

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**PROPUESTA DE REUBICACIÓN Y NUEVO LAYOUT  
DE UNA FÁBRICA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO EN EL  
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

**Ana María Posligua Hernández**

**Carlos Arturo Huidobro Peralta**

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de Ingeniería Industrial

Quito, mayo 2009

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio Politécnico**

**HOJA DE APROBACION DE TESIS**

**PROPUESTA DE REUBICACIÓN Y NUEVO LAYOUT  
DE UNA FÁBRICA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO EN EL  
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

**Ana María Posligua Hernández**

**Carlos Arturo Huidobro Peralta**

Héctor Andrés Vergara, M.Sc.  
Director de Tesis y  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena Córdova, Ph.D.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Patricio Cisneros, M.Sc.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, M.Sc.  
Decano del Colegio Politécnico

.....

Quito, mayo 2009

© Derechos de autor  
Ana María Posligua Hernández  
Carlos Arturo Huidobro Peralta  
2009

## RESUMEN

El presente estudio se enfoca en analizar las opciones disponibles de ubicación para el traslado de una fábrica de poliestireno expandido en el Distrito Metropolitano de Quito, además de proponer un nuevo layout que sea más eficiente que el actual. En este análisis se consideran sitios que el Municipio de Quito califica como Zonas o Parques Industriales de acuerdo a la calificación de riesgo e impacto ambiental de la Empresa. Consecuentemente, se determina la ubicación óptima con dos modelos matemáticos. Uno considerando costos asociados al transporte-traslado de la fábrica y otro considerando criterios y ponderaciones con respecto a los clientes regulares de la fábrica. El objetivo es analizar y complementar los resultados de ambos modelos para la determinación de una decisión adecuada. A partir de esto se determina que la Empresa debería ubicarse en el Parque Industrial Turubamba al sur de Quito. Finalmente, para el desarrollo del layout en la nueva ubicación se emplea la metodología SLP (Systematic Layout Planning) de la cual se establecen cuatro alternativas entre las cuales se escoge la mejor por medio de la ponderación de factores y criterios establecidos.

## ABSTRACT

The current study focuses on analyzing available places for the relocation of an expanded polystyrene factory in Quito, Ecuador. It also proposes a new layout that is intended to be more efficient than the existing one. This type of analysis must consider feasible locations designated by the city administration, such as Industrial Zones or Industrial Parks, according to the risk rating and environmental impact of the company. Therefore, two mathematical models were used to determine the optimal location. The first one considers costs associated with the relocation of the factory, and the other considers weighing specific factors with respect to the regular costumers of the company. The objective is to analyze and complement the results of both models to come up with an appropriate decision. Based on this analysis, it is determined that the company should be relocated in the Parque Industrial Turubamba in the south of Quito. Finally, the construction of a proposed new layout was developed by using the SLP (Systematic Layout Planning) methodology where four alternatives were developed from which the best alternative was chosen based on specific criteria and performance evaluation factors.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
1. CAPITULO 1: INTRODUCCION.....	1
1.1. Descripción del Problema .....	1
1.2. Justificación .....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo Final.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. Organización del Documento.....	2
2. CAPITULO 2: MARCO TEORICO .....	4
2.1. Planeación de Instalaciones .....	4
2.2. Ubicación de Instalaciones .....	6
2.3. Disposición de Plantas (Layout) .....	10
3. CAPITULO 3: SITUACION ACTUAL.....	13
3.1. Descripción de PHHP S.A. ....	13
3.2. Descripción de la Situación Actual de PHHP S.A. ....	14
3.3. Descripción de los Procesos.....	17
3.3.1. Preparación de la Materia Prima.....	17
3.3.2. Fabricación y Corte de Bloques.....	17
3.3.3. Moldeo .....	18
3.3.4. Molido .....	18
3.3.5. Embalaje.....	18
3.4. Análisis de la Ubicación Actual de la Empresa .....	20
3.5. Análisis del Layout Existente .....	21
4. CAPITULO 4: DETERMINACION DE LOS REQUERIMIENTOS.....	22
4.1. Determinación de Departamentos en la Instalación .....	22
4.2. Determinación de Requerimientos de Flujo .....	24
4.3. Determinación de Requerimientos de Relaciones de Actividades.....	27
4.4. Determinación de Requerimientos de Espacio .....	29
4.4.1. Dimensiones Equipos de Producción .....	29
4.4.2. Análisis de Almacenamiento de Materias Primas, Producto en Proceso y Producto Terminado.....	30

## TABLA DE CONTENIDOS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
4.4.3. Requerimientos Adicionales de Espacio.....	31
4.4.4. Requerimientos Totales de Espacio por Departamento.....	32
<b>5. CAPITULO 5: ANALISIS Y DETERMINACION DE LA NUEVA UBICACIÓN</b>	
<b>DE LA PLANTA.....</b>	<b>34</b>
5.1. Análisis de Zonas/Parques Industriales en el Distrito Metropolitano de Quito .....	34
5.2. Selección de los Modelos de Ubicación de Instalaciones.....	36
5.3. Aplicación de los Modelos de Ubicación de Instalaciones.....	38
5.3.1. Aplicación del Modelo 1-Mediana .....	38
5.3.1.1. Determinación de los Clientes y Proveedores.....	38
5.3.1.2. Determinación de las Ubicaciones Potenciales para la Nueva Planta .....	40
5.3.1.3. Determinación de los Costos Fijos y Variables.....	40
5.3.1.4. Formulación del Problema 1-Mediana.....	42
5.3.1.5. Resolución del Problema 1-Mediana.....	44
5.3.2. Aplicación del Modelo Rectilíneo 1-Mediana (Minisuma).....	44
5.3.2.1. Definición y Descripción de Criterios y Rangos de Selección....	44
5.3.2.2. Metodología Utilizada para la Ponderación de Criterios.....	47
5.3.2.3. Formulación del Modelo Rectilíneo 1-Mediana (Minisuma).....	48
5.3.2.4. Resolución del Modelo Rectilíneo 1-Mediana (Minisuma).....	48
<b>6. CAPÍTULO 6: DISEÑO DEL LAYOUT DE LA NUEVA PLANTA.....</b>	<b>52</b>
6.1. Determinación de Departamentos para la Nueva Planta.....	52
6.2. Selección de la Metodología para Disposición de la Nueva Planta .....	52
6.3. Aplicación del Método de Construcción de la Disposición de la Nueva Planta.....	53
6.3.1. Evaluación de las Alternativas .....	53
6.3.1.1. Descripción de los Factores o Criterios Considerados .....	54
6.3.1.2. Valoración de las Alternativas .....	55
6.3.1.3. Análisis de los Resultados.....	56

## TABLA DE CONTENIDOS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
6.4. Evaluación de la Calificación de Eficiencia del Layout Actual y el Seleccionado .....	58
7. CAPÍTULO 7: PLAN DE ACCIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA .....	60
7.1. Cronograma de Actividades para la Implementación.....	61
8. CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
8.1. Conclusiones .....	62
8.2. Recomendaciones .....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS .....	68
Anexo A. LAYOUT ACTUAL DE PPHP S.A. ....	69
Anexo B. FLUJO DE PRODUCCIÓN .....	70
Anexo C. TABLA DE RELACIONES .....	72
Anexo D. DIMENSIONES EQUIPOS DE PRODUCCIÓN .....	73
Anexo E. MAPAS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....	75
Anexo F. ANÁLISIS DE PARETO.....	82
Anexo G. RUTAS Y TABLAS DE COSTOS MODELO 1-MEDIANA .....	89
Anexo H. COSTOS DE FLETE UTILIZADOS EN MODELO 1-MEDIANA (COSTOS VARIABLES - $C_{ij}$ ).....	106
Anexo I. PROBLEMA 1-MEDIANA .....	107
Anexo J. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA EL PROBLEMA RECTILÍNEO 1-MEDIANA (MINISUMA) .....	110
Anexo K. RESULTADO MODELO RECTILÍNEO 1-MEDIANA.....	111
Anexo L. SLP (SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING).....	112
Anexo M. CALIFICACIÓN DE EFICIENCIA.....	121

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Planeación de Instalaciones.....	4
Figura 2. Diagrama de Flujo Proceso Producción .....	19
Figura 3. Disposición en Bloques para la Nueva Instalación (Alternativa D) .....	58
Figura 4. Layout Actual Empresa PPHP S.A.....	69
Figura 5. Tabla de Relaciones de las Actividades de PPHP S.A. ....	72
Figura 6. Zona Industrial Calacalí.....	76
Figura 7. Zona Industrial San Antonio .....	77
Figura 8. Zona Industrial Pomasqui.....	78
Figura 9. Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro .....	79
Figura 10. Parque Industrial Guamaní (Turubamba) .....	80
Figura 11. Zona Industrial Itulcachi.....	81
Figura 12. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Calderón .....	89
Figura 13. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Centro Histórico .....	90
Figura 14. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a El Batán .....	91
Figura 15. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a La Prensa.....	92
Figura 16. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Morán Valverde.....	93
Figura 17. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Sangolqui .....	94
Figura 18. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Universidad Central..	95
Figura 19. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Villaflora .....	96
Figura 20. Ruta Parque Industrial Turubamba a Calderón .....	97
Figura 21. Ruta Parque Industrial Turubamba a Centro Histórico .....	98
Figura 22. Ruta Parque Industrial Turubamba a El Batán .....	99
Figura 23. Ruta Parque Industrial Turubamba a La Prensa .....	100
Figura 24. Ruta Parque Industrial Turubamba a Morán Valverde .....	101
Figura 25. Ruta Parque Industrial Turubamba a Sangolquí .....	102
Figura 26. Ruta Parque Industrial Turubamba a Universidad Central .....	103
Figura 27. Ruta Parque Industrial Turubamba a Villaflora .....	104
Figura 28. Resultado Modelo Rectilíneo 1-Mediana.....	111
Figura 29. Diagrama de Relaciones .....	113
Figura 30. Diagrama de Relaciones de Espacio.....	115

**LISTA DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)**

Figura	Pág.
Figura 31. Alternativa A.....	116
Figura 32. Alternativa B.....	117
Figura 33. Alternativa C.....	118
Figura 34. Alternativa D.....	119
Figura 35. Tabla de Relaciones Cuantificada.....	121
Figura 36. Adyacencia Alternativa A.....	122
Figura 37. Adyacencia Alternativa B.....	123
Figura 38. Adyacencia Alternativa C.....	124
Figura 39. Adyacencia Alternativa D.....	125
Figura 40. Adyacencia Layout Actual.....	126

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1. Áreas y Departamentos Identificados para PPHP S.A.....	23
Tabla 2. Tabla Flujo Entre .....	26
Tabla 3. Codificación Departamentos para Tabla Flujo Entre .....	26
Tabla 4. Importancia de la Relación .....	27
Tabla 5. Razón Detrás del Valor de ‘Cercanía’ .....	28
Tabla 6. Espacio Requerido de los Departamentos .....	32
Tabla 7. Coordenadas de Clientes de PPHP S.A. ....	40
Tabla 8. Coordenadas de Parques y Zonas Industriales .....	40
Tabla 9. Costos Fijos .....	42
Tabla 10. Criterios: Orden y Peso .....	45
Tabla 11. Escala de Calificación de los Criterios .....	45
Tabla 12. Ponderaciones Totales de Cada Ubicación .....	48
Tabla 13. Solución Coordenada Latitud $a_j$ .....	49
Tabla 14. Solución Coordenada Longitud $b_i$ .....	50
Tabla 15. Tabla de Calificación para Evaluación de los Factores.....	55
Tabla 16. Tabla de Resultados del Análisis de las Alternativas de Layout .....	56
Tabla 17. Cronograma de Implementación .....	61
Tabla 18. Dimensiones de Máquinas/Equipos .....	73
Tabla 19. Pareto de Clientes por Volumen de Ventas .....	82
Tabla 20. Distancias desde los Parques hasta los Clientes.....	105
Tabla 21. Costos ( $c_{ij}$ ) Basados en las Distancias entre Parques y Clientes .....	105
Tabla 22. Costos de Flete .....	106
Tabla 23. Criterio Volumen del Negocio.....	110
Tabla 24. Criterio Accesibilidad.....	110
Tabla 25. Criterio Movilización .....	110
Tabla 26. Relación X entre Departamentos .....	112
Tabla 27. Relación X entre Departamentos .....	114
Tabla 28. Factores Ponderados .....	120
Tabla 29. Cálculo de Calificación de Eficiencia.....	127
Tabla 30. Rangos Calificación de Eficiencia .....	128

**LISTA DE TABLAS (CONTINUACIÓN)**

Tabla		Pág.
Tabla 31. Rangos Utilización de Superficies.....		128
Tabla 32. Rangos Facilidad de Futura Expansión.....		128

# **PROPUESTA DE REUBICACIÓN Y NUEVO LAYOUT DE UNA FÁBRICA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

## **1. CAPITULO 1: INTRODUCCION**

### **1.1. Descripción del Problema**

El presente proyecto está dirigido a ubicar a PPHP S.A., fábrica de poliestireno expandido (EPS/espuma-flex), en un sector alejado de la zona residencial del sur de Quito. En la actualidad, junto a la fábrica se está desarrollando un proyecto inmobiliario que obliga a la Empresa a readecuar sus instalaciones en un sector industrial. Adicionalmente, por Ordenanzas Metropolitanas del Distrito Metropolitano de Quito, las fábricas que actualmente se encuentran dentro de zonas residenciales y representan un alto impacto ambiental precisan una reubicación en sectores industriales. La Empresa cuenta con un año para desalojar los terrenos actualmente utilizados, por lo que se desarrollará un análisis de la reubicación total de la empresa en una zona/parque industrial del Distrito Metropolitano de Quito y el consiguiente diseño de un layout eficiente en la nueva ubicación.

### **1.2. Justificación**

La Empresa de poliestireno expandido requiere una nueva ubicación para su planta de producción debido a Ordenanzas Metropolitanas, para lo cual se necesita un análisis que permita encontrar dicha ubicación que optimice los costos de transporte y traslado para de esta manera mejorar la cadena de distribución.

El Gerente General de la Empresa considera, de acuerdo a su percepción y comparando con información histórica, que el layout actual es deficiente por lo que propone el estudio de un nuevo layout. El flujo de materiales y productos no sigue una secuencia específica, todo se mueve y almacena de acuerdo a lo requerido. Actualmente la planta tiene espacio subutilizado por lo que en la nueva

ubicación de la planta se requiere un secuenciamiento de máquinas de acuerdo al proceso y no por el orden de adquisición de máquinas.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. *Objetivo Final***

El principal objetivo del presente trabajo es cumplir con las Ordenanzas Metropolitanas del Distrito Metropolitano de Quito de eliminar las fábricas que se ubican actualmente dentro de zonas residenciales a través de la propuesta de reubicación de una Empresa de poliestireno expandido en una zona donde su funcionamiento sea permitido. Así como también contribuir en la mejora de la eficiencia de la Empresa con el diseño de un layout interno en la nueva ubicación propuesta.

#### **1.3.2. *Objetivos Específicos***

En base al objetivo fundamental planteado se pueden especificar ciertos objetivos puntuales que se presentan a continuación:

- Determinar las características del negocio y de las operaciones de una fábrica de poliestireno expandido para conocer los requerimientos de su nueva ubicación.
- Analizar mediante modelos matemáticos de ubicación de instalaciones las zonas industriales que el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito autoriza para la ubicación de fábricas de poliestireno expandido o productos similares.
- Evaluar los requerimientos industriales de la Empresa para desarrollar un nuevo layout para la planta en Quito.
- Proponer una disposición de departamentos eficiente en función de los requerimientos y la metodología de layout de instalaciones.

### **1.4. Organización del Documento**

El presente documento inicia presentando en el capítulo 2 un marco teórico con la información recopilada a través de la revisión bibliográfica que se llevó a

cabo para el desarrollo del proyecto. En el capítulo 3 se muestra una descripción de la Empresa con sus procesos productivos, a la vez que se presenta un análisis de la ubicación actual de la planta y de la disposición actual (layout) de las máquinas. A continuación, en el capítulo 4 se determinan los requerimientos generales que luego serán tomados en cuenta al momento de ubicar la nueva instalación y diseñar su disposición. En el capítulo 5 se detalla el procedimiento que se siguió al aplicar dos modelos matemáticos para la ubicación de la nueva instalación tomando en cuenta la investigación que se realizó con respecto a los parques industriales del Distrito Metropolitano de Quito. Posteriormente, en el capítulo 6 se aplica la metodología SLP para desarrollar el layout o disposición de los departamentos en la nueva planta. Un plan de acción para implementar la propuesta se presenta en el capítulo 7; y, finalmente las conclusiones a las que se llegaron y las recomendaciones que plantean en el presente estudio se presentan en el capítulo 8.

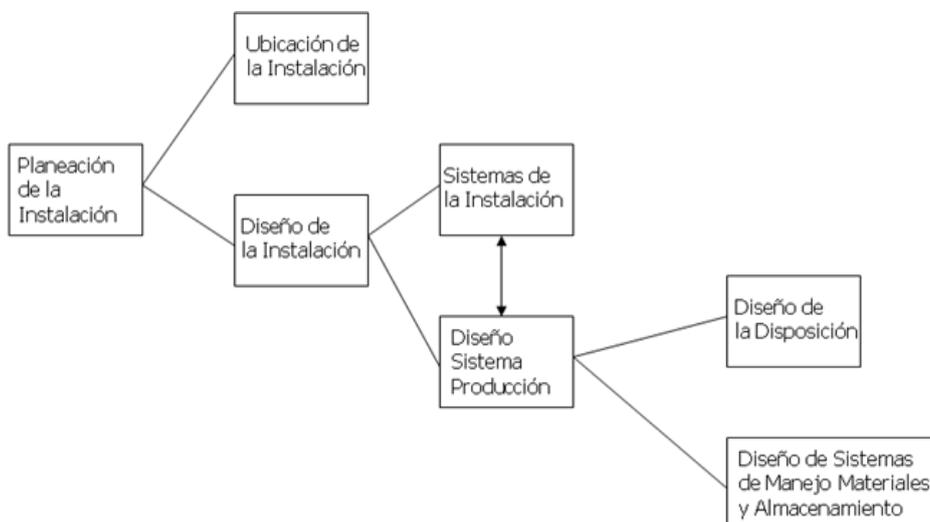
## 2. CAPITULO 2: MARCO TEORICO

### 2.1. Planeación de Instalaciones

La ubicación y diseño de una instalación son parte integral del proceso de planeación de instalaciones, el cual permite determinar el lugar y disposición más adecuados para una instalación industrial. Según Tompkins y otros, “la ubicación de la instalación se refiere a su localización con respecto a los clientes, proveedores y otras instalaciones con cuyas actividades tiene relación” (8, 2006). Adicionalmente, es parte del estudio de la ubicación de las instalaciones el lugar y la orientación específica de la instalación en un terreno dado.

Por otro lado, de acuerdo a Tompkins y otros, “los componentes del diseño de una instalación están formados por los sistemas de la instalación, la disposición, y el sistema de manejo de materiales” (8, 2006).

En resumen, la planeación de instalaciones industriales se compone de los siguientes elementos como se muestra en la Figura 1:



Fuente: Tompkins, 7.

Figura 1. Planeación de Instalaciones

Dentro del diseño de la instalación, se debe tener en cuenta (Tompkins 8, 2006):

Sistemas de la Instalación: Entorno, energía eléctrica, luz, gas, calefacción, ventilación, aire acondicionado, agua y drenaje.

Disposición (Layout) de la Instalación: Áreas de producción, áreas de apoyo y áreas de personal dentro del edificio.

Sistemas de Manejo de Materiales: Materiales, el personal, la información y los sistemas de administración del equipo requeridos para apoyar la producción.

La planeación de instalaciones tiene como objetivo principal la satisfacción del cliente y bajo dicho enfoque se debe realizar el diseño y ubicación de una instalación. Sin embargo, no se debe descuidar que la planeación de una instalación se realiza para incrementar la rentabilidad y productividad de una empresa. Algunos objetivos específicos de la planeación de las instalaciones se encuentran detallados en el libro de Tompkins (12, 2006):

- Mejorar la satisfacción del cliente al facilitar sus transacciones, cumplir las promesas hechas a éste y responder a sus necesidades.
- Maximizar la velocidad para una rápida respuesta al cliente.
- Reducir los costos y aumentar la rentabilidad.
- Utilizar con eficacia al personal, el equipo, el espacio y la energía.
- Maximizar el retorno de la inversión (ROI) en todos los gastos de capital.

Realizar la planeación de una instalación es el punto más crítico del diseño y ubicación de instalaciones ya que el mismo se realiza una sola vez. Sin embargo, una instalación puede ser rediseñada cuantas veces sea necesaria para adaptarse a los cambios que puedan ocurrir (no es lo óptimo realizar muchos cambios pero si se requiere hay que hacerlos). Para realizar la planeación de una instalación es recomendable seguir un determinado proceso o procedimiento. Un proceso típico o tradicional (como refiere Tompkins 13, 2006) es el de ingeniería que consiste en:

1. Definir el problema
  - 1.1. Definir (o redefinir) el objetivo de la instalación
  - 1.2. Especificar las actividades principales y de apoyo para alcanzar el objetivo
2. Analizar el problema
  - 2.1. Determinar las relaciones entre las actividades
  - 2.2. Se debe definir relaciones cuantitativas y cualitativas
3. Determinar los requerimientos de espacio para todas las actividades
  - 3.1. Equipo, material y personal
  - 3.2. Generar planes de instalación alternos
4. Evaluar las alternativas
5. Seleccionar el diseño más apropiado
6. Implementar el diseño
  - 6.1. Implementar el plan de la instalación
  - 6.2. Mantener y adoptar el plan de la instalación
  - 6.3. Redefinir el objetivo de la instalación

## **2.2. Ubicación de Instalaciones**

La ubicación de instalaciones es un problema bastante amplio y para el cual existen una gran cantidad de modelos cuantitativos y cualitativos que pueden ser aplicados (Tompkins 532, 2006).

Para determinar la ubicación adecuada de una instalación se deben tomar en cuenta una serie de factores como son: el mercado, el clima, disponibilidad de servicios, transporte, leyes o impuestos, costos, la comunidad, entre otros. La decisión de ubicación de una nueva instalación está directamente relacionada al concepto de la distancia (entre la nueva planta y las existentes, los clientes o los proveedores). Bajo este concepto algunos ejemplos de decisión pueden ser “minimizar la suma de las distancias ponderadas (problema de la ubicación minisuma) y minimizar la distancia máxima (problema de la ubicación minimax)” (Tompkins 533, 2006). De igual manera las medidas de distancia se clasifican como:

- Rectilínea – Distancia que se da en una trayectoria en ángulos rectos entre dos ubicaciones.
  - Apropiaada en ubicación de instalaciones dentro de una ciudad, ubicación de máquinas en plantas.
- Euclidiana – Distancia en línea recta.
  - Utilizada para medir la ubicación de instalaciones dentro de una región más grande.
- La distancia de la trayectoria de flujo
  - Las distancias se miden sobre la trayectoria real recorrida entre dos puntos.

De acuerdo a la recopilación de Tompkins los siguientes modelos pueden ser usados para la ubicación de instalaciones:

Problema rectilíneo de ubicación de una planta (Minisuma) (Tompkins 534, 2006):

También conocido como problema rectilíneo 1-mediana, permite determinar la localización óptima entre  $n$  puntos de demanda para poder minimizar la suma total de las distancias ponderadas o costos totales entre las instalaciones y los puntos potenciales. Para esto es la utilización de criterios de ponderación para la selección de los puntos potenciales de ubicación (Berman, 59).

Siendo:

$X = (x,y)$  la ubicación de la planta nueva.

$P_i = (a_i,b_i)$  la ubicación de una planta existente  $i, i=1,2,\dots,m$ .

$w_i$  = una constante de proporcionalidad (p.e. “ponderación” asociada con el viaje entre la planta nueva y la planta existente  $i$ ).

$$\begin{aligned} d(X, P_i) &= \text{distancia entre la planta nueva y la planta existente } i \\ &= |x - a_i| + |y - b_i| \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\text{Minimizar } f(X) = \sum_{i=1}^m w_i d(X, P_i) \quad (m \text{ plantas existentes}) \quad (2.2)$$

$$= \sum_{i=1}^m w_i |x - a_i| + \sum_{i=1}^m w_i |y - b_i| \quad (2.3)$$

“Para encontrar el valor óptimo de  $x$ , se emplean dos propiedades matemáticas de tal solución. Por ejemplo, la coordenada  $x$  de la planta nueva será igual a la coordenada  $x$  de alguna planta existente; y la coordenada  $x$  óptima no estará a más de la mitad de lo que la ponderación total está a la izquierda de  $x$  y no estará a más de la mitad de lo que la ponderación total está a la derecha de  $x$ . Esta última condición se conoce como condición de la mediana” (Tompkins, 534).

Modelo de ubicación de una planta (Modelo P-mediana) (Tompkins 542, 2006):

También conocido como modelo de ubicación de plantas capacitadas, o problema P-mediana, donde P es el número de instalaciones que se desea reubicar. Para aplicar este modelo se asume que la demanda es conocida y que los impuestos sobre las ganancias se ignora (Chopra 126, 2007). Se utiliza este modelo para determinar el mínimo número de instalaciones que pueden mantener inventario y satisfacer la demanda del cliente. El objetivo es formular un modelo que minimice los costos totales de una demanda conocida.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n f_j y_j \quad (2.4)$$

*sujeto a*

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq m y_j \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (2.6)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j \leq 1 \quad (2.7)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \quad (2.8)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad (2.9)$$

Donde:

$m$  = número de clientes

$n$  = número de sitios para la planta

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i \text{ suministrada por } j \\ 0 & \text{lo contrario} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la planta se ubica en } j \\ 0 & \text{lo contrario} \end{cases}$$

$c_{ij}$  = costo variable dependiendo el costo de transportar el producto desde la  $i$  hasta  $j$

$f_j$  = costo fijo de ubicar una planta en el sitio  $j$

“La función objetivo produce el costo de ubicar plantas en los sitios  $y_j$ . El primer conjunto de  $n$  restricciones indica que la proporción total de la demanda de un cliente suministrada por una planta ubicada en el sitio  $j$  es igual a cero cuando  $y_j$  es igual a uno. El segundo conjunto de  $m$  restricciones asegura que toda la demanda debe satisfacerse para el cliente  $i$  por medio de alguna combinación de plantas. Las restricciones de no negatividad en  $x_{ij}$  y las restricciones de cero-uno en  $y_j$  completan la formulación de la programación entera mixta. Se puede emplear un procedimiento de solución de ramificación y acotamiento para resolver de manera exacta el problema de la ubicación de una planta formulado antes, así como formaciones más generales.” (Tompkins 543, 2006)

Problema de ubicación minimax de una sola planta (Tompkins 539, 2006):

También conocido como problema 1-centro, permite minimizar la distancia entre la instalación y punto potencial, este problema es usado comúnmente en la ubicación de instalaciones de emergencia, como hospitales, clínicas, estaciones de bomberos, estaciones de ambulancias, etc.

$$\text{Minimizar } f(x, y) = \max_{i=1 \text{ a } m} [|x - a_i| + |y - b_i|], i = 1, 2, \dots, m \quad (2.10)$$

Procedimiento de solución:

Encontrar

$$c_1 = \min_{i=1 \text{ a } m} (a_i + b_i) \quad (2.11)$$

$$c_2 = \max_{i=1 \text{ a } m} (a_i + b_i) \quad (2.12)$$

$$c_3 = \min_{i=1 \text{ a } m} (-a_i + b_i) \quad (2.13)$$

$$c_4 = \max_{i=1 \text{ a } m}(-a_i + b_i) \quad (2.14)$$

$$c_5 = \max(c_2 - c_1, c_4 - c_3) \quad (2.15)$$

$f(x, y)$  está minimizado para todos los  $(x, y)$  en el segmento de línea que conecta los dos puntos

$$(x_1^*, y_1^*) = 0.5(c_1 - c_3, c_1 + c_3 + c_5) \quad (2.16)$$

$$(x_2^*, y_2^*) = 0.5(c_2 - c_4, c_2 + c_4 - c_5) \quad (2.17)$$

### 2.3. Disposición de Plantas (Layout)

El primer paso para realizar la disposición de plantas industriales es el establecimiento de los requerimientos que se van a tomar en cuenta para generar alternativas de diseño las cuales serán evaluadas posteriormente (Tompkins 79, 2006). Para la determinación de los requerimientos se debe considerar:

- Flujo: “depende de los tamaños de los lotes, los tamaños de las cargas unitarias, el equipo y las estrategia de manejo de materiales, la disposición y la configuración del edificio” (Tompkins 79, 2006).
- Espacio: “es una función de los tamaños de los lotes, el sistema de almacenamiento, el tipo y el tamaño del equipo de producción, la disposición, la configuración del edificio, las políticas de cuidado y organización del edificio, el equipo para manejo de materiales y el diseño de las oficinas, la cafetería y los vestidores” (Tompkins 79, 2006).
- Relaciones de las actividades: “se define mediante el flujo del material o del personal, las consideraciones ambientales, la estructura organizacional, la metodología de mejoramiento continuo, los aspectos de control y los requerimientos de procesos” (Tompkins 79, 2006).

En la determinación de los requerimientos cuantitativos y cualitativos de relaciones de actividades es de bastante ayuda la definición de tablas y matrices como las que se presentan a continuación:

- Tabla de Flujo Desde-Hacia: No necesariamente se asumen trayectorias de viaje simétricas (Tompkins 104, 2006).
- Tabla Flujo Entre: Asume viajes simétricos por lo cual sólo la porción superior o inferior de la tabla se necesita (Tompkins 100, 2006).
- Tabla de Relaciones: identifica la “importancia” de la cercanía entre departamentos y se determina a través de entrevistas o encuestas con personas y administradores de cada departamento (Tompkins 107, 2006).

Una vez establecidos los requerimientos, se procede a hacer uso de alguna de las metodologías de layout de instalaciones. Las metodologías para disposición de plantas industriales pueden ser de dos tipos: de construcción o de mejoramiento. Una de las metodologías más utilizadas para construcción de un nuevo layout es el procedimiento desarrollado por Muther que se denomina Planificación Sistemática de la Disposición o SLP (Systematic Layout Planning) (Tompkins 306, 2006). Para desarrollar este modelo se requiere contar con la suficiente información de la Empresa para lograr una comprensión de las funciones y las relaciones entre las actividades, a partir de lo cual se realiza un análisis del flujo de materiales (tabla desde-hacia) y un análisis de la relación de las actividades (tabla de relaciones de actividades) (Tompkins 309, 2006). El procedimiento toma en cuenta toda esta información para generar Diagramas de Relaciones de Espacio los cuales son de mucha ayuda al momento de generar alternativas de diseño las cuales deben ser evaluadas posteriormente con el fin de encontrar el layout más adecuado con respecto a un criterio común.

Existen algoritmos, sobretodo de mejoramiento de layouts, que proporcionan un análisis más objetivo y formal para la toma de decisiones sobre la disposición o layout de las instalaciones, algunos de estos algoritmos son (Tompkins 310, 2006):

- Método de Intercambio Pareado: es un algoritmo de disposición para mejoramiento, por este motivo se requiere que exista un layout inicial (Tompkins 315, 2006).

- Método basado en gráficas: es un algoritmo de disposición para construcción, se basa en la adyacencia. Una vez determinada una gráfica de adyacencias, todavía se necesita construir un layout en bloques a partir de la gráfica en una manera similar al método SLP (Tompkins 306, 2006).

A la vez, existen métodos computarizados que utilizan los métodos descritos: CRAFT (Tompkins 321, 2006), BLOCPLAN (Tompkins 321, 2006), MULTIPLE (Tompkins 321, 2006), COFAD (Konz 104, 1992), CORELAP (Konz 104, 1992), ALDEP (Konz 104, 1992), PLANET (Konz 104, 1992).

Las alternativas de layout son evaluadas en función de ciertas medidas de desempeño (Tompkins 311, 2006). Estas medidas de desempeño se pueden clasificar en dos categorías en función de si están basadas en distancias o en adyacencias (Tompkins 311, 2006). Una de las principales medidas de desempeño basada en adyacencias que permite determinar la eficiencia de un determinado layout o disposición de máquinas es la calificación de eficiencia, también conocida como calificación de adyacencia normalizada (Tompkins 312, 2006). La calificación de eficiencia provee un valor numérico entre 0 y 1 (0% y 100%) permite comparar dos o más layouts (Tompkins 312, 2006).

### **3. CAPITULO 3: SITUACION ACTUAL**

#### **3.1. Descripción de PPHP S.A.**

La empresa que va a ser objeto de estudio tomará un nombre ficticio ya que se solicitó por parte de la Gerencia General total confidencialidad al respecto, por lo que a la empresa se le dará el nombre de PPHP S.A.

La empresa se dedica a la transformación de poliestireno expandible (EPS), mejor conocido como Espuma Flex. La empresa se fundó en el año 1959, en la ciudad de Quito, por el padre, abuelo y tíos del actual Gerente General. Como se puede constatar es una empresa familiar, que nació de la necesidad de organizar formalmente un negocio creciente. Un negocio que en sus inicios (1948) se dedicaba a la fabricación de muebles finos y decoración. Alrededor de los años 1957 y 1958, la necesidad por un abastecimiento más confiable de material para tapicería y además más “novedoso” hizo que la familia comprara una franquicia alemana para la fabricación de espumas de poliuretano.

Eventualmente el negocio de muebles se suspendió y a cambio se fortaleció el negocio de espumas con la fabricación de los primeros colchones de espumas. Adicionalmente a los negocios de espumas para tapicería y colchones ya se había incurrido (1958) en la fabricación de “estructuras” o “esqueletos” de poliestireno expandible para un tipo especial de muebles. Posteriormente, la empresa se dedicó totalmente al moldeo de poliestireno expandido y actualmente éste es su principal negocio.

Los productos que al momento se manejan y se comercializan en todo el país, de acuerdo a los sectores que atiende, son:

- El sector de la construcción: casetones, bovedillas, sistema constructivo a base de paneles de poliestireno y mallas electrosoldadas, paneles tipo sándwich para paredes y techos, placas decorativas para cielo raso, cornisas decorativas para exteriores y cenefas.
- La agroindustria se cuenta con bandejas para enraizamiento, cajas térmicas para la conservación y transporte de productos perecibles.

La industria fabrica piezas moldeadas para embalaje, y piezas especiales para la industria blanca; además de comercializar planchas para todo tipo de artesanías y artes manuales y bloques de gran tamaño para la construcción vial.

Siendo los principales clientes los exportadores de pescado fresco y la industria de línea blanca.

En la actualidad PHHP S.A. cuenta con 24 trabajadores y nueve funcionarios (entre operaciones, administración y comercial), cuya **visión** es: "Seremos líderes en la transformación de poliestireno expandible, desarrollando nuevos mercados y negocios con una estructura de costos optimizada. Actuaremos siempre alineados con nuestros valores organizacionales y buscaremos permanentemente el desarrollo y bienestar de nuestros colaboradores, clientes y accionistas" y cuya **misión** es: "Entregar productos y servicios con excelencia y efectividad, creando valor y bienestar para nuestros accionistas y empleados".

### **3.2. Descripción de la Situación Actual de PHHP S.A.**

La empresa PHHP S.A. posee en la actualidad una capacidad instalada de cinco bloques por hora cuando se está trabajando al 100% de la producción. En el área de producción se trabajan tres turnos de ocho horas cada día de lunes a sábado, los domingos se trabaja dos turnos excepto cuando existe exceso de pedidos y se trabaja hasta las 20h00. La caldera trabaja las 24 horas con la supervisión de dos turnos en la mañana y en la noche. La sección de corte trabaja un solo turno en la mañana al igual que el área de molido y cuando existe mayor producción se tiene un turno adicional en la tarde. La parte administrativa tiene horario diurno.

Se consideran producto en proceso las perlas de EPS expandidas que posteriormente serán utilizadas en bloques o en moldeo, los bloques, las cajas moldeadas sin impresión y planchas de poliestireno que posteriormente serán utilizadas para la fabricación de paneles. Se cuenta con silos donde reposa el material granulado (perlas expandidas), cada silo tiene una capacidad de 700 a 2000 kilos por día. Así también se producen entre 50 y 100 bloques por día lo que significan 80 a 100 metros cúbicos por día.

El mayor inconveniente que PHHP S.A. enfrenta es la falta de espacio, especialmente en la altura de sus galpones, debido a que su negocio ha cambiado el tipo de productos que fabrican. El cambio de producir colchones a bloques y moldeo de poliestireno expandido ha ocasionado que la empresa tenga que adaptar sus instalaciones al espacio existente.

Las materias primas en su mayoría son importadas de China y Chile, llegan en barco al puerto de Guayaquil y son enviadas a la fábrica por transporte terrestre. Los proveedores de suministros y repuestos son comprados a nivel nacional y estos mismos se encargan de la distribución hacia la planta. Para la distribución de sus productos utilizan dos camiones propios y también se contratan camiones para realizar entregas en Guayaquil o Cuenca. Los camiones propios son utilizados principalmente para la distribución dentro de la ciudad aunque también se programan viajes hacia las provincias excepto a Guayaquil.

La distribución se planifica de acuerdo a la urgencia que tienen los clientes por recibir sus productos y se escogen las rutas de acuerdo a la acumulación de productos que se deben entregar, por ejemplo si hacia el norte se encuentran algunos clientes que esperan sus productos y estos llenan el camión de reparto se planifica la ruta hacia ese sector. La competencia se ubica principalmente en Guayaquil, en la ciudad de Quito se encuentra sólo uno en el sector de Calderón.

La producción de bloques se la hace en base a los pronósticos de las ventas y el corte de las planchas se lo realiza de acuerdo a órdenes de producción emitidas por el departamento comercial. Los productos de moldeo se los fabrica de acuerdo a proyecciones y pedidos de los clientes, los cuales entregan sus requerimientos mensualmente a través de órdenes de compra.

Descripción de las principales máquinas requeridas para el proceso:

Caldero: permite la pre-expansión de las perlas de poliestireno, debido a sus años de antigüedad su capacidad de 2000 Kg. por hora ha disminuido entre 1400 a 1500 Kg. de vapor de agua por hora, es decir, se encuentra operando a su 80%.

Pre-expansor: cuando trabaja a su máxima capacidad permite la pre-expansión de 12 Kg. pero en un promedio pre-expande 7 Kg. en 4 minutos de perlas de poliestireno.

Bloquera: depende de la densidad de bloque que se requiera, para lo cual se necesita más tiempo bajo presión y vapor de agua. La máquina requiere de 12,5 a 13 minutos para obtener un bloque normal, esto significa un promedio de 4 bloques por hora y un total de 96 al día.

Moldeadora: realiza varios moldes de acuerdo a los requerimientos de los clientes, permite hacer 4550 cajas térmicas para la conservación y transporte de productos perecibles, este producto es el más importante y representa entre el 40% al 50% de las ventas.

Cortadora de planchas: la mayor ganancia económica se obtiene en las planchas de 10 cm. de espesor. Se logran cortar 4 bloques en una hora lo que equivale a 9 m<sup>3</sup> / hora.

Cortadora de contornos: no existe una medida de su capacidad puesto que los trabajos realizados en esta máquina dependen de los requerimientos del cliente pero si se quiere cortar bloques y así comparar con la cortadora anterior se demora 2 horas por bloque.

Molino: se recicla todo producto defectuoso y/o residuo de corte para que pueda ser reutilizado, se agrupa todo el material y se puede moler hasta 300 Kg. en 8 horas, por lo que la máquina tiene un capacidad de 37.5 Kg./hora.

De acuerdo a un estudio realizado por el Ministerio de Trabajo y Empleo sobre la Categorización del Riesgo por Sectores y Actividades Productivas, la empresa PPHP S.A. se encuentra en el sector de Industrias Manufactureras y está ubicada en la categoría de Fabricación de productos de caucho y plástico, con código D y con puntuación de 8 que significa que tiene riesgo alto. En mayo la Empresa tendrá una auditoria que será realizada por la Dirección de Medio Ambiente para comprobar si esta categoría es la más adecuada para la Empresa, existe disconformidad con la calificación previa ya que la Empresa no está dedicada a la fabricación de plástico sino al moldeo de un derivado del plástico, es decir, moldeo de poliestireno expandido (EPS).

### **3.3. Descripción de los Procesos**

#### **3.3.1. Preparación de la Materia Prima**

La materia prima de la Empresa es el poliestireno expandido, en forma de pequeñas perlas de un diámetro aproximado de 0.35 mm. Para que dichas perlas puedan ser utilizadas en los procesos subsiguientes se requiere prepararlas para lo cual deben pasar por el pre-expansor donde se someten a vapor de agua (originado en un caldero), presión (compresor) y temperatura (debido al aumento de la presión). Se expanden las perlas al reaccionar estos tres factores con un gas que tienen dentro de las perlas llamado pentano. Dependiendo del producto que se quiera fabricar existen tres tipos de densidades (perlas expandidas) que son: 10 a 12 Kg. usada para bloques, 28 a 30 Kg. usada para el moldeo y 20 Kg. para moldeo de cajas térmicas.

Luego se pasa a una etapa de maduración en que las perlas a través de un secador obtienen su forma característica y pasan a los silos donde son almacenadas para su posterior utilización.

#### **3.3.2. Fabricación y Corte de Bloques**

Existe una máquina que fabrica bloques de 4 metros de altura, 51 cm. de ancho y pueden variar de 80 a 130 cm. de profundidad. Luego de su fabricación los bloques tienen que reposar durante 24 horas. Para la realización de bloques se tiene dos procesos diferentes, el primero, llamado Bloque Normal en el que se utiliza material virgen; y, el segundo, llamado Styropanel o Styrobloque en el que se emplea porcentajes de material virgen y material reciclado (triturado de los desperdicios producidos).

Los bloques son destinados a producir: casetones, paneles tipo sándwich para paredes y techos, placas decorativas para cielo raso, cornisas decorativas para exteriores y cenefas; y, planchas para todo tipo de artesanías. Adicionalmente, los bloques completos sirven para la construcción vial. Dado que existen distintos productos que se realizan a partir de los bloques, éstos deben pasar a un segundo proceso que es el de corte, para lo cual se utilizan máquinas

cortadoras que emplean niquelinas para cortar tanto planchas como diversas formas requeridas.

### **3.3.3. Moldeo**

Se requiere perlas expandidas de altas densidades ya que los acabados son más finos. Se utiliza una máquina que emplea moldes de aluminio y bronce, los cuales son llenados con material de poliestireno expandido y por la temperatura y la presión se obtiene las formas del molde deseado. El moldeo depende del uso que el cliente requiera ya que los moldes pueden ser usados tanto en el embalaje de línea blanca así como en la elaboración de cajas térmicas.

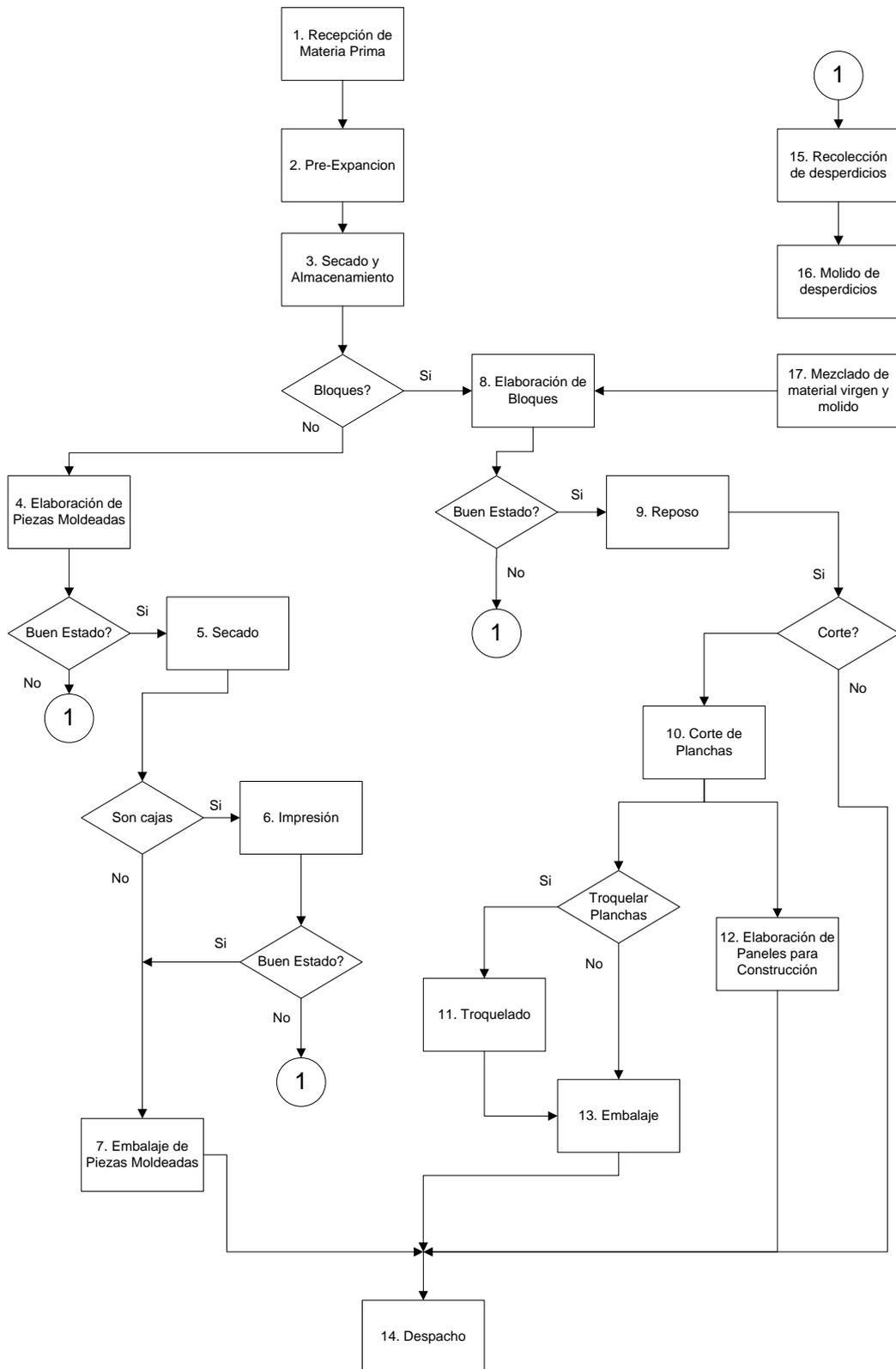
### **3.3.4. Molido**

Luego de los procesos de corte y de moldeo, se pueden producir piezas defectuosas, las cuales pasan a un proceso de molido en el cual se trituran las piezas moldeadas y/o planchas para que puedan ser reutilizadas en la fabricación de bloques de menor densidad. Para la fabricación de estos bloques se emplea material virgen y material molido que son almacenados en silos diferentes y que se unen en un mezclador previo al ingreso de la máquina de hacer bloques (bloqueadora).

### **3.3.5. Embalaje**

Los productos que cuentan con la calidad y especificaciones solicitadas son enviados al área de embalaje donde son recubiertos de plástico, para luego ser llevados, dependiendo del tamaño y volumen, a la bodega o a una parte de la zona de producción para despachar el producto hacia los clientes.

La Figura 2 explica de manera gráfica el proceso de producción tanto de bloques como de moldes, basados en la misma materia prima, el poliestireno.



Fuente: Generación Propia

Figura 2. Diagrama de Flujo Proceso Producción

### **3.4. Análisis de la Ubicación Actual de la Empresa**

De acuerdo a información referida por el Gerente de General, la Empresa PPHP S.A. inició sus operaciones en 1959 en el barrio Granda Centeno ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito, donde permanecieron durante 15 años. La empresa tuvo que buscar nuevas instalaciones debido a un incendio producido en 1974. La selección de la ubicación actual se basó en la cercanía con la vía a la Costa donde se encuentra uno de sus principales clientes. Al momento en el que la Empresa se instaló donde se encuentra ubicada actualmente, la zona estaba poblada de haciendas dedicadas principalmente a la actividad agrícola. A medida que pasaron los años esta zona dejó de ser un área rural y pasó a ser parte de la zona urbana de Quito, con ello las restricciones ambientales y la exigencia de permisos de funcionamiento para ciertas industrias fueron siendo cada vez mayores. Actualmente, las Ordenanzas Metropolitanas que restringen el Uso de Suelo en la ciudad de Quito han determinado que el sector donde la Empresa se encuentra ubicada es del tipo residencial R1, por lo que ninguna empresa del tipo I3, como es el caso de PPHP S.A., puede seguir funcionando en aquel lugar.

La institución encargada de otorgar la clasificación de Impacto y Riesgo Ambiental es la Dirección de Medio Ambiente, por lo que a través de la información entregada por el Jefe de Calidad la empresa es de tipo I3 – Alto Impacto.

Los principales proveedores de la Empresa están ubicados en el exterior de donde proviene un alto porcentaje de su materia prima. En cuanto a plástico, tintas y otro porcentaje de la materia prima, el proveedor se encuentra en Guayaquil; y, finalmente los repuestos para mantenimiento, suministros e insumos de producción se encuentran en el sur de Quito y el resto dividido en el norte de Quito y los valles de Cumbayá y San Rafael. De los proveedores, un 67% se encuentra agrupado en la zona sur de Quito.

Por otro lado, los clientes que representan un mayor porcentaje de ventas se encuentran tanto en Cuenca como en Guayaquil, con los cuales se comercializa piezas moldeadas. Los bloques y las planchas tienen su mayor venta

en Quito, donde los clientes se encuentran principalmente en el norte – centro de Quito.

### **3.5. Análisis del Layout Existente**

En el Anexo A se muestra el plano de la disposición de máquinas (layout actual) de la empresa PPHP S.A., el cual ha sido utilizado para cumplir con las normas de Bomberos y de Seguridad Industrial. De acuerdo al Jefe de Producción, no se han definido departamentos y la disposición de las máquinas no sigue ningún parámetro o estudio específico. Las máquinas han sido ubicadas de acuerdo al espacio existente y de acuerdo a la necesidad, no se sigue ningún parámetro de flujo, requerimientos de espacio o relación de actividades.

Más adelante se en el capítulo 6, se obtendrán medidas de desempeño basadas en distancias y en adyacencias para el layout actual, con el fin de compararlo objetivamente con el layout propuesto para la nueva instalación.

## **4. CAPITULO 4: DETERMINACION DE LOS REQUERIMIENTOS**

En la sección 2.2 se estableció que los requerimientos que una planta necesita especificar con el fin de aplicar un método de construcción o de mejora de una disposición son: flujo, espacio y relaciones de las actividades; para lo cual se utilizan las siguientes tablas para compilar la información relevante tanto cualitativa como cuantitativa: tabla de relaciones, tabla desde – hacia y tabla flujo – entre. Además, se debe empezar definiendo cuáles son las áreas o departamentos que serán tomados en cuenta para ser dispuestos en la instalación (Tompkins 79, 2006).

Finalmente, para realizar el análisis y aplicación del Problema de Ubicación de la Nueva Instalación (Capítulo 5) es necesaria la determinación previa de los requerimientos de espacio ya que se necesitan identificar los departamentos requeridos con sus dimensiones y áreas. De esta manera, determinar la superficie total o cantidad de metros cuadrados que requiere la construcción.

### **4.1. Determinación de Departamentos en la Instalación**

La determinación de los Departamentos que se requieren para la nueva instalación ha sido considerada de acuerdo a la planificación de departamentos por productos en el cual se agrupan las estaciones de trabajo que producen productos o componentes similares, en los que existe baja variedad de productos y alto volumen de los mismos (Tompkins 80, 2006).

En la Tabla 1 se listan los departamentos identificados para la Empresa PPHP S.A., además, se puede observar que dichos departamentos están agrupados por áreas funcionales y codificados para facilitar su identificación en el análisis subsiguiente.

Tabla 1. Áreas y Departamentos Identificados para PHHP S.A.

<b>AREAS</b>	<b>DEPARTAMENTOS</b>	<b>CÓDIGO</b>
Administrativo	Oficinas	Ad1
	Recepción	Ad2
	Sala de Capacitación	Ad3
	Sala de Reuniones	Ad4
Servicios Personal	Cafetería	SPe1
	Baños Administración	SPe2
	Centro Médico	SPe3
	Baño Social	SPe4
	Cocina – Comedor	SPe5
	Vestidores	SPe6
	Baños Planta	SPe7
Almacenamiento	Bodega Materia Prima	AI1
	Depósito Industrial	AI2
	Bodega Producto Terminado	AI3
	Oficina de Despachos	AI4
Producción	Oficina de Producción	P1
	Oficina de Control de Calidad	P2
	Pre-expansión	P3
	Reposo Bloques	P4
	Moldeo 1 y 2	P5
	Bloquera	P6
	Silos	P7
	Molino	P8
	Corte	P9
	Embalaje	P10
	Impresión	P11
	Panelera	P12
Mantenimiento	Taller Mecánico, Almacenamiento de Herramientas y Repuestos	M&A

Tabla 1. Áreas y Departamentos Identificados para PPHP S.A. (Continuación)

Servicios Producción	Caldero	SPr1
	Compresores - Pulmones	SPr2
	Cámara de Transformación	SPr3
	Acumulador de vapor	SPr4
	Cisterna – Tanque Presurizado (bomba)	SPr5
	Tanque Bunker	SPr6
	Torre de Enfriamiento	SPr7
	Tanque Diario - Ablandador	SPr8

#### 4.2. Determinación de Requerimientos de Flujo

La información recopilada para determinar los requerimientos de flujo está basada en datos entregados por el Jefe de Producción de la Empresa PPHP S.A. A continuación, se describen flujos que existen dentro de la Empresa, entendiéndose como flujo a la transferencia o movimiento entre departamentos de información, materiales, personas, etc.

Dentro de una planta existen diferentes tipos de flujos que ocurren a través de todos los departamentos y externamente hacia el cliente. Para el caso particular de PPHP S.A. los flujos que van a ser tomados en cuenta son aquellos que suceden al interior de la empresa como son: Materiales, Personas, e Información. El flujo de materiales aparece cuando el área de producción solicita al área de bodega los suministros y materia prima que requiere para la producción. Los materiales fluyen a través de los diferentes procesos de producción hasta obtener bloques, piezas moldeadas, planchas o figuras solicitadas por el cliente. El flujo de personas se produce cuando en el proceso productivo se requiere que se transporte materia prima (poliestireno), producto en proceso o producto terminado de un lugar a otro (McLeod 144, 1998). El flujo de información se produce al captar los requerimientos del cliente, traducirlos a valores económicos, para una vez aprobada una propuesta se entregue una petición para efectuar lo requerido; y, una vez elaborado comunicar su finalización para despacho.

Los distintos flujos en PPHP S.A. inician a través del Departamento de Ventas, en el cual se reciben los pedidos de los clientes, dichas solicitudes son transmitidas al Área de Producción donde se planifican y programan las cantidades y los tiempos en los que se debe cumplir dicha orden. Una vez que se calcula cuándo y cuánto se va a producir, se hace la solicitud de materiales y suministros a bodega. Cuando se tienen los materiales y suministros solicitados se lleva a cabo la producción. Una vez que se ha cumplido con la elaboración de la orden de producción planificada, se notifica al Área de Despachos para que se pueda programar la entrega al cliente. El despacho puede ser realizado desde el Área de Bodega o desde el Área de Producción, esto se debe a que el Área de bodega no tiene espacio suficiente para almacenar y despachar toda la producción terminada. La producción se divide en productos de gran volumen (bloques, casetones, cajas térmicas, paneles) que se despachan desde el Área de Producción y productos de poco volumen (piezas moldeadas, piezas troqueladas y planchas) que se despachan desde el Área de Bodega.

Es importante mencionar que no suele ser lo más adecuado tener varias áreas de almacenaje repartidas en distintas ubicaciones de la planta, y que cada una tenga la posibilidad de despachar producto, ya que la cantidad de movimientos y el tiempo de entrega aumentan.

Para determinar los requerimientos de flujo se requiere establecer una unidad de equivalencia que permita trabajar con las distintas cantidades de materia prima que ingresan al proceso de producción y cómo estas cantidades se van transformando hasta obtener productos terminados que ingresan al Área de Bodega. Así, se puede conocer qué cantidad se almacena a pesar de que al momento de venderla no se considere la misma unidad. En el presente caso, la unidad de equivalencia a considerarse serán “kilogramos por hora de trabajo”. La Empresa maneja diferentes unidades de medida como: toneladas/hora, cantidad de piezas moldeadas por lote, cantidad de planchas por hora; y, dimensiones volumétricas como  $m^3$ /orden. Todas estas medidas se unifican al momento de comercializar los productos, en este caso la medida de equivalencia y unificación son los kilogramos por hora que se producen en una máquina determinada. Esta equivalencia permite conocer la cantidad de kilogramos de materia prima que se

transforma y así mejorar la eficiencia en su utilización y la reducción de desperdicios. En el Anexo B se detalla el flujo en la Empresa PPHP S.A. tomando como base a la unidad de equivalencia de kilogramos por hora, y considerando lo que produce cada máquina detallada en la sección 3.3.

A continuación se presenta el resultado del análisis de requerimientos de flujo entre departamentos utilizando la herramienta conocida como Tabla Flujo Entre (Tabla 2). En la Tabla 3 se muestra la codificación correspondiente a los departamentos que se incluyen en la Tabla Flujo Entre.

Tabla 2. Tabla Flujo Entre

<b>HACIA</b> <b>DESDE</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
<b>A</b>	*	----	90 Kg./hr	----	----	----	----	----
<b>B</b>		*	37.5 Kg./hr	----	----	----	----	----
<b>C</b>			*	95.3 Kg./hr	18 Kg./hr	----	----	----
<b>D</b>				*	----	95.3 Kg./hr	----	----
<b>E</b>					*	27.9 Kg./hr	----	----
<b>F</b>						*	108 Kg./hr	6.25 Kg./hr
<b>G</b>							*	----
<b>H</b>								*

Tabla 3. Codificación Departamentos para Tabla Flujo Entre

<b>DEPARTAMENTOS</b>	<b>CÓDIGO</b>
Pre-expansión	A
Molino	B
Silos	C
Bloquera	D
Moldeadora	E
Reposo	F
Cortadora de Bloques	G
Cortadora de Contornos	H

### 4.3. Determinación de Requerimientos de Relaciones de Actividades

Una empresa se encuentra formada por una serie de departamentos que pueden o no estar relacionados entre sí, ya sea por el flujo de información, flujo de materiales o el flujo de personal, así como también por la importancia de cercanía o adyacencia entre ellos (Tompkins 108, 2006). Los diferentes flujos se pueden medir de manera cualitativa de acuerdo a una tabla de valores de cercanía elaborada por Muther (Tabla 4) (Tompkins 107, 2006). El objetivo fundamental del desarrollo de las relaciones de actividades es comprender de manera cualitativa los requerimientos de proximidad (Tompkins 107, 2006), por este motivo, se deben tomar en cuenta los valores cualitativos que se otorgan a las relaciones entre departamentos dependiendo si un departamento debe o no estar cerca de otro y la importancia de su cercanía de acuerdo a la escala que se muestra en la Tabla 4 (Tompkins 107, 2006).

Tabla 4. Importancia de la Relación

<b>VALOR</b>	<b>CERCANÍA</b>
A	Absolutamente importante
E	Muy Importante
I	Importante
O	Está bien, una cercanía normal
U	No es importante
X	No es conveniente

En la mayoría de los casos, es de utilidad presentar una explicación acerca de la elección de la calificación de cercanía asignada, lo que puede llevarse a cabo mediante el uso de una tabla como la que se presenta a continuación como ejemplo (Tabla 5).

Tabla 5. Razón Detrás del Valor de 'Cercanía'

CÓDIGO	RAZÓN
1	Frecuencia de uso alta
2	Frecuencia de uso mediana
3	Frecuencia de uso baja
4	Flujo de información alto
5	Flujo de información mediano
6	Flujo de información bajo

De acuerdo a estos códigos y valores, se procederá a realizar la tabla de relaciones entre todos los departamentos de la Empresa PHHP S.A. La Tabla de Relaciones será utilizada para comprender cómo se relacionan los departamentos y al mismo tiempo saber cuáles deben estar adyacentes o cercanos y los que no es conveniente tenerlos próximos.

La Tabla de Relaciones (Anexo C) fue construida a partir de:

- Flujo del Proceso de Producción: a partir de la descripción (sección 3.3) de los procesos para la fabricación de bloques y piezas moldeadas, se estableció cual debe ser la secuencia de los departamentos.
- Trabajos semejantes: se agruparon las estaciones de trabajo que son similares, es decir, que realizan la misma actividad a pesar de que la forma de hacerlo sea diferente.
- Equipos comunes: se colocó los equipos utilizados por varios departamentos en lugares estratégicos para que todos los departamentos que los utilizan puedan tener libre acceso.
- Relaciones administrativas: para desarrollar las relaciones entre los departamentos administrativos así como la relación entre la parte administrativa y las áreas de producción o almacenamiento, se analizó la información que circula a través de estos departamentos.
- Medidas de seguridad: debido a que existen departamentos que no pueden estar cercanos unos a otros debido a que representan peligros para los empleados y en general al funcionamiento de la Empresa se los ha dispuesto en lugares donde disminuyan o eviten esos peligros.

Para corroborar este análisis se presentó la Tabla de Relaciones (Anexo C) al Gerente General y al Jefe de Producción y de esta manera confirmar los requerimientos de la Empresa.

#### **4.4. Determinación de Requerimientos de Espacio**

Los requerimientos de espacio necesario dentro de los departamentos se analizaron y obtuvieron a través de una entrevista con el Jefe de Producción de la Empresa PPHP S.A. Estos requerimientos deben estar definidos de acuerdo a la producción, almacenamiento y cómo se producen los despachos. Para lo cual, se requiere conocer cuáles son las máquinas y elementos que se quieren reubicar junto con sus dimensiones para conocer el espacio que ocupan dentro de la planta de producción. Además, se debe conocer cómo se maneja el sistema de almacenamiento tanto de la materia prima, como del producto en proceso y terminado.

Para definir y especificar los requerimientos de espacio se debe utilizar el Enfoque “De Abajo Hacia Arriba”, el cual permite establecer cuáles son los requerimientos desde un nivel básico como son las necesidades en una estación de trabajo hasta las necesidades que se tiene en un departamento (Tompkins 109, 2006). En otras palabras, este Enfoque permite planificar el espacio que requiere una máquina, su operador para el trabajo diario, los pasillos que son necesarios para trasladado de producto y del mismo operario, los espacios que se necesitan para reparar o dar mantenimiento a dicha máquina, para posteriormente, agrupar estos espacios individuales de estaciones de trabajo y tomando en cuenta las operaciones relacionadas o similares poder formar los departamentos realizando un análisis de los espacios requeridos en conjunto (Tompkins 110, 2006).

##### **4.4.1. Dimensiones Equipos de Producción**

Para establecer las dimensiones de los equipos o máquinas que la nueva ubicación requiere se solicitó a la Empresa PPHP S.A. los planos de las máquinas y de las estaciones de trabajo. En el Anexo D se encuentran las dimensiones de cada una de las máquinas y elementos requeridos en el Área de Producción. Más

adelante, de acuerdo a estas y al Enfoque “De Abajo Hacia Arriba” se determinará el espacio que la nueva planta requiere. Adicionalmente, se considera la dimensión más crítica para la Empresa que es la altura, debido al considerable tamaño de los silos y de los bloques que se encuentran en reposo para luego ser utilizados para la producción.

#### **4.4.2. Análisis de Almacenamiento de Materias Primas, Producto en Proceso y Producto Terminado**

El análisis del espacio requerido para las materias primas, almacenamiento de producto en proceso y producto terminado se realizó en función de la información recopilada a través de conversaciones con el Jefe de Producción y el Jefe de Calidad de la Empresa PHHP S.A.

La materia prima utilizada son pequeñas perlas de poliestireno que son importadas de China, Chile y Estados Unidos. La materia prima está almacenada en tres presentaciones, la primera tiene un peso de 25 Kg. y ocupa un volumen de  $0,0675\text{m}^3$ , la segunda tiene un peso de 700 Kg. y ocupa un volumen de  $1,98\text{m}^3$ ; y, la tercera de 1000 Kg. ocupa un volumen de  $2,12\text{ m}^3$ . En promedio se posee un stock de materia prima de 13 toneladas mensuales, por lo que se debe considerar un espacio amplio para el almacenamiento. Además, es importante indicar que por temas de reducción de costos por materia prima utilizada para productos de exportación, se debe mantener un área de Depósito Industrial donde se almacena materia prima seleccionada para productos de exportación, especialmente piezas moldeadas o cajas térmicas.

El producto en proceso no tiene un lugar específico asignado para su reposo, este producto se coloca donde existe espacio en ese momento y se lo marca de acuerdo al tiempo de reposo o al cliente que pertenece debido a la densidad o características específicas solicitadas. Existen tres clases de producto en proceso: los bloques, las perlas pre-expandidas y las cajas o piezas moldeadas que requieren un terminado especial o acabado con impresión. Debido que el producto en proceso se encuentra a cargo del Área de Producción, se requiere tenerlo cerca a las máquinas de formación de bloques (bloquera) y

moldes (moldeadora) para facilitar el traslado hacia procesos subsiguientes como corte, troquelado, impresión, etc.

El producto terminado requiere ser embalado o empacado, una vez realizada esta actividad se transfiere el producto al Área de Bodega y Despachos donde se coordina su distribución y entrega, dependiendo de si se encuentra dentro del Distrito Metropolitano de Quito o si se debe enviar a las diferentes provincias.

#### **4.4.3. Requerimientos Adicionales de Espacio**

Para desarrollar el área total que requiere un determinado departamento, es importante considerar adicionalmente el espacio para los pasillos que conectan los departamentos y las estaciones de trabajo, además de los espacios necesarios para que una persona pueda realizar tanto el mantenimiento correctivo como preventivo de las máquinas; y, lo más importante, considerar el espacio necesario para que el operador de la máquina pueda desarrollar su trabajo, tomando en cuenta el movimiento de materiales y su propio desplazamiento alrededor del área de trabajo (Tompkins 112, 2006).

Las áreas consideradas para cada uno de los departamentos toman en cuenta tanto a las dimensiones de la máquina así como los factores anteriormente descritos. Para algunos de los departamentos propuestos, la estimación de las dimensiones que estos requieren se llevó a cabo considerando las áreas que en la actualidad utiliza la Empresa. Para aquellos departamentos que no constan en el actual layout se han utilizado dimensiones estándares propuestas en la literatura en cuanto al área administrativa y pasillos (Tompkins 149, 2006). Adicionalmente, se ha considerado una holgura del 5% para una futura expansión de la Empresa en un horizonte de tiempo de 5 años. Este porcentaje se ha considerado ya que es una empresa familiar pequeña que de acuerdo a sus históricos no ha tenido un crecimiento considerable en su infraestructura desde el año 1958 cuando empezó la Empresa, por este motivo se pronostica este porcentaje de holgura considerando una posible expansión en 5 años.

#### 4.4.4. Requerimientos Totales de Espacio por Departamento

En la Tabla 6 se presentan cada uno de los departamentos listados en la sección 4.1, con sus respectivas áreas totales estimadas.

Tabla 6. Espacio Requerido de los Departamentos

AREAS	DEPARTAMENTOS	CODIGO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA + HOLGURA (m <sup>2</sup> )
Administrativo	Oficinas	Ad1	188.5	197.925
	Recepción	Ad2	22.5	23.625
	Sala de Capacitación	Ad3	42	44.1
	Sala de Reuniones	Ad4	22	23.1
Servicios Personal	Cafetería	SPe1	3.75	3.9375
	Baños Administración	SPe2	12.88	13.524
	Centro Médico	SPe3	16	16.8
	Baño Social	SPe4	12.88	13.524
	Cocina - Comedor	SPe5	95	99.75
	Vestidores	SPe6	39	40.95
	Baños Planta	SPe7	18	18.9
Almacenamiento	Bodega Materia Prima	AI1	50	52.5
	Depósito Industrial	AI2	110	115.5
	Bodega Producto Terminado	AI3	525	551.25
	Oficina de Despachos	AI4	15	15.75
Producción	Oficina de Producción	P1	12.5	13.125
	Oficina de Control de Calidad	P2	12.5	13.125
	Pre-expansión	P3	27.50	28.875
	Reposo Bloques	P4	330.75	347.2875
	Moldeo 1 y 2	P5	96	100.8
	Bloquera	P6	44	46.2
	Silos	P7	143.5	152
	Molino	P8	45.05	47.3025
	Corte	P9	200	210
	Embalaje	P10	50	52.5
	Impresión	P11	200	210
	Panelera	P12	210	220.5

Tabla 6. Espacio Requerido de los Departamentos (continuación)

Mantenimiento	Taller Mecánico, Almacenamiento de Herramientas y Repuestos	M&A	67.5	70.875
Servicios Producción	Caldero	SPr1	42.5	44.625
	Compresores - Pulmones	SPr2	35	36.75
	Cámara de Transformación	SPr3	25.6	26.88
	Acumulador de vapor	SPr4	38	39.9
	Cisterna – Tanque Presurizado (bomba)	SPr5	42	44.1
	Tanque Bunker	SPr6	54	56.7
	Torre de Enfriamiento	SPr7	25	26.25
	Tanque Diario - Ablandador	SPr8	9	9.45

De acuerdo a la sumatoria de las áreas y las holguras consideradas en la Tabla 6 el espacio total requerido para la nueva instalación de la Empresa PHHP S.A. es de 3,028 m<sup>2</sup>.

## **5. CAPITULO 5: ANALISIS Y DETERMINACION DE LA NUEVA UBICACIÓN DE LA PLANTA**

### **5.1. Análisis de Zonas/Parques Industriales en el Distrito Metropolitano de Quito**

El Distrito Metropolitano de Quito se encuentra zonificado por la Dirección Metropolitana de Planificación Territorial y Servicios Públicos de acuerdo al permiso de uso de suelo especificado en la Ordenanza Metropolitana N° 0031, entendiéndose por uso de suelo al “destino asignado a los predios en relación con las actividades a ser desarrolladas en ellos, de acuerdo a lo que dispongan el Plan General de Desarrollo Territorial (PGDT) y el Plan de Uso y Ocupación de Suelo (PUOS) en zonas y sectores específicos determinados en el territorio del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)” (Ordenanza Metropolitana N° 0031, Edición Especial N° 83, Art. 8). Dicha Ordenanza contiene el PUOS que determina “el uso, la ocupación y edificabilidad del suelo a través de la definición de los coeficientes y forma de ocupación, el volumen y altura de la edificación, las características de áreas y frentes mínimos para la habilitación de suelo, la categorización, dimensionamiento del sistema vial y la definición de áreas patrimoniales” (Ordenanza Metropolitana N° 0031, Edición Especial N° 83, Art 2). Para la distribución general de los usos de suelos el PUOS reconoce, en el Art. 9 de la Ordenanza Metropolitana N° 0031, las siguientes categorizaciones: residencial, múltiple, comercial y de servicios, industrial, equipamiento, protección ecológica, preservación patrimonial, recurso natural y agrícola residencial. Todas las categorías antes mencionadas constan en el Mapa B1 D (Anexo E.1) y en los cuadros constantes en la sección 1 de la Ordenanza Metropolitana N° 0031.

La Agencia Municipal de Desarrollo Económico de la Capital del Ecuador CONQuito junto a la Dirección Metropolitana de Planificación Territorial MDMQ llevaron a cabo en el año 2007 el análisis “Estudio de Pre-Factibilidad para la Ejecución del Parque Industrial para el Distrito Metropolitano de Quito” para determinar la disponibilidad de zonas donde se puedan instaurar parques industriales o en su efecto áreas donde se pueden ubicar empresas de diferentes características. Dicho estudio incluyó el análisis de oferta y demanda actual de tierras destinadas al uso industrial. Para acotar el espacio de búsqueda solo se

tomó en cuenta aquellas zonas donde se encuentra permitido se ubiquen industrias tipo I3 (Alto Impacto) e I4 (Alto Riesgo). Las Administraciones Zonales que fueron tomadas en cuenta fueron: Calacalí, San Antonio, Pomasqui, Ponceano-Eloy Alfaro, Guamaní (Turubamba), Itulcachi. El análisis de las tierras fue llevado a cabo bajo siete dimensiones de desagregación: ubicación del predio, estado de ocupación del lote, dotación de servicios de infraestructura, el área del predio, rangos de áreas de los lotes, ocupabilidad del lote y negociabilidad del lote. En el Anexo E se encuentran cada una de las zonas antes mencionadas ubicadas en el mapa del Distrito Metropolitano de Quito (Anexos E.2.1 al E.2.6).

Debido a que la Empresa PHHP S.A. tiene una clasificación de uso Industrial I3, se tomarán en cuenta los siguientes Parques y Zonas Industriales: San Antonio, Pomasqui, Ponceano – Eloy Alfaro, San Bartolo, Guamaní (Turubamba, conocido como PIT) e Itulcachi. De acuerdo al estudio realizado por CONQuito (Estudio de Prefactibilidad para la Ejecución del Parque Industrial para el Distrito Metropolitano de Quito, 2007) basándose en criterios como la accesibilidad (rutas de circulación de cliente y proveedores), servicios de infraestructura básica, plusvalía, servicios públicos, las zonas con mejores características son Ponceano-Eloy Alfaro, Guamaní (Turubamba) y Calacalí. Además de acuerdo a este estudio también se puede establecer que vacantes o terrenos están en posibilidad de compra, actualmente existen únicamente en Ponceano – Eloy Alfaro, Guamaní (Turubamba) e Itulcachi.

Como se explicó anteriormente los parques y zonas que pueden utilizarse para el desarrollo del modelo de ubicación de la nueva instalación son Ponceano – Eloy Alfaro, Guamaní (Turubamba), Calacalí e Itulcachi, de los cuales Calacalí está diseñado sólo para industrias I5, es decir, de Alto Riesgo e Itulcachi es una zona cuyo funcionamiento y venta de lotes empezará una vez emprendido y desarrollado todo el proyecto de Guamaní (entrevista Ing. Rubén Gómez , Inmobiliaria Regency), lo que significa que en 5 a 10 años más. Además, es importante recalcar que Itulcachi no cuenta con servicios de infraestructura básica y con vías internas con superficie de rodadura, las únicas existentes han sido gestionadas por las empresas privadas.

Por este motivo, se tomarán en consideración sólo la Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro y el Parque Industrial Guamaní (Turubamba) para desarrollar el análisis y aplicar los modelos de reubicación.

## **5.2. Selección de los Modelos de Ubicación de Instalaciones**

Para la selección del lugar adecuado para la reubicación de la planta se va a utilizar la información obtenida a partir de la aplicación de dos modelos de ubicación de instalaciones que fueron descritos en el marco teórico (sección 2.3.).

El primer modelo a ser utilizado es el conocido como Modelo P-Mediana, donde  $P = 1$ . Este modelo fue seleccionado ya que se cuenta con una sola instalación que se quiere reubicar. En la aplicación de este modelo se tomará en cuenta la ubicación óptima de la nueva planta con relación a los costos fijos y variables a los que se enfrentaría la Empresa al momento de su reubicación. Los costos variables están relacionados con las distancias que la Empresa PHHP S.A. tendría desde las ubicaciones potenciales que se están considerando con respecto a los clientes. Mientras que por otro lado, los costos fijos corresponden al costo que representa el traslado de la instalación, así como también los costos de adquirir los terrenos, galpones o la construcción que se requiera, es decir los costos fijos de instalación (Salvendy 330, 2007).

El segundo modelo a utilizarse se denomina Problema de Ubicación Minisuma de una Sola Planta, el cual se resuelve por medio de la aplicación de un heurístico. En la formulación de este problema, se utilizan coordenadas y ponderaciones para cada una de las ubicaciones potenciales con respecto a la nueva instalación, con el fin de encontrar las coordenadas óptimas que minimicen la distancia total ponderada resultante de la ubicación óptima (Tompkins 535, 2006).

El propósito de utilizar los dos modelos es poder comparar las respuestas y complementar ambos de tal manera que, si en el primero (1-mediana) se consideran los costos tanto fijos como variables, en el segundo se consideren ponderaciones que tomen en cuenta factores adicionales referentes a la accesibilidad, importancia de clientes, movilización del personal, etc.

A continuación se vuelven a presentar las formulaciones generales para los modelos matemáticos de ubicación de instalaciones que se tomarán en cuenta en el presente trabajo.

El modelo de ubicación 1-mediana es el siguiente (Tompkins 543, 2006):

$$i = 1, \dots, m$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n f_j y_j \quad (5.1)$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (5.2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq m y_j \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (5.3)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j \leq 1 \quad (5.4)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \quad (5.5)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad (5.6)$$

Donde:

$m$  = número de clientes

$n$  = número de sitios para la planta

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i \text{ suministrada por } j \\ 0 & \text{lo contrario} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{si la planta se ubica en } j \\ 0 & \text{lo contrario} \end{cases}$$

$c_{ij}$  = costo variable dependiendo el costo de transportar el producto desde la  $i$  hasta  $j$

$f_j$  = costo fijo de ubicar una planta en el sitio  $j$

En cuanto a la aplicación del Problema Rectilíneo 1-mediana (Minisuma), se necesitan conocer las coordenadas de los clientes económicamente más representativos para la Empresa PHHP S.A. Dichas coordenadas se denominarán  $(a_i, b_i)$ . Posteriormente desde diferentes perspectivas, se desarrollan criterios para ponderar la relación entre la instalación y sus clientes en función del grado de importancia e incidencia. Este problema se resuelve con el siguiente modelo matemático (Tompkins 534, 2006):

$$\text{Minimizar} \quad f(X) = \sum_{i=1}^m w_i d(X, P_i) \quad (m \text{ plantas existentes}) \quad (5.6)$$

$$= \sum_{i=1}^m w_i |x - a_i| + \sum_{i=1}^m w_i |y - b_i| \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} d(X, P_i) &= \text{distancia entre la planta nueva y la planta existente } i \\ &= |x - a_i| + |y - b_i| \end{aligned} \quad (5.8)$$

Donde:

$X = (x, y)$  la ubicación de la planta nueva

$P_i = (a_i, b_i)$  la ubicación de una planta existente  $i, i=1, 2, \dots, m$

$w_i =$  una constante de proporcionalidad (p.e. "ponderación" asociada con el viaje entre la planta nueva y la planta existente  $i$ )

### 5.3. Aplicación de los Modelos de Ubicación de Instalaciones

#### 5.3.1. Aplicación del Modelo 1-Mediana

##### 5.3.1.1. Determinación de los Clientes y Proveedores

Para la aplicación de los modelos de ubicación de instalaciones al problema de reubicación de la planta de PHHP S.A., los clientes,  $i$ , han sido determinados a través de un análisis de los clientes más importantes de la Empresa; es decir, aquellos clientes regulares que representan la mayor cantidad de ventas y consecuentemente los mayores ingresos.

Para obtener esta información, la Empresa PHHP S.A. realizó un análisis de Pareto de todos sus clientes donde obtuvo el 20% de los clientes que representan el 80% de sus ingresos en ventas. En el Anexo F, se presenta el análisis de Pareto con: la lista de clientes con los que cuenta la empresa, el monto facturado anualmente, el porcentaje que representa del total, el porcentaje acumulado y el sector de entrega. Como se puede observar los tres primeros clientes acumulan el 52% de las ventas y se encuentran fuera del Distrito Metropolitano de Quito en las ciudades de Cuenca y Guayaquil. De igual manera, existen otros clientes que son parte del 80% de las ventas de la empresa que se encuentran localizados en la ciudad de Santo Domingo y Guayaquil.

Luego de reuniones con el Gerente General y el Área Administrativa de la Empresa, ellos expresaron el deseo de continuar sus operaciones en la ciudad de

Quito, por lo cual se solicitó que de aquellos clientes presentados en el Anexo F y que se encuentran ubicados en el Distrito Metropolitano de Quito, se indique cuales son los más importantes y aquellos con los que se espera mantener relaciones de negocios en un lapso mínimo de tres años. Así, la Empresa proporcionó una lista de ocho clientes que, de acuerdo a su criterio, son los más representativos. De estos clientes ubicados en la ciudad de Quito, existen varios con altos volúmenes de venta, sin embargo, no fueron considerados ya que son esporádicos (constructoras) donde los sectores de entrega varían de un lugar a otro y la venta es realizada por un periodo limitado.

Para poder mantener el grado de confidencialidad requerido por la Empresa, se consideran a los clientes por su sector y no por su ubicación exacta, en este sentido se tomaron en cuenta los puntos más representativos de los sectores establecidos para ubicar las coordenadas que serán utilizadas en los modelos tanto para conocer las distancias como sus ubicaciones geográficas.

De acuerdo a la información que la Empresa PPHP S.A. proporcionó, no se han considerado a los proveedores, dado que la Empresa no considera a ninguno de sus actuales proveedores como fijos, es decir, que tienen la flexibilidad de adaptarse a los proveedores más cercanos dentro del Distrito Metropolitano de Quito en suministros o repuestos requeridos. Esto se debe a que sus principales proveedores de materia prima y suministros como tintas se encuentran en Guayaquil.

Las coordenadas geográficas utilizadas para el desarrollo del modelo fueron obtenidas a través del software Google Earth®. Mediante este software de información geográfica se establecieron las coordenadas de los lugares más representativos de cada sector, estos puntos guardan una estrecha relación de distancia con la verdadera ubicación del cliente ya que el punto observado apenas se encuentra a dos cuadras a la redonda de la ubicación real del cliente.

A continuación, en la Tabla 7 se enumeran los clientes con sus respectivas coordenadas de latitud y longitud (en grados decimales):

Tabla 7. Coordenadas de Clientes de PPHP S.A.

<i>i</i>	Ubicación	Latitud ( $a_i$ )	Longitud ( $b_i$ )
1	UNIVERSIDAD CENTRAL	-0.201537	-78.501777
2	VILLAFLORA	-0.244515	-78.519005
3	MORAN VALVERDE	-0.2829	-78.543621
4	LA PRENSA	-0.130485	-78.493878
5	CALDERON	-0.106398	-78.439072
6	SANGOLQUI	-0.335818	-78.448726
7	CENTRO HISTÓRICO	-0.220136	-78.512087
8	EL BATÁN	-0.174907	-78.472176

### 5.3.1.2. Determinación de las Ubicaciones Potenciales para la Nueva Planta

Los parques industriales donde potencialmente se podría ubicar la nueva instalación, representados por  $j$ , son los dos parques seleccionados en la sección 5.1. En la Tabla 8 se presentan los parques con su ubicación en grados decimales (latitud y longitud).

Tabla 8. Coordenadas de Parques y Zonas Industriales

<i>j</i>	Parques / Zonas Industriales	Latitud	Longitud
1	Guamaní (Turubamba – PIT)	-0.348597	-78.54014
2	Ponceano – Eloy Alfaro	-0.105841	-78.472131

### 5.3.1.3. Determinación de los Costos Fijos y Variables

Con el fin de facilitar la estimación de los costos variables asociados con la aplicación del modelo 1-mediana, se encontraron las rutas desde los clientes hacia los parques industriales y se estimaron las distancias en kilómetros existentes (Anexo G.1.1 a G.1.16). Estas distancias se estimaron sobre la trayectoria de la ruta que se determinó a través del software Google Earth®.

Los costos variables,  $c_{ij}$ , se han calculado a través de los costos asociados con las distancias que existen entre los clientes y los parques industriales (Tablas

20 y 21, Anexo G.2). Los valores de los costos variables se obtuvieron a través de la distancia calculada entre los clientes y los parques industriales, utilizando una tabla proporcionada por la Empresa PHHP S.A. por el Área de Logística. En el Anexo H, se muestra la tabla que se utiliza para considerar los costos de los fletes que deben cumplir los conductores al momento de entregar el producto a un determinado cliente. Los rubros que se consideran son: diesel, aceites, llantas, filtros, baterías y otros.

Por otro lado, los costos fijos,  $f_j$ , que se han considerado para este modelo son los costos del metro cuadrado en cada uno de los Parques y Zonas Industriales. Se analizaron algunos costos adicionales para ser considerados dentro de los costos fijos, pero en cada caso se determinó que existe una razón particular por la cual estos no afectan el costo fijo de instalación y por lo tanto el único costo que varía entre una opción y otra es el costo por metro cuadrado. Estos costos adicionales analizados fueron:

- Impuesto Predial: No se puede tener acceso a la información del Municipio ya que los costos son manejados por predio de manera individual y no por zonas como se requiere en el estudio. Ya que el predio exacto no es posible determinar hasta después de aplicar los modelos, este costo no puede ser tomado en cuenta.
- Costos por distancia de traslado de máquinas: De acuerdo a consultas con empresas dedicadas al transporte de equipos pesados y alquiler de maquinaria para el traslado (grúas, plataformas, montacargas, etc.), los costos son por peso de las máquinas no por distancia, por lo que este costo va a ser igual para las dos ubicaciones potenciales, por lo tanto este costo no representa un diferenciador entre las dos opciones.
- Costo stock de bloques: Para realizar el traslado de las máquinas y evitar la suspensión de operaciones en el proceso de corte de planchas, se deber acumular un stock de bloques para satisfacer la demanda durante el tiempo en el cual se lleve a cabo el traslado de la maquinaria a la nueva instalación. Este costo es indiferente a la ubicación potencial que se obtenga al aplicar el modelo debido a que se ha planificado que

el tiempo de traslado será el mismo a cualquier ubicación potencial, por lo tanto no es referente que permita calificar entre una opción y otra.

De acuerdo a una entrevista con el Ing. Rubén Gómez, Gerente de la Inmobiliaria Regency, que está a cargo de la negociación de los predios en los parques y zonas industriales, los costos promedio del metro cuadrado de los predios son: para la Zona Industrial de Ponceano-Eloy Alfaro un costo de \$130 por m<sup>2</sup>, mientras que para el Parque Industrial de Turubamba es de \$40 por m<sup>2</sup>. Para la posterior aplicación del modelo se debe multiplicar el costo del m<sup>2</sup> de cada parque y zona, por los metros cuadrados a ser adquiridos por la Empresa, así en la función objetivo se mantiene una misma unidad (\$ dólares).

De acuerdo al análisis en la sección 4.4.4 se estableció que los metros cuadrados requeridos para la construcción de la planta, una vez realizada la suma de todos los departamentos, es de 3027m<sup>2</sup>. A este resultado hay que aumentarle el espacio de terreno no construido en la nueva ubicación. Este particular fue expuesto al Gerente General quien tomando en cuenta la información proporcionada desea adquirir un área total de 7000 m<sup>2</sup> por razones específicas no expuestas debido a confidencialidad de la información. Por lo tanto, el área considerada para la aplicación del Modelo 1-Mediana será de 7000m<sup>2</sup>.

El costo del m<sup>2</sup> asociado a cada ubicación potencial considera el área a ser adquirida para la nueva instalación, así como se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Costos Fijos

<b>Nº</b>	<b>Parques / Zonas Industriales</b>	<b>\$ por m<sup>2</sup></b>	<b>Costo Total Terreno</b>
<b>1</b>	Guamaní (Turubamba – PIT)	\$ 40	\$ 280000
<b>2</b>	Ponceano – Eloy Alfaro	\$ 130	\$ 910000

#### 5.3.1.4. Formulación del Problema 1-Mediana

Al considerar toda la información descrita anteriormente, el modelo matemático 1-mediana para la ubicación de la nueva planta se muestra a continuación:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^2 c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^2 f_j y_j$$

*Sujeto a*

$$x_{11} + x_{12} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} = 1$$

$$x_{31} + x_{32} = 1$$

$$x_{41} + x_{42} = 1$$

$$x_{51} + x_{52} = 1$$

$$x_{61} + x_{62} = 1$$

$$x_{71} + x_{72} = 1$$

$$x_{81} + x_{82} = 1$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} + x_{81} - 8 y_1 \leq 0$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} + x_{82} - 8 y_2 \leq 0$$

$$x_{11} \geq 0$$

$$x_{12} \geq 0$$

$$x_{21} \geq 0$$

$$x_{22} \geq 0$$

$$x_{31} \geq 0$$

$$x_{32} \geq 0$$

$$x_{41} \geq 0$$

$$x_{42} \geq 0$$

$$x_{51} \geq 0$$

$$x_{52} \geq 0$$

$$x_{61} \geq 0$$

$$x_{62} \geq 0$$

$$x_{71} \geq 0$$

$$x_{72} \geq 0$$

$$x_{81} \geq 0$$

$$x_{82} \geq 0$$

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

*Donde*

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i \text{ suministrada por } j \\ 0 & \text{lo contrario} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{si la planta se ubica en } j \\ 0 & \text{lo contrario} \end{cases}$$

$c_{ij}$  = costo variable dependiendo el costo de transportar el producto desde la  $i$  hasta  $j$ .

$f_j$  = costo fijo de ubicar una planta en el sitio  $j$

### 5.3.1.5. Resolución del Problema 1-Mediana

Para resolver el modelo del Problema 1-Mediana que se acaba de formular, se pueden utilizar aplicaciones para computadora que permiten resolver problemas de optimización. Para este propósito, se ha utilizado el paquete comercial LINDO® versión 6.1 que es una herramienta de optimización de varias variables sujetas a restricciones.

En el Anexo I.1. se muestra la formulación del presente problema tomando en cuenta la sintaxis necesaria para esta la aplicación de esta herramienta.

Al correr el modelo en LINDO® v6.1 se obtuvieron los resultados expuestos en el Anexo I.2., donde con un costo mínimo de \$280,027.50 se determina que la ubicación óptima es  $y_1$ , que representa al Parque Industrial de Turubamba. Por lo tanto, como se puede observar en dicho anexo todos los  $x_{i1}$  son iguales a 1, lo que significa que todos los clientes,  $i$ , serán atendidos desde la instalación, 1, Parque Industrial Turubamba, dejando a los  $x_{i2}$  iguales a cero, lo que significa que al no instalar la planta en la Zona Industrial Ponceano-Eloy Alfaro ningún cliente será atendido desde aquel lugar.

### **5.3.2. *Aplicación del Modelo Rectilíneo 1-Mediana (Minisuma)***

Para desarrollar el Problema Rectilíneo 1-Mediana (Minisuma), se requiere conocer las coordenadas de las ubicaciones potenciales que son las ubicaciones de los clientes que representan el 80% de ventas de la Empresa, lo que se consiguió mediante el análisis de Pareto realizado por la Empresa PPHP S.A. (sección 5.3.1.1). Para obtener las coordenadas requeridas se utilizó como herramienta al programa online Google Earth® (como se describió en la sección 5.3.1.1), en el cual las coordenadas de latitud y longitud se obtienen en grados decimales, dichas coordenadas están descritas en la Tabla 7.

#### 5.3.2.1. Definición y Descripción de Criterios y Rangos de Selección

De acuerdo a Tompkins (535, 2006), para evaluar cada una de las ubicaciones potenciales se necesita dar un criterio o factor que las permita evaluar; a cada uno de estos criterios se les atribuye una ponderación final a

través de una metodología que será explicada en la sección 5.3.2.2, para luego aplicar el modelo Rectilíneo 1-Mediana (Minisuma).

Los criterios tomados en cuenta surgieron a partir de la investigación realizada en el Manual de Ingeniería Industrial (Salvendy 325, 2007), y a través de una reunión con el Gerente General de la Empresa PPHP S.A., ya que de esta manera se manifestó el orden de importancia que cada uno de estos criterios tiene en el desempeño de la Empresa.

Los criterios que son considerados en el modelo se especifican en la Tabla 10, donde se muestra su orden de importancia y el peso respectivo. Adicionalmente, en la Tabla 11 se muestra la escala de calificación que será utilizada para evaluar cada uno de estos criterios.

Tabla 10. Criterios: Orden y Peso

<b>Criterios</b>	<b>Orden de Importancia</b>	<b>Peso</b>
Volumen del Negocio	1	0.4
Expectativa del Negocio	2	0.3
Accesibilidad	3	0.2
Movilización	4	0.1

Tabla 11. Escala de Calificación de los Criterios

<b>Calificación</b>	<b>Valor</b>
Muy Bueno / Muy Alto	9
Bueno / Alto	7
Regular / Medio	5
Malo / Bajo	3
Muy Malo / Muy Bajo	1

A continuación se describen cada uno de los criterios que se tomaron en cuenta y las razones por las cuales se les asignó la ponderación presentada en la Tabla 10, así como la forma en la cual se califica cada uno de ellos de acuerdo a la escala de calificación de la Tabla 11.

**Volumen del Negocio:** Representa la importancia a nivel económico que tiene cada cliente. El peso asignado es del 40% ya que para la Empresa este criterio incide principalmente en cuanto a qué volumen se puede vender, por este motivo el orden de importancia es 1. Para este criterio se tomaron en cuenta las cantidades facturadas a los clientes (ubicaciones potenciales) durante el año 2007 y 2008. La escala utilizada para calificar este criterio es de cinco puntos (Tabla 11), cada punto de la escala representa un rango dentro de este criterio. Para seleccionar este rango y conocer el intervalo entre cada punto de la escala se consideró el valor máximo y el valor mínimo del volumen de ventas, para los cuales se obtuvo la diferencia que posteriormente se dividió para 5 que es el número de puntos que tiene la escala. En la Tabla 23 del Anexo J se especifican los rangos e intervalos seleccionados.

**Expectativa del Negocio:** Representa la posibilidad de continuar realizando negocios con un determinado cliente. El peso asignado para este criterio es del 30%, ya que la Empresa tiene la necesidad de conocer si una determinada ubicación continuará siendo un negocio, por lo tanto este criterio ocupa el segundo lugar en orden de importancia. Para calificar este criterio se solicitó al encargado del departamento de ventas de la Empresa que clasifique a cada uno de los clientes (ubicaciones potenciales) de acuerdo a su experiencia y conocimiento.

**Accesibilidad:** Representa la facilidad de poder acceder a una potencial ubicación, ya que se necesita conocer si los clientes pueden acceder a dichos puntos y si los camiones de la Empresa disponen de infraestructura vial para poder movilizarse desde y hacia la Empresa. El peso asignado para este criterio es de 20%, ya que a pesar de ser un factor que puede afectar a las ventas, al tener clientes frecuentes o la empresa entregar el servicio de transporte de los productos hacia los clientes se puede considerar a este criterio con una importancia menor a los anteriormente indicados. Para calificar este criterio se consideró la cantidad de carriles que disponen las vías de acceso que las potenciales ubicaciones poseen, Tabla 24 del Anexo J

**Movilización:** Representa facilidad de acceso a medios de transporte público y/o privado. Este criterio se toma en cuenta teniendo en mente a los trabajadores de la Empresa, considerando que sería preferible trasladar la instalación a un sitio en el cual los trabajadores puedan llegar sin dificultades para cumplir con sus actividades. El peso asignado a este criterio es del 10% ya que las operaciones diarias se verán afectadas directamente por este factor en el caso en el cual existan dificultades o se requieran soluciones adicionales si los medios de transporte son escasos. Para calificar este criterio se utilizó la Guía Urbana de Quito entregada por la EMMPOQ (Empresa Municipal de Movilidad y Obras Públicas de Quito) en la que se presenta la descripción y la cantidad de líneas de buses existentes en cada sector de la ciudad de Quito y sus alrededores. Para seleccionar los intervalos de los rangos del número de líneas de buses y poder establecer una calificación para este criterio, se tomó la cantidad máxima de líneas de buses y la cantidad mínima se las restó y dividió para 5 que es el número de los puntos de la escala de calificación de la Tabla 11. En la Tabla 25 del Anexo J se especifican los rangos e intervalos seleccionados.

#### 5.3.2.2. Metodología Utilizada para la Ponderación de Criterios

La metodología utilizada para obtener las ponderaciones finales de cada una de las ubicaciones potenciales considera la multiplicación entre la calificación que cada criterio ha obtenido a través de la Escala de Calificación (Tabla 11) y el peso asignado a cada criterio (Tabla 10). Una vez que se realizó la multiplicación se suma el resultado de cada criterio para cada ubicación y se obtiene la ponderación final descrita en la Tabla 12.

Tabla 12. Ponderaciones Totales de Cada Ubicación

UBICACIONES POTENCIALES $i$	CRITERIOS				Ponderación Total $W_i$
	Volumen del Negocio	Expectativa del Negocio	Accesibilidad	Movilización	
UNIVERSIDAD CENTRAL	2.8	2.7	1	0.5	<b>7</b>
VILLAFLORES	1.2	0.6	1.8	0.9	<b>4.5</b>
MORAN VALVERDE	3.6	2.1	1.8	0.9	<b>8.4</b>
LA PRENSA	0.4	1.5	1	0.1	<b>3</b>
CALDERON	1.2	1.5	1	0.1	<b>3.8</b>
SANGOLQUI	0.4	2.1	0.2	0.1	<b>2.8</b>
CENTRO HISTÓRICO	0.4	1.5	0.2	0.9	<b>3</b>
EL BATAN	1.2	2.1	0.6	0.1	<b>4</b>

### 5.3.2.3. Formulación del Modelo Rectilíneo 1-Mediana (Minisuma)

Considerando la información descrita anteriormente, el modelo matemático rectilíneo 1-mediana para la ubicación de una nueva planta se muestra a continuación:

$$\text{Minimizar } f(X) = \sum_{i=1}^8 w_i |x - a_i| + \sum_{i=1}^8 w_i |y - b_i|$$

$$f(X) = 3.8(|x + 0.106398| + |y + 78.439072|) + 3(|x + 0.130485| + |y + 78.493878|) +$$

$$4(|x + 0.174907| + |y + 78.472176|) + 7(|x + 0.201537| + |y + 78.501777|) +$$

$$3(|x + 0.220136| + |y + 78.512087|) + 4.5(|x + 0.244515| + |y + 78.519005|) +$$

$$8.4(|x + 0.2829| + |y + 78.543621|) + 2.8(|x + 0.335818| + |y + 78.448726|)$$

Donde:

$X = (x,y)$  la ubicación de la planta nueva

### 5.3.2.4. Resolución del Modelo Rectilíneo 1-Mediana (Minisuma)

Para resolver el problema descrito y formulado en la sección 5.3.2.3, se procede a utilizar el método heurístico que se explica a continuación, el cual fue descrito en la sección 2.2 del marco teórico (Tompkins 534, 2006).

Primero se obtiene la coordenada decimal de latitud ( $a_i$ ) óptima ordenando a cada ubicación por su coordenada  $a_i$  de menor a mayor, realizando la sumatoria de las ponderaciones y aplicando la condición de la mediana descrita en la sección 2.2. Así, a la suma total de las ponderaciones se la divide para dos (mitad) y dicho cociente se compara uno por uno, en el mismo orden, de menor a mayor, con los valores de la sumatoria parcial teniendo dos posibilidades: la primera, menor que el cociente y la segunda, mayor que el cociente. De estas dos opciones se escoge la primera ubicación que tenga un valor de sumatoria mayor al del cociente y esa es la coordenada óptima  $a_i$ . Este procedimiento se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Solución Coordenada Latitud  $a_i$

Ubicación $i$	Coordenada $a_i$	Ponderación $w_i$	Sumatoria Parcial
CALDERON	-0.106398	3.8	3.8
LA PRENSA	-0.130485	3	6.8
EL BATAN	-0.174907	4	10.8
UNIVERSIDAD CENTRAL	-0.201537	7	$17.8 < 36.5 / 2$
CENTRO HISTÓRICO	-0.220136	3	$20.8 > 36.5 / 2$
VILLAFLORA	-0.244515	4.5	25.3
MORAN VALVERDE	-0.2829	8.4	33.7
SANGOLQUI	-0.335818	2.8	36.5

Para el caso de la coordenada decimal de latitud se obtuvo que la coordenada óptima está en -0.220136 correspondiente a la ubicación del Centro Histórico.

Siguiendo la misma metodología descrita anteriormente se obtiene la coordenada decimal de longitud ( $b_i$ ) óptima. Se toman las coordenadas  $b_i$  (Tabla 7) de cada potencial ubicación y se las ordena de menor a mayor, se realiza la sumatoria de las ponderaciones y se aplica la condición de la mediana. Nuevamente, se compara el cociente antes obtenido con la sumatoria parcial de las ponderaciones comenzando desde la coordenada menor hasta encontrar la primera sumatoria parcial mayor que el cociente donde la coordenada de dicha

ubicación representara el óptimo  $b_i$ . Este procedimiento se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Solución Coordinada Longitud  $b_i$

Ubicación $i$	Coordenada $b_i$	Ponderación $w_i$	Sumatoria Parcial
CALDERON	-78.439072	3.8	3.8
SANGOLQUI	-78.448726	2.8	6.6
EL BATAN	-78.472176	4	10.6
LA PRENSA	-78.493878	3	13.6 < 36.5 / 2
UNIVERSIDAD CENTRAL	-78.501777	7	20.6 > 36.5 / 2
CENTRO HISTÓRICO	-78.512087	3	23.6
VILLAFLORES	-78.519005	4.5	28.1
MORAN VALVERDE	-78.543621	8.4	36.5

En el caso de la coordenada decimal de longitud se obtuvo que la coordenada óptima está en -78.501777 correspondiente a la ubicación de la Universidad Central.

De esta manera, la ubicación óptima corresponde a las de coordenadas decimales de latitud y longitud (-0.220136, -78.501777) las cuales coinciden con la ubicación del Parque Itchimbía, como se puede observar en el ANEXO K.

Reemplazando las coordenadas de la ubicación óptima en la función objetivo de este modelo, se obtiene una distancia ponderada total igual a 2.96 grados decimales lo que corresponde a 328.56 Km. (1 grado decimal = 111 Km. – RASC Calgary Centre–).

De esta manera, se determina que la ubicación óptima obtenida no es factible ya que se encuentra precisamente en el Parque Itchimbía, que es un espacio público de recreación y donde se encuentra totalmente prohibido, por la división de Permiso de Uso y Ocupación de Suelos del Municipio de Quito, la construcción de cualquier tipo de industria o residencia.

Por lo tanto, para poder determinar una ubicación real donde se pueda ubicar la nueva instalación hay que tomar en cuenta la Zona Industrial Ponceano-Eloy Alfaro y al Parque Industrial Turubamba, las cuales se consideraron en el

Modelo 1-Mediana. Para encontrar una solución factible se deben tomar las distancias rectilíneas desde el punto óptimo hacia la Zona Industrial Ponceano-Eloy Alfaro y hacia el Parque Industrial Turubamba para comparar y determinar en base a la distancia cual es la nueva ubicación óptima. En el Anexo K se puede observar un mapa con las distancias rectilíneas, donde de la ubicación óptima de este modelo a la Zona Industrial Ponceano –Eloy Alfaro existe una distancia rectilínea de 15.92 Km. y de la ubicación óptima al Parque Industrial Turubamba existe una distancia rectilínea de 18.45 Km. De acuerdo a estas distancias se podría concluir que por cercanía a la ubicación óptima la Zona Industrial Ponceano-Eloy Alfaro es donde se debería instalar la Empresa PHHP S.A., pero dado que la diferencia entre las distancias rectilíneas no es realmente significativa (2.53 Km.), se puede determinar que el punto óptimo obtenido con este modelo es céntrico entre ambas ubicaciones potenciales factibles. Por lo tanto, tomando en consideración que el primer modelo (Problema 1-Mediana) designó al Parque Industrial Turubamba como la ubicación óptima y el segundo modelo (Modelo Rectilíneo 1-Mediana) ubicó un punto céntrico, se puede concluir que la nueva instalación para la fábrica de poliestireno expandido, por conveniencia, debe ubicarse en el Parque Industrial Turubamba.

Esta determinación cuenta con la aprobación de la Gerencia General debido a los resultados mostrados y la conveniencia por facilidad de traslado, el costo del terreno y los beneficios otorgados por el Municipio de Quito (como por ejemplo el no pagar el impuesto predial los primeros cinco años –Entrevista Ing. Rubén Gómez, Inmobiliaria Regency–) a aquellas empresas dispuestas a reubicarse en dicho lugar.

## **6. CAPÍTULO 6: DISEÑO DEL LAYOUT DE LA NUEVA PLANTA**

### **6.1. Determinación de Departamentos para la Nueva Planta**

En la sección 4.1 se describieron los nuevos departamentos que serán implementados en la Nueva Planta de acuerdo a necesidades de la gerencia, operaciones y bienestar de los empleados. Se han agrupado áreas similares y que siguen un mismo flujo tanto de información, personas y materiales para que el layout o disposición de los departamentos tenga mejores medidas de desempeño que la disposición actual.

### **6.2. Selección de la Metodología para Disposición de la Nueva Planta**

Para la disposición de los departamentos de la Nueva Planta se utilizará el Modelo SLP (Systematic Layout Planning), referido en la sección 2.2. De acuerdo a Tompkins (306, 2006), el procedimiento de planificación sistemática de la disposición de instalaciones de Muther se realiza en base a un diagrama del análisis del flujo de materiales (tabla desde – hacia) o a un diagrama de relaciones de actividades (tabla de relaciones de actividades). El primer paso del procedimiento consiste en desarrollar un diagrama de relaciones de espacio que ubica las actividades en el espacio, es decir, se orientan geográficamente los departamentos sin considerar los espacios físicos que se requieren (Muther 29, 1968). Luego, se determina la cantidad de espacio que se asignará a cada actividad, y se desarrollan plantillas de espacios, es decir, una huella de los departamentos de acuerdo a las dimensiones requeridas, creando así un diagrama de relaciones de espacio con el cual se procede a diseñar distintas alternativas de layout de bloques que toman en cuenta criterios como la intuición, razonamiento y experiencia (Tompkins 309, 2006). Finalmente, estas alternativas de layout pueden ser evaluadas a través de tres maneras (Muther 147, 1968):

- Comparación de las Ventajas y de los Inconvenientes
- Análisis de los Factores o Criterios
- Comparación de los Costos y Justificación

Para evaluar las alternativas que se obtengan en la aplicación del SLP (Systematic Layout Planning – sección 6.3) se utilizará el Análisis de los Factores o Criterios. A pesar de que la Comparación por Costo y Justificación es el método de comparación más sólido no existe acceso a la información sobre los costos en los que se incurre en cada una de las alternativas y el alcance de la tesis no abarca el análisis de costo beneficio.

Para aplicar el método de evaluación seleccionado se tomarán en cuenta varios factores entre los cuales se menciona la calificación de eficiencia, la flexibilidad, la utilización de las superficies, entre otras a ser analizadas en la sección 6.3.1 donde se obtendrá un layout óptimo definitivo. A cada uno de estos factores se les ha asignado un peso o ponderación que será considerado al momento de establecer una calificación global para cada alternativa.

### **6.3. Aplicación del Método de Construcción de la Disposición de la Nueva Planta**

Para aplicar el Método de Construcción de la Disposición de la Nueva Planta, SLP (Systematic Layout Planning), se ha desarrollado un Diagrama de Relaciones (Anexo L.1) a partir de la Tabla de Relaciones (Anexo C), donde se pudo establecer las relaciones de cercanía a través de líneas que conectan cada uno de los departamentos, a partir de este diagrama se realizó el Diagrama de Relaciones de Espacio (Anexo L.2) en el que se consideraron las medidas que debe tener cada departamento (Tabla 6) y se las relacionó a través de las líneas que se utilizaron en el Diagrama de Relaciones. Con el Diagrama de Relaciones de Espacio se desarrollaron cuatro alternativas de layout o disposición de máquinas que se presentan en el Anexo L.3.

#### **6.3.1. Evaluación de las Alternativas**

De acuerdo al análisis realizado en la sección 6.2 sobre el método de evaluar las alternativas, se describen a continuación los factores y los pesos que se tomarán en cuenta para escoger una de las cuatro alternativas que se han planteado.

### 6.3.1.1. Descripción de los Factores o Criterios Considerados

- **Calificación de eficiencia:** es una medida de eficiencia relativa de un layout específico en relación al mejor valor de la función objetivo, es decir, permite comparar entre las alternativas de layouts considerando una medida de desempeño basada en adyacencias (Tompkins 312, 2006). Ya que uno de los objetivos principales de la tesis es elaborar un nuevo layout que sea más eficiente que el actual a la calificación de eficiencia se le ha otorgado el peso más alto (35%).
- **Flexibilidad y Adaptabilidad:** es la facilidad de reorganizar las máquinas e instalaciones para, de ser necesario, realizar cambios posteriormente (Muther 253, 1968). Dentro de los planes futuros de la Empresa se encuentra la posibilidad de adquirir nueva maquinaria, como complemento de la existente, por lo que la instalación debe tener un grado de flexibilidad importante. Además, se maneja un volumen considerable de producto en proceso que puede requerir de espacio y habría que considerar cambios, por esto se le ha asignado un peso del 15%.
- **Utilización del espacio:** es el grado de utilización de la superficie y del volumen, es decir, posibilidad de cambiar o de dividir los espacios existentes entre las actividades similares (Muther 253, 1968). Aprovechar al máximo el espacio es una de las prioridades para la Empresa, sin embargo no es lo más importante por ello se ha designado un peso del 10%.
- **Facilidad de supervisión y de control:** facilidad para que las personas encargadas del control y supervisión puedan desplazarse y visualizar las áreas de trabajo sin dificultad (Muther 253, 1968). Actualmente, la Empresa consta con las oficinas de producción y calidad dentro del área administrativa y muy alejada de la planta lo que ha dificultado la supervisión y control de la producción. Para PHHP S.A. es importante que las oficinas de producción y calidad estén en un lugar donde se pueda supervisar y controlar el funcionamiento de la planta, así el peso aplicado a este factor es el 15%.

- Facilidad de una futura expansión: es la facilidad con la que se puede ampliar la superficie utilizable. Que no exista restricciones de terreno construcción para incrementar el área de la instalación (Muther 253, 1968). Para la Empresa es muy importante tener la posibilidad de expandir el área de la instalación ya que se maneja un producto de gran volumen y que ocupa mucho espacio. En caso de aumentar su producción deben tener la posibilidad de incrementar el área de almacenamiento y producción. Por esta razón el factor, facilidad de una futura expansión, es el segundo más influyente con un peso del 25%.

### 6.3.1.2. Valoración de las Alternativas

De acuerdo a Muther (153, 1968), la valoración de las alternativas se realiza desarrollando una tabla donde se establecen los pesos o coeficientes de importancia de cada uno de los criterios o factores descritos en la sección 6.3.1.1. Todos los pesos han sido establecidos conjuntamente con el Gerente General. Posteriormente, se determina la escala de calificación y se califica a cada una de las alternativas de acuerdo a cada factor. Para calcular los valores ponderados se transforman los símbolos (letras) en números de equivalencia y se multiplica cada uno por el peso o coeficiente de importancia (Muther 153, 1968). Luego, se suman las ponderaciones de los factores para cada alternativa y se obtiene su suma total. La suma total de cada alternativa se compara con la suma total de las demás y se selecciona la alternativa cuya suma total sea mayor que la de las demás (Muther 153, 1968). La escala que se ha seleccionado se explica a continuación en la Tabla 15 (Muther 151, 1968).

Tabla 15. Tabla de Calificación para Evaluación de los Factores

<b>Calificación</b>	<b>Codificación</b>	<b>Descripción</b>
4	A	Excelente
3	E	Muy bueno
2	I	Bueno
1	O	Mediano
0	U	Mediocre

### 6.3.1.3. Análisis de los Resultados

Los resultados finales para cada alternativa se muestran en la Tabla 28 (Anexo L.3.5) donde con un total de 3.15 sobre 4, la alternativa D resulta ser la mejor.

Tabla 16. Tabla de Resultados del Análisis de las Alternativas de Layout

FACTOR/CRITERIO	ALTERNATIVAS PONDERADAS			
	A	B	C	D
Calificación de eficiencia	0	1.4	0.35	1.4
Flexibilidad	0.15	0.45	0.3	0.3
Facilidad de supervisión y de control	0.3	0	0.6	0.45
Utilización de las superficies	0.4	0.1	0.4	0
Facilidad de una futura expansión	0.5	0.75	0.5	1
<b>TOTALES</b>	<b>1.35</b>	<b>2.7</b>	<b>2.15</b>	<b>3.15</b>

Para llegar a los resultados que se resumen en la Tabla 16 se aplicó la siguiente metodología para cada uno de los factores:

- Calificación de Eficiencia: para determinar la calificación de eficiencia de cada una de las alternativas se tomó en cuenta la Tabla de Relaciones Cuantificada (Anexo M.1.) y las tablas de adyacencia entre departamentos (Anexo M.2.1 a M.2.4). Con esta información se obtuvieron los datos necesarios (Anexo M.3) para aplicar la fórmula expuesta en la sección 6.4. La calificación asignada finalmente a cada alternativa se obtuvo al dividir en cinco intervalos iguales desde la calificación de eficiencia más baja hasta la más alta, así cada intervalo representa una letra (número) y a cada alternativa se la ubica en el intervalo que se encuentra. Las calificaciones se muestran en la Tabla 30 del Anexo M.4.

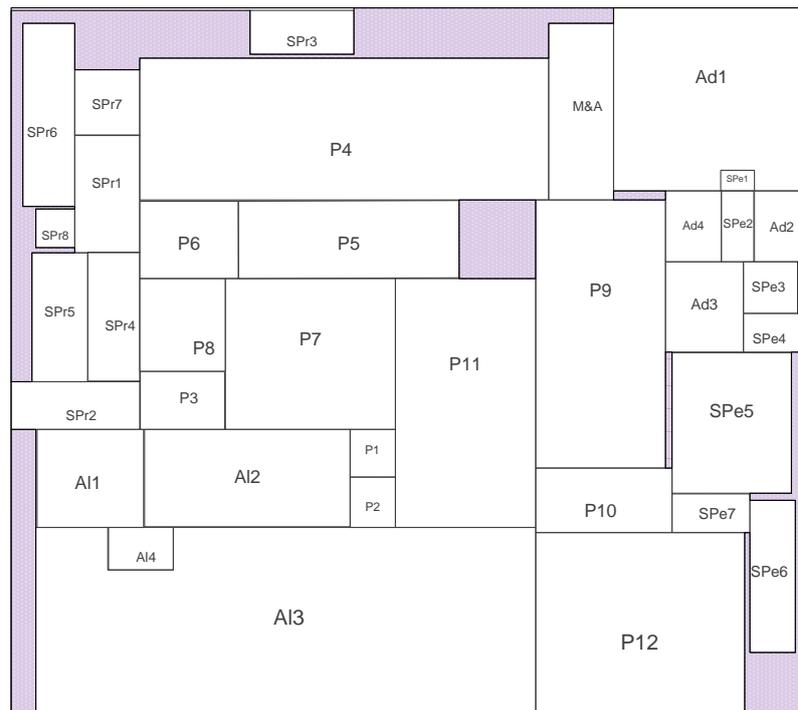
- Flexibilidad: la calificación de flexibilidad se obtuvo de manera cualitativa ya que es difícil de expresar cuantitativamente. Para ello se utilizó el criterio propio junto con el criterio del Gerente General. Así los valores finales son los presentados en la Tabla 16.

- Facilidad de Supervisión: la facilidad de supervisión es otro factor cualitativo donde se tomó en cuenta si las oficinas de producción y calidad estaban cerca de la producción, a la vista de todos sus departamentos, etc. Los valores otorgados a cada alternativa son los presentados en la Tabla 16.

- Utilización de las Superficies: el porcentaje de utilización de las superficies se obtuvo de la huella de cada layout, donde se sumó todos los espacios desocupados para determinar el espacio total no utilizado en cada alternativa. Se dividió el área utilizada para el total de la superficie y se obtuvo el porcentaje de utilización de cada alternativa. Se restó el porcentaje más alto del más bajo y se dividió para cinco para establecer la dimensión de cada intervalo. Los intervalos junto con la letra (número) asignada a cada uno, como también a que pertenece cada alternativa se presenta en la Tabla 31 del Anexo M.4

- Facilidad de una futura expansión: Para este criterio se tomó en consideración el área no utilizada estimada para la utilización de la superficie. Se tomaron como valores de referencia a cero como lo peor y a  $350\text{m}^2$  como lo mejor, se dividió en cinco intervalos iguales y se ubicó a cada alternativa en el intervalo correspondiente como se puede observar en la Tabla 32 del Anexo M.4. Cada intervalo de la tabla fue asignado con una letra (número).

De esta manera, en la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques de la Disposición D que es la que se selecciona como el layout más adecuado para la nueva instalación de la Empresa. La codificación de los departamentos corresponde a lo establecido en la Tabla 1 del capítulo 4. Un paso posterior sería la determinación de la ubicación de máquinas, equipos y pasillos dentro de los departamentos y de los pasillos principales, lo cual no entra dentro del alcance de la presente tesis.



Fuente: Generación Propia

Figura 3. Disposición en Bloques para la Nueva Instalación (Alternativa D)

#### 6.4. Evaluación de la Calificación de Eficiencia del Layout Actual y el Seleccionado

En la sección 6.3.1.2 se mencionó el criterio de calificación de eficiencia, a pesar de que ya se aplicó este concepto, en esta sección se va a describir la metodología que se utiliza para calcular la calificación de eficiencia.

Según Tompkins (312, 2006), la calificación de eficiencia se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$z = \frac{\sum_{i,j \in F} f_{ij} x_{ij} - \sum_{i,j \in \bar{F}} f_{ij} (1 - x_{ij})}{\sum_{i,j \in F} f_{ij} - \sum_{i,j \in \bar{F}} f_{ij}} \quad (6.1)$$

$F$  = El conjunto de pares de depts. con  $f_{ij} > 0$

$\bar{F}$  = El conjunto de pares de depts. con  $f_{ij} < 0$

*Donde*

$f_{ij}$  = es el valor de la cercanía

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si depts. } i \text{ y } j \text{ son adyacentes} \\ 0 & \text{de otro modo} \end{cases}$$

Las  $f_{ij}$  se obtienen a partir de la Tabla de Relaciones (Anexo C), al darles un valor numérico a las letras que representan la cercanía. En el Anexo M.1 se puede observar la escala utilizada para cuantificar los valores de la Tabla de Relaciones.

Los  $x_{ij}$  se obtienen con otra tabla similar a la de relaciones donde se asigna un 1 si el par de departamentos es adyacente o 0 si no lo es (Anexos M.2.4 y M.2.5). Una vez que se tiene esta información, se multiplica la tabla de relaciones numérica con la tabla respectiva de cada alternativa, se suman los resultados positivos y se restan los negativos. Por último, se divide esta suma para la suma total de todos los  $f_{ij}$  (positivos y negativos).

Con el análisis de la sección 6.3.1.3 se escogió la Alternativa D que tiene una calificación de eficiencia del 68.15% como la disposición adecuada para la nueva instalación de la Empresa que al ser comparada con la calificación de eficiencia evaluada para el layout actual (Anexo M.3.) que es del 55.04%, se puede concluir que la alternativa propuesta es más eficiente. Sin embargo, se debe considerar que la alternativa seleccionada existen tres pares de departamentos con relación X que se encuentran adyacentes, lo cual no es lo más adecuado y ante lo cual se debe considerar algún tipo de modificación física a la instalación (divisiones) antes de elaborar los planos definitivos.

## **7. CAPÍTULO 7: PLAN DE ACCIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

Mediante el análisis expuesto en los anteriores capítulos, se han analizado los resultados de los dos modelos para la reubicación de la Empresa PPHP S.A. y de la misma forma se ha aplicado la metodología SLP (Systematic Layout Planning) para obtener el layout o disposición de departamentos más eficiente.

Por lo que al establecer los resultados obtenidos y el análisis de los mismos, se requiere organizar la manera en la que tiene que ser implementada la propuesta de reubicación de la planta junto con su layout.

La Empresa cuenta con un plazo de seis meses a partir del mes de junio para reubicar sus instalaciones; por lo que se debe analizar y estructurar la logística y programación de tiempos de traslado de máquinas y la fabricación del stock de bloques para que la Empresa no suspenda sus operaciones en el proceso de corte de bloques. El proceso de Moldeo es el único que se paralizaría ya que las piezas moldeadas son realizadas bajo pedido, y en este caso el tiempo que se planifica para el traslado total de la planta es de un mes.

De acuerdo a reuniones con el Gerente General y el Jefe de Producción, para desarrollar un traslado de las máquinas y evitar que la producción de bloques, planchas y piezas moldeadas se afecte se necesitan tres requisitos indispensables: Construir el galpón y las oficinas previo a la paralización parcial de la producción, instalar los servicios de planta (como aire comprimido, tuberías, instalaciones eléctricas, etc.); y, por último fabricar durante un mes bloques para tener un stock que les permita cortar planchas durante el traslado.

Cuando se hayan cumplido los requisitos mencionados, la logística a seguir es la siguiente: se van a desconectar todas las máquinas de todos los departamentos, excepto las del área de embalaje y corte ya que durante el traslado se seguirán cortando planchas de los bloques que se tiene en stock.

El traslado de máquinas del área de moldeo se desea realizarlo en una semana, requerimiento manifestado por el Gerente General, utilizando plataformas y grúas; planificando cada día el traslado de una máquina, y contratando un equipo de ingenieros mecánicos y eléctricos que instalen las máquinas y las dejen operativas. La primera máquina que se requiere trasladar e

instalar es la moldeadora, de esta manera mientras se realiza el traslado de las otras máquinas se puede continuar la producción de piezas moldeadas. El traslado y ubicación de las máquinas se realizará de acuerdo al layout o disposición de máquinas resultante como óptimo. La logística de traslado concluiría con la instalación de los departamentos de corte y embalaje, pero para esto las otras máquinas ya estarían operativas con lo cual se reanudarían los programas de producción de acuerdo a pedidos y operaciones diarias.

### 7.1. Cronograma de Actividades para la Implementación

A continuación en la Tabla 11 se muestra el cronograma de las actividades requeridas para llevar a cabo la implementación de la propuesta. Se indica la duración de cada actividad con la respectiva fecha de inicio y finalización.

Tabla 17. Cronograma de Implementación

ACTIVIDAD	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINALIZACIÓN	DURACIÓN
Construcción Galpón y Oficinas	1 de junio 2009	30 de septiembre 2009	4 meses
Instalación Servicios de Planta	1 de octubre 2009	2 de noviembre 2009	1 mes
Stock de Bloques	1 de octubre 2009	4 de noviembre 2009	1 mes
Desconectar, trasladar e instalación de máquinas	4 de noviembre 2009	13 de noviembre 2009	1 semana
Desconectar, trasladar e instalar el Departamento de Corte y Embalaje	16 de noviembre 2009	18 de noviembre 2009	2 días

## 8. CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. Conclusiones

- Para la reubicación de una planta de producción lo primero que se debe investigar son los lugares en los cuales está permitido su funcionamiento. Mediante el estudio desarrollado se logró conocer la Ordenanza Metropolitana N° 0031, del Distrito Metropolitano de Quito, que especifica los tipos de áreas disponibles para el funcionamiento de diferentes tipos de actividades (residencial, industrial, equipamiento, etc.).
- Empresas como PPHP S.A. de acuerdo a su actividad entran dentro de la clasificación I3 (Alto Impacto) de la categorización industrial con respecto a su nivel de riesgo e impacto ambiental.
- A partir de un análisis del documento “Estudio de Pre-Factibilidad para la Ejecución del Parque Industrial para el Distrito Metropolitano de Quito” llevado a cabo por la Agencia Municipal CONQuito, se pudo determinar que las dos zonas que actualmente se encuentran disponibles para la reubicación de la Empresa son la Zona Industrial Ponceano-Eloy Alfaro y el Parque Industrial Turubamba.
- La determinación de la ubicación óptima para el traslado de una instalación que tome en cuenta localizaciones potenciales, requiere la aplicación de modelos matemáticos de ubicación de instalaciones.
- En este estudio se utilizaron dos modelos matemáticos de ubicación de instalaciones con el objetivo de complementar sus enfoques. Mediante estos modelos se obtuvo que la mejor alternativa, de las dos existentes para PPHP S.A., es el Parque Industrial Turubamba, que se encuentra ubicado en el sur de la ciudad de Quito.
- El primer modelo matemático (1-Mediana) toma en cuenta, específicamente, estimados de costos fijos y variables involucrados en el traslado y operación de una nueva instalación.
- El segundo modelo matemático (Rectilíneo 1-Mediana) considera distancias ponderadas con respecto a distintos criterios entre la

nueva instalación y las demás ubicaciones que tienen relación con ella.

- En el segundo modelo matemático que se aplicó (Rectilíneo 1-Mediana), se pueden establecer criterios de ponderación representativos para las distancias entre la nueva planta y sus clientes como son el volumen del negocio, la expectativa del negocio, la accesibilidad y la movilización.
- Para la aplicación de ambos modelos matemáticos se utilizaron únicamente los clientes frecuentes y representativos para la Empresa dentro de la ciudad de Quito, esto se debe a que hay una gran cantidad de clientes que no son regulares o cuyos volúmenes de compra no son significativos. De esta manera, la determinación de la ubicación óptima para la planta depende sobre todo de sus actividades más importantes.
- Para establecer la ubicación de los puntos (clientes y parques industriales) a ser tomados en cuenta en la aplicación de los modelos matemáticos, se pueden utilizar herramientas de fácil acceso y aceptable precisión como el recurso en línea Google Earth®.
- Modelos matemáticos como los utilizados en esta tesis pueden ser resueltos mediante el uso de software específico de optimización (LINDO® en el caso del Modelo 1-Mediana) o mediante el uso de métodos heurísticos de resolución (Condición de la Mediana en el caso del Modelo Rectilíneo 1-Mediana).
- Para el problema de diseño de un layout eficiente, es necesario establecer los requerimientos de espacio, relaciones de las actividades y flujo de la instalación.
- En un análisis de los requerimientos de espacio es importante aplicar un enfoque de abajo hacia arriba, que consiste en determinar las dimensiones de las máquinas, la cantidad y el volumen de materiales que se requieren, el desplazamiento de los operarios y

agregar todos estos hasta determinar el espacio total requerido por departamento.

- Para establecer los requerimientos de relaciones y flujo se utilizan herramientas como la Tabla de Relaciones y la Tabla de Flujo Entre.
- Para determinar un diseño adecuado de layout se puede utilizar la metodología SLP (Systematic Layout Planning) que toma en cuenta los requerimientos establecidos y permite generar mediante un análisis cualitativo disposiciones en bloques para los departamentos de la instalación. En el presente estudio, se lograron generar cuatro alternativas de disposición en bloques para la nueva planta de PPHP S.A.
- La intuición y la experiencia son muy importantes al momento de generar disposiciones alternativas para una instalación industrial.
- Una medida de desempeño para evaluar las distintas alternativas de layout generadas con la metodología SLP es la calificación de eficiencia con la cual se consideran la adyacencia y las relaciones entre las actividades de los departamentos de una empresa y así poder determinar si un layout es más eficiente que otro.
- Mediante la aplicación de un procedimiento de evaluación que toma en cuenta diversos factores y criterios (donde se incluye la calificación de eficiencia) las cuatro alternativas de layout se ponderaron y se estableció que la mejor es la Alternativa D (Anexo L.4.).
- Al comparar la calificación de eficiencia de la alternativa de disposición en bloques seleccionada (Alternativa D) con la calificación de eficiencia del layout actual, se estableció que el layout seleccionado es más eficiente que el existente en un 13.11%.

## **8.2. Recomendaciones**

- De acuerdo al análisis realizado sobre los clientes más representativos de la Empresa, según su volumen de ventas, se observó que muchos de estos clientes se encuentran en Guayaquil y

Cuenca principalmente. Este estudio consideró el criterio de la Gerencia General de mantener la instalación en la ciudad de Quito y por lo tanto considerar en el análisis únicamente a los clientes de esta última. Por lo tanto, se recomienda realizar este mismo tipo de estudio considerando los clientes de las dos otras ciudades, ya que de esta manera se podría determinar de manera general cuál debería ser la ubicación óptima de la fábrica de poliestireno expandido de acuerdo con su relación de distancia con su universo de clientes y proveedores.

- Se recomienda que en base a la determinación obtenida en el presente estudio se realice un análisis económico exhaustivo de la propuesta para determinar a cuanto asciende finalmente la inversión en la cual tiene que incurrir la Empresa para el traslado de la planta a la nueva ubicación.
- Dada la alternativa de disposición seleccionada para la nueva planta, se recomienda que al disponer del terreno se diagrame con la ayuda de un arquitecto el layout definitivo en el cual se considerarán puntos de embarque y recepción, pasillos definidos entre departamentos, zonas de seguridad y demás detalles requeridos para la construcción de una planta industrial.
- Como se mencionó en el capítulo 6, sección 6.2, existen tres maneras de evaluar las alternativas de disposición de departamentos obtenidas, de las cuales se seleccionó el Análisis de los Factores o Criterios, ya que éste fue el alcance de la tesis. Por lo que se recomienda extender el análisis a la Comparación de los Costos y Justificación de los mismos para cada una de las alternativas propuestas, para de esta manera tener una evaluación financiera que complemente el estudio realizado.
- Es importante recalcar que las alternativas desarrolladas no son las únicas existentes, es decir, puesto que para plantear las diferentes alternativas se utiliza la intuición y la experiencia se pueden obtener más alternativas distintas a las que se generaron, y en este sentido

la Alternativa D se selecciona por ser la mejor de las cuatro alternativas evaluadas. Por este motivo, se recomienda que se aplique un método de mejoramiento de la disposición a la Alternativa D con el fin de encontrar, si es posible, una mejor disposición para la nueva instalación.

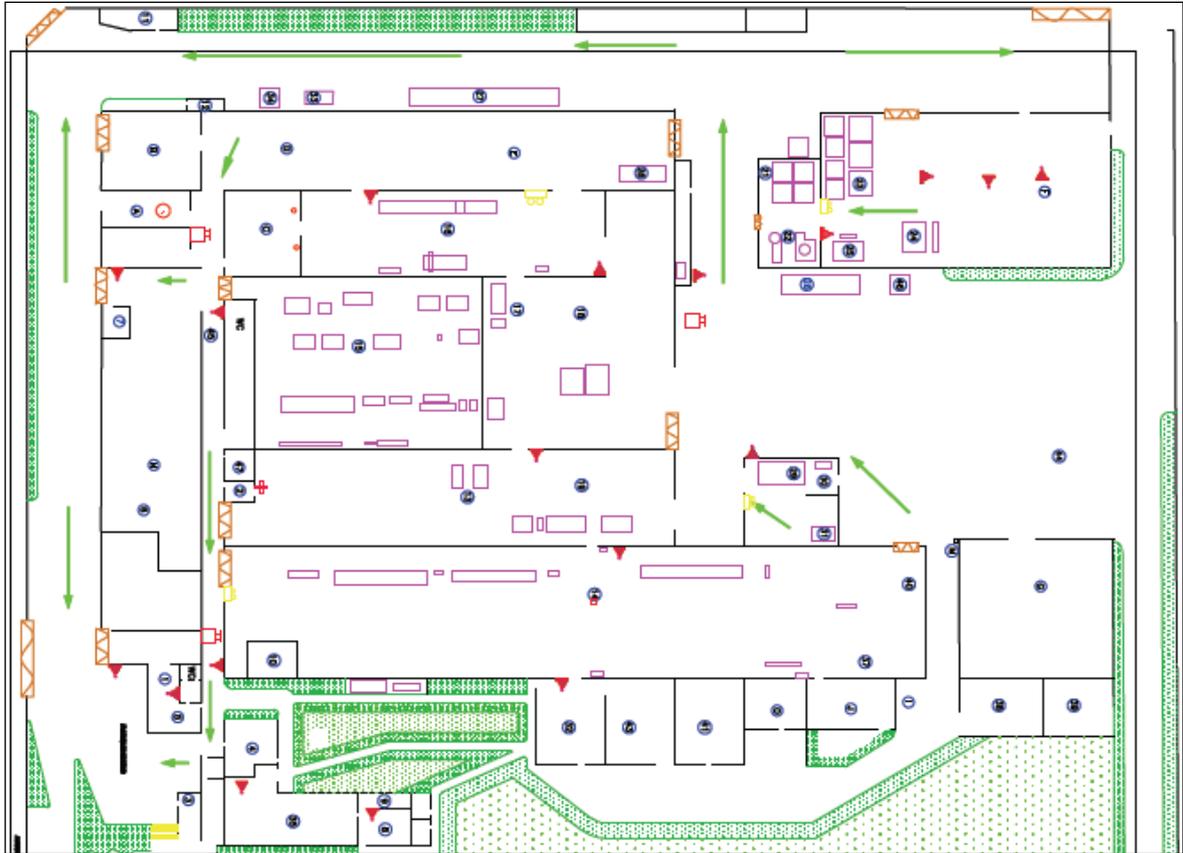
- Se recomienda asignar una persona responsable del proyecto de implantación de la propuesta planteada, para coordinar y controlar las actividades que se deben cumplir dentro de los plazos que se han estimado.

## BIBLIOGRAFÍA

- BERMAN, Oded. Jiamin Wang. Zvi Drezner y George Wesolowsky. A Probabilistic Minimax Location problem on the Plane. 3 – noviembre – 2004. 21 – enero-2009.<<http://www.springerlink.com/content/q1122jl16771l57k/>>.
- CONQuito. Entrevista Lourdes Escandón. Consultor CONQuito.
- CHOPRA, Sunil y Peter Meindl. Supply Chain Management. 3era. Edición, Prentice Hall, New Jersey, 2007.
- Empresa Municipal de Movilidad y Obras Públicas de Quito. Guía Urbana de Quito: Ubica-T. 2009
- Estudio de Pre-factibilidad Para la Ejecución del Parque Industrial para el Distrito Metropolitano de Quito. CONQuito. 2007.
- Google Earth®. 2009. < <http://earth.google.es/>>
- Inmobiliaria Regency. Entrevista Ing. Rubén Gomez. Inmobiliaria Parque Industrial Turubamba
- JONES, Erick y Christofer Chung. RFID in Logistics.CRC Press, 2007.
- KONZ, Stephan. Manual de Distribución en Plantas Industriales. México: Ciencia y Técnica, 1992.
- McLEOD, Raymond, Jr. Sistema de Información Gerencial. Editorial Pearson Educación, Séptima Edición.
- McNISH, Larry. RASC Calgary Centre: Latitude and Longitude. 23 – Julio – 2008. 13 – Mayo – 2008. < <http://calgary.rasc.ca/latlong.htm>>.
- MUTHER, Richard. Planificación y Proyección de la Empresa Industrial. Editores Asociados, Barcelona, 1968.
- Ordenanza Metropolitana N° 0031: Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS). Registro Oficial, 2008, N° 83, 2 – 37.
- SALVENDY, Gavriel. Ingeniería Industrial. Vol2. Limusa. México, 2007
- TOMPKINS, James. John White. Yanuz Bozer. J. M. A Tanchoco. Planeación de Instalaciones. 3era. Edición, Thomson, México, 2006.

## **ANEXOS**

## Anexo A. LAYOUT ACTUAL DE PHHP S.A.



Fuente: Empresa PHHP S.A.

Figura 4. Layout Actual Empresa PHHP S.A.

## **Anexo B. FLUJO DE PRODUCCIÓN**

Cortadora de bloques: se producen bloques de 4 metros por de altura, 51 cm. de ancho, los cuales deben ser cortados en planchas de diferentes espesores de acuerdo a los requerimientos del cliente, cada bloque contiene 2,16 cm<sup>3</sup> lo que equivale a 27 Kg. El tiempo de corte de estos bloques depende de la densidad con la cual ha sido fabricado pero en un tiempo promedio para un bloque normal de densidad 12 es de 15 minutos. Por lo tanto, la cortadora de bloques corta 4 bloques o 108kg/hora.

Cortadora de contornos: varía la forma en que se requiere cortar los bloques o planchas, pero se conoce a través de registros del Área de Producción que un 1 m<sup>3</sup> se corta en dos horas por lo que se corta 6,25 Kg./hora.

Pre-expansor: la medida más eficiente del pre-expansor es cuando puede producir 6kg de poliestireno expandido en 4 minutos, por lo que tiene una capacidad de producir 90kg/hora.

Bloquera: el tiempo para fabricar bloques depende de la densidad que se quiera fabricar pero el promedio ha sido realizado con los bloques de mayor producción (densidad 12), lo que significa que 2,16 m<sup>3</sup> o 27 Kg. (1 bloque) son producidos en 17 minutos, así se produce 95,3 Kg./hora.

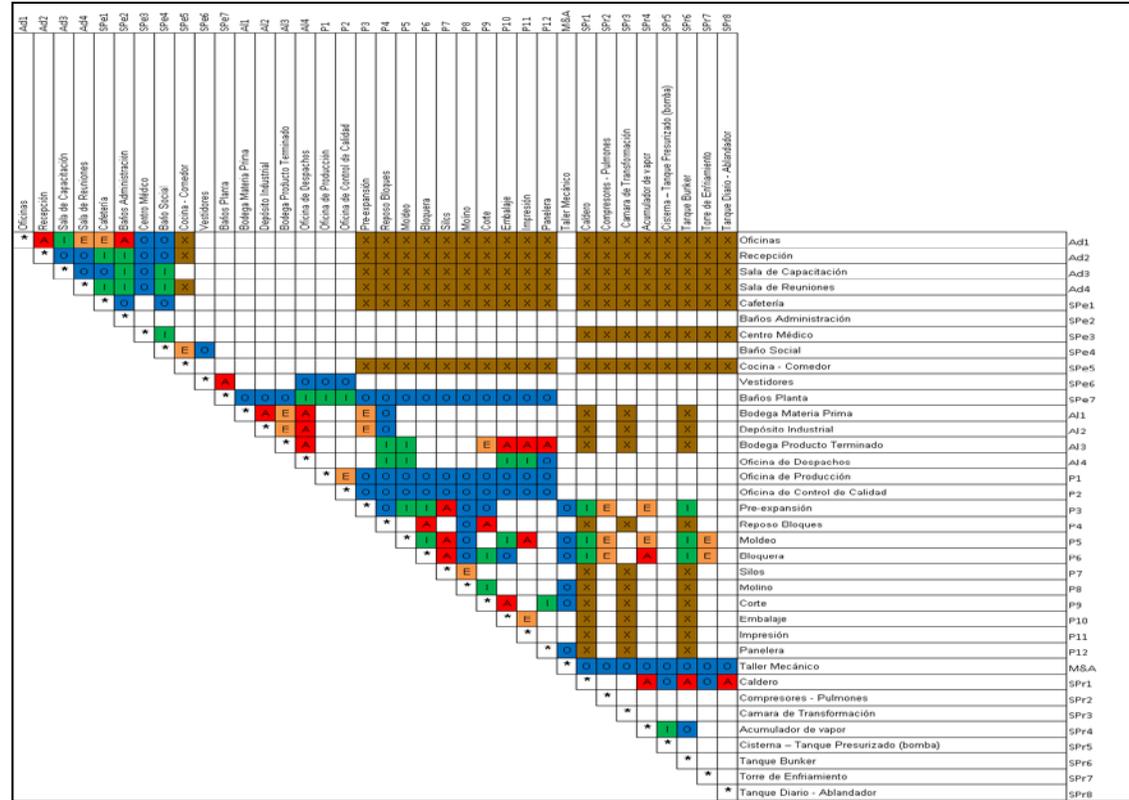
Moldeadora: se divide en dos tipos de piezas primordialmente, cajas térmicas para la conservación-transporte de productos y piezas de embalaje para línea blanca. Existen dos escenarios posibles con dichas producciones, el mejor es producir 465 gramos por minuto, es decir, 27.9 Kg./hora (cajas térmicas); y el peor 75 gramos por minuto, lo que equivale a 4.5 Kg./hora (piezas pequeñas). Considerando un promedio entre ambos escenarios se obtiene una inyección de 300 gramos por minuto en la moldeadora, lo que equivale a 18 Kg./hora. Se consideran tiempos y kilogramos promedios debido a que las piezas de embalaje de línea blanca son variadas tanto en su forma como en su volumen y las cajas térmicas representan un 50% de la producción en la moldeadora.

Molino: se recicla todo producto defectuoso y/o residuo de corte para que pueda ser reutilizado, se agrupa todo el material y se puede moler hasta 300 Kg. en 8 horas, por lo que la máquina tiene una capacidad de 37.5 Kg./hora.

Mezclador: es donde se mezcla tanto material virgen como material molido para posteriormente ingresar a la bloquera y producir bloques, tiene una capacidad de mezclar 2,56 m<sup>3</sup> o 32 Kg. en 90 segundos, lo que equivale, a 1280Kg./hora.

### Anexo C. TABLA DE RELACIONES

VALOR	CERCANÍA	COLOR
A	Absolutamente Necesaria	Red
E	Muy importante	Amarillo
I	Importante	Verde
O	Cercanía normal	Azul
U	No es importante	Blanco
X	No es conveniente	Marrón



Fuente: Generación Propia

Figura 5. Tabla de Relaciones de las Actividades de PHHP S.A.

## Anexo D. DIMENSIONES EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

Tabla 18. Dimensiones de Máquinas/Equipos

Máquina/Elementos	Dimensiones		
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
Silo 1	3050	3050	5930
Silo 3,4	2400	2400	6790
Silo 5,6	2400	2400	5100
Silo 7	2400	2400	6750
Silo 8	2400	2400	6800
Silo 9	4060	2300	5980
Silo Molido Bloques	2380	2380	6780
Silo similar molido de bloques	2380	2380	6780
Mezclador	1395	940	
Silo atrás Molido Bloques	3110	3110	6310
Silo atrás Mezclador	3300	3300	6130
Silo 1 Molido Moldeo	3080	3050	5610
Moldeadora Erlenbach	5330	3070	
Bloquera	1800	4300	
Control	1200	480	
Banco Lubricación	840	480	
Tanques y Bombas	2600	1600	
Transformador	680	610	
Cortadora Base Styroplan	4720	1750	
Cortadora Vertical	10550	1800	
Mesa de Embalaje	2470	1220	
Rollo de Plástico	1760	580	
Transformador	910	580	
Máquina de Contornos	5610	2391	
Control de Máquina	1600	1000	
Transformador	570	410	
Tanque Diario	3100	1470	
Ablandador	3770	1170	
Tanque de almacenamiento de combustible	2550	1579	
Torre de Enfriamiento	4450	3200	
Tanque de Almacenamiento de vapor	7860	2400	
Pre-expansora	2220	5301	
Lecho Fluidizado	1300	6101	
Ventilador Centrífugo	1300	800	
Compresor Centrífugo Ingersoll-Rand	1550	1690	
Tanque de Almacenamiento de Aire Comprimido	3500	750	
Compresor	1200	1000	

Tabla 18. Dimensiones de Máquinas/Equipos (Continuación)

Impresión	3200	1000	720
Panelera 1	3650	700	2220
Panelera 2	3200	700	2260
Cisterna	9000	3060	
Recipiente de Almacenamiento y Mezcla de Bunker y Diesel	11760	3420	
Caldera	6450	2370	
Tanque tratamiento de agua	2680	1350	
Químicos	660	600	
Control	770	350	
Moedor de EPS	5350	1750	1920
Cámara de Compensación # 1	1600	520	1500
Cámara de Compensación # 2	650	650	1860
Cámara de Distribución	1280	670	1810

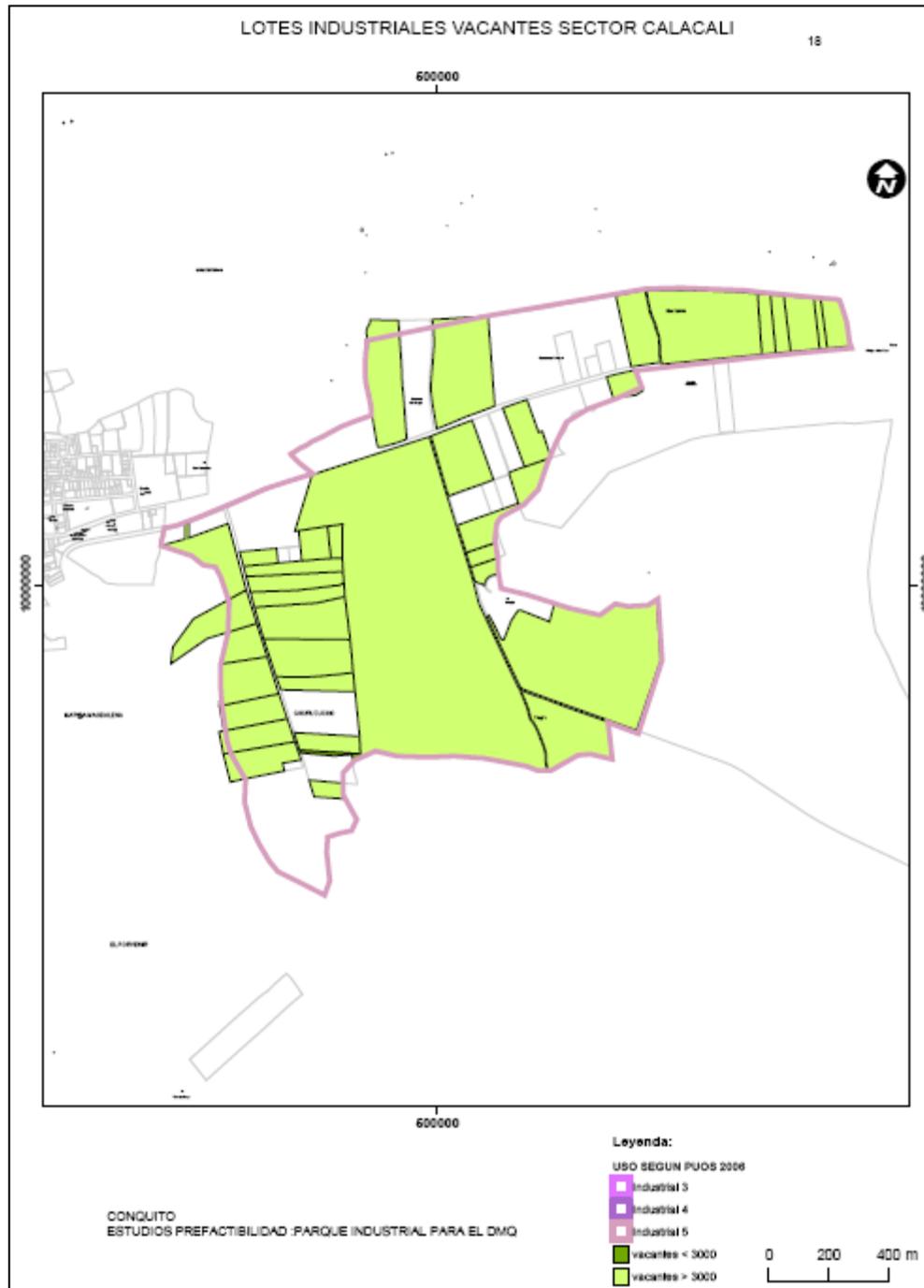
## **Anexo E. MAPAS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

### **E.1 Mapa B1 D**

Adjunto en Archivo Digital (CD Biblioteca USFQ)

## E. 2 Parques y Zonas Industriales del Distrito Metropolitano de Quito

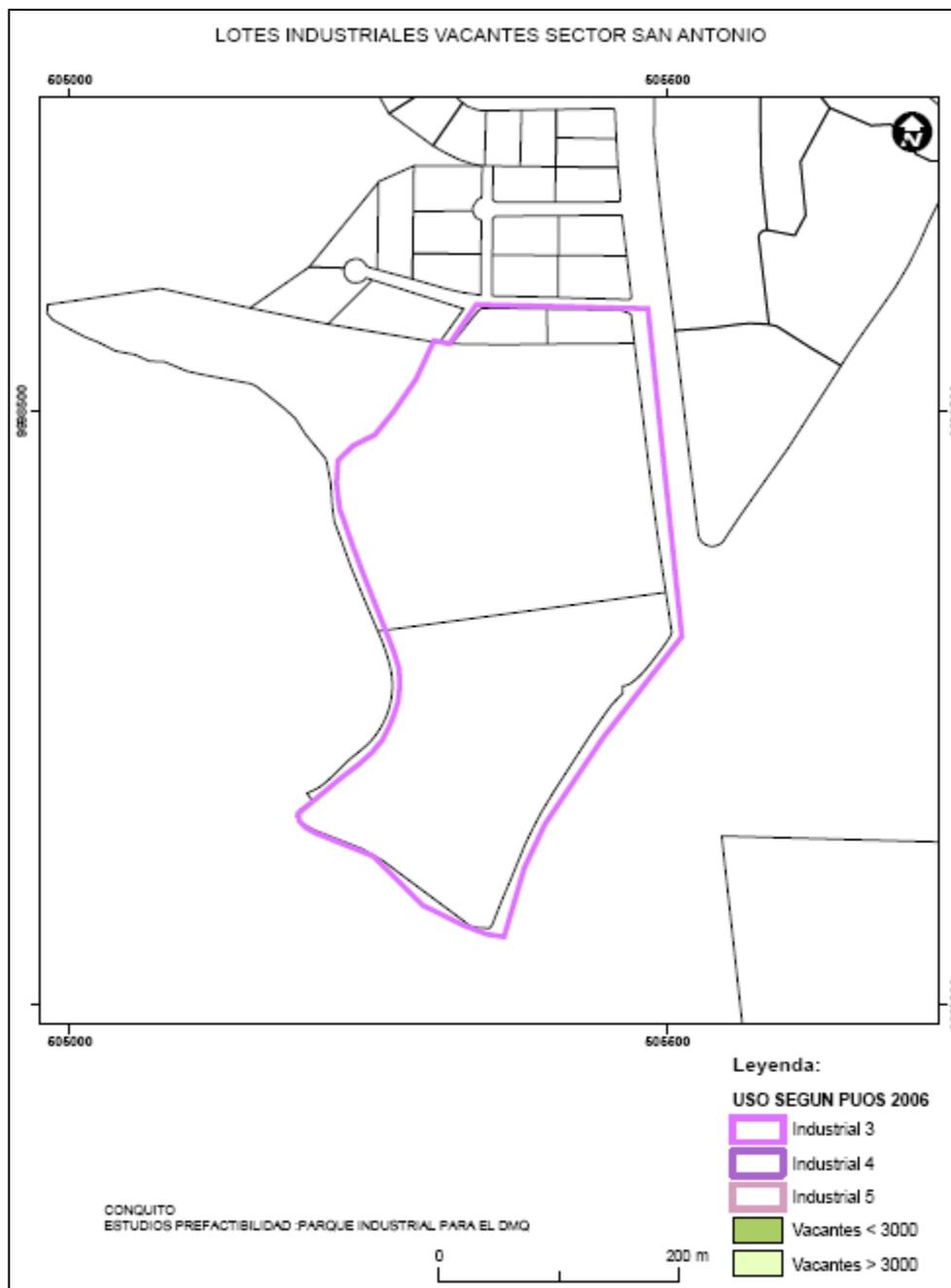
### E. 2. 1 Zona Industrial Calacalí



Fuente: CONQuito

Figura 6. Zona Industrial Calacalí

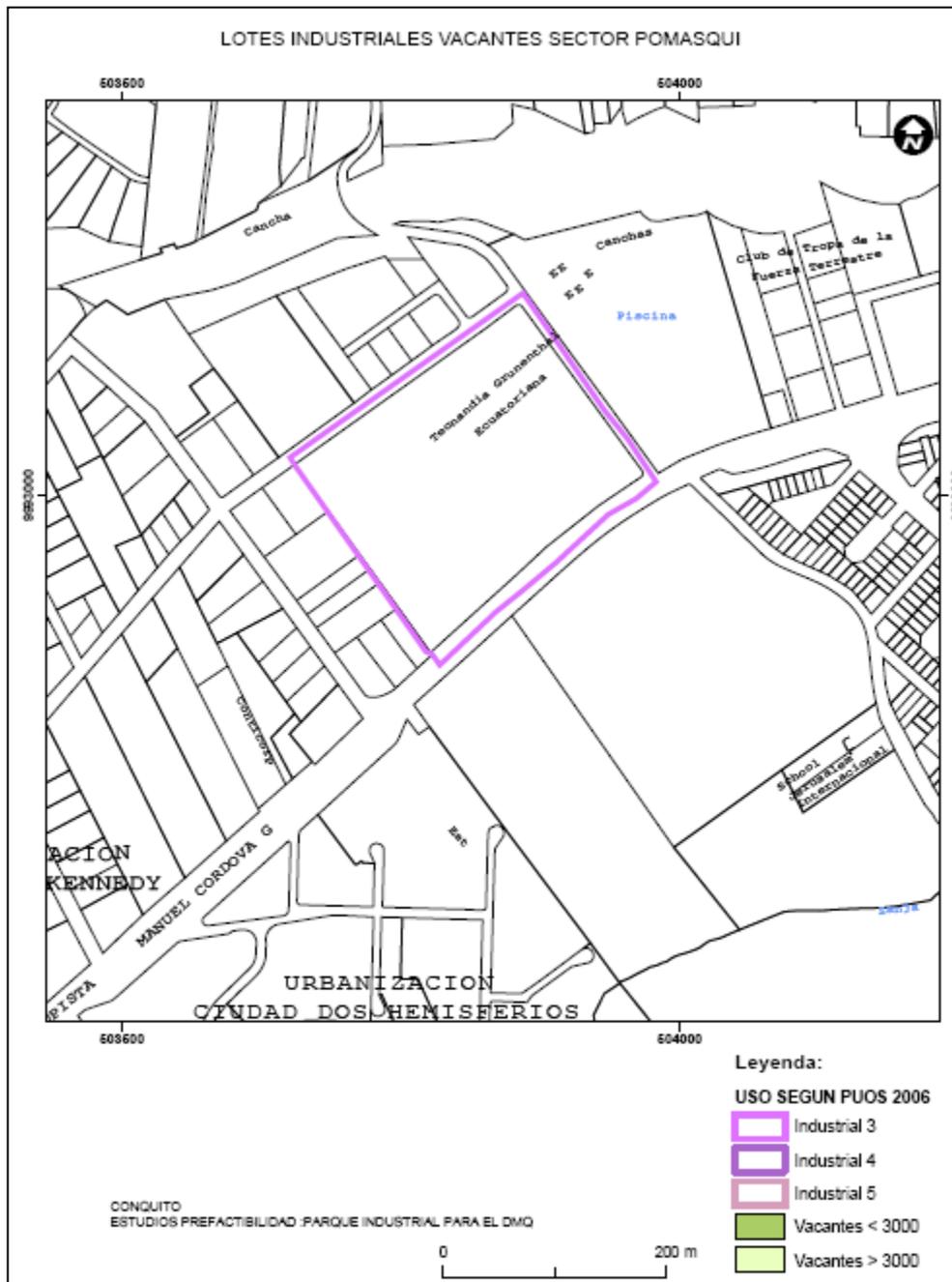
## E. 2. 2 Zona Industrial San Antonio



Fuente: CONQuito

Figura 7. Zona Industrial San Antonio

### E. 2. 3 Zona Industrial Pomasqui

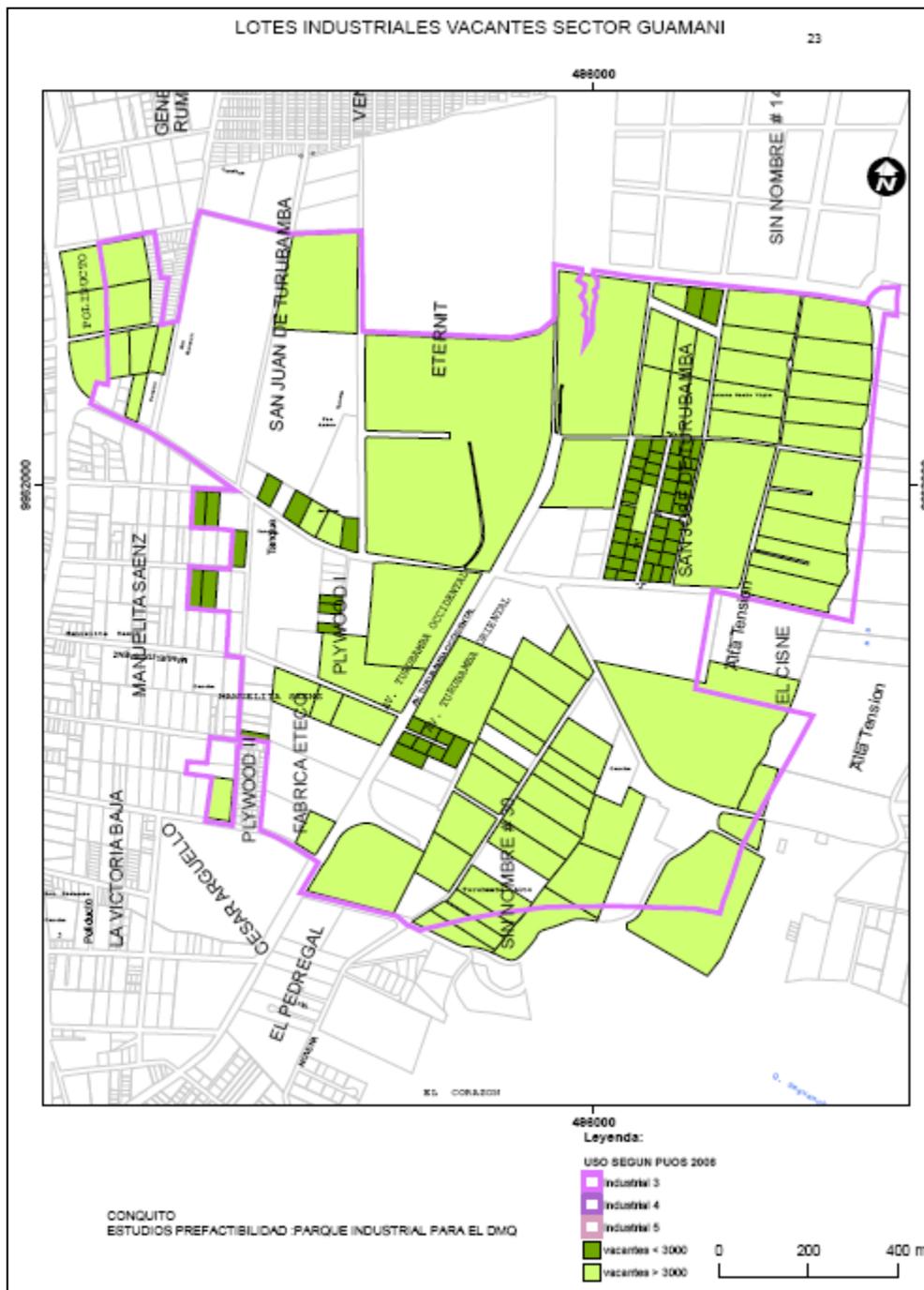


Fuente: CONQuito

Figura 8. Zona Industrial Pomasqui



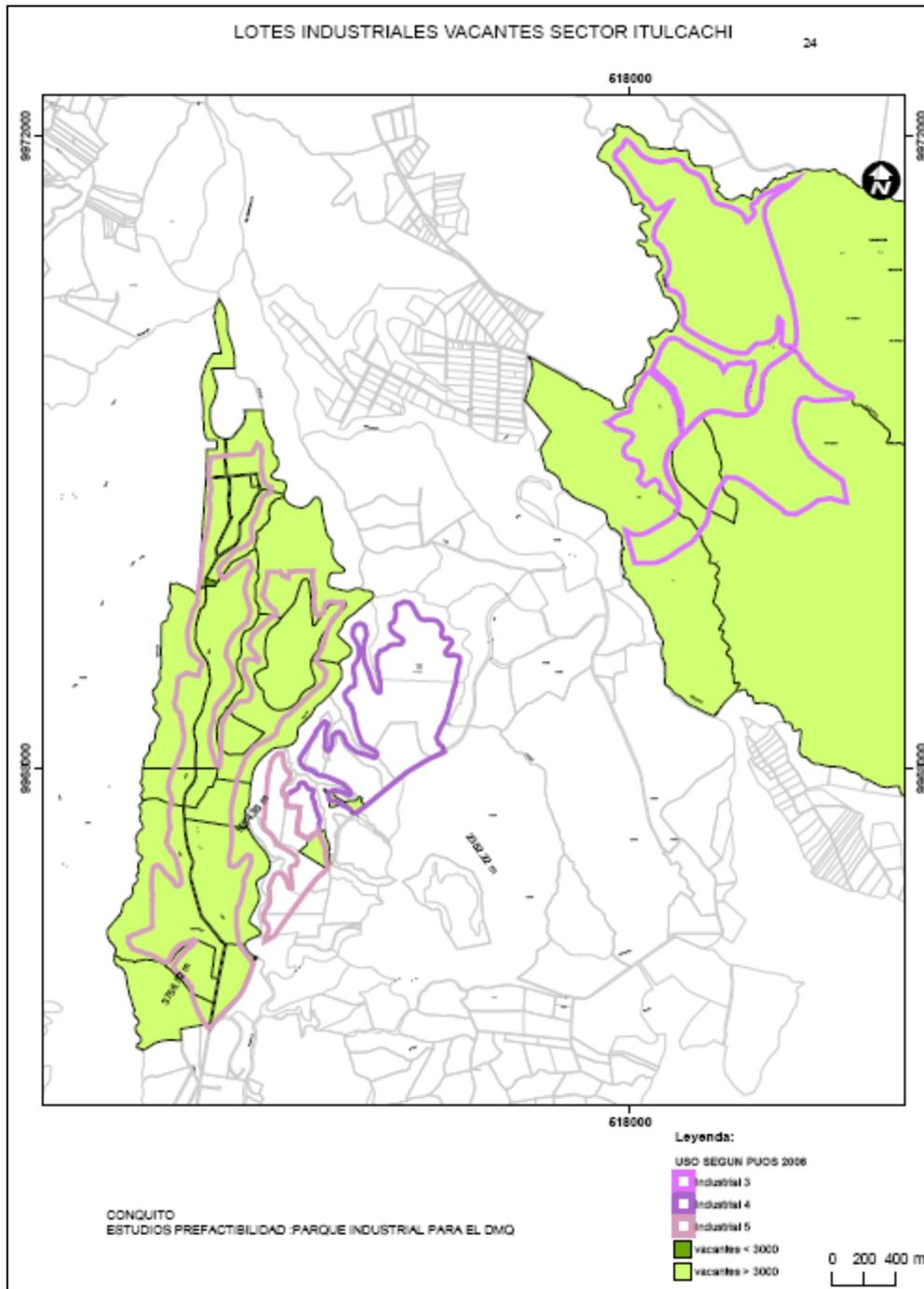
## E. 2. 5 Parque Industrial Guamaní (Turubamba)



Fuente: CONQuito

Figura 10. Parque Industrial Guamaní (Turubamba)

## E. 2. 6 Zona Industrial Itulcachi



Fuente: CONQuito

Figura 11. Zona Industrial Itulcachi

## Anexo F. ANÁLISIS DE PARETO

Tabla 19. Pareto de Clientes por Volumen de Ventas  
**VENTAS Y PARTICIPACION**

El 80% de nuestras ventas se encuentra focalizadas en 24 clientes de 272 por lo cual con el 8.8% de nuestra cartera logramos el 80 % de nuestros ingresos. Hay que considerar que hemos incrementado el # de clientes mas no el volumen de ventas x kilo ni las ventas en \$ tomando en cuenta el incrementaron los precios en un 12% promedio en 2008. puesto que la diferencia con el 2007 en \$ es del 2%

No.	CLIENTE	VALOR EN \$	PORCENTAJE	% ACUMULADO	SECTOR DE ENTREGA
1	<b>A</b>	\$ 547,901.79	30.345%	30.35%	Cuenca
2	<b>B</b>	\$ 280,169.83	15.517%	45.86%	Guayaquil
3	<b>C</b>	\$ 116,671.40	6.462%	52.32%	Guayaquil
4	<b>D</b>	\$ 60,983.86	3.378%	55.70%	Moran Valverde
5	<b>E</b>	\$ 45,527.44	2.522%	58.22%	Constructora - Luis Tufiño y 10 de Agosto
6	<b>F</b>	\$ 43,275.66	2.397%	60.62%	Universidad Central
7	<b>G</b>	\$ 42,738.40	2.367%	62.99%	Guayaquil
8	<b>H</b>	\$ 38,192.00	2.115%	65.10%	Guayaquil
9	<b>I</b>	\$ 24,950.70	1.382%	66.48%	Villaflores
10	<b>J</b>	\$ 23,813.81	1.319%	67.80%	Varios Quito
11	<b>K</b>	\$ 23,273.30	1.289%	69.09%	Calderón
12	<b>L</b>	\$ 22,609.12	1.252%	70.34%	Constructora - Ibarra
13	<b>M</b>	\$ 21,139.59	1.171%	71.51%	Guayaquil
14	<b>N</b>	\$ 19,788.27	1.096%	72.61%	Santo Domingo
15	<b>Ñ</b>	\$ 18,953.00	1.050%	73.66%	El Batán
16	<b>O</b>	\$ 18,929.04	1.048%	74.71%	Santo Domingo
17	<b>P</b>	\$ 14,663.97	0.812%	75.52%	Centro Histórico Constructora - La Ronda
18	<b>Q</b>	\$ 14,373.72	0.796%	76.32%	Lasso
19	<b>R</b>	\$ 13,663.58	0.757%	77.07%	San Bartolo, La Prensa, Villaflores
20	<b>S</b>	\$ 13,600.40	0.753%	77.83%	Constructora - Cayambe
21	<b>T</b>	\$ 12,818.51	0.710%	78.54%	La Prensa La Concepción
22	<b>U</b>	\$ 12,702.00	0.703%	79.24%	Pomasquí
23	<b>W</b>	\$ 11,808.00	0.654%	79.89%	Hospital Constructora - Metropolitano
24	<b>X</b>	\$ 11,213.05	0.621%	80.52%	Urbanización Constructora - Pillagua Cumbayá
25	<b>Y</b>	\$ 10,791.83	0.598%	81.11%	Constructora - Gonzalez Suarez
26	<b>Z</b>	\$ 10,578.13	0.586%	81.70%	Sangolquí
27	<b>AA</b>	\$ 10,237.96	0.567%	82.27%	Murialdo y 10 de Agosto
28	<b>AB</b>	\$ 10,041.90	0.556%	82.82%	Santo Domingo
29	<b>AC</b>	\$ 9,133.68	0.506%	83.33%	Constructora - Tonsupa
30	<b>AD</b>	\$ 8,836.80	0.489%	83.82%	Av. América y Constructora - Pasaje san Gabriel
31	<b>AE</b>	\$ 7,486.93	0.415%	84.23%	Constructora - Entrada al Comité del Pueblo
32	<b>AF</b>	\$ 7,439.12	0.412%	84.64%	Constructora - Carcelén
33	<b>AG</b>	\$ 7,283.00	0.403%	85.05%	Esmeraldas

Tabla 19. Pareto de Clientes por Volumen de Ventas (Continuación)

34	<b>AH</b>	\$ 7,110.22	0.394%	85.44%	Constructora – Ambato
35	<b>AI</b>	\$ 7,079.00	0.392%	85.83%	Centro Histórico
36	<b>AJ</b>	\$ 6,270.00	0.347%	86.18%	Latacunga
37	<b>AK</b>	\$ 5,147.10	0.285%	86.47%	Constructora - 6 de Diciembre y Fresnos
38	<b>AL</b>	\$ 5,094.10	0.282%	86.75%	Constructora -Canal 8
39	<b>AM</b>	\$ 4,860.00	0.269%	87.02%	Cuenca
40	<b>AN</b>	\$ 4,686.40	0.260%	87.28%	Quevedo
41	<b>AÑ</b>	\$ 4,611.20	0.255%	87.53%	Nayón
42	<b>AO</b>	\$ 4,287.60	0.237%	87.77%	Chone
43	<b>AP</b>	\$ 3,961.00	0.219%	87.99%	Ibarra
44	<b>AQ</b>	\$ 3,930.15	0.218%	88.21%	Beaterio
45	<b>AR</b>	\$ 3,891.25	0.216%	88.42%	Cotacollao
46	<b>AS</b>	\$ 3,851.20	0.213%	88.64%	Varios Quito
47	<b>AT</b>	\$ 3,610.52	0.200%	88.84%	Calderón
48	<b>AU</b>	\$ 3,544.52	0.196%	89.03%	Constructora - Nayón
49	<b>AV</b>	\$ 3,535.66	0.196%	89.23%	Caupicho
50	<b>AW</b>	\$ 3,504.60	0.194%	89.42%	Constructora La Pradera Diego de Almagro
51	<b>AX</b>	\$ 3,470.00	0.192%	89.61%	Portoviejo
52	<b>AY</b>	\$ 3,419.55	0.189%	89.80%	Constructora - Naciones Unidas y Amazona
53	<b>AZ</b>	\$ 3,312.12	0.183%	89.99%	
54	<b>BA</b>	\$ 3,199.29	0.177%	90.16%	
55	<b>BB</b>	\$ 3,167.64	0.175%	90.34%	
56	<b>BC</b>	\$ 3,141.52	0.174%	90.51%	
57	<b>BD</b>	\$ 3,135.37	0.174%	90.69%	
58	<b>BE</b>	\$ 3,004.51	0.166%	90.85%	
59	<b>BF</b>	\$ 2,965.82	0.164%	91.02%	
60	<b>BG</b>	\$ 2,838.84	0.157%	91.17%	
61	<b>BH</b>	\$ 2,776.86	0.154%	91.33%	
62	<b>BI</b>	\$ 2,723.09	0.151%	91.48%	
63	<b>BJ</b>	\$ 2,719.32	0.151%	91.63%	
64	<b>BK</b>	\$ 2,590.91	0.143%	91.77%	
65	<b>BL</b>	\$ 2,551.00	0.141%	91.91%	
66	<b>BM</b>	\$ 2,506.91	0.139%	92.05%	
67	<b>BN</b>	\$ 2,494.00	0.138%	92.19%	
68	<b>BÑ</b>	\$ 2,480.34	0.137%	92.33%	
69	<b>BO</b>	\$ 2,436.40	0.135%	92.46%	
70	<b>BP</b>	\$ 2,364.00	0.131%	92.59%	
71	<b>BQ</b>	\$ 2,339.45	0.130%	92.72%	
72	<b>BR</b>	\$ 2,308.12	0.128%	92.85%	
73	<b>BS</b>	\$ 2,296.80	0.127%	92.98%	
74	<b>BT</b>	\$ 2,291.00	0.127%	93.11%	
75	<b>BU</b>	\$ 2,280.36	0.126%	93.23%	
76	<b>BV</b>	\$ 2,194.45	0.122%	93.35%	
77	<b>BW</b>	\$ 2,130.06	0.118%	93.47%	
78	<b>BX</b>	\$ 2,055.39	0.114%	93.59%	

Tabla 19. Pareto de Clientes por Volumen de Ventas (Continuación)

79	<b>BY</b>	\$ 2,030.80	0.112%	93.70%	
80	<b>BZ</b>	\$ 1,991.70	0.110%	93.81%	
81	<b>CA</b>	\$ 1,981.44	0.110%	93.92%	
82	<b>CB</b>	\$ 1,965.12	0.109%	94.03%	
83	<b>CC</b>	\$ 1,863.55	0.103%	94.13%	
84	<b>CD</b>	\$ 1,863.00	0.103%	94.23%	
85	<b>CE</b>	\$ 1,845.00	0.102%	94.34%	
86	<b>CF</b>	\$ 1,843.20	0.102%	94.44%	
87	<b>CG</b>	\$ 1,805.90	0.100%	94.54%	
88	<b>CH</b>	\$ 1,778.40	0.098%	94.64%	
89	<b>CI</b>	\$ 1,755.45	0.097%	94.73%	
90	<b>CJ</b>	\$ 1,751.04	0.097%	94.83%	
91	<b>CK</b>	\$ 1,727.00	0.096%	94.93%	
92	<b>CL</b>	\$ 1,717.50	0.095%	95.02%	
93	<b>CM</b>	\$ 1,714.02	0.095%	95.12%	
94	<b>CN</b>	\$ 1,703.44	0.094%	95.21%	
95	<b>CÑ</b>	\$ 1,668.60	0.092%	95.30%	
96	<b>CO</b>	\$ 1,617.00	0.090%	95.39%	
97	<b>CP</b>	\$ 1,586.91	0.088%	95.48%	
98	<b>CQ</b>	\$ 1,566.73	0.087%	95.57%	
99	<b>CR</b>	\$ 1,501.25	0.083%	95.65%	
100	<b>CS</b>	\$ 1,486.00	0.082%	95.73%	
101	<b>CT</b>	\$ 1,481.26	0.082%	95.81%	
102	<b>CU</b>	\$ 1,450.00	0.080%	95.90%	
103	<b>CV</b>	\$ 1,429.77	0.079%	95.97%	
104	<b>CW</b>	\$ 1,412.40	0.078%	96.05%	
105	<b>CX</b>	\$ 1,409.68	0.078%	96.13%	
106	<b>CY</b>	\$ 1,333.03	0.074%	96.20%	
107	<b>CZ</b>	\$ 1,313.21	0.073%	96.28%	
108	<b>DA</b>	\$ 1,312.00	0.073%	96.35%	
109	<b>DB</b>	\$ 1,258.05	0.070%	96.42%	
110	<b>DC</b>	\$ 1,235.00	0.068%	96.49%	
111	<b>DD</b>	\$ 1,229.50	0.068%	96.56%	
112	<b>DE</b>	\$ 1,221.86	0.068%	96.62%	
113	<b>DF</b>	\$ 1,140.20	0.063%	96.69%	
114	<b>DG</b>	\$ 1,134.75	0.063%	96.75%	
115	<b>DH</b>	\$ 1,108.08	0.061%	96.81%	
116	<b>DI</b>	\$ 1,103.00	0.061%	96.87%	
117	<b>DJ</b>	\$ 1,079.97	0.060%	96.93%	
118	<b>DK</b>	\$ 1,042.00	0.058%	96.99%	
119	<b>DL</b>	\$ 1,036.80	0.057%	97.05%	
120	<b>DM</b>	\$ 972.00	0.054%	97.10%	
121	<b>DN</b>	\$ 941.28	0.052%	97.15%	
122	<b>DÑ</b>	\$ 939.60	0.052%	97.21%	
123	<b>DO</b>	\$ 939.60	0.052%	97.26%	
124	<b>DP</b>	\$ 932.06	0.052%	97.31%	
125	<b>DQ</b>	\$ 908.48	0.050%	97.36%	

Tabla 19. Pareto de Clientes por Volumen de Ventas (Continuación)

126	<b>DR</b>	\$ 908.24	0.050%	97.41%	
127	<b>DS</b>	\$ 904.17	0.050%	97.46%	
128	<b>DT</b>	\$ 886.16	0.049%	97.51%	
129	<b>DU</b>	\$ 876.00	0.049%	97.56%	
130	<b>DV</b>	\$ 874.80	0.048%	97.61%	
131	<b>DW</b>	\$ 859.71	0.048%	97.65%	
132	<b>DX</b>	\$ 852.98	0.047%	97.70%	
133	<b>DY</b>	\$ 820.00	0.045%	97.75%	
134	<b>DZ</b>	\$ 816.91	0.045%	97.79%	
135	<b>EA</b>	\$ 789.95	0.044%	97.83%	
136	<b>EB</b>	\$ 789.48	0.044%	97.88%	
137	<b>EC</b>	\$ 780.15	0.043%	97.92%	
138	<b>ED</b>	\$ 780.00	0.043%	97.97%	
139	<b>EE</b>	\$ 770.90	0.043%	98.01%	
140	<b>EF</b>	\$ 766.80	0.042%	98.05%	
141	<b>EG</b>	\$ 756.48	0.042%	98.09%	
142	<b>EH</b>	\$ 746.60	0.041%	98.13%	
143	<b>EI</b>	\$ 740.60	0.041%	98.17%	
144	<b>EJ</b>	\$ 727.37	0.040%	98.21%	
145	<b>EK</b>	\$ 711.00	0.039%	98.25%	
146	<b>EL</b>	\$ 707.20	0.039%	98.29%	
147	<b>EM</b>	\$ 698.94	0.039%	98.33%	
148	<b>EN</b>	\$ 697.28	0.039%	98.37%	
149	<b>EÑ</b>	\$ 662.40	0.037%	98.41%	
150	<b>EO</b>	\$ 636.50	0.035%	98.44%	
151	<b>EP</b>	\$ 621.30	0.034%	98.48%	
152	<b>EQ</b>	\$ 600.55	0.033%	98.51%	
153	<b>ER</b>	\$ 576.46	0.032%	98.54%	
154	<b>ES</b>	\$ 556.80	0.031%	98.57%	
155	<b>ET</b>	\$ 550.50	0.030%	98.60%	
156	<b>EU</b>	\$ 537.60	0.030%	98.63%	
157	<b>EV</b>	\$ 533.36	0.030%	98.66%	
158	<b>EW</b>	\$ 526.70	0.029%	98.69%	
159	<b>EX</b>	\$ 516.22	0.029%	98.72%	
160	<b>EY</b>	\$ 513.92	0.028%	98.75%	
161	<b>EZ</b>	\$ 501.77	0.028%	98.78%	
162	<b>FA</b>	\$ 494.00	0.027%	98.80%	
163	<b>FB</b>	\$ 488.51	0.027%	98.83%	
164	<b>FC</b>	\$ 483.32	0.027%	98.86%	
165	<b>FD</b>	\$ 472.30	0.026%	98.88%	
166	<b>FE</b>	\$ 449.50	0.025%	98.91%	
167	<b>FF</b>	\$ 444.96	0.025%	98.93%	
168	<b>FG</b>	\$ 442.50	0.025%	98.96%	
169	<b>FH</b>	\$ 441.00	0.024%	98.98%	
170	<b>FI</b>	\$ 439.20	0.024%	99.01%	
171	<b>FJ</b>	\$ 414.00	0.023%	99.03%	
172	<b>FK</b>	\$ 405.00	0.022%	99.05%	

Tabla 19. Pareto de Clientes por Volumen de Ventas (Continuación)

173	<b>FL</b>	\$ 402.00	0.022%	99.07%	
174	<b>FM</b>	\$ 399.00	0.022%	99.10%	
175	<b>FN</b>	\$ 398.00	0.022%	99.12%	
176	<b>FO</b>	\$ 385.00	0.021%	99.14%	
177	<b>FP</b>	\$ 372.60	0.021%	99.16%	
178	<b>FQ</b>	\$ 369.76	0.020%	99.18%	
179	<b>FR</b>	\$ 362.78	0.020%	99.20%	
180	<b>FS</b>	\$ 360.45	0.020%	99.22%	
181	<b>FT</b>	\$ 336.53	0.019%	99.24%	
182	<b>FU</b>	\$ 330.24	0.018%	99.26%	
183	<b>FV</b>	\$ 322.90	0.018%	99.28%	
184	<b>FW</b>	\$ 320.48	0.018%	99.29%	
185	<b>FX</b>	\$ 318.00	0.018%	99.31%	
186	<b>FY</b>	\$ 310.00	0.017%	99.33%	
187	<b>FZ</b>	\$ 308.00	0.017%	99.35%	
188	<b>GA</b>	\$ 306.75	0.017%	99.36%	
189	<b>GB</b>	\$ 305.00	0.017%	99.38%	
190	<b>GC</b>	\$ 303.05	0.017%	99.40%	
191	<b>GD</b>	\$ 301.84	0.017%	99.41%	
192	<b>GE</b>	\$ 298.30	0.017%	99.43%	
193	<b>GF</b>	\$ 290.60	0.016%	99.45%	
194	<b>GG</b>	\$ 288.00	0.016%	99.46%	
195	<b>GH</b>	\$ 280.25	0.016%	99.48%	
196	<b>GI</b>	\$ 278.75	0.015%	99.49%	
197	<b>GJ</b>	\$ 276.00	0.015%	99.51%	
198	<b>GK</b>	\$ 275.17	0.015%	99.52%	
199	<b>GL</b>	\$ 271.89	0.015%	99.54%	
200	<b>GM</b>	\$ 271.00	0.015%	99.55%	
201	<b>GN</b>	\$ 265.76	0.015%	99.57%	
202	<b>GÑ</b>	\$ 261.29	0.014%	99.58%	
203	<b>GO</b>	\$ 260.00	0.014%	99.60%	
204	<b>GP</b>	\$ 254.89	0.014%	99.61%	
205	<b>GQ</b>	\$ 253.12	0.014%	99.62%	
206	<b>GR</b>	\$ 244.00	0.014%	99.64%	
207	<b>GS</b>	\$ 241.41	0.013%	99.65%	
208	<b>GT</b>	\$ 240.95	0.013%	99.67%	
209	<b>GU</b>	\$ 239.40	0.013%	99.68%	
210	<b>GV</b>	\$ 210.60	0.012%	99.69%	
211	<b>GW</b>	\$ 207.20	0.011%	99.70%	
212	<b>GX</b>	\$ 201.14	0.011%	99.71%	
213	<b>GY</b>	\$ 201.00	0.011%	99.72%	
214	<b>GZ</b>	\$ 193.50	0.011%	99.73%	
215	<b>HA</b>	\$ 190.72	0.011%	99.75%	
216	<b>HB</b>	\$ 183.00	0.010%	99.76%	
217	<b>HC</b>	\$ 181.00	0.010%	99.77%	
218	<b>HD</b>	\$ 181.00	0.010%	99.78%	
219	<b>HE</b>	\$ 178.20	0.010%	99.79%	

Tabla 19. Pareto de Clientes por Volumen de Ventas (Continuación)

220	<b>HF</b>	\$ 166.78	0.009%	99.79%	
221	<b>HG</b>	\$ 164.00	0.009%	99.80%	
222	<b>HH</b>	\$ 161.00	0.009%	99.81%	
223	<b>HI</b>	\$ 150.00	0.008%	99.82%	
224	<b>HJ</b>	\$ 140.10	0.008%	99.83%	
225	<b>HK</b>	\$ 138.40	0.008%	99.84%	
226	<b>HL</b>	\$ 135.45	0.008%	99.84%	
227	<b>HM</b>	\$ 122.00	0.007%	99.85%	
228	<b>HN</b>	\$ 117.60	0.007%	99.86%	
229	<b>HI</b>	\$ 117.57	0.007%	99.86%	
230	<b>HJ</b>	\$ 114.72	0.006%	99.87%	
231	<b>HK</b>	\$ 113.81	0.006%	99.88%	
232	<b>HL</b>	\$ 112.09	0.006%	99.88%	
233	<b>HM</b>	\$ 108.58	0.006%	99.89%	
234	<b>HN</b>	\$ 106.60	0.006%	99.89%	
235	<b>HO</b>	\$ 104.00	0.006%	99.90%	
236	<b>HP</b>	\$ 95.68	0.005%	99.91%	
237	<b>HQ</b>	\$ 93.60	0.005%	99.91%	
238	<b>HR</b>	\$ 91.50	0.005%	99.92%	
239	<b>HS</b>	\$ 91.20	0.005%	99.92%	
240	<b>HT</b>	\$ 84.18	0.005%	99.93%	
241	<b>HU</b>	\$ 76.80	0.004%	99.93%	
242	<b>HV</b>	\$ 71.40	0.004%	99.93%	
243	<b>HW</b>	\$ 71.00	0.004%	99.94%	
244	<b>HX</b>	\$ 70.00	0.004%	99.94%	
245	<b>HY</b>	\$ 69.00	0.004%	99.94%	
246	<b>HZ</b>	\$ 66.68	0.004%	99.95%	
247	<b>IA</b>	\$ 62.40	0.003%	99.95%	
248	<b>IB</b>	\$ 61.00	0.003%	99.96%	
249	<b>IC</b>	\$ 58.38	0.003%	99.96%	
250	<b>ID</b>	\$ 53.90	0.003%	99.96%	
251	<b>IE</b>	\$ 53.23	0.003%	99.96%	
252	<b>IF</b>	\$ 50.00	0.003%	99.97%	
253	<b>IG</b>	\$ 49.20	0.003%	99.97%	
254	<b>IH</b>	\$ 46.35	0.003%	99.97%	
255	<b>II</b>	\$ 46.29	0.003%	99.98%	
256	<b>IJ</b>	\$ 44.66	0.002%	99.98%	
257	<b>IK</b>	\$ 42.50	0.002%	99.98%	
258	<b>IL</b>	\$ 42.00	0.002%	99.98%	
259	<b>IM</b>	\$ 39.90	0.002%	99.98%	
260	<b>IN</b>	\$ 32.30	0.002%	99.99%	
261	<b>IÑ</b>	\$ 30.30	0.002%	99.99%	
262	<b>IO</b>	\$ 28.00	0.002%	99.99%	
263	<b>IP</b>	\$ 26.40	0.001%	99.99%	
264	<b>IQ</b>	\$ 24.80	0.001%	99.99%	
265	<b>IR</b>	\$ 24.00	0.001%	99.99%	
266	<b>IS</b>	\$ 24.00	0.001%	100.00%	

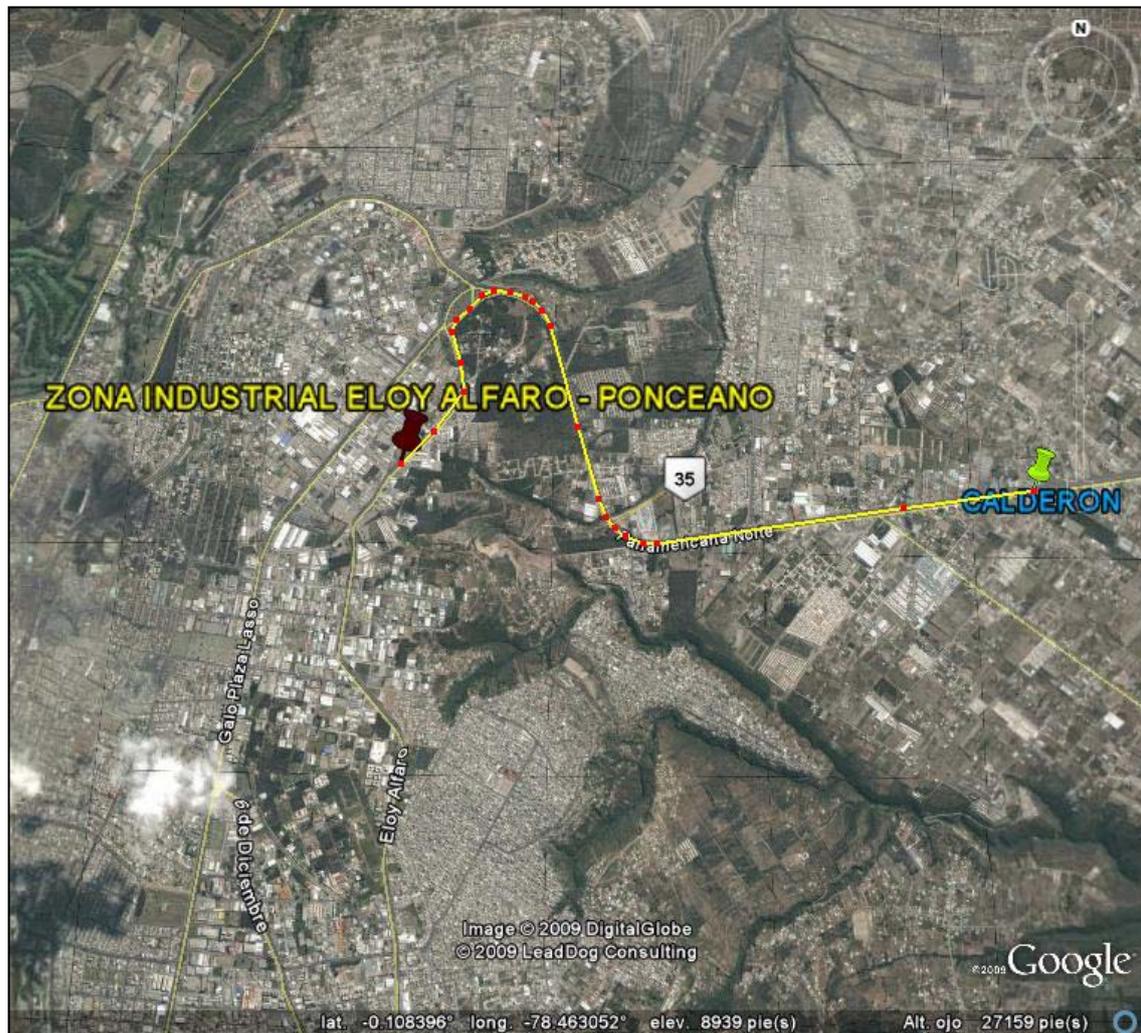
Tabla 19. Pareto de Clientes por Volumen de Ventas (Continuación)

267	<b>IT</b>	\$ 21.00	0.001%	100.00%	
268	<b>IU</b>	\$ 20.97	0.001%	100.00%	
269	<b>IV</b>	\$ 18.36	0.001%	100.00%	
270	<b>IW</b>	\$ 11.60	0.001%	100.00%	
271	<b>IX</b>	\$ 8.40	0.000%	100.00%	
272	<b>IY</b>	\$ 7.00	0.000%	100.00%	

## Anexo G. RUTAS Y TABLAS DE COSTOS MODELO 1-MEDIANA

### G. 1 Rutas de los Clientes de PPHP S.A. Hacia los Parques y Zonas Industriales

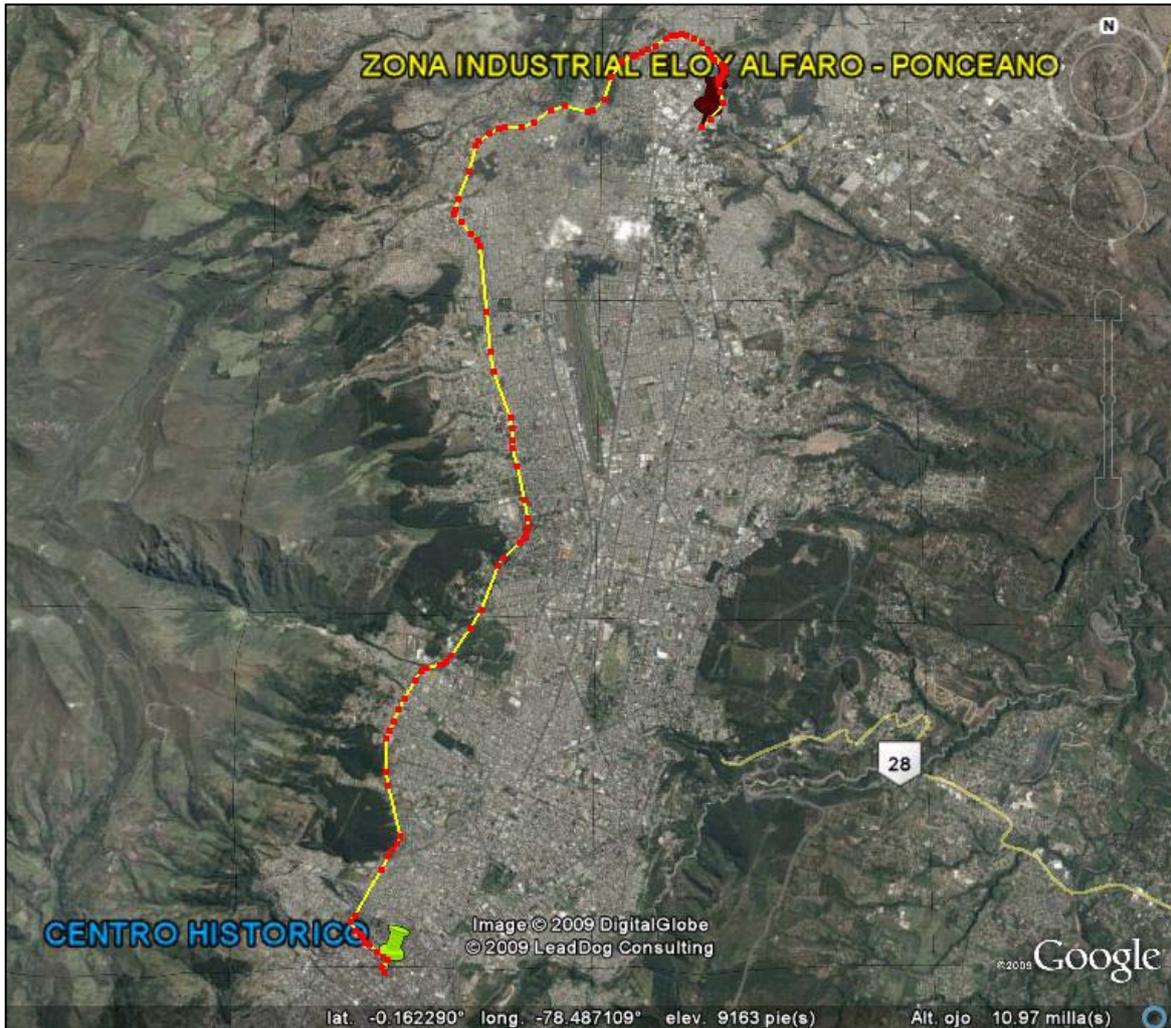
#### G. 1. 1 Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Calderón



Fuente: Generación Propia

Figura 12. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Calderón

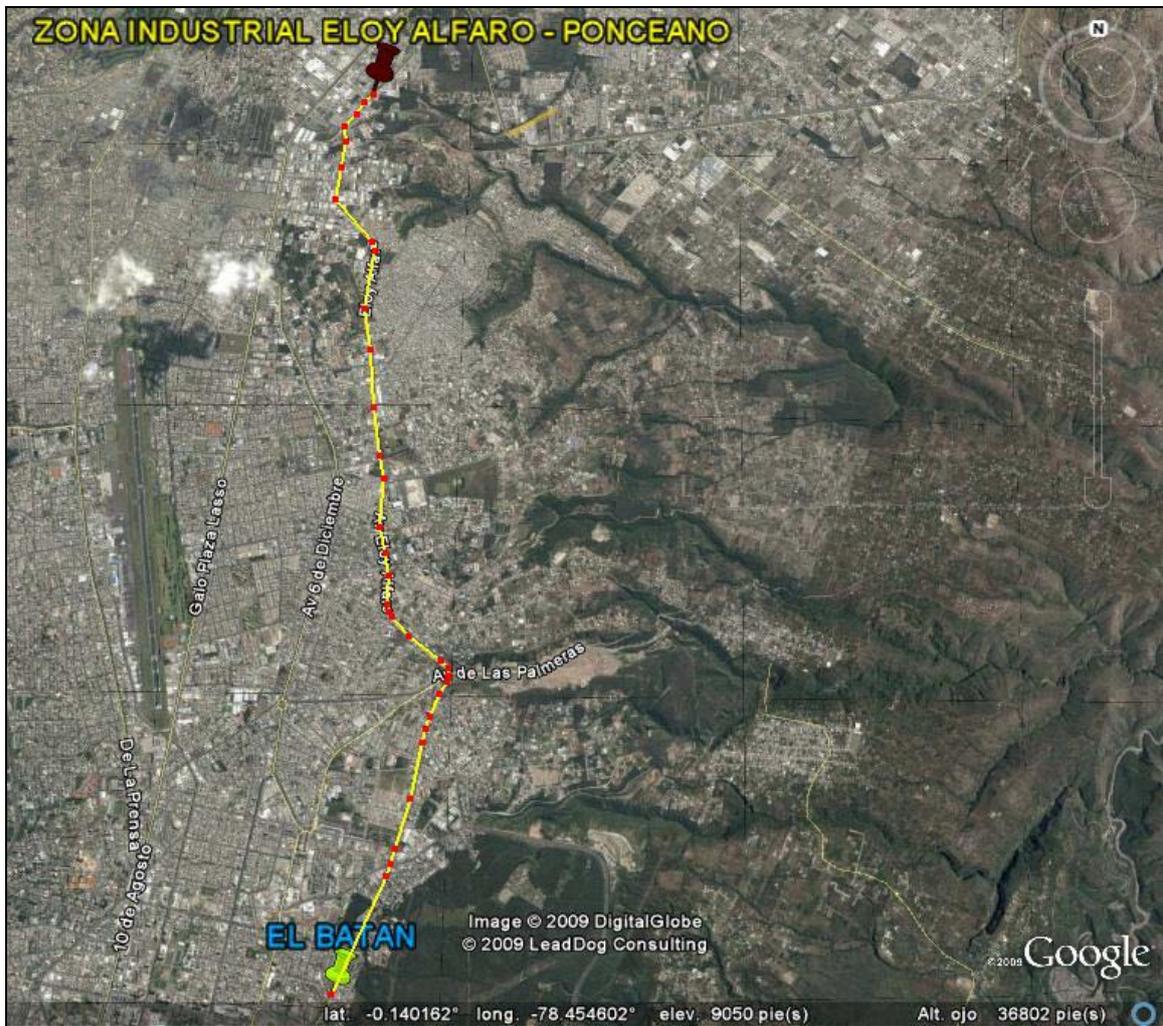
### G. 1. 2 Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Centro Histórico



Fuente: Generación Propia

Figura 13. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Centro Histórico

### G. 1. 3 Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a El Batán



Fuente: Generación Propia

Figura 14. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a El Batán

### G. 1. 4 Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a La Prensa



Fuente: Generación Propia

Figura 15. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a La Prensa

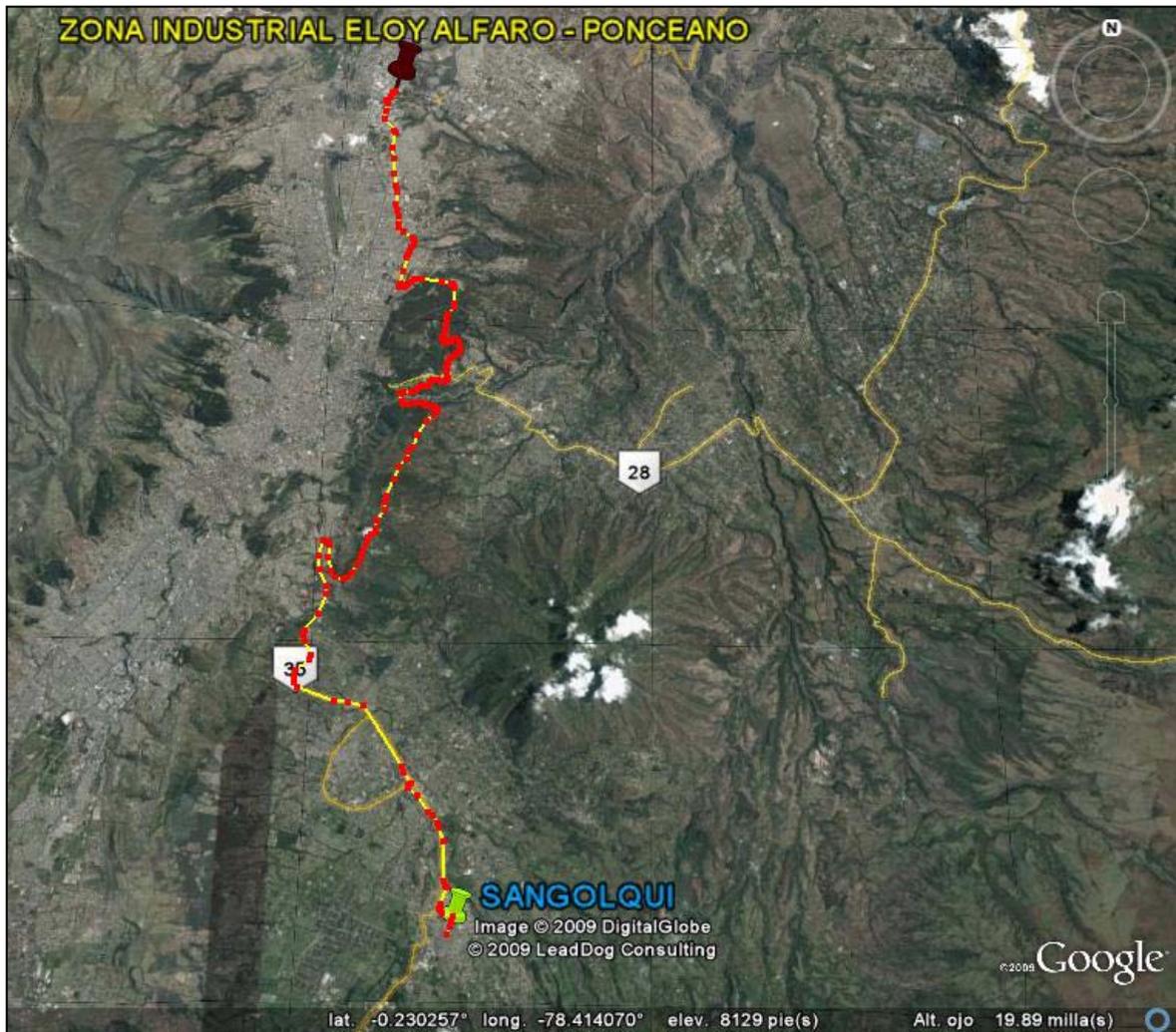
### G. 1. 5 Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Morán Valverde



Fuente: Generación Propia

Figura 16. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Morán Valverde

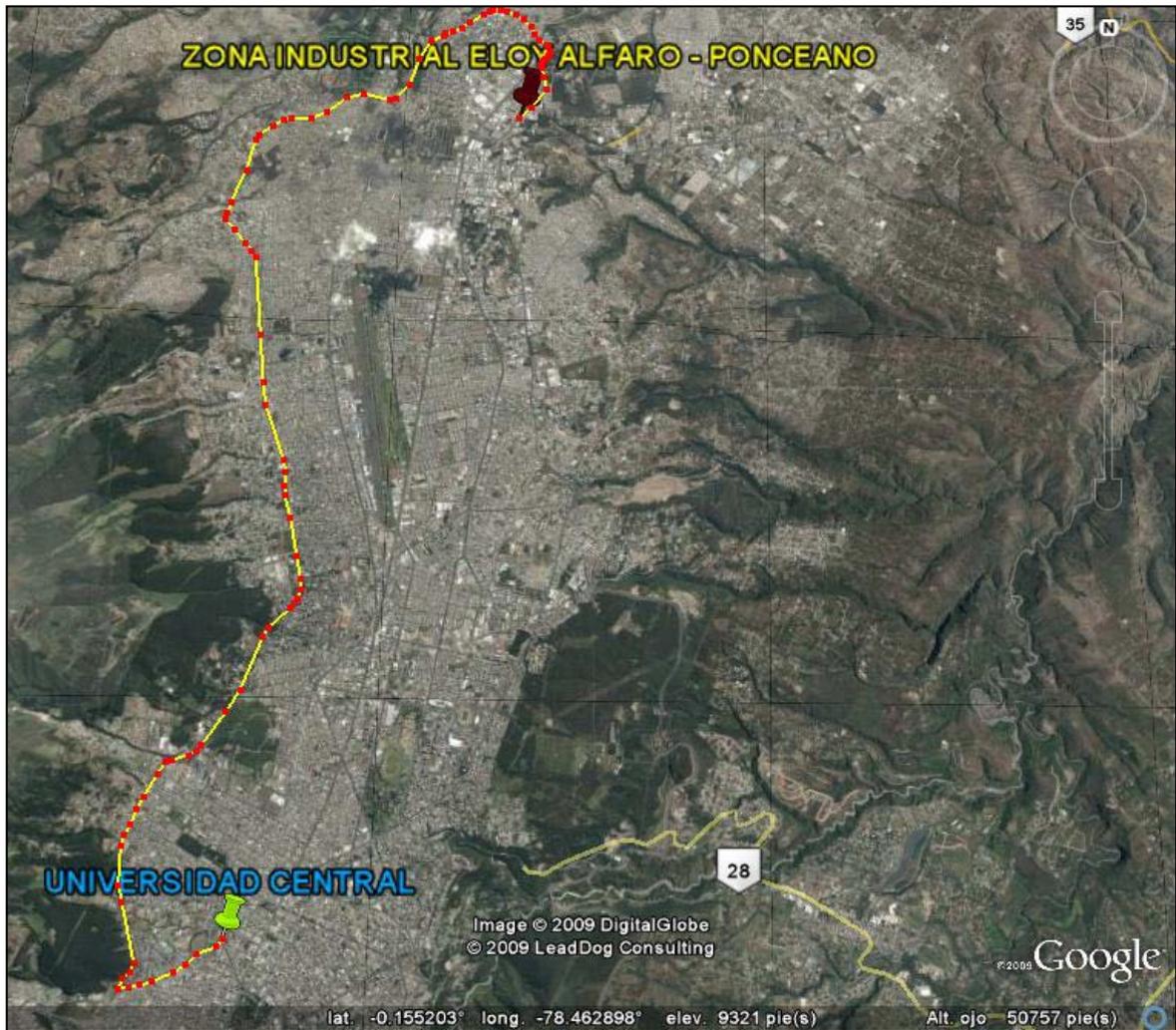
### G. 1. 6 Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Sangolqui



Fuente: Generación Propia

Figura 17. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Sangolqui

### G. 1. 7 Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Universidad Central



Fuente: Generación Propia

Figura 18. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Universidad Central

### G. 1. 8 Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Villaflora



Fuente: Generación Propia

Figura 19. Ruta Zona Industrial Ponceano – Eloy Alfaro a Villaflora

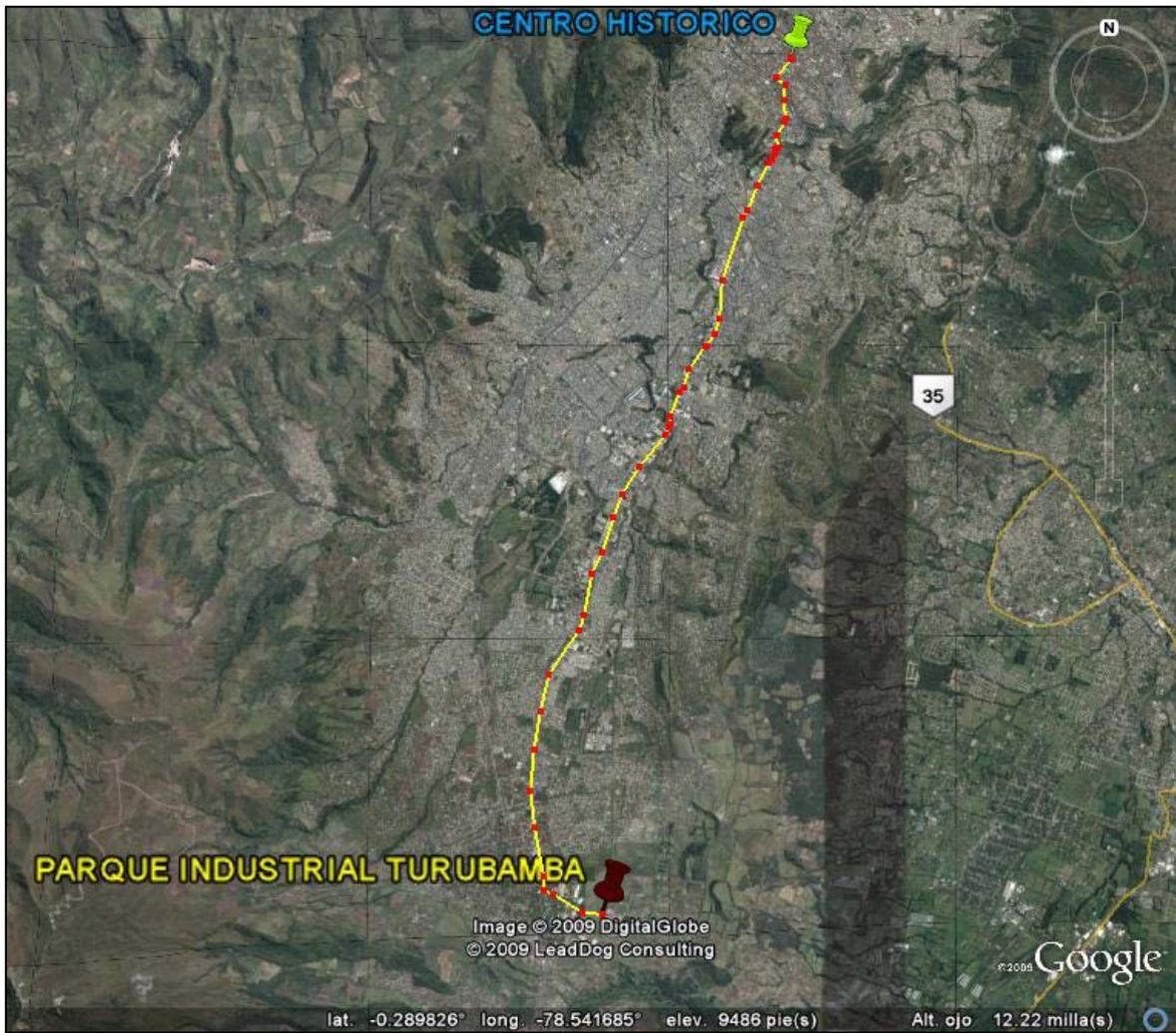
### G. 1. 9 Ruta Parque Industrial Guamani (Turubamba) a Calderón



Fuente: Generación Propia

Figura 20. Ruta Parque Industrial Turubamba a Calderón

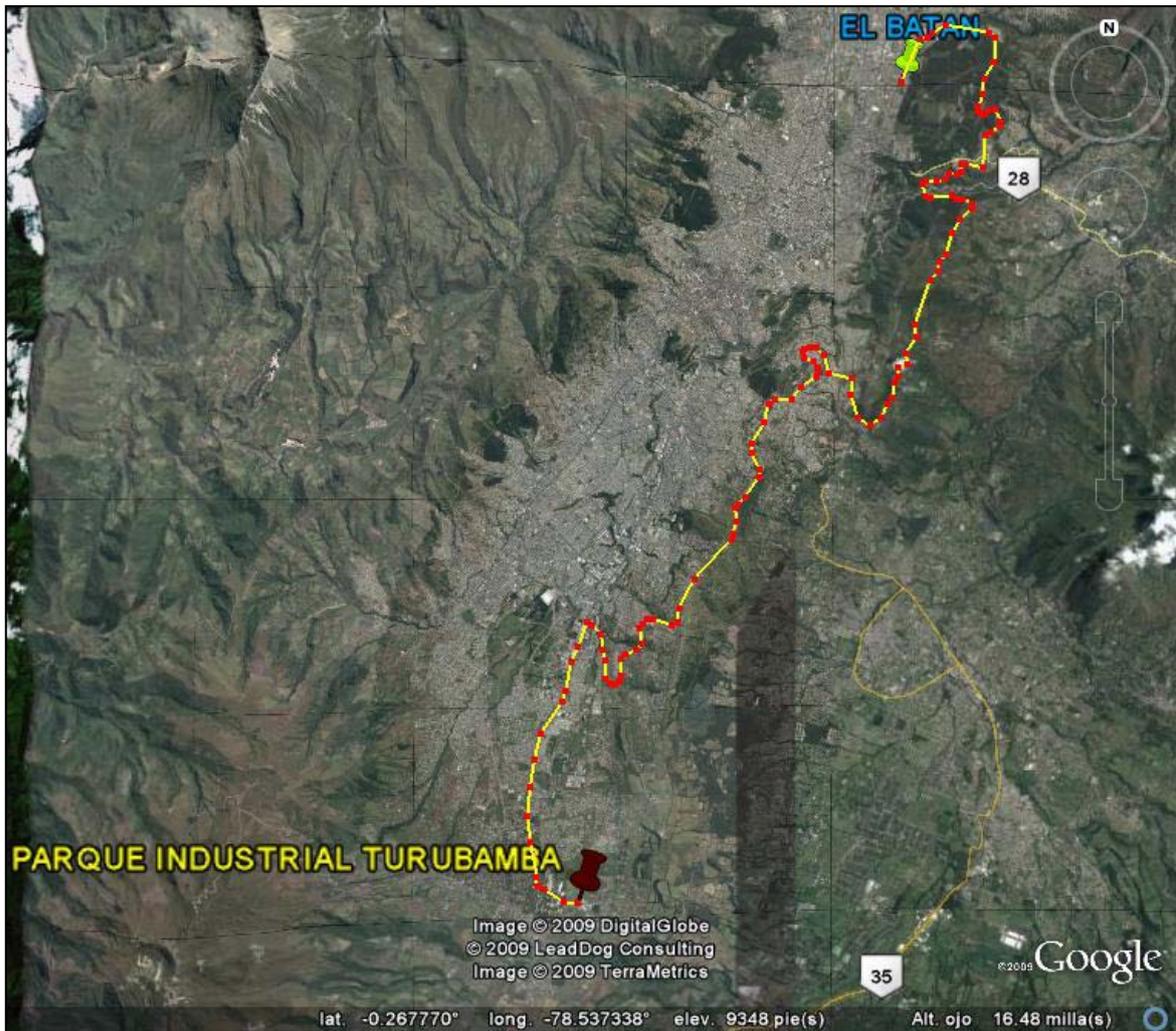
### G. 1. 10 Ruta Parque Industrial Guamaní (Turubamba) a Centro Histórico



Fuente: Generación Propia

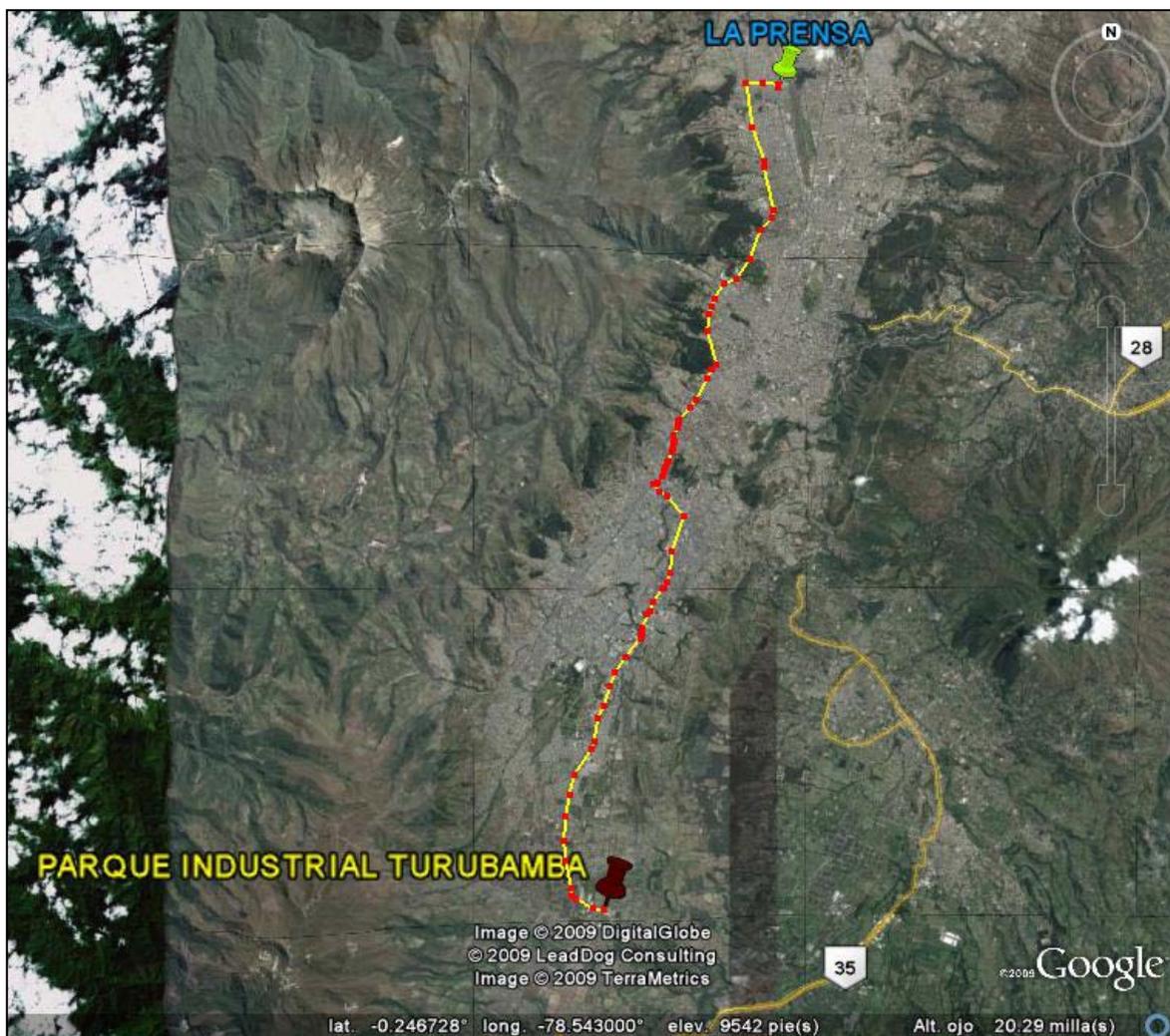
Figura 21. Ruta Parque Industrial Turubamba a Centro Histórico

### G. 1. 11 Ruta Parque Industrial Guamaní (Turubamba) a El Batán



Fuente: Generación Propia

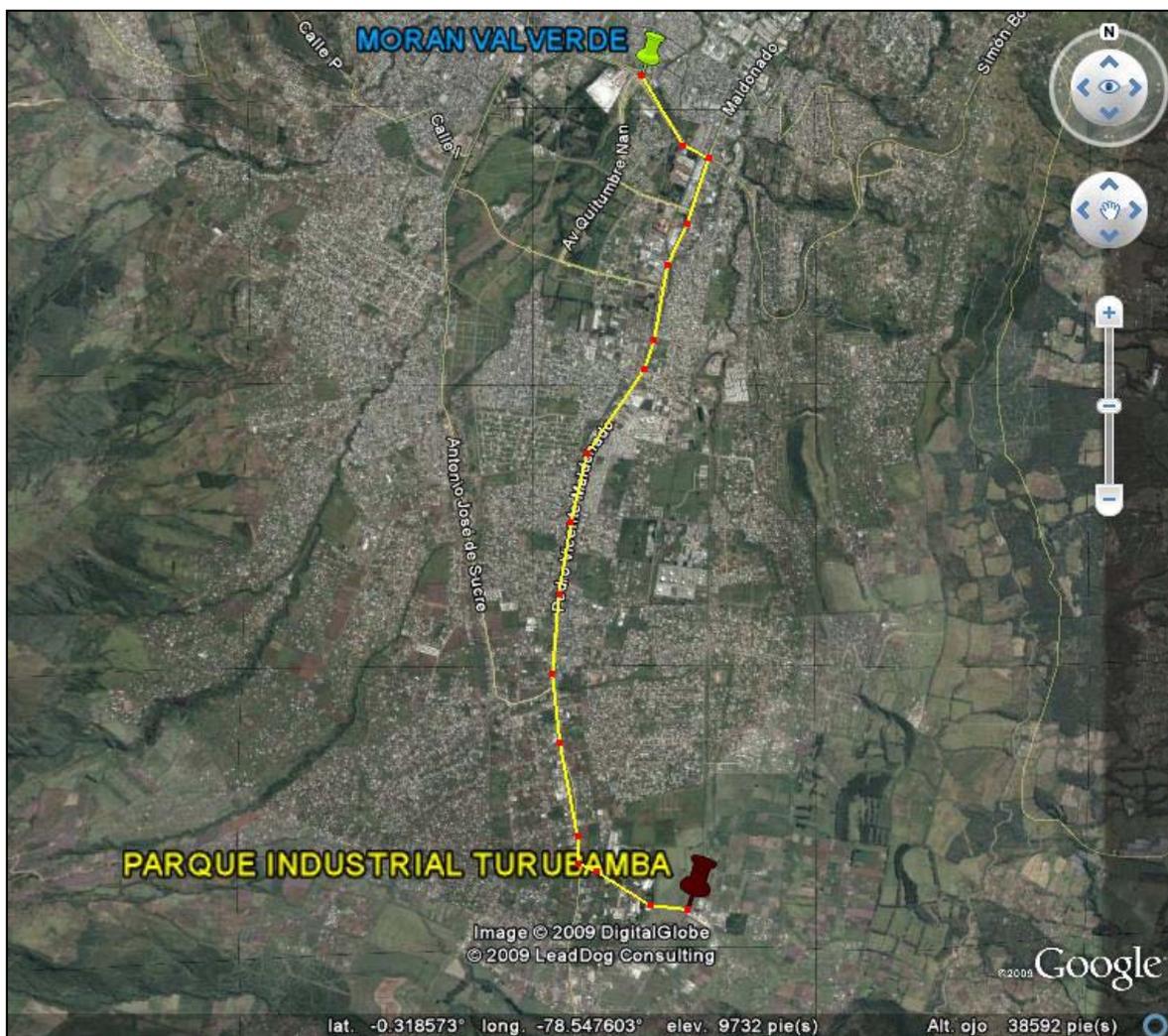
Figura 22. Ruta Parque Industrial Turubamba a El Batán

**G. 1. 12 Ruta Parque Industrial Guamaní (Turubamba) a La Prensa**

Fuente: Generación Propia

Figura 23. Ruta Parque Industrial Turubamba a La Prensa

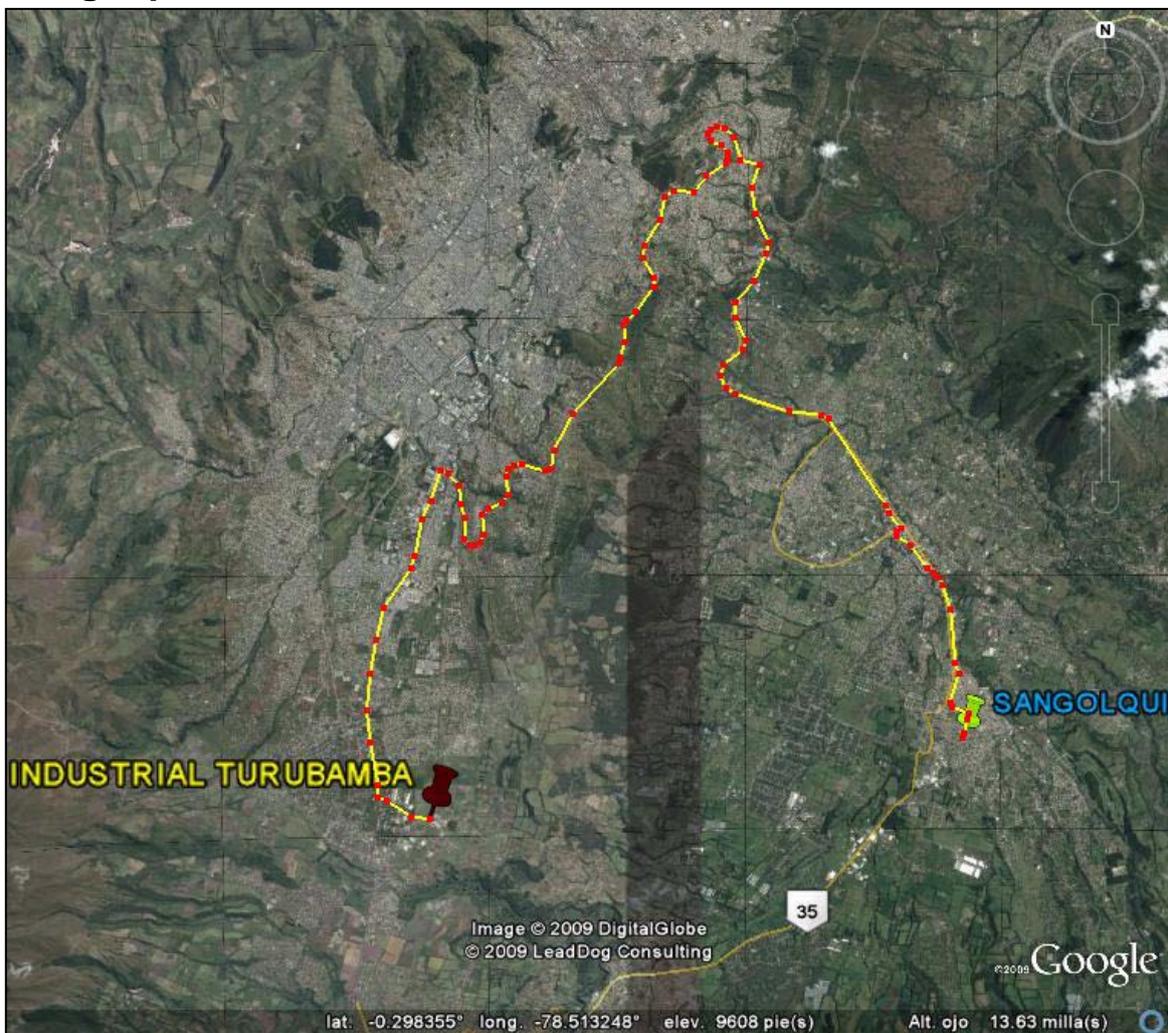
### G. 1. 13 Ruta Parque Industrial Guamaní (Turubamba) a Morán Valverde



Fuente: Generación Propia

Figura 24. Ruta Parque Industrial Turubamba a Morán Valverde

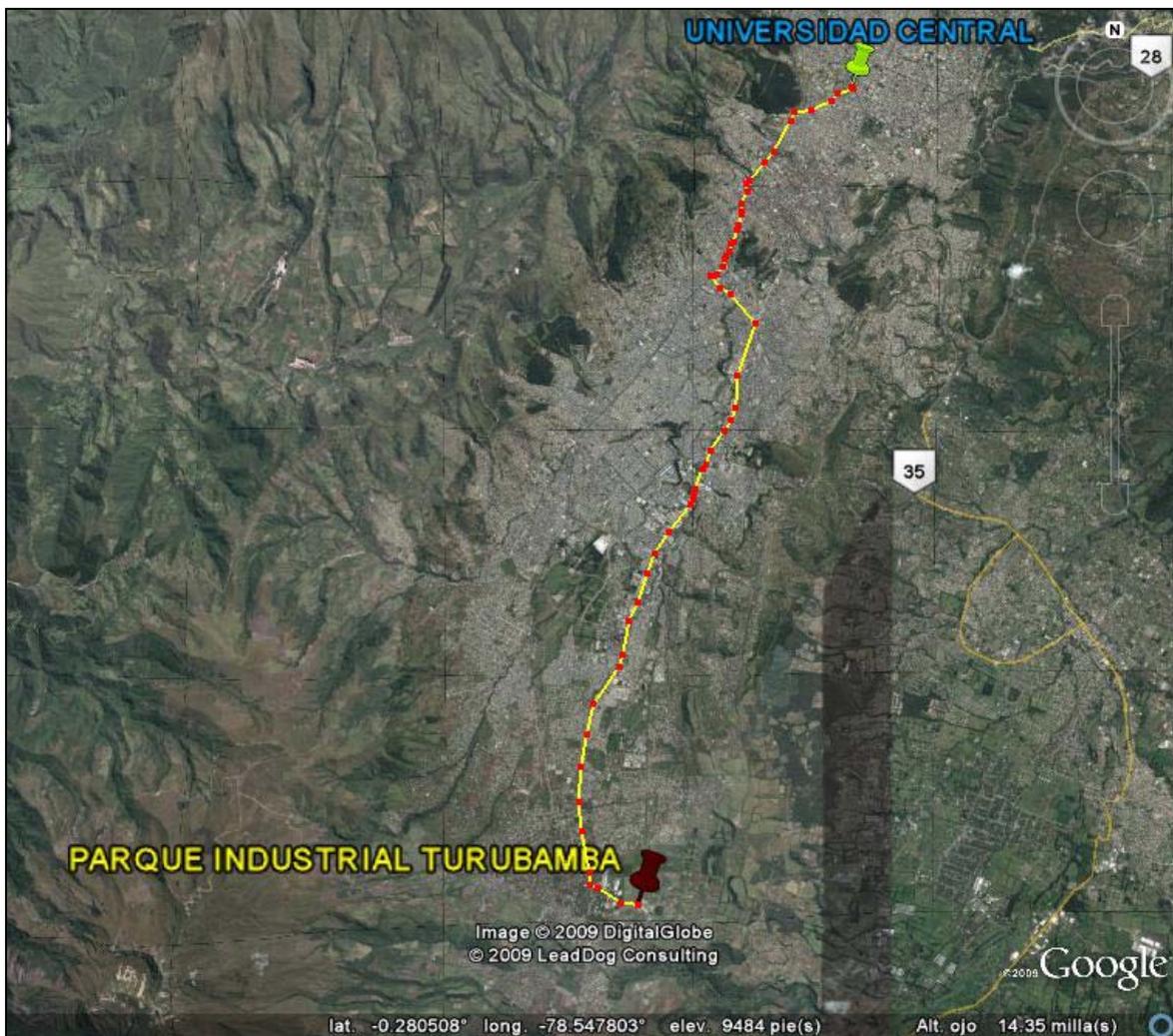
### G. 1. 14 Ruta Parque Industrial Guamaní (Turubamba) a Sangolquí



Fuente: Generación Propia

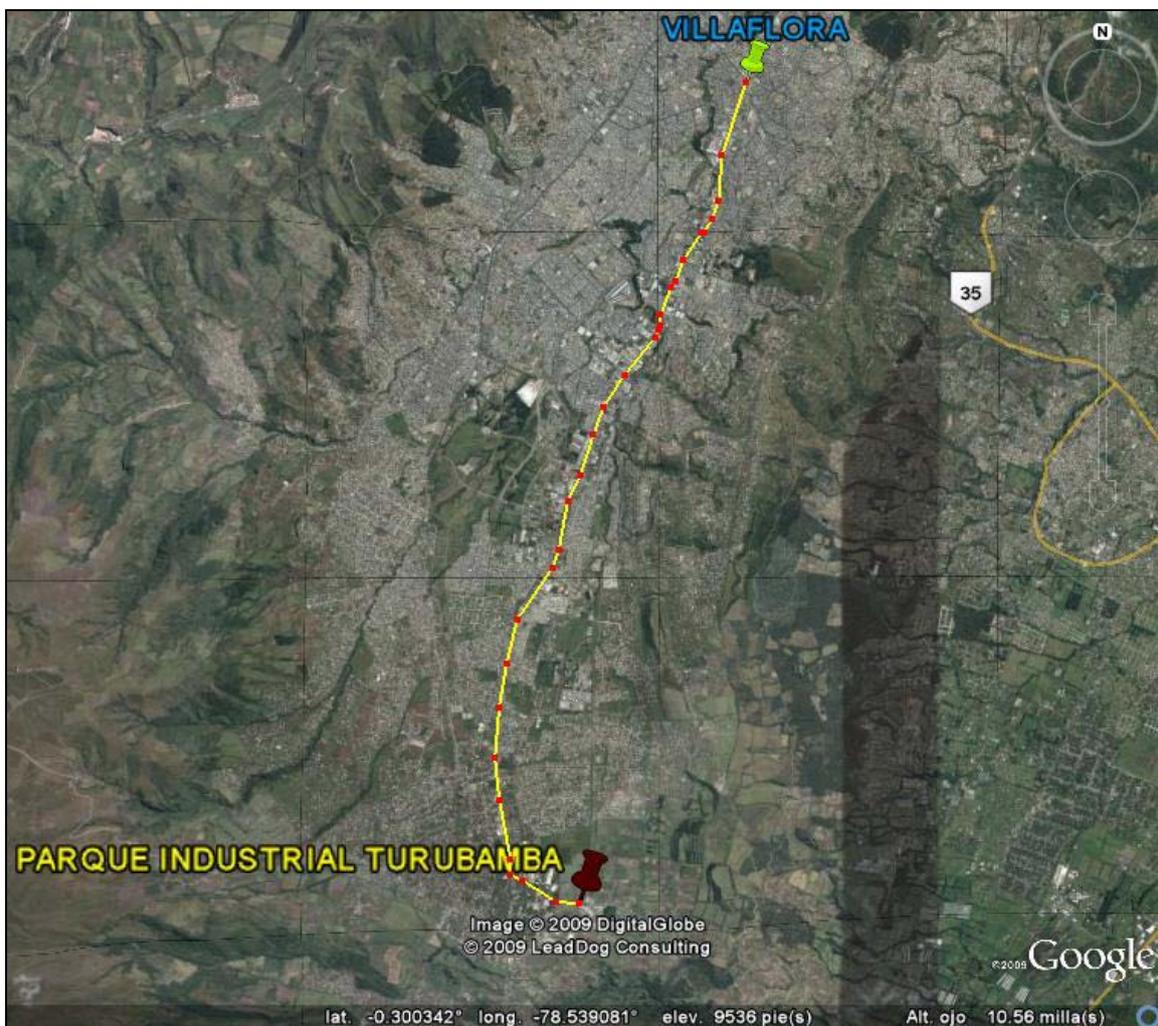
Figura 25. Ruta Parque Industrial Turubamba a Sangolquí

### G. 1. 15 Ruta Parque Industrial Guamaní (Turubamba) a Universidad Central



Fuente: Generación Propia

Figura 26. Ruta Parque Industrial Turubamba a Universidad Central

**G. 1. 16 Ruta Parque Industrial Guamaní (Turubamba) a Villaflora**

Fuente: Generación Propia

Figura 27. Ruta Parque Industrial Turubamba a Villaflora

## G. 2 Ruta Parque Industrial Guamaní (Turubamba) a Villaflora

Tabla 20. Distancias desde los Parques hasta los Clientes

		PARQUES Y ZONAS INDUSTRIALES (j)	
		1	2
CLIENTES (i)		TURUBAMBA	ELOY ALFARO - PONCEANO
1	UNIVERSIDAD CENTRAL	19.46	19.51
2	VILLAFLORA	13.00	23.27
3	MORAN VALVERDE	8.43	37.83
4	LA PRENSA	28.60	7.57
5	CALDERON	45.23	5.45
6	SANGOLQUI	35.36	37.44
7	CENTRO HISTÓRICO	16.05	20.15
8	EL BATAN	38.85	8.26

Tabla 21. Costos (cij) Basados en las Distancias entre Parques y Clientes

		PARQUES Y ZONAS INDUSTRIALES (j)	
		1	2
CLIENTES (i)		TURUBAMBA	ELOY ALFARO - PONCEANO
1	UNIVERSIDAD CENTRAL	2.61	2.62
2	VILLAFLORA	1.74	3.12
3	MORAN VALVERDE	1.13	5.08
4	LA PRENSA	3.84	1.02
5	CALDERON	6.07	0.73
6	SANGOLQUI	4.75	5.02
7	CENTRO HISTÓRICO	2.15	2.70
8	EL BATAN	5.21	1.11

## Anexo H. COSTOS DE FLETE UTILIZADOS EN MODELO 1-MEDIANA (COSTOS VARIABLES - C<sub>ij</sub>)

Tabla 22. Costos de Flete

COSTO MANTENIMIENTO	COSTO	KILÓMETROS	COSTO POR KILÓMETRO
DIESEL	1.07		0.052
ACEITE	33.00	3,000.00	0.011
LLANTAS	900.00	44,752.00	0.020
FILTROS	108.68	3,000.00	0.036
BATERÍAS	135.08	89,504.00	0.002
OTROS	581.00	44,752.00	0.013
<b>TOTAL MANTENIMIENTO POR KILÓMETRO</b>			<b>0.134</b>

Fuente: Empresa PHHP S.A.

## Anexo I. PROBLEMA 1-MEDIANA

### I. 1 Formulación del Modelo 1-Mediana en Lindo v6.1

Min  $2.61 x_{11} + 2.62 x_{12} + 1.74 x_{21} + 3.12 x_{22} + 1.13 x_{31} + 5.08 x_{32} + 3.84 x_{41}$   
 $+ 1.02 x_{42} + 6.07 x_{51} + 0.73 x_{52} + 4.75 x_{61} + 5.02 x_{62} + 2.15 x_{71} + 2.70 x_{72} +$   
 $5.21 x_{81} + 1.11 x_{82} + 280000 y_1 + 910000 y_2$

Subject to

$$x_{11} + x_{12} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} = 1$$

$$x_{31} + x_{32} = 1$$

$$x_{41} + x_{42} = 1$$

$$x_{51} + x_{52} = 1$$

$$x_{61} + x_{62} = 1$$

$$x_{71} + x_{72} = 1$$

$$x_{81} + x_{82} = 1$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} + x_{81} - 8y_1 \leq 0$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} + x_{82} - 8y_2 \leq 0$$

$$x_{11} \geq 0$$

$$x_{12} \geq 0$$

$$x_{21} \geq 0$$

$$x_{22} \geq 0$$

$$x_{31} \geq 0$$

$$x_{32} \geq 0$$

$$x_{41} \geq 0$$

$$x_{42} \geq 0$$

$$x_{51} \geq 0$$

$$x_{52} \geq 0$$

$$x_{61} \geq 0$$

$$x_{62} \geq 0$$

$$x_{71} \geq 0$$

$$x_{72} \geq 0$$

$$x_{81} \geq 0$$

$$x_{82} \geq 0$$

END

INTy1

INTy2

## I.2. Resultados obtenidos del Modelo 1-Mediana en Lindo v6.1

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 7

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 280027.5

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	1.000000	0.000000
X12	0.000000	5.350000
X21	1.000000	0.000000
X22	0.000000	6.720000
X31	1.000000	0.000000
X32	0.000000	9.290000
X41	1.000000	0.000000
X42	0.000000	2.520000
X51	1.000000	0.000000
X52	0.000000	0.000000
X61	1.000000	0.000000
X62	0.000000	5.610000
X71	1.000000	0.000000
X72	0.000000	5.890000
X81	1.000000	0.000000
X82	0.000000	1.240000
Y1	1.000000	0.000000
Y2	0.000000	629957.250000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	-35002.609375
3)	0.000000	-35001.738281
4)	0.000000	-35001.128906
5)	0.000000	-35003.839844
6)	0.000000	-35006.070312
7)	0.000000	-35004.750000
8)	0.000000	-35002.148438
9)	0.000000	-35005.210938
10)	0.000000	35000.000000
11)	0.000000	35005.339844
12)	1.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	1.000000	0.000000
15)	0.000000	0.000000
16)	1.000000	0.000000
17)	0.000000	0.000000
18)	1.000000	0.000000
19)	0.000000	0.000000
20)	1.000000	0.000000
21)	0.000000	0.000000
22)	1.000000	0.000000
23)	0.000000	0.000000
24)	1.000000	0.000000

25)	0.000000	0.000000
26)	1.000000	0.000000
27)	0.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 7

## Anexo J. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA EL PROBLEMA RECTILÍNEO 1-MEDIANA (MINISUMA)

Tabla 23. Criterio Volumen del Negocio

Volumen del Negocio		
Descripción	Escala	Rango
muy alto	9	(50,202.89 ; 60,983.86]
alto	7	(39,421.92 ; 50,202.89]
medio	5	(28,640.94 ; 39,421.92]
bajo	3	(17,859.97 ; 28,640.94]
muy bajo	1	[7,079.00; 17,859.97]

Tabla 24. Criterio Accesibilidad

ACCESIBILIDAD							Calificación
Ubicación Potencial	Número de vías	1 carril ida y vuelta	2 carriles ida y vuelta	3 carriles ida y vuelta	4 carriles ida y vuelta	4 carriles ida	
Calderón	2		x		x		5
U. Central	3		x x			x	5
Villaflora	5		x x x x		x		9
Moran Valverde	5		x x x x	x			7
La Prensa	2		x		x		5
Sangolqui	1		x				1
Centro Histórico	1	x					1
El batán	2	x	x				3

Tabla 25. Criterio Movilización

Movilización		
Descripción	Escala	# líneas de buses
muy bueno	9	(38.6 ; 48]
bueno	7	(29.2 ; 38.6]
regular	5	(19.8 ; 29.2]
bajo	3	(10.4 ; 19.8]
muy bajo	1	[1 ; 10.4]

**Anexo K. RESULTADO MODELO RECTILÍNEO 1-MEDIANA**

Fuente: Generación Propia

Figura 28. Resultado Modelo Rectilíneo 1-Mediana

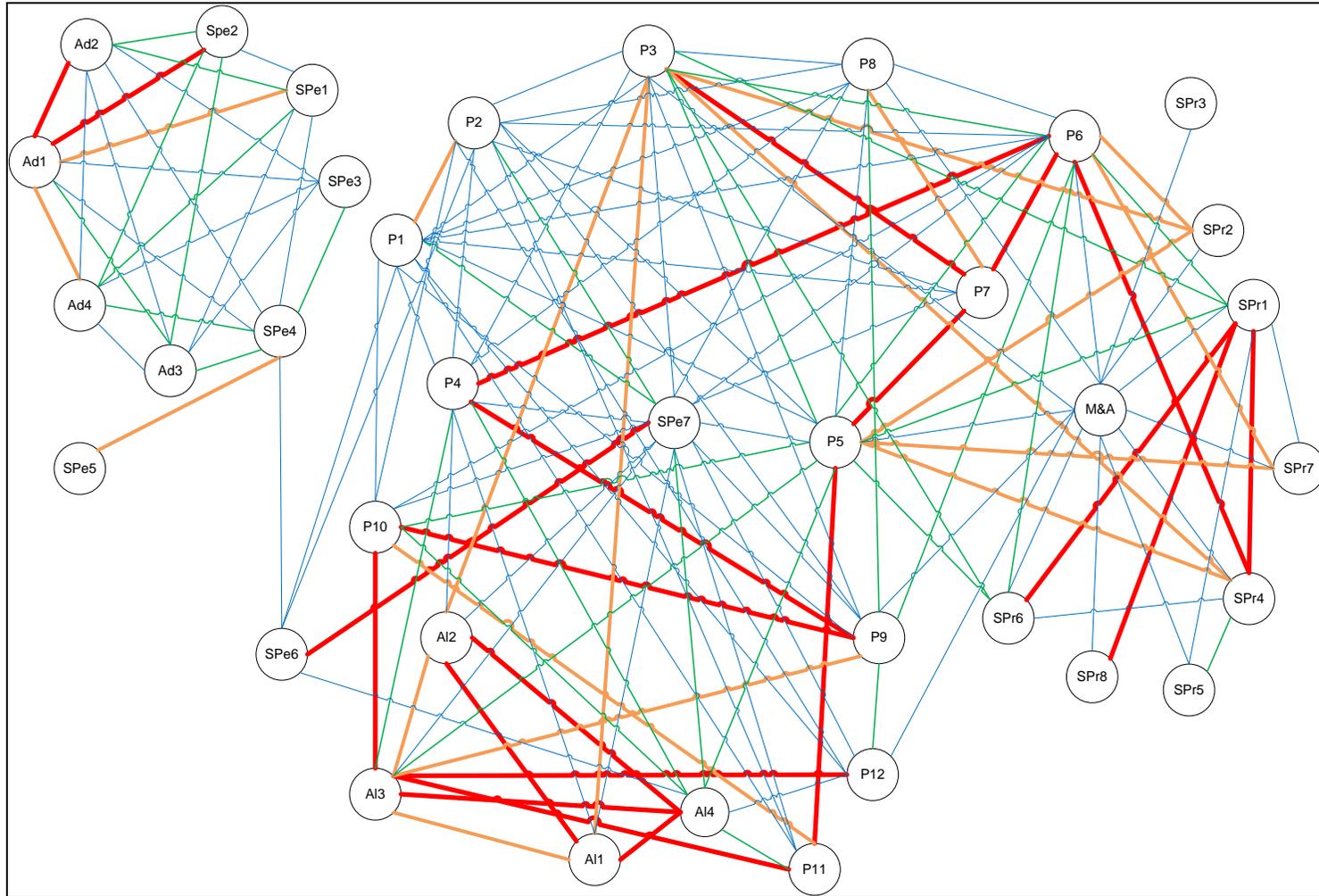
## Anexo L. SLP (SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING)

### L.1. Diagrama de Relaciones

Para legibilidad del gráfico se han omitido las líneas con cercanía X, es decir, No conveniente. Por esto se explica a través de este cuadro las relaciones X entre departamentos:

Tabla 26. Relación X entre Departamentos

<u>GRUPO DE DEPARTAMENTOS</u>		<u>GRUPO DE DEPARTAMENTOS</u>
Ad1 – Ad4	con	SPr1 – SPr8
Ad1 – Ad4	con	P3 – P12
SPE3	con	SPr1 – SPr8
SPE5	con	SPr1 – SPr8
SPE5	con	P3 – P12
AI1 – AI3	con	SPr1, SPr3, SPr6
P7 – P12	con	SPr1, SPr3, SPr6
Ad1	con	SPE5
Ad1, Ad2	con	SPE5



Fuente: Generación Propia

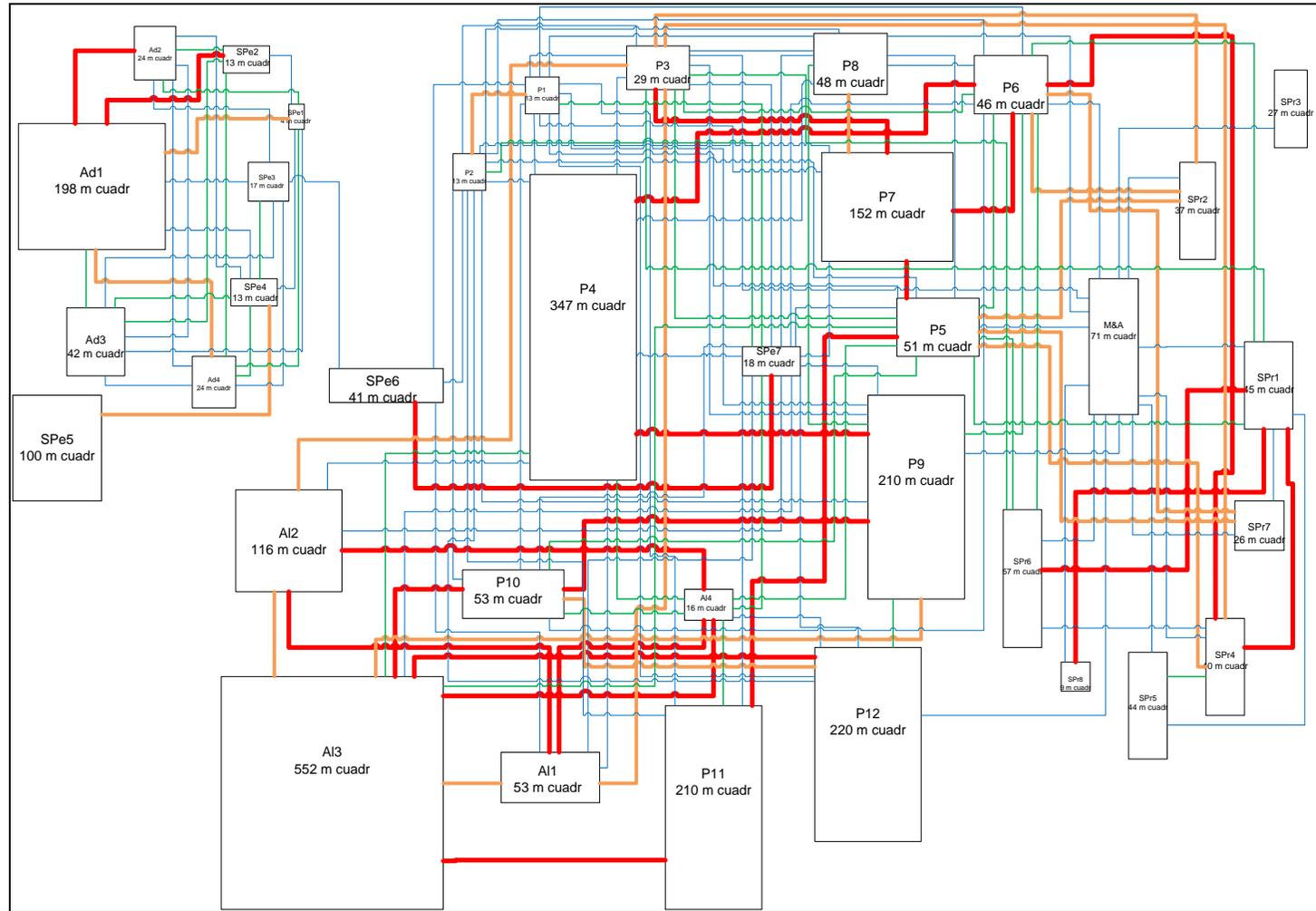
Figura 29. Diagrama de Relaciones

## L.2. Diagrama de Relaciones de Espacio

Para legibilidad del gráfico se han omitido las líneas con cercanía X, es decir, No conveniente. Por esto se explica a través de este cuadro las relaciones X entre departamentos:

Tabla 27. Relación X entre Departamentos

<u>GRUPO DE DEPARTAMENTOS</u>		<u>GRUPO DE DEPARTAMENTOS</u>
Ad1 – Ad4	con	SPr1 – SPr8
Ad1 – Ad4	con	P3 – P12
SPe3	con	SPr1 – SPr8
SPe5	con	SPr1 – SPr8
SPe5	con	P3 – P12
AI1 – AI3	con	SPr1, SPr3, SPr6
P7 – P12	con	SPr1, SPr3, SPr6
Ad1	con	SPe5
Ad1, Ad2	con	SPe5

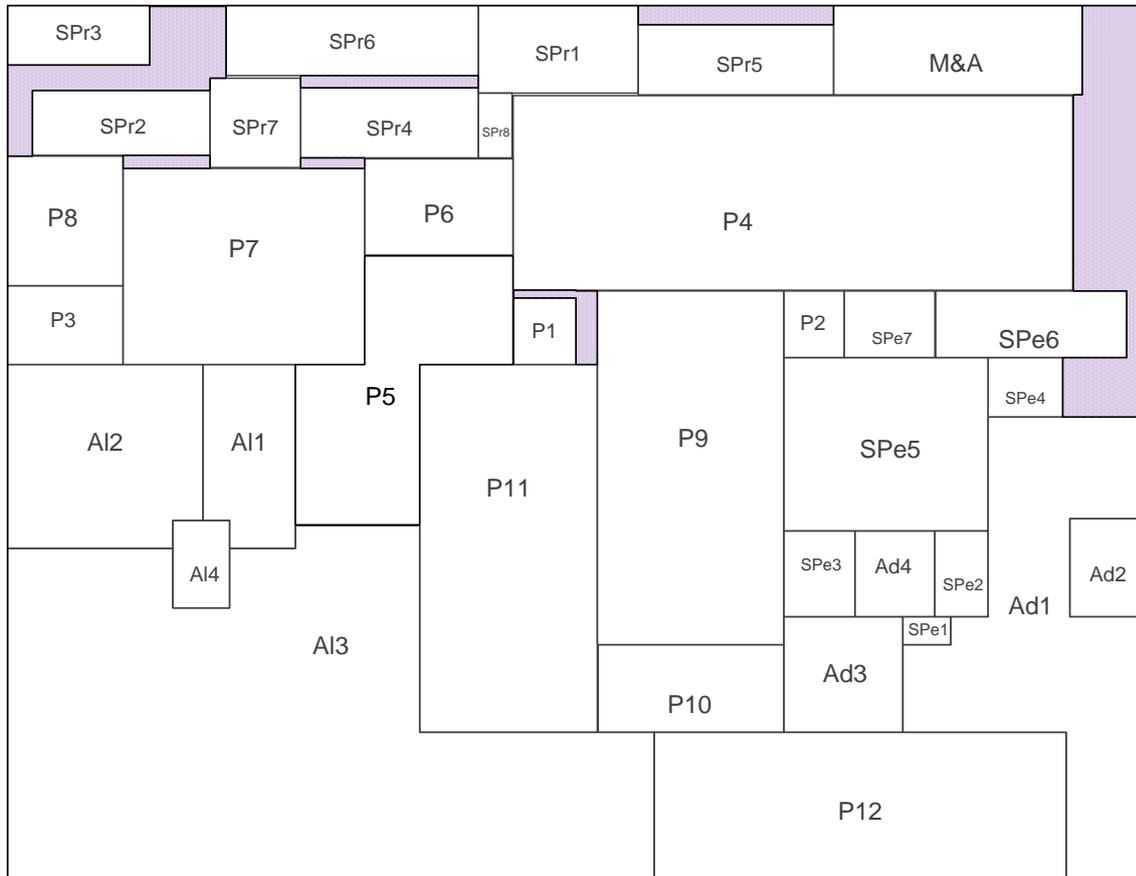


Fuente: Generación Propia

Figura 30. Diagrama de Relaciones de Espacio

### L.3. Alternativas de layout o disposición de departamentos

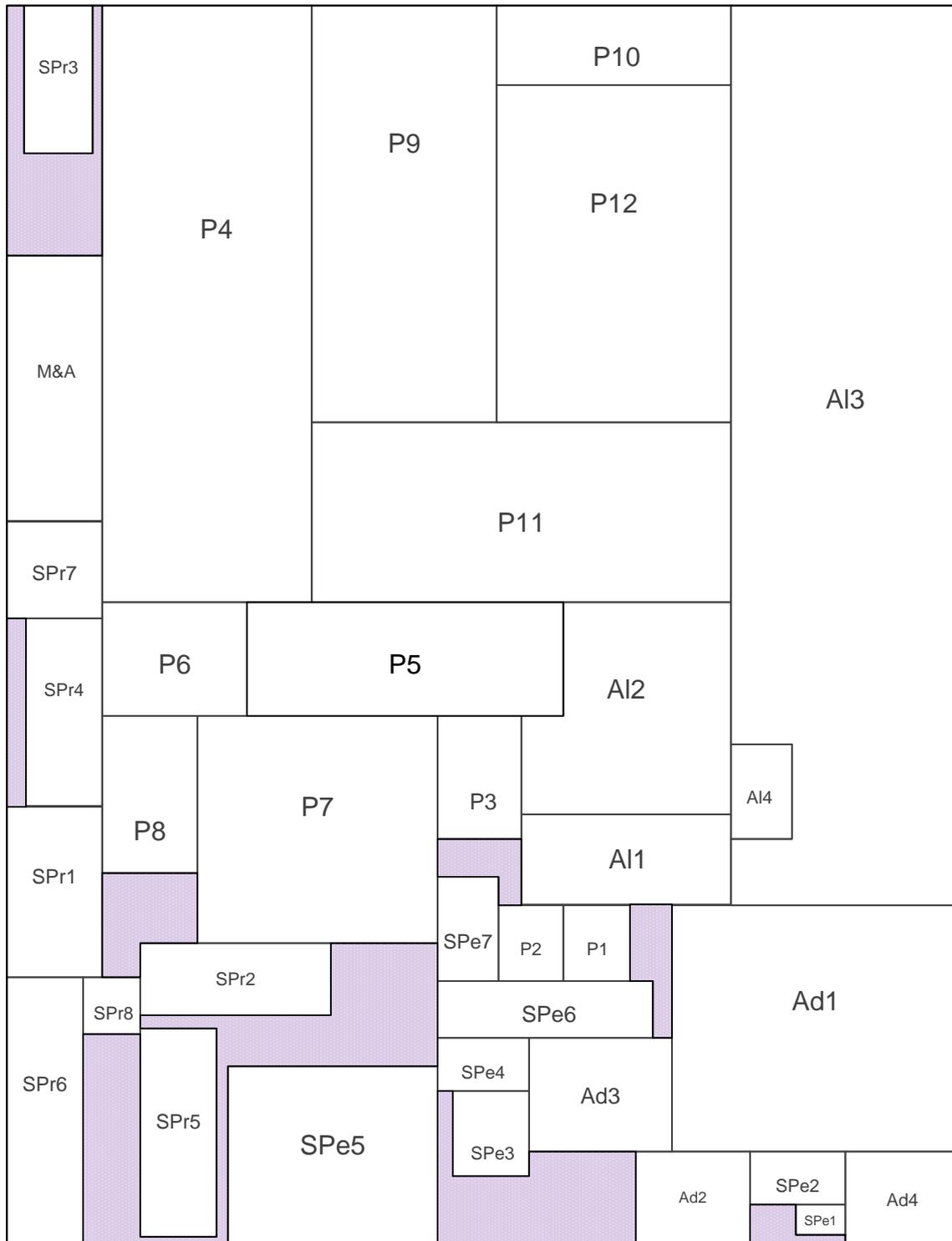
#### L.3.1 Alternativa A



Fuente: Generación Propia

Figura 31. Alternativa A

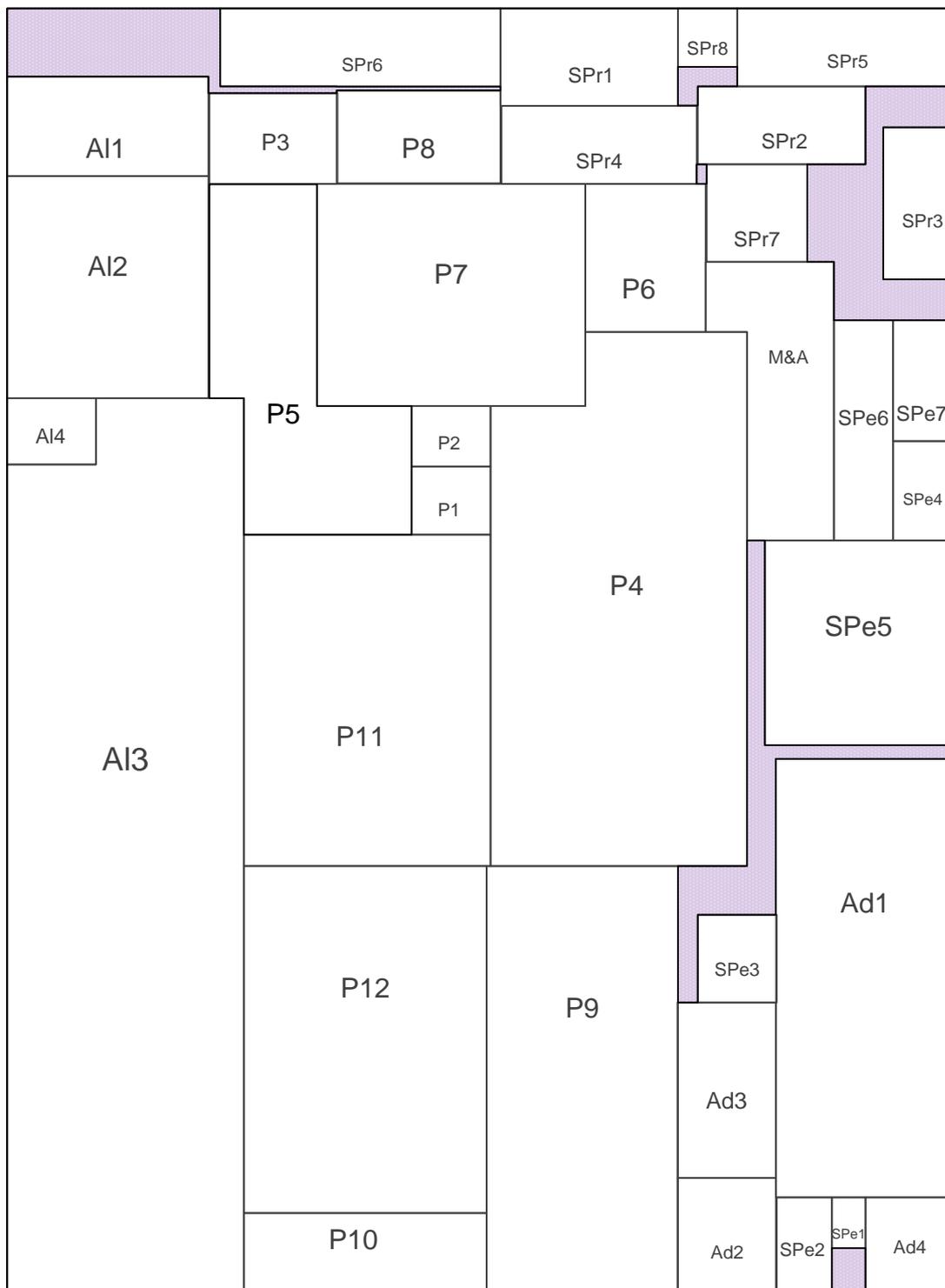
**L.3.2 Alternativa B**



Fuente: Generación Propia

Figura 32. Alternativa B

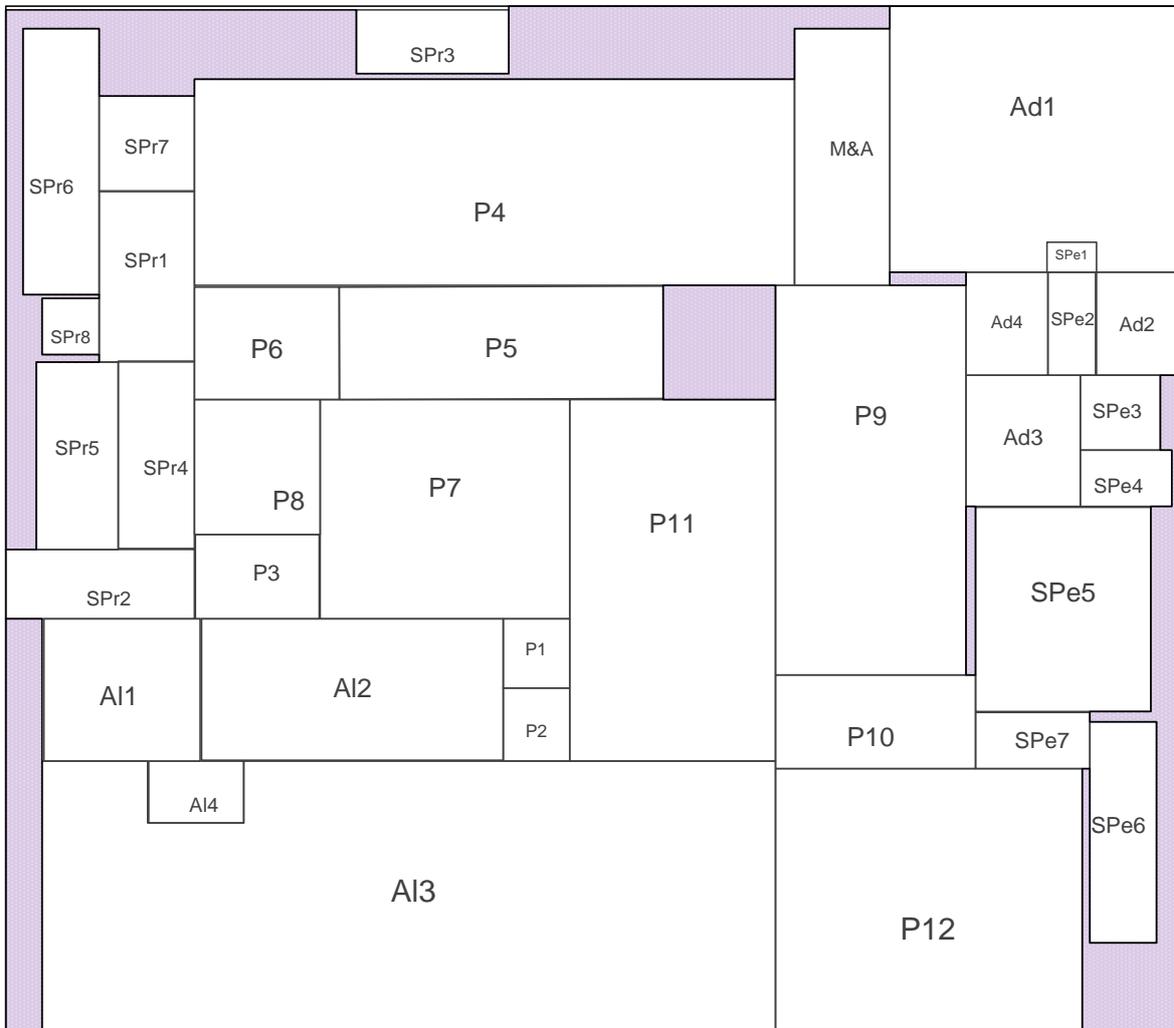
**L.3.3 Alternativa C**



Fuente: Generación Propia

Figura 33. Alternativa C

**L.3.4 Alternativa D**



Fuente: Generación Propia

Figura 34. Alternativa D

### L.3.5 Tabla de Calificación de Factores

Tabla 28. Factores Ponderados

FACTOR/CRITERIO	PESO	Calificación								ALTERNATIVAS PONDERADAS			
		A		B		C		D		A	B	C	D
		N°	Letra	N°	Letra	N°	Letra	N°	Letra				
<u>Calificación de eficiencia</u>	0.35	0	U	4	A	1	O	4	A	0	1.4	0.35	1.4
<u>Flexibilidad</u>	0.15	1	O	3	E	2	I	2	I	0.15	0.45	0.3	0.3
<u>Facilidad de supervisión y de control</u>	0.15	2	I	0	U	4	A	3	E	0.3	0	0.6	0.45
<u>Utilización de las superficies</u>	0.1	4	A	1	O	4	A	0	U	0.4	0.1	0.4	0
<u>Facilidad de una futura expansión</u>	0.25	2	I	3	E	2	I	4	A	0.5	0.75	0.5	1
<b>TOTALES</b>										<b>1.35</b>	<b>2.7</b>	<b>2.15</b>	<b>3.15</b>



## M.2. Tabla Adyacencias

### M.2.1. Alternativa A

Ad1	Ad2	Ad3	Ad4	SPe1	SPe2	SPe3	SPe4	SPe5	SPe6	SPe7	AI1	AI2	AI3	AI4	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	M&A	SPR1	SPR2	SPR3	SPR4	SPR5	SPR6	SPR7	SPR8						
																																				Oficinas	Ad1				
																																						Recepción	Ad2		
																																							Sala de Capacitación	Ad3	
																																							Sala de Reuniones	Ad4	
																																							Cafetería	SPe1	
																																							Baños Administración	SPe2	
																																							Centro Médico	SPe3	
																																							Baño Social	SPe4	
																																							Cocina - Comedor	SPe5	
																																							Vestidores	SPe6	
																																								Baños Planta	SPe7
																																								Bodega Materia Prima	AI1
																																								Depósito Industrial	AI2
																																								Bodega Producto Terminado	AI3
																																								Oficina de Despachos	AI4
																																								Oficina de Producción	P1
																																								Oficina de Control de Calidad	P2
																																								Pre-expansión	P3
																																								Reposo Bloques	P4
																																								Moldeo	P5
																																								Bloquera	P6
																																								Silos	P7
																																								Molino	P8
																																								Corte	P9
																																								Embalaje	P10
																																								Impresión	P11
																																								Panelera	P12
																																								Taller Mecánico	M&A
																																								Caldero	SPR1
																																								Compresores - Pulmones	SPR2
																																								Camara de Transformación	SPR3
																																								Acumulador de vapor	SPR4
																																								Cistema - Tanque Presurizado (bomba)	SPR5
																																								Tanque Bunker	SPR6
																																								Torre de Enfriamiento	SPR7
																																								Tanque Diario - Ablandador	SPR8

Adyacente	1
No Adyacente	0

Fuente: Generación Propia

Figura 36. Adyacencia Alternativa A

### M.2.2. Alternativa B

Ad1	Ad2	Ad3	Ad4	SPe1	SPe2	SPe3	SPe4	SPe5	SPe6	SPe7	AI1	AI2	AI3	AI4	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	M&A	SPR1	SPR2	SPR3	SPR4	SPR5	SPR6	SPR7	SPR8												
* Oficinas	Recepción	Sala de Capacitación	Sala de Reuniones	Cafetería	Baños Administración	Centro Médico	Baño Social	Cocina - Comedor	Vestidores	Baños Planta	Bodega Materia Prima	Depósito Industrial	Bodega Producto Terminado	Oficina de Despachos	Oficina de Producción	Oficina de Control de Calidad	Pre-expansión	Reposo Bloques	Moldeo	Bloquera	Silos	Molino	Corte	Embalaje	Impresión	Panelera	Taller Mecánico	Caldero	Compresores - Pulmones	Camara de Transformación	Acumulador de vapor	Cistema - Tanque Presurizado (bomba)	Tanque Bunker	Torre de Enfriamiento	Tanque Diario - Ablandador												
	1																																				Oficinas	Ad1									
	*	1																																					Recepción	Ad2							
		*	1																																					Sala de Capacitación	Ad3						
			*	1																																				Sala de Reuniones	Ad4						
				*	1																																			Cafetería	SPe1						
					*	1																																		Baños Administración	SPe2						
						*	1																																	Centro Médico	SPe3						
							*	1																																Baño Social	SPe4						
								*	1																															Cocina - Comedor	SPe5						
									*	1																														Vestidores	SPe6						
										*	1																														Baños Planta	SPe7					
											*	1																													Bodega Materia Prima	AI1					
												*	1																												Depósito Industrial	AI2					
													*	1																											Bodega Producto Terminado	AI3					
														*	1																										Oficina de Despachos	AI4					
															*	1																									Oficina de Producción	P1					
																*	1																								Oficina de Control de Calidad	P2					
																	*	1																							Pre-expansión	P3					
																		*	1																						Reposo Bloques	P4					
																			*	1																					Moldeo	P5					
																				*	1																				Bloquera	P6					
																					*	1																			Silos	P7					
																						*	1																		Molino	P8					
																							*	1																	Corte	P9					
																								*	1																	Embalaje	P10				
																									*	1																Impresión	P11				
																										*	1															Panelera	P12				
																											*	1														Taller Mecánico	M&A				
																												*	1													Caldero	SPR1				
																													*	1													Compresores - Pulmones	SPR2			
																														*	1												Camara de Transformación	SPR3			
																															*	1												Acumulador de vapor	SPR4		
																															*	1												Cistema - Tanque Presurizado (bomba)	SPR5		
																															*	1													Tanque Bunker	SPR6	
																															*	1													Torre de Enfriamiento	SPR7	
																															*	1														Tanque Diario - Ablandador	SPR8

Adyacente	1
No Adyacente	0

Fuente: Generación Propia

Figura 37. Adyacencia Alternativa B







### M.3. Datos Calificación de Eficiencia

Tabla 29. Cálculo de Calificación de Eficiencia

	ALTERNATIVAS				ACTUAL
	A	B	C	D	
$\sum f_{ij}$	130	140	133	145	86
$-\sum f_{ij}$	143	148	145	146	149
Total Suma Numerador	273	288	278	291	235
Total Suma Denominador	427	427	427	427	427
Calificación Eficiencia (z)	0.64	0.67	0.65	0.68	0.55
Calificación Eficiencia % (z)	63.93	67.45	65.11	68.15	55.04

## M.4. Rangos para la Calificación de Criterios

Tabla 30. Rangos Calificación de Eficiencia

<b>Calificación de eficiencia</b>			<b>Alternativas</b>
<b>Descripción</b>	<b>Escala</b>	<b>Rango</b>	
Excelente	4	(67.31; 68.15]	B, D
Muy Bueno	3	(66.46; 67.31]	
Bueno	2	(65.62; 66.46]	
Regular	1	(64.78; 65.62]	C
No Relevante	0	[63.93; 64.78]	A

Tabla 31. Rangos Utilización de Superficies

<b>Utilización de las superficies</b>			<b>Alternativas</b>
<b>Descripción</b>	<b>Escala</b>	<b>Rango</b>	
Excelente	4	(0.95; 0.96]	A, C
Muy Bueno	3	(0.94; 0.95]	
Bueno	2	(0.93; 0.94]	
Regular	1	(0.92; 0.93]	B
No Relevante	0	[0.91; 0.92]	D

Tabla 32. Rangos Facilidad de Futura Expansión

<b>Facilidad de una futura expansión</b>			<b>Alternativas</b>
<b>Descripción</b>	<b>Escala</b>	<b>Rango</b>	
Excelente	4	(252; 315]	D
Muy Bueno	3	(189; 252]	B
Bueno	2	(126; 189]	A, C
Regular	1	(63; 126]	
No Relevante	0	[0; 63]	