



Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOF 2014

Nuevos escenarios  
en la enseñanza de la ingeniería

Cartagena de Indias, 7 al 10 de octubre de 2014  
Centro de Convenciones Cartagena de Indias

# IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO MATEMÁTICO PARA LA BÚSQUDA DE UNA BODEGA SATÉLITE

David Enrique Gaibor Miranda, Armando José Pinela Suárez

Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Guayaquil, Ecuador

## Resumen

El artículo tiene como objetivo presentar la búsqueda de bodegas satélites o temporales a través del análisis matemático para empresas que no requieren la cadena de frío en sus productos. Se define como bodega satélite, aquella bodega en alquiler que se utiliza para el almacenamiento temporal de inventario en períodos altos o "picos". Con lo cual se pretende encontrar la localización geográfica idónea de una bodega satélite entre "n" posibles ubicaciones, satisfaciendo la demanda y optimizando costos operacionales, debido a que existen meses como diciembre donde la demanda de muchas empresas aumenta, siendo esta transitoria. Por ello, en el análisis se utiliza "el método del centro de gravedad", el cual es un método en el que se consideran las distancias y los volúmenes de artículos que hay que consignar a los clientes, permitiendo cubrir la demanda con el menor costo posible. Siendo este análisis mucho más complejo cuando se trabaja con múltiples instalaciones. En los últimos tiempos se han desarrollado modelos computarizados heurísticos, de simulación y optimización, con el propósito de ayudar a los analistas a lidiar con la complejidad previamente analizada. Es por esto que el modelo propuesto va a solucionar el manejo del inventario al sobrepasar la capacidad de su almacenamiento, a través del alquiler de una bodega satélite con ubicación competente que permita la gestión de una red logística óptima con los clientes.

**Palabras clave:** bodegas satélites; localización; temporadas altas

## Abstract

The article focuses on the search for satellites warehouse through mathematical analysis to companies that do not require cold chain products. A satellite warehouse is a cellar that used for temporary storage of inventory in peak periods. Thereby aims to find the ideal geographical location of a satellite warehouse among "n" possible locations, meeting the demand and optimizing operational costs, considering there are months like December where the demand increases, this being transient and non-routine. This method is expected to meet the demand during peak periods and at the lowest possible cost. Therefore, in analyzing the method of "Center of Gravity", which is a technique of locating facilities individually in which you consider the existing facilities, the distances that separate them and the volume of items they dispatch to customers. This analysis is simple when performed for a few deposits, but tends to be more complex when dealing with multiple facilities, in recent years a variety of heuristic computer modeling; simulation and optimization have been developed, in order to help analysts to deal with all that complexity. This is why the proposed model will solve the storage management of inventory that exceeds the capacity of a warehouse by leasing a satellite warehouse's location with competent management that allows optimal logistics network with customers.

**Keywords:** satellites warehouse; location; peak periods

## 1. Introducción

El desarrollo del trabajo tiene como tópico principal la búsqueda de bodegas satélites para empresas que en la actualidad tienen dificultad para suplir demanda en temporadas altas por el poco espacio de almacenamiento. Lo cual lleva a un gran desafío con respecto a la decisión de comprar o alquilar una bodega. La apertura de una nueva bodega trae consigo diferentes costos como el de mantener personal inactivo por temporadas, lo cual conlleva desperdicio de recursos y a una precaria red de distribución. Por estas razones, se considera prioritario el problema de la ubicación de bodegas satélites o temporales. Primero por la reducción de costos al contar con una buena gestión de distribución y finalmente por la cercanía con los clientes de la empresa. A través de las técnicas matemáticas, se ajustarán parámetros como la capacidad, la asignación de los clientes a los centros de distribución y las distancias entre las bodegas satélites y el cliente considerando las vías de acceso.

A continuación se presenta el marco teórico continuando con la estructura de un modelo matemático y finalmente un breve análisis del modelo de asignación de actividades para montacargas.

## 2. Marco teórico

Muchos autores se enfocan en la producción, que es la primera etapa de la logística, dando poco interés al almacenamiento y a la distribución, pero estas dos etapas son relevantes porque están relacionadas con la demanda, la satisfacción del cliente y el manejo del producto.

Bajo este contexto el almacenamiento involucra la elección de un espacio físico enmarcando costos y tiempos de respuesta. La decisión de este espacio físico es determinada por:

1. La capacidad: los limitados espacios para el almacenamiento en las bodegas.
2. La cantidad de producción: el número de pedidos por cumplir.
3. El área geográfica a cubrir.

En este contexto para la localización de una bodega se deben abarcar dos sub-problemas: la mejor ubicación geográfica y los requisitos operativos y en estructura. Para seleccionar la mejor ubicación geográfica se cuenta con herramientas como: el Método del Centro de Gravedad, Punto de Equilibrio, el Método del Transporte, Modelos de Simulación y Modelos Heurísticos. El segundo sub-problema trata sobre la determinación de parámetros como: forma, dimensión y orientación de la bodega, vías de acceso y restricciones de tráfico vehicular.

De todos estos métodos se ha seleccionado el Método del Centro de Gravedad porque se puede relacionar con el Método de Carga-Distancia para obtener un mejor cálculo de las distancias.

## 3. Problema de estudio

Las empresas con altos niveles de producción se caracterizan por tener una línea de manufactura ordenada, cuyo objetivo es maximizar ganancias y reducir costos operacionales. Sin embargo, en ocasiones cuando no se pronostica que la demanda va a sobrepasar la capacidad de las bodegas surgen pérdidas de recursos. Esto sucede en ciertos meses del año donde se necesita tener más inventario del habitual para suplir el aumento de pedidos. En muchas ocasiones la compleja elección entre suplir o no la demanda lleva a una decisión improvisada que genera en la mayoría de los casos:

1. Pérdidas en las ventas
2. Pérdida de recursos; y
3. Demanda insatisfecha

Cuando esta situación se presenta, algunas empresas determinan la necesidad de bodegas de forma empírica y sin mayor análisis con el fin de satisfacer la demanda momentánea.

Cabe destacar que en estas situaciones hay aspectos que no son tomados en consideración como los requerimientos de estructura para la bodega y que en muchas ocasiones trae consigo la pérdida de recursos.

#### 4. Fundamentos del modelo matemático para la Búsqueda de Bodega satélites

Debido a la temporalidad, no se considera necesaria la apertura de una nueva bodega y por ello, para no tener pérdidas de ventas en las temporadas altas se plantea el alquiler de una bodega satélite. Por esta razón en el presente trabajo se considera el Método del Centro de Gravedad para ubicar de manera idónea una bodega satélite, tomando en consideración todas las posibles coordenadas de ubicación, ponderando las distancias y la concentración de volúmenes de demanda correspondientes.

El modelo considera:

- La distancia euclidiana, es decir se considera distancia lineal y para ayudar a mejorar la solución del modelo se realizará esta medición a través de la distancia de Manhattan. Esto hace que el problema se vuelva complejo, pero da una solución más cercana al punto óptimo.
- El volumen como una variable constante.
- El uso de coordenadas en el plano para las posibles ubicaciones.
- La demanda con su variabilidad estocástica presente.

El inicio del estudio parte del Método Carga-Distancia, el cual con las respectivas consideraciones de distancia y ponderación de demanda fortalece al Método del Centro de Gravedad. Siendo este:

$$CT = \sum_i V_i * R_i * d_i$$

Dónde:

*CT: Costo total de transportación*

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

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

*d<sub>i</sub> = Distancia al punto i desde la posible ubicación*

Las coordenadas de ubicación de la instalación se obtendrán al resolver las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x} = \frac{\sum_i \frac{V_i * R_i * x_i}{d_i}}{\sum_i \frac{V_i * R_i}{d_i}}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_i \frac{V_i * R_i * y_i}{d_i}}{\sum_i \frac{V_i * R_i}{d_i}}$$

Sea:

$$d_i = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i|$$

#### 5. Características preliminares para la ubicación de la bodega

La aplicación del método matemático nos lleva a encontrar la ubicación idónea para la bodega satélite. Desarrollado se procede a buscar aquella que se ajuste a un determinado conjunto de requisitos y limitaciones considerando:

- Que la forma de la bodega debe ser rectangular y su orientación de Norte a Sur para evitar la exposición al sol.
- Que debe encontrarse fuera del perímetro urbano, de preferencia en sectores industriales, tomando en cuenta la infraestructura y condiciones de las vías de acceso.

- El piso de la bodega debe ser plano evitando la presencia de deformaciones, y sobre todo que tenga resistencia suficiente para soportar el peso del inventario almacenado y la operación de los montacargas.
- El techo debe ser de acero sin perforaciones y que no permita el ingreso de la luz solar y el polvo.

Además, como una alternativa para mejorar los beneficios se plantea el modelo matemático de asignación de actividades para montacargas. Este modelo está estrechamente relacionado con la decisión de establecer las horas productivas de los montacargas mensualmente de manera que:

- Se minimicen los costos de horas extras para los montacargas.
- Se asignen montacargas a la demanda en cada hora por cada actividad.
- Se respeten los parámetros de funcionamiento de los montacargas.

A continuación se presenta el modelo matemático el cual se ajusta a lo mencionado.

Función Objetivo:  $Max z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall i \forall j$$

Para ajustar el problema al modelo se deben considerar los siguientes parámetros y variables:

Parámetros:

*Dha*: Demanda en horas por actividad por mes.

*Da*: Demanda del montacargas por actividad.

*Dmm*: Disponibilidad mensual de los montacargas.

*Hc*: Horas de contrato en horas normales por montacargas.

Variables:

$x_{ij}$  = Número de horas trabajadas por el montacargas *i* en la actividad *j*

$y_{ij}$  = Número de montacargas *i* trabajando en la actividad *j*

$w_{ij}$  = Binaria que indica que actua el montacargas *i* en la actividad *j*

Las restricciones del problema ajustadas al modelo consideran:

- La demanda en horas por actividad.
- La demanda del montacargas por actividad.
- El uso del montacargas.
- La capacidad del montacargas por mes.
- El balance de variables.

## 6. Conclusiones

La asignación de inventario en bodegas temporales para cubrir demanda en períodos altos fue formulada satisfactoriamente, la cual permitirá encontrar una solución óptima a este problema específico de algunas empresas.

Se logró modificar el Método del Centro de Gravedad y generar iteraciones para encontrar una ubicación idónea de entre 5 posibles. También se desarrolló la programación en Gams para la asignación óptima de los montacargas en las actividades de la bodega.

Este proyecto revela que las técnicas matemáticas son útiles para resolver problemas de la vida real. Lamentablemente estas técnicas se usan con poca frecuencia, tal vez por la dificultad que esta involucra en el proceso de recolección de información, formulación e implementación de la solución.

## 7. Referencias

### Artículos de revistas

- Villarreal, E., Arango, D. y cols. (2012). Prototipo para el control y ubicación de artículos en inventarios por medio de un carro grúa y RFID
- Muñoz, A. (2008). Localización de un almacén regulador de oferta y demanda de piedra natural

### Libros

- Carro, R y González D. (2000). Administración de las Operaciones, pp.1
- Krajewski, L.J. y Ritzman, L.P. (2000). Administración de Operaciones Estrategia y Análisis. Pearson Prentice Hall. Quinta edición.
- Meyers, F. (2006). Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales. Pearson Prentice Hall, tercera edición, pp. 254-256
- Riveras, P. (2007). Sistema de Gestión de la Calidad del Servicio. Ecoe Ediciones Ltda. Tercera, Bogotá, pp. 109-111
- Rodríguez, S. (2009). Análisis de la Gestión Integral en Una Bodega de la Denominación de Origen Ribera de Duero.
- Arjona, A. (1979). Principios de control de producción. Ediciones Deusto, pp. 136

### Fuentes electrónicas

- González, M. (2007). La estructura del paper y el proceso de publicación. Consultado el 4 de agosto de 2014  
<http://www.ascolfa.edu.co/documentos/MaximilianoGonzalez.pdf>
- Flores, A. (2010). El precio a pagar por mala logística. Consultado el 18 de agosto de 2014 en  
<http://elempresario.mx/actualidad/mala-logistica-eleva-40-precios>

### Sobre los autores

- **Armando José Pinela Suárez:** Ingeniería en Logística y Transporte. Estudiante de la Universidad Escuela Superior Politécnica del Litoral. [apinela@espol.edu.ec](mailto:apinela@espol.edu.ec)
- **David Enrique Gaibor Miranda:** Ingeniería en Logística y Transporte. Estudiante de la Universidad Escuela Superior Politécnica del Litoral. [degaibor@espol.edu.ec](mailto:degaibor@espol.edu.ec)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2014 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)