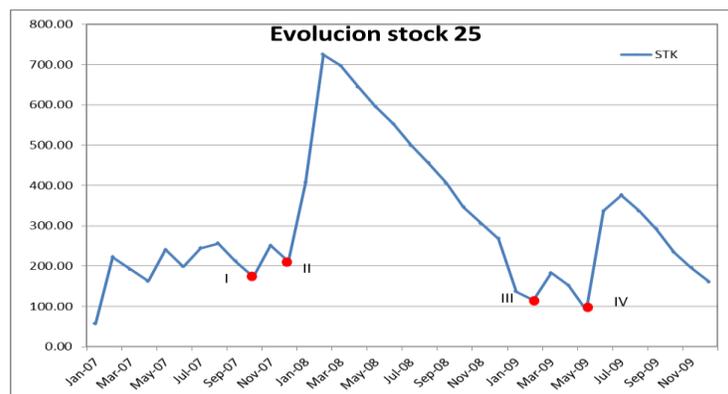
La segunda variable a calcular, es la del valor de almacenar. Cuanto me cuesta mantener una unidad en depósito. Esto se mide en $\left[\frac{\$}{u \cdot t}\right]$

Una manera de calcular este valor, es mediante el lucro cesante del terreno asignado al depósito. En otras palabras cual es el mayor beneficio en términos monetarios, que le podría sacar al terreno en cuestión

Haciendo un relevamiento por los depósitos de la zona, un valor representativo seria 200 pesos por mes el m^2 . Pudiendo apilar 3 pallets, serian $\frac{200 \left[\frac{\$}{mes \cdot m^2}\right] * 12 \left[\frac{mes}{año}\right]}{3 \left[\frac{u}{m^2}\right]} = 800 \left[\frac{\$}{u \cdot año}\right]$.

Modelo para caño de 25

En el siguiente gráfico se puede ver la evolución real del stock para el periodo 2007-2009.



En este grafico no solamente se puede observar la manera irregular de aprovisionamiento, sino también la inconsistencia entre ciertos pedidos consecutivos, tales como el I-II y el III-IV, donde prácticamente a la llegada de los materiales de la orden I, se emite otra orden II totalmente desproporcional con la anterior. Algo similar se repite entre los puntos III y IV.

Conociendo la empresa y el nivel de actividad de la misma podemos inferir que la demanda de caños será similar a la de últimos años; y teniendo la demanda histórica mensual de los últimos 3 años, obtenemos una demanda promedio anual de este período⁹. Suponiendo así una demanda mensual constante de D (demanda anual)/12; y cumpliendo así con el primer hipótesis del modelo (demanda constante y conocida).

Entonces siguiendo con el modelo, para calcular la cantidad óptima a pedir, utilizamos la siguiente ecuación.

$$q = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

Donde:

$$D = 502$$

$$K = 10.000$$

$$h = 800$$

Dando como resultado

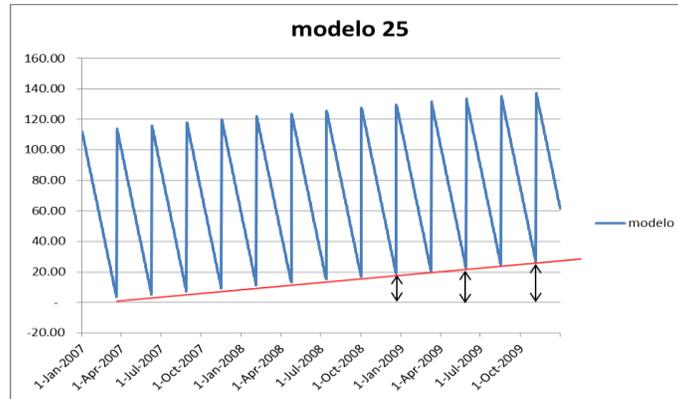
$$q \approx 112$$

y teniendo que realizar un nuevo pedido cada

$$t = \frac{D}{q} \text{ entonces } t = 4.48 \approx 81.19 \text{ días, que se redondearon en 80 días.}$$

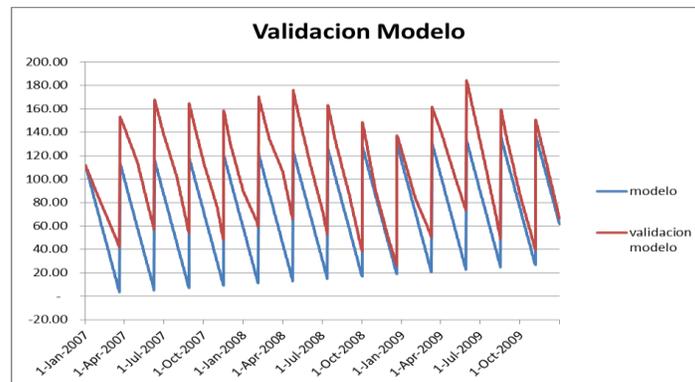
Dando como resultado el siguiente gráfico de evolución del stock.

⁹ Ver tabla1.



En este gráfico, se puede observar una tendencia creciente por parte de la curva. Esto se debe al alejamiento de las cantidades óptimas debido al redondeo ($q = 112$ y $t = 80$). Esta tendencia nos generaría un stock de seguridad incremental, generando una necesidad de revisión periódica.

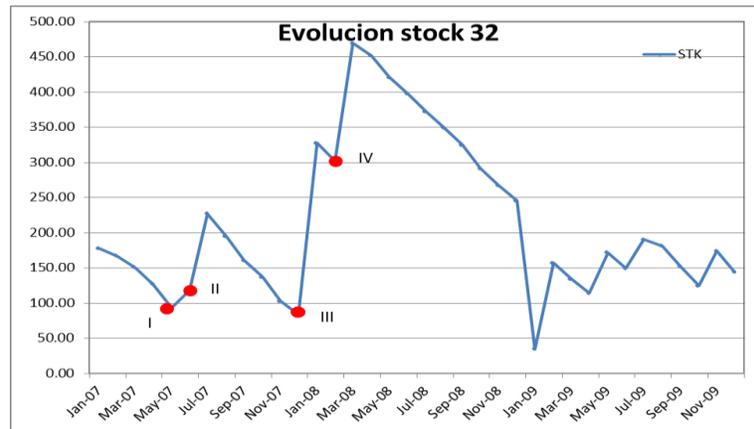
Para validar el modelo, realizamos el gráfico de stock, pero con la demanda real, verificando que no halla puntos de quiebre.



El hecho de que no se presenten puntos de quiebre, hace que el modelo quede validado.

Modelo para caño de 32

Repitiendo lo realizado para los caños de 25, pero ahora para los caños de 32, los siguientes gráficos.



Donde también se pueden ver ciertas inconsistencias entre los puntos I - II y III - IV.

Modelando para la demanda de caños de 32 tenemos:

$$q = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

Donde:

$$D = 308$$

$$K = 10.000$$

$$h = 800$$

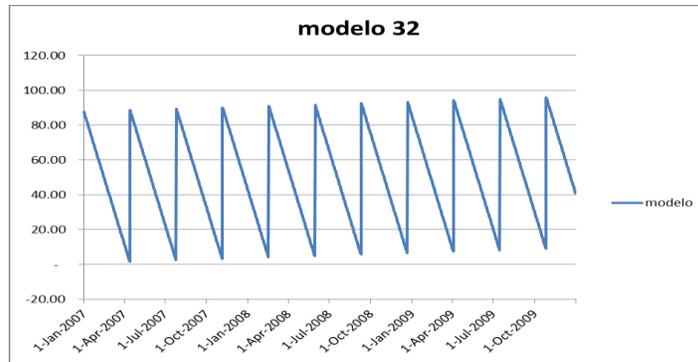
Dando como resultado

$$q \approx 87$$

y teniendo que realizar un nuevo pedido cada

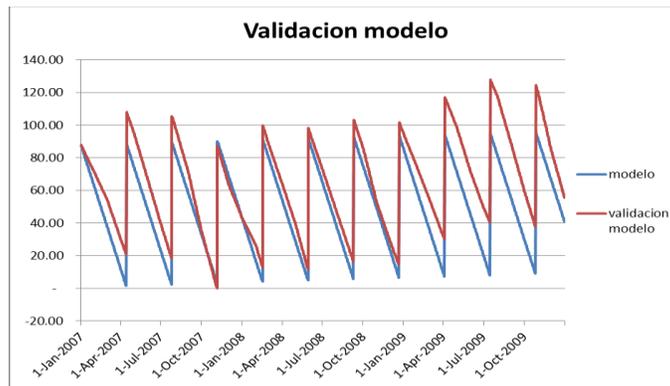
$$t = \frac{D}{q} \text{ entonces } t = 3.51 \approx 103.67 \text{ días, que se redondearon en 103 días.}$$

Dando como resultado el siguiente gráfico de evolución del stock.



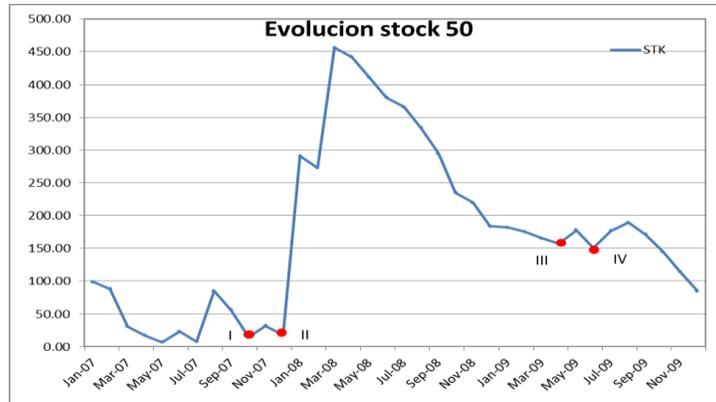
Al igual que antes, debido a los redondeos, se puede observar una tendencia creciente.

Y buscando validar este modelo de la misma manera que antes (mediante la demanda real), se observa que no se generan quiebres.



Modelo para caño de 50

Al igual que en los modelos de 25 y 32, tenemos:



Modelando para la demanda de caños de 50 tenemos:

$$q = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

Donde:

$D = 302$

$K = 10.000$

$h = 800$

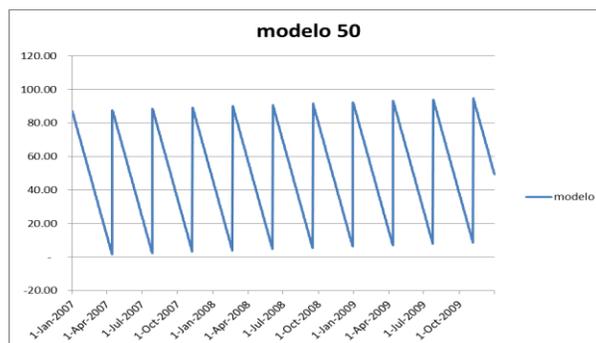
Dando como resultado

$q \approx 86$

y teniendo que realizar un nuevo pedido cada

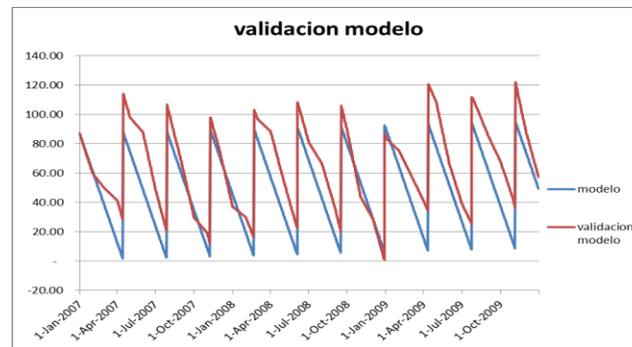
$t = \frac{D}{q}$ entonces $t = 3.48 \approx 104.66$ días, que se redondearon en 104 días.

Dando el siguiente gráfico.



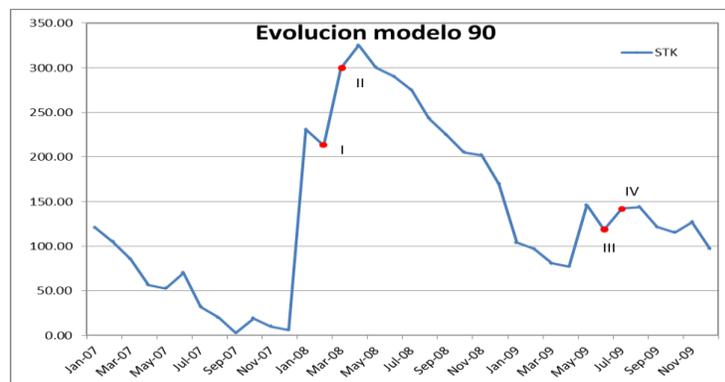
Como en los modelos anteriores, se puede observar la tendencia creciente, el cual genera un pequeño stock de seguridad.

También se valida este modelo, comparándolo con la demanda real, y viendo que no se generen puntos de quiebre.



Modelo para caño de 90

Por ultimo nos queda analizar el modelo de 90.



Corriendo el modelo pero para este diámetro, tenemos que:

$$q = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

Donde:

$D = 227$

$K = 10.000$

$h = 800$

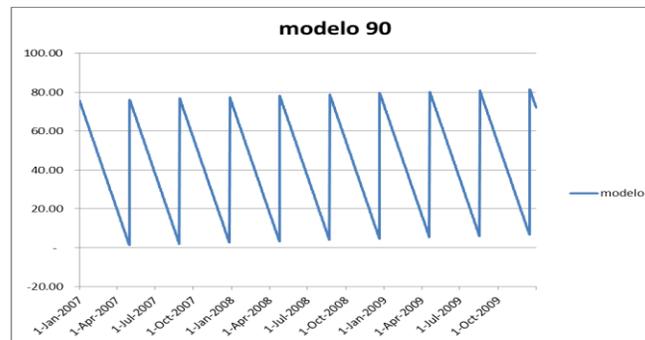
Dando como resultado

$q \approx 75$

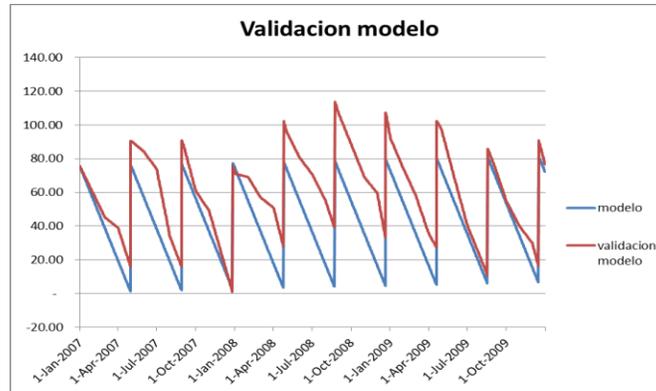
y teniendo que realizar un nuevo pedido cada

$t = \frac{D}{q}$ entonces $t = 3.01 \approx 120.74$ días, que se redondearon en 120 días.

Dando como resultado el siguiente gráfico de evolución del stock.



Al igual que los modelos anteriores, este es validado con los datos de demanda real.



Conclusión

Se han mostrado 2 modelos teóricos, el modelo básico y el modelo básico con stock de seguridad. También se explica cómo varía el modelo en el caso que se trate de un análisis multiproducto sin restricciones; donde tenemos cantidades óptimas para cada producto, pero más de un Costo Total mínimo (regiones de isocostos).

Si bien el modelo optado es el básico, se podría decir que a fines prácticos se busca generar un pequeño stock de seguridad incremental con el tiempo. Y la manera de generarlo es apartándonos del mismo, (adelantando en un día periodo de reposición).

Finalmente cabe decir que se han calculado el tamaño de los lotes óptimos a pedir para cada diámetro específico, y se validaron los modelos con los datos históricos reales.

Fotos

Tinglado de almacenaje





Bibliografía

- Wayne L. Winston. 2005. Investigación de Operaciones, aplicaciones y algoritmos. Cuarta edición. Thomson.
- Rios Insua, Sixto. 2004. Investigación Operativa, modelos determinísticos y estocásticos. Segunda edición. Centro de estudios Ramón Areces S.A.
- Transportadora Gas del Sur. 2008. Historia del gas en la Argentina.
- Pérez Herrero Mariano. 2006. Almacenamiento de Materiales. Primera edición. Marge books.