



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DEL PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VALORES PARA UN BANCO CENTRAL

TESINA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

JURADO VÁZQUEZ MARCO ANTONIO

DIRECTORA DE TESINA:

ING. GUADALUPE DURÁN ROJAS

CO-DIRECTOR DE TESINA:

ING. ANGEL LEONARDO BAÑUELOS SAUCEDO



Cd. Universitaria, México D.F; 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Agradecimientos

Son tantas las personas a las cuales debo parte de este triunfo, de lograr alcanzar una de mis más anheladas metas en mi formación académica, la cual es un gran deseo de todos los universitarios.

Definitivamente, Dios, mi Señor, mi Guía, mi Proveedor, mi Fin Ultimo; sabes lo esencial que has sido en mi posición firme de alcanzar esta meta, esta alegría, que si pudiera hacerla material, la haría para entregártela, pero a través de esta meta, podré siempre de tu mano alcanzar otras que espero sean para tu Gloria.

A mis padres, Laura Elena Vázquez Ávila y Francisco Efraín Jurado Picazo, y mis seres más queridos en general, por darme la estabilidad emocional, económica y sentimental, para poder ver culminado este esfuerzo, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes. **GRACIAS** por darme la posibilidad de que de mi boca salga la palabra...**FAMILIA**. Ustedes mis padres, serán siempre mi inspiración para alcanzar mis metas, por enseñarme que de todo se aprende y que todo esfuerzo es al final una recompensa. Su esfuerzo se convirtió en su triunfo y el mío, **LOS AMO**.

A todos mis amigos pasados y presentes; pasados por ayudarme a crecer y madurar como persona, y presentes por estar siempre conmigo apoyándome en todas las circunstancias posibles, por ser **MIS AMIGOS**, por seguir soportándome y seguir siendo parte de mi vida, también son parte de esta alegría, **LOS VALORO**.

A mis directores de tesis, la Ing. Guadalupe Durán y el Ing. Leonardo Bañuelos, por ser el último escalón para poder alcanzar este **MI SUEÑO**, que ahora es una realidad.

Y a todos aquellos, que han quedado en los recintos más escondidos de mi memoria, pero que fueron participes en cincelar a este *Marco Jurado*, **GRACIAS**.

Por último pero no por ello menos importante, confieso mi amor a la Universidad Nacional Autónoma de México **UNAM**. A ella en la que innumerables estudiantes hemos tenido la oportunidad de ensanchar nuestros horizontes, de ampliar nuestro estrecho marco conceptual y comenzar a nombrar nuevas realidades nunca percibidas. Gracias **UNAM** por ser la base, la tierra donde las raíces de miles de jóvenes crecen y se fortalecen. Pisar tus aulas y estudiar en ellas es un privilegio y un honor. Gracias porque sin ti, la vida de muchas generaciones y la mía no sería la misma. Para mí, ser universitario, ser parte de esta magnífica y única Universidad es un orgullo, un privilegio, en pocas palabras, es una de las mejores cosas que me han pasado en la vida.

Gracias a la **UNAM** muchos alumnos más como yo, tenemos la oportunidad de sembrar lo que nadie nos podrá quitar jamás y que estamos dispuestos a seguir ampliando: el conocimiento.

Con emoción y agradecimiento a mi alma máter, que me gestó espiritual e intelectualmente, y me recibió en su generoso regazo, me levanto y entono un sentido **¡Goya, Goya!**

GRACIAS POR TODO...

MAJV

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

	PÁGINA
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo	3
1.2 Alcances y limitaciones	4
Capítulo 2. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA	5
2.1 Misión	5
2.2 Visión	5
2.3 Estructura organizacional	6
Capítulo 3. METODOLOGÍA	8
3.1 Programación lineal	8
3.1.2 Modelo matemático de programación lineal	8
3.1.3 Interpretación del modelo matemático de programación lineal	9
3.1.4 Ejemplo de formulación	10
3.1.5 Terminología en programación lineal	12
3.2 Análisis de Inventarios	13
3.2.1 Modelo de la cantidad fija de la orden con existencias de reserva	13
3.3 Enfoque de sistemas	16
3.3.1 Sistema	16
3.3.2 El enfoque de sistemas	16
3.3.3 La necesidad del enfoque de sistemas	17
3.3.4 Proceso de solución de problemas utilizando el enfoque de sistemas	18
Capítulo 4. CASO DE ESTUDIO	20
4.1 Diagnóstico integral de la situación actual	20
4.2 Problemática	22
4.3 Recopilación de datos que se utilizarán para el planteamiento del problema	25
4.4 Planteamiento del problema de programación lineal	32
4.5 Resultados del problema de programación lineal	36
4.6 Planteamiento del problema de análisis de Inventarios	39
4.6.1 Modelo de la cantidad fija de la orden, con existencias de reserva	39
4.6.2 Caso 1. 90% de probabilidad de que no exista desabasto en cada sucursal	40
4.6.3 Caso 2. 95% de probabilidad de que no exista desabasto en cada sucursal	41
4.6.4 Caso 3. 98% de probabilidad de que no exista desabasto en cada sucursal	41
4.7 Resultados del análisis de inventarios	42
4.8 Aplicación a la Ingeniería Industrial	44
4.8.1 Funciones del departamento que desarrolla el trabajo de aplicación	44

ÍNDICE GENERAL

4.8.2 Perfil del profesional, descripción del puesto de trabajo	44
Capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1 Conclusiones	46
5.2 Recomendaciones	47
APÉNDICE	49
BIBLIOGRAFÍA	57
MESOGRAFÍA	58

Capítulo 1. Introducción

Los orígenes de la investigación de operaciones datan de hace muchos años, cuando se hizo el intento de usar un acercamiento científico en la administración de las organizaciones. Sin embargo, estos orígenes fueron aislados y faltos de coordinación; no fue sino hasta la segunda guerra mundial cuando la complejidad de las operaciones militares hizo surgir lo que hoy se conoce por investigación de operaciones. A causa de la guerra hubo la necesidad de distribuir, de manera eficiente, materiales escasos a las distintas operaciones militares, y dentro de éstas, a las actividades que las componían. Para el efecto se reunió un gran número de científicos para que realizaran una investigación de las operaciones militares.

Debido al éxito logrado en el aspecto militar, la industria se fue interesando en este campo. Los investigadores descubrieron que la industria sufría de los mismos problemas básicos que los militares.

Una vez iniciadas las técnicas de la investigación de operaciones, atrajeron la atención de numerosos investigadores, quienes lograron desarrollarlas a grandes pasos. Las técnicas desarrolladas contribuyeron a empujar la rápida carrera que llevaba la investigación de operaciones, de aquí que para 1950 muchas de las técnicas hubiesen alcanzado un grado de desarrollo extraordinario.

Es por todos conocido el rápido desarrollo que han experimentado, durante el anterior y presente siglo, el tamaño y la complejidad de las organizaciones humanas. Por ejemplo, el tamaño de las empresas modernas, implica que las decisiones administrativas pueden tener un efecto sobre grandes cantidades de capital y gran número de personas. Los errores pueden ser tremendamente costosos y una sola decisión equivocada puede requerir años para rectificarse.

El cambio revolucionario sufrido por las organizaciones humanas, ha traído como consecuencia la división del trabajo y la segmentación de las responsabilidades administrativas en estas organizaciones. Gran parte de los componentes de una organización han tendido a crecer dentro de un plan relativamente autónomo; debido a que cada uno de ellos tiene sus propias metas, han perdido, por lo tanto, la visión de cómo sus actividades y objetivos se comparan con los de la organización. Lo que es bueno para un componente, frecuentemente es perjudicial para algún otro. Es así que, en una empresa como en la que se desarrolla este trabajo, existen las siguientes tendencias:

- a. **Producción.** Pocas líneas de productos y grandes corridas de producción (grandes inventarios).
- b. **Ventas.** Abundantes y variados inventarios.
- c. **Finanzas.** Minimizar inventarios.
- d. **Personal.** Producir inventarios solamente durante los períodos flojos (mantener producción constante)

¿Cuál es en realidad la mejor política para la organización? Es aquí donde entra en acción la investigación de operaciones.

La investigación de operaciones siempre toma el punto de vista general de la organización e intenta llegar a soluciones óptimas, o sea la mejor solución para la organización. Esta solución no siempre es la óptima para sus componentes por separado. En algunos casos, la ejecución de un proyecto ocasiona efectos laterales, que si no son analizados adecuadamente, disminuyen su beneficio (p.ej. problemas ecológicos), por lo cual es importante considerar la magnitud real del sistema considerado.

La investigación de operaciones involucra estudios de grupo, es decir, agrupa a toda clase de expertos en sus estudios. Esto es debido al aspecto tan general que toma la misma y al hecho de que sería imposible que un especialista en investigación de operaciones cuente con todos los conocimientos necesarios para atacar los diversos problemas que se presentan en el análisis de sistemas de gran magnitud, por lo que requiere de los demás expertos, a quienes él coordina. Si bien la investigación de operaciones no sustituye los conocimientos particulares en una rama de la ciencia ó técnica, si en cambio ayuda a integrar esos conocimientos con los de otras ramas. La metodología de la investigación de operaciones de ninguna manera sustituye los conocimientos específicos en ramas particulares.

Por otro lado, una herramienta más que se utilizará para la elaboración de este trabajo, es el análisis de inventarios, sabiendo que un inventario constituye la cantidad de existencias de un bien o recurso cualquiera usado en una organización. Un *sistema de inventarios* es el conjunto de políticas y controles que regulan los niveles del inventario y determinan que niveles debemos mantener, cuándo debemos reabastecer existencias y cuál debe ser el volumen de los pedidos.

Por lo general, el inventario para la producción se refiere a los bienes que contribuyen al producto que fabrica la empresa o que forman parte de él. El inventario para la producción normalmente se divide en materias primas, productos terminados, componentes, abastos y materiales en proceso. Para el caso de los servicios, el inventario generalmente se refiere a los bienes tangibles que serán vendidos y a los abastos necesarios para brindar el servicio.

El objeto básico del análisis de inventarios para conocer las existencias necesarias para la producción y los servicios, es especificar (1) cuándo se deben ordenar los productos y (2) cuál debe ser el volumen de la orden. Muchas empresas tienden a establecer relaciones a largo plazo con los proveedores para cubrir sus necesidades tal vez durante todo un año. Lo anterior cambia el “cuándo” y el “cuánto” ordenar al “cuándo” y el “cuánto” nos deben entregar.

El presente trabajo de investigación realizado para un Banco Central, muestra una de las muchas situaciones por las que atraviesa una empresa que se dedica a la distribución masiva de productos en donde se es requerida una oportuna y eficaz toma de de decisiones para poder lograr un mayor beneficio, minimizando los costos de transporte. Para ello se hará uso de algunas herramientas provistas por la investigación de operaciones, análisis de inventarios y enfoque de sistemas que le pueda permitir encontrar el resultado con el cual se aproveche de mejor manera los recursos destinados a la distribución de la moneda metálica.

Las herramientas de análisis; tales como la programación lineal, el análisis de inventarios, el enfoque de sistemas, y otros; permiten a las empresas alcanzar una mayor eficacia en la toma de decisiones y de esta manera contribuir notablemente en el desarrollo de las mismas.

En empresas de distribución masiva, como el caso de este Banco Central, la eficiencia se convierte en un factor mucho más importante que la eficacia, ya que una decisión no certera puede ocasionar grandes pérdidas, por lo tanto la utilización de las herramientas de análisis previamente mencionadas se convierte de gran importancia.

1.1 Objetivo

Utilizar la programación lineal, el análisis de inventarios y el enfoque de sistemas, como una opción para analizar la viabilidad y factibilidad de adoptar un nuevo esquema de transporte propuesto por una empresa transportadora de valores, además de proponer una mejora en el aprovechamiento de los distintos recursos con los que cuenta este Banco Central, destinados a la distribución de moneda a sus distintas sucursales en el país a nivel primario, y de esta manera reducir los costos, considerando tanto la oficina central (Ciudad de México), centro de distribución y sucursales.

Para cumplir con este objetivo se establecieron las siguientes metas particulares:

- Establecer el diagnóstico de la situación actual de distribución de moneda a nivel primario (Oficina Central, Centro de Distribución y Sucursales)
- Destacar la importancia de tomar un enfoque de sistemas para el desarrollo de la solución a la problemática actual.
- Evaluar la problemática actual mediante la programación lineal y el análisis de inventarios.

1.2 Alcance y limitaciones

Debido a la cantidad de moneda que se demanda en las distintas sucursales de este Banco Central, así como la utilización de los diferentes recursos para tal efecto, el presente trabajo propone la aplicación de la programación lineal, el análisis de inventarios y el enfoque de sistemas para tomar la decisión de la rentar el transporte de valores bajo un nuevo esquema, así como mejorar la distribución de moneda a nivel primario. Esta propuesta se realizó dentro del siguiente marco de alcances y limitaciones.

- Con la finalidad de guardar la discreción necesaria debido a su seguridad como la del mismo realizador de este trabajo de investigación, será necesario nombrar a la empresa en cuestión como “Banco Central”
- Utilización de un factor de conversión debido a la discreción con la que se deben manipular los datos obtenidos.
- Documentos proporcionados por la empresa sobre las características de la distribución de moneda, solamente a nivel primario.
- En algunos casos, por causa de discreción se tuvo que estimar ciertos valores utilizados durante este trabajo.

Capítulo 2. Presentación de la empresa

El Banco Central, cuya finalidad es proveer a la economía del país de moneda nacional. En el desempeño de esta encomienda tiene como objetivo prioritario procurar la estabilidad del poder adquisitivo de dicha moneda. Adicionalmente, le corresponde promover el sano desarrollo del sistema financiero y propiciar el buen funcionamiento de los sistemas de pago.

El Banco Central es la única institución que puede emitir moneda nacional para que se realicen todas las transacciones en nuestra economía. México es uno de los pocos países que fabrican sus propios billetes y monedas.

El Banco Central se asegura que haya la cantidad de dinero necesaria para cubrir todas las necesidades; es decir que los precios de los bienes y servicios no aumenten hasta el punto en que podamos comprar menos cosas con la misma cantidad de dinero. Cuidar la estabilidad de precios es una de las responsabilidades más importantes un Banco Central. A la serie de medidas que esta institución aplica para combatir la inflación se les llama política monetaria.

El Banco Central no es un banco comercial, por lo que ni las personas, ni las empresas pueden abrir una cuenta en el Banco Central. Como sólo otorga créditos a los bancos comerciales se dice que es un banco de bancos.

El Banco Central, como la mayoría de los bancos centrales del mundo, es autónomo. Esto quiere decir que el gobierno no puede intervenir directamente en cómo se maneja. Esta autonomía impide, por ejemplo, que alguna autoridad le ordene al Banco Central que le preste dinero o, incluso, que emita más dinero del conveniente.

2.1 Misión

El Banco Central, constitucionalmente autónomo en sus funciones y administración, cuya finalidad es proveer a la economía del país de moneda nacional. En el desempeño de esta encomienda tiene como objetivo prioritario procurar la estabilidad del poder adquisitivo de dicha moneda. Adicionalmente, le corresponde promover el sano desarrollo del sistema financiero y propiciar el buen funcionamiento de los sistemas de pagos.

2.2 Visión

La visión de largo plazo es la de ser reconocido como uno de los mejores bancos centrales del mundo.

2.3 Estructura Organizacional

En la *figura 2.1* se muestran los 2 principales niveles jerárquicos del Banco Central, que son la Presidencia y las Direcciones Generales que hasta el momento existen. En la *figura 2.2* encuentra el organigrama de la Dirección General de Emisión, donde se encuentra la Oficina de Ingeniería de Proyectos, a la cual pertenezco y corresponde el presente trabajo de investigación. Esta oficina se encarga de atender y buscar la mejor solución a las necesidades y oportunidades de mejora encontradas en las distintas áreas de este Banco Central.

En esta ocasión, el trabajo de investigación desarrollado busca evaluar la situación actual de la distribución de la moneda metálica en el país a nivel primario, comparada con un escenario deseado (teórico), y determinar con base a la evaluación y diagnóstico la posible oportunidad de mejora de acuerdo a la distribución primaria de moneda metálica, basándose en registros históricos de dicha situación para realizar la evaluación.



Figura 2.1 Organigrama General del Banco Central

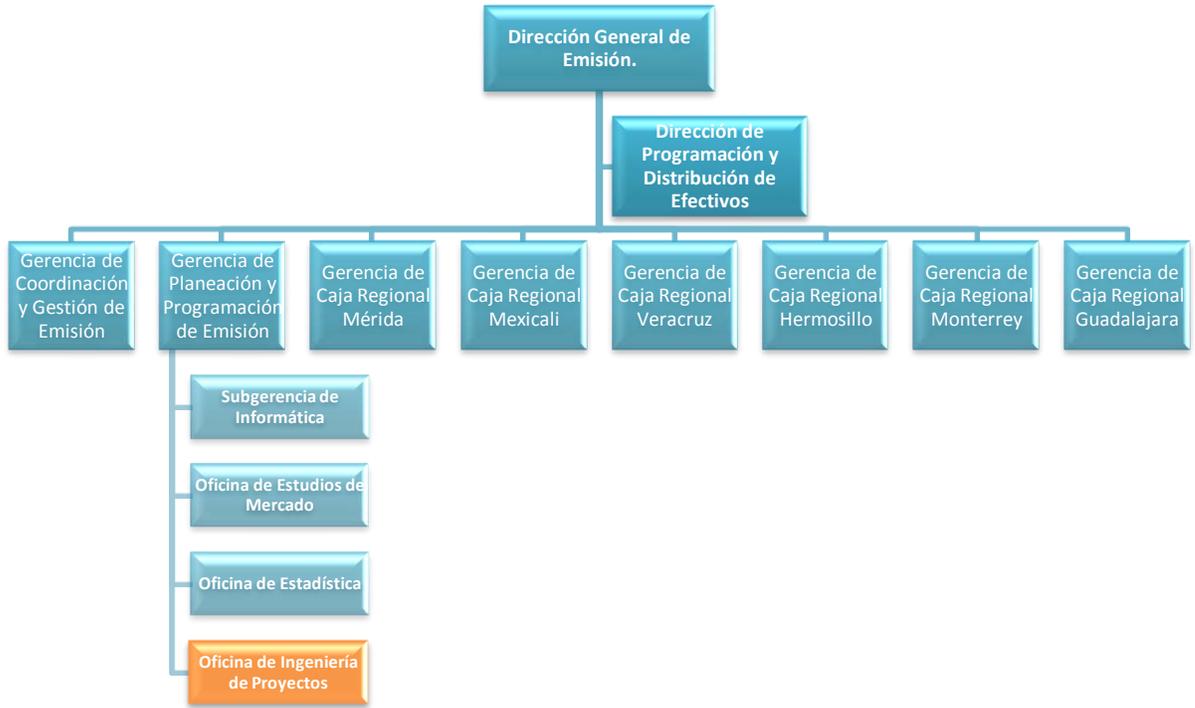


Figura 2.2 Organigrama de la Dirección General de Emisión

Capítulo 3. Metodología

3.1 Programación lineal

La programación lineal es una técnica poderosa para tratar problemas de asignación de recursos escasos entre actividad, que compiten al igual que otros problemas cuya formulación matemática es parecida. Se ha convertido en una herramienta estándar de gran importancia para muchas organizaciones industriales y de negocios. Aún más, casi cualquier organización social tiene el problema de asignar recursos en algún contexto y cada vez es mayor el reconocimiento de la aplicación tan amplia de esta técnica.

Sin embargo, no todos los problemas de asignación de recursos limitados se pueden formular de manera que se ajusten a un modelo de programación lineal, ni siquiera como una aproximación razonable.

3.1.2 Modelo matemático de programación lineal

Generalmente, un modelo matemático de programación lineal implica la maximización o minimización de una función lineal de un conjunto de variables no negativas, sujeta a un conjunto de desigualdades también lineales, que relacionan a las variables.

No existe una norma en cuenta a tratar el problema como un caso, ya sea de maximización o minimización. Es necesario aclarar que no es esta una diferencia básica que implique que el tratamiento dado a un problema en un caso, tenga un tratamiento completamente diferente en otro, sino que por el contrario, el tratamiento es el mismo (salvo las diferencias debidas a Max. o Min.). Existe, además, una relación uno a uno entre los dos problemas (problema dual).

El punto de vista de la programación lineal, es el de considerar un sistema como factible de ser descompuesto en una serie de funciones elementales llamadas “actividades”. La cantidad de cada actividad se llama “nivel de la actividad” y lo representaremos por el valor que toman las variables x_j .

La forma general del modelo matemático de programación lineal, será:

Encontrar: x_1, x_2, \dots, x_n (los niveles de n actividades), tales que maximicen la función lineal:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j + \dots + c_nx_n$$

que llamaremos “función objetivo”, satisfaciendo las m restricciones lineales:

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n &\leq \mathbf{b}_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n &\leq \mathbf{b}_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n &\leq \mathbf{b}_i \\
 &\dots\dots\dots \\
 a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mj}x_j + \dots + a_{mn}x_n &\leq \mathbf{b}_m
 \end{aligned}$$

tales que los niveles de actividad sean positivos o nulos, es decir:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

donde (a_{ij}) , (c_j) y (b_i) son constantes conocidas

La misma generalización utilizando matrices, sería:

Dado $A = \|a_{ij}\|$, $B = [b_1, b_2, \dots, b_m]$ y $C = [c_1, c_2, \dots, c_n]$, el problema general de programación lineal, es el de encontrar una o varias $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ no negativas, que maximicen:

$$Z = CX$$

Sujeta a la condición de que: $AX \leq B$

De aquí en adelante se supondrá que el modelo está en forma general, a menos que se especifique de otra manera.

3.1.3 Interpretación del modelo matemático de programación lineal

Consideraremos n actividades que están compitiendo por la obtención de ciertos recursos escasos.

Se mencionó que x_j representa la intensidad (o nivel) que tomará la actividad j , como por ejemplo la cantidad de mesas tipo j que deberá producir un carpintero que hace varios modelos de mesas, pero que está limitado respecto a la cantidad de madera que puede conseguir.

Z representará la medida total de efectividad (el valor de la función objetivo). La función objetivo deberá ser escogida de tal forma que refleje el dato que nos interesa maximizar (como por ejemplo utilidades).

C_j es el incremento que se obtendrá en el valor de la función objetivo (Z), por cada unidad que x_j se incremente. Por ejemplo C_j puede representar la ganancia obtenida al vender una mesa tipo j .

Hemos ya mencionado que existen recursos escasos que nos impiden desarrollar cada actividad de manera que se considera más efectiva. Sea “ m ” el número de recursos escasos. La forma que la programación lineal utiliza para indicar en que forma están restringidos cada uno de los recursos, es por medio de una desigualdad.

Debe tenerse mucho cuidado de no incurrir en ecuaciones redundantes, con el objeto de evitar más trabajo del necesario.

Cuando se incurre en ecuaciones redundantes, el método de solución las elimina, pero existe el peligro de que en lugar de este tipo de ecuaciones formemos un sistema inconsistente.

b_i es la cantidad del recurso i con que contamos para surtir a las n actividades.

a_{ij} es la cantidad del recurso i que es consumida por cada unidad de actividad j .

Vemos entonces, que las desigualdades no tienen otro significado que el de indicar matemáticamente que la suma de las cantidades de recurso escaso i utilizado en las n actividades, deberá ser menor o igual que la cantidad del mismo de que se dispone.

3.1.4 Ejemplo de formulación

Ejemplo 1

Supóngase que se tienen n posibles productos (actividades), los cuales podemos producir. Nos interesa saber cuáles de ellos y en qué cantidades debemos producirlos. Representaremos las cantidades a producir de cada una de ellos, por:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

Para producir estos n productos tenemos que hacer uso de m operaciones.

Supóngase que la ganancia que obtendremos de cada producto es conocida por nosotros y que está representada por:

$$c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$$

donde:

c_1 = ganancia obtenida al producir una unidad del producto 1

c_2 = ganancia obtenida al producir una unidad del producto 2

etc.

Representaremos por Z la ganancia total obtenida de todos los productos producidos.

Es claro ahora que nuestro objetivo será el de maximizar nuestra ganancia total. Sin embargo, generalmente existen consideraciones practicas que limitan las cantidades x_j que pueden ser producidas, limitando a su vez la ganancia que podemos obtener de la producción, como por ejemplo el hecho de que nuestra planta tiene capacidades fijas y finitas para nuestras m operaciones, es decir, tenemos capacidades disponibles que son:

$$b_1, b_2, b_3, \dots, b_m$$

También conocemos la cantidad de cada operación que cada uno de los productos requiere, de aquí que conozcamos que cada unidad del producto j que produzcamos requerirá a_{ij} minutos en la operación i , donde:

$$(j = 1, 2, \dots, n) (i = 1, 2, \dots, m)$$

Vemos que el problema es el de escoger cuidadosamente las cantidades de cada producto (x_1, x_2, \dots, x_n) que debemos producir, si deseamos que CX sea tan grande como sea posible.

Construyamos nuestro modelo matemático el cual deberá coincidir con nuestro modelo general dado con anterioridad.

Tratamos de encontrar los valores de x_1, x_2, \dots, x_n para:

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j + \dots + c_nx_n$$

Y vemos que estamos sujetos a las siguientes restricciones:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

.....

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n \leq b_i$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mj}x_j + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_j \geq 0 \text{ para } j = 1, 2, \dots, n$$

Vemos que los elementos en la columna j representan, cada uno, la capacidad usada de la operación i por el producto j .

El lado izquierdo de las desigualdades representa el uso total del recurso i , mientras que el derecho nos indica la capacidad total disponible para la operación i .

La restricción $x_j \geq 0$, solo nos indica que es imposible el producir cantidades negativas del producto j .

3.1.5 Terminología en Programación Lineal

Definición 1.

Una solución es un conjunto de n valores para las n x_j 's de las restricciones.

Definición 2.

Región de soluciones posibles es aquel conjunto de vectores que satisfacen todas las restricciones.

Definición 3.

Una solución factible (o posible), es cualquier solución (vector) que satisface todas las restricciones, es decir, cualquier vector de la región de soluciones posibles. Si existe una solución factible para un problema, éste se dice que es factible.

Definición 4.

Una solución básica factible es aquella que corresponde con un punto extremo de la región de soluciones posibles.

Una solución básica no factible es aquella que corresponde con la intersección de dos o más restricciones, fuera de la región de soluciones factibles.

Una solución básica factible es el conjunto de “ m ” cantidades x_i ($x_i \geq 0$) y de “ $n-m$ ” cantidades x_t ($x_t \geq 0$), que satisfacen el sistema de restricciones.

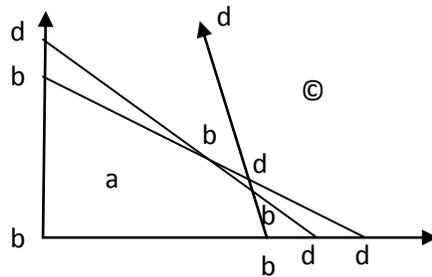


Figura 3.1 Tipos de soluciones

- a) Soluciones factibles (∞)
- b) Soluciones básicas factibles (5)
- c) Soluciones no factibles (∞)
- d) Soluciones básicas no factibles (5)

Definición 5.-

Una solución óptima, es la mejor de todas las soluciones factibles, esto es, aquella que maximiza la función objetivo.

Una solución óptima es aquel vector X_0 , tal que $CX_0 \geq CX$, para todas las soluciones (vectores) X factibles.

3.2 Análisis de Inventarios

3.2.1 Modelo de la cantidad fija de la orden con existencias de reserva

Un sistema de la cantidad fija de la orden vigila permanentemente el nivel del inventario y coloca una nueva orden cuando las existencias llegan a cierto nivel R . El peligro de desabasto en este modelo solo se presenta durante el tiempo de entrega; es decir, en el tiempo que corre entre el momento en que se coloca una orden y en que se recibe. Como muestra la figura 3.1, se coloca una orden cuando la situación del inventario baja al punto de una nueva orden R . En ese tiempo de entrega, L , puede surgir una gama diversa de demandas. Establecemos esta gama de demandas con base en un análisis de los datos de la demanda pasada o en una estimación (si no hay datos del pasado).

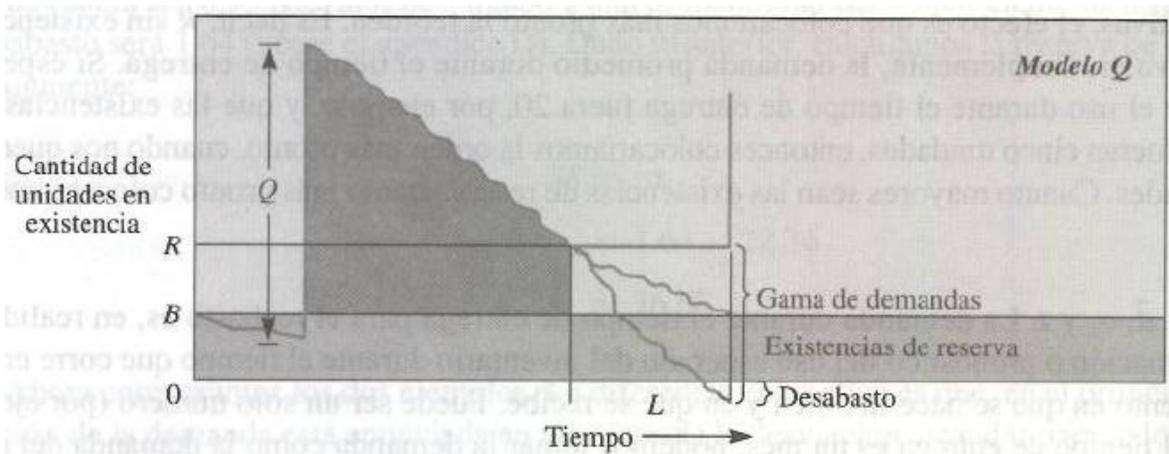


Figura 3.2 Modelo de la cantidad fija de la orden con existencias de reserva

El volumen de las existencias de reserva depende, como dijimos antes, del nivel de servicio deseado. Calculamos la cantidad de la orden Q , de la forma acostumbrada, considerando la demanda, el costo del desabasto, el costo de la orden, el costo por mantener el inventario, etc. Podemos usar el modelo de la cantidad fija de la orden para calcular Q , igual que con el modelo simple Q^{opt} . Luego, establecemos el punto de reorden para cubrir la demanda contemplada durante el tiempo de espera más las existencias de reserva determinadas por el nivel deseado de servicio. Por tanto, la diferencia central entre un modelo de la cantidad fija de la orden cuya demanda es conocida y una cuya demanda es desconocida está en calcular el punto de reorden. La cantidad de la orden es igual en los dos casos. El elemento incertidumbre está considerado en las existencias de reserva.

El punto de reorden es:

$$R = \mu L + z\sigma$$

donde:

R = Punto de reorden en unidades

μ = Demanda diaria promedio

L = Tiempo de entrega en días (tiempo que corre entre colocar la orden y recibir los artículos)

z = Número de desviaciones estándar para una probabilidad específica de servicio

σ = Desviación estándar de uso durante tiempo de entrega

El término $z\sigma$ es la cantidad de existencias de reserva. Nótese que si las existencias de reserva son positivas, el efecto es que colocaremos más pronto la reorden. Es decir, R sin existencias de reserva es, simplemente, la demanda promedio durante el tiempo de entrega.

Calcular μ , σ y z . La demanda durante el tiempo de entrega para el reabasto es, en realidad, una estimación o pronóstico del uso esperado del inventario durante el tiempo que corre entre el momento en que se hace la orden y en que se recibe. En el caso de la demanda diaria (di), podemos pronosticar la demanda (d) usando alguno de los modelos de pronóstico. Por ejemplo, si usamos un periodo de 30 días para calcular d , entonces un promedio simple sería:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n di}{n}$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{30} di}{30}$$

donde n es el número de días.

La desviación estándar de la demanda diaria es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (di - \mu)^2}{n}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (di - \mu)^2}{30}}$$

3.3 Enfoque de Sistemas

3.3.1 Sistema

Podríamos encontrar diversas definiciones de sistema pero debemos considerar que todas ellas están desarrolladas de manera intuitiva debido al quehacer diario en nuestras vidas, sin embargo podemos tener una idea que describa a un sistema como un conjunto de elementos que interactúan con un objetivo común. Todo sistema está integrado por objetos o unidades agrupadas de tal manera que, constituya un todo lógico y funcional, que es mayor que la suma de esas unidades.

El cuerpo humano es un sistema, este se forma de órganos interrelacionados, entre los cuales están los pulmones, el corazón, los músculos, etc., pero el cuerpo humano como todo ciertamente es algo más que la suma de sus partes individuales.

Una empresa de negocios es un sistema, sus partes están representadas por las funciones de mercadotecnia, operaciones, finanzas, etc., pero la empresa como sistema puede tener mayores logros como un todo que los que podría realizar cada una de sus partes individuales.

Una sola función no es capaz de producir algo por sí misma. Una empresa no puede vender el producto que no puede elaborar. No sirve de nada fabricar un producto que no puede venderse. Cuando las diversas partes de un sistema trabajan en conjunto, se obtiene un efecto sinérgico en el cual el producto del sistema es mayor que la suma de las contribuciones individuales de sus partes.

Existen sistemas cuyos elementos y objetivos son muy distintos, pero tienen el mismo tipo de interacción, este tipo de sistema se dice que son estructuralmente semejantes. Las conclusiones que se obtienen al estudiar uno de estos sistemas, se pueden aplicar a otro.

3.3.2 El Enfoque de Sistemas

Es un esquema metodológico que sirve como guía para la solución de problemas, en especial hacia aquellos que surgen en la dirección o administración de un sistema, al existir una discrepancia entre lo que se tiene y lo que se desea, su problemática, sus componentes y su solución.

El enfoque de sistemas son las actividades que determinan un objetivo general y la justificación de cada uno de los subsistemas, las medidas de actuación y estándares en términos del objetivo general, el conjunto completo de subsistemas y sus planes para un problema específico.

El proceso de transformación de un insumo (problemática) en un producto (acciones planificadas) requiere de la creación de una metodología organizada en tres grandes subsistemas:

- Formulación del problema
- Identificación y diseño de soluciones
- Control de resultados

Esto indica que los lineamientos básicos de trabajo son:

1. El desarrollo de conceptos y lineamientos para estudiar la realidad como un sistema (formulación del modelo conceptual).
2. El desarrollo de esquemas metodológicos para orientar el proceso de solución de problemas en sus distintas fases.
3. El desarrollo de técnicas y modelos para apoyar la toma de decisiones, así como para obtener y analizar la información requerida.

El enfoque de sistemas tiene como propósito hacer frente a los problemas cada vez más complejos que plantean la tecnología y las organizaciones modernas, problemas que por su naturaleza rebasan nuestra intuición y para lo que es fundamental comprender su estructura y proceso (subsistema, relaciones, restricciones del medio ambiente, etc.).

3.3.3 La Necesidad del Enfoque de Sistemas

El razonamiento común para justificar la necesidad del enfoque de sistemas, consiste en señalar que en la actualidad se enfrentan múltiples problemas en la dirección de sistemas cada vez más complejos. Esta complejidad se debe a que los elementos o partes del sistema bajo estudio están íntimamente relacionados ya que el sistema mismo interactúa en el medio ambiente y con otros sistemas.

Un ejemplo es el transporte, cuyo estudio lleva a considerar no sólo equipo, infraestructura, demanda y operación, sino también variables del entorno tan diversas como tecnología, contaminación, normatividad, seguridad, reordenación y uso del suelo, factibilidad financiera, etc.

El número de ejemplos de este tipo puede ampliarse fácilmente (una empresa, un centro de abasto, o un sistema de información) e incluso llevarse a niveles macro al citar la estrecha vinculación que existe entre factores como pobreza, delincuencia, educación, salud, empleo, productividad, inflación, votos electorales, etc.

3.3.4 Proceso de Solución de Problemas Utilizando el Enfoque de Sistemas

Subsistema Formulación del Problema. Tiene como función el identificar los problemas presentes y los previsibles para el futuro, además de explicar la razón de su existencia y para su comprensión se divide de la siguiente manera:

- Planteamiento de la problemática.
- Investigación de lo real.
- Formulación de lo deseado.
- Evaluación y diagnóstico.

Subsistema Identificación y Diseño de Soluciones. Su propósito es plantear y juzgar las posibles formas de intervención, así como la elaboración de los programas, presupuestos y diseños requeridos para pasar a la fase de ejecución, este punto está dividido en:

- Generación y evaluación de alternativas.
- Formulación de bases estratégicas.
- Desarrollo de la solución.

Subsistema Control de Resultados. Todo plan estrategia o programa está sujeto a ajustes o replanteamientos al detectar errores, omisiones, cambios en el medio ambiente, variaciones en la estructura de valores, etc.

Y este punto está dividido de la siguiente manera:

- Planeación del control.
- Evaluación de resultados y adaptación.

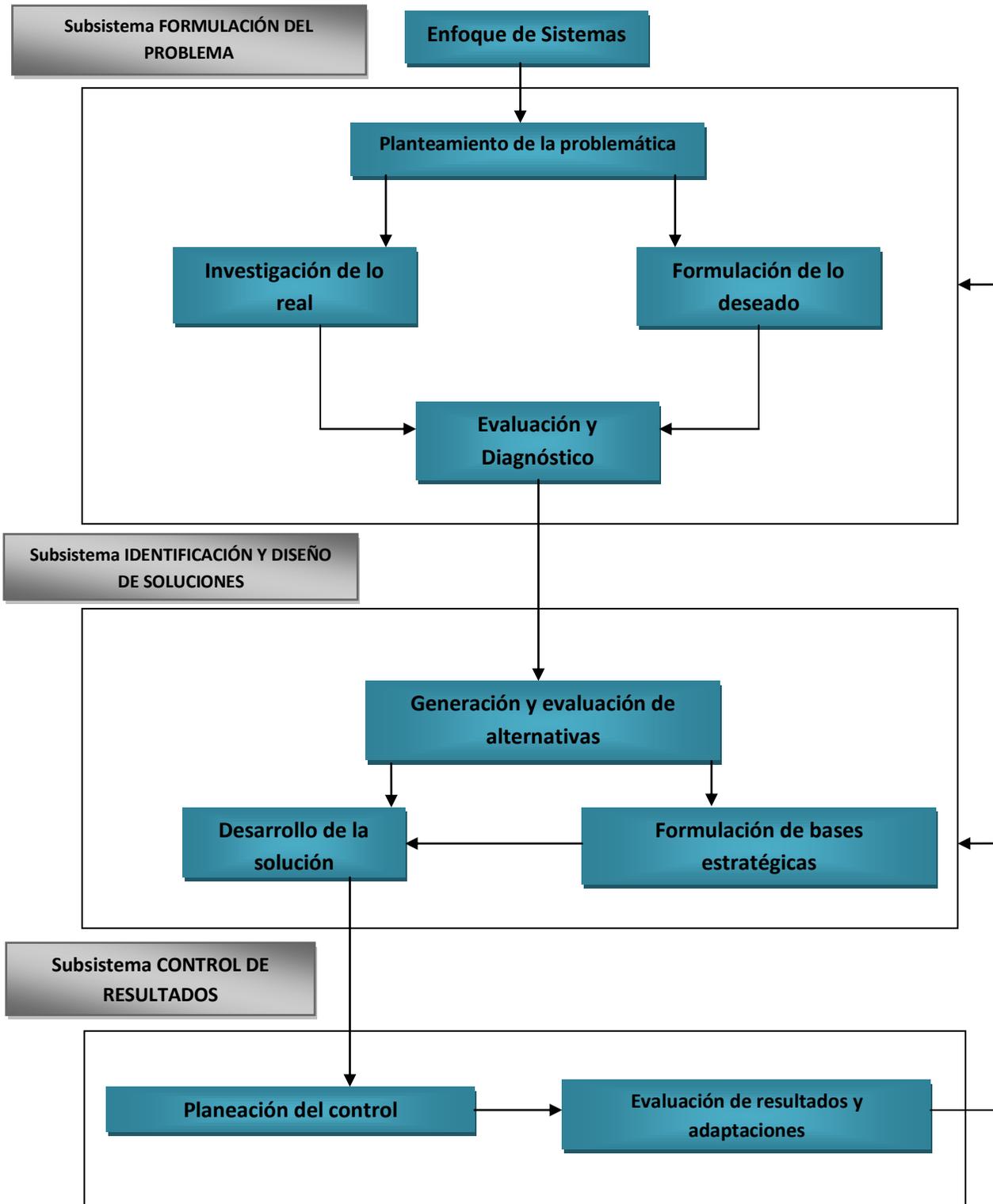


Figura 3.3 Descripción del Enfoque de Sistemas

Capítulo 4. Caso de Estudio

4.1 Diagnóstico Integral de la situación actual

La Oficina de Ingeniería de Proyectos, se encarga de atender y buscar la mejor solución a las necesidades y oportunidades de mejora encontradas en las distintas áreas de un empresa Banco Central.

En esta ocasión se busca evaluar la situación actual de la distribución de la moneda metálica en el país a nivel primario, comparada con un escenario deseado (teórico), y determinar con base a la evaluación y diagnóstico la posible oportunidad de mejora de acuerdo a la distribución primaria de moneda metálica, basándose en registros históricos de dicha situación para realizar la evaluación.

Actualmente se cuenta con una distribución de moneda metálica a nivel primario que se lleva a cabo mediante bolsas de lona que son traspaleadas al transporte (4 camiones con capacidad de 30 [ton] cada uno), la cual muestra un aprovechamiento en los últimos 4 años (2006-2009) del 75.23% aproximadamente de los recursos disponibles para su operación, (*ver tabla 4.2*) esto es debido a que la cantidad demandada de moneda en las distintas sucursales no se distribuye con una utilización óptima de los recursos, además de los factores externos (clima, manifestaciones sociales, etc.) que no se encuentran bajo el control de quién toma las decisiones de envío de moneda a los distintos destinos.

La cantidad de viajes realizada en el 2009 se encuentra alrededor de 205 viajes, con un promedio anual aproximado de 250 viajes del 2006 al 2009 (*ver tabla 4.3*), lo cual significa un factor crítico para dicha evaluación, así como lograr no sólo reducir si es el caso, dicha cantidad de viajes, sino también lograr la reducción de costos originados por tal actividad, y además adecuar la distribución de moneda para un mejor control de inventarios en las bóvedas de las cajas regionales y central, así como otros aspectos (cantidad y costo por viajes, etc.)

Por otro lado se tiene pensado cambiar el esquema de transporte de moneda metálica, y dentro de dichos cambios se encuentran el llevar a cabo el llenado de los camiones mediante contenedores metálicos llenos de bolsas de lona con moneda metálica, con el fin de mejorar el almacenamiento, distribución y seguridad de las existencias de moneda metálica durante su operación dentro y fuera del Banco Central, y así también lograr reducir el tiempo, costo y trabajo en la operación del llenado de los camiones, considerando el cambio de la capacidad del transporte de 30 a 40 [ton] por camión, o 20 contenedores por camión.

Al respecto de la evaluación se ha decidido llevarla a cabo utilizando como herramientas de apoyo la Programación Lineal, Análisis de Inventarios y el Enfoque de

Sistemas, debido a que se busca lograr la integración entre las actividades llevadas a cabo en campo y por quienes son encargados de la toma de decisiones.

4.2 Problemática

Este Banco Central tiene la finalidad de proveer a sus principales sucursales de moneda nacional. La distribución se lleva a cabo mediante bolsas de lona que se traspalean a los camiones que tienen una capacidad de 30 [ton] cada uno (4 camiones). Se piensa cambiar el esquema de transporte por contenedores metálicos, con una capacidad de 175 bolsas para contenedores de \$2, y 200 bolsas para contenedores de las denominaciones restantes. Para lograr su distribución se ha decidido rentar 4 camiones cuya capacidad es de 40 [ton] o 20 contenedores por camión, a una empresa transportadora de valores. Los camiones deben distribuir la moneda a las sucursales de Guadalajara (g), Monterrey (mt), Hermosillo (h), Veracruz (v) y Oficina Central en la Ciudad de México (mx). Para cada caja regional se ha estimado un promedio anual de demanda de moneda en sus distintas denominaciones, considerando que cada viaje no puede rebasar la capacidad de carga de los camiones en sus distintos esquemas.

Las entregas a las sucursales de Mérida y Mexicali se realizan vía Veracruz y Hermosillo respectivamente mediante camiones de 10 [ton], por lo tanto no se considerarán para el estudio.

Los costos por viaje promedio a todas las cajas regionales, así como la demanda de moneda de cada caja regional se especifican en las distintas tablas de datos.

Sean X_g , X_h , X_m , X_{mt} , X_v , el número de viajes realizados a cada caja regional.

Determinar el plan de embarque para lograr un costo total mínimo, garantizando el abastecimiento de moneda en las distintas sucursales del Banco Central, y determinar si la compra de 4 camiones de 40 [ton] es necesaria o se excede para llevar a cabo el mejor plan de embarque.

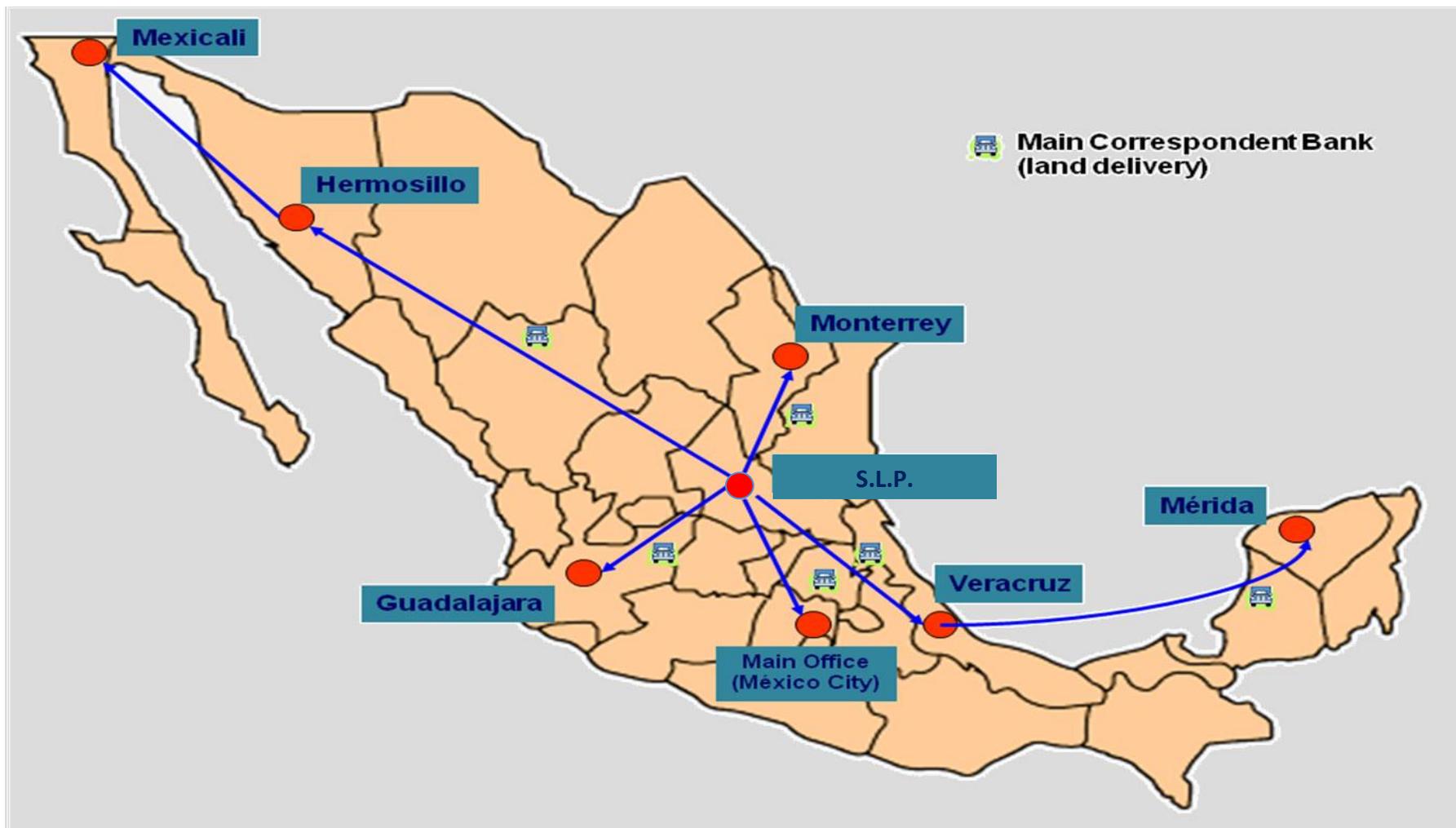


Figura 4.1 Mapa de la distribución de moneda desde S.L.P. (Centro de Distribución) a Sucursales y Oficina Central del Banco Central

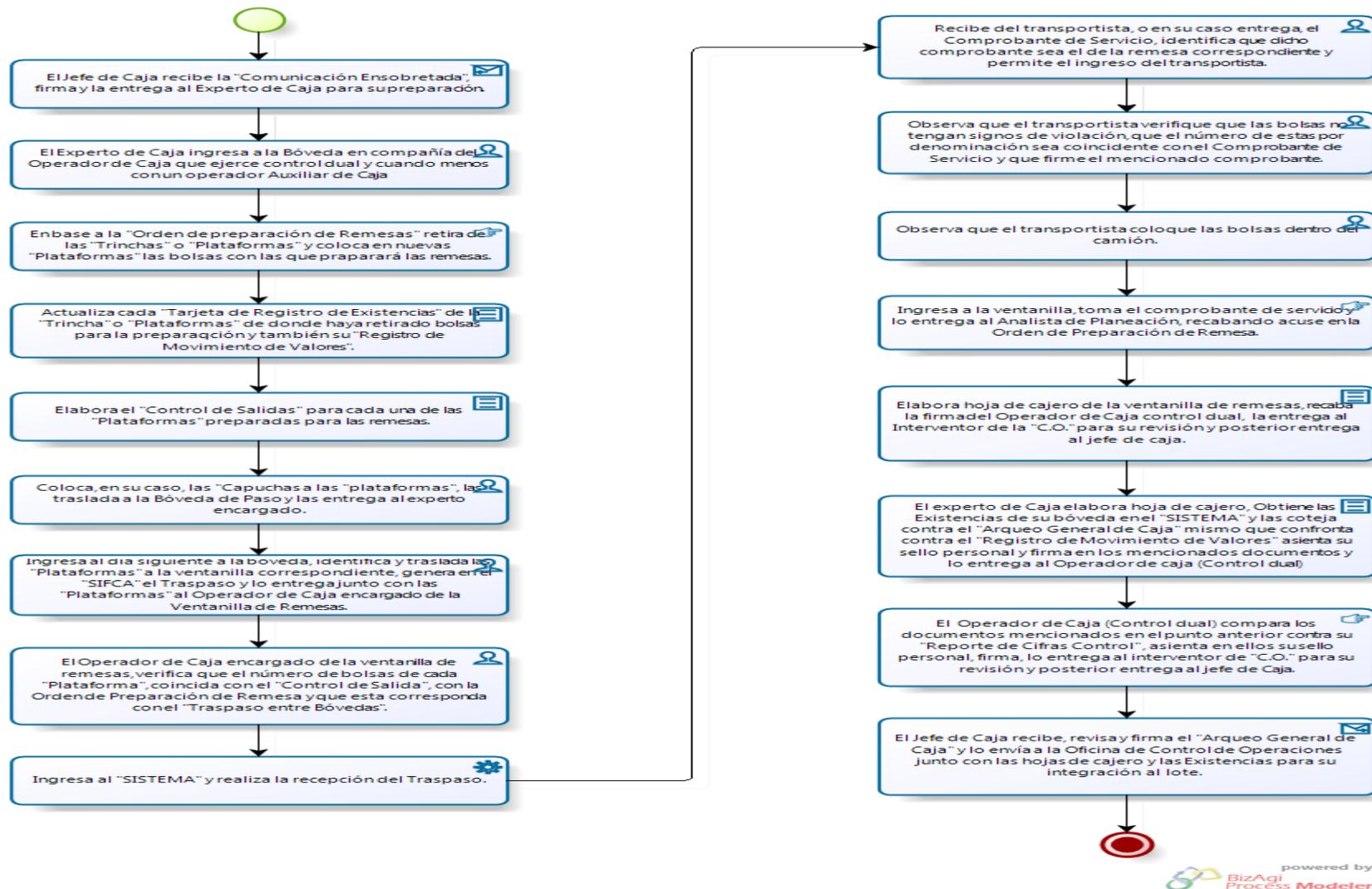


Figura 4.2 Diagrama Actual de la Operación de Distribución de Remesas de Moneda a las Sucursales y Oficina Central del Banco Central

4.3 Recopilación de datos que se utilizarán para el planteamiento del problema de programación lineal y análisis de inventarios.

Tabla 4.1 Esquemas de precios para los 2 esquemas de transporte, ofrecidos por la empresa transportadora de valores para la moneda metálica

Situación Actual: Camiones de 30 [ton]

Nuevo Esquema: Camiones de 40 [ton]

Concepto	Situación Actual		Nuevo Esquema	
	Unidad	Precios Actuales	Unidad	Precios Propuestos
<i>Recorrido con carga</i>	<i>Kilómetro</i>	<i>\$24.20</i>	<i>Kilómetro</i>	<i>\$21.39</i>
<i>Recorrido sin carga</i>	<i>Kilómetro</i>	<i>\$21.39</i>	<i>Kilómetro</i>	<i>\$18.73</i>
<i>Servicio de entrega o recolección</i>	<i>Servicio</i>	<i>\$318.20</i>	<i>Servicio</i>	<i>\$318.20</i>
<i>Maniobra de carga y descarga por unidad</i>	<i>Bolsa</i>	<i>\$2.48</i>	<i>Contenedor</i>	<i>\$280</i>
<i>Renta de Caja Tractocamión Mensual</i>	<i>No aplica</i>	<i>No aplica</i>	<i>1 Caja</i>	<i>\$8,300.00</i>

Tabla 4.2 Índice de eficiencia en viajes de 30 [ton] (Situación Actual) del 2006 al 2009

	[2006-2009]					
	<i>Bolsas de \$2</i>	<i>Bolsas denominación general</i>	<i>Total de bolsas demandadas</i>	<i>Viajes 30 [ton] Real</i>	<i>Viajes 30 [ton] Teórico</i>	<i>Índice de Eficiencia en Viajes 30 [ton]</i>
<i>Guadalajara</i>	55,757	360,127	415,884	171	124	72.51%
<i>Hermosillo</i>	15,663	143,248	158,911	59	48	81.36%
<i>México</i>	116,013	1,350,741	1,466,754	582	436	74.91%
<i>Monterrey</i>	25,860	317,076	342,936	132	102	77.27%
<i>Veracruz</i>	15,906	107,131	123,037	49	37	75.51%
				993	747	75.23%

Tabla 4.3 Resultados de los viajes realizados en un previo análisis con los datos históricos del 2006 al 2009 (Situación Actual vs Nuevo esquema)

	<i>Resultados Reales Situación actual</i>		<i>Resultados deseados Nuevo Esquema</i>	
	<i>Cantidad de viajes 2006-2009</i>	<i>Promedio anual de viajes 2006-2009</i>	<i>Cantidad de viajes 2006-2009</i>	<i>Promedio anual de viajes 2006-2009</i>
<i>Xg</i>	171	43	124	31
<i>Xh</i>	59	15	48	12
<i>Xm</i>	582	146	436	109
<i>Xmt</i>	132	33	102	26
<i>Xv</i>	49	13	37	10
		250		188

Tabla 4.4 Resultado del total de bolsas demandadas en las distintas sucursales del Banco Central durante la situación actual del 2006 al 2009

	[2006-2009]			[Promedio-Anual]
	<i>Bolsas de \$2</i>	<i>Bolsas denominación general</i>	<i>Total de bolsas demandadas</i>	<i>Total de bolsas demandadas</i>
<i>Guadalajara</i>	55,757	360,127	415,884	103,971
<i>Hermosillo</i>	15,663	143,248	158,911	39,728
<i>México</i>	116,013	1,350,741	1,466,754	366,689
<i>Monterrey</i>	25,860	317,076	342,936	85,734
<i>Veracruz</i>	15,906	107,131	123,037	30,760

Tabla 4.5 Deducción del total de contenedores demandados de moneda metálica, con base a las bolsas demandadas del 2006-2009 (Tabla 4.4), considerando 175 bolsas por contenedor para la denominación de \$2 y 200 bolsas por contenedor para el resto de las denominaciones

[2006-2009]				[Promedio-Anual]
	<i>Total de Contenedores demandados [\$2]</i>	<i>Total de Contenedores demandados D.G.</i>	<i>Total de Contenedores Demandados</i>	<i>Total de Contenedores Demandados</i>
Guadalajara	319	1801	2120	530
Hermosillo	90	717	807	202
México	663	6754	7417	1855
Monterrey	148	1586	1734	434
Veracruz	91	536	627	157

Tabla 4.6 Datos estadísticos de la distribución de moneda metálica obtenida por denominación y sucursal (bolsas)

GUADALAJARA							
Denominación	\$0.1	\$0.2	\$0.5	\$1	\$2	\$5	\$10
media	416.29	283.98	277.86	864.03	387.20	295.26	363.46
desv_est	559.20	379.74	435.66	856.61	530.85	458.53	735.52
50%	170.00	134.00	0.00	825.00	140.00	0.00	0.00
90%	1188.00	882.00	890.10	2000.00	1035.00	850.00	1334.00
95%	1500.00	1067.00	1197.00	2485.00	1563.75	1075.65	1980.05
HERMOSILLO							
Denominación	\$0.1	\$0.2	\$0.5	\$1	\$2	\$5	\$10
media	407.61	269.95	309.16	830.36	279.70	363.77	377.16
desv_est	383.48	287.58	374.73	720.70	383.88	411.07	593.31
50%	350.00	233.50	300.00	725.00	87.50	250.00	0.00
90%	900.00	610.00	767.00	2000.00	750.00	834.00	1267.00
95%	1095.00	945.50	900.25	2100.00	1000.00	937.75	1666.75
MEXICO							
Denominación	\$0.1	\$0.2	\$0.5	\$1	\$2	\$5	\$10
media	497.92	315.70	449.17	856.03	298.23	676.78	676.74
desv_est	827.70	592.14	709.84	1220.36	602.63	1111.36	1264.04
50%	0.00	0.00	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00
90%	1806.00	1134.00	1480.40	2660.00	1105.00	2507.20	2667.00
95%	2622.80	1573.60	2000.00	3490.00	1780.00	3160.20	3734.00
MONTERREY							
Denominación	\$0.1	\$0.2	\$0.5	\$1	\$2	\$5	\$10
media	629.72	379.07	334.08	721.97	217.31	332.39	267.28
desv_est	620.31	456.70	473.84	825.88	406.47	517.31	597.82
50%	550.00	200.00	100.00	500.00	0.00	0.00	0.00
90%	1416.00	1061.40	1000.00	2000.00	750.00	850.00	1096.40
95%	1700.00	1135.60	1300.30	2160.00	1000.00	1223.70	1334.00
VERACRUZ							
Denominación	\$0.1	\$0.2	\$0.5	\$1	\$2	\$5	\$10
media	330.91	267.78	197.35	729.89	345.78	343.41	459.59
desv_est	381.23	280.53	295.42	609.66	382.95	445.57	625.86
50%	260.00	240.00	0.00	600.00	200.00	200.50	47.50
90%	825.00	740.50	667.00	1500.00	925.00	834.00	1334.00
95%	1105.00	790.00	818.50	1937.50	1065.25	984.00	1533.50

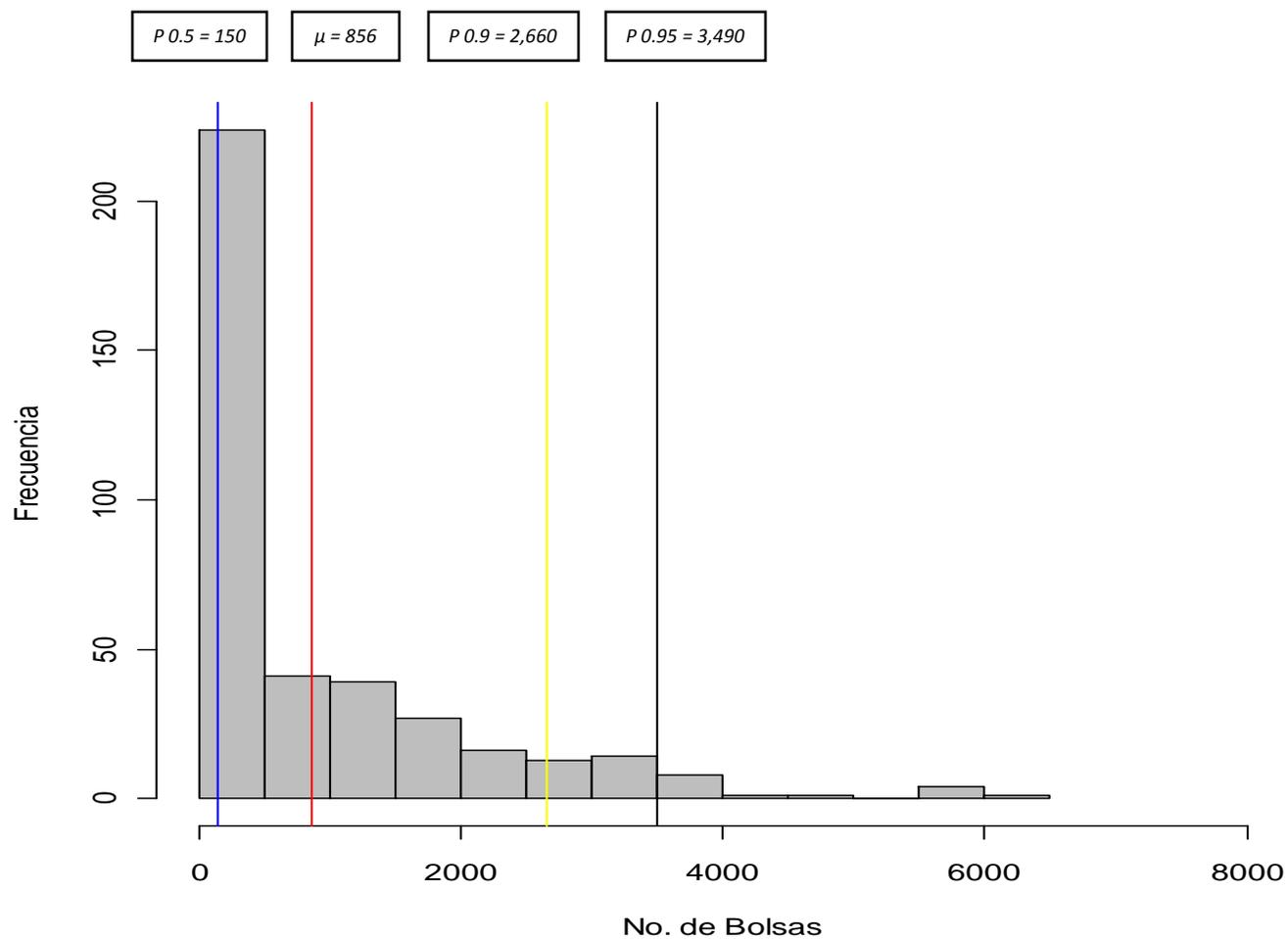


Figura 4.3 Ejemplo de un histograma de la distribución de moneda metálica a Oficina Central para la denominación de \$1

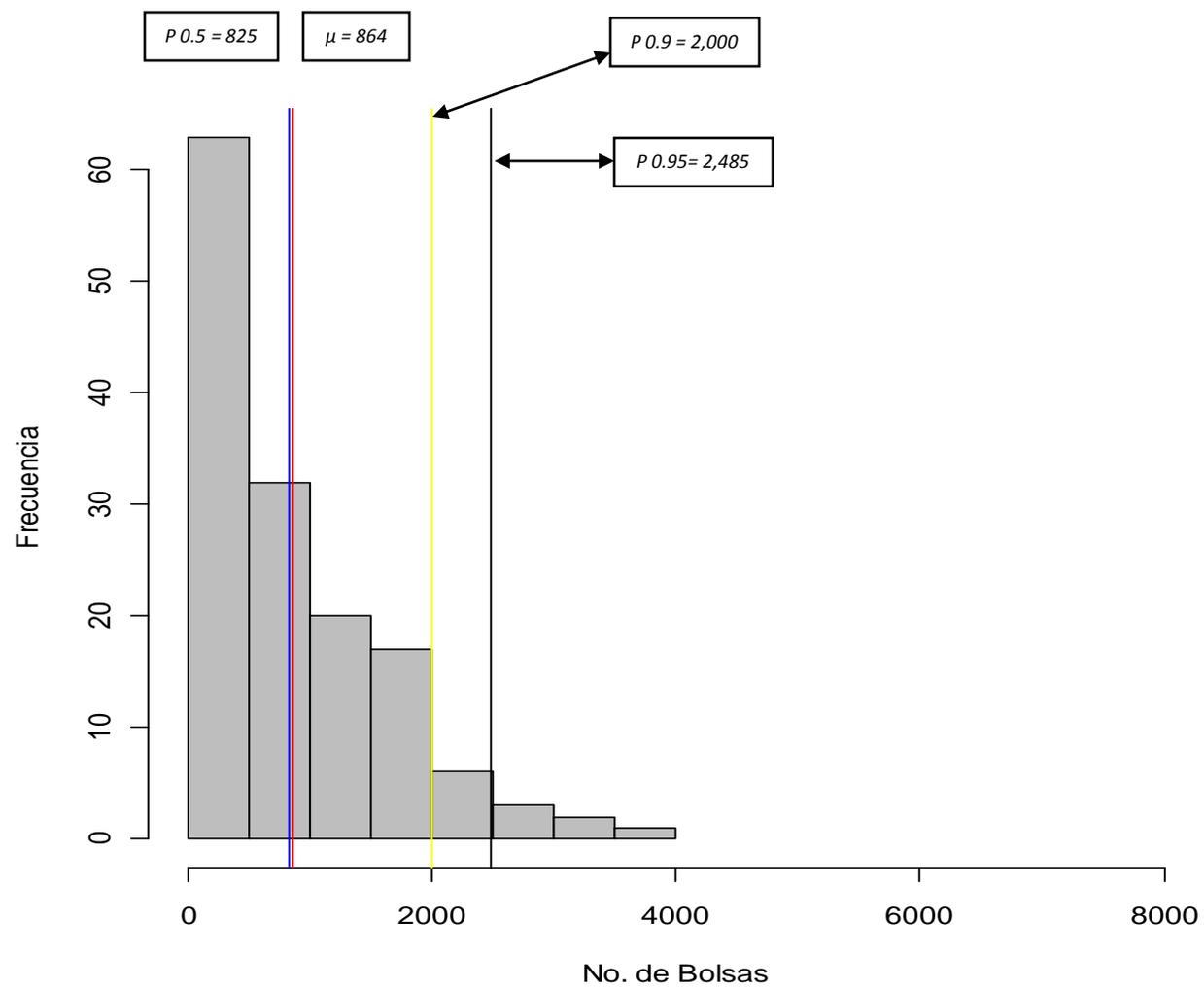


Figura 4.4 Ejemplo de un histograma de la distribución de moneda metálica a la sucursal Guadalajara para la denominación de \$1

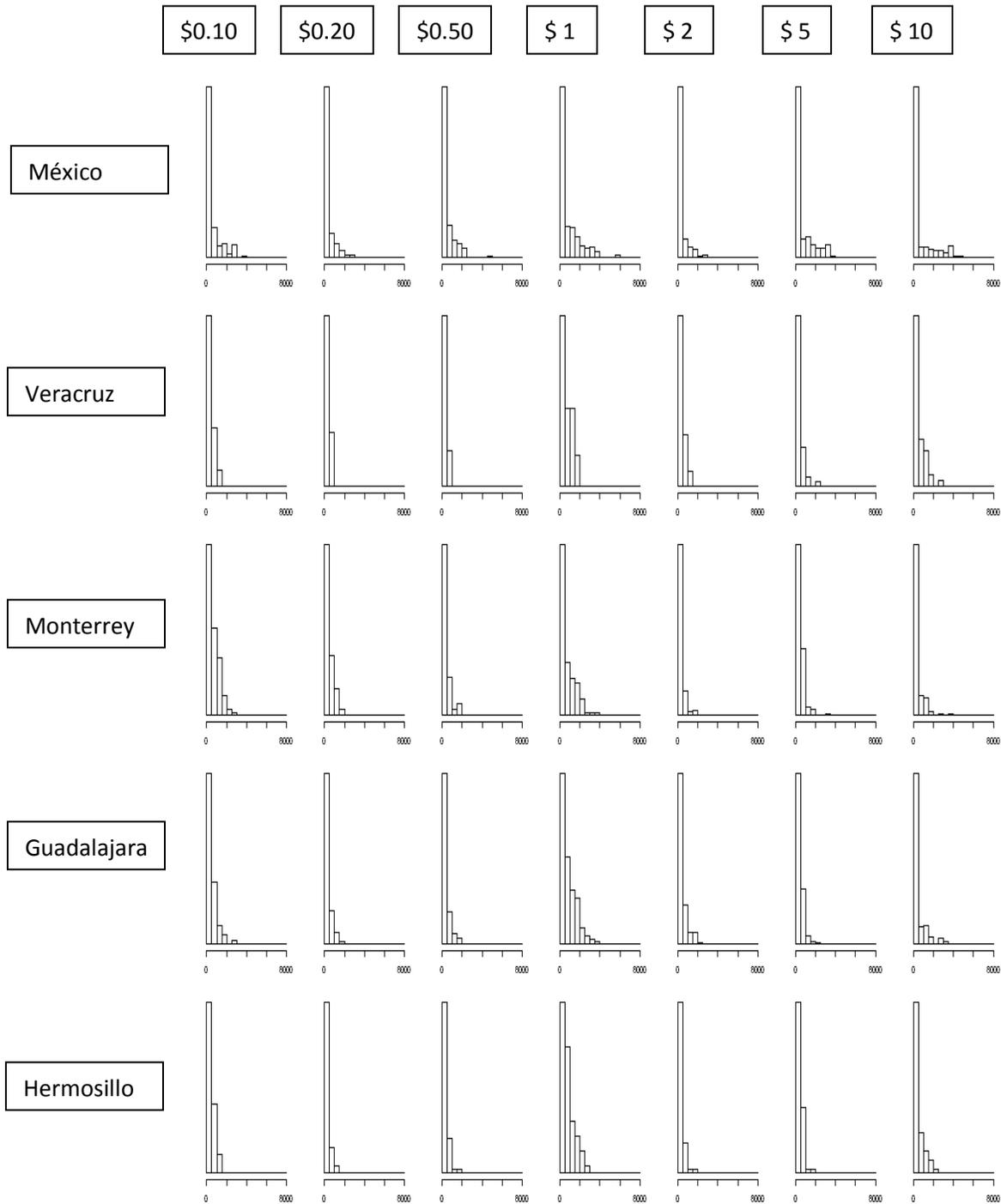


Figura 4.5 Histogramas de la distribución de moneda metálica para cada sucursal y denominación

4.4 Planteamiento del problema de programación lineal

Tabla 4.7 Esquema para el planteamiento del modelo matemático de programación lineal para la situación actual de distribución de moneda metálica (bolsas)

Cantidad de viajes	Sucursales	Consideraciones de envío anual [Bolsas]							Consideraciones de viajes	Costo [\$]
		\$0.1	\$0.2	\$0.5	\$1	\$2	\$5	\$10		
X_g	g	417	284	278	865	388	296	364	43	16,732
X_h	h	408	270	310	831	280	364	378	15	79,555
X_m	m	498	316	450	857	299	677	677	146	18,555
X_{mt}	mt	630	380	335	722	218	333	268	33	22,886
X_v	v	331	268	198	730	346	344	460	13	36,472
Disponibilidad		91,655	59,061	70,222	155,851	74,800	95,377	97,415		

Tabla 4.8 Esquema para el planteamiento del modelo matemático de programación lineal para la situación actual de distribución de moneda metálica (contenedores)

Aquí se convirtieron los datos de la tabla 4.7 de bolsas a contenedores.

Cantidad de viajes	Sucursales	Consideraciones de envío anual [Contenedores]							Consideraciones de viajes	Costo [\$]
		\$0.1	\$0.2	\$0.5	\$1	\$2	\$5	\$10		
X_g	g	2.09	1.62	1.39	4.33	1.94	1.48	1.82	31	14,724
X_h	h	2.04	1.54	1.55	4.16	1.40	1.82	1.89	12	70,009
X_m	m	2.49	1.81	2.25	4.29	1.50	3.39	3.39	109	16,329
X_{mt}	mt	3.15	2.17	1.68	3.61	1.09	1.67	1.34	26	20,140
X_v	v	1.66	1.53	0.99	3.65	1.73	1.72	2.30	10	32,096
Disponibilidad		459	338	352	780	374	477	488		



Tabla 4.9 Estandarización de viajes con 20 contenedores cada uno

Después de haber hecho la conversión de bolsas a contenedores, utilizaremos esos nuevos datos para estandarizar los viajes de manera que se realicen con el máximo de capacidad que es de 20 contenedores.

Como se puede observar en la primera sección de la tabla, el total de contenedores enviados en promedio por viaje no resulta cubrir el total de capacidad para nuestro nuevo esquema [20 contenedores], por lo tanto se procede en la segunda sección de la tabla a estimar el porcentaje de la composición de cada denominación en cada viaje, y por último en la tercera sección de nuestra tabla, ese porcentaje es multiplicado por 20, y de tal manera se forma la tabla 4.10 que representa la estandarización de los viajes de contenido total de 20 contenedores.

Cantidad de contenedores promedio por denominación y sucursal								
	Total	\$0.10	\$0.20	\$0.50	\$1	\$2	\$5	\$10
Xg	14.66	2.09	1.62	1.39	4.33	1.94	1.48	1.82
Xh	14.40	2.04	1.54	1.55	4.16	1.40	1.82	1.89
Xm	19.10	2.49	1.81	2.25	4.29	1.50	3.39	3.39
Xmt	14.70	3.15	2.17	1.68	3.61	1.09	1.67	1.34
Xv	13.58	1.66	1.53	0.99	3.65	1.73	1.72	2.30
Proporción de contenedores por denominación y sucursal								
	Total	\$0.10	\$0.20	\$0.50	\$1	\$2	\$5	\$10
Xg	100%	14.2%	11.1%	9.5%	29.5%	13.2%	10.1%	12.4%
Xh	100%	14.2%	10.7%	10.8%	28.9%	9.7%	12.6%	13.1%
Xm	100%	13.0%	9.5%	11.8%	22.4%	7.8%	17.7%	17.7%
Xmt	100%	21.4%	14.8%	11.4%	24.6%	7.4%	11.3%	9.1%
Xv	100%	12.2%	11.3%	7.3%	26.9%	12.7%	12.7%	16.9%
Cantidad estandar de contenedores por denominación y sucursal (20 cont/camión)								
	Total	\$0.10	\$0.20	\$0.50	\$1	\$2	\$5	\$10
Xg	20	2.84	2.21	1.90	5.90	2.65	2.02	2.48
Xh	20	2.83	2.14	2.15	5.77	1.94	2.53	2.63
Xm	20	2.61	1.89	2.36	4.49	1.57	3.55	3.55
Xmt	20	4.29	2.95	2.28	4.91	1.48	2.27	1.82
Xv	20	2.44	2.26	1.46	5.38	2.55	2.53	3.39



Tabla 4.10 Esquema estandarizado para lograr viajes compuestos de 20 contenedores cada uno

Cantidad de viajes	Sucursales	Consideraciones de envío anual [Contenedores]							Consideraciones de viajes	Costo [\$]
		\$0.1	\$0.2	\$0.5	\$1	\$2	\$5	\$10		
X_g	g	2.84	2.21	1.90	5.90	2.65	2.02	2.48	31	14,724
X_h	h	2.83	2.14	2.15	5.77	1.94	2.53	2.63	12	70,009
X_m	m	2.61	1.89	2.36	4.49	1.57	3.54	3.54	109	16,329
X_{mt}	mt	4.29	2.95	2.28	4.91	1.48	2.27	1.82	26	20,140
X_v	v	2.44	2.26	1.46	5.38	2.55	2.53	3.39	10	32,096
Disponibilidad		459	338	352	780	374	477	488		

Definición de variables:

X_g	Guadalajara
X_h	Hermosillo
X_m	México
X_{mt}	Monterrey
X_v	Veracruz

Donde: X_g , X_h , X_m , X_{mt} y X_v representan el número de viajes realizados a sucursal.

Tabla 4.11 Planteamiento del modelo matemático de programación lineal para la situación deseada de distribución de moneda metálica

Cantidad de viajes	Sucursales	Consideraciones de envío anual [Contenedores]							Consideraciones de viajes	Costo [\$]
		\$0.1	\$0.2	\$0.5	\$1	\$2	\$5	\$10		
Xg	g	2.84	2.21	1.90	5.90	2.65	2.02	2.48	31	14,724
Xh	h	2.83	2.14	2.15	5.77	1.94	2.53	2.63	12	70,009
Xm	m	2.61	1.89	2.36	4.49	1.57	3.54	3.54	109	16,329
Xmt	mt	4.29	2.95	2.28	4.91	1.48	2.27	1.82	26	20,140
Xv	v	2.44	2.26	1.46	5.38	2.55	2.53	3.39	10	32,096
Disponibilidad		459	338	352	780	374	477	488		

Función Objetivo

$$\text{Min } Z = 14,724 Xg + 70,009 Xh + 16,329 Xm + 20,140 Xmt + 32,096 Xv$$

Y

$$\text{Max } Z = 14,724 Xg + 70,009 Xh + 16,329 Xm + 20,140 Xmt + 32,096 Xv$$

Restricciones de Disponibilidad

$$2.84Xg + 2.83Xh + 2.61Xm + 4.29Xmt + 2.44Xv \geq 459$$

$$2.21Xg + 2.14Xh + 1.89Xm + 2.95Xmt + 2.26Xv \geq 338$$

$$1.90Xg + 2.15Xh + 2.36Xm + 2.28Xmt + 1.46Xv \geq 352$$

$$5.90Xg + 5.77Xh + 4.49Xm + 4.91Xmt + 5.38Xv \geq 780$$

$$2.65Xg + 1.94Xh + 1.57Xm + 1.48Xmt + 2.55Xv \geq 374$$

$$2.02Xg + 2.53Xh + 3.54Xm + 2.27Xmt + 2.53Xv \geq 477$$

$$2.48Xg + 2.63Xh + 3.54Xm + 1.82Xmt + 3.39Xv \geq 488$$

Restricciones de Demanda

$$Xg \geq 31$$

$$Xh \geq 12$$

$$Xm \geq 109$$

$$Xmt \geq 26$$

$$Xv \geq 10$$

Restricciones de No Negatividad

$$Xg, Xh, Xm, Xmt, Xv \geq 0$$

4.5 Resultados del problema de programación lineal

Minimizando = \$ 4, 106,924

LINDO - [Reports Window]

File Edit Solve Reports Window Help

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 6

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 4106924.

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XG	43.626415	0.000000
XH	12.000000	0.000000
XM	109.000000	0.000000
XMT	26.000000	0.000000
XV	10.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	119.289017	0.000000
3)	89.404381	0.000000
4)	87.810188	0.000000
5)	217.505844	0.000000
6)	0.000000	-5556.226562
7)	111.665359	0.000000
8)	118.833511	0.000000
9)	12.626415	0.000000
10)	0.000000	-59229.921875
11)	0.000000	-7605.724609
12)	0.000000	-11916.785156
13)	0.000000	-17927.623047
14)	25.494339	0.000000
15)	43.626415	0.000000
16)	12.000000	0.000000
17)	109.000000	0.000000
18)	26.000000	0.000000
19)	10.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 6

Maximizando = \$ 4, 225,870

LINDO - [Reports Window]

File Edit Solve Reports Window Help

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 4225870.

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XG	34.361111	0.000000
XH	12.000000	0.000000
XM	124.638885	0.000000
XMT	26.000000	0.000000
XV	10.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	133.793060	0.000000
3)	98.485558	0.000000
4)	107.113892	0.000000
5)	233.059174	0.000000
6)	0.000000	-1486.111084
7)	148.311111	0.000000
8)	151.217224	0.000000
9)	3.361111	0.000000
10)	0.000000	-6422.270996
11)	15.638889	0.000000
12)	0.000000	-988.298584
13)	0.000000	-1438.805542
14)	0.000000	4665.548828
15)	34.361111	0.000000
16)	12.000000	0.000000
17)	124.638885	0.000000
18)	26.000000	0.000000
19)	10.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 2

Tabla 4.12 Resultados de programación lineal mediante el uso de LINDO

	DEMANDA	RESULTADOS	
		MIN	MAX
Xg	31	44	35
Xh	12	12	12
Xm	109	109	125
Xmt	26	26	26
Xv	10	10	10

Tabla 4.13 Análisis financiero de la situación actual real y teórica, comparada con el resultado teórico para el nuevo esquema de transporte

AÑO	DESTINO	# BOLSAS	# BOLSAS (\$2)	# CONTENEDORES	# CONTENEDORES \$2	TOTAL CONTENEDORES	# VIAJES 40[ton]	# VIAJES 30[ton] Teórico	# VIAJES 30[ton] Real	DISTANCIA EN [km]	COSTO VIAJE REDONDO 40 [ton]	COSTO VIAJE REDONDO 30 [ton] Teórico	COSTO VIAJE REDONDO 30 [ton] Real	
2006-2009	GUADALAJARA	360,127	55,757	1801	319	2120	106	124	171	367	\$1,560,748.24	\$2,074,709.72	\$2,861,091.63	
	HERMOSILLO	143,248	15,663	717	90	807	41	48	59	1745	\$2,870,385.40	\$3,818,618.40	\$4,693,718.45	
	MÉXICO	1,350,741	116,013	6754	663	7417	371	436	582	407	\$6,057,999.64	\$8,090,036.68	\$10,799,085.66	
	MONTERREY	317,076	25,860	1586	148	1734	87	102	132	502	\$1,752,200.88	\$2,334,390.36	\$3,020,975.76	
	VERACRUZ	107,131	15,906	536	91	627	32	37	49	800	\$1,027,072.00	\$1,349,464.00	\$1,787,128.00	
	TOTAL	2,278,323	229,199			12,705	637	747	993		COSTO RECORRIDO	\$13,268,406.16	\$17,667,219.16	\$23,161,999.50
											SERV. DE ENT. O REC.	\$202,693.40	\$237,695.40	\$315,972.60
											MANIOBRA C Y D	\$3,557,400.00	\$6,218,654.56	\$6,218,654.56
											COSTO RENTA ANUAL	\$398,400	No aplica	No aplica
											COSTO TOTAL 2006-2009	\$17,426,899.56	\$24,123,569.12	\$29,696,626.66
										C. T. PROMEDIO ANUAL	\$4,356,724.89	\$6,030,892.28	\$7,424,156.67	

Los resultados obtenidos mediante la programación lineal, minimizando y maximizando el mismo planteamiento son de **\$4,106,924** y **\$4,225,870** respectivamente, por lo que comparando dichos resultados con el presente análisis financiero, en específico el caso del nuevo esquema de **40 [ton]**, parece ser que existe aún en el peor de los casos cierta seguridad de que al menos los gastos por el transporte de moneda metálica no se excederán de los gastos realizados al respecto durante el esquema actual teórico con un margen de seguridad de **27.76%** y del esquema actual real con un margen de seguridad de **41.32%**.

Por lo tanto se puede establecer con base a estos resultados que el cambio del esquema de transporte actual de moneda metálica al nuevo esquema es económicamente viable.

4.6 Planteamiento del problema de análisis de inventarios

4.6.1 Modelo de la cantidad fija de la orden, con existencias de reserva

Si suponemos que queremos que nuestra probabilidad de no sufrir desabasto durante el tiempo de espera sea de 0.90, 0.95 y 0.98. Los valores de z ligados a una probabilidad del 90, 95 y 98 por ciento de no sufrir desabasto serán respectivamente 1.28, 1.64 y 2.056 (Véase el apéndice A).

Ahora se aplicará el método descrito para cada sucursal de la empresa bancaria de acuerdo a lo siguiente:

La demanda diaria de la bolsa de moneda, normalmente está distribuida con una media (μ) y una desviación estándar (σ) de acuerdo a la sucursal de la empresa bancaria que se trate. La fuente de suministro es confiable y tiene un tiempo de entrega (L) constante de acuerdo a la ubicación de la sucursal. El costo por colocar el pedido es de \$10 para cualquier sucursal, y los costos anuales por mantener el inventario son de \$0.50 por bolsa de cualquier denominación. No hay costos por desabasto y las órdenes atrasadas son atendidas tan pronto como llega la orden. Suponiendo que la demanda tiene lugar 250 días del año. El objetivo será encontrar la cantidad de la orden y el punto de reorden necesarios para satisfacer cada sucursal con una probabilidad del 90,95 y 98 por ciento de no sufrir desabasto durante el tiempo de entrega.

Definición de variables:

$Q_{\text{ópt}}$ = Cantidad óptima de orden

D = Demanda anual en bolsas

R = Punto de reorden en unidades

μ = Demanda diaria promedio (considerando 250 días laborales)

L = Tiempo de entrega en días (tiempo que corre entre colocar la orden y recibir los artículos)

z = Número de desviaciones estándar para una probabilidad específica de servicio

σl = Desviación estándar de uso durante tiempo de entrega

S = Costo por colocar un pedido

H = Costo anual de mantener el inventario por unidad

Tabla 4.14 Datos generales de cada sucursal para el análisis de inventarios

2006-2009	D (bolsas)	μ	σ	L
Guadalajara	103,971	416	100	2
Hermosillo	39,728	159	14	4
México	366,689	1,467	614	1
Monterrey	85,734	343	67	2
Veracruz	30,760	124	40	3

El costo por colocar un pedido y el costo anual de mantener el inventario por unidad serán constantes para todas las sucursales y todos los casos.

$$S = \$10$$

$$H = \$0.50$$

Comenzaremos por evaluar el caso 1.

4.6.2 Caso 1. 90% de probabilidad de que no exista desabasto en cada sucursal, $z=1.28$

Sucursal Guadalajara:

La cantidad óptima de orden será:

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(103,971)(10)}{0.50}} = \sqrt{4,158,840} = 2,040 \text{ bolsas}$$

Para calcular el punto de reorden tendremos que calcular la cantidad de producto que usaremos durante el tiempo de espera y sumarla a las existencias de reserva.

Calculamos la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega de 2 días con la varianza de los días individuales. Como la demanda de cada día es independiente.

$$\sigma_l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{2(100)^2} = 200$$

El valor de z para este caso es 1.28

$$R = \mu L + z\sigma l = 416(2) + 1.28(200) = 1,088 \text{ bolsas}$$

4.6.3 Caso 2. 95% de probabilidad de que no exista desabasto en cada sucursal, z= 1.64

Sucursal Guadalajara

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(103,971)(10)}{0.50}} = \sqrt{4,158,840} = 2,040 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{2(100)^2} = 200$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 416(2) + 1.64(200) = 1,160 \text{ bolsas}$$

4.6.4 Caso 3. 98% de probabilidad de que no exista desabasto en cada sucursal, z= 2.056

Sucursal Guadalajara

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(103,971)(10)}{0.50}} = \sqrt{4,158,840} = 2,040 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{2(100)^2} = 200$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 416(2) + 2.056(200) = 1,244 \text{ bolsas}$$

Nota: El desarrollo de los 3 casos y todas las sucursales se puede observar en el apéndice B.

4.7 Resultados del análisis de inventarios

Tabla 4.15 Resultados del análisis de inventarios por sucursal (bolsas)

<i>Resultados en bolsas</i>				
<i>Probabilidad</i>		<i>0.9</i>	<i>0.95</i>	<i>0.98</i>
<i>2006-2009</i>	<i>Qópt</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>
<i>Guadalajara</i>	2,040	1,088	1,160	1,244
<i>Hermosillo</i>	1,261	672	682	694
<i>México</i>	3,830	2,253	2,474	2,730
<i>Monterrey</i>	1,852	808	842	881
<i>Veracruz</i>	1,110	461	486	515

Tabla 4.16 Resultados del análisis de inventarios por sucursal (contenedores)

Se transformaron los resultados obtenidos en la tabla 4.15 de bolsas a contenedores

<i>Resultados en contenedores</i>				
<i>Probabilidad</i>		<i>0.9</i>	<i>0.95</i>	<i>0.98</i>
<i>2006-2009</i>	<i>Qópt</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>
<i>Guadalajara</i>	11	6	6	7
<i>Hermosillo</i>	6	4	4	4
<i>México</i>	19	12	13	14
<i>Monterrey</i>	9	5	5	5
<i>Veracruz</i>	6	3	3	3

Tabla 4.17 Resultados con base en la proporción de la demanda histórica de cada denominación y los resultados obtenidos de la Qópt para cada sucursal (bolsas)

GDL	
Qópt	2,040
\$0.10	294
\$0.20	201
\$0.50	196
\$1	610
\$2	274
\$5	209
\$10	257

HMO	
Qópt	1,261
\$0.10	181
\$0.20	120
\$0.50	137
\$1	369
\$2	124
\$5	162
\$10	168

MEX	
Qópt	3,830
\$0.10	506
\$0.20	321
\$0.50	456
\$1	869
\$2	303
\$5	687
\$10	687

MTY	
Qópt	1,852
\$0.10	405
\$0.20	244
\$0.50	215
\$1	464
\$2	140
\$5	214
\$10	172

VER	
Qópt	1,110
\$0.10	137
\$0.20	111
\$0.50	82
\$1	303
\$2	144
\$5	143
\$10	191

4.8 Aplicación a la Ingeniería Industrial

4.8.1 Funciones del departamento que desarrolla el trabajo de aplicación

La Oficina de Ingeniería de Proyectos, se encarga de identificar, evaluar y atender la mejor solución a las necesidades y oportunidades de mejora encontradas en las distintas áreas de la empresa bancaria en cuestión, con la finalidad de garantizar y mejorar la calidad de los servicios, optimizando los recursos disponibles del área que tenga que ser atendida, mediante la mejora continua en los procesos.

4.8.2 Perfil del profesional, descripción del puesto de trabajo

El profesional que se desarrolla en esta área utiliza los conocimientos de las ciencias físico matemáticas para desarrollar sus actividades en aspectos tales que promuevan la mejora continua de procesos y equipos industriales, así como la planeación, diseño, construcción, operación y verificación de distintos proyectos llevados a cabo en las distintas áreas productivas y de servicios, respondiendo así a las necesidades que se presentan en esta empresa bancaria.

Dicho profesional debe actuar con base a los principios éticos de responsabilidad, honestidad, lealtad, imparcialidad, apertura e igualdad. Además de contar con competencias tales como creatividad, suficiencia profesional, definido sentido social, Impacto e Influencia, Sinergia de Equipos, Orientación al Servicio, Pensamiento sistémico, Liderazgo de Equipos, Interés por el Orden y Calidad, Orientación a Resultados, Pensamiento Analítico, Apertura al Cambio, Autoconfianza y Normatividad.

Las actividades que realiza el investigador adscrito a esta área son:

Tabla 4.18 Actividades del Investigador de la Oficina de Ingeniería de Proyectos

Planear	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Propiciar la participación del trabajo en equipo, liderazgo en la institución. ➤ Investigar, desarrollar y diseñar proyectos. ➤ Establecer los objetivos y procesos necesarios para obtener los resultados de acuerdo con el resultado esperado.
Hacer	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseñar los métodos de trabajo y realizar mediciones de los mismos. ➤ Implementar los nuevos procesos. Si es posible, en una pequeña escala.
Verificar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar diagnósticos y proponer soluciones a las necesidades detectadas. ➤ Administrar y controlar del proyecto. ➤ Recopilar datos de control y analizarlos, comparándolos con los objetivos y especificaciones iniciales, para evaluar si se ha producido la mejora esperada.
Actuar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Evaluar y tomar decisiones basándose en procesos matemáticos y financieros. ➤ Modificar los procesos según las conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos con las especificaciones iniciales, si fuese necesario. ➤ Aplicar nuevas mejoras, si se han detectado errores en el paso anterior. ➤ Documentar el proceso



Figura 4.6 Ciclo de la Mejora Continua (Círculo de Deming)

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Ante la necesidad de administrar y distribuir, de manera eficiente, materiales escasos a las distintas operaciones en las que las empresas se ven reflejadas, es necesario aplicar las técnicas de la investigación de operaciones. Las técnicas desarrolladas han contribuido a empujar la rápida carrera que llevaba la investigación de operaciones, e incluso muchas de las técnicas hubiesen alcanzado un grado de desarrollo extraordinario.

Es por todos conocido el rápido desarrollo que han experimentado, durante el anterior y presente siglo, el tamaño y la complejidad de las organizaciones humanas. Por ejemplo, el tamaño de las empresas modernas, implica que las decisiones administrativas pueden tener un efecto sobre grandes cantidades de capital y gran número de personas. Los errores pueden ser tremendamente costosos y una sola decisión equivocada puede requerir años para rectificarse.

La ingeniería industrial se caracteriza por tener una formación integral, es decir: brinda la capacidad de entender y analizar diferentes tipos de procesos; y, facilita la propuesta de mejoras y soluciones de gran impacto para sistemas simples y complejos. Debido a esto, las aportaciones más importantes de este estudio fueron:

- a) Análisis de programación lineal para la distribución de moneda en el país a nivel primario en las sucursales del Banco Central.
- b) y un análisis de inventarios, que en complemento con el punto anterior, nos permite obtener una solución más eficiente e integra.

Como se observo en el capítulo 4, los resultados obtenidos mediante el análisis de programación lineal, minimizando y maximizando el mismo planteamiento son de \$4,106,924 y \$4,225,870 respectivamente, por lo que comparando dichos resultados con el presente análisis financiero, en específico el caso del nuevo esquema de 40 [ton] , parece ser que existe aún en el peor de los casos cierta seguridad de que al menos los gastos por el transporte de moneda metálica no se excederán de los gastos realizados al respecto durante el esquema actual teórico con un margen de seguridad de 27.76% y del esquema actual real con un margen de seguridad de 41.32%.

Por lo tanto se puede establecer con base a estos resultados que el cambio del esquema de transporte actual de moneda metálica al nuevo esquema es económicamente viable.

Por otro lado, con base en los resultados obtenidos por medio del análisis de inventarios parece ser que la utilización del nuevo esquema de transporte es factible, ya que para ninguno de los casos el valor de la Qópt sobrepasa la capacidad del transporte.

En el caso de que las sucursales que muestran una $Q_{\text{ópt}}$ considerablemente por debajo de la capacidad del nuevo esquema de transporte (20 contenedores), sería recomendable en combinación con los resultados obtenidos por programación lineal reajustar la $Q_{\text{ópt}}$ con base a la experiencia y considerando todas las situaciones extraordinarias (como manifestaciones, fenómenos naturales, etc.) que se puedan presentar en el día a día e impidan el funcionamiento teórico propuesto presentado en este trabajo.

También hay que aclarar que resulta difícil seguir los resultados propuestos en este trabajo, pero pudiera acercarse en un intento de optimizar los recursos disponibles para la realización de las actividades descritas, y en combinación con la experiencia de los analistas de la empresa dedicados a esta actividad verificar y corregir día a día los valores que resultarán ser óptimos para la actividad, formando una respuesta más integral que involucre el enfoque sistémico.

Englobando los resultados de ambos procedimientos, tanto la programación lineal y el análisis de inventarios, es claro que el proyecto es económicamente viable así como operativamente factible, pero existe por el momento una holgura en cuanto a la cantidad de camiones necesarios para llevar a cabo las actividades descritas con éxito, aunque viéndolo de otra manera, el compromiso de cumplir con dichas actividades, además del alto costo que implica el no llevarlas a cabo como está programado, pudiera justificar la necesidad de contar con la 4^o unidad de transporte, ya que pudiera proteger a la programación de las actividades en caso de presentarse algún imprevisto con alguna unidad.

5.2 Recomendaciones

Una vez concluido este trabajo de investigación, se considera interesante continuar su desarrollo con aspectos relacionados a la investigación de operaciones (Programación Lineal) y el análisis de inventarios.

Extender la investigación realizada a una red que involucre el segundo nivel de distribución, combinándolo con la identificación de la ruta más corta que pudiera existir entre las sucursales principales (Primer nivel) como entre los correspondientes (Segundo nivel), trabajando también en mejorar el modelo matemático planteado o quizá encontrar otra variable de decisión que refleje con mayor claridad el desarrollo de las operaciones.

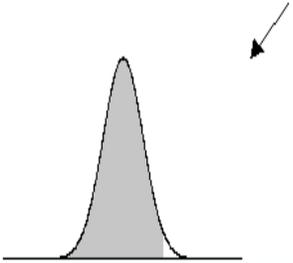
Por otro lado considerar en el análisis de programación lineal e inventarios la capacidad de las bóvedas de cada sucursal, así como la estimación de la demanda de la moneda por denominación para los próximos 10 años (por ejemplo), con el objetivo de reducir no solo el costo de transporte como ya se realizó en el presente trabajo, sino también para reducir el costo de inventarios, que aunque pareciera representar un costo hundido por la necesidad de contar siempre con una cantidad de inventario, si se encuentra una solución factible podría representar un gran ahorro para la institución.

También es recomendable considerar los eslabones anteriores al de distribución en la cadena de suministro del Banco Central, ya que si dicha cadena se encuentra desbalanceada desde eslabones anteriores como pudieran ser proveedores o manufactura, las actividades del área de distribución serán afectadas independientemente de su desarrollo normal, así como el comportamiento general de la cadena de suministro de la empresa.

Además este tipo de investigación podría representar una alternativa u oportunidad para poder ser vendida a empresas cuyas actividades sean similares a esta, sobretodo pequeñas empresas cuyo desarrollo al respecto es reducido la mayor parte de las veces y la oportunidad de crecimiento y desarrollo es alta, siendo que la reducción de costos y la buena administración de las operaciones en todo tipo de empresas es hoy en día es un punto clave para su supervivencia.

Apéndice A. Áreas bajo la curva normal estándar

Tabla 1. Áreas bajo la curva normal estándar. Los valores de la tabla que no se muestran en negrita representan la probabilidad de observar un valor menor o igual a z. La cifra entera y el primer decimal de z se buscan en la primera columna, y el segundo decimal en la cabecera de la tabla.

$$P(Z \leq z) = \int_{-\infty}^z f(t) dt$$


Segunda cifra decimal del valor de z											
z	0.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09	
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359	
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753	
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141	
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517	
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879	
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224	
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549	
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852	
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133	
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389	
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621	
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830	
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015	
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177	
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319	
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441	
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545	
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633	
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706	
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767	
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817	
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857	
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890	
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916	
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936	
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952	
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964	
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974	
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981	
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986	
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990	
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993	
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995	
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997	
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998	

Apéndice B. Desarrollo del análisis de inventarios para los 3 casos y en todas las sucursales. (Modelo de la cantidad fija de la orden, con existencias de reserva)

Caso 1. 90% de probabilidad de que no exista desabasto en cada sucursal, $z= 1.28$

Sucursal Guadalajara

$$Q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(103,971)(10)}{0.50}} = \sqrt{4,158,840} = 2,040 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{2(100)^2} = 200$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 416(2) + 1.28(200) = 1,088 \text{ bolsas}$$

Sucursal Hermosillo

$$Q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(39,728)(10)}{0.50}} = \sqrt{1,589,120} = 1,261 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{4(14)^2} = 28$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 159(4) + 1.28(28) = 672 \text{ bolsas}$$

Oficina Central (México)

$$Q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(366,689)(10)}{0.50}} = \sqrt{14,667,560} = 3,830 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{1(614)^2} = 614$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 1,467(1) + 1.28(614) = 2,253 \text{ bolsas}$$

Sucursal Monterrey

$$Q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(85,734)(10)}{0.50}} = \sqrt{3,429,360} = 1,852 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{2(67)^2} = 94.75$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 343(2) + 1.28(94.75) = 808 \text{ bolsas}$$

Sucursal Veracruz

$$Q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(30,760)(10)}{0.50}} = \sqrt{1,230,400} = 1,110 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{3(40)^2} = 69.28$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 124(3) + 1.28(69.28) = 461 \text{ bolsas}$$

Caso 2. 95% de probabilidad de que no exista desabasto en cada sucursal, $z= 1.64$

Sucursal Guadalajara

$$Q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(103,971)(10)}{0.50}} = \sqrt{4,158,840} = 2,040 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{2(100)^2} = 200$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 416(2) + 1.64(200) = 1,160 \text{ bolsas}$$

Sucursal Hermosillo

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(39,728)(10)}{0.50}} = \sqrt{1,589,120} = 1,261 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{4(14)^2} = 28$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 159(4) + 1.64(28) = 682 \text{ bolsas}$$

Oficina Central (México)

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(366,689)(10)}{0.50}} = \sqrt{14,667,560} = 3,830 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{1(614)^2} = 614$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 1,467(1) + 1.64(614) = 2,474 \text{ bolsas}$$

Sucursal Monterrey

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(85,734)(10)}{0.50}} = \sqrt{3,429,360} = 1,852 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{2(67)^2} = 94.75$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 343(2) + 1.64(94.75) = 842 \text{ bolsas}$$

Sucursal Veracruz

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(30,760)(10)}{0.50}} = \sqrt{1,230,400} = 1,110 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{3(40)^2} = 69.28$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 124(3) + 1.64(69.28) = 486 \text{ bolsas}$$

Caso 3. 98% de probabilidad de que no exista desabasto en cada sucursal, $z= 2.056$

Sucursal Guadalajara

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(103,971)(10)}{0.50}} = \sqrt{4,158,840} = 2,040 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{2(100)^2} = 200$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 416(2) + 2.056(200) = 1,244 \text{ bolsas}$$

Sucursal Hermosillo

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(39,728)(10)}{0.50}} = \sqrt{1,589,120} = 1,261 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{4(14)^2} = 28$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 159(4) + 2.056(28) = 694 \text{ bolsas}$$

Oficina Central (México)

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(366,689)(10)}{0.50}} = \sqrt{14,667,560} = 3,830 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{1(614)^2} = 614$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 1,467(1) + 2.056(614) = 2,730 \text{ bolsas}$$

Sucursal Monterrey

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(85,734)(10)}{0.50}} = \sqrt{3,429,360} = 1,852 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{2(67)^2} = 94.75$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 343(2) + 2.056(94.75) = 881 \text{ bolsas}$$

Sucursal Veracruz

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(30,760)(10)}{0.50}} = \sqrt{1,230,400} = 1,110 \text{ bolsas}$$

$$\sigma l = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma^2} = \sqrt{3(40)^2} = 69.28$$

$$R = \mu L + z\sigma l = 124(3) + 2.056(69.28) = 515 \text{ bolsas}$$

Apéndice C. Seudocódigo para la obtención de histogramas y datos estadísticos de la distribución de moneda en sucursales del Banco Central

```
x <- read.csv("m_remasas_cm_dia_plaza_bolsas_pt_2.csv",stringsAsFactors=F)

m1 <-
tapply(x$m1,list(x$BANCO,format(strptime(x$FECHA,"%d/%m/%Y"),"%Y"),format(strptime(x$FECHA,"%d/%
m/%Y"),"%m")),sum)

maxx<-max(x[,4:10])
pdf("matriz_hist.pdf",width=8,height=8,onefile=T)
x11(width=10,height=10)
layout(matrix(1:(length(unique(x$BANCO))*7),length(unique(x$BANCO)),7,byrow=T))
resumen <- as.numeric(NULL)
nombre <- as.character(NULL)
for( sucu in unique(x$BANCO) ) {
  for( ncol_x in 4:10 ) {
    #par(mar=c(2,2,2,2))
    cond_sucu <- x$BANCO== sucu
    datos <- x[cond_sucu,ncol_x]
    hist(datos,main=NULL,breaks=seq(0,500*ceiling(maxx/500),500),axes=T,ylab="Frecuencia",xlab="No. de
Bolsas",col="gray 70")
    axis(1,at=seq(0,8000,2000),label=F)
    axis(1,at=c(0,8000))
    nombre <- c(nombre, paste(sucu,colnames(x)[ncol_x]))
    resumen <- cbind(resumen, c(mean(datos),sd(datos),quantile(datos,prob=c(0.5,0.90,0.95))) )
  }
}
savePlot("matriz_hist",type="png")
dev.off()
rownames(resumen)[1:2] <- c("media","desv_est"); colnames(resumen) <- nombre
write.csv(resumen,"resumen.csv")
```

Apéndice D. Glosario

Eficiencia.- Es la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados

Eficacia.- La eficacia es la capacidad de alcanzar el efecto que espera o se desea tras la realización de una acción

Efectividad.- Capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.

Enfoque de sistemas.- Es un esquema metodológico que sirve como guía para la solución de problemas, en especial hacia aquellos que surgen en la dirección o administración de un sistema, al existir una discrepancia entre lo que se tiene y lo que se desea, su problemática, sus componentes y su solución.

Inventario.- Un inventario es una provisión de materiales y de subcomponentes que tiene por objeto facilitar la producción o satisfacer la demanda de los clientes. Por lo general, los inventarios incluyen materia prima, productos en proceso y artículos terminados

Investigación de operaciones.- La Investigación de Operaciones (IO) es una rama de las matemáticas que hace uso de modelos matemáticos y algoritmos con el objetivo de ser usado como apoyo a la toma de decisiones. Se busca que las soluciones obtenidas sean significativamente más eficientes (en tiempo, recursos, beneficios, costos, etc.) en comparación a aquellas decisiones tomadas en forma intuitiva o sin el apoyo de una herramienta para la toma de decisiones.

Mejora continua.- La mejora continua, si se quiere, es una filosofía que intenta optimizar y aumentar la calidad de un producto, proceso o servicio. Es mayormente aplicada de forma directa en empresas de manufactura, debido en gran parte a la necesidad constante de minimizar costos de producción obteniendo la misma o mejor calidad del producto, porque como sabemos, los recursos económicos son limitados y en un mundo cada vez más competitivo a nivel de costos, es necesario para una empresa manufacturera tener algún sistema que le permita mejorar y optimizar continuamente

Programación lineal.- La Programación Lineal (PL) es una de las principales ramas de la Investigación de Operaciones. En esta categoría se consideran todos aquellos modelos de optimización donde las funciones que lo componen, es decir, función objetivo y restricciones, son funciones lineales en las variables de decisión.

Los modelos de Programación Lineal por su sencillez son frecuentemente usados para abordar una gran variedad de problemas de naturaleza real en ingeniería y ciencias sociales, lo que ha permitido a empresas y organizaciones importantes beneficios y ahorros asociados a su utilización.

BIBLIOGRAFÍA

Marín, Benito (1994), *Apuntes de Investigación de Operaciones 1*, Primera Edición, México, UNAM.

C. West Chuchman (1993), *El enfoque de sistemas para la Toma de Decisiones*. Primera Edición, México, Edit. Diana.

Fuentes Zenón, *Metodología de la Planeación Normativa*. Cuaderno 1 de Planeación y Sistemas. DEPMI-UNAM, México, División de Estudios de Posgrado, FI, UNAM.

Michael J. Crawley (2007), *The R Book*. Imperial College London at Silwood Park, UK, John Wiley & Sons, Ltd

Chase Richard, Jacobs Robert, Aquilano Nicolas (2007), *Administración de la Producción y Operaciones para una Ventaja Competitiva*, Décima Edición, México, Edit. Mc Graw Hill.

MESOGRAFÍA

Banco de México (2010), *Descripción de la finalidad del Banco de México*, [página web en línea], México, Banco de México, [citado 02/10/2010], disponible en internet:
<http://www.banxico.org.mx/>

Banco de México (2010), *Estructura Organizacional del Banco de México*, [página web en línea], México, Banco de México, [citado 02/10/2010], disponible en internet:
<http://www.banxico.org.mx/acerca-del-banco-de-mexico/organigrama.html>

Facultad de Ingeniería UNAM, *Teoría de la planeación. El enfoque de sistemas*, [página web en línea], México, Facultad de Ingeniería UNAM, [citado 02/10/2010], disponible en internet:
http://www.ingenieria.unam.mx/~jkuri/Apunt_Planeacion_internet/TEMAII.5.pdf

Museo Interactivo (MIDE), *Banco de México: Nuestro Banco Central*, [página web en línea], México, Museo Interactivo (MIDE), [citado 02/10/2010], disponible en internet:
<http://www.banxico.org.mx/acerca-del-banco-de-mexico/%7B4A2893CC-09B2-CF74-268D-F79D77FE7571%7D.pdf>

Docstoc, Documents for small bussines & Professionals, *Aplicación De La Programación Lineal En La Empresa Galletera Día S.A.*, [página web en línea], México, [citado 02/10/2010], disponible en internet:
<http://www.docstoc.com/docs/9485698/APLICACION-DE-LA-PROGRAMACION-LINEAL-EN-LA-EMPRESA-GALLETERA-DIA-SA>

Rutas Punto a Punto, Secretaría de comunicaciones y transportes, Dirección General de Desarrollo Carretero, [página web en línea], México, [citado 20/10/2010], disponible en internet:
http://aplicaciones4.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta

La distribución normal, Fistera, Atención primaria en la red, [página web en línea], México, [citado 22/03/2010], disponible en internet:
http://www.fisterra.com/mbe/investiga/distr_normal/distr_normal.asp

Opinión, La Jornada, El correo ilustrado, [Página web en línea], México, [citado 02/04/2011], disponible en internet:
<http://www.jornada.unam.mx/2010/09/22/index.php?section=opinion&article=002a2cor>

Promonegocios.net, Definición de eficiencia, Iván Thompson, [Página web en línea], México, [citado 30/04/2011], disponible en internet:
<http://www.promonegocios.net/administracion/definicion-eficiencia.html>

Definición.de, Definición de eficacia, [Página web en línea], México, [citado 30/04/2011], disponible en internet:
<http://definicion.de/eficacia/>

Investigación de Operaciones, Aplicaciones de la Investigación Operativa en la Gestión de Empresas, ¿QUÉ ES LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES?, [Página web en línea], México, [citado 30/04/2011], disponible en internet:
<http://www.investigaciondeoperaciones.net/>

Escuela de organización industrial, Crónicas de mejora continua, Definición de mejora continua, [Página web en línea], México, [citado 30/04/2011], disponible en internet:
<http://www.eoi.es/blogs/mariavictoriaflores/definicion-de-mejora-continua/>