



Universidad Austral de Chile

Escuela de Ingeniería Civil Industrial
Sede Puerto Montt

**PROFESOR PATROCINANTE:
MAG. CÉSAR GUSTAVO PINO SOTO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS DE LAYOUT DE PLANTA
EN EMPRESA
BITUMIX SUCURSAL MAULE VII REGIÓN**

Trabajo de Titulación
para optar
al título de **Ingeniero Civil Industrial**

CAROLINA ANDREA BARRÍA PÉREZ

**PUERTO MONTT – CHILE
2009**

*"Enseñarás a volar,
pero no volarán tu vuelo.*

*Enseñarás a soñar,
pero no soñarán tu sueño.*

*Enseñarás a vivir,
pero no vivirán tu vida.*

*Sin embargo...
en cada vuelo,
en cada vida,
en cada sueño,
perdurará siempre la huella
del camino enseñado."*

Madre Teresa De Calcuta

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a Dios por estar finalizando una de las etapas más importante en mi vida, por haberme otorgado serenidad y fortaleza en momentos difíciles de mi pasar por la vida, por darme la sabiduría para quemar cada uno de los procesos académicos y de formación, y por darme la oportunidad de conocer a tanta gente especial a lo largo de mi vida. En especial quiero referirme a mi familia, que han proporcionado el apoyo necesario en cada una de las metas que me he impuesto y por ser uno de los pilares fundamentales en mi vida. En lo que es mi vocación profesional quiero agradecer en forma particular a mi padrino Johnny Lama Jamarne.

En mi proceso de formación académica y espiritual se ha destacado el Profesor César Pino a quien quiero brindarle mis más sinceros agradecimientos, junto con desearle bendiciones de por vida a él y su familia que me han acogido de forma extraordinaria.

Quiero agradecer en forma especial a Don Paolo Carrera por darme la oportunidad de aplicar mis conocimientos en la empresa que él trabaja, BITUMIX, donde me apoyaron de forma especial Don José Luis Guzmán, Leticia Bravo, Maribel Pino y Bárbara Garrido de quienes recibí un apoyo en mis quehaceres dentro de la División El Maule.

El apoyo incondicional de mi pololo Felipe quien me alienta día a día para ir siempre un paso más haya y no me deja caer en momentos de mucha tensión, agradezco de todo corazón la serenidad que me transmite.

A Todos ellos, y a quienes indirectamente participaron en la realización de mi trabajo.

Muchas gracias

RESUMEN

Bitumix es una de las empresas líderes en el país en el rubro de la elaboración y colocación de mezcla asfáltica, cuenta con 13 Sucursales, y el presente estudio se enfocará específicamente en una de ellas, Sucursal Maule, que corresponde a la filial de más reciente creación por parte de esta empresa.

La principal problemática que se logró detectar en la Sucursal, es la mala distribución de los centros de acopio de materias primas, puesto que no se encuentran ubicados en lugares estratégicos en la empresa, lo que provoca la generación de costos adicionales innecesarios por concepto de transporte y también provoca la formación de un escenario laboral riesgoso por concepto de seguridad para los trabajadores. Tomando como base dicha problemática, se procedió a realizar un análisis de la distribución actual de la planta, para ello se consideró, tanto los objetivos de la distribución como también los factores que inciden en ésta.

Por otra parte, con la aplicación de diferentes algoritmos de Distribución de Planta, se generó una solución alternativa mucho más eficiente y segura que la existente hoy en día en las instalaciones de la empresa. Además, esta solución propone vías de circulación entre los departamentos de acopio de materia prima, para mejorar la calidad de vida y seguridad de los trabajadores que transitan por la zona de estudio de la Sucursal.

ABSTRACT

Bitumix is one of the leading companies in the country in the item of the design and placement of asphalt, has 13 branches, and this study will focus specifically on one of them, the current branch corresponds to the creation Maule latest the company mentioned.

The main problem that successfully detected in the Branch, is the disorganization that currently exists and corresponds to the location of collection centers, since they are not located in strategic locations in the company, causing the generation of additional costs unnecessary for transportation and also cause the formation of a risky employment scene by way of security for workers. Based on the problem, we proceeded to conduct an analysis of current distribution of plant, this will consider all factors which may influence this distribution analysis.

More over, the implementations of different algorithms for plant layout, different alternatives were developed much more efficient and safer than those that exist today in the company's facilities. In addition, roads are proposed between the departments of gathering raw material for improving the quality of life and safety of workers passing through the study area of the Branch.

<u>ÍNDICE DE CONTENIDO</u>	Página
1. ANTECEDENTES GENERALES	
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	3
1.3.1. Bitumix Chile	3
a) Visión	4
b) Misión	4
c) Organización	4
1.3.2. Bitumix Sucursal Maule	8
1.3.3. Relación entre Proceso Administrativo y Proceso Productivo	10
1.3.4. Descripción de las materias primas	11
1.3.5. Descripción del producto	11
1.3.6. Descripción del proceso productivo	12
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	18
2.1.1. Objetivo de la Distribución de Planta	19
a) Unidad	19
b) Circulación mínima	19
c) Seguridad	19
d) Flexibilidad	19
2.1.2. Factores que afectan la Distribución de Planta	19
a) Los materiales	20
b) La maquinaria	20
c) La mano de obra	20
d) El movimiento	20
e) Las esperas	21
f) Los servicios auxiliares	21
g) El edificio	21
h) Los cambios	21
2.2. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA.	23
2.2.1. Distribución de Planta por producto	23
2.2.2. Distribución de Planta por proceso	25
2.2.3. Distribución de Planta por posición fija	26
2.2.4. Distribución de Planta híbridas	27

2.3. ALGORITMOS USADOS PARA UNA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA POR PROCESO	29
2.3.1. CRAFT.	29
2.3.2. ALDEP.	29
2.3.3. CORELAP.	29
2.3.4. PREP.	29
2.3.5. SLIM.	29
3. DISEÑO METODOLÓGICO	
3.1. ETAPAS DEL DISEÑO METODOLÓGICO	30
3.1.1. Análisis de Distribución de Planta actual	30
3.1.2. Aplicación de metodología Krajewski y Ritzman	30
a) Recogida de información	31
b) Plan de bloque	31
c) Distribución detallada	31
3.2. RECOLECCIÓN DE DATOS	32
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA ACTUAL DE BITUMIX SUCURSAL MAULE	33
4.1.1. Sobre los objetivos de la distribución	33
4.1.2. Sobre los factores que afectan la distribución	34
4.1.3. Sobre el Tipo de distribución	35
4.1.4. Layout actual	36
4.2. APLICACIÓN DE METODOLOGÍA KRAJEWSKI Y RITZMAN	40
4.2.1. Recogida de información	40
a) Costos relevantes para Bitumix	40
b) Costos relevantes para el estudio	40
c) Cálculo de área de acopios	47
d) Construcción de datos de entrada para algoritmos a utilizar el estudio	49
4.2.2. Plan de bloque	50
a) CORELAP	50
b) ALDEP	55
c) CRAFT	58
4.3. ANÁLISIS COMPARATIVO	68
5. CONCLUSIONES	69
6. RECOMENDACIONES	70
7. BIBLIOGRAFÍA	71
8. LINKOGRAFÍA	72
9. ANEXOS	73

<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	Página
Figura 1.1: Organigrama de Bitumix S.A. Chile	4
Figura 1.2: Organigrama de Sucursal Maule Bitumix	9
Figura 1.3: Diagrama de proceso para la fabricación de mezcla asfáltica.	11
Figura 2.4: Formas usuales de Distribución de Planta por producto	24
Figura 4.5: Taludes utilizados para el cálculo de las áreas de acopios definitivos	47
Figura 4.6: Ilustración de solución propuesta según algoritmo CORELAP	54
Figura 4.7: Ilustración de solución propuesta según algoritmo ALDEP	57
Figura 4.8: Iconos en barra de herramientas de programa WINQSB	59
Figura 4.9: Ilustración de módulo Facility Location and Layout de WINQSB	59
Figura 4.10: Ilustración de ventana al seleccionar New Problem	60
Figura 4.11: Representación de la distribución actual en el Área de trabajo	61
Figura 4.12: Representación de la distribución inicial de la planta en un plano cuadrado	62
Figura 4.13: Representación de software al seleccionar "New Problem"	63
Figura 4.14: Ilustración de datos ingresados en la base de datos del software	64
Figura 4.15: Ilustración de opciones para resolver el problema según el software	65
Figura 4.16: Distribución propuesta a Planta Maule de Bitumix	66
Figura 4.17: Distribución inicial de Planta Maule de Bitumix	67

<u>ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS</u>	Página
Fotografía 1.1: Proceso de carga de buzones	12
Fotografía 1.2: Ilustración de Master al interior de la cabina	13
Fotografía 1.3: Cinta transportadora	14
Fotografía 1.4: Cinta transportadora con pesa incluida	14
Fotografía 1.5: Visualización estanque con solución asfáltica	15
Fotografía 1.6: Visualización de tambor bi seccional	15
Fotografía 1.7: Ilustración de paleta de arrastre de la mezcla asfáltica	16
Fotografía 1.8: Proceso de carga de camiones	16
Fotografía 4.9: Ilustración de acopio de rechazos en División Maule de Bitumix	35
Fotografía 4.10: Visualización general de planta de asfalto	36
Fotografía 4.11: Visualización general del área de procesamiento de chancado	37
Fotografía 4.12: Ilustración de desorganización existente en los acopios	38
Fotografía 4.13: Visualización de Superficies desocupadas innecesariamente	39

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1: Producción de Sucursal Maule	9
Tabla 2.2: Características de la Distribución de Planta por producto	24
Tabla 2.3: Características de la Distribución de Planta por proceso	25
Tabla 2.4: Características de la Distribución de Planta por posición fija	27
Tabla 3.5: Desarrollo de la Distribución de Planta por proceso	30
Tabla 4.6: Cargas de combustible del cargador frontal	42
Tabla 4.7: Costos involucrados en el cargador frontal	42
Tabla 4.8: Población total de vueltas de cargador	43
Tabla 4.9: Número de muestras representativas para el estudio	43
Tabla 4.10: Medición de tiempos expresados en segundos por vuelta	44
Tabla 4.11: Capacidades del cargador (toneladas)	44
Tabla 4.12: Cálculo de cantidad de árido necesario para producir 200 toneladas de mezcla asfáltica	45
Tabla 4.13: Tiempo total de transporte de árido polvo roca para fabricar 200 toneladas de mezcla asfáltica	46
Tabla 4.14: Tiempo total de transporte de árido gravilla 6-13 para fabricar 200 toneladas de mezcla asfáltica	46
Tabla 4.15: Tiempo total de transporte de árido gravilla 13-17 para fabricar 200 toneladas de mezcla asfáltica	46
Tabla 4.16: Cantidad de áridos necesarios para producir 12.000 toneladas de mezcla asfáltica	48
Tabla 4.17: Representación de los valores asignados a cada tipo de relación	52
Tabla 4.18: Representación de la carta de relaciones	52
Tabla 4.19: Representación de primer y segundo ingreso según CORELAP	53

<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	Página
Tabla 19: Ilustración de tercer ingreso según CORELAP	53
Tabla 4.20: Ilustración de cuarto ingreso según CORELAP	53
Tabla 4.21: Ilustración de quinto ingreso según CORELAP	54
Tabla 4.22: Ilustración de sexto ingreso según CORELAP	54
Tabla 4.23: Representación de la carta de relaciones	56
Tabla 4.24: Representación de los valores asignados a cada tipo de relación	56
Tabla 4.25: Representación de primer y segundo ingreso según ALDEP	57
Tabla 4.26: Representación de tercer ingreso según ALDEP	57
Tabla 4.27: Representación de cuarto ingreso según ALDEP	57
Tabla 4.28: Representación de quinto ingreso según ALDEP	57
Tabla 4.29: Representación de sexto ingreso según ALDEP	57
Tabla 4.30: Representación de flujos entre departamentos	61
Tabla 4.31: Representación de costos de transporte entre departamentos por traslado	62

<u>ÍNDICE DE ANEXOS</u>	Página
Anexo 1: Tabla de representatividad MIL STD 414	73
Anexo 2: Tabla de números aleatorios aplicado a gravilla polvo roca.	73
Anexo 3: Tabla de números aleatorios aplicado a gravilla 6-13.	74
Anexo 4: Tabla de números aleatorios aplicado a gravilla 13-17.	74
Anexo 5: Representación de la población total de tiempos por áridos.	74
Anexo 6: Ilustración de buzones de almacenamiento de áridos	75
Anexo 7: Plano de la División el Maule de Bitumix	76

GLOSARIO

Árido: Se llama árido a los materiales granulares, pequeños trozos de roca, utilizados en la construcción y en diversas aplicaciones industriales.

Cabina: Cuarto pequeño, situado en la planta de asfalto desde donde se manejan los master.

Cargador frontal: Medio de transporte utilizado en la planta Maule para el traslado de materia prima.

Centroides: El centroide es un punto que define el centro geométrico de un objeto.

Heurístico: Algoritmo que consta de utilizar pruebas, exámenes o aproximaciones para llegar a dar con una solución que no necesariamente es la mejor.

Imprimación reforzada: Consiste en el mejoramiento de la base granular, ya sea para recibir una aplicación asfáltica de terminación o, para que sirva como superficie de rodado más económica.

Lechadas asfáltica: La lechada asfáltica es una mezcla compuesta por una emulsión asfáltica de quiebre lento, árido bien graduado, filler, agua y eventualmente aditivos. Es una mezcla de consistencia fluida, capaz de penetrar y sellar grietas y defectos menores.

Mezcla asfáltica: Una mezcla asfáltica es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

Microaglomerados: Tratamientos versátiles que hay en el mercado para la conservación de mezclas firmes, por su capacidad para depositar, en una sola aplicación, una mezcla bituminosa duradera sobre una superficie de textura variable.

Proceso de Chancado: El principal propósito del chancado es efectuar las reducciones del árido hasta obtener un producto de una granulometría adecuada para lograr su posterior ingreso en la planta de asfalto.

Tabla de números aleatorios: Una tabla de números aleatorios es útil para seleccionar al azar los individuos de una población conocida que deben formar parte de una muestra.

Talud: En Arquitectura e Ingeniería civil, a la pendiente de un muro, la que es más gruesa en el fondo que en la parte superior de éste, de modo que así resista la presión de la tierra tras él.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

En toda unidad productiva es relevante abordar el tema de la Distribución de Planta con la finalidad de buscar la distribución que consiga el mejor funcionamiento de las instalaciones. La Distribución de Planta es un proceso de determinación de la mejor ordenación de los factores disponibles, de modo que constituyan un sistema productivo capaz de alcanzar los objetivos fijados de la forma más adecuada y eficiente posible. En este contexto, el análisis de diferentes factores que afectan a la distribución, en ocasiones se complejiza, debido al número excesivo de cálculos y posibilidades. Por ende, este estudio incorporó el uso de un software que facilita y acelera el proceso de búsqueda de soluciones. Los algoritmos pueden utilizar criterios cuantitativos, debiendo ser especificadas las matrices de flujo entre los departamentos, las distancias entre los mismos y los costos como en el caso del algoritmo CRAFT, o pueden ser cualitativos, donde se utilizan escalas de prioridades de cercanía como por ejemplo en los algoritmos CORELAP y ALDEP.

En este estudio, se utilizan todos los algoritmos mencionados y para cada uno hubo que realizar acabadas recolecciones de datos y, en base a éstos, construir la información para lograr su eficiente utilización; Todos esos pasos se observan en el desarrollo del siguiente informe.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

El objetivo general de esta memoria es realizar un re layout en la zona de estudio (que comprende la superficie donde está ubicada la planta de asfalto, los buzones que están dentro de la misma planta de asfalto y los departamentos de acopio), dentro de la Sucursal ubicada en Maule de Bitumix. El re layout permite desarrollar una distribución optimice los costos de flujo y transporte entre los departamentos, cumpliendo con las necesidades de competitividad de la empresa.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar la situación actual del costo unitario de transporte dentro de la zona de estudio mediante la recopilación de datos y construcción de la información.
- Definir el área de almacenamiento de cada árido (véase definición en glosario), considerando una producción mensual máxima determinada por la gerencia.
- Aplicar los algoritmos CORELAP, ALDEP y CRAFT para la generación de un layout óptimo en la zona de estudio, obteniendo soluciones alternativas para la distribución física de los departamentos de la zona de estudio.
- Analizar comparativamente los resultados de los algoritmos aplicados.
- Seleccionar la solución más factible de implementar en función del cumplimiento de las expectativas de la empresa.
- Delimitar las vías de circulación para los vehículos pesados que transitan por la zona de estudio en la Sucursal, incrementando así la seguridad del personal de la Sucursal Maule.

1.3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.3.1. Bitumix Chile

En 1978 la empresa se desarrolló en un mercado de construcción vial que inicia sus funciones con las obras de mantención de la Carretera El Cobre y la reconstrucción de la Ruta 5 entre San Carlos y Perquellauquén.

Teniendo siempre como meta el crecimiento sostenido, en 1982 Bitumix instaló una nueva planta de asfalto en el norte de Santiago, que reemplazó a la de Bilbao. Junto a ella se formó un laboratorio de diseño y control de mezclas asfálticas que permitía resguardar la calidad constante del producto, preocupación permanente de la empresa. Así, entre 1985 y 1994 Bitumix puso en funcionamiento plantas asfálticas en Concón (V Región), Rancagua (VI Región), La Serena (IV Región) e incipientemente en Copiapó (III Región), alcanzando una gran cobertura en la zona central y el Norte Chico. En 1993 se instaló otra planta en Puente Alto y, un año más tarde, una tercera planta en Santiago, en la comuna de Maipú.

Si bien en sus inicios el principal mercado de Bitumix se situó en la Región Metropolitana, ante la necesidad de satisfacer también la demanda en regiones, se formó en 1980 Bitumix CVV, que instaló una planta de asfalto en Concepción. De esta sociedad surgieron más tarde plantas en Chillán, Los Ángeles y Temuco.

La consolidación, los buenos estándares de calidad, la rentabilidad del negocio y la demanda creciente por los servicios de la empresa, llevaron a que en 1999 el grupo francés GTM, a través de su empresa de carreteras Jean Lefevbre, se interesara por instalarse en Chile a través de Bitumix. Dos años después se produjo una fusión con el grupo Vinci, convirtiéndose este último en el líder mundial en la construcción en obras civiles, explotación de concesiones, energía y construcción vial.

El grupo VINCI es un grupo industrial francés que ocupa el primer puesto mundial de construcción y de servicios asociados. VINCI construye edificios, grandes obras, parkings, infraestructuras de transporte, carreteras, autopistas, ferrocarriles e infraestructuras de energía. Asimismo, gestiona aparcamientos de automóviles, aeropuertos y autopistas. El grupo emplea a 158.000 personas en todo el mundo. Sus ingresos alcanzaron los 21.500 millones de euros en 2005. Algunos de los países en los que tiene presencia este grupo son: Polonia, el Reino Unido, Inglaterra, Escocia, España, México, entre otros. (<http://es.wikipedia.org/wiki/VINCI>).

La constante preocupación de Bitumix por entregar productos de calidad a sus clientes, se afianza en el 2005 al obtener la certificación ISO 9001: 2000. Asimismo, y cumpliendo con su compromiso anterior, en el 2006 se inaugura el Centro de Desarrollo e Investigación (CDI). Al dar este gran paso Bitumix se convierte en la primera empresa en Chile en implementar una unidad para la investigación y la transferencia de nuevos productos.

Bitumix cuenta con 18 plantas de asfalto y más de 200 equipos de apoyo a la colocación de mezclas, además tiene presencia en nueve regiones de Chile a través de sus 13 sucursales.

Hoy Bitumix es la empresa de la especialidad más importante en Chile, presente en las principales obras de infraestructura del país y con capacidad para ofrecer siempre el mejor servicio y calidad.

A continuación, la visión, misión y la organización corporativa declarada por Bitumix:

a) *Visión*

“Aspiramos a ser siempre la empresa líder del mercado, participando con calidad y eficiencia en las obras de infraestructura más importantes para el desarrollo del país. De esta forma, buscamos la satisfacción de nuestros clientes, así como el reconocimiento de la sociedad a nuestro trabajo y esfuerzo constante por contribuir al crecimiento de Chile”.

b) *Misión*

“Nuestra misión es mantener un desarrollo permanente y duradero basado en la rentabilidad del negocio, la innovación tecnológica, la calidad y el profesionalismo, actuando siempre con firmes valores éticos, comprometidos con los miembros de la organización y sus familias, con nuestros clientes, con los accionistas y con el medio ambiente”.

c) *Organización corporativa.*

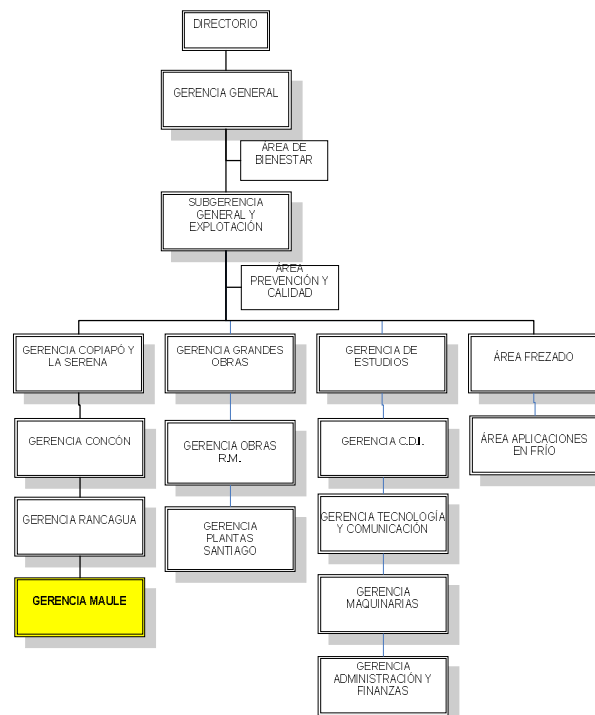


Figura 1.1: Organigrama de Bitumix S.A. Chile.
Fuente: www.bitumix.cl

A continuación se especifica la labor de las áreas mencionadas en el organigrama de Bitumix:

■ *Directorio.*

A la Junta Directiva de Bitumix le corresponde la dirección estratégica y política de la Asociación. Además, establece las prioridades y objetivos anuales, asimismo controla su cumplimiento.

■ *Gerencia General.*

Es el máximo responsable de Bitumix y en consecuencia de su Sistema de Gestión de Calidad. Dentro de las funciones está liderar la organización, establecer los objetivos de ésta y procurar los recursos necesarios para el desarrollo de sus productos.

■ *Subgerencia General y Explotación.*

Gestiona y desarrolla su entidad, al nivel comercial, técnico, humano, conjunto con la estrategia corporativa global de Bitumix.

Analiza los contratos a su cargo, logrando que éstos cumplan con los objetivos comprometidos en la preparación de obra, resultado económico, calidad de las obras, recepción conforme por parte del cliente.

■ *Área de Bienestar.*

El área de Bienestar está integrada por dos asistentes sociales, un técnico en bienestar, un médico y un odontólogo. Esta área apunta a mejorar la calidad de vida de los trabajadores y sus familias, implementando diversos programas y administrando beneficios tales como bonos de escolaridad, préstamos sociales, asesoría y apoyo para la obtención de sus viviendas, orientación previsional y conexión a redes sociales para garantizar el bienestar integral de ellos y de sus familias, principales impulsores del éxito empresarial de Bitumix.

■ *Área de Prevención y Calidad.*

El área de Prevención y Calidad es la encargada de mantener una preocupación constante por entregar a sus clientes altos estándares de calidad de sus productos. De esta manera, y con el objetivo de cumplir a cabalidad con esta misión y dar garantía de ella, el 2005 la empresa certificó bajo la norma ISO 9001-2000 en sus procesos de:

1. Construcción de obras viales y de pavimentación.
2. Producción y colocación de mezclas asfálticas.
3. Elaboración y colocación de lechadas asfálticas.

Permanentemente, la empresa se somete a auditorías internas y externas que verifican el cumplimiento de la norma en todas las áreas certificadas, otorgando a sus clientes la certeza de recibir productos y servicios de excelencia.

■ *Área Frezado.*

El aumento paulatino de la demanda del servicio de fresado significó que a comienzos del 2007 se formara esta nueva área en Bitumix. Los profesionales y trabajadores que la integran cuentan con una amplia experiencia y capacitación para ofrecer a los clientes un servicio integral de fresado, que incluye, además, la limpieza posterior de las zonas trabajadas, así como la seguridad de la vía mientras se realizan las faenas.

■ *Área de Aplicaciones en Frío.*

El área de Aplicaciones en Frío se creó a comienzos de 2007, su objetivo es desarrollar y ejecutar obras con aplicación de emulsiones en faenas de microaglomerados (véase definición en glosario) en frío; microaglomerado tradicional según MOP (Ministerio de Obras Públicas); lechadas asfálticas (véase definición en glosario); tratamiento superficial simple y doble, imprimación reforzada (véase definición en glosario), así como el riego de cubrimiento. La experiencia acumulada en años realizando este tipo de trabajos, pone a Bitumix en condiciones de entregar servicios de calidad y excelencia.

■ *Gerencia de Grandes Obras.*

La Gerencia de Grandes Obras cubre a diversas obras a lo largo del país, las que por su tamaño, naturaleza, complejidad, materiales o ubicación no pueden ser atendidas desde las sucursales. Así, autopistas, carreteras, aeropuertos, aeródromos y otras obras de ingeniería de gran envergadura son atendidas desde esta área de la empresa, que cuenta con personal de vasta experiencia en este tipo de desafíos y con la infraestructura en equipos y maquinarias para la ejecución de ellas.

■ *Gerencia de Obras de R.M.*

La Gerencia de Obras de R.M. (Región Metropolitana) se creó con la finalidad de atender los requerimientos de obras a lo largo de todo Santiago. Con una amplia experiencia en colocación de las distintas mezclas en caliente, productos especiales y otros servicios de la empresa, aquí se da respuesta a las necesidades de clientes de todos los tamaños y diversas complejidades de obras, desde las grandes autopistas urbanas, hasta la pavimentación de pasajes, calles o multicanchas deportivas, entre otros.

■ *Gerencia de Plantas de Santiago.*

Se encarga de dirigir y gestionar los asuntos operativos de las plantas: Planta Puente Verde, Oficinas Centrales, Planta Maipú y finalmente Planta Puente Alto.

■ *Gerencia C.D.I.*

En marzo del año 2006 Bitumix puso en funcionamiento el primer Centro de Desarrollo e Investigación (CDI), único en su tipo en el país, creado con el objetivo de desarrollar nuevas mezclas asfálticas bajo estándares europeos, que permitan satisfacer las necesidades de usuarios cada vez más exigentes en los ámbitos de durabilidad, costo, confort y seguridad. Para ello se trabaja constantemente en el estudio de áridos y asfaltos de alto desempeño, en el mejoramiento de procesos y materias primas, en nuevas metodologías de diseño en escala de laboratorio y en la implementación en la fase industrial de áridos, asfaltos, mezclas y la colocación del producto.

■ *Gerencia Tecnología y Comunicaciones.*

Su principal responsabilidad es dar soporte de plataforma informática, a todas las demás unidades y Sucursales.

■ *Gerencia Maquinarias.*

Encargada de efectuar investigaciones para lograr que Bitumix realice inversiones e innovación de en equipos de alta tecnología, lo que convierte a Bitumix en la empresa del rubro con el mejor equipamiento asfáltico del país.

■ *Gerencia Administración y Finanzas.*

Sus responsabilidades son: dar soporte administrativo a las otras unidades de la organización, asegurar el control contable de los activos y pasivos de la empresa, administrar las unidades de informática y personal, entre otras.

■ *Gerencia Copiapó y Serena.*

En 1992 se llega a la zona para realizar obras en el balneario Las Tacas y se establece esta sucursal por el potencial de desarrollo turístico y urbano en la región. El 2001 entra en receso hasta el 2006, cuando inicia nuevamente sus funciones dirigiendo las actividades de la Tercera y Cuarta Región. Tiene una capacidad de producción de 60 ton/hora de mezcla asfáltica.

■ *Gerencia Concón.*

En 1985 se llega a la zona para realizar obras en la variante ribereña de Concón, luego, en 1986, se instala definitivamente como sucursal en su actual ubicación. Cuenta con una capacidad de producción de 150 ton/hora de mezcla asfáltica.

■ *Gerencia Rancagua.*

Desde 1978 Bitumix ha estado presente en la Sexta Región con importantes obras camineras. Sin embargo, en 1994 se instaló definitivamente una planta en Gultro para satisfacer las demandas de diversas faenas como el Camino de la Fruta y otras encomendadas por Codelco. Actualmente, esta sucursal tiene una capacidad de producción de 150 ton/hora.

■ *Gerencia Maule.*

El 2006 se adquirieron en Talca las instalaciones de producción de Mezclas Asfálticas de "Asfaltos del Maule". Con esta adquisición, Bitumix cubre una zona importante del país con gran potencial de desarrollo. Su capacidad de producción es de 150 ton/hora.

1.3.2. Bitumix Sucursal Maule

La sucursal Maule tiene sus orígenes en 1992 cuando, en la actual ubicación, se creó la planta asfáltica Alpes de propiedad del Señor Osvaldo Chacón. En el 2001, éste la vendió al Señor Fernando Vega, quien la transformó en Asfaltos del Maule. Esta empresa funcionó hasta el 2006, cuando Bitumix la compró en una transacción que incluyó el terreno de aproximadamente cinco hectáreas, una planta asfáltica de 90 toneladas hora y las instalaciones existentes hasta ese entonces.

El 16 de octubre del 2007 se dió inicio oficial a la Sucursal Maule de Bitumix. Fue en esa fecha cuando asume su gerencia el Señor Paolo Carrera, Ingeniero Civil que comenzó su carrera profesional en Bitumix el 2002 en el área de obras viales. El objetivo de la apertura de la Sucursal era abrir mercado en una región donde Bitumix no tenía ninguna actividad.

El primer gran desafío que se presentó en la sucursal fue ser eficientes, para lo cual hubo que reorganizar la forma de trabajo en la empresa a través de un programa de inducción al personal en temáticas orientadas a la productividad, incentivando el trabajo en equipo y el asumir las responsabilidades individuales y grupales, lo que significó un gran esfuerzo para la empresa.

Con dos años de funcionamiento a la fecha, la Sucursal está en buen nivel de actividad productiva y con la intención de incrementar su participación en el mercado y de ser los mejores en la industria en el área geográfica de alcance de la Sucursal. Una de las cosas que se pueden destacar de la

Sucursal Maule es el buen clima laboral existente, característica que se hace notar cuando personas ajenas a la organización visitan las instalaciones.

Hasta la fecha la Sucursal Maule se ha adjudicado varios contratos y las ventas pasadas como las proyectadas anualmente están ilustradas en el siguiente cuadro que proporciona tanto la cantidad en toneladas como lo que significa dicha producción en ventas expresadas en pesos chilenos:

Tabla 1.1: Producción de Sucursal Maule.

2007	
45.100 toneladas	\$1.444.200.000
↓	
2008	
69.300 toneladas	\$2.217.600.000
↓	
Proyecciones 2009	
60.000 toneladas	\$1.920.000.000

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Gerencia.

Es importante mencionar que la Sucursal Maule aporta aproximadamente con un cinco por ciento en la producción de BITUMIX en Chile. La desagregación del poder dentro de la planta se presenta en el siguiente organigrama de la Sucursal.

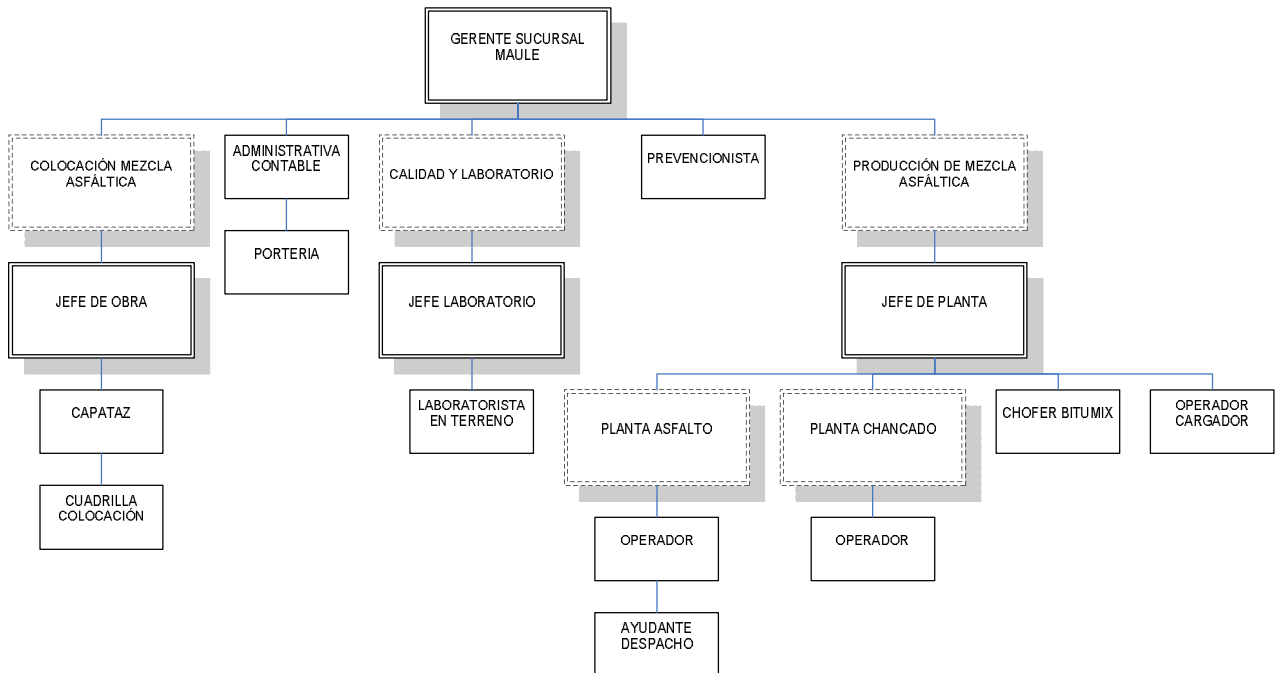


Figura 1.2: Organigrama de la Sucursal Maule Bitumix.

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por la Administración de la Sucursal.

Las líneas segmentadas en la figura 1.2. corresponden a unidades que se identifican claramente dentro de la Sucursal, como son la unidad de Colocación de Mezcla Asfáltica, es la encargada de situar la mezcla asfáltica en una obra determinada. A su vez, la unidad de Calidad y Laboratorio es la que se encarga de tomar muestras continuamente tanto en la planta de asfalto como en terreno (en el lugar de destino de la obra, definido por el cliente), con la finalidad de determinar si la mezcla que se está elaborando cumple o no con las especificaciones técnicas del cliente. Por último, la unidad de Producción de Mezcla Asfáltica, que cumple con la producción en sí del producto final y, tiene a su cargo dos sub unidades que son la planta de Chancado y la planta de Asfalto.

1.3.3. Relación entre Proceso Administrativo y Proceso Productivo en la Sucursal Maule.

En la Sucursal Maule se pueden vislumbrar claramente dos procesos que están íntimamente ligados. Uno es el proceso administrativo que se lleva a cabo en las oficinas de la Sucursal Maule que se encarga principalmente de revisar los contratos, las necesidades de materia prima directa como indirecta, de las remuneraciones de los trabajadores, entre muchos otros aspectos de naturaleza administrativa.

El otro es el proceso operacional en sí, el que consta de tres procesos importantes. El primero tiene que ver con el abastecimiento de la materia prima, el segundo el que se desarrolla en la unidad de procesamiento de chancado, donde se fabrica la materia prima que utiliza la planta de asfalto. Por último, está el proceso de producción de la mezcla asfáltica propiamente tal, el que se desarrolla en la planta de asfalto. Es importante señalar que es en los alrededores de la planta de asfalto donde se centrará el estudio.

La relación de ambos procesos se observa en el diagrama de procesos de la figura 1.3. En primer lugar, en la unidad administrativa se adjudica un proyecto e inmediatamente se procede a verificar el stock de materias primas que existe para determinar si se puede o no cumplir con el requerimiento especificado en el proyecto.

Si existe inventario suficiente para la elaboración del pedido, se procede a la elaboración de mezcla asfáltica en la planta de asfalto, de lo contrario se opera de la siguiente manera. Se consulta al operador de la unidad de procesamiento de chancado si existe dentro de sus acopios temporales, materia prima suficiente para cumplir con el cliente. Si es así, se ejecuta el traslado de los acopios temporales a los acopios definitivos para que se abastezca a la planta de asfalto, si en la unidad de procesamiento de chancado no existe materia prima suficiente, se informa a la administrativa contable (véase organigrama en figura 1.2), para que ésta proceda a la elaboración de una orden de compra para que proveedores externos abastezcan la empresa.

Figura 1.3: Diagrama de proceso de fabricación de mezcla asfáltica.

Fuente: Elaboración propia en base a observación que realiza memorista.

1.3.4. Descripción de las materias primas.

Las materias primas necesarias para la elaboración de la mezcla asfáltica (véase definición en glosario), que es el producto final que elabora la empresa Bitumix S.A., son principalmente cuatro:

- Polvo Roca: Árido con una granulometría inferior al resto, con una mayor estabilidad al momento de acopiarlo y con una densidad de 1.7 kg/m^3 .
- Gravilla 6-13: Árido con una granulometría media con respecto a las dos restantes, con estabilidad media al momento de acopiarlo y con una densidad de 1.43 kg/m^3 .
- Gravilla 13-17: Árido con la mayor granulometría en comparación al polvo roca y a la gravilla 6-13, al igual que la gravilla 6-13 poseen una estabilidad media al momento de acopiarlos y posee una densidad de 1.49 kg/m^3 .
- Solución asfáltica: El Asfalto es un producto natural o compuesto que proviene de la destilación seca de productos orgánicos vegetales. Es una mezcla de Betún con productos materiales inertes tales como Sílice, Arena, Arcilla, entre otros.

1.3.5. Descripción del producto.

Existe una amplia variedad de mezclas asfálticas que demanda el mercado, dicha variedad se basa en las diferentes especificaciones técnicas de la mezcla, algunas deben ser más densas otras no tanto. Esto se logra con la combinación de los distintos porcentajes de materias primas (polvo roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17) que se pueden realizar en una mezcla.

La Sucursal Maule elabora principalmente la mezcla asfáltica compuesta por un 45 por ciento de polvo roca, 35 por ciento de gravilla 6-13, un 20 por ciento de gravilla 13-17 (lo cual constituye un 100 por ciento de áridos en la mezcla asfáltica) y sobre dicho porcentaje se adiciona un 5,5 por ciento de solución asfáltica.

1.3.6. Descripción del proceso productivo

Una vez caracterizadas las materias primas necesarias para la elaboración de la mezcla asfáltica, se procede a explicar las diversas etapas del proceso que se llevan a cabo dentro de la planta de asfalto para la obtención del producto final (mezcla asfáltica).

Etapas 1: Abastecimiento de las materias primas.

Todo comienza con el ingreso de las materias primas centrales (que son los distintos tipos de áridos necesarios para la mezcla asfáltica), que ingresan en los camiones y son depositados en los acopios permanentes (que para efectos del estudio, se identificarán adicionalmente por “departamento de polvo roca”, “departamento de gravilla 6-13” y “departamento gravilla 13-17”) destinados para ello.

Posteriormente se inicia el proceso productivo en sí cuando el cargador frontal llena con áridos los respectivos buzones, uno se llena con polvo roca, otro con gravilla 6-13 y por último con gravilla 13-17, como se observa en la fotografía 1.1.



Fotografía 1.1: Proceso de carga de buzones.

Etapa 2: Carga de material en los buzones.

Existen cuatro buzones dispuestos en la planta de asfalto, de los cuales sólo se utilizan tres, uno para tipo de árido. Bajo cada uno de los buzones existen sensores que son manejados por un Master (ver fotografía 1.2) que se manipula desde la cabina (véase definición en el glosario) que varía la frecuencia de cada sensor, para así regular los porcentajes de las respectivas materias primas que se necesitan para elaborar la mezcla asfáltica. En la mezcla estándar que se fabrica el porcentaje es de 45 por ciento de polvo roca, 35 por ciento de gravilla 6-13 y 20 por ciento de gravilla 13-17.



Fotografía 1.2: Ilustración de Master al interior de la cabina.

Etapa 3: Transporte de áridos al tambor (ver definición en glosario)

Bajo los buzones existe una cinta transportadora (ver fotografía 1.3), luego, los áridos pasan a una cinta transportadora que se caracteriza por pesar la cantidad de árido que se está utilizando. Esta cinta se observa en la fotografía 1.4.



Fotografía 1.3: Cinta transportadora.



Fotografía 1.4: Cinta transportadora con pesa incluida.

Etapa 4: Secado y elaboración de mezcla asfáltica.

Luego, la mezcla es transportada hasta un tambor que está dividido en dos, la primera parte es un secador, el cual trabaja con una llama que emite un calor de aproximadamente 160° Celsius que permite secar la humedad que traen los áridos. La segunda parte del tambor es donde se le inyecta la solución asfáltica, que proviene desde un estanque que esta ubicado a un costado de la planta de asfalto (ver fotografía 1.5), que viene a una temperatura de 150° Celsius. Dicho tambor se puede observar en el fotografía 1.6.



Fotografía 1.5: Visualización estanque con solución asfáltica al costado de la planta de asfalto.



Fotografía 1.6: Visualización de tambor bi seccional.

Etapa 5: Almacenamiento y transporte de mezcla asfáltica.

En la última etapa de la producción la mezcla asfáltica es trasladada por medio de un mecanismo con paletas de arrastre (véase fotografía 1.7), para finalmente ser depositado en silos desde donde se realizan las cargas de los camiones, como se observa en la fotografía 1.8.



Fotografía 1.7: Ilustración de paleta de arrastre de la mezcla asfáltica.



Fotografía 1.8: Proceso de carga de camiones.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio que se realizará fue sugerido por el Profesor Patrocinante César Gustavo Pino Soto en conjunto con el Señor Paolo Alejandro Carrera Venegas, Gerente de la Sucursal Maule de Bitumix, quien presentó la inquietud de revisar la distribución de la zona de estudio en su Sucursal (ubicada en la localidad de Maule a 10 kilómetros de la ciudad de Talca) y, reordenarla si fuere necesario. La motivación más relevante para llevar a cabo éste estudio se origina en la evidente desorganización que existe en la zona de estudio de la Sucursal, lo que trae consigo costos adicionales que podrían minimizarse, además de, lograr delinear las vías de circulación para potenciar la seguridad de los trabajadores.

Se vislumbra un problema en la ubicación de los departamentos de acopios de materias primas (polvo roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17) dentro de la zona de estudio, ya que dichos departamentos se encuentran en una posición muy distante a la planta de asfalto lo que implica un costo adicional, principalmente, en transporte.

Es relevante entonces realizar el estudio de re layout dentro de la Sucursal Maule de Bitumix para poder (posterior a este estudio) realizar una comparación del escenario actual versus el escenario propuesto y visualizar, con ello, el beneficio económico para la empresa así como una mejor utilización de los espacios y mejorar en el flujo de materiales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

En primer lugar es importante definir el concepto de Distribución de Planta, el que es considerado como un proceso de ordenamiento físico de los departamentos de una empresa, de modo que se constituya un sistema productivo coherente con los objetivos estratégicos de largo plazo de la forma más adecuada y eficiente posible. La ordenación incluye las vías de circulación necesarias para el movimiento o flujo de materiales, el almacenamiento de materias primas (polvo roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17) y el flujo de trabajadores entre otros (DOMÍNGUEZ, 1995).

Por otra parte se puede mencionar que los problemas de Distribución de Planta pueden ser de cuatro clases:

- Proyecto de una planta completamente nueva.
- Expansión o traslado a una planta ya establecida.
- Reordenación de una distribución ya existente.
- Ajustes menores en distribuciones actuales.

En este caso, corresponde a una reordenación de una distribución ya existente para efectuar ajustes menores, originada por la adquisición de las instalaciones que pertenecían a otros propietarios, en las que se producían volúmenes distintos a los que maneja actualmente Bitumix, con una organización de los departamentos de trabajo también distinta.

En la mayoría de las Sucursales y, en particular en la Sucursal Maule de Bitumix, surge la necesidad de replantearse la distribución física que poseen sus instalaciones puesto que surgen problemáticas tales como:

- Alta congestión y deficiente uso del espacio.
- Excesivas distancias a recorrer.
- Simultaneidad de cuellos de botellas y ociosidad en los departamentos de trabajo.
- Altas probabilidades de accidentabilidad de sus trabajadores por no encontrarse delimitadas las vías de circulación.

La decisión de Distribución de Planta es clave para establecer la eficiencia de las operaciones en el largo plazo, debido a que proporciona la ubicación de los departamentos, de las maquinarias y de los puntos de almacenamiento en la instalación productiva.

2.1.1. Objetivos de la Distribución de Planta.

Como ya se ha mencionado en el transcurso del estudio, el principal objetivo de la Distribución de Planta es intentar encontrar aquella disposición de los departamentos de trabajo que sea más económica y eficiente, al mismo tiempo que segura y satisfactoria para el personal realiza el trabajo.

Para cumplir con el objetivo central de la Distribución de Planta hay que comenzar por intentar disminuir la congestión, suprimir superficies ocupadas innecesariamente y utilizar de la mejor manera posible la mano de obra, la maquinaria y los lugares físicos dentro de la zona de estudio. Concretamente, los objetivos básicos que busca una buena distribución de planta son los siguientes (DOMÍNGUEZ, 1995):

a) Unidad

Hay que alcanzar la integración de todos los elementos, ya sean materias primas o maquinarias, en la unidad productiva para que funcione con un solo objetivo.

b) Circulación mínima

Es necesario procurar que los recorridos efectuados por los materiales y hombres, de operación a operación y entre departamentos, sean óptimos, lo que requiere economía de movimientos, de equipos, de espacio, entre otros.

c) Seguridad

Es necesario garantizar la seguridad, satisfacción y comodidad del personal, consiguiéndose así una disminución en el índice de accidentes y una mejora en el ambiente de trabajo.

d) Flexibilidad

Debido a que la ciencia, comunicaciones y transporte avanzan día a día, una industria está sujeta a cambios frecuentes, ya sea en el diseño del producto, en procesos, en equipos, entre otros cambios. Por lo que, una adecuada distribución debe permitir una planta fácilmente adaptable con rapidez y economía.

Existen a su vez, factores que afectan a la distribución de planta, los cuales se exponen a continuación.

2.1.2. Factores que afectan la Distribución de Planta.

La influencia e importancia de estos factores varían de acuerdo a cada organización y situación, pero es indispensable conocer sus diferentes características y consideraciones, las que se deben tomar en cuenta. Los factores que afectan una Distribución de Planta, se exponen a continuación:

a) *Los materiales.*

El objetivo de toda empresa es la obtención de los bienes y servicios que requiere el mercado por ende, la distribución de los factores productivos dependerá de las características de ellos. Por lo tanto, es importante considerar el tamaño, forma, volumen, peso y características físicas de los materiales que inciden en los métodos de producción y, en las formas de manipulación y almacenamiento.

b) *La maquinaria.*

Para el logro de una distribución adecuada es indispensable tener información respecto a los procesos que se deben emplear, a la maquinaria que se necesita y a todos los equipos necesarios, así como la utilización y requerimientos de los mismos.

En lo que se refiere a la maquinaria, se habrá de considerar su tipología y el número existente de cada clase. El conocimiento de aspectos relativos a la maquinaria en general, tales como espacio requerido para su manejo, forma, altura y peso, cantidad y clase de operarios requeridos para su uso, riesgos para el personal, necesidad de servicios auxiliares, entre otros, es indispensable para poder afrontar un correcto y completo estudio de Distribución de Planta.

c) *La mano de obra.*

Involucra la supervisión, servicios auxiliares, mano de obra directa, personal indirecto o de actividades auxiliares, personal de oficina, entre otros. Dentro de las consideraciones de este factor que pueden afectar, se puede mencionar, la seguridad y condiciones de trabajo. Es importante mantener el suelo libre de obstrucciones y que no resbale, no situar operarios demasiado cerca de zonas móviles de la maquinaria, no situar trabajadores encima o debajo de alguna zona peligrosa, deben poseer accesos adecuados y salidas de emergencia señalizadas.

La distribución debe ser confortable para todos los operarios, se le debe otorgar condiciones de bienestar como por ejemplo buena luminosidad, ventilaciones adecuadas, ruido y vibración dentro de lo permitido.

d) *El movimiento.*

El movimiento de material es una ayuda para rebajar los costos de producción. El movimiento de material permite que los trabajadores se especialicen, y que las operaciones se puedan dividir o fraccionar. Incluye transporte interno e interdepartamental, almacenaje e inspecciones. Elementos de manipulación y recipientes para traslado o espera de materiales. Dentro de las consideraciones que hay que tener en el factor de movimiento son la entrada de material, salida de material, materiales de servicio, movimiento de maquinaria y movimiento del hombre.

e) *Las esperas.*

Cuando se estudia la Distribución de Planta se espera conseguir que la circulación de los materiales sea fluída a lo largo de la misma, evitando costos que suponen las esperas que tienen lugar cuando dicha circulación se detiene. Además, se incluyen dentro de éste factor los almacenamientos temporales y permanentes.

f) *Los servicios auxiliares.*

Este tipo de servicios permiten y facilitan la actividad principal que se desarrolla en una planta. Podemos citar entre ellos a servicios relativos al personal como por ejemplo:

- Acceso de personal, en lo referente a las vías de acceso.
- Protección contra incendio, primeros auxilios.
- Vestuario apropiado a la actividad que desempeñan y servicios sanitarios.
- Iluminación.
- Calefacción y ventilación.

Además, existen servicios relativos al control de calidad de los materiales, por ejemplo en la Sucursal de Bitumix, se logra identificar claramente este servicio que realiza el laboratorio ubicado cercano a la planta.

Dentro de las posibilidades de espacio es bueno reservar un espacio físico para brindar a la maquinaria que se utiliza en la producción, los servicios que requiera, tales como, el servicio de mantenimiento.

g) *El edificio.*

Dentro de este factor se incluyen los aspectos de la infraestructura tanto de interiores como de exteriores de la misma, distribución y equipo. El edificio es la infraestructura que cubre a los operarios, materiales, maquinaria y actividades auxiliares, siendo también una parte integrante de la Distribución de Planta.

h) *Los cambios.*

Unos de los objetivos de la Distribución de Planta es lograr su flexibilidad ante cambios de volúmenes de producción. Para ello es necesario prever las variaciones futuras para evitar posibles cambios en los restantes factores, para evitar que lleguen a transformar una Distribución de Planta eficiente, en otra que merme beneficios potenciales. Para ello hay que buscar una distribución capaz de adaptarse dentro de unos límites establecidos.

Es indudable que las condiciones de trabajo siempre estarán cambiando y esos cambios afectarán a la distribución en mayor o menor medida. El cambio es una parte básica de todo concepto de mejora y su frecuencia y rapidez se va haciendo cada día mayor. Dentro de las consideraciones del factor se incluyen: cambios en las materias primas, en la maquinaria, en el personal, en actividades auxiliares, contextos externos y limitaciones debidas a la instalación.

2.2. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

La forma de organización del proceso productivo que tradicionalmente se realiza para la clasificación de las distintas Distribuciones de Planta, suelen identificarse de tres formas básicas de Distribución de Planta:

- Las orientadas al producto, que están asociadas a configuraciones continuas o repetitivas.
- Las orientadas al proceso, que están asociadas a configuraciones por lotes.
- Las distribuciones por posición fija, correspondientes a las configuraciones por proyectos.

Sin embargo, a menudo, las características del proceso hacen conveniente la utilización de distribuciones combinadas, esto es, que comparten particularidades de más de una de las tres básicas mencionadas. Entonces se transforma en una distribución híbrida, siendo la más común, aquella que mezcla las características de las distribuciones por producto y las distribuciones por proceso, dando lugar a las distribuciones de planta por células de fabricación (CHASE, 2005).

A continuación, se define detalladamente cada uno de los tipos de Distribuciones de Planta (DOMÍNGUEZ, 1995):

2.2.1. Distribución de Planta por producto (producción en línea o en cadena)

Es adoptada cuando la producción está organizada de forma continua y repetitiva, como por ejemplo en refinerías, centrales eléctricas, fabricación de electrodomésticos, entre otros sistemas productivos. Cualquier equipo utilizado en la fabricación del producto está colocado de acuerdo con la secuencia de las operaciones, se trata de colocar cada operación tan cerca como sea posible de su predecesora. El producto sobre el que se trabaja recorre la línea de producción de una estación a otra, a medida que sufre las operaciones necesarias.

La distribución por producto se utiliza cuando se tiene que elaborar una gran cantidad de piezas o productos (ya que de esta manera los costos por manejo de materiales son menores) cuando el diseño del producto está normalizado, cuando la demanda del producto es más o menos estable y cuando las operaciones se puedan mantener equilibradas y con continuidad en la circulación del material.

La producción en cadena tiene tres exigencias fundamentales:

- Cantidad de producción y economía de las instalaciones: la línea o cadena de producción debe ahorrar más de lo que cueste instalarla, es decir a producción debe ser suficientemente grande para que el ahorro por pieza sea mayor que el costo de la instalación por pieza.
- Equilibrio: las operaciones deben tener el mismo tiempo de ejecución.
- Continuidad: cada operación individual debe tener continuidad de funcionamiento.

Las principales características de este tipo de distribución se presentan a continuación:

Tabla 2.2: Características de la Distribución de Planta por producto.

Producto	<ul style="list-style-type: none"> • Estandarizado. • Alto volumen de producción. • Tasa de producción constante.
Flujo de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Línea continua o cadena de producción. • Todas las unidades siguen la misma secuencia de operaciones.
Mano de obra	<ul style="list-style-type: none"> • Altamente especializada y poco cualificada. • Capaz de realizar tareas rutinarias y repetitivas a ritmo constante.
Personal Staff	<ul style="list-style-type: none"> • Numeroso personal auxiliar en supervisión, control y mantenimiento.
Manejo de materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Previsible, sistematizado y, a menudo, automatizado.
Inventarios	<ul style="list-style-type: none"> • Alto inventarios de productos terminados • Alta rotación de inventarios de materias primas y material en proceso.
Utilización del espacio	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente: elevada salida por unidad de superficie.
Necesidades de capital	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada inversión en procesos y equipos altamente especializados.
Costo del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Costos fijos relativamente altos. • Bajo costo unitario por mano de obra y materiales.

Fuente: DOMÍNGUEZ, 1995.

Las formas más usuales de Distribución de Planta por producto son las siguientes:

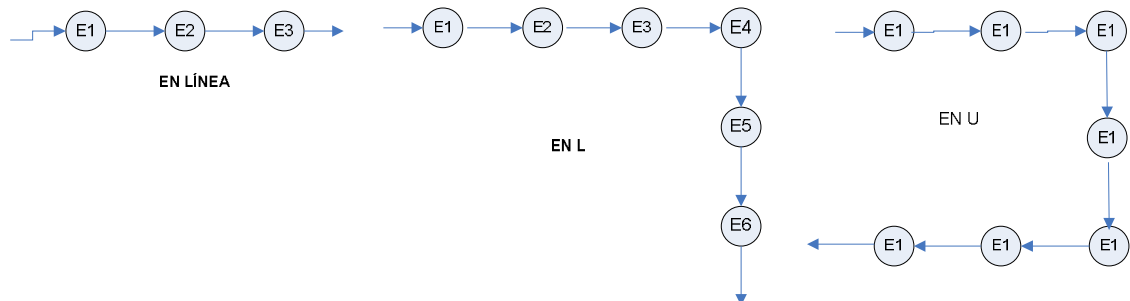


Figura 2.4: Formas usuales de Distribución de Planta por producto.

Fuente: DOMÍNGUEZ, 1995.

Existen ventajas y desventajas de este tipo de Distribución de Planta, las cuales se van a enumerar a continuación:

- Ventajas:
 - Manejo de materiales reducido.
 - Material en proceso menor, por lo que hay una reducción del tiempo de producción, tiempo de proceso, y una menor inversión en materiales.
 - Uso efectivo de la mano de obra por una mayor especialización, facilidad de entrenamiento, suministro mayor de mano de obra que incluye semi especializada y sin especialización.

- Control más sencillo con una producción con menos papeleos, trabajadores fáciles de supervisar y menos problemas interdepartamentales.
 - Reducción en la congestión y área de suelo ocupada.
- Desventajas:
 - Ausencia de flexibilidad en el proceso.
 - Escasa flexibilidad en los tiempos de fabricación.
 - Inversión elevada.
 - El conjunto depende de cada una de las partes.
 - Trabajos monótonos.

2.2.2. Distribución de Planta por proceso (por función).

En el caso de la distribución enfocada al proceso, todas las operaciones del mismo proceso o tipo de proceso se congregan juntas. Las operaciones similares y, el equipo están agrupados por la función que llevan a cabo. Se adopta este tipo de distribución cuando la producción se organiza por lotes, en la que el personal y equipo que realizan una misma función en general se concentran en una misma área.

Se utiliza cuando la maquinaria es muy costosa o difícil de mover, cuando se fabrica una gran variedad de productos, cuando hay variaciones amplias en los tiempos para diferentes operaciones, y cuando la demanda es intermitente

Las principales características de este tipo de distribución se presentan a continuación:

Tabla 2.3: Características de la Distribución de Planta por proceso.

Producto	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificado. • Volúmenes de producción variables. • Tasa de producción variable.
Flujo de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo variable. • Cada ítem puede requerir una secuencia de operaciones propia.
Mano de obra	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentalmente cualificada, sin necesidad de estrecha supervisión y moderadamente adaptable.
Personal Staff	<ul style="list-style-type: none"> • Necesario en programación, manejo de materiales y control de la producción y los inventarios.
Manejo de materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Variable, a menudo hay duplicaciones, esperas y retrocesos.
Inventarios	<ul style="list-style-type: none"> • Escaso inventario de productos terminados. • Altos inventarios y baja rotación de materias primas y materiales en curso.
Utilización del espacio	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente: elevada salida por unidad de superficie.
Necesidades de capital	<ul style="list-style-type: none"> • Inversiones más bajas en proceso y equipos de carácter general.
Costo del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Costos fijos relativamente bajos. • Alto costo unitario por mano de obra y materiales.

Fuente: DOMÍNGUEZ, 1995.

Al igual que la distribución por producto, este tipo de distribución tiene ventajas y desventajas que a continuación se expondrán:

- Ventajas:
 - Da un aspecto de orden y limpieza.
 - Facilidad de adiestramiento de sus operarios.
 - Flexibilidad en el proceso y en personal calificado.
 - Menores inversiones en equipo.
 - Diversidad de tareas para los trabajadores, lo que reduce la insatisfacción y desmotivación.
 - Está adaptada a una demanda intermitente, ya que se pueden variar los programas de producción.

- Desventajas:
 - Baja eficiencia en manejo de materiales.
 - Elevados tiempos de ejecución.
 - Dificultad de controlar y planificar la producción.
 - Costo por unidad más elevado.
 - Baja productividad.
 - Recorridos largos y reprocesos.

2.2.3. Distribución de planta por posición fija.

En el caso de la distribución de posición fija, el material o componente principal permanece fijo, no puede moverse ya que todas las herramientas, maquinarias, personal y otras piezas de materia se llevan a él. Los obreros pueden moverse o no de una posición de montaje a otras.

Este tipo de distribución es apropiada cuando no es posible mover el producto debido a su peso, tamaño, forma, volumen o alguna característica particular que lo impida. Solamente se utiliza en donde existan pocas piezas a fabricar así como maquinaria, las operaciones necesitan únicamente de herramientas simples, cuando el costo de movimiento de la pieza principal sea elevado. El obrero debe estar altamente entrenado.

Las principales características de este tipo de distribución se presentan a continuación:

Tabla 2.4: Características de la Distribución de Planta por posición fija.

Producto	<ul style="list-style-type: none"> • Normalmente, bajo pedido. • Volúmenes de producción bajo, con frecuencia una sola unidad.
Flujo de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Mínimo o inexistente. • El personal, la maquinaria y los materiales van al producto cuando se necesitan.
Mano de obra	<ul style="list-style-type: none"> • Alta flexibilidad de la mano de obra, la asignación de tareas es variable.
Personal Staff	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamental en la programación y coordinación de actividades.
Manejo de materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Variable, a menudo, escaso. En ocasiones se requieren equipos, de tipo universal, para cargas pesadas.
Inventarios	<ul style="list-style-type: none"> • Inventarios variables y frecuentes inmovilizados.
Utilización del espacio	<ul style="list-style-type: none"> • Generalmente toda la superficie es requerida por un único producto.
Necesidades de capital	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos y procesos móviles de carácter general.
Costo del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Costos fijos relativamente bajos. • Alto costo unitario por mano de obra y materiales.

Fuente: DOMÍNGUEZ, 1995.

La distribución de posición fija posee ventajas y desventajas que se expondrán a continuación:

- Ventajas:
 - Se reduce la manipulación de la unidad principal de montaje.
 - La calidad recae en un trabajador o un equipo de montaje.
 - Permite cambios frecuentes en cuanto a diseño y secuencia de operaciones.
 - La demanda puede ser intermitente.
 - Es flexible, ya que no requiere de una ingeniería de distribución costosa ni un plan contra interrupciones en la continuidad del trabajo.

- Desventajas:
 - La manipulación de piezas en el lugar del montaje aumenta.
 - Se necesita de mano de obra especializada.

2.2.4. Distribuciones de planta híbridas (células de trabajo).

Este tipo de distribución, tal como se menciona al comienzo del apartado 2.2, es una combinación de distribución por producto y por proceso, se puede definir como una agrupación de máquinas y trabajadores que laboran en una sucesión de operaciones. Esta distribución permite el mejoramiento de las relaciones humanas y de las pericias de los trabajadores, al mismo tiempo, facilita la supervisión y el control visual. Aunque se incrementan los tiempos inactivos de las máquinas debido a que se encuentran dedicadas a la célula y no son utilizadas de manera ininterrumpida.

Para formar las células de trabajo, primero se seleccionan las familias de productos, luego se determinan las células y por último se detalla la ordenación de las células.

En la práctica, la mayoría de las distribuciones son una combinación de estos tipos distribuciones, para así aprovechar las ventajas de cada una de ellas.

2.3. ALGORITMOS USADOS PARA UNA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA POR PROCESO.

2.3.1. CRAFT Computer Relative Allocation of Facilities Technique

Desarrollado por Buffa y Gordon, es un programa heurístico que puede operar hasta con 40 departamentos. Este programa parte con una distribución previa que ha de tomarse como punto de partida y supone que el costo de las interrelaciones entre departamentos es producto de matrices de distancia e intensidades de tráfico, que son los inputs del problema. (DOMÍNGUEZ, 1995)

2.3.2. ALDEP (Automated Layout Design Program)

Desarrollado por Seehof y Evans, tiene capacidad para distribuir 63 departamentos. Utiliza una matriz de códigos de letras similar a las especificaciones de prioridad, dicha relación es traducida a términos cuantitativos para facilitar la evaluación. (DOMÍNGUEZ, 1995)

2.3.3. CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning)

Puede ordenar hasta 45 departamentos. Entre otros, requiere como inputs la especificación de los tamaños de aquellos y algunas dimensiones de la planta. La solución obtenida se caracteriza por la irregularidad en las formas. (DOMÍNGUEZ, 1995)

2.3.4. PREP (Plant Relayout and Evaluation Package)

Puede analizar un total de 99 departamentos. Los resultados se basan en las distancias realmente recorridas en el manejo de materiales, es decir, no considera caminos rectos entre los centros de los departamentos, pudiendo trabajar con diferentes recorridos. (DOMÍNGUEZ, 1995)

2.3.5. SLIM (Store Labor and Inventory Management)

Programas específicos para la distribución de pequeños comercios y supermercados. (DOMÍNGUEZ, 1995)

Los procedimientos detallados de los algoritmos que se utilizaron en el estudio se presentan en el apartado 4.2.2 para su verificación.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. ETAPAS DEL DISEÑO METODOLÓGICO

Para realizar el estudio se debe tener claro cuál es la decisión clave, en este caso es la ordenación de los diversos departamentos, lo que se logra satisfaciendo criterios relevantes como disminuir las distancias a recorrer y el costo del transporte de materiales, procurando aumentar la eficiencia de las operaciones. Así, la superficie, la seguridad en el trabajo y la localización fija de determinados departamentos, limitarán y, probablemente, modificarán las soluciones obtenidas en una primera instancia.

Para este estudio se consideran 2 etapas fundamentales:

3.1.1. Análisis de Distribución de Planta actual.

Basándose en el Marco Teórico expuesto en el apartado 2, la primera gran meta es determinar qué tipo de Distribución de Planta se identifica actualmente en la Sucursal Maule, para lo cual se realizó un breve análisis que se ilustra en el apartado 4.1 y que concluye que existe una Distribución de Planta por procesos.

3.1.2. Aplicación de metodología de Krajewski y Ritzman.

Una vez identificada que tipo de distribución es la existente en la Sucursal Maule de Bitumix, se procede a determinar la mejor metodología para su posterior ejecución. Luego, la metodología más idónea para el tipo de Distribución de Planta por Proceso, es la que elaboraron Krajewski y Ritzman que consta de tres fases como se observa en la tabla 3.5, que es una adaptación de lo expuesto por Dominguez.

Tabla 3.5: Desarrollo de la Distribución de Planta por proceso.

		FASES		
		Recogida de información	Plan de bloque	Distribución detallada
Naturaleza de los factores relevantes	Cuantitativos	Espacio requerido Espacio disponible Otras consideraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de flujo de materiales entre departamentos • Matriz de distancias • Matriz de costos 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar el costo de transporte: CRAFT • Consideración de otros factores y restricciones
	Cualitativos		<ul style="list-style-type: none"> • Prioridades de cercanía 	

Fuente: DOMINGUEZ, 1995.

a) *Recogida de información.*

Consiste en conocer los requerimientos de información necesarios para el correcto desarrollo del presente estudio y considera aspectos tales como:

- Costos relevantes para Bitumix
- Costos relevantes para el estudio
- Cálculo de áreas de acopios
- Recopilar información para la posterior construcción de los datos de entrada de los determinados algoritmos a utilizar en el estudio como son:
 - Matriz de costos unitarios
 - Matriz de flujo de materiales entre departamentos
 - Matriz de distancia entre departamentos

b) *Plan de bloque*

Una vez determinado el tamaño de los departamentos se procede a su re ordenación dentro de la planta y, a determinar la forma deseada que dará lugar al layout solución. Dicha re ordenación tiene distintos modos de operación si se trabaja netamente con factores de naturaleza cuantitativa o cualitativa, para este estudio se procede de la siguiente manera:

- Para factores cualitativos, su principal objetivo es optar por la solución que maximice las consideraciones de cercanía y en el estudio se trabaja con los algoritmos CORELAP y ALDEP.
- Para factores cuantitativo, su principal objetivo es entregar el layout solución que minimice el costo de transporte y para el estudio se trabaja con el algoritmo CRAFT.

c) *Distribución detallada.*

Corresponde a la etapa de implementación definitiva de la solución escogida, lo cual no esta en el alcance del estudio.

3.2. RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN.

La recolección de los datos se realizó en los meses de Septiembre y Noviembre del 2009, instancia en donde se logró un conocimiento acabado de la zona de estudio de la Sucursal y del funcionamiento de la planta de asfalto, alrededor de la cual se efectuará el estudio.

El estudio será en base a observación directa, entrevistas con el personal de la Sucursal, mediciones necesarias para el estudio, análisis de documentación relevante para el estudio y datos obtenidos en la Sucursal.

Tipos de muestras

El tipo de muestra que se utiliza para determinar los tiempos de transporte dentro de la planta y a partir de éstos (tiempos) determinar los costos necesarios para la aplicación del algoritmo CRAFT, corresponde a un muestreo aleatorio simple, puesto que cada uno de los individuos de la población tienen igual posibilidad de ser elegidos. Y para su utilización se aplica la tabla de números aleatorios (véase ANEXO 2).

Tamaño y selección de la muestra

En cuanto al tamaño de la muestra se debe considerar que será representativo de la población y que la selección será al azar.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado, se exponen la aplicación del diseño metodológico planteado por Krajewski y Ritzman, presentado en el capítulo 3, y además se expone un análisis comparativo de las soluciones arrojadas por los distintos algoritmos utilizados.

4.1. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA ACTUAL DE BITUMIX SUCURSAL MAULE

Una vez expuesto el marco teórico en el que se basa éste estudio en el apartado 2, se procede a realizar un breve análisis de cada uno de los ítems relevantes presentados en dicho marco teórico observables en la Sucursal Maule. Es así como se analizan los objetivos de la distribución, tipo de distribución y layout actual.

4.1.1. Sobre los Objetivos de la Distribución.

En lo que se refiere a los objetivos de una distribución de planta , principalmente, en lo referente a lograr una distribución eficiente, segura y satisfactoria para el personal, este estudio considera varias entrevistas al operador del cargador (encargado de realizar el transporte de la materia prima a la planta de asfalto) quien manifiesta que, sin lugar a dudas, le acomodaría tener una mejor distribución dentro de la zona de estudio, puesto que recorrería menos distancias y podría estar más atento a las necesidades que tenga el operador de la planta de asfalto de sus servicios, sin necesidad que se sienta presionado con la campanilla que se utiliza en la actualidad para llamar su atención cuando se encuentra en lugares donde no posee alcance óptico para ver la materia prima que necesita la planta de asfalto.

Los objetivos básicos de distribución de planta citados en el apartado 2.1. son cuatro y en la Sucursal Maule se interpretan de la siguiente manera:

- Unidad.

En lo que se refiere a la Sucursal Maule, sería bueno lograr maximizar la unión integrada de los acopios de materias primas con la planta de asfalto, puesto que en el layout actual existe bastante descoordinación.

- Circulación mínima.

En la actualidad dentro de la Sucursal Maule puesto que, si bien parecen coherentes las distancias de dos de los áridos entre sí (gravilla 6-13 y gravilla 13-17) y con respecto a la planta de asfalto, parece ilógico que el árido que contribuye con un 45 por ciento de la mezcla asfáltica (polvo roca), sea la que se encuentra más alejada de la planta de asfalto.

- Seguridad.

He aquí uno de los puntos críticos dentro de la Sucursal Maule, donde no existe estipulada una vía de circulación de personal y vehículos pesados, por lo tanto, las inseguridades están a la vista y sin duda existen costos difíciles de cuantificar en cuanto a la seguridad de los trabajadores.

- Flexibilidad.

Para cumplir con los objetivos de la flexibilidad de volumen de producción, se considera (para la aplicación de algoritmos) un área de los centros de acopios proyectadas casi al doble de lo que actualmente es necesario mensualmente, con la finalidad de hacer frente a eventos inesperados que escapen de las manos de las jefaturas, en estas ocasiones es mejor tener siempre en inventario reservas de materia prima.

4.1.2. Sobre los Factores que afectan Distribución.

En lo que se refiere a los factores que afectan a la Distribución de Planta, los más relevantes en Sucursal Maule son:

- Los materiales.

En el estudio se tendrá en consideración las especificaciones técnicas de cada una de las materias primas (polvo roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17) para poder determinar el área óptima de acopio mensual puesto que cada una de las gravillas cuenta con una densidad distinta, lo que influirá en una mayor o menor superficie a utilizar.

- La maquinaria.

En lo que se refiere a este factor, en la Sucursal estudiada están todas las maquinarias claramente identificadas y se maneja todo tipo de información y control sobre las mismas. Lo interesante del estudio es lograr que el cargador frontal (maquinaria utilizada para el transporte de la materia prima dentro de las instalaciones), logre ser utilizado de forma óptima, pues actualmente este medio de transporte se utiliza la mayor parte del día para transportar las gravillas a los respectivos buzones (véase anexo 6) pudiendo ser utilizado para transportar los rechazos al buzón indicado para reutilizar dicho material y no seguir manteniéndolo acopiado como se observa en la fotografía 4.2.2.1, ello implica un costo de oportunidad importante.



Fotografía 4.9: Ilustración de acopio de rechazos en Sucursal Maule de Bitumix

- La mano de obra.

Es relevante destacar que dentro de la Sucursal Maule de Bitumix no están delimitadas las vías de circulación tanto de vehículos como del personal de la Sucursal, por ende, sin lugar a dudas, este estudio será un gran aporte para la seguridad de los operarios al mejorar la distribución de la planta.

- Las esperas.

Es importante mencionar que dentro de la Sucursal existen actualmente dos áreas de almacenamientos para los áridos, el temporal y el permanente. El almacenamiento temporal se forma cuando la unidad de procesamiento de chancado (véase definición en glosario) obtiene como producto final, los tres tipos materias primas (polvo roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17) necesarios para la planta de asfalto. El almacenamiento permanente es aquél que se encuentra en los alrededores de la planta de asfalto, que son abastecidos por proveedores externos o por los acopios temporales de la unidad de procesamiento de chancado.

4.1.3. Sobre el Tipo de Distribución.

En cuanto a el tipo de distribución de planta que existe en la Sucursal Maule, si se analizan detalladamente las características que tiene cada una de las posibilidades de distribución existentes en la literatura, la Sucursal estudiada se identifica mucho con el tipo de distribución de planta por proceso, puesto que se caracteriza por poseer volúmenes de producción variables (hay días en los que no se produce nada y días en los que se produce por sobre los estándares exigidos y en consecuencia la tasa de producción es variable), poseer un flujo de trabajo variable (al existir más licitaciones ganadas obviamente el flujo aumenta y los días que no hay clientes que abastecer la tasa baja), poseer una ineficiente utilización del espacio (puesto que existe una gran necesidad de espacio

para los rechazos, que corresponde al material de residuo que queda en los silos) y, además, se caracteriza por no encontrarse bien delimitadas las áreas para el acopio de cada árido.

4.1.4. Layout actual.

La motivación más relevante para llevar a cabo este estudio se origina por la desorganización existente en la zona de estudio en los centros de acopios de la materia prima, lo que significa un incremento del costo por concepto de transporte y, quizás lo más relevante, un tema de seguridad vial, aspecto preocupante dentro de la planta.

En la Sucursal Maule existen dos procesos productivos que funcionan paralelamente, uno es la planta de asfalto (ver fotografía 4.10) y el otro es la unidad de procesamiento de chancado (ver fotografía 4.11), ubicados ambos dentro de las instalaciones de la Sucursal.



Fotografía 4.10: Visualización general de planta de asfalto.



Fotografía 4.11: Visualización general del área de procesamiento de chancado.

Planta de asfalto.

En los alrededores de la primera unidad de procesamiento, la de elaboración de la mezcla asfáltica (cuyo funcionamiento se expone en el punto 1.3.6) se encuentran los acopios de las materias primas que hasta la fecha son adquiridos por proveedores externos de áridos. Al no existir lugares especialmente definidos para el acopio de las diferentes materias primas, los camiones cuando ingresan, dejan el árido en los lugares donde existe espacio disponible, los que no necesariamente son los más adecuados y eficientes, además, desde una perspectiva de presentación estética de las instalaciones, genera una imagen de completa desorganización al interior de la zona de estudio, tal como se puede observar en la fotografía 4.12.



Fotografía 4.12: Ilustración de desorganización existente en los acopios.

Es importante recalcar que al no poseer acopios definitivos, debidamente delimitados, al interior de la zona de estudio, existe una incongruencia, puesto que los acopios provisorios que existen para las respectivas materias primas a simple vista están mal ubicados, en la actualidad la mezcla asfáltica que más se elabora dentro de la Sucursal consta de un 45 por ciento de polvo roca, un 35 por ciento de gravilla 6-13 y un 20 por ciento de gravilla 13-17, en consecuencia los acopios que deberían estar más cercanos a la planta de asfalto serían el polvo roca, la gravilla 6-13 y la gravilla 13-17 respectivamente, en ese orden. Según, las mediciones de distancia que se realizaron en la primera visita a la Sucursal, se concluyó que los acopios provisorios que utilizan en la Sucursal, tomando como referencia de medición los respectivos buzones de almacenamiento dentro de la planta de asfalto son de :

- Polvo roca se encontraba distante a 105 metros de su respectivo buzón.
- Gravilla 6-13 se encontraba distante a 44 metros de su respectivo buzón.
- Gravilla 13-17 se encontraba distante a 48 metros de su respectivo buzón.

Evidentemente, la distribución existente dentro de la zona de estudio no es la más óptima, además de contar con espacios muertos cercanos a la planta de asfalto (ver fotografía 4.13), que podrían haber sido utilizado por un acopio de materia prima para disminuir los trayectos que debe realizar el cargador y en consecuencia minimizando los costos asociados al transporte.



Fotografía 4.13: Visualización de superficies desocupadas innecesariamente.

Unidad de procesamiento de chancado.

La segunda unidad de procesamiento que se encuentra en la parte posterior de la Sucursal Maule, es la del proceso de chancado en donde se fabrica la materia prima que se utilizará en la planta de asfalto; La unidad de procesamiento de chancado se puso en funcionamiento en el mes de Septiembre del año 2009 de forma piloto. La finalidad de la incorporación de ésta unidad de procesamiento, es no comprar la materia prima a terceros como se hace hoy en día, sino autoabastecerse de los áridos (integración vertical hacia atrás de la empresa). La unidad de procesamiento de chancado trabaja actualmente seis horas al día obteniendo un rendimiento de aproximadamente 35 m³ de áridos por hora. Si bien ésta unidad no es parte del estudio, es importante mencionar que lo que se produce en el proceso de chancado será lo que se acopiará de forma definitiva en el layout final del presente estudio.

4.2. APLICACIÓN DE METODOLOGÍA KRAJEWSKI Y RITZMAN.

4.2.1. Recogida de información

a) Costos relevantes para Bitumix.

En la actualidad se pueden identificar variados costos relevantes en la fabricación de la mezcla asfáltica y transporte de la misma a los respectivos lugares de destino según lo estipule el contrato. En los costos de fabricación de la mezcla asfáltica están los costos de electricidad, agua, telefonía, arriendo de camionetas, sueldos de trabajadores, costo de la materia prima, entre otros.

En relación al costos de transporte, que es el costo del traslado del producto final desde la Sucursal hasta el lugar donde lo requiere el cliente tanto público (el principal es el Ministerio de Obras Públicas) como privados, según lo estipule el contrato. Para dicho traslado Bitumix subcontrata a una flota permanente de camiones que sólo prestan servicios a la Sucursal, los cuales cobran un precio estipulado por tonelada trasladada y por kilómetros recorridos.

En lo que respecta al costo de transporte, al momento de elaborar las propuestas a sus clientes Bitumix, incorpora este costo en el diseño de las mismas, de la siguiente manera; Para hacer una diferencia entre el costo de transporte para Bitumix y para el cliente que solicite una mezcla, el Gerente de la Sucursal Maule tiene tabulados los costos aproximados por kilómetro dependiendo de variables como: el tipo de terreno, el tipo de camión, el tipo de camino, el costo del petróleo, entre otros. Teniendo entonces dichos costos de transporte para Bitumix se elaboran las propuestas para el cliente. En dicha propuesta o licitación se tienen en cuenta el kilometraje desde la instalación de la Sucursal Maule, ubicada a 10 kilómetros de la ciudad de Talca, hasta el lugar estipulado en el contrato para posteriormente dar un costo final con la mezcla asfáltica puesta en terreno. Obviamente, al momento de generar la propuesta, Bitumix considera un porcentaje de ganancia por concepto de flete para la empresa.

b) Costos relevantes para el estudio.

El costo a utilizar en el presente estudio es el costo de transporte de la materia prima dentro de la zona de estudio, desde los acopios hasta donde está ubicada la planta de asfalto. En dichos costos se centra éste estudio, intentando en base a una mejora en la Distribución de Planta, minimizar los costos de dichos movimientos y, además, dejar estipuladas las vías de circulación de las maquinarias y operarios dentro del terreno, de manera tal que se genere una distribución estética, segura para los trabajadores en la Sucursal el Maule y, a la vez, que optimice los costos de transporte.

Dentro de los argumentos por los cuales se desea analizar la distribución, como ya se ha mencionado en apartados anteriores, es el incremento innecesario del costo de transporte de la materia prima, el que se cuantificará puesto que es uno de los datos necesarios para la utilización de los algoritmos. Es importante señalar que al implementar la solución del estudio (layout final), se podrá determinar el

costo asociado a esta propuesta para la empresa, antes no y con ello establecer las diferencias de costos (ahorro efectivo) con el layout actual.

Existe además un gasto que está asociado a la distribución existente, es el gasto vinculado a la accidentabilidad laboral, el que se genera a causa de la nula delineación de las vías de circulación, el que depende de factores tales como: tipo de accidentes, frecuencias de accidentes, entre otros. Para calcular este egreso se requiere conocer en forma precisa los factores mencionados anteriormente.

En la visita a terreno por parte de la memorista, se manifiestan evidentes situaciones anómalas con simple inspección visual, por ejemplo, el hecho de que la materia prima que más se utiliza dentro de la planta de asfalto (polvo roca), es la que se encuentra más alejada de ésta. Luego, para corroborar esta situación la primera misión fue determinar el costo de transporte por tonelada con la distribución actual de la planta.

Para ello, una vez conocido el proceso productivo fue necesario identificar todos los costos involucrados con el vehículo de transporte necesario para el traslado de los áridos a la planta de asfalto.

El vehículo de transporte es un cargador marca John Deere, que posee una capacidad máxima de 4 toneladas por palada, además, tiene un estanque de 250 litros de petróleo y debe ser conducido por un chofer especialmente capacitado para su manejo. Dentro de los costos que se identifican son los de arriendo puesto que el vehículo es de propiedad de Bitumix Sede central Santiago, unidad de negocio independiente con centro de costo también independiente, a la cual Sucursal Maule debe pagarle un precio de arriendo de \$75.000 por día. Es importante señalar que la utilización de la maquinaria al día, es de seis horas de funcionamiento.

Otro costo adjudicado al cargador es el costo del operador que maneja el vehículo que tiene un costo de \$35.000 por día de trabajo. El costo de combustible fue más complejo determinar, puesto que fue necesario recurrir a las planillas de gasto de combustible y, debido a que el cargador en vez de kilometraje (como marca un vehículo convencional), indica las horas que lleva recorrido el medio de transporte (a través de un instrumento llamado horómetro), fue necesario llevar todos los datos de movimientos al interior de la zona de estudio a segundos, para así unificar unidades de medida.

En una planilla facilitada por personal de la Sucursal se ingresan los datos referentes al cargador como por ejemplo, fecha de carga última carga de combustible, quién cargó petróleo, cuánto marcaba el horómetro una vez que se cargo combustible y la cantidad de combustible, por lo tanto, la tarea fue encontrar las dos últimas cargas de combustibles, sacar la diferencia de horas y ver cuántos días eran en promedio los que duraba la carga del combustible. Para efectos del estudio, se decidió tomar los datos de la última carga de combustible, que se había realizado cercanos a la fecha de la recolección de información por parte de la memorista, que se realizó el día 20 de octubre de 2009. Dicha decisión se realizó puesto que todo el resto de datos sigue la misma línea.

Con dicha información se puede determinar el costo por segundo de traslado. Los datos que se obtuvieron de la planilla son de fecha 16 de octubre de 2009 y se exponen a continuación:

Tabla 4.6: Cargas de combustible del cargador frontal.

Fecha carga	Litros cargados	Marca de Horómetro
16 de octubre de 2009	210	4227
20 de octubre de 2009	170	4246

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

En la Tabla 4.6 se puede determinar que el vehículo de carga, tardó cuatro días en consumir 210 litros de combustible, cuyo funcionamiento en total fue de 19 horas (diferencia de 4246-4227), que a su vez constituye cuatro días de funcionamiento del cargador (se debe considerar que para el cargador, un día completo de trabajo tiene seis horas).

En consecuencia sumando todos los costos involucrados en el transporte, el de arriendo, el de combustible (considerando que el costo de litro de petróleo para la empresa es de \$317,3) y, el sueldo del chofer del vehículo.

Tabla 4.7: Costos involucrados en el cargador frontal.

Arriendo	
Cargador	\$75.000 x 4 días
Sueldo	
Chofer	\$35.000 x 4 días
	210 litros x \$317,3
Combustible	litro petróleo

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Así, se obtiene que cada segundo de traslado, independiente del lugar, tiene un costo de \$7,4 el segundo, dato que se obtiene al sumar todos los datos obtenidos en la Tabla 4.7 y dividiéndolos en 19 horas (que equivalen a cuatro días de trabajo para el cargador) y, posteriormente, dividiendo ese factor en 3.600 para dejarlo expresado en segundos.

Para obtener los costos de transporte para ir en busca de cada materia prima (polvo roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17) que están expresados en horas al día hubo que recurrir a una medición de tiempos, todo esto para poder determinar la matriz de costos que se utiliza como dato de entrada de uno de los algoritmos que se utilizan en el transcurso de éste estudio.

Para saber cuántos tiempos por áridos se debían tomar, se decidió instruir al operador del cargador para que realice una contabilización del número de vueltas que realiza para buscar un determinado árido durante un día de funcionamiento de la planta de asfalto, hasta que se cumpliera con las 200 toneladas que se deben producir en promedio diariamente para cumplir con los pronósticos de ventas

que se le exige a la Sucursal. Una vez obtenido el número de vueltas del cargador para buscar determinado árido, se podría conocer la población en cuanto a número de vueltas que tuvo que dar el cargador para cumplir con las mencionadas 200 toneladas de mezcla asfáltica al día. Ciertamente fue necesario validar la información obtenida del operador, por lo que se optó por sacar un promedio de capacidad del cargador de los distintos áridos, puesto que (evidentemente) tienen distintas densidades, lo que infiere en la capacidad de transporte del mismo; Luego por una simple multiplicación de factores entre la cantidad de vueltas que dio el operador y los promedios de capacidad de los respectivos áridos, se obtuvo una cantidad de toneladas completamente verificable con las planillas de producción que se llenan diariamente en la planta de asfalto. Los datos que entregó el operador del cargador se exponen a continuación y los datos de las capacidades están en la tabla 4.8:

Tabla 4.8: Población total de vueltas de cargador.

Polvo roca	: 24
Gravilla 6-13	: 18
Gravilla 13-17	: 13

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Al tener la población, se puede determinar cuál será el número de muestras de tiempo que son representativos por cada uno de los áridos. Es importante validar estadísticamente el análisis, por ende, debemos responder a los dos principios básicos de la estadística que son la representatividad y la aleatoriedad. Para dar respuesta al primero de los principios, se determina que para definir las muestras de manera idónea se utilizará la norma MIL STD 414 (Nch 1208 Procedimientos de muestreo para variables) que establece por medio de una tabla (véase ANEXO 1), que a un número fijo de población se le correlaciona automáticamente un número de muestras, de tal manera que, dicho valor sea totalmente representativo de la situación en cuestión. En vista de que ya se cuenta con el número total de la población, se procedió a utilizar la tabla MIL STD 414, que arrojó el siguiente resultado:

Tabla 4.9: Número de muestras representativas para el estudio.

Población Total	Muestras Representativas
24	4
18	4
13	3

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

El segundo punto, referente a principios de aleatoriedad, se tomó la disposición de recurrir a la tabla de números aleatorios (véase definición en glosario) para determinar que tiempos se utilizarán en el estudio, de cada tipo de árido, dentro de la población ya conocida (véase ANEXO 5).

La forma de trabajar con la tabla es la siguiente: Se escoge al azar una fila y una columna y, como en este caso en particular se consideran muestras de sólo un dígito, se utilizan los números que aparecen en ésa ubicación de la matriz, luego, en la columna inmediatamente posterior, a la derecha,

hasta conseguir todos los números considerados en la muestra que se utilizaron en el estudio. En consecuencia, las muestras que se utilizaron para cada árido son las siguientes:

- Polvo roca, partiendo en la fila 29 columna 6 (véase anexo 2), los números que se utilizan en el estudio son las muestras de tiempos de las vueltas 4,2,3 y 8.
- Gravilla 6-13, partiendo en la fila 33 columna 7 (véase anexo 3), los números que se utilizan en el estudio son las muestras de tiempos de las vueltas 9,6,2 y 7.
- Gravilla 13-17, partiendo en la fila 29 columna 2 (véase anexo 4), los números que se utilizan en el estudio serán las muestras de tiempos de las vueltas 2,3 y 1.

Así, se procedió a identificar dentro de la población de tiempos de vueltas que realizó el cargador por cada uno de los áridos (véase anexo 5), los que arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 4.10: Medición de tiempos expresados en segundos en una vuelta.

Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17
90	61	74
88	66	72
81	65	68
95	50	

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Una vez medidos los tiempos, se pudo obtener un tiempo promedio para el transporte de cada uno de los áridos, que fue:

- Polvo roca: 89 segundos.
- Gravilla 6-13: 61 segundos.
- Gravilla 13-17: 71 segundos.

Para seguir con el estudio, fue necesario tomar muestras de cuánto era efectivamente la capacidad útil o con la que llegaba el cargador a los buzones de las respectivas materias primas (polvo roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17). Para ello se pesó el cargador tres veces con las respectivas materias primas en una romana (véase definición en glosario) lo que arrojó los siguientes resultados:

Tabla 4.11: Capacidades del cargador (toneladas).

Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17
3,28	3,16	3,24
3,39	3,26	3,24
3,26	3,24	3,41

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Obteniendo un promedio de:

- Polvo roca: 3.31 toneladas.
- Gravilla 6-13: 3.22 toneladas.
- Gravilla 13-17: 3.3 toneladas.

Luego, de tener la capacidad promedio del cargador y los tiempos que tardaba en trasladar cada uno de los áridos desde los acopios hasta los buzones respectivos, se hace necesario saber cuáles son los porcentajes de la mezcla asfáltica para poder determinar el costo de transporte de materia prima necesario para obtener 200 toneladas de asfalto diarios. Para obtener dichos datos se recurrió a la gerencia, desde donde se informó que las proporciones para la mezcla asfáltica más producida en la Sucursal son:

- 45 por ciento de polvo roca.
- 35 por ciento de gravilla 6-13.
- 20 por ciento de gravilla 13-17.
- 5,5 por ciento adicional de solución asfáltica.

Una vez obtenido estos datos, se aplica una regla matemática para saber cuánto de cada árido es necesario para producir 200 toneladas diarias. Dichos cálculos son expresados a continuación:

Tabla 4.12: Cálculo de cantidad de árido necesario para producir 200 toneladas de mezcla asfáltica.

Mezcla asfáltica	200
Solución asfáltica	10
Aridos	210
Polvo roca 45%	95
Gravilla 6-13 35%	73
Gravilla 13-17 20%	42

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

La regla de tres simple funciona de la siguiente manera: Se tiene que el total de mezcla asfáltica es de 200 toneladas, en donde ya está adicionado el 5,5 por ciento de la solución asfáltica, por ende, para determinar la cantidad de árido que es necesario para la fabricación de dichas 200 toneladas de mezcla asfáltica, hay que dividir las 200 toneladas por el factor 1,055. A dicho resultado se le deben sumar las pérdidas en la fabricación de mezcla asfáltica que están estipuladas para los áridos que es un total de 10,5 por ciento. Así se multiplica el resultado de la operación anterior por el factor 1,105, obteniendo como resultado la cantidad de árido (210 toneladas) para la elaboración de 200 toneladas de mezcla asfáltica.

Como se citó en el apartado 1.3.5 la mezcla asfáltica esta compuesta por diferentes porcentajes de las materias primas, en consecuencia las 210 toneladas de áridos se desagregan según sus respectivos porcentajes en la mezcla asfáltica de la siguiente manera:

- 94 toneladas de polvo roca, equivalente al 45 por ciento de las 210 toneladas de áridos.
- 73 toneladas de gravilla 6-13, equivalente al 35 por ciento de las 210 toneladas de áridos.
- 42 toneladas de gravilla 13-17 equivalentes al 20 por ciento de las 210 toneladas de áridos.

Generados estos datos a través de la aplicación de una regla de tres simple y, utilizando los datos de tiempo promedio y capacidad promedio, se puede obtener el tiempo que tarda el cargador en cumplir con los requerimientos de cada uno de los áridos para lograr producir 200 toneladas diarias. Así los tiempos de cada árido quedarían de la siguiente forma:

Tabla 4.13: Tiempo total de transporte de árido polvo roca para fabricar 200 toneladas de mezcla asfáltica.

Polvo Roca	
Capacidad (toneladas)	Tiempo (segundos)
3,31	89
94	2527

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Tabla 4.14: Tiempo total de transporte de árido gravilla 6-13 para fabricar 200 toneladas de mezcla asfáltica.

Gravilla 6-13	
Capacidad (toneladas)	Tiempo (segundos)
3,22	61
73	1383

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Tabla 4.15: Tiempo total de transporte de árido gravilla 13-17 para fabricar 200 toneladas de mezcla asfáltica.

Gravilla 13-17	
Capacidad (toneladas)	Tiempo (segundos)
3,3	71
42	904

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Con toda ésta información generada, se pueden utilizar de óptima forma los algoritmos CORELAP, ALDEP y CRAFT que se escogieron para dar la mejor solución alternativa a la empresa.

Es importante destacar que todos los datos que se exponen en el apartado, cumplen con todas las exigencias estadísticas necesarias para validar el estudio.

c) *Cálculo de área de acopios.*

En la Sucursal Maule se facilitó un plano de la misma (véase Anexo 7) para conocer la superficie total de ésta y poder determinar la disponibilidad de espacio para cada departamento. En ese contexto, el área que utiliza la planta asfalto es de 1209 m², puesto que tiene un largo de 39 metros y un ancho de 31 metros. En lo que se refiere al área de los centros de acopio de las materias primas, al ser éstos acopios temporales y sin ningún tipo de control, no existían dimensiones establecidas. Ésta fue una de las primeras metas, lograr establecer un área de acopio óptimo (para cada una de las materias primas: Polvo roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17), considerando que las materias primas debían cumplir con la demanda de todo un mes. Los cálculos se determinaron, pensando en un panorama de producción muy por sobre las expectativas que son mantener materia prima necesaria para producir 12.000 toneladas de mezcla asfáltica mensuales.

Para poder determinar las dimensiones de los acopios definitivos, se debía tener en consideración que los acopios de áridos son inestables debido a su densidad y, por ende, al momento de acopiarlos ocupan una superficie mayor a lo que aparentan.

Para lograr cuantificar de mejor manera el área de los acopios, se consensuó con la jefatura de la Sucursal utilizar la fórmula de volumen de una pirámide (véase fórmula 1), por ser ésta similar a la forma que se visualizan las materias primas al momento de acopiarlos y además se recurre a técnicas utilizadas en la construcción para adecuar las dimensiones de acuerdo a su estabilidad de acopio. En este caso, se habla de taludes (véase definición en glosario), que coloquialmente se refiere a que por cada un metro de altura se le da dos metros de ancho como vemos en la figura 4.5. La altura quedó definida en cuatro metros y el volumen de cada árido se calcula utilizando los porcentajes de la mezcla de asfalto y considerando pérdidas cercanas a 10.5 por ciento (véase tabla 4.5).

$$V = (b * h) * L + b * h * L$$

(1) Fórmula de volumen de una pirámide

V: Volumen
B: Base
H: Altura
L: Largo

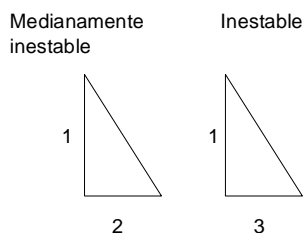


Figura 4.5: Taludes utilizados para el cálculo de las áreas de acopios definitivos.
Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada por memorista.

Tabla 4.16: Cantidad de áridos necesarios para producir 12.000 toneladas de mezcla asfáltica

	Toneladas	Metros cúbicos
Mezcla asfáltica	12000	
Solución asfáltica	660	
Áridos	12660	
Polvo roca 45%	5697	3351,176471
Gravilla 6-13 35%	4431	3098,601399
Gravilla 13-17 20%	2532	1699,328859

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Gerencia.

Los datos de la tabla 4.16 se calcula de igual manera que en el apartado 4.2.1 en letra b), las toneladas se pasan a metros cúbicos dividiendo cada tonelaje de los respectivos áridos dividido por sus densidades que se ilustran en el apartado 1.3.4.

Conocidos, la altura y el volumen de cada árido, la siguiente tarea fue consultar con los entendidos qué gravilla era más o menos estable para poder determinar qué talud utilizar en cada caso. En entrevista con el Jefe de Planta el Señor José Luis Guzmán, se acordó que la gravilla 6-13 es la más inestable, a su vez las gravillas 13-17 y polvo roca son medianamente inestables.

Definidos todos los datos necesarios, se aplica la fórmula (1) para cada árido:

- Polvo roca

$$3400 \text{ m}^3 = 8\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot L + 8\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot ((8 \cdot 2)\text{m})$$

Largo = 91 metros
 Altura = 4 metros
 Ancho = 32 metros

- Gravilla 6-13

$$3100 \text{ m}^3 = 12\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot L + 12\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot ((12 \cdot 2)\text{m})$$

Largo = 41 metros
 Altura = 4 metros
 Ancho = 24 metros

- Gravilla 13-17

$$1700 \text{ m}^3 = 8\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot L + 8\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot ((8 \cdot 2)\text{m})$$

Largo = 38 metros
 Altura = 4 metros
 Ancho = 32 metros

Como se observa, quedan estipuladas las dimensiones de los volúmenes de los acopios definitivos de cada materia prima (polvo de roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17).

d) *Construcción de datos de entrada para algoritmos a utilizar en el estudio.*

Para la utilización de los determinados algoritmos son necesarios una serie de datos de entrada, por ejemplo:

- En el caso de los algoritmos CORELAP y ALDEP es necesario construir la representación de la carta de relaciones con sus valores respectivos tal como se observa a continuación y se detalla su realización en el apartado 4.2.2:

Tabla 4.17: Representación de la carta de relaciones

MATRIZ CORELAP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista

Tabla 4.18: Representación de los valores asignados para cada tipo de relación

Relaciones	Descripción	Valor
A	Absolutamente necesario	81
E	Especialmente necesario	27
I	Importante	9
O	Poco importante	3
U	No importante	1
X	Innecesario o no deseable	0

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista

- Para la utilización del algoritmo CRAFT es necesario recabar datos como la matriz de flujo de materiales entre departamentos que se explica con más detalle en el apartado 4.2.2 y la matriz de costos que se obtuvo de información del apartado 4.2.1:

Tabla 4.30: Matriz de flujo entre departamentos

	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto
Desperdicios		0	0	0	0	0
Rechazos	0		0	0	0	1
Polvo roca	0	0		0	0	24
Gravilla 6-13	0	0	0		0	18
Gravilla 13-17	0	0	0	0		13
Planta Asfalto	0	1	24	18	13	

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista

Tabla 4.31: Matriz de Costos por vuelta entre departamentos

	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto
Desperdicios		0	0	0	0	0
Rechazos	0		0	0	0	137,64
Polvo roca	0	0		0	0	658,6
Gravilla 6-13	0	0	0		0	451,4
Gravilla 13-17	0	0	0	0		525,4
Planta Asfalto	0	137,64	658,6	451,4	525,4	

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista

4.2.2. Plan de Bloque.

En lo referente a ésta fase, se puede decir que el resultado de las ordenaciones más adecuadas serán otorgadas con la aplicación de los algoritmos CORELAP, ALDEP y CRAFT.

Los algoritmos que se aplican en el estudio son tres: CORELAP, ALDEP y CRAFT. En relación a este último, se utiliza el programa WINQSB con la aplicación Facility Location and Layout. A continuación se exponen las definiciones de cada algoritmo y sus posteriores aplicaciones a Planta Maule de Bitumix:

a) CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning).

Uno de los algoritmos que se utiliza para dar una solución al re layout de la zona de estudio de Bitumix Sucursal Maule es CORELAP, uno de los primeros algoritmos de construcción desarrollado por Lee and Moore en el año 1967. La forma de funcionamiento del algoritmo es convertir datos cualitativos de entrada, como lo son las cartas de relaciones (cuya definición se explica en el párrafo siguiente), en datos cuantitativos de salida. Además, utiliza la información para determinar el primer departamento que entra al layout de la zona de estudio, a continuación, se van añadiendo el resto de departamentos de uno en uno, en orden basado en su nivel de interacción con los demás departamentos que ya están ubicados en el layout solución. (Pino, 2001).

Los datos cualitativos de entrada se basan en la carta de relaciones, que se observa en la tabla 4.21, de los departamentos dentro de la zona de estudio, que asigna las relaciones A,E,I,O,U y X para describir las exigencias de proximidad para cada par de departamentos.

Tabla 4.21: Representación de los valores asignados a cada tipo de relación.

Relaciones	Descripción	Valor
A	Absolutamente necesario	81
E	Especialmente necesario	27
I	Importante	9
O	Poco importante	3
U	No importante	1
X	Innecesario o no deseable	0

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

- *Procedimiento del algoritmo.*

El algoritmo tiene cuatro pasos (Pino, 2001) que son:

Primer paso: El primer departamento en ingresar al layout, será el que posea el mayor “Total Closeness Rating” (TCR), el que se ubicará en el centro del layout solución. Si uno o más departamentos tienen igual TCR, la regla de desempate será el área, luego, el departamento que posea la mayor área, ingresa.

Segundo paso: El siguiente departamento en ingresar, se determina en base a la carta de relaciones de la siguiente forma. Determinar si algún departamento tiene alguna relación tipo “A” con el primero que entró, si existe, éste se sitúa junto al primero, si no existe, se debe buscar alguna relación tipo E,I,O,U, hasta que los demás sean ubicados. Si existe empate, ingresa el de mayor TCR.

Tercer paso: Buscar para el primer departamento, si existe otro departamento con relación tipo “A”, en caso que no exista, buscar relación tipo “A” para el segundo departamento que ingresó al layout solución. Repetir este paso para relaciones tipo E,I,O,U, hasta que los demás departamentos sean ubicados. Si ningún departamento es encontrado, entonces entra el de mayor TCR.

Cuarto paso: Repetir el paso tres hasta que todos los departamentos sean ubicados.

- *Desarrollo de algoritmo según procedimiento.*

Los datos de entrada necesarios para desarrollar con éxito el algoritmo son las cartas de relaciones, con sus respectivos valores adjudicados por quien realiza el estudio de tal manera que refleje la realidad de la distribución y, además, de las respectivas áreas de cada departamento, para utilizarlas en los empates que se susciten en el desarrollo de la ejecución del algoritmo.

El calculo del TCR para cada departamento, corresponde a la suma de los valores de la relación que posee un determinado departamento con cada uno de los demás departamentos, lo que se expresa visualmente en la matriz de representación de la carta de relaciones (Tabla 4.22).

El algoritmo sitúa los departamentos “más relacionados” y agrega progresivamente otros departamentos al layout, en base a la carta de relaciones deseadas, hasta que se ingresan todos los departamentos.

A continuación, se analiza, paso a paso, el caso de la Sucursal de Bitumix. En primer lugar, se define la escala de valoraciones de cada uno de los tipos de relaciones (A,E,I,O,U y X), para ello fue necesario entrevistar al Gerente de la Sucursal, al Jefe de planta de la Sucursal y considerar las características del proceso productivo, luego, los respectivos valores para cada relación son los siguientes:

Tabla 4.18: Representación de los valores asignados para cada tipo de relación.

Relaciones	Descripción	Valor
A	Absolutamente necesario	81
E	Especialmente necesario	27
I	Importante	9
O	Poco importante	3
U	No importante	1
X	Innecesario o no deseable	0

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

En segundo lugar, para construir la carta de relaciones que utiliza el algoritmo, fue necesario realizar entrevistas abiertas con los Operarios y Jefe de Planta para determinar los grados de cercanía entre departamentos. Junto con ello, se consideró como criterio para establecer las relaciones entre los departamentos, la secuencia del proceso productivo y el flujo de materiales. Además, fue necesario hacer las mediciones de las áreas óptimas de acopio proyectando una producción de 12.000 toneladas mensuales (véase apartado 4.2.1 letra c). Los departamentos involucrados en el layout son “planta de asfalto”, “gravilla 6-13”, “gravilla 13-17”, “rechazos” y “desperdicios”. Así, la carta de relación quedó de la siguiente forma:

Tabla 4.17: Representación de la carta de relaciones.

MATRIZ CORELAP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Una vez determinada la carta de relaciones, se aplica el procedimiento expuesto en la presente sección el que establece que el primer departamento en ingresar es el de mayor TCR, por lo tanto, primer departamento en ingresar es la planta de asfalto.

Luego, se buscan relaciones tipo “A” en la planta de asfalto, para lo cual, se recorre de forma horizontal la fila de la carta de relaciones correspondiente a la planta de asfalto. Efectivamente, se vislumbran tres departamentos con relación tipo “A”, por lo tanto, se busca desempate para ingresar aquel departamento con mayor TCR. Como los tres departamentos poseen el mismo TCR, se utiliza como regla de desempate adicional el área, en consecuencia, el departamento que ingresa es el de “polvo roca” por ser éste el que posee la mayor área de los dos restantes departamentos.

Tabla 4.19: Representación de primer y segundo ingreso según CORELAP.

MATRIZ CORELAP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Ingresado al layout solución el acopio de “polvo roca”, se procede a buscar en el primer departamento alguna otra relación tipo “A” y siguiendo la misma dinámica, si existe, ingresa inmediatamente, si hay empate la primera regla de desempate es el mayor TCR si persiste el empate se sigue con las áreas. Así los próximos dos ingresos son “gravilla 6-13” y “gravilla 13-17”, que quedan de manifiesto en las siguientes ilustraciones:

Tabla 4.20: Ilustración de tercer ingreso según CORELAP.

MATRIZ CORELAP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Tabla 4.21: Ilustración de cuarto ingreso según CORELAP.

MATRIZ CORELAP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

No hay que olvidar que el algoritmo CORELAP busca dentro de cada uno de los departamentos existentes en la zona de estudio, la mejor solución basándose en la carta de relaciones. Por lo tanto, una vez ingresada a la planta de asfalto (primer ingreso), el polvo roca (segundo ingreso), la gravilla 6-13 (tercer ingreso) y gravilla 13-17 (cuarto ingreso), se busca dentro de éstos si existe algún tipo de relación tipo “A”, pues bien al recorrer la matriz, horizontalmente en orden de ingreso por departamento, se observa que ya no existe otro tipo de relación tipo “A” en los departamentos que ingresaron, luego, se debe bajar de orden de importancia al tipo “E”, y nuevamente se recorren los departamentos siguiendo el orden de ingreso que cada uno de ellos tuvo al layout solución. Si bien se observan relaciones tipo “E”, son de departamentos que ya se encuentran dentro de la solución, por ende, se procede a bajar de nivel de importancia al tipo “I”, la que se encuentra en la planta de asfalto, en consecuencia, el siguiente ingreso es el departamento de “rechazos” y queda ilustrado de la siguiente manera:

Tabla 4.22: Ilustración de quinto ingreso según CORELAP.

MATRIZ CORELAP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Siguiendo la misma lógica se busca relaciones tipo “A”, “E”, “I”, “O” y “U” en forma horizontal en orden de ingreso de los departamentos que están en la solución. Así el último departamento que ingresa es el de los “desperdicios”, como se observa a continuación:

Tabla 4.23: Ilustración de sexto ingreso según CORELAP.

MATRIZ CORELAP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Finalmente, la solución que se propone por el algoritmo CORELAP es la siguiente:



Figura 4.6: Ilustración de solución propuesta según algoritmo CORELAP

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Cabe destacar que para presentar la solución, se sigue como criterio general práctico, incorporar al primer ingreso en el centro del layout solución, y los demás ingresos se van ordenando siguiendo la forma de espiral.

Como se ilustra en la figura 4.6, la planta de asfalto coincidentemente quedó en el centro del Layout propuesto y como era de suponer, la materia prima que más se utiliza (que en éste caso es el polvo roca), quedó situada a un costado del área de procesamiento de asfalto, a una distancia de 35,40 metros, que en comparación con la distancia inicial de 104 metros, sin duda, representa una disminución en las distancias de recorrido que debería efectuar el cargador frontal. A su vez, la gravilla 6-13, que inicialmente se encontraba a una distancia de 44 metros de distancia de la planta de asfalto, con la solución que aquí se presenta quedará a 28,30 metros de la planta de asfalto. Y por último, la gravilla 13-17 que en un comienzo del estudio se encontraba a 48 metros, se disminuye a 42,30 metros de distancia de la planta de asfalto.

Ahora bien, las áreas destinadas a los desperdicios y los rechazos, por el momento, por disposición de la empresa, se mantendrán en las mismas ubicaciones, es decir, a 58 metros y 48 metros respectivamente.

b) ALDEP (Automated Layout Design Program).

Programa de diseño de la distribución automatizado. ALDEP lo desarrolló IBM en 1967 y fue originalmente descrito por Seehof y Evans (1967). El programa ALDEP solamente maneja problemas de distribución con criterios cualitativos, de forma similar a lo que hace CORELAP.

- *Procedimiento del algoritmo (Domínguez, 1995).*

Los datos de entrada para ALDEP incluyen una valoración de los tipos de relaciones (ver tabla 4.21) y limitaciones como tamaño del edificio, ubicaciones fijas para departamentos, escaleras, etc. El programa ALDEP comienza por seleccionar al azar un departamento y lo coloca en el centro del layout solución. En segundo lugar, se revisan todos los departamentos restantes y solamente se selecciona al azar uno que tenga una calificación de relación de alta cercanía (como A o E) y se coloca en la distribución cerca del primer departamento. Si no puede encontrar una calificación de alta cercanía, este proceso de selección continúa hasta que se han colocado todos los departamentos en el layout solución. Se calcula entonces una calificación total para el diagrama mediante la conversión de cada relación de cercanía a una escala numérica (como la establecida en la tabla 4.21) y sumando los valores de estas relaciones en el layout solución. Se repite varias veces todo el proceso y como primer paso en cada ocasión se comienza con un departamento diferente que es seleccionado al azar. Cada iteración da como resultado la generación de un layout solución distinto.

El programa ALDEP es útil para generar un gran número de buenas distribuciones para su revisión. El programa puede controlarse para que solamente se impriman las distribuciones que tengan una calificación especificada o mayor a ésta. Esta tiene el efecto de reducir el número de diagramas que se tienen que revisar. Aunque ALDEP es un programa heurístico (véase definición en glosario) útil para generar buenos diseños.

- *Desarrollo de algoritmo según procedimiento.*

Los datos de entrada de este algoritmo son los mismos que el algoritmo CORELAP, lo que varía es el procedimiento de utilización de los datos. Por lo tanto, la valoración de los tipos de relaciones y la carta de relaciones se mantienen inalterables, como se presentan a continuación.

Tabla 4.24: Representación de la carta de relaciones.

MATRIZ ALDEP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Tabla 4.25: Representación de los valores asignados a cada tipo de relación.

Relaciones	Descripción	Valor
A	Absolutamente necesario	81
E	Especialmente necesario	27
I	Importante	9
O	Poco importante	3
U	No importante	1
X	Innecesario o no deseable	0

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

El ingreso del primer departamento es al azar pero usualmente se utiliza el de mayor TCR, por ende, ingresa “la planta de asfalto” que tiene un TCR de 252. Luego, según la descripción del procedimiento, se debe buscar en el departamento escogido, si existe algún departamento con relación tipo “A”. En este caso existen tres departamentos que poseen ese tipo de relación, pero el algoritmo menciona que arbitrariamente se debe determinar cuál entra primero, segundo y tercero. En consecuencia, se optó por ingresar a continuación la planta de asfalto, el departamento que contiene la materia prima llamada “polvo roca”, por ser esto el que más se utiliza en la mezcla y, por ende, a la que el cargador frontal va más veces. Posteriormente, ingresa al layout solución el departamento que contiene la materia prima llamada “gravilla 6-13”, por ser la segunda más solicitada por el departamento planta de asfalto y, por último, al departamento que contiene la materia prima llamada “gravilla 13-17”, que es la menos utilizada en la mezcla. Finalmente, se ingresan los departamentos de “rechazos” y los “desperdicios”.

Todo lo anterior, se ilustra en las tablas 4.29, 4.30, 4.31, 4.32 y 4.33 respectivamente.

Tabla 4.26: Representación de primer y segundo ingreso según ALDEP.

MATRIZ ALDEP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Tabla 4.27: Representación de tercer ingreso según ALDEP.

MATRIZ ALDEP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Tabla 4.28: Representación de cuarto ingreso según ALDEP.

MATRIZ ALDEP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Tabla 4.29: Representación de quinto ingreso según ALDEP.

MATRIZ ALDEP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Tabla 4.30: Representación de sexto ingreso según ALDEP.

MATRIZ ALDEP								
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto	TCR	Área
Desperdicios		X	X	X	X	X	0	1650
Rechazos	X		O	O	O	I	18	578
Polvo roca	X	O		E	E	A	138	1456
Gravilla 6-13	X	O	E		E	A	138	984
Gravilla 13-17	X	O	E	E		A	138	608
Planta Asfalto	X	I	A	A	A		252	1209

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Coincidentemente, la solución que se plantea en éste algoritmo (ver figura 4.7) y en el CORELAP son las mismas, pero es importante mencionar que no siempre se da esta analogía, en este caso puntual se da la casualidad que las relaciones entre los departamentos son bastante bajas y precisamente el área de procesamiento de asfalto es el departamento que tiene la mayor cantidad de relaciones con alta valoración con los demás departamentos.

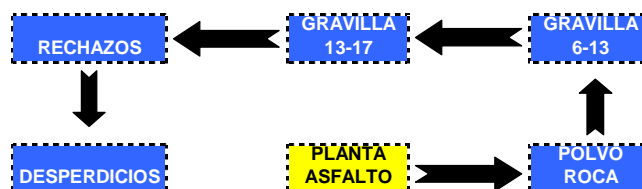


Figura 4.7: Ilustración de solución propuesta según algoritmo ALDEP.
Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

c) CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities).

Asignación relativa de instalaciones computarizada. CRAFT fue desarrollado por Armour y Bufla y después perfeccionado por ellos mismos y Vollmann. Utiliza una formulación de distribución por criterios cuantitativos y puede resolver problemas de hasta 40 departamentos o centros de actividad.

Los datos de entrada para el algoritmo CRAFT son una matriz de costos unitarios, matriz de flujo de materiales entre departamentos y una de distribución inicial. El layout inicial puede ser uno existente o uno inicial arbitrario. Después, mediante el uso de la distribución inicial que se le proporciona al computador determina las distancias entre los centroides (véase definición en glosario) de los departamentos (HEIZER, 2004).

El siguiente paso del programa es calcular el costo de la distribución inicial mediante el uso de la matriz de costo unitario y de las distancias calculadas en la distribución inicial.

El programa CRAFT determina entonces si el costo total inicial puede reducirse mediante el intercambio de departamentos en pares. Cada posible par de departamentos se cambia y se calcula el costo, ya sea en incremento o en disminución y se almacena en la memoria del computador. Una vez considerados todos los pares de intercambio, se selecciona el intercambio con el menor costo y se cambian estos departamentos en el diseño inicial. Si se reduce el costo, se ilustra el costo resultante y el diseño nuevo y, se repite el procedimiento para un segundo intercambio de departamentos. Se ilustra un nuevo diseño y costo inferior en cada ronda sucesiva de intercambios hasta que ya no se obtenga reducción de costos adicional.

Con frecuencia, la solución final a la que llega CRAFT depende de los datos del diseño inicial. Es decir, para reducir el efecto de las desviaciones se deben seleccionar varios diagramas iniciales diferentes. CRAFT es un programa que da una solución muy buena aunque no una solución que se garantice como la óptima. Sin embargo, en la práctica la falta de una solución verdaderamente óptima, no es una limitación muy seria (cualquier mejora sobre la distribución presente o sobre otros métodos de distribución resulta útil).

- *Procedimiento y desarrollo del algoritmo (Análisis cuantitativo con WINQSB).*

Se debe abrir el software WINQSB y ejecutar el módulo Facility Location and Layout, el cual se representa por el icono:



Para la resolución de problemas de distribución en planta el software utiliza un método heurístico basado en el algoritmo CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique), el cual permite obtener la mejor redistribución de una planta existente a través de transposiciones sucesivas de sus departamentos o unidades estructurales, hasta alcanzar el costo mínimo de las interrelaciones entre operaciones o departamentos.

A continuación se listan los iconos contenidos en la barra de herramientas del programa con sus funciones específicas.



Figura 4.8: Iconos en barra de herramientas de programa WINQSB.
Fuente: Información recolectada en Software WINQSB.

Al ejecutar el módulo “Facility Location and Layout”, se visualizó en la pantalla principal del software lo que se muestra a continuación:

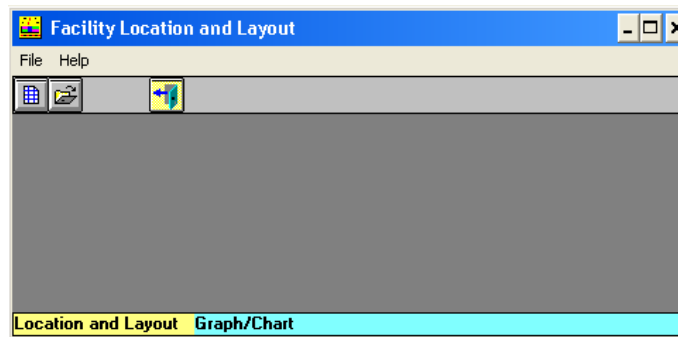


Figura 4.9: Ilustración de módulo Facility Location and Layout de WINQSB.
Fuente: Información recolectada en Software WINQSB.

En primer lugar se selecciona el comando New Problem en el menú File. El programa muestra la siguiente ventana:

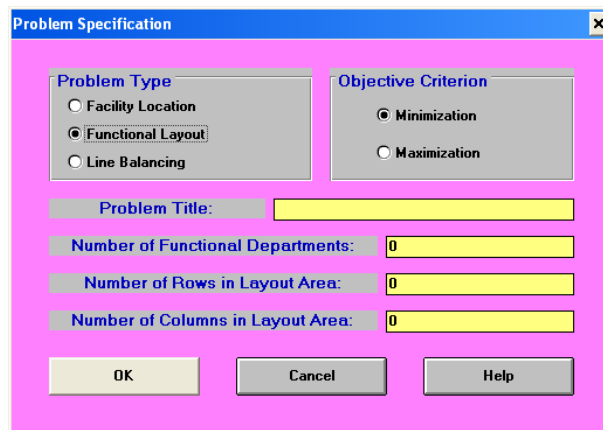


Figura 4.10: Ilustración de ventana al seleccionar New Problem.
Fuente: Información recolectada en Software WINQSB.

A continuación se describe cada una de las casillas de esta ventana:

- Problem Type (Tipo de problema): Como el caso que nos ocupa son los problemas de distribución en planta, entonces hacemos clic en la opción Functional Layout.
- Objective Criterion (Criterio de la función objetivo): En función de las características del problema puede ser de minimización o maximización, en este caso será de minimización de costo.
- Problem Title (Título del problema): Se escribe el título con que identificamos el problema.
- Number of Functional Department (Número de departamentos funcionales).
- Number Rows in Layout Area (Número de filas en el área de distribución).
- Number Columns in Layout Area (Número de columnas en el área de distribución).

Como ya se ha mencionado, el objetivo de éste estudio es proponer una nueva distribución, utilizando algoritmos que en este caso es el CRAFT, el escenario actual se observa en la figura 4.11, con el objetivo de disminuir los costos de las interrelaciones entre sus departamentos. En el área de estudio funcionan 6 departamentos, delineados con azul. La planta de asfalto no se mueve y se mantendrá en posición fija para el estudio.

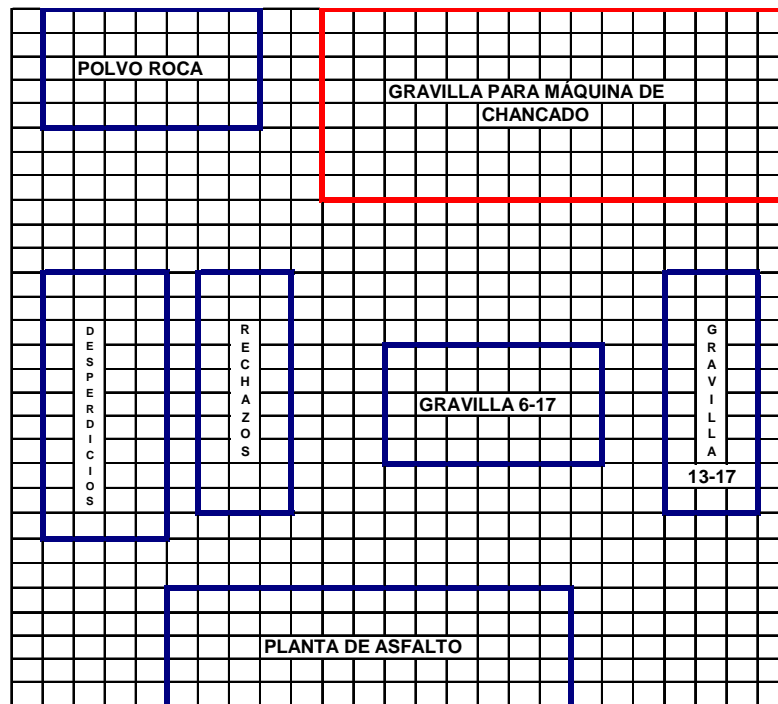


Figura 4.11: Representación de la Distribución de Planta actual en la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

La matriz de flujo de materiales entre los departamentos, que mide cuántas veces acude el cargador frontal a cada uno de los departamentos para cumplir con la producción de 200 toneladas, elaborada en base a mediciones en terreno, se muestra a continuación:

Tabla 4.31: Representación de flujos entre departamentos

	MATRIZ DE FLUJO					
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto
Desperdicios		0	0	0	0	0
Rechazos	0		0	0	0	1
Polvo roca	0	0		0	0	24
Gravilla 6-13	0	0	0		0	18
Gravilla 13-17	0	0	0	0		13
Planta Asfalto	0	1	24	18	13	

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Por su parte el costo de las interrelaciones entre departamentos, que se logró multiplicando el tiempo promedio que se tardaba el cargador en ir a buscar cada árido, por el factor de costo por segundo que se obtuvo en el apartado 4.2.6. El resultado es el siguiente:

Tabla 4.32: Representación de costos de transporte entre departamento por traslado.

MATRIZ DE COSTOS TRANSPORTE						
	Desperdicios	Rechazos	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17	Planta asfalto
Desperdicios	0	0	0	0	0	0
Rechazos	0	0	0	0	0	137,64
Polvo roca	0	0	0	0	0	658,6
Gravilla 6-13	0	0	0	0	0	451,4
Gravilla 13-17	0	0	0	0	0	525,4
Planta Asfalto	0	137,64	658,6	451,4	525,4	0

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Se puede ver claramente que se esta ante un problema de minimización, pues la unidad de contribución relacionada en el problema son unidades de costo.

Para definir el número de filas y columnas del área de distribución representamos la distribución actual de la planta utilizando cualquier escala en una hoja de papel, luego trazamos cuadrículas sobre el plano de forma tal que, coincidan con las líneas que limitan un departamento con otro. De tal modo, para el caso objeto de estudio el área de distribución queda definida por 29 filas y 25 columnas, tal y como se muestra en la figura 4.12.

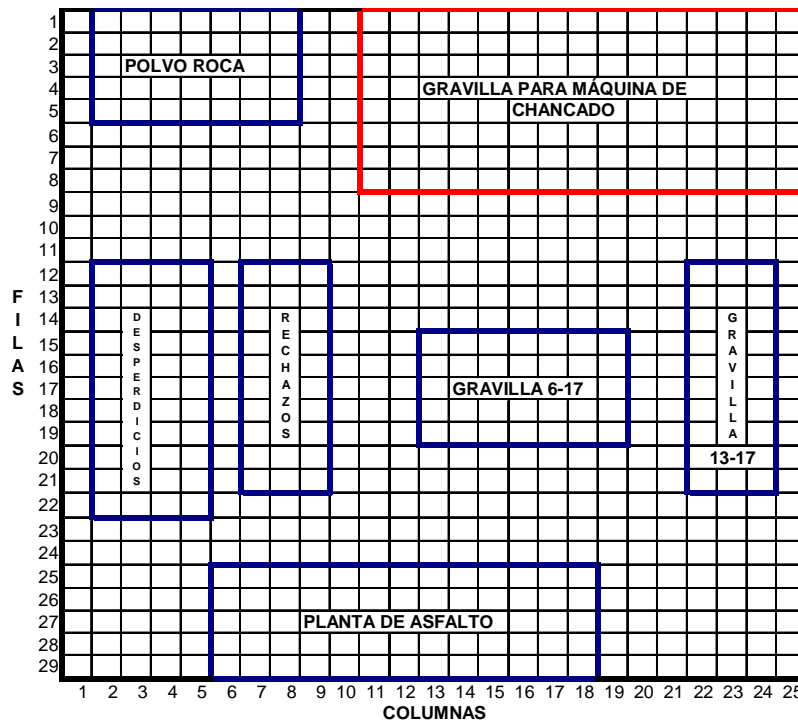


Figura 4.12: Representación de la distribución inicial de la planta en un plano cuadrículado.
Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Ahora se está en condiciones de introducir el problema desde la ventana Nuevo Problema (New Problem):

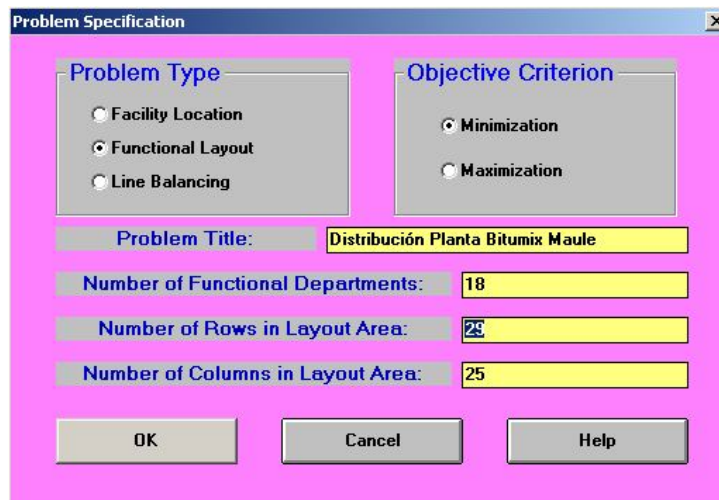


Figura 4.13: Representación de software al seleccionar "New Problem".
Fuente: Información recolectada en Software WINQSB.

Una vez llenados todos los campos se presiona el botón OK para visualizar la hoja de entrada de datos.

Entrada de la base de datos

En la hoja de entrada de datos debemos introducir:

- El nombre de cada departamento (opcional).
- El flujo de materiales entre departamentos.
- El costo por unidad de distancia entre departamentos.
- La ubicación de cada departamento en la distribución inicial.

Consideraciones para la entrada de la base de datos

- En caso de ser necesario mantener algún departamento en una posición fija debido a las características propias del proceso productivo que tiene lugar en la planta, se debe escribir "yes" en la celda correspondiente a la columna con la etiqueta Location Fixed, el programa pondrá "no" por defecto en el resto de los departamentos.
- Se Introduce el flujo y el costo por unidad de distancia en el formato "flujo/costo unitario". Si el costo unitario no se introduce entonces se asume el dato como unidades de flujo. Por ejemplo, "120/3.2" representa que el flujo entre dos departamentos es 120 y el costo por unidad de distancia es 3.2; por tanto "37.5" representa que el flujo entre dos instalaciones es 37.5 y que el costo por unidad de distancia es 1. Hay que tener en cuenta que el flujo entre departamentos puede ser de materiales, de clientes, de dinero o de información.
- Introducir la ubicación de cada departamento en la distribución actual en el siguiente formato:

- (2,4) representa la celda: fila 2, columna 4.
- (3,4)-(5,7) representa el área rectangular comprendida entre las filas 3 y 5 y las columnas 4 y 7.

Una vez introducida la base de datos al programa, la ventana se visualizaría como sigue:

Department	Location Fixed	To Dep. 1 Flow/Unit	To Dep. 2 Flow/Unit	To Dep. 3 Flow/Unit	To Dep. 4 Flow/Unit	To Dep. 5 Flow/Unit	To Dep. 6 Flow/Unit	To Dep. 7 Flow/Unit	To Dep. 8 Flow/Unit	To Dep. 9 Flow/Unit	To Dep. 10 Flow/Unit	To Dep. 11 Flow/Unit	To Dep. 12 Flow/Unit	To Dep. 13 Flow/Unit	To Dep. 14 Flow/Unit	To Dep. 15 Flow/Unit	Initial Layout in
1	Planta de	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(7,1)(18,5)
2	Esperdico	yes	0	0	0	0	1/137,64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(2,2)(14,17)
3	Rechazos	yes	0	0	0	0	24659,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(6,10)(7,18)
4	Gravilla	No	0	0	0	0	18451,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,14)(18,18)
5	Gravilla	No	0	0	0	0	136525,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,10)(23,19)
6	Pelvo	No	1/137,64	24659,8	18451,4	136525,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(2,25)(8,29)
7	Vías de	yes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(1,18)(8,24)
8	Vías de	yes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,19)(25,22)
9	Gravilla	yes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,23)(25,29)
10	Vías de	yes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(9,6)(11,29)
11	Vías de	yes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(2,6)(21,13)
12	Vías de	yes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18,14)(21,19)
13	Vías de	no	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(1,1)(16,7)
14	Vías de	no	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(15,1)(21,5)
15	Vías de	yes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(20,1)(25,9)

Figura 4.14: Ilustración de datos ingresados en la base de datos del software.
Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada por memorista.

Indicaciones para ejecutar el programa

Para ejecutar el programa (luego de la entrada de la base de datos), hay que aplicar el comando Solve the problem en el menú Solve and Analyze. Seguidamente, el programa muestra una ventana en donde se debe seleccionar un método apropiado para resolver el problema de distribución. Los métodos disponibles son:

- Two-way Exchange (Transposición de dos departamentos): intercambia dos departamentos a la misma vez.
- Three-way Exchange (Transposición de tres departamentos).
- Two-way then three-way Exchange (Transposición de dos departamentos y luego tres).
- Three-way then two-way Exchange (Transposición de tres departamentos y luego dos)

En el estudio utilizaremos el método de transposición de dos departamentos a la vez (Improve by Exchanging 2 departments) y, además se usará distancia rectangular (Rectilinear Distance). Luego, al ejecutar el comando Solve the problem se muestra una ventana en la que se seleccionan tales especificaciones:

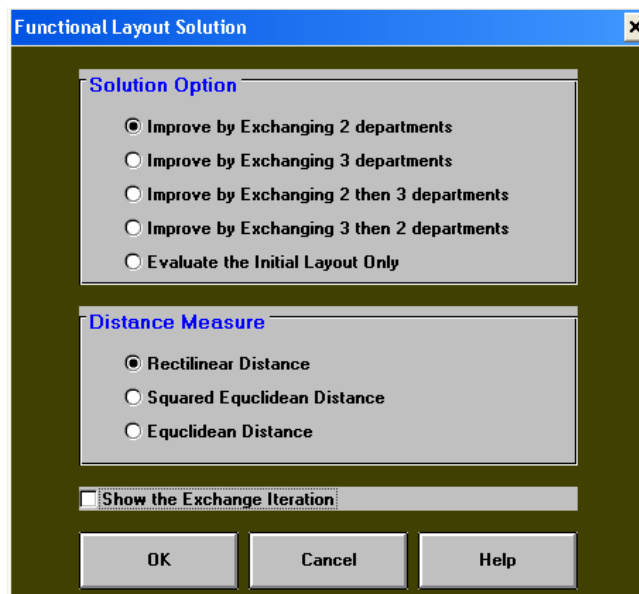


Figura 4.15: Ilustración de opciones para resolver el problema según el software.
Fuente: Información recolectada en Software WINQSB.

En la figura 4.16, se muestra la solución final (final layout) para el ejemplo.

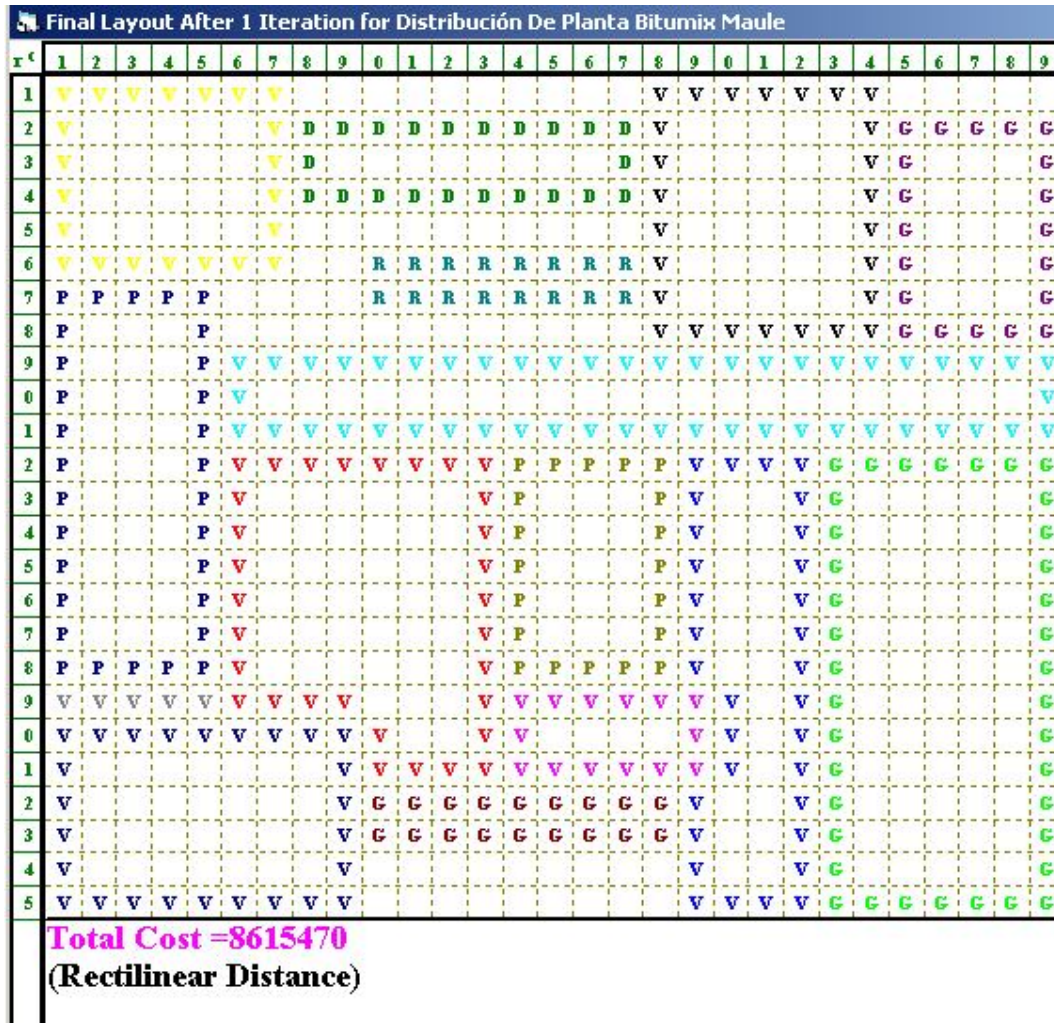


Figura 4.16: Distribución propuesta a Planta Maule de Bitumix.
Fuente: Información recolectada en Software WINQSB.

De tal forma, la solución al problema indica ubicar el departamento de polvo roca (P verde) en frente del área de procesamiento de asfalto (P Azul), así mismo propone ubicar el departamento de gravilla 6-13 (G café) contigua al departamento de polvo roca y ubicar el departamento de gravilla 13-17 (G violeta) más alejada del área de procesamiento de asfalto.

Después de ejecutar el programa, puede seleccionar las opciones contenidas en el menú Results para visualizar los reportes de resultados y análisis que brinda el software. Estas opciones incluyen:

- Mostrar distribución final (Véase figura 4.16)
- Mostrar distribución inicial (Véase figura 4.17)
- Mostrar el análisis de la distribución
- Mostrar distancia de la distribución

4.3. ANÁLISIS COMPARATIVO

Es importante mencionar que el layout solución que otorga el algoritmo CRAFT se realizó con un Software (WINQSB), por lo tanto es mucho más eficiente que los layout solución de los algoritmos CORELAP y ALDEP, por ser estos desarrollados manualmente.

La diferencia se da puesto que los algoritmos utilizan distintos datos de entrada, los algoritmos CORELAP y ALDEP utilizan carta de relaciones y, su principal finalidad, es lograr una distribución que cumpla con los grados de cercanía óptimos especificados, pero no tiene en cuenta variables como el costo, las distancias y los flujos de materiales entre departamentos, tal como los usa el algoritmo CRAFT.

Sin embargo, y pese a las diferencias existentes en cuanto a información de entrada, los algoritmos CORELAP, ALDEP y CRAFT proponen la misma solución.

Haciendo una analogía, uno de los datos de entrada del algoritmo CRAFT, es el flujo de materiales entre departamentos, lo que a juicio de la memorista es sin duda un dato que incluye implícitamente los grados de cercanía que utilizan los algoritmos CORELAP y ALDEP, puesto que, a mayor flujo entre dos departamentos se deduce que el grado de cercanía debiese ser mayor.

El algoritmo CRAFT además nos permite proponer las posibles vías de circulación que se delinearán en las instalaciones con la finalidad de mejorar la calidad de vida y la seguridad de los trabajadores que transitan por la zona de estudio de la Sucursal, problemática de gran interés para la empresa. En cambio, los restantes dos algoritmos (CORELAP y ALDEP) no daban soluciones explícitas con respecto a las vías de circulación, por ende, se torna aún más atractiva la solución que otorga CRAFT.

5. CONCLUSIONES

Un análisis de la Distribución de Planta actual de la Sucursal Maule, específicamente en lo que respecta a los objetivos de una Distribución de Planta, evidencia que en términos de unidad, circulación mínima, seguridad y flexibilidad, se justifica un re layout para la Sucursal Maule. Este mismo análisis determinó que la distribución que posee actualmente la Sucursal Maule, es una Distribución de Planta por proceso.

A través de este proyecto de titulación se logra determinar el costo unitario de transporte dentro de la zona de estudio, este costo será un dato relevante a la hora de implementar la solución propuesta dentro de la Sucursal. Así mismo se logra definir las áreas de acopio para el almacenamiento de las materias primas (polvo roca, gravilla 6-13 y gravilla 13-17), situación que constituye un problema para la empresa.

Al aplicar los algoritmos CORELAP, ALDEP y CRAFT, éstos arrojan una solución óptima común en términos de Distribución de Planta. Sin embargo, se sugiere utilizar la solución propuesta por el algoritmo CRAFT puesto que éste propone además de la distribución física de los departamentos, vías de circulación para la zona de estudio, incrementando la seguridad del personal de la Sucursal.

6. RECOMENDACIONES

A modo de recomendación, debe ser prioridad número uno para la empresa, delimitar lo antes posible sus vías de circulación al interior de la Sucursal al aplicar la solución, con la finalidad de preveer posibles accidentes laborales al interior de la zona de estudio, situación que podría afectar la imagen de la empresa. En este sentido es recomendable, dar un ancho de aproximadamente 7 metros para dichas vías, con la finalidad que transiten sin inconvenientes, tanto el cargador frontal como los camiones de descarga de materias primas.

Si bien el estudio se realizó en una de las 13 Sucursales que posee Bitumix a lo largo del país, sería óptimo realizar este tipo de estudios en las Sucursales que evidencian problemas emanados de una inadecuada Distribución de Planta.

7. **BIBLIOGRAFÍA**

- ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y OPERACIONES para una ventaja competitiva. 2005. Por Richard Chase “et al”. 10ª ed. México, Mc Graw Hill. 207-208.
- HEIZER, J. y Render, B. 2004. Principios de la administración de operaciones. 5ª ed. México, Pearson. 338-339 p.
- DIRECCIÓN DE OPERACIONES Aspectos estratégicos en la producción y los servicios. 1995. Por José Domínguez “et al”. 1ª ed. España, Mc Graw Hill.
- ANÁLISIS CUANTITATIVO CON WINQSB, Quesada y Vergara.
- PINO, César G. 2001. Gestión de Operaciones Avanzada
- MANUAL DE OPERACIONES DE MANUFACTURA Y SERVICIOS. 2002. Por Richard B. Chase “et al”. Tomo 2. Colombia, Mc Graw Hill.

8. LINKOGRAFÍA

- <http://74.125.113.132/search?q=cache:o9VBVp7azz4J:https://www.codelcoeduca.cl/proceso/chancado/t-profundizacion.html+chancado&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=cl>
- http://books.google.cl/books?id=CVL24Uw88ZQC&pg=PA141&lpg=PA141&dq=corelap+algoritmo&source=bl&ots=Ml4wbd_GMC&sig=m99IB1X0UpsSBacOw8UAe_hJlvY&hl=es&ei=93_mSvOrGM_T8Aawi8WeBw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CBYQ6AEwAw#v=onepage&q=corelap%20algoritmo&f=false
- <http://bitumix.cl>

9. ANEXOS

Anexo 1: Tabla de representatividad MIL STD 414

Tamaño del Lote	Niveles de Inspección				Tamaño Muestra
	I	II	III	IV	
3	B			B	3
9	B			B	3
16	B			C	4
26	B			D	5
41	B			E	7
66	B			F	10
111	B			G	15
181	B			H	20
301	C			I	25
501	D			J	30
801	E			K	35
1.301	F			L	40
3.201	G			M	50
8.001	H			N	75
22.001	I			O	100
110.001	I			P	150
550.001	J			Q	200

Fuente: Información recolectada en Material de Curso ACEP realizado en la Universidad.

Anexo 2: Tabla de números aleatorios aplicado a gravilla polvo roca.

	COLUMNAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	29	94	98	94	24	68	49	69	10	82
26	16	90	82	66	59	83	62	64	11	12
27	11	27	94	5	6	6	9	19	74	66
28	35	24	10	16	20	33	32	51	26	38
29	38	23	16	86	38	42	38	97	1	50
30	31	96	25	91	47	96	44	33	49	13
31	66	67	40	67	14	64	5	71	95	86
32	14	90	84	45	11	75	63	88	5	90
33	68	5	51	18	0	33	96	2	75	19
34	20	46	78	73	90	97	51	40	14	12
35	90	19	58	97	79	15	6	15	93	20

Fuente: Elaboración propia por información recopilada por la memorista.

Anexo 3: Tabla de números aleatorios aplicado a gravilla 6-13.

	COLUMNAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	29	94	98	94	24	68	49	69	10	82
26	16	90	82	66	59	83	62	64	11	12
27	11	27	94	5	6	6	9	19	74	66
28	35	24	10	16	20	33	32	51	26	38
29	38	23	16	86	38	42	38	97	1	50
30	31	96	25	91	47	96	44	33	49	13
31	66	67	40	67	14	64	5	71	95	86
32	14	90	84	45	11	75	63	88	5	90
33	68	5	51	18	0	33	96	2	75	19
34	20	46	78	73	90	97	51	40	14	12
35	90	19	58	97	79	15	6	15	93	20

Fuente: Elaboración propia por información recopilada por la memorista.

Anexo 4: Tabla de números aleatorios aplicado a gravilla 13-17.

	COLUMNAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	29	94	98	94	24	68	49	69	10	82
26	16	90	82	66	59	83	62	64	11	12
27	11	27	94	5	6	6	9	19	74	66
28	35	24	10	16	20	33	32	51	26	38
29	38	23	16	86	38	42	38	97	1	50
30	31	96	25	91	47	96	44	33	49	13
31	66	67	40	67	14	64	5	71	95	86
32	14	90	84	45	11	75	63	88	5	90
33	68	5	51	18	0	33	96	2	75	19
34	20	46	78	73	90	97	51	40	14	12
35	90	19	58	97	79	15	6	15	93	20

Fuente: Elaboración propia por información recopilada por la memorista.

Anexo 5: Representación de la población total de tiempos por áridos.

Vuelta	Poblaciones de tiempos de vuelta por áridos (segundos)		
	Polvo roca	Gravilla 6-13	Gravilla 13-17
1	95	50	68
2	88	65	74
3	81	68	72
4	90	67	75
5	85	69	74
6	87	66	80
7	105	50	71
8	95	67	69
9	97	61	75
10	102	68	73
11	85	63	74
12	82	58	70
13	96	50	75
14	94	53	
15	97	57	
16	93	58	
17	97	56	
18	92	70	
19	80		
20	85		
21	84		
22	90		
23	95		
24	98		

Fuente: Elaboración propia por información recopilada por la memorista.



Anexo 6: Ilustración de buzones de almacenamiento de áridos



Anexo 7: Ilustración de mapa de la Sucursal Maule Bitumix