

Algoritmo computarizado para determinar localización de instalaciones mediante un modelo matemático y la inspección de áreas

Computerized algorithm to determine the location of facilities through a mathematical model and inspection areas

Kerli De Oliveira; Ezequiel Gómez

Palabras clave: localización, instalaciones, algoritmo computarizado, áreas restringidas

Key Words: location, facilities, computerized algorithm, restricted areas

RESUMEN

Este proyecto tuvo como finalidad elaborar un algoritmo computarizado para ubicar nuevas instalaciones dentro de una empresa mediante la aplicación de un modelo matemático que garantiza la minimización en los costos de transporte. Dado que la solución que se obtiene con estos modelos muchas veces no es factible de localizar por existir en la práctica restricciones físicas insalvables; el algoritmo computarizado procede a inspeccionar si la localización óptima obtenida coincide con algunas áreas restringidas, tales como: ubicación de una de las máquinas existentes, pasillos, escaleras, columnas y otras instalaciones. En el caso que las instalaciones fuesen ubicadas en áreas restringidas, el algoritmo empleará una secuencia de cálculos para reubicar estas instalaciones en una de las zonas permisibles al menor costo posible. El algoritmo se probó en una empresa de extrusión de aluminio, con el objeto de disminuir las distancias recorridas mediante la reubicación de dos instalaciones presentes en el Departamento de Conduit. La distribución obtenida por el algoritmo computarizado disminuyó en un 25,5% los recorridos

presentes en el departamento, permitiendo la factibilidad y viabilidad de su aplicación.

ABSTRACT

The project had as a purpose to elaborate a computerized algorithm that guarantees the minimization in the transport costs using an application of a mathematical model to locate new facilities within a factory. The computerized algorithm solve unfeasible physical solutions through the inclusion of the existing machines, aisles, stairs, columns and other facilities like restrictions in the model. In the case that the facilities were located in restricted areas, the algorithm will use a sequence of calculations to relocate these facilities in one of the permissible zones to the smaller possible cost. The algorithm had been proven in an aluminum extrusion company, with the intention of diminishing the whole ranges through the relocation of two facilities presents in the Department of Conduit. The obtained distribution by the computerized algorithm diminished in a 25.5% the present routes in the department, allowing the feasibility and viability of its application.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos, el hombre ha tenido la necesidad de ubicar "cada cosa en su lugar", desde una simple herramienta de trabajo hasta una planta productora de un bien o servicio en toda la extensión territorial de un país; requiriendo que un individuo u organización plantee el problema de localización de estas instalaciones; es decir, la localización de cualquier recurso físico necesario

para satisfacer las operaciones de producción o de servicio.

En la actualidad, los ingenieros industriales y de otras especialidades, tales como economistas, planificadores urbanísticos, administradores y arquitectos están tratando de buscar alternativas al problema de localización de instalaciones, que les permita tomar decisiones al momento de ubicar sucursales, plantas productoras, almacenes, departamentos, equipos, entre otros, tanto a nivel

mundial, nacional, regional, organizacional o departamental.

La localización de instalaciones representa un proceso importante en el funcionamiento de una organización que, según García (2004), contribuye a la eficiencia total de las operaciones de producción y de servicio, con la finalidad de evitar la acumulación de inventario de productos en proceso, las sobrecargas en los sistemas de manejo de materiales y las largas trayectorias que han de realizar para transportar estos materiales de un instalación a otra, este traslado influyen directamente en los costos totales de producción. Para ello, se han desarrollado métodos que permiten la escogencia de los lugares adecuados para la localización de sus instalaciones a partir de la minimización de estos costos.

Una manera de lograr lo anteriormente planteado es a través de los métodos cualitativos y cuantitativos; en el caso del método cualitativo Gómez y Nuñez (2003) sostienen que el analista, partiendo de las experiencias previas, asigna una ponderación subjetiva a los factores que considere relevantes para la localización; permitiendo que sea eficiente para la toma de decisiones dentro de una organización. Sin embargo, para la aplicación de este método se requiere diseñar posibles alternativas de solución y evaluar secuencialmente de forma subjetiva los factores importantes para la toma de decisión.

Por otro lado; Gomez y Nuñez, op. cit, establecen que los métodos cuantitativos solucionan el problema de localización partiendo de modelos matemáticos que permitan encontrar una solución desde una perspectiva analítica, con el objetivo de indicar las localizaciones mediante la minimización de los costos de transporte totales; que relacionan aquellos costos con la distancia entre las instalaciones bajo estudio y el número de recorridos que se efectúan para transportar los materiales de una instalación a otra.

Una ventaja que presentan los métodos cuantitativos es la disminución y cuantificación de los recorridos de una distribución respecto a la obtenida por el método cualitativo. La evidencia de esta afirmación se muestra en los resultados

obtenidos en la investigación de Yllada, Maneiro y Ciria (2003); demostrando que el empleo del método cuantitativo seleccionado por los autores disminuyó en un 33,7% los recorridos descritos por la propuesta obtenida por Castañeda y Martínez (2001) mediante la aplicación de método cualitativo.

Francis y White (1985), indican que en los últimos siglos se han desarrollado diferentes modelos matemáticos que permiten resolver problemas de localización de instalaciones minimizándose los costos de transporte. Estos modelos matemáticos se encuentran sujetos a la ecuación que se pretenda utilizar para determinar la distancia presente entre dos instalaciones y en el número de instalaciones a ubicar.

Igualmente, Gómez y Nuñez (2003) y Martínez (1998) establecen que la distancia recorrida entre dos instalaciones pueden determinarse a partir de la distancia rectilínea, euclidiana o euclidiana al cuadrado, según sea el caso del problema analizado; destacándose que la distancia rectilínea es la más apropiada para localizar instalaciones que se encuentren dentro del entorno de una fábrica, debido a que esta ecuación considera que los viajes ocurren en forma rectangular, paralelos a las paredes de los edificios; mientras que, la distancia euclidiana se aplica para problemas de localización de redes, canales de distribución, plantas, distancias de rutas aéreas, tuberías, cableados, entre otros. (Ver figura 1).

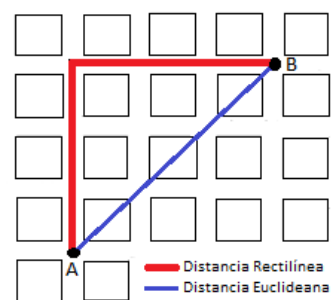


Fig. 1. Representación de las distancias rectilínea y euclidiana

Por otro lado, Gómez y Nuñez, op. cit, establecen que la distancia euclidiana al cuadrado se aplica en problemas de localización en los cuales los costos totales de transporte se incrementan cuadráticamente en términos de la distancia

euclidiana entre instalaciones; como son los casos de localización de una estación de bomberos en los alrededores de una ciudad y la ubicación de un centro de emergencia media para una región.

En relación al número de instalaciones a ubicar, Maneiro (2002) establece que los casos más simples para obtener una solución por el método analítico se dan en la localización de una instalación con respecto a un conjunto ya existentes. En estos casos se plantean generalmente sin restricciones y se resuelve usando procedimientos heurísticos e inclusive gráficas para minimizar los costos en función de la distancia recorrida entre las instalaciones existentes y la nueva.

A medida que la complejidad del problema crece, ya sea en número de instalaciones nuevas, existentes o ambas; Maneiro, op. cit., establece que el analista debe recurrir a técnicas de solución basados en la programación lineal y en ocasiones no lineal proveniente de métodos heurísticos o metaheurísticos. Debido a que estas técnicas emplean procedimientos de ensayos y error para la resolución de localización de instalaciones, los modelos matemáticos que se deben emplear para determinar estas localizaciones son rigurosos y tediosos, por lo que se hace necesario la utilización de los conocimientos informáticos para resolver este tipo de problemas.

La aplicación de algoritmos computarizados facilitan la resolución de localización de instalaciones de una forma dinámica al introducir

el número de instalaciones nuevas y su relación con la ya existentes, así como su ubicación de acuerdo con los ejes de coordenadas, los costos individuales de cada uno de los recorridos y la secuencia de operaciones entre ellas; mediante el empleo de modelos matemáticos que se pretende utilizar en la ejecución. Sin embargo, estos modelos seleccionan el lugar óptimo para la localización de instalaciones dentro de una organización sin tomar en cuenta las áreas restringidas presentes en el área del caso de estudio; tal es el caso en las investigaciones Martínez (1998), Maneiro (2002), Romero y Piamo (2010) y Piña (2011).

Como restricciones al problema se tiene que las nuevas instalaciones no deben ser ubicado en lugares no permisibles a la misma como son pasillos, escaleras, columnas, entre otros. Teniendo en cuenta este aspecto, el algoritmo computarizado a desarrollar deberá considerar si los lugares obtenidos por los modelos matemáticos coinciden con las restricciones presentes para el caso de estudio, y de ser así, se podrá reajustar la ubicación en aquellos lugares o zonas permitidas con el menor costos posibles.

Por lo antes planteado, esta investigación tiene como propósito desarrollar un algoritmo computarizado que permita resolver problemas de localización de instalaciones mediante la aplicación de un modelo matemático y la inspección de áreas permisibles a la misma.

DESARROLLO

Selección del método a emplear

En la actualidad las organizaciones utilizan los métodos cualitativos para resolver problemas de localización de instalaciones, siendo la metodología Planeación Sistemática de Distribución en Planta (SLP, por su sigla en inglés) la de mayor uso. Esta fue desarrollada por Muther (1968), la cual es una herramienta que permite diseñar una distribución de planta a partir de los factores relevantes en el proceso de producción y servicio de una organización.

Por otra parte, Gómez y Nuñez (2003) resalta que la elección de una localización es una decisión compleja; en donde las organizaciones deberán contar con un equipo multidisciplinario que evaluara los diferentes factores que influyen en la localización de instalaciones. Los analistas basándose en las técnicas apropiadas y la experiencia, deberán proponer los lugares idóneos para la ubicación de éstas y de acuerdo al proceso universal de resolución de problema planteado por Krick (1990) se aconseja incrementar el número de soluciones posibles, siendo recomendable al menos tres propuestas.

Muther (1968) establece que se han de evaluar cada una de ellas de forma subjetiva para seleccionar la alternativa que mayormente satisfaga los requerimientos de la organización, a partir de los factores considerados para la ubicación, tales como: la minimización de la distancia recorrida por los materiales, la estructuración lógica de los procesos, la minimización del espacio necesario, la satisfacción y seguridad de los operarios, los lugares permisibles para la ubicación y la flexibilidad para ampliaciones o modificaciones futuras en la organización.

El procedimiento antes descrito no proporciona una solución óptima en cuanto a la minimización de los costos asociados al transporte de los materiales, lo cual hace que la metodología SLP se convierta en engorrosa y tediosa.

Francis y White (1985), Gómez y Nuñez (2003) y Tompkins et. al. (2011) indica que existen para la localización de instalaciones en las organizaciones, métodos diferentes al mencionado como lo son los métodos cuantitativos que emplean modelos matemáticos para la obtención de una solución óptima en los costos asociados al transporte de los materiales, siendo esto una ventaja del método. Adicionalmente, los modelos matemáticos permiten obtener soluciones mediante el empleo de algoritmos computarizados en un lapso menor al tiempo requerido por la metodología SLP.

No obstante, Gómez y Nuñez, op. cit establece que los modelos matemáticos existentes para resolver problemas de localización de instalaciones se encuentran basados solamente en los factores que tiene que ver con la minimización de los costos asociados a transporte de materiales; omitiendo de esta forma cualquier otro factor que no tenga que ver con este aspecto y que son igualmente importantes en la localización de instalaciones, como son la satisfacción y seguridad de los operarios, los lugares permisibles para su ubicación y la flexibilidad para ampliaciones o modificaciones futuras en la organización.

Para resolver este problema, se pueden desarrollar metodologías donde se combinen modelos matemáticos con los factores omitidos en ella. Como alcance a la investigación y partiendo de esta

premisa, se desarrolló un algoritmo computarizado que permite resolver problema de localización de instalaciones mediante la aplicación de modelos matemáticos y la inspección de áreas permisibles a la misma.

Para ello, se considerará las dimensiones del área de estudio donde se ubicarán las instalaciones, y las áreas restringidas en la localización de instalaciones como son los pasillos, columnas, lugares ocupados por otras instalaciones, entre otros; permitiendo de esta forma, localizar instalaciones en las zonas permisibles y que al mismo tiempo se considere la minimización de los costos.

Diseño de la secuencia de cálculo

El modelo matemático que se empleó para el desarrollo del algoritmo computarizado se encuentra basado en la distancia rectilínea debido a que es la más apropiada para localizar instalaciones que se encuentren dentro del entorno de una fábrica. Según Gómez y Nuñez, op. cit , la determinación de los costos totales de transporte con la utilización de la distancia rectilínea, se determina mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$F = F_E + F_N \quad (1)$$

Donde:

F: Costos de transporte totales presente entre las instalaciones.

FE: Costos de transporte asociados a las instalaciones existentes

FN: Costos de transporte asociados entre instalaciones nueva y existentes

Para determinar los costos de transporte asociado a las instalaciones existentes, Gómez y Nuñez, op. cit, plantea la siguiente ecuación:

$$F_E = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n [U_{ij} * (|a_i - a_j| + |b_i - b_j|)] \quad (2)$$

Donde:

n: Número de instalaciones existentes.

Uij: Costo de transporte por unidad de distancia entre la "instalación existente i" y "la instalación existente j"

(ai,bi): Coordenada donde se encuentra ubicada la "instalación existente i"

(aj,bj): Coordenada donde se encuentra ubicada la "instalación existente j"

Según Francis y White (1985) y Tompkins et. al. (2011), la formulación general para determinar los costos de transporte asociado a las instalaciones

existentes y nuevas está dada por la siguiente ecuación:

$$F_N = \sum_{1 \leq j < k \leq m} [V_{jk} * (|x_j - x_k| + |y_j - y_k|)] + \dots \quad (3)$$

$$\dots + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [W_{ji} * (|x_j - a_i| + |y_j - b_i|)]$$

Donde:

m: Número de instalaciones a ser localizadas.

W_{ji}: Costo de transporte por unidad de distancia entre la “nueva instalación j” y “la instalación existente i”

V_{jk}: Costo de transporte por unidad de distancia entre la “nueva instalación j” y la “nueva instalación k”

(x_j,y_j): Coordenada a ubicar la “nueva instalación j”

(x_k,y_k): Coordenada a ubicar la “nueva instalación k”

Según, la solución buscada es aquella que minimice la función de los costos totales, apropiada para cada caso. Partiendo de la ecuación Gómez y Nuñez (2003), el problema de localización de nuevas instalaciones con respecto a las existentes, usando la distancia rectilínea, se puede representar de la siguiente manera:

Minimizar

$$F_N = \sum_{1 \leq j < k \leq m} [V_{jk} * (|x_j - x_k| + |y_j - y_k|)] + \dots \quad (4)$$

$$\dots + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [W_{ji} * (|x_j - a_i| + |y_j - b_i|)]$$

Francis y White (1985) y Tompkins entre otros (2011) establecen que los modelos matemáticos que se emplean para resolver problemas de localización de instalaciones basándose en las distancias rectilíneas son: La técnica de programación lineal y la técnica de localización de la sumatoria media.

El modelo que se empleará para el desarrollo de la metodología es la técnica de Localización de la Sumatoria Media ya que según Martínez (1998) el problema se puede resolver de forma interactiva al emplear el método de localización simple para cada instalación nueva y despreciando los términos asociados por el costo anual por unidad de distancia entre las nuevas instalaciones j y k (V_{jk}) de la ecuación (4); con la finalidad de obtener las coordenadas factibles para cada una de las instalaciones. Al despreciar estos términos, la ecuación mencionada quedará reducida de la siguiente forma:

Minimizar

$$F_N = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [W_{ji} * (|x_j - a_i|)] + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [W_{ji} * (|y_j - b_i|)] \quad (5)$$

Este modelo plantea que cada uno de los miembros presentes en la ecuación (5) se puede tratar por separado en x e y, mediante un problema de optimización, como se muestra a continuación:

Minimizar

$$F_x = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [W_{ji} * (|x_j - a_i|)] \quad (6)$$

Minimizar

$$F_y = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [W_{ji} * (|y_j - b_i|)] \quad (7)$$

$$F_N = F_x + F_y \quad (8)$$

Debido a que el problema de localización puede estar asociado a la ubicación de varias instalaciones nuevas, la técnica de localización de la Sumatoria Media establece que la ubicación de cada una de las instalaciones nuevas se determina por cálculo independiente entre ellas, entonces la ecuación (6) y (7) se puede expresar de la siguiente forma:

Con respecto a x, Minimizar

$$F_x = f_1(x) + f_2(x) + f_3(x) + \dots + f_m(x) \quad (9)$$

En la cual:

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^n W_{1i} * |x_1 - a_i| \quad (10)$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^n W_{2i} * |x_2 - a_i| \quad (11)$$

$$\vdots$$

$$f_m(x) = \sum_{i=1}^n W_{mi} * |x_m - a_i| \quad (13)$$

Con respecto a y, minimizar

$$F_y = f_1(y) + f_2(y) + f_3(y) + \dots + f_m(y) \quad (14)$$

En la cual:

$$f_1(y) = \sum_{i=1}^n W_{1i} * |y_1 - b_i| \quad (15)$$

$$f_2(y) = \sum_{i=1}^n W_{2i} * |y_2 - b_i| \quad (16)$$

$$\vdots$$

$$f_m(y) = \sum_{i=1}^n W_{mi} * |y_m - b_i| \quad (17)$$

Donde:

F_x: Costo total de transporte, asociado a la coordenada x.

F_y: Costo Total de transporte, asociado a la coordenada y

f_m(x): Costo de transporte de la instalación nueva “m”, asociado a la coordenada x.

f_m(y): Costo de transporte de la instalación nueva “m”, asociado a la coordenada y.

Con la finalidad de encontrar las coordenadas que hacen óptimo estas ecuaciones es necesario aplicar métodos de optimización. En el caso de la función modulo que representación a la distancia rectilínea se debe usar un artificio ya que la función modulo no es derivable. Para ellos, se tomó como ejemplo la instalación nueva "m" en la coordenada X.

$$f_m(x) = \sum_{i=1}^k W_{mi} * |x_m - a_i| + \sum_{i=k+1}^n W_{mi} * |x_m - a_i|$$

Teniendo en cuenta que:

$$a_1 < a_2 < a_k < x_m < a_{k+1} < \dots < a_n$$

A partir de esta deducción, la ecuación queda:

$$f_m(x) = \sum_{i=1}^k W_{mi} * (x_m - a_i) + \sum_{i=k+1}^n W_{mi} * (a_i - x_m)$$

Derivando en función de x, resulta:

$$\frac{df_m}{dx} = \sum_{i=1}^k W_{mi} - \sum_{i=k+1}^n W_{mi}$$

Sumando y restando el mismo miembro en la ecuación anterior:

$$\frac{df_m}{dx} = \sum_{i=1}^k W_{mi} - \sum_{i=k+1}^n W_{mi} + \left[\sum_{i=1}^k W_{mi} - \sum_{i=1}^k W_{mi} \right]$$

La expresión queda de la siguiente forma:

$$\frac{df_m}{dx} = 2 * \sum_{i=1}^k W_{mi} - \sum_{i=1}^n W_{mi} \quad \text{Para } a_k < x < a_{k+1}$$

NOTA: $\frac{df_m}{dx}$ es continua y monótonamente decreciente. El punto óptimo (x^*) ocurre cuando la derivada cambia de signo (-) a (+). Si se hace que $x^*=a_k$ sea óptimo, entonces se obtiene que:

$$\begin{aligned} x < a_k &\rightarrow \frac{df_m}{dx} < 0 \\ x \geq a_k &\rightarrow \frac{df_m}{dx} \geq 0 \end{aligned}$$

Para $a_{k-1} < x < a_k$, se obtiene que: $\frac{df_m}{dx} < 0$

Donde $2 * \sum_{i=1}^{k-1} W_{mi} - \sum_{i=1}^n W_{mi} < 0$

Despejando, se obtiene que

$$\sum_{i=1}^{k-1} W_{mi} < \left(\sum_{i=1}^n W_{mi} \right) / 2$$

Para $a_k < x < a_{k+1}$, se obtiene que:

$$\frac{df_m}{dx} \geq 0$$

Donde $2 * \sum_{i=1}^k W_{mi} - \sum_{i=1}^n W_{mi} \geq 0$

Despejando, se obtiene que $\sum_{i=1}^k W_{mi} \geq (\sum_{i=1}^n W_{mi}) / 2$

Para el punto óptimo ($x^* = a_k$) se obtiene que:

$$\sum_{i=1}^{k-1} W_{mi} < \left(\sum_{i=1}^n W_{mi} \right) / 2 \quad \sum_{i=1}^k W_{mi} \geq \left(\sum_{i=1}^n W_{mi} \right) / 2$$

Entonces $x = a_{k+1}$ también es óptimo

Para determinar la ubicación de la instalación nueva "m" en la coordenada X mediante la técnica de Localización de la Sumatoria Media, la secuencia de cálculo que establece Tompkins entre otros (2011), es la siguiente:

a) Hacer un arreglo tabulado de todas las instalaciones ordenadas en orden creciente de las a_i , colocándole su valor respectivo de W_{mi} relacionado a la nueva instalación "m" y en otra columna el valor de W_{mi} acumulado; tal como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Arreglo tabulado que emplea la técnica de localización de la sumatoria media

Instalación existente	X_i	W_{mi}	W_{mi} acumulado
1	a_1	W_{m1}	W_{m1}
2	a_2	W_{m2}	$W_{m1} + W_{m2}$
3	a_3	W_{m3}	$W_{m1} + W_{m2} + W_{m3}$
⋮	⋮	⋮	⋮
N	a_n	W_{mn}	$\sum W_{mi}$

b) Se calcula la sumatoria de W_{mi} y se divide entre dos. La localización óptima x_m será aquella coordenada a_i cuyo valor de los W_{mi} acumulado sea mayor que la suma media ($\sum W_{mi} / 2$). Si este valor es igual a los W_{mi} acumulado, la solución óptima será un intervalo entre ésta coordenada y la siguiente, cuyo valor sea mayor que la suma media.

c) El procedimiento se repite para encontrar la solución en y_m .

Según Martínez (1998), una solución factible lógicamente dependerá del contexto del problema. En el caso donde la solución obtenida por la Técnica de Localización de la Sumatoria Media no sea factible por las limitaciones físicas presentes en el área de estudios, se empleará una secuencia de cálculo en la cual permitirá reubicar cada una de las instalaciones nuevas en zona permisible a la

misma con el menor costo posible. Esta secuencia de cálculo consiste en inspeccionar toda la zona del área de estudios, comenzando desde el punto (0,0) hasta el punto (ancho, largo), con la finalidad de encontrar aquellas coordenadas que donde sea posible reubicar cada una de las nuevas instalaciones con el menor costos posible de transporte.

Descripción del algoritmo computarizado

Para llevar a cabo el desarrollo del algoritmo computarizado, se seleccionó un lenguaje de programación que utilice un ambiente que permita la creación de interfaces gráficas y, en cierta medida, la programación misma.

El lenguaje de programación que se seleccionó para el desarrollo del algoritmo computarizado fue Visual Basic, debido a que la misma presenta un ambiente gráfico en el desarrollo de aplicaciones para el sistema operativo Microsoft Windows. La versión que se utilizó para el desarrollo del algoritmo computarizado fue *Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition* debido a que según Blanco (2002) es una versión limitada pero gratuita, pensada para usos no profesionales.

Luego de seleccionar el lenguaje de programación, se prosiguió con el desarrollo del algoritmo computarizado, para ellos es necesario definir los datos a suministrar para su ejecución, tomando en cuenta las limitaciones a considerar para el desarrollo del algoritmo computarizado.

Entre los datos que se deben suministrar al algoritmo computarizado, se encuentra las siguientes:

- Las dimensiones de la zona en estudios.
- El número de instalaciones existentes y nuevas, y áreas restringidas para la ubicación de las nuevas instalaciones que tendrá el problema.
- Las coordenadas y dimensiones de las instalaciones existentes y de las áreas restringidas para la ubicación de las nuevas instalaciones.
- También se tendrá en cuenta como variable las dimensiones de las nuevas instalaciones.
- Costo de transporte por unidad de distancia entre la "instalación existente i" y "la instalación existente j" (U_{ij})

-Los costos de transporte por unidad de distancia entre la "nueva instalación j" y "la instalación existente i" (W_{ji})

Los aspectos o limitaciones que se consideraron para el desarrollo del algoritmo computarizado fueron las siguientes:

-Que solo puede ejecutarse con Windows XP, Windows Vista y Windows 7.

-El algoritmo computarizado puede ser utilizado para localizar instalaciones en áreas permisibles a la misma con el menor costo de transporte, al emplear la Técnica de Localización de la Sumatoria Media mediante el empleo de las distancias rectilíneas.

-La cantidad máxima de instalaciones nuevas y existentes que procesará el algoritmo es de diez; y deben ser número entero positivo mayor a cero.

-La cantidad máxima de áreas restringidas que procesará el algoritmo es de diez; y deben ser número entero positivo mayor o igual a cero.

-El algoritmo computarizado tiene la particularidad de también poder localizar las instalaciones en áreas de estudios donde no exista restricciones en el área como pasillo, columna, entre otros. Para ellos, se debe especificar que el número de áreas restringidas en el problema de localización es igual a cero.

-Las áreas restringidas, las instalaciones nuevas y existentes tendrá forma de un rectángulo y se tomará en cuenta el área que requiere las instalaciones para su manipulación. (Ver figura 2)

-Las coordenadas "x" e "y" indicarán el punto centroe de las áreas restringidas, instalaciones nuevas y existentes que se suministrará al algoritmo computarizado y deben estar representado en dígitos reales positivos mayores o iguales a cero. (Ver figura 2)

-Las dimensiones de largo y ancho del área de estudio, áreas restringidas, instalaciones nuevas y existentes deben ser en dígitos reales positivos mayores o iguales a cero. (Ver figura 2)

-Los costos de transporte por unidad de distancia entre la "instalación existente i" y "la instalación existente j" (U_{ij}) no se verán afectados por la ubicación de las nuevas instalaciones.

-Se despreciarán los costos de transporte por unidad de distancia presente entre instalaciones nuevas.

-Los costos de transporte por unidad de distancia entre la "nueva instalación j" y "la instalación existente i"

(W_{ji}) deben ser en dígitos reales positivos mayores o iguales a cero.

-El resultado obtenido en el algoritmo se representará mediante una interfaz gráfica, el plano del área de estudio en el Cuarto Cuadrante del Plano Cartesiano (Ver Figura 2)

-Al finalizar su ejecución, el algoritmo computarizado no guardara los resultados del problema de localización.

El algoritmo computarizado se llama "Localización", y la misma tendrá como finalidad ubicar las nuevas instalaciones mediante los procedimientos de cálculo señalados anteriormente. En su ejecución, el algoritmo comenzará por determinar las coordenadas para la ubicación empleando la Técnica de Localización de la Sumatoria Media. Posteriormente se inspeccionará para determinar si las instalaciones nuevas fueron localizadas en áreas restringidas. Para reubicar estas instalaciones, el algoritmo computarizado empleará la secuencia de cálculo, que permite ubicar estas instalaciones en una zona factible a la misma con el menor costo posible.

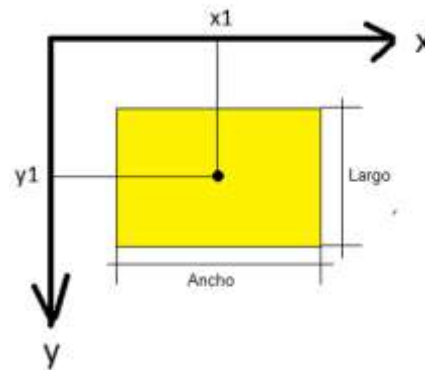


Fig. 2. Representación de las áreas restringidas, instalaciones nuevas y existentes

Una vez obtenidas las coordenadas donde se ubicarán las nuevas instalaciones, el algoritmo computarizado elaborará una interfaz gráfica que permita representar el plano del área de estudios donde estarán contenidas las instalaciones nuevas y existentes, y las áreas restringidas en la localización de instalaciones como son los pasillos, columnas, lugares ocupados por otras instalaciones, entre otros.

RESULTADOS

Para verificar la ejecución del algoritmo computarizado se solucionó un problema de localización existente en el Departamento de Conduit en una empresa de Extrusión de Aluminio ubicada en el estado Carabobo.

Los equipos que se encuentran involucrados en el Departamento Conduit son los siguientes: 2 Máquinas Roscadoras, 2 Máquinas Cortadora de Anillos (Sierras), 1 Máquina Biseladora/Chaflanadora, 1 Máquina Roscadora de Anillo (Taladro) y 1 Máquina Dobladora. En la figura 3 se encuentra la distribución que presentaba el departamento de Conduit.

Al observar la figura 3, se puede decir que la distribución actual del Departamento de Conduit cuenta con 11 instalaciones ubicadas a lo largo de un espacio con dimensiones de 66 m de ancho y 24 m de largo. Adicionalmente, el departamento de Conduit cuenta con áreas restringidas para la ubicación de nuevas instalaciones como son la presencia de 4 pasillos, una máquina que se

encuentra fuera de uso (Máquina Trefiladora), un baño, un estante y una parte del Departamento de Despacho.

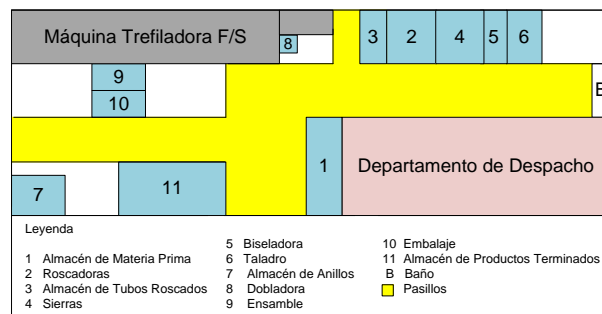


Figura 3. Plano de la distribución que presentaba el Departamento de Conduit

El recorrido que efectúan las materias prima para llevar a cabo el proceso de producción dentro del departamento de Conduit, se encuentra presente en la figura 4. Partiendo de la información obtenida, se obtuvo que la empresa hace un recorrido total de 8.946.994,75 metros/mes para la elaboración de los productos Conduit.

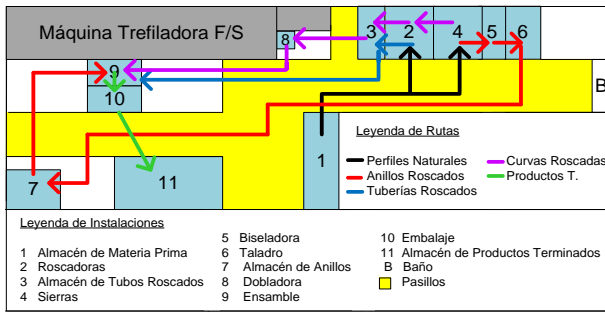


Figura 4. Flujograma del proceso de producción dentro del departamento de Conduit

Con la finalidad de disminuir las distancias recorridas por la organización en el departamento de Conduit, se procedió a reubicar los almacenes de anillos y de productos terminados mediante el uso del algoritmo computarizado desarrollado en esta investigación. En la tabla 2, se encuentra presente las coordenadas que presentaba las instalaciones reubicadas por el algoritmo computarizado.

Tabla 2. Ubicación que presentaba las instalaciones reubicadas

Instalaciones	Ubicación (m)	
	X	Y
Almacén de Anillos	3	21
Almacén de Productos Terminados	18	21

Al introducir los datos en el algoritmo computarizado, se obtuvo que la organización debe reubicar los almacenes de anillos y de productos terminados a la coordenada presente en la tabla 3 para obtener una distribución que presenta un recorrido total de 6.665.412,67 metros/mes. (Ver figura 5).

CONCLUSIONES

El algoritmo que se desarrolló en la investigación permite resolver problemas de localización mediante el uso de modelos matemáticos y la inspección de las áreas permisible a su ubicación. Para ello, se considerarán las dimensiones del área de estudio donde se ubicarán las instalaciones, y las áreas restringidas en la localización de instalaciones como son los pasillos, columnas, lugares ocupados por otras instalaciones, entre otros; permitiendo de esta forma, localizar

Tabla 3. Coordenada de reubicación de las Instalaciones

Instalaciones	Ubicación (m)	
	X	Y
Almacén de Anillos	18,048	8,25
Almacén de Productos Terminados	12,006	21

Al llevar a cabo la reubicación de los almacenes de anillos y productos terminados en las coordenadas indicadas en la tabla 3, la empresa obtuvo una reducción del 25% en la distancia recorrida por manejo de materiales; siendo esto un factor directamente proporcional a la disminución de los costos de transporte en la empresa de estudio.

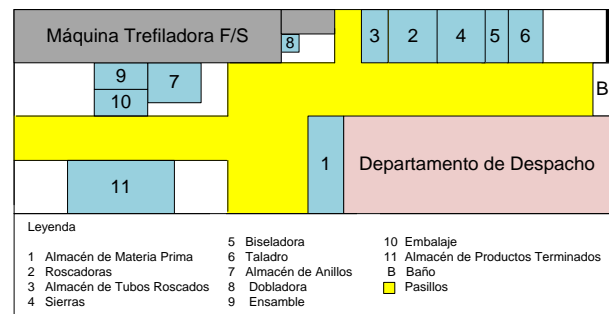


Figura 5. Distribución del Departamento de Conduit obtenida por el algoritmo computarizado

A partir de estos resultados, se podría decir que el algoritmo computarizado desarrollado proporciona una herramienta adecuada para la localización de nuevas instalaciones respecto a las existentes ya que permite ubicarla con el menor costo posible que la generada por los métodos cualitativos; permitiendo la factibilidad y viabilidad de su aplicación.

instalaciones en las zonas permisibles y que al mismo tiempo se considere la minimización de los costos.

En los casos donde la ubicación de las nuevas instalaciones determinada por la Técnica de Localización Media coincide con áreas restringidas; el algoritmo computacional reubicará estas instalaciones mediante la aplicación de una secuencia de cálculos que permita ubicarlas en zona permisible con el menor costo de transporte.

El algoritmo desarrollado lleva por nombre "Localización"; y al finalizar su ejecución, tiene

como resultado una interfaz gráfica que permite representar el plano del área de estudios donde estarán contenidas las instalaciones nuevas y existentes, y las áreas restringidas para la localización de instalaciones.

Con el algoritmo computarizado desarrollado en esta investigación se logran obtener soluciones con el menor costo de transporte posible, permitiendo la factibilidad y viabilidad de su aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blanco, L. (2002). *Fundamentos de programación con Visual Basic.NET*. Madrid: Grupo Eidos Consultoría y Documentación Informática, S.L
- Castañeda, J., Martínez, F. (2001). *Diseño de una planta productora de envase de aluminio para alimentos*. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Valencia: Universidad de Carabobo.
- Francis, R., White, J. (1985). *Facility Layout and Location: An analytical approach*, . Englewood: Prentice Hall.
- García, F. (2004). Publicación de la la Universidad de los Andes: *Apunte sobre localización de instalaciones*. Obtenido de: <http://webdelprofesor.ula.ve/economia/gsfran/Asignaturas/ProduccionI/LOCALIZACIONdeINSTALACIONES.pdf>
- Gómez, E. y Nuñez, F. (2003). *Plantas Industriales, Aspectos técnicos para el diseño*. Valencia: Universidad de Carabobo.
- Krick, E. (1990). *Introducción a la Ingeniería y al Diseño en la Ingeniería*, 2ª ed. México: Editorial Limusa, S.A.
- Maneiro, N. (2002). *Algoritmos Genéticos aplicados a problema de localización de facilidades, Caso de estudio: Problema de asignación cuadrática de facilidades*. Trabajo de grado (Magister en Ingeniería Industrial). Valencia: Universidad de Carabobo.
- Martínez, C. (1998). *Técnicas matemáticas en la resolución de problemas de localización de facilidades*. Trabajo de grado (Magister en Ingeniería Industrial). Valencia: Universidad de Carabobo.
- Muther, R. (1968). *Planificación y proyección de la empresa industrial – Método S.L.P.* Barcelona: Editores Técnico Asociado, S.A.
- Piña, G. (2011). *Desarrollo de un método analítico para resolver problemas de localización de facilidades considerando simultáneamente distancias rectilíneas y euclidianas*. Trabajo de grado (Magister en Ingeniería Industrial). Valencia: Universidad de Carabobo.
- Romero, F. y Piamo, A (2010). *Aplicación de técnicas matemáticas en la resolución de problemas de localización de multifacilidades, Caso de estudio: Cioetchi, C.A*. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Valencia: Universidad de Carabobo.
- Tompkins, J., White, J., Bozer, Y. y Tanchoco, J. (2011) *Planeación de Instalaciones*, 4ª ed. México: Cengage Learning Editores S.A
- Yllada, R., Maneiro, N. y Cira, L. (2003). *Técnicas evolutivas para la localización de facilidades en una empresa productora de envases de aluminio*. *Revista Ingeniería UC*, 10 (2), 70 – 78.

Autores

Kerli De Oliveira. Docente Investigadora, Dirección de Estudios Básicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Ingeniero Químico, Magister en Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

E-mail: kerliana@gmail.com

Ezequiel Gómez. Docente Investigador, Departamento de Ingeniería de Métodos, Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Ingeniero Químico, Magister en Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

E-mail: ezebarines@gmail.com

Recibido: 18/08/2013

Aceptado: 12/12/2013