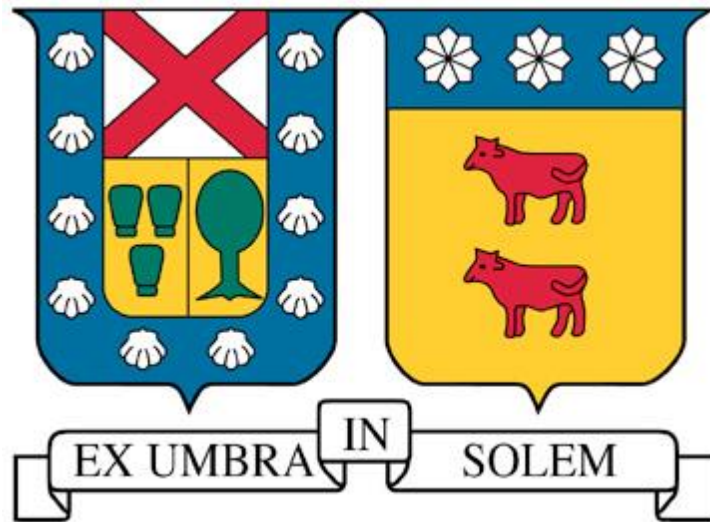


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAÍSO – CHILE



MEMORIA
**ANÁLISIS DE LOS DISTINTOS MÉTODOS PARA ELABORAR UN
LAYOUT FÍSICO PARA UNA MAESTRANZA**

CARLOS ROBERTO BERRIOS DROGUETT

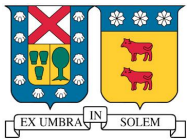
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: FREDY KRISTJANPOLLER



ÍNDICE TEMÁTICO

1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	DEFINICIÓN DEL TEMA.....	11
3.	PROBLEMÁTICA.....	13
4.	OBJETIVOS	15
5.1	Objetivo General	15
4.2	Objetivos Específicos	15
5.	ALCANCE DEL TRABAJO	16
6.	ESTADO DEL ARTE.....	17
7.1	Systematic Plan Layout (SPL)	20
7.2	Quadratic Assignment Problem (QAP).....	26
7.3	ASBMODEL.....	28
7.4	CORELAP	30
7.6	Métodos de mejora.....	40
7.	CASO PRÁCTICO	41
8.1	La Empresa.....	41
8.2	La Industria.	43
8.2.1	Compañía Metalmecánica San Francisco	44
8.2.2	Vapor Industrial S.A.	45
8.2.3	Maestranza Maipú (FERROCENTRO)	45
8.2.4	Maestranza INFASER.....	45
8.2.5	Metalúrgica THL.....	46
8.2.6	Diagnóstico	47



8.	ANÁLISIS	54
9.1	Systematic Plan Layout (SPL)	54
9.2	Quadratic Assigment Problem (QAP).....	56
9.3	ASBMODEL	57
9.4	CORELAP	58
9.	CONCLUSIONES	62
10.	BIBLIOGRAFÍA	64



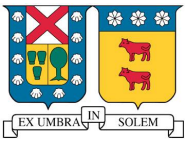
ÍNDICE TABLAS

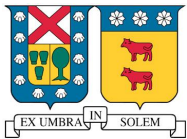
Tabla 1 Datos Ejemplo Corelap	31
Tabla 2 Valores de TCR de Cada Uno de los Departamentos	32
Tabla 3 Cuadro Resumen Metodologías Distribución en Planta	60



ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Esquema Systematic Layout Planning, Muther (1968).....	21
Ilustración 2	Tabla Relacional de Actividades Plant Layout (SPL)	23
Ilustración 3	Diagrama Relacional de Actividades Systematic Plant Layout (SPL) ..	24
Ilustración 4	Diagrama Relacional de Espacios Systematic Plant Layout (SPL)	25
Ilustración 5	Diagrama de Diseño Quadratic Assignment Problem (QAP).....	27
Ilustración 6	Distribución Física en una Dimensión	28
Ilustración 7	Distribución Física en Dos Dimensiones	28
Ilustración 8	Introducción de Datos en Aplicación CORELAP 01	32
Ilustración 9	Presentación en el Programa CORELAP 0.1 de los Valores Obtenidos de TCR de cada uno de los Departamentos	33
Ilustración 10	Colocación del Primer Departamento en el Layout	34
Ilustración 11	Colocación del Segundo Departamento en el Layout	35
Ilustración 12	Selección del Departamento 3 para ser Colocado en el 2° Lugar	35
Ilustración 13	Ubicación de los Departamentos en la Aplicación	36
Ilustración 14	Pantalla de Ejecución de Algoritmos de la Aplicación CORELAP 0.1	37
Ilustración 15	Iteración 3° en la Pantalla de Ejecución de Algoritmos de la Aplicación	38
Ilustración 16	Ubicación de los Departamentos en el Layout en la Iteración 3°	39
Ilustración 17	Pantalla de Presentación de Resultados	39
Ilustración 18	Organigrama de la Empresa; Fuente: Maestranza MG&T	43
Ilustración 19	Montos Adjudicados; Fuente: Maestranza MG&T	47
Ilustración 20	Distribución Montos por Clientes; Fuente: Maestranza MG&T	47
Ilustración 21	Maestranza MG&T	50
Ilustración 22	Planta Maestranza MG&T	51
Ilustración 23	Layout Contrato Paradas de Rueda; Fuente: Maestranza MG&T	52
Ilustración 24	Mapa de Proceso Carros Metaleros	53





RESUMEN EJECUTIVO

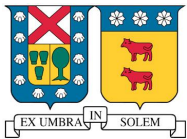
Debido al poco conocimiento de metodologías para establecer una correcta distribución de las instalaciones de una planta o un proceso productivo, ha generado graves problemas que han provocado pérdidas de eficiencia, retrasos, disminución de la rentabilidad y, en algunos casos, el cierre de empresas. La utilización de una metodología correcta se presenta como una oportunidad, la cual merece ser analizada.

La utilización de modelos para lograr una correcta distribución de los procesos está presente desde hace muchos años. Existen diversas metodologías para generar resolución de Distribuciones en Planta, ya sea para la generación de un nuevo proyecto, la mejora de una distribución existente, como también frente a la posibilidad de una ampliación de una planta existente.

La presente memoria tiene como finalidad presentar algunos modelos de resolución de Distribución en Planta. Cada método elegido contempla una descripción de éste, se muestra la metodología de resolución y sus características más importantes.

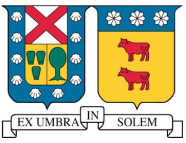
En base al análisis de cada método de resolución de Distribuciones en Planta se presenta la problemática, la cual corresponde a una nueva distribución para la ampliación de una maestranza dedicada al rubro minero. A través de la explicación de cada método se propondrá el más adecuado para su resolución.

El análisis que se generará es relevante, ya que, si bien algunas áreas dentro de la organización de las empresas tienen conocimiento de las metodologías para lograr una buena distribución, existe la posibilidad de que el método utilizado no sea el más correcto al momento de generar el modelo de distribución.



Cabe señalar además que las metodologías presentadas no presentan mucha complejidad al momento de entender su funcionamiento, los datos que se deben incorporar son fáciles de obtener y, durante el desarrollo de la metodología, genera una cohesión entre las personas a cargo de las áreas involucradas lo que provoca un sentimiento de pertenencia y compromiso con la empresa.

A través de la presentación de cada metodología, se establecerá cuál de estas es la más acorde para ser aplicada en el caso presentado.



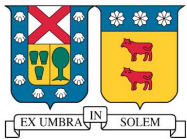
1. INTRODUCCIÓN

La Distribución en planta o layout se refiere a la disposición de los distintos elementos que componen una planta, tales como máquinas, áreas de trabajo, sector de almacenamiento, sectores de circulación de personas y maquinarias, etc. Una correcta distribución de las distintas áreas mencionadas mejora considerablemente el rendimiento en la producción.

Según Richard Muther, en la década de 1940 – 1950 hubo la mayor oportunidad de apreciar la importancia de la Distribución en Planta, ya que primero, se pasó por un período de transición hacia la producción de guerra y, la mayoría de las industrias se vieron obligadas a fabricar productos diferentes, o una cantidad mayor o menor de productos y a mejorar la calidad de otros. Posteriormente vino una reversión a los productos de los tiempos de paz, con todos sus problemas. Todo esto generó una real apreciación de la importancia de una correcta Distribución en Planta, hasta la actualidad.

La metodología de resolución de Distribución en Planta presenta una gran variedad de alternativas, pasando de sistemas manuales hasta sistemas computacionales. Dichos modelos son comúnmente estudiados en la carrera de Ingeniería, pero no son habituales de uso para la resolución de problemas de distribución de espacios en la industria, en especial, en maestranzas.

El estudio de este rubro ha determinado que este sector industrial generalmente comienza como empresas de pequeño tamaño y con un espacio físico muy acotado. El crecimiento de la maestranza debido a una buena administración de contratos conlleva a un crecimiento de éstas, inicialmente por una mejora en sus instalaciones, equipos, maquinaria y personal más calificado. Es en este punto en donde dicho



crecimiento genera problemas de distribución de espacios y una correcta interrelación entre los distintos departamentos o unidades de trabajo.

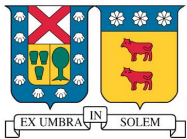
Mediante la presentación de distintos tipos de resolución de distribución en planta, se puede establecer cuál de esta gama de posibilidades de resolución será la opción que se presenta como mejor alternativa de análisis y solución de la problemática enfocada a una maestría en particular.

Considerando que el objetivo de estudio es poder presentar una propuesta para una maestría del rubro minero, respecto de cómo desarrollar una descripción, comparación y evaluación de distintos tipos de métodos para desarrollar un layout físico.

El desarrollo del presente análisis se origina con la problemática en estudio, la cual se fundamenta a través de cómo se desarrollan los layout en las maestrías, a medida que va creciendo en el tiempo.

Posteriormente, se presentan distintos métodos para elaborar layout, donde posteriormente se selecciona uno de ellos.

Finalmente, se presenta una propuesta de cómo poder implementarla en las organizaciones del rubro, destacando de forma comparativa los métodos entregados anteriormente.



2. DEFINICIÓN DEL TEMA

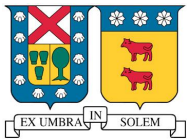
El layout es la forma de distribución que se utiliza en diversos rubros, optimizando espacios y re distribuyendo los elementos existentes en la planta o lugar físico. La importancia de poder realizar este tipo de ordenamiento, es imprescindible en toda entidad, principalmente porque se mejoran los procesos, minimizando los espacios vacíos, y tiempos muertos.

Para poder diseñar la distribución de un espacio, se debe incluir no sólo el dimensionado de cada una de las áreas (cuánta superficie se requiere y altura), los procesos y sus horarios, sino además el equipamiento que se requerirá en cada caso, como por ejemplo tipo de unidades de carga a manipular (pallets, tambores, cajas, bobinas, etcétera), tipo de estantería y modulación (selectivo, doble profundidad, drive-in, push-back), tipo de vehículos (traspaletas, montacargas), cantidad de personal, condiciones ambientales, nivel de iluminación; servicios y suministros, elementos de seguridad, y otros.

Es así como el tema a desarrollar está enfocado en el estudio de diferentes métodos que se pueden utilizar e implementar a fin de lograr un adecuado layout físico. Estos métodos han sido desarrollados para la resolución de diversos tipos de problemáticas de layout que puede presentar una organización.

Dentro de los criterios más relevantes para el diseño, se debe considerar posibles sinergias de utilización entre diferentes áreas, lo cual permite reducir superficies en algunas áreas se utilizan únicamente durante algunas horas en el día, quedando disponibles para otras actividades.

La maestranza es un taller donde se componen y construyen los montajes de las piezas de artillería y otros similares; no obstante, la mantención de equipos y



maquinarias, sobre todo en el rubro minero, requieren un conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.

Independiente de lo informado, la empresa en análisis se encarga de la fabricación, mantención, reparación de transporte de carga ferroviaria, reparación de componentes (hidráulicos, mecánicos y estructurales), servicios de mantención y reparación de plantas industriales, proyectos de montaje y construcción entre otros servicios. Todo esto bajo altos estándares de calidad, procesos productivos de excelencia e innovadores sistema de gestión, respetando el entorno ambiental de las instalaciones y de la comunidad en la que cual se encuentra inserta.

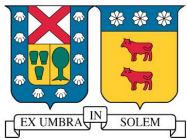
Es así como se realizará una descripción de cada método, indicando el procedimiento de resolución, sus ventajas y limitaciones. Se compararán y evaluarán entre sí a fin de que pueda seleccionar el mejor método de acuerdo al requerimiento. El método a seleccionar servirá para desarrollar una metodología recomendable a ser utilizada para realizar mejoras en la ampliación de una maestría dedicada al sector minero.

3. PROBLEMÁTICA

El sector industrial es un área que presenta constantemente nuevos y variados desafíos. Las maestranzas son un foco de desarrollo económico, el cual, debido a la poca complejidad de los procesos y baja inversión inicial en equipos y maquinarias, son un área de desarrollo para pequeños empresarios. Las maestranzas se enfocan principalmente en la fabricación de estructuras como galpones y bodegas. Cuando estas empresas comienzan a crecer, amplían sus rubros en el área de mecanizado y fabricación de estructuras complejas. Dicho crecimiento viene acompañado con mejoras en la calidad de los productos que fabrican, mejora en la calificación de su personal, mejora en sus equipos y ampliación de sus instalaciones. Es en este momento en donde se producen grandes problemas, ya que la implementación de nuevas áreas físicas para el desarrollo del negocio no son construidas en base a un estudio referido a la interacción con las demás áreas, a fin de lograr un mejor orden y correcta secuencia de trabajo en la implementación de mejoras en la fabricación de cada área y su montaje con el propósito de mejorar tiempos de entrega al cliente. La experiencia ha demostrado que la no implementación de mejoras en los procesos productivos de las maestranzas y la oposición al desarrollo de nuevos métodos de trabajo y organización trae consigo el cierre de estas en el corto plazo.

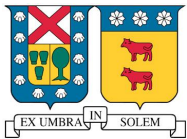
Los métodos para la generación de Layouts son técnicas que ayudan a los proyectistas para obtener una solución en el diseño general de una planta, permitiendo obtener la mejor alternativa. Estos métodos permiten obtener una ordenación topológica de los elementos que están involucrados en la implantación, pero es difícil tener un control geométrico aceptable para poder aplicarlo en un planteamiento en detalle. Por ello se requiere realizar retoques finales para poder aplicarlo.

Estos métodos pueden ser clasificados de acuerdo a los algoritmos usados en su desarrollo como: Métodos de Construcción de Layouts (MCL) y Métodos de Mejora



de Layouts (MML). Los métodos de construcción crean soluciones en base a una síntesis de información de acuerdo a técnicas propias del método, mientras que los de mejora, parten de una solución inicial y tratan de superarla siguiendo criterios de índole económica y relacionados con la mantención y el transporte. En la mayoría de los casos de aplicación de estos métodos se tienen situaciones intermedias entre la construcción o mejora, por tanto no se ajustan perfectamente a las hipótesis que estos procedimientos tienen. Por otra parte, los métodos analíticos de generación de Layouts son una herramienta útil para los proyectistas, ya que permiten analizar un mismo problema desde distintos ángulos y le da la capacidad de buscar una solución comparando diferentes perspectivas.

Se propone estudiar los diferentes métodos de layout físico en planta y proponer un sistema acorde con el requerimiento de una maestría dedicada al rubro minero que se encuentra en proceso de expansión de instalaciones en el que se incorporarán nuevos procesos.



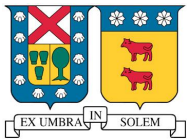
4. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Analizar tipos de métodos del layout físico, identificando cuál de estos es el más acorde para implementar una correcta Distribución en Planta para una maestranza que ejecuta servicios para el rubro minero. El método más acorde para analizar la situación de la distribución en planta será presentado a la empresa.

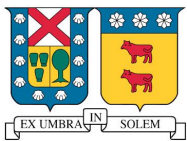
4.2 Objetivos Específicos

- Analizar la problemática que presenta la empresa ante la necesidad de una nueva distribución de planta.
- Investigar la forma en que se aborda la problemática de la distribución de planta.
- Recopilar información referente a los distintos métodos para desarrollar un layout físico.
- Explicar el funcionamiento de cada método.
- Analizar comparativamente los distintos métodos.
- Determinar el método de layout más adecuado para el caso de estudio.



5. ALCANCE DEL TRABAJO

El presente estudio que se desarrolla tiene un alcance en su análisis del tipo descriptivo. Esto se explica debido a que en primera instancia se debe desarrollar un estudio de algunos tipos de Distribución en Planta, posteriormente se realizará un análisis comparativo de los distintos métodos en el cual se indicarán sus usos, ventajas y limitaciones para realizar un layout físico y, finalmente, posterior al análisis mencionado, se propondrá el método más adecuado para la implementación de un nuevo layout físico en una maestría que se encuentra en proceso de ampliación por la incorporación de nuevos contratos de fabricación.



6. ESTADO DEL ARTE

Durante los años 1940-1950 es cuando se comenzó a tomar conciencia en el área industrial, acerca de la importancia de organizar metodológicamente la distribución en las plantas. Muchas industrias reorganizaron sus sistemas de fabricación, debido a las necesidades por guerra, y posteriormente adaptarlos al período de paz con una economía desarrollista en la que súbitamente se debieron abandonar las líneas de fabricación de ciertos productos y utilizar esos equipos y el espacio que dejaron, para producir otros bienes.

Ese momento de la historia marcó un hito en el diseño de plantas industriales ya que a partir de ese momento el problema de la distribución en la planta dejó de basarse en la propia experiencia del diseñador y pasó a conformar un conjunto de métodos y técnicas que entregan diferentes alternativas que el proyectista y diseñador debe estudiar o modificar para seleccionar la más adecuada al problema.

La distribución de planta consiste en seleccionar el arreglo más eficiente de las instalaciones físicas, con el fin de lograr la mayor eficiencia al combinar los recursos para producir un artículo o servicio. Se aplica a la selección de la disposición de las instalaciones físicas no sólo de las fábricas, sino también de las oficinas, hospitales, aeropuertos, centros comerciales y todo tipo de instalación. Se puede entender como la ordenación física de los elementos industriales. Esta ordenación, ya practicada o en proyecto, incluye, tanto los espacios necesarios para el movimiento de materiales, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, así como el equipo de trabajo y el personal de taller.

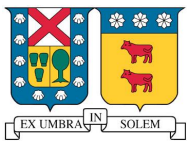
Entre las ventajas de generar una buena distribución en planta podemos indicar las siguientes:

- Incremento en la productividad: el efecto que produce el minimizar las distancias entre un proceso y otra mejora la eficiencia e incrementa la productividad.
- Optimización del espacio: distribuir efectivamente espacios de circulación y distancias de recorrido favorecen el uso correcto del espacio físico.
- Reducción material en proceso: provoca que material que está siendo utilizado en la fabricación permanezca menos tiempo en el proceso.
- Mejora de satisfacción del trabajador: diseñar un espacio para mejorar condiciones de trabajo frente a problemas como lugares con exceso de luz, calor o sombras.
- Reducción de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales: factor primordial frente a una mejora en el área de trabajo es la mejora en el aspecto seguridad del personal involucrado en la ejecución de los trabajos.

La investigación sobre la generación de Layouts con la ayuda de computadores se desarrolló con criterios métodos y resultados muy diferentes a partir de principios de los años setenta, hasta el presente.

El primer programa creado para la realización de distribuciones en planta por medio de computadores, es de 1963, cuyo nombre era CRAFT (*Computerized Relative Allocation of Facilities Techniques*). En su primer momento fue presentado por Armour y Buffa, y posteriormente verificado y perfeccionado por Armour, Buffa y Vollman (1967). Este programa utilizaba un algoritmo que minimiza el coste de manejo de materiales asociado a la distribución en planta partiendo de un layout inicial e intentando, mediante intercambios sucesivos de parejas de actividades reducir el coste de transporte.

El tipo de algoritmos como el descrito se denominan “de mejora” debido a que tomando como origen una solución inicial, ficticia o real, tratan de perfeccionarla según

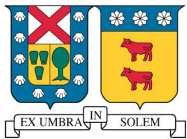


criterios de minimización de coste siendo éste asociado generalmente al coste de transporte, manejo de materiales, ocupación, etc.

Años después, dentro de los métodos de mejora de Layout, los desarrolladores Tompkins y Reed, en el año 1976, crearon el COPAD (*Computerized Facilities Technique*), empleando básicamente los mismos principios utilizados en el CRAFT. Fundamentalmente, es un desarrollo de éste, considerando el layout y el sistema de manejo de materiales empleado, de manera conjunta, con lo que se refleja en el problema los diferentes tipos de equipamiento de transporte susceptibles a ser empleados. El segundo grupo en el que se clasifican estos programas son los métodos de construcción de Layout, ya que no precisan de una solución inicial.

Estos métodos funcionan obteniendo una serie de soluciones aplicando algoritmos de ordenación geométrica en función de la información considerada. Son basados en la selección sucesiva y emplazamiento de las actividades a ubicar, según se valore y pondere las relaciones de proximidad entre las actividades, hasta que se finalice la confección del layout. Dentro de este tipo de programas, el primero en ser desarrollado fue el ALDEP, por Seehof y Evans en 1967.

A lo largo de los años se siguieron desarrollando varios otros programas. Actualmente el problema de la Distribución en Planta se aborda desde un punto de vista multidisciplinar y sistemático. Los métodos de generación de Layouts (MGL), hoy en día permiten ordenar topológicamente los elementos o actividades que están involucrados en el problema de ordenar la planta y no permiten un control de la forma en el desarrollo de la solución definitiva. Se espera que, a futuro, la cada vez mayor aplicación de estas técnicas de los modeladores geométricos permita obtener las ventajas que poseen los métodos de generación de Layouts por computador.



Se presentan, en este capítulo, algunos métodos de análisis que pueden ser utilizados para diseñar y mejorar la distribución física de plantas. A través del capítulo y el siguiente se determinará la herramienta a utilizar para dar solución a nuestra problemática en la empresa.

7.1 Systematic Plan Layout (SPL)

Corresponde a la técnica más utilizada para diseñar o proponer un nuevo tipo de distribución física, creada por Richard Muther en 1961. Fue desarrollado inicialmente como un procedimiento sistemático multi criterio aplicable a distribuciones de planta nuevas como ya existentes.

Según Muther (1968) las cuatro fases o niveles de distribución en planta, las cuales pueden traslaparse unas con otras son:

- Fase 1. Localización: en este nivel se debe decidir la ubicación geográfica de la planta. Para una planta nueva se evaluará en base a una ubicación estratégica competitiva. Para una planta antigua se evaluará a través de la redistribución si es factible mantener las actuales instalaciones o si es necesario trasladarse a otro sector con iguales o mejores ventajas.
- Fase 2. Distribución general del conjunto: se realiza un bosquejo o diagrama a escala de la futura planta en donde se muestra el tamaño, la relación y la configuración de cada departamento o área de trabajo.
- Fase 3. Plan de distribución detallada: es la elaboración en detalle del plan de distribución en donde se indica la ubicación de equipos, maquinarias y personal que ejecutará los trabajos.
- Fase 4. Instalación: corresponde a los movimientos físicos de equipos, maquinarias e insumos de acuerdo a la distribución en detalle que fue diseñada.

Las fases se muestran en la siguiente imagen y, según recomendación del autor, cada una de éstas debe traslaparse.

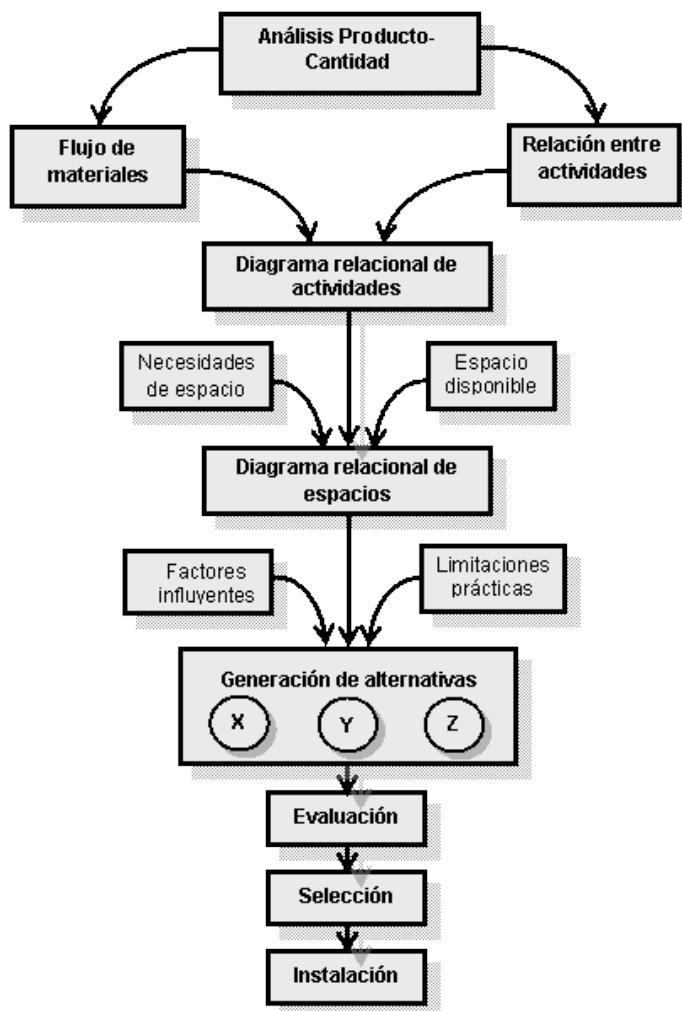


Ilustración 1 Esquema Systematic Layout Planning, Muther (1968)

De forma general el proceso se genera de la siguiente forma:

- **Análisis producto–cantidad:** lo primero es indicar qué se va a producir y en qué cantidad. Esta información es primordial para determinar el tipo de distribución más adecuado. Si la cantidad de productos es muy variada será necesario generar grupos de productos similares a fin de facilitar el manejo de la

información. Posteriormente las agrupaciones de productos similares serán organizados según su importancia. Se recomienda en este punto un gráfico en donde las abscisas muestren los distintos productos y las ordenadas muestren las cantidades producidas de cada uno. El gráfico debe mostrar cantidades en orden decreciente. En base a este gráfico es donde se puede plantear algunas alternativas de distribución.

- Análisis del recorrido de los productos: corresponde al flujo de producción, o sea, la secuencia y la cantidad de etapas en el proceso de un producto. A partir de la recopilación de datos se pueden elaborar gráficos y diagramas del flujo de materiales para ser estudiados. Cabe indicar que los gráficos y diagramas que se elaboren no son los que generen la distribución en planta, sino más bien son el punto de partida para su análisis.
- Análisis de las relaciones entre actividades: al conocer el recorrido de los productos es necesario indicar el tipo y la intensidad de las relaciones entre las diferentes actividades que generan el producto. La relación no debe limitarse a la circulación de materiales, sino que también debe considerar otros aspectos como necesidad de proximidad o necesidad de algún servicio auxiliar para el proceso. Se debe analizar en esta etapa aspectos relacionados con la construcción, medio ambiente por la generación de residuos y su disposición final, suministro de energía, organización del personal operativo y administrativo y los sistemas de información y control de los procesos entre otros. Esta información recopilada es fundamental para integrar todas las etapas de fabricación de un producto a modo de generar una distribución coherente. La forma de representar las interrelaciones de los distintos procesos para análisis es mediante la tabla relacional de actividades, la cual consiste en un diagrama de doble entrada en donde se va completando con el listado de actividades del proceso y sus necesidades de proximidad entre ellas. Esta

necesidad de proximidad se establece mediante un código de letras, habitualmente se utilizan las vocales en orden decrecientes (A=absolutamente necesaria, E=especialmente importante, I=importante, O=importancia ordinaria, U=no importante) y la relación no deseable con la letra X. Ejemplo de esta tabla se muestra a continuación.

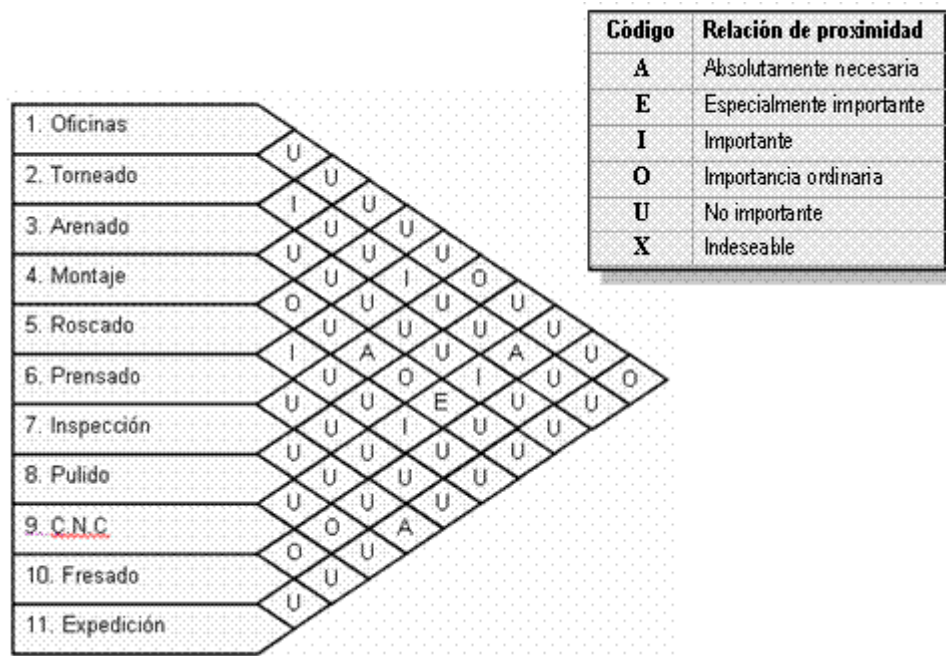


Ilustración 2 Tabla Relacional de Actividades Plant Layout (SPL)

- Desarrollo del diagrama relacional de actividades: con la información recopilada a través de la tabla relacional de actividades se comienza con la elaboración del diagrama, el cual está conformado por nodos que representan las actividades que conforman el proceso y su relación entre ellas representado por distintas cantidades de líneas según simbología para cada tipo de relación. El diagrama se va generando las veces que sea necesario a fin de lograr una distribución en donde las actividades que poseen mayor interacción estén

próximas entre sí y, a la vez, las que tienen poca o nula relación estén alejadas. En la siguiente figura se muestra un ejemplo del diagrama.

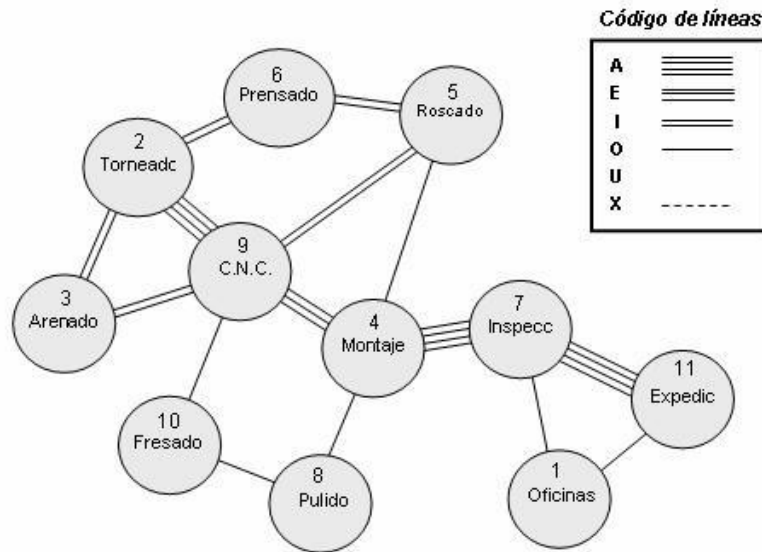


Ilustración 3 Diagrama Relacional de Actividades Systematic Plant Layout (SPL)

- **Análisis de necesidades y disponibilidad de espacios:** en esta etapa se debe ingresar toda la información relacionada con el espacio físico que ocupará cada área del proceso como así también su diseño o forma del espacio a utilizar. El cálculo del tamaño del espacio es dado por el planificador en base a diversos métodos de cálculo y también con su experiencia. El diseño final se logra luego de varios análisis y estudio en colaboración con otros especialistas o el cliente con el cual se desarrolla el diagrama relacional de espacios.
- **Desarrollo del diagrama relacional de espacios:** este diagrama es muy similar al diagrama relacional con la diferencia que se muestran a escala el tamaño de cada área del proceso. En la siguiente figura se muestra un ejemplo del diagrama.

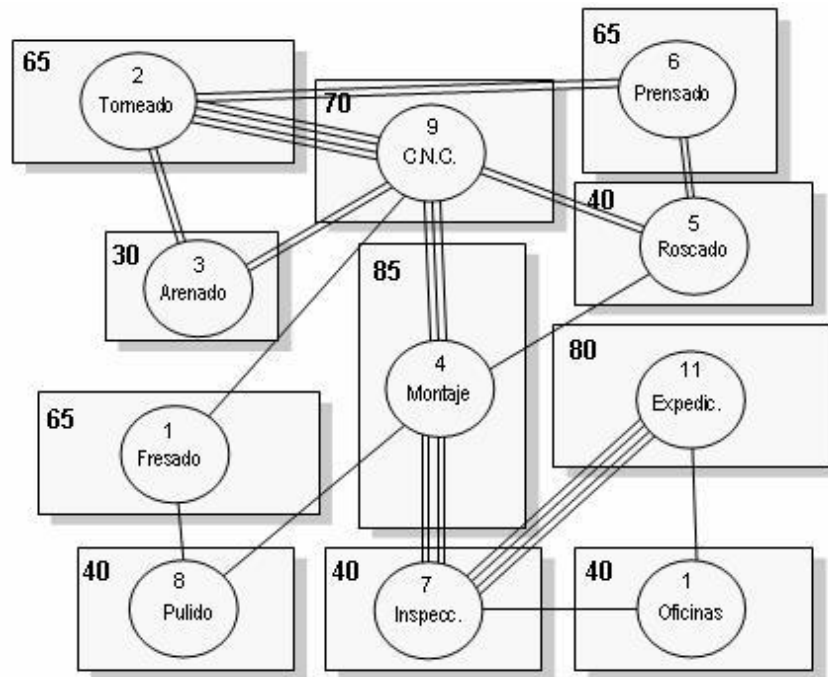


Ilustración 4 Diagrama Relacional de Espacios Systematic Plant Layout (SPL)

Una vez elaborado el Diagrama de Relaciones, los departamentos se mueven físicamente en el diagrama de tal forma en que se ubiquen cerca primero los departamentos con relación A (unidos por cuatro líneas), luego los de relación E (unidos por tres líneas), luego los de relación I (unidos por 2 líneas), los de relación O (unidos por 1 línea) y por último los de relación U (sin unión). Los departamentos que tienen relación negativa deben ser colocados lo más lejos posible. Este nuevo diagrama debe tener en lo posible una forma cuadrada o rectangular. La relación que existe entre un departamento y otro (A, E, I, O, U y X) debe ser representada por líneas con diferente trazado, color o cantidad de rectas.

Para definir la Distribución Física final se debe determinar los espacios requeridos de cada área y compararlos con el espacio del que se dispone. Esta técnica también indica que se debe tomar en consideración futuras expansiones, maquinarias especiales y otros requerimientos importantes.

7.2 Quadratic Assignment Problem (QAP)

Este modelo fue creado por Koopman y Beckman en 1957. El problema de la asignación cuadrática, que se denota por sus siglas en inglés QAP (Quadratic assignment problem), fue planteado como un modelo matemático para un conjunto de actividades económicas indivisibles. Posteriormente Sahni y Gonzales demostraron que QAP pertenece a los problemas no polinomiales duros, lo que sumado a que es un problema aplicable a un sinnúmero de situaciones, lo hacen un problema de gran interés para el estudio.

QAP es un problema estándar en la teoría de locación. En éste se trata de asignar N instalaciones a una cantidad N de sitios o locaciones en donde se considera un costo asociado a cada una de las asignaciones. Este costo dependerá de las distancias y flujo entre las instalaciones, además de un costo adicional por instalar cierta instalación en cierta locación específica. De este modo se buscará que este costo, en función de la distancia y flujo, sea mínimo.

Las aplicaciones del QAP son variadas, y es utilizado en muchos contextos diferentes. Resolver este problema para un gran número de instancias es de vital importancia, y a la vez, tratar de resolver el problema mediante técnicas completas puede resultar no factible por el alto número de instancias. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son:

- Diseño de centros comerciales donde se quiere que el público recorra la menor cantidad de distancia para llegar a tiendas de intereses comunes para un sector del público.
- Diseño de terminales en aeropuertos, en donde se quiere que los pasajeros que deban hacer un transbordo recorran la distancia mínima entre una y otra terminal teniendo en cuenta el flujo de personas entre ellas.

- Procesos de comunicaciones.
- Diseño de teclados de computadora, en donde se quiere por ejemplo ubicar las teclas de una forma tal en que el desplazamiento de los dedos para escribir textos regulares sea el mínimo.
- Distribuciones físicas en una industria.

Es considerado un modelo especial para cálculo de distribuciones físicas, ya que asume que todos los departamentos tienen áreas iguales y que las ubicaciones se conocen antes de resolver el modelo. Este modelo asigna un departamento a cada locación disponible que tiene. La asignación se basa en la relación que tienen los departamentos. Este modelo debe tener un número igual de departamentos y locaciones para asignación, en caso de que no sean igual se debe crear departamentos o locaciones con flujos 0 para no afectar el diseño.

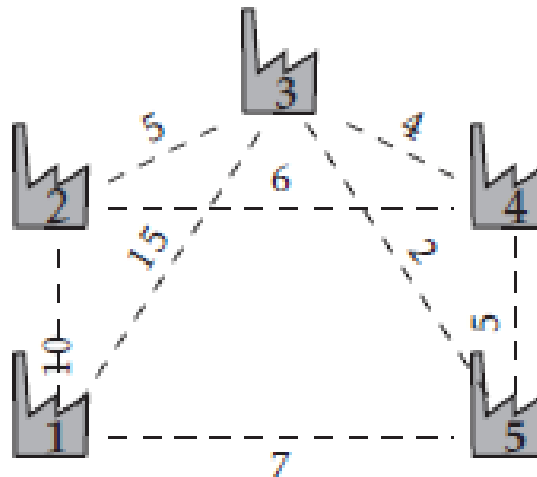


Ilustración 5 Diagrama de Diseño Quadratic Assignment Problem (QAP)

Esta clase de modelo tiene un grado más complejo de resolver cuando se tienen más de 18 departamentos, ya que la formulación matemática se vuelve muy compleja al tener que generar como mínimo $18 \times 18 = 324$ funciones objetivo en hojas de cálculo

en forma manual. Este modelo puede ser usado en el diseño de la distribución física de fábricas con departamentos de diferentes áreas al dividir esas áreas en departamentos de áreas iguales, sin embargo, esta división incrementa el número de departamentos del problema. QAP busca minimizar la distancia total recorrida bajo la fórmula de multiplicar la distancia por la cantidad de movimientos entre cada lugar asignado.

7.3 ASBMODEL

Este modelo también busca disminuir el costo total de movimiento de materiales al minimizar la distancia recorrida. Tiene aplicaciones para posicionar departamentos o máquinas en una o dos dimensiones. Al generar una distribución física en una dimensión se habla de una distribución cuyos departamentos están en línea recta. Una distribución física en dos dimensiones es cuando se colocan departamentos en línea recta y a los costados. Los dos esquemas pueden ser apreciados en las siguientes figuras:

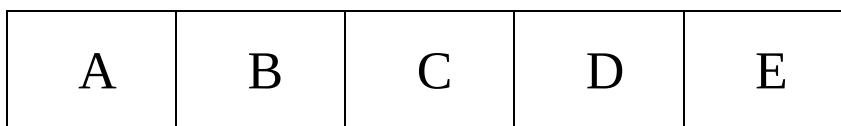


Ilustración 6 Distribución Física en una Dimensión

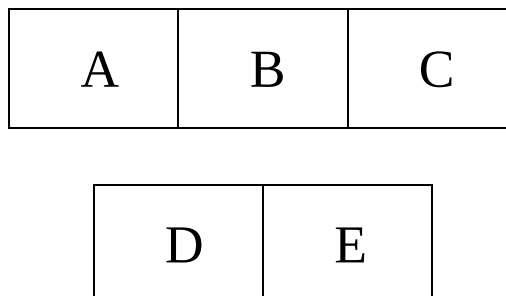
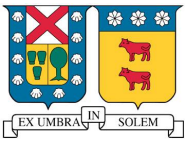


Ilustración 7 Distribución Física en Dos Dimensiones



El modelo tiene las siguientes condiciones:

- Los Departamentos deben ser cuadrangulares o rectangulares y si tienen alguna otra forma especial deben ser encerrados dentro de un cuadrado o rectángulo.
- La orientación de los departamentos es predeterminada o conocida.
- No hay restricciones en el edificio donde van a ser colocados los departamentos.

El modelo ASBMODEL tiene tres versiones:

- ASBMODEL 1: se utiliza cuando la distribución física a construir se la realiza en línea recta o una sola dimensión.
- ABSMODEL 2: se los utiliza cuando la distribución física a construir se la realiza en 2 dimensiones y todos los departamentos son cuadrados y tienen la misma dimensión.
- ASBMODEL 3: se lo utiliza cuando la distribución física a construir se la realiza en 2 dimensiones y cada departamento puede ser cuadrado o rectangular y de dimensiones diferentes.

La matemática de este modelo se basa en una función objetivo que busca minimizar el costo del movimiento entre departamentos, como se muestra en la siguiente fórmula.

$$\text{Objetivo} = \sum \text{costo} \times \text{flujo} \times \text{distancia (entre departamento a y b)}$$

Donde:

Costo: es el valor en dólares (o moneda del país) por metro lineal recorrido.

Flujo: es el número de movimientos entre el departamento a y b.

Distancia: es la cantidad de metros lineales que existe entre el departamento a y b.

7.4 CORELAP

Este modelo computacional fue desarrollado por Lee y Moore en 1967. Se basa en una tabla de relaciones entre departamentos como entrada en donde el usuario es quien realiza la asignación de pesos para cada una de las relaciones. La distribución resultante es construida mediante el TCR, siglas en inglés de Total Closeness Rating, el cual es Ratio Total de Proximidad.

El valor del TCR es la suma de los valores numéricos que han sido asignados a las relaciones en el gráfico de relaciones. Habitualmente los valores asignados a las constantes en la determinación del TCR son:

A=6; E=5; I=4; O=3; U=2; X=1

El desarrollo del proceso se genera de la siguiente forma:

- Seleccionar el departamento con el mayor TCR. En caso de empate se elegirá el departamento en base al que posea mayor área.
- Se realiza iteración en donde se coloca el departamento con el mayor ratio de proximidad respecto a los ya colocados. En este proceso se deben revisar los casos de empate.
- Posteriormente se genera el proceso de colocación en el cual el primer departamento se coloca en el centro. Para los siguientes departamentos en ser colocados se deben evaluar todas las posibles situaciones. Para cada combinación se calculan el ratio de colocación usando el TCR y la longitud de borde, posteriormente se escoge el ratio de colocación más alto y en caso de existir empates, se elige el que tiene menor contacto de borde.

La evaluación del método se realiza en base a puntuación basada en la adyacencia en donde el índice es el sumatorio de las adyacencias producidas por su valor de CR.

A continuación, se expone un ejemplo del funcionamiento teórico del algoritmo CORELAP. El funcionamiento teórico del algoritmo irá acompañado de los pasos dados por el programa. Datos del ejemplo:

Ítem	Nombre del Departamento	Superficie [m ²]
1	Brochado	3
2	Uillaje	20
3	Torneado	7
4	Fresado	3
5	Tallado	7
6	Afeitado	5
7	Soldadura	11
8	Rectificado	6
9	Taladrado	4
10	Granallado	15

A	6
E	5
I	4
O	3
U	2
X	1

Tabla 1 Datos Ejemplo Corelap

Los datos del ejemplo quedarían introducidos en la interfaz del programa CORELAP 1.0 de la manera que se muestra en las figuras:

CORELAP 01_Planeamiento

¿Cuántos departamentos quiere implantar?

	Nombre Departamento	Tamaño Depart. m2
1	Brochado	3
2	Uillaje	20
3	Torneado	7
4	Fresado	3
5	Tallado	7
6	Afeitado	5
7	Soldadura	11
8	Rectificado	6
9	Taladrado	4
10	Granallado	15

Superficie Disponible :

Definición de los parámetros que determinan el peso de las relaciones.

A =	6
E =	5
I =	4
O =	3
U =	2
X =	1

El chart de relaciones se rellena asignando una de estas 6 constantes a la relación entre cada 2 departamentos. El valor de cada constante puede ser modificado en esta tabla.

Ilustración 8 Introducción de Datos en Aplicación CORELAP 01

A continuación, según el algoritmo se procederá a calcular el TCR (ratio total de proximidad) de cada uno de los departamentos. Esto se muestra en la tabla siguiente:

Dept.	Department									Summary						TCR	Order
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	E	I	O	U	X		
1	-	A	A	E	O	U	U	A	O	3	1	0	2	2	0	402	(3)
2	A	-	E	A	U	O	U	E	A	2	2	0	1	3	0	301	(6)
3	A	E	-	E	A	U	U	E	A	3	3	0	0	2	0	450	(2)
4	E	A	E	-	E	O	A	E	U	2	4	0	1	1	0	351	(5)
5	U	O	A	E	-	A	A	O	A	4	1	0	2	1	0	527	(1)
6	U	O	U	O	A	-	A	O	O	2	0	0	4	2	0	254	(7)
7	U	U	U	A	A	A	-	X	A	4	0	0	0	3	1	375	(4)
8	A	E	E	E	O	O	X	-	X	1	3	0	2	0	2	-48	(9)
9	O	U	A	U	A	O	A	X	-	3	0	0	2	2	1	252	(8)

Tabla 2 Valores de TCR de Cada Uno de los Departamentos

El programa hace el cálculo del TCR de cada uno de los departamentos de la distribución y nos los muestra ordenados en orden decreciente de TCR, como se muestra en la siguiente figura:

CORELAP 01_Presentación Resultados

ORDENACIÓN DE LOS DEPARTAMENTOS POR IMPORTANCIA

Orden	Nombre	TCR	Superficie m2
1.-	Soldadura	38	11
2.-	Torneado	38	7
3.-	Brochado	38	3
4.-	Granallado	37	15
5.-	Tallado	37	7
6.-	Afeitado	37	5
7.-	Rectificado	35	6
8.-	Utilaje	32	20
9.-	Taladrado	32	4
10.-	Fresado	32	3

[Solución Gráfica](#)

☐ Calcular Iteraciones

Superficie Requerida < Superficie Disponible

Superficie Requerida: 81

Superficie Disponible: 85

Ilustración 9 Presentación en el Programa CORELAP 0.1 de los Valores Obtenidos de TCR de cada uno de los Departamentos

Se generan iteraciones para la colocación de los departamentos.

En la primera iteración el departamento de mayor TCR se coloca en el centro de la distribución y a continuación se coloca el departamento con un mayor ratio de proximidad con el primero. En el caso práctico el departamento con mayor TCR es el 5, de Producción, que se colocará en el centro de la distribución.

62,5	125	62,5
125	5	125
62,5	125	62,5

Ilustración 10 Colocación del Primer Departamento en el Layout

En la segunda iteración, el siguiente departamento en ser colocado es el 3 de Materias Primas por tener un valor de afinidad máximo con el departamento ya colocado y además tener el mayor valor de TCR de entre los departamentos que tienen el mismo valor de afinidad con el departamento ya colocado.

A igualdad de ratio de proximidad con los departamentos ya colocados se coge el departamento que tenga mayor TCR. Y a igualdad de afinidad y TCR se elegirá al de mayor superficie.

A la hora de colocar los departamentos las posiciones no perpendiculares a las caras de los departamentos ya colocados se penalizan multiplicando los coeficientes de proximidad por 0,5. Las posiciones perpendiculares a las caras de los departamentos ya colocados tienen preferencia y sus coeficientes de proximidad no se penalizan.

En el ejemplo, el departamento 5 tiene un coeficiente de proximidad “A” con el departamento 3, que es el siguiente en ser colocado. Por lo tanto, las posiciones que sean perpendiculares a las caras del departamento ya colocado tendrán una puntuación de 125 y las no perpendiculares de 62,5. Lo indicado se muestra en la siguiente figura

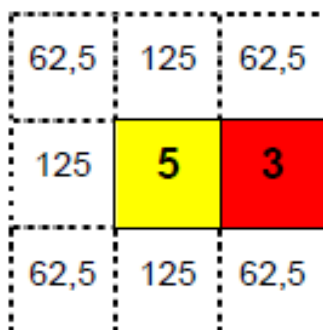


Ilustración 11 Colocación del Segundo Departamento en el Layout

Los pasos dados por el algoritmo, y que han sido descritos, los realiza el programa CORELAP 0.1 como se muestra a continuación. Primero se presenta el paso en el que el algoritmo selecciona el departamento 3, de materias primas, para ser colocado en segundo lugar:

CORELAP 01_iteraciones

Busqueda del departamento más afín a los ya colocado:

TCR	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MATERI 50	490	125	25	0	25	125	0	0	25
ENSAMBL 70	375	0	0	0	125	125	125	0	-125
PRODUC 50	254	0	1	0	1	125	0	125	1
MANTEN 50	252	1	0	125	0	125	1	125	-125
PRODUC 70	361	25	125	25	0	25	1	125	25
RECEPC 50	402	0	125	125	25	1	0	0	125
OFICIN 30	-40	125	25	25	25	1	1	-125	0
EXPEDI 60	301	125	0	25	125	0	1	0	25
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41

Ilustración 12 Selección del Departamento 3 para ser Colocado en el 2° Lugar

En la columna en rojo de la figura se ordenan todos los departamentos según su afinidad con respecto al departamento ya colocado, el 5. A igualdad de ratio de proximidad con el departamento ya colocado, 125 en este caso, se selecciona aquel departamento que tenga mayor TCR. El valor de TCR de cada departamento se puede ver en la columna en azul de la figura anterior.

En la siguiente figura se muestra el tratamiento que da el programa CORELAP 0.1 al algoritmo de colocación de los departamentos:

Iteraciones para la obtenc									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	62,5	125	62,5	0	0	0	0	0
0	0	125	-1E+42	-1E+42	0	0	0	0	0
0	0	62,5	125	62,5	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ilustración 13 Ubicación de los Departamentos en la Aplicación

Cada número distinto de cero corresponde a una posición candidata a acoger un departamento dentro de la distribución en la iteración en cuestión, y las posiciones con valor “-1E+42” indican una posición ya ocupada por algún departamento. La posición central está ocupada por el departamento 5. En los lados de este departamento vemos como se ha ponderado cada una de las posiciones con los ratios de proximidad, para valorar la colocación del siguiente departamento. Finalmente, el algoritmo ha colocado el departamento 3 en una posición de ratio de proximidad 125 por encontrarse en una posición perpendicular a una cara del departamento ya colocado.

En la pantalla de iteraciones se nos da información suplementaria que a continuación explicamos.

CORELAP 01_iteraciones

Busqueda del departamento más afin a los ya colocados

MATERI	50	450	125	25	0	25	125	0	0	25	125	3	9
MONTAJ	70	375	0	0	0	125	125	125	0	-125	125	7	7
PRODUC	50	254	0	1	0	1	125	0	125	1	1	6	4
MANTEN	50	252	1	0	125	0	125	1	125	-125	0	9	3
PRODUC	70	351	25	125	25	0	25	1	125	25	0	4	6
RECEPC	50	402	0	125	125	25	1	0	0	125	1	1	8
OFICIN	30	-48	125	25	25	25	1	1	-125	0	-125	8	2
EXPEDI	60	301	125	0	25	125	0	1	0	25	0	2	5
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	1

Iteraciones para la obtención de la distribución en planta

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	62,5	125	62,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	125	-1E+42	-1E+42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	62,5	125	62,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	62,5	187,5	187,5	62,5	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	125	-1E+42	-1E+42	125	0	0	0	0	0	0	0	0

Valor de la relación de afinidad para colocación

125 187,5 250 187,5 125,5 125,5 137,5 137,5

Departs. Colocados

5 3 9

Coordenadas Departs. Colocados

4 4 5 4

Ilustración 14 Pantalla de Ejecución de Algoritmos de la Aplicación CORELAP 0.1

- Se nos indica cuales son los departamentos que tienen asignada su posición en cada una de las iteraciones.
- Aplicación del algoritmo de “búsqueda del orden de los departamentos en ser colocados”.
- Aplicación del algoritmo de “ubicación de cada uno de los departamentos” según el orden indicado y expresado en el algoritmo anterior.
- Valor de la afinidad del departamento en ser colocado con respecto a los ya ubicados, teniendo en cuenta el coeficiente de penalización en las posiciones no perpendiculares a las posiciones ya ocupadas.
- Coordenadas sobre el layout de cada uno de los departamentos que han sido colocados en cada una de las iteraciones.

En la siguiente iteración se coloca el departamento de más afinidad con respecto los departamentos ya colocados, el 5 y el 3. Este departamento es seleccionado en el algoritmo de “búsqueda del departamento más afín a los departamentos ya colocados” de la aplicación CORELAP 0.1. En la siguiente figura podemos ver como el siguiente departamento en ser seleccionado, el 9 (departamento de mantenimiento), es aquel que tiene más afinidad con los otros departamentos colocados. En la misma figura podemos ver como en el algoritmo para la distribución en planta se coloca este departamento en la posición en que los coeficientes de proximidad de los departamentos colocados con el departamento que se va a colocar son máximos.

Ver explicación de la iteración 2ª como ejemplo de interpretación de la pantalla de ejecución de algoritmos de la aplicación CORELAP 0.1.

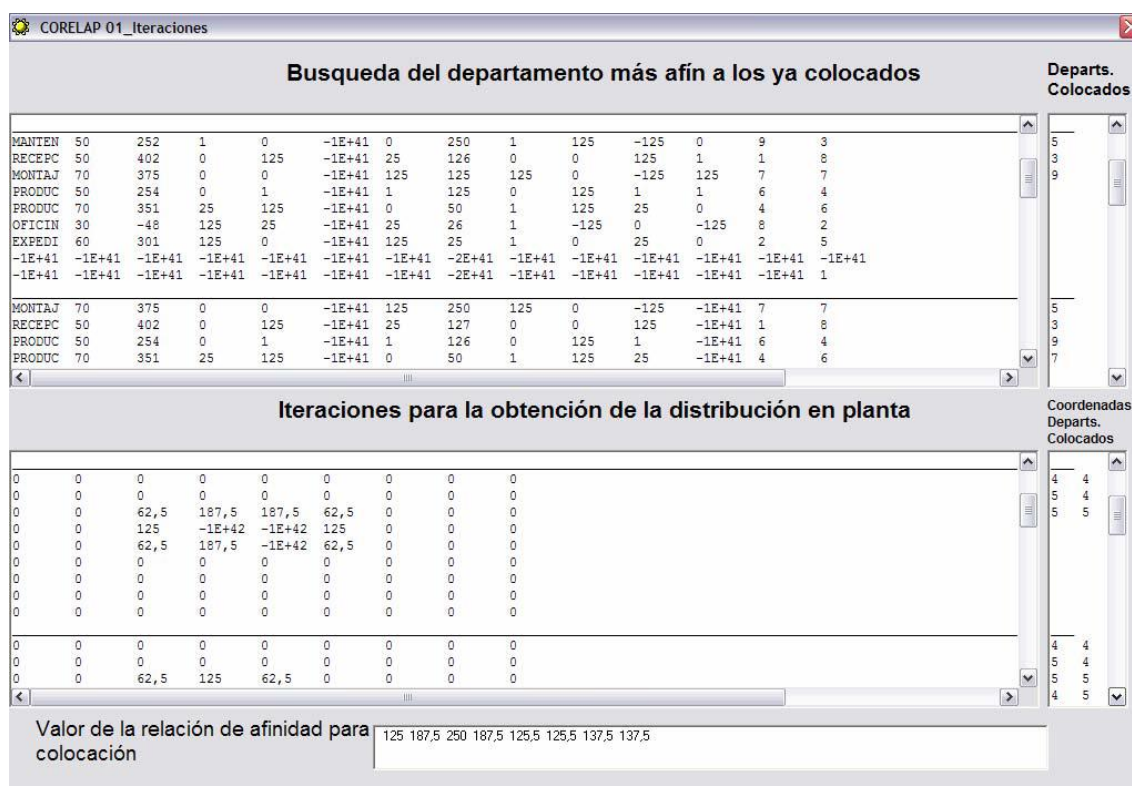


Ilustración 15 Iteración 3ª en la Pantalla de Ejecución de Algoritmos de la Aplicación

62,5	187,5	187,5	62,5
125	5	3	125
62,5	187,5	9	62,5

Ilustración 16 Ubicación de los Departamentos en el Layout en la Iteración 3°

En las siguientes iteraciones, los departamentos sucesivos se colocarán según el procedimiento explicado para los primeros departamentos. Primero se toma del algoritmo de búsqueda el departamento a colocar y después se aplica el algoritmo de colocación para ubicarlo.

La pantalla de la aplicación “Corelap 0.1” en la cual se presentan los resultados es tal y como la que sigue en la siguiente figura:

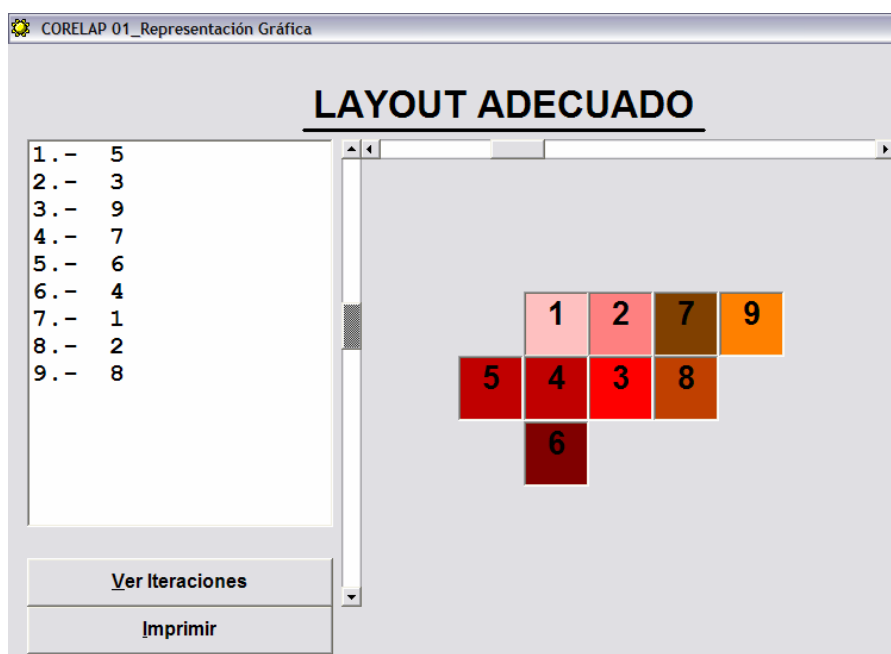
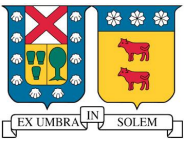


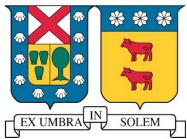
Ilustración 17 Pantalla de Presentación de Resultados



7.6 Métodos de mejora

Mientras en los métodos de construcción se plantea el problema de ubicación de actividades, en los métodos de mejora se consideran problemas de asignación. Estos tienen aplicación en plantas industriales donde el proceso productivo venga determinado por secciones, entre las cuales exista un tráfico de materiales, y sea posible cuantificar los costes de transporte.

Los algoritmos empleados para la mejora de distribuciones son el CRAFT, y las variantes del mismo como el MICRORAFT y el COFAD.



7. CASO PRÁCTICO

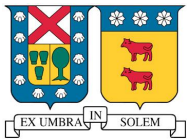
8.1 La Empresa

MG&T S.A. nace a la industria metalmecánica regional en la década de los 90, materializando el sueño de su creador y Gerente General, quien desea formar una empresa que ofrezca a sus clientes soluciones integrales en el área metalmecánica e ingeniería. Esta empresa se encuentra ubicada en la comuna de Codegua, Sector Isla Norte, en la ciudad de Rancagua.

Actualmente, MG&T S.A., se desarrolla en el campo industrial y de la gran minería, con el propósito de otorgar soluciones tecnológicas de alta calidad al sistema productivo nacional, ofreciendo sus servicios en áreas de maestranza, construcción, proyectos de ingeniería, montaje, mantención, mecánica, eléctrica, automatización, instrumentación, y control de procesos; además del servicio de transporte y equipos, realizando sus operaciones en un marco de desarrollo sustentable.

Dentro de las áreas de trabajo se destacan:

- Área Montaje
 - Montajes Industriales
 - Montajes Mineros
 - OO. CC.
 - Montaje de Equipos
- Área Ingeniería
 - Ingeniería para el desarrollo, mejoramiento y potenciación de plantas industriales y mineras.
 - Ingeniería de mantenimiento (especialista en gestión RCM)



- Área Maestranza
 - Fabricación de Estructuras 150 a 250 Ton/Mes
 - Reparación de elementos como Bombas, Ventiladores, Cilindros.
 - Fabricación de Cilindros Hidráulicos y Neumáticos
 - Fabricación de Sellos
 - Fabricación de Piezas y Componentes

En el ámbito comercial, MG&T se encuentra debidamente inscrita en el Registro Integral de Contratistas y Proveedores de la Minería (REGIC) y el Sistema de Calificación de Empresas Proveedoras (SICEP); además, certificada bajo normas ISO 9001-2008; OHSAS 18001-2007; e ISO 14001-2004, cuya aplicación garantiza un ordenado proceso productivo y de gestión, lo que es sinónimo internacional de calidad y seguridad

La empresa MGYT S.A. está formada principalmente por un directorio, un departamento asesor denominado Calidad, Medio Ambiente y Seguridad (CAS), y tres Gerencias estratégicas, como muestra la Figura

- Una Gerencia de Administración y Finanzas.
- Una Gerencia de Comercial.
- Una Gerencia de Operaciones.

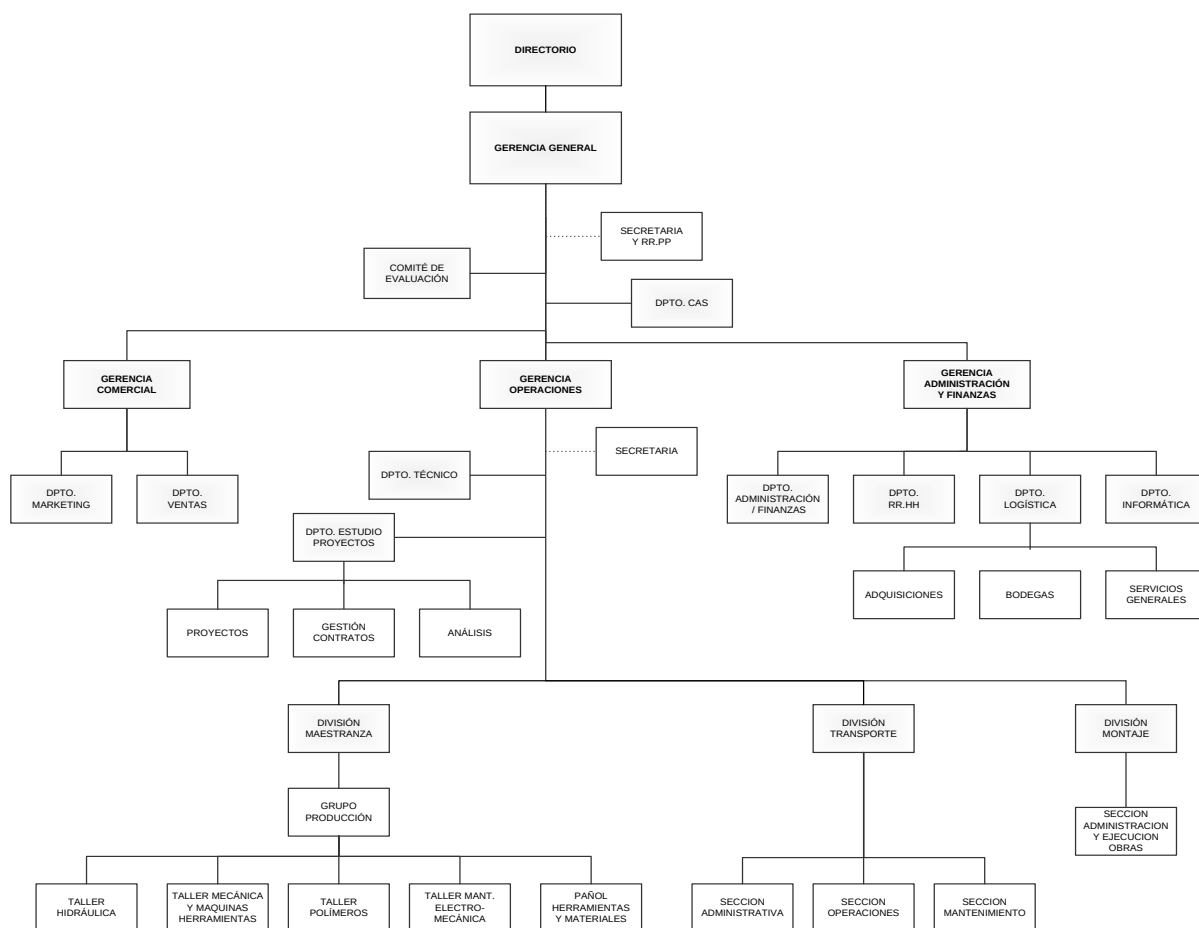
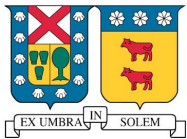


Ilustración 18 Organigrama de la Empresa; Fuente: Maestranza MG&T

Por otra parte, en la actualidad MG&T S.A. conforma un HOLDING de Empresas relacionadas (ROCKMINE S.A. y SOFTTIME S.A.), todas Certificadas bajo las normas ISO 9001: 2000, ISO 14001: 2004 y OHSAS 18000 : 1999.

8.2 La Industria.

Para entender la empresa, se hace necesario conocer los principales competidores a manera de comprender el contexto actual. De forma general, sus competidores son:



- Compañía Metalmecánica San Francisco Ltda.
- Vapor Industrial S.A.
- Maestranza Maipú (FERROCENTRO)
- Maestranza INFASER
- Metalúrgica THL

A continuación se detallará brevemente las características de cada uno de los competidores.

8.2.1 Compañía Metalmecánica San Francisco

Compañía Metalmecánica San Francisco Ltda., está orientada a satisfacer la demanda en equipos, productos, tecnología y servicios para procesos de la Minería e Industria Nacional e Internacional con más de 30 años de experiencia y conocimiento en el mercado nacional.

Los principales productos y servicios de CMSF son:

- Componentes para la minería e industria.
- Proyectos de Fabricación de Calderería Pesada.
- Desarrollo Ingeniería de Detalle.
- Servicios de Mecanizado.
- Superficie Total 80.000 m²
- Superficie Proceso Productivo 20.000 m²
- Superficie Administración 600 m²



8.2.2 Vapor Industrial S.A.

VAPOR INDUSTRIAL S.A., empresa metalmecánica fundada en 1977 y desde sus inicios dedicada a la fabricación de equipos de acero y a la prestación de servicios de fabricación en calderería pesada.

Su equipo humano permanente, supera las 280 personas, que incluye a profesionales, ingenieros, técnicos y personal de taller entrenado y calificado.

Cuenta con la maestranza de calderería más grande del país, cuya infraestructura (más de 36.000 m² en la comuna industrial de Quilicura) y equipamiento permiten desarrollar operaciones de diseño, corte, conformado del acero, soldadura, tratamiento superficial y pintura.

8.2.3 Maestranza Maipú (FERROCENTRO)

Ferro centro también es una de las mayores empresas de servicios en acero en Chile, creadas bajo el concepto de abrir las puertas de su gran taller de 55.000 m² de terreno y 10.000 m² de maestranza.

Su misión hoy en es entregar productos y servicios metalmecánicos, la que cuenta con equipamiento especializado para este tipo de servicios.

8.2.4 Maestranza INFASER

INFASER es una empresa chilena de ingeniería, fabricación y servicios creada el año 2004, especializada en la fabricación de estructuras y equipos especiales y calderería.



Cuenta con los siguientes servicios e instalaciones:

- Superficie de 8.000 m²
- Naves techadas para el desarrollo de los trabajos: 5.000 m²
- Sala de tratamiento superficial: 1000 m²
- Sala de granallado: 2.000 m²
- Oficinas de Gerencia e Ingeniería: 400 m²
- Camarines de cambio: 160 m²

8.2.5 Metalúrgica THL

Metalúrgica THL Ltda. Es una empresa que fue fundada en octubre de 1995, después de haber adquirido la experiencia y los conocimientos necesarios, trabajando en distintos proyectos metalúrgicos en el ámbito nacional y regional. Podemos decir que sus principales servicios son fabricación de estructuras, calderería, pinturas, ingeniería, obras civiles y transportes.

Respecto a los montos adjudicados en distintos contratos y los clientes con quienes adjudicó los servicios la empresa MG&T, se presentan las siguientes ilustraciones.

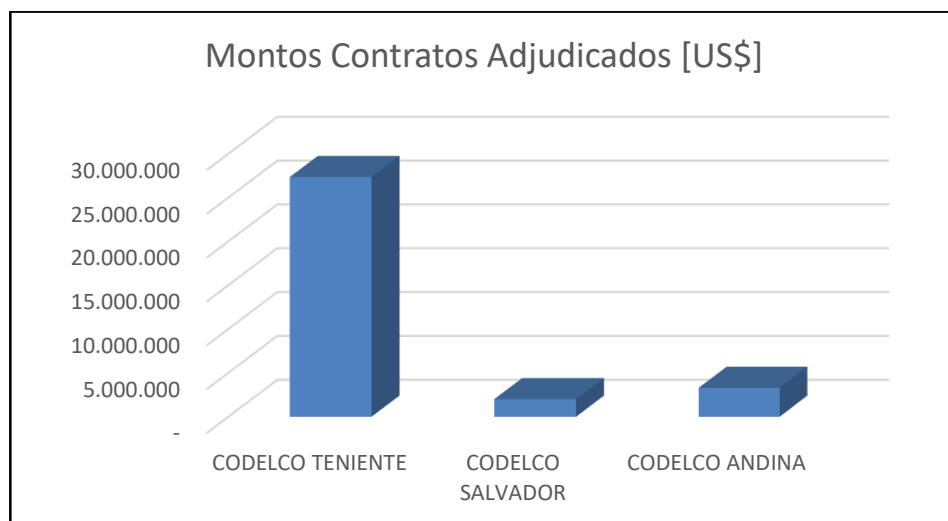


Ilustración 19 Montos Adjudicados; Fuente: Maestranza MG&T

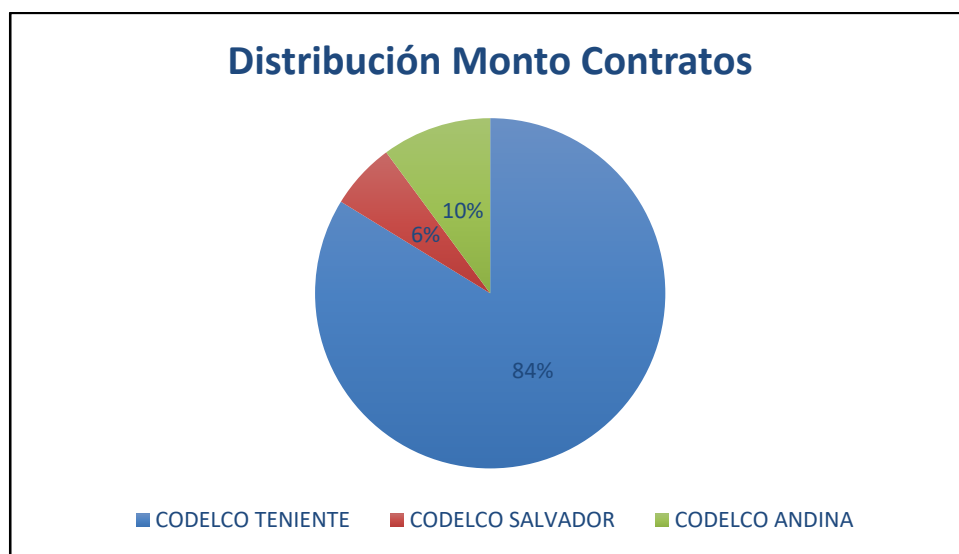


Ilustración 20 Distribución Montos por Clientes; Fuente: Maestranza MG&T

8.2.6 Diagnóstico

Al igual que la mayoría de las empresas que están en un proceso de crecimiento surgen una serie de problemas que se mencionan a continuación.

- Almacenamiento y bodega: A pesar de existir un aumento de los trabajos solicitados, la bodega sigue operando de la misma forma en que comenzó la empresa. El personal involucrado es muy bajo, no existe separación de piezas y materiales y, por último, el espacio físico para el almacenamiento de éstos es reducido y no definido.
- Logística y transportes: Baja cantidad de vehículos para transporte en la compra de insumos y el despacho de piezas elaboradas. Casi nula planificación de pauta de vehículos ha llevado a contratar servicios externos de transporte.
- Distribución en planta: El constante crecimiento y los distintos tipos de contrato han provocado distintas distribuciones de áreas en donde se desarrollan los procesos. El actual contrato de carros metaleros, y los problemas que son visibles en la correcta ejecución de las distintas etapas del proceso hace necesario desarrollar un nuevo layout físico.

De los problemas antes mencionados se desarrollará y se tratará de dar solución al nuevo layout físico de la maestranza.

El espacio físico actual de la maestranza cuenta con las siguientes instalaciones distribuidas en una superficie total de 16.000 m², distribuidas en las siguientes secciones:

- Oficinas de Administración y Gerencia de 500 m²: Está destinado principalmente a las actividades relacionadas con administración y finanzas de la empresa, es decir, RRHH, contabilidad, abastecimiento, finanzas, y Calidad-Seguridad y Medio Ambiente. Su superficie está distribuida en dos pisos y está construido en estructura metálica, con amplios ventanales de aluminio, los pisos son en loza de concreto recubierto con cerámicas, y la superficie de la techumbre es de acero galvanizado.

- Oficina de Operaciones e Ingeniería 350 m²: Está destinado principalmente a las actividades relacionadas con; estudio de licitaciones y cotizaciones, ingeniería de diseño, área de proyectos, y la administración de actividades operacionales de MGYT. La superficie de este edificio está distribuida en 6 oficinas, baños, sala de estar y sala de reuniones. Está construido de estructura liviana, con amplios ventanales de aluminio y los pisos son de cerámicas.
- Nave de Maquina y Herramientas 850 m²: Este edificio está formado por dos módulos contiguos, uno destinado a máquinas y herramientas de trabajo piezas pequeñas y medianas y el segundo destinado a trabajo de grandes piezas.

Dentro de sus máquinas se cuenta con:

- Tornos paralelos
- Torno Reperfilador de Ruedas FFCC
- Taladros radiales
- Cepillo
- Fresadoras
- Mandriladora
- Prensa Horizontal de 1000 ton.
- Prensa vertical de 100 ton.

La estructura soportante del edificio es de pilares y cerchas del tipo enrejadas, la techumbre y los cierres son de planchas de acero galvanizado con zonas de policarbonato para mejorar la iluminación y los pisos son de concreto. La iluminación es mediante focos de luz halógena distribuidos según normas de iluminación aplicables. Existe, además, en el interior de este edificio una construcción en 2 pisos, el primero destinado a servicios y el segundo a oficinas para el personal. La nave cuenta

con puente grúa de 10 ton en el módulo 2 y un puente grúa de 2 ton, un brazo radial de 0,5 ton, y un grúa portal de 1 ton en el módulo 1.

Taller de Estructura Liviana 600 m²: Este edificio está formado por 3 módulos, uno central destinado a la actividad principal y módulos laterales en los cuales se desarrollan actividades complementarias. La estructura soportante del edificio es de pilares y vigas de acero, la techumbre y cierres laterales son de planchas de acero galvanizado con zonas de policarbonato para mejorar la iluminación y los pisos son de concreto. La iluminación es mediante focos de luz halógena distribuidos según normas de iluminación aplicables.

Taller de Carros Metaleros 1600 m²

Taller de 10 TON (Calderería) 800 m²

Patio de Maniobras 5000 m²

Banco de Pruebas y Laboratorios 250 m²

Bodegas 800 m²

Áreas Verdes 1000 m²

Camarines de cambio: 450 m²: Está construido de albañilería, con amplios ventanales de aluminio, los pisos son de cerámica.

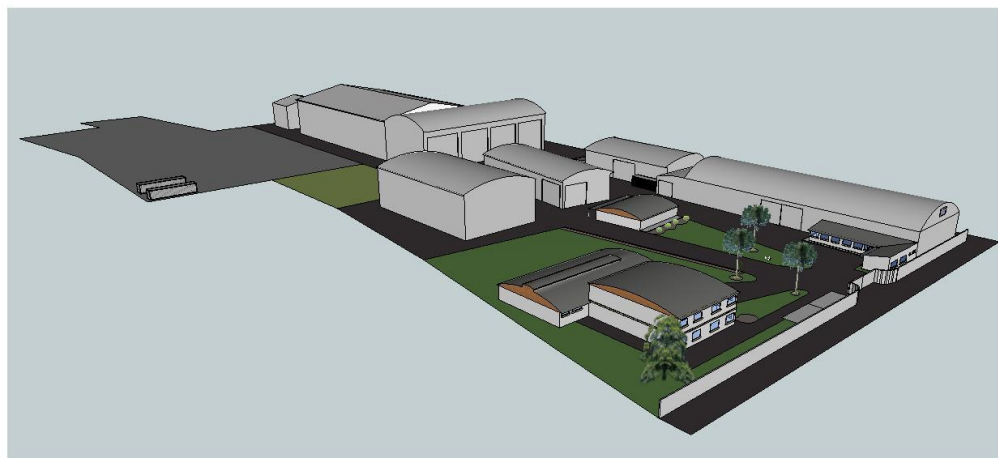


Ilustración 21 Maestranza MG&T

La distribución en planta de las actuales instalaciones se muestra en la Figura:

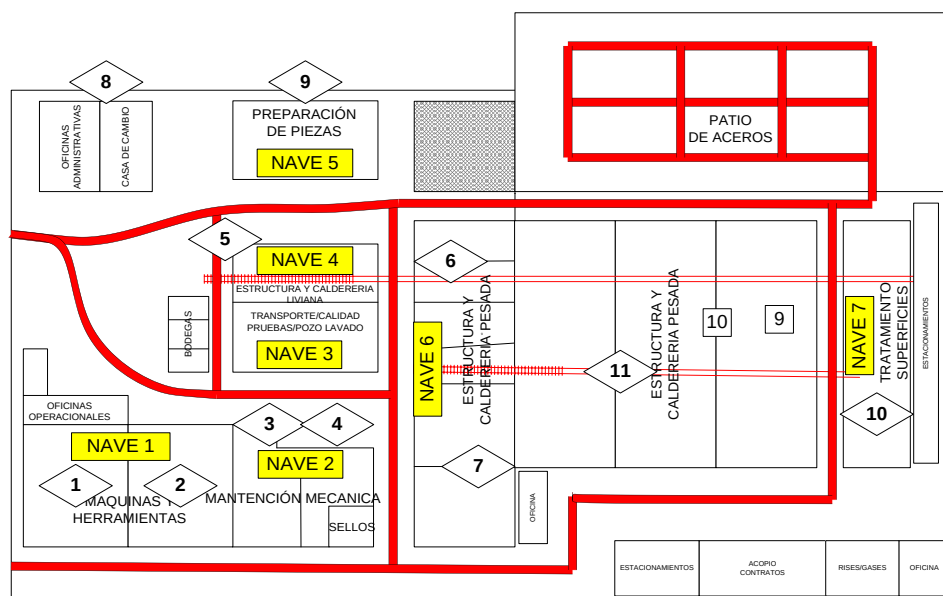


Ilustración 22 Planta Maestranza MG&T

Para uno de los actuales contratos de la empresa que consiste en las paradas de rueda, se muestra la Figura.

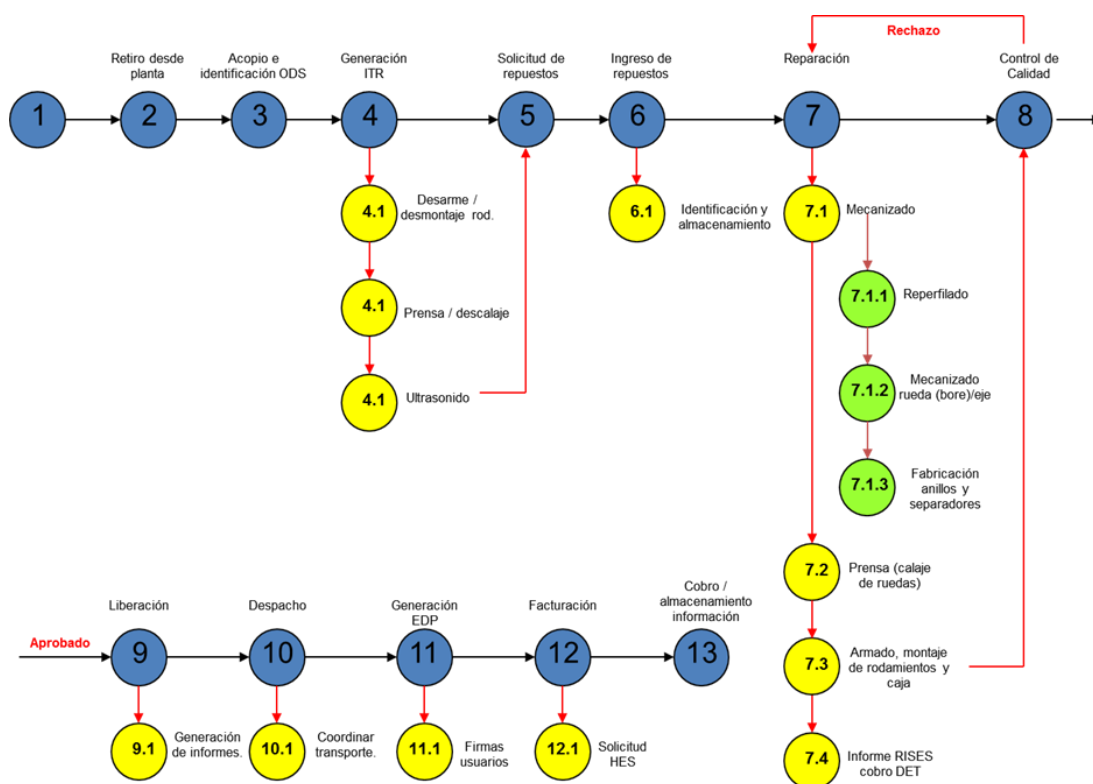


Ilustración 23 Layout Contrato Paradas de Rueda; Fuente: Maestranza MG&T

El actual contrato que consiste en la fabricación de carros metaleros tiene una duración de 10 años. La actual distribución de la maestranza ha provocado problemas en los procesos de fabricación de los primeros carros, por lo que es necesario realizar un nuevo layout de la planta.

Lo primero para desarrollar el nuevo layout es conocer las etapas involucradas en la fabricación de carros metaleros. A continuación se muestra el mapa de proceso de fabricación:

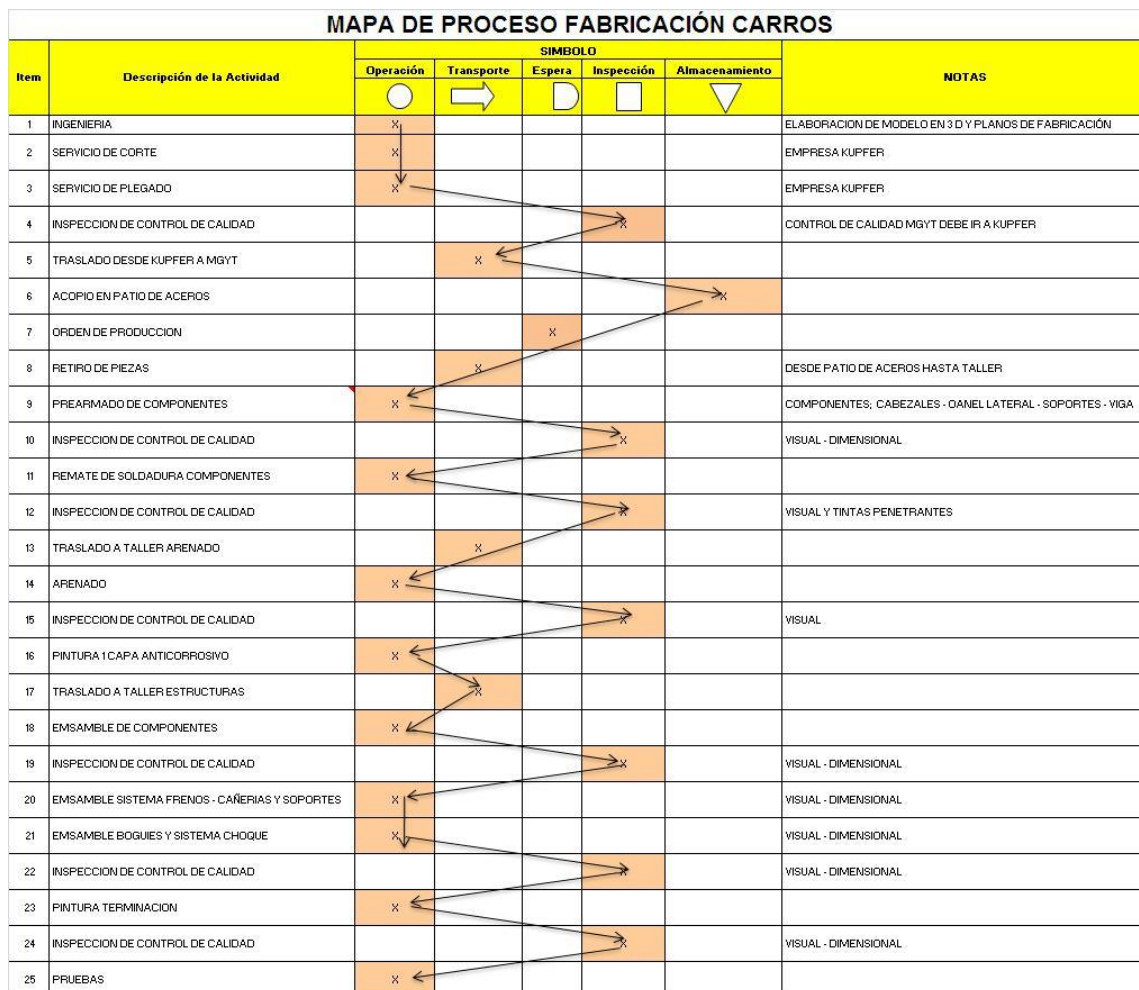


Ilustración 24 Mapa de Proceso Carros Metaleros

8. ANÁLISIS

Cada uno de los métodos señalados presenta diferentes características y es adecuado para cada situación en particular. A continuación se señalan sus propiedades, ventajas y restricciones de cada método.

9.1 Systematic Plan Layout (SPL)

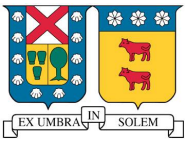
Esta metodología fue creada para la resolución de distribuciones en planta nuevas y ya existentes. Es la más utilizada y aceptada para la resolución de problemas de distribución en planta a partir de criterios cualitativos. Este método reúne las ventajas de las aproximaciones metodológicas precedentes e incorpora el flujo de materiales en el estudio de distribución, organizando el proceso de planificación total de manera racional y estableciendo una serie de fases y técnicas que, como el propio Muther describe, permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos (Muther, 1968). Este método, incluyendo el método simplificado, puede aplicarse a oficinas, laboratorios, áreas de servicio, almacén u operaciones manufactureras y es igualmente aplicable a mayores o menores readaptaciones que existan, nuevos edificios o en el nuevo sitio de planta planeado. Entre sus características están:

- El método SPL es la herramienta más sencilla de aplicar, ya que sólo requiere la cuantificación de movimientos entre departamentos, posteriormente se elabora el Diagrama de Relaciones y, por último, se genera un gráfico que permite ubicar los departamentos hasta encontrar una distribución adecuada.
- Permite incluir variables subjetivas en el momento de desarrollar el diagrama de relaciones, permitiendo incluir valores de cercanía que no están numéricamente reflejados. Como variable subjetiva se nombre a una

característica de la planta que no se puede reflejar en el número de movimientos que hay entre departamentos pero que, si influye en el valor de relación que tiene dos departamentos, por ejemplo, características de Seguridad Industrial como la distancia entre la planta y un equipo en particular.

- Puede ser utilizado para diseñar o analizar una distribución física sin importar el número de departamentos o unidades que tiene la planta.
- El método permite generar alternativas de distribución física en diferentes formas, sin límites y con departamentos de diferentes tamaños.
- Puede ser utilizado en plantas con flujo continuo comunicado, por ejemplo, a través de bandas transportadoras.
- Como desventaja, esta metodología no puede obtener una distancia óptima de recorrido ya que no contiene una formulación matemática que lo garantice.

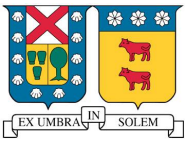
Dado el campo de aplicación es el método más acorde en base a la maestranza que estamos analizando, una de las características principales de este método es que puede ser utilizado en plantas nuevas o antiguas, además de ser una herramienta fácil de desarrollar. Esta característica es importante, ya que por ser la primera vez que se implementará este método en la maestranza, es necesario que el método sea de fácil utilización y posterior implementación, además, permite que puedan participar los encargados de cada área, haciéndolos partícipes en las decisiones a tomar. La desventaja respecto a la distancia óptima, esta puede ser analizada y evaluada en base al análisis de las demás alternativas de metodología.



9.2 Quadratic Assignment Problem (QAP)

Este método es modelo matemático más utilizado para la resolución de Distribuciones en Planta. Es considerado un caso especial en el diseño de distribuciones físicas, ya que este método asume que todos los departamentos o unidades tienen la misma área. Entre los aspectos más importantes a mencionar respecto a este método se encuentran los siguientes:

- El método QAP busca minimizar la distancia total recorrida bajo la fórmula de multiplicar la distancia por la cantidad de movimientos entre cada lugar asignado.
- Es una herramienta cuyo desarrollo es más completo ya que se deben definir variables de distribución y asignación, se deben generar fórmulas objetivo para cada relación de departamentos y lugares de asignación existentes, se deben definir restricciones en la programación y se debe programar y luego procesar el esquema establecida para encontrar una solución
- El método trabaja bajo un esquema predeterminado, donde existen o se plantean por adelantado las localidades de la planta y sus dimensiones, Este modelo asigna a cada localidad un departamento.
- Dada la naturaleza del modelo, se puede utilizar con más facilidad cuando se analiza una planta existente donde las dimensiones de cada área no presentan muchas diferencias o donde no importa el tamaño de área que se ocupa.
- Permite incluir variables subjetivas, sólo al aumentar una ecuación adicional que evite que esa localidad sea asignada a ese departamento. Esta ecuación funciona como una restricción adicional.



- No es recomendable su utilización en plantas donde existe un flujo comunicado a través de tubería o bandas transportadoras, ya que este es un flujo continuo que no puede ser cuantificado. Para utilizarse en QAP se debe asignar un número grande que represente este flujo continuo, esta asignación puede tener mucha influencia en el resultado final y no otorgar una distribución correcta.
- No es recomendable su utilización cuando se presentan más de 18 departamentos ya que el procesamiento de la programación realizada no permite encontrar un resultado porque exige el estudio de muchas alternativas que el programa no puede procesar.
- Esta herramienta presenta una mayor complejidad en su elaboración por la formulación que requiere elaborarse en Excel para resolverlo.

Este método da respuesta respecto a minimizar la distancia total recorrida, en el caso de estudio, la limitante de considerar todos los departamentos con la misma área es un problema, ya que la planta cuenta con distintas superficies para cada departamento. También la complejidad para desarrollar este método puede provocar un rechazo en la organización de la empresa, ya que probablemente deberá destinar recursos adicionales a los que tenía considerado para elaborar el layout. Por este motivo este método no es el adecuado a ser utilizado.

9.3 ASBMODEL

Este es un modelo matemático que se usa para el diseño de instalaciones, el cual busca disminuir el costo asociado por el movimiento de materiales, ya que logra minimizar la distancia recorrida entre departamentos. Se aplica para posicionar departamentos o unidades en una o dos dimensiones. Al hablar de una dimensión se refiere a ubicar departamentos o unidades en línea recta y a los costados. Al hablar de

dos dimensiones se hace referencia a ubicar los departamentos o unidades unos frente a otros, por ejemplo, en paralelo. Se puede indicar que su función principal, según lo indicado, es el de obtener un diseño con la minimización de distancias recorridas entre departamento o unidades. No se enfoca a la superficie que debe poseer cada departamento.

Para el análisis en cuestión, si bien, al igual que el método QAP, minimiza la distancia recorrida entre departamentos, no se enfoca en el tamaño que debe considerarse para cada departamento, por lo que no es una metodología recomendable para analizar la problemática.

9.4 CORELAP

Es un método computacional enfocado como programa de construcción que trabaja con variables relacionadas con espacio y restricciones entre departamentos o unidades, las cuales son asignadas por el usuario. Entre sus características están las siguientes:

- Esta herramienta no requiere una formulación matemática compleja, se inicia con el diagrama de relaciones de SPL.
- Su contabilización del grado de importancia de las relaciones entre departamentos se realiza por el modelo TCR (Total Closeness Relationship). Luego va introduciendo en el centro el departamento con valor TCR más alto y va asignando valores de cercanía a los espacios ubicados a su alrededor.
- Se puede utilizar para diseñar o analizar una distribución física sin importar el número de departamentos que tiene la planta.

- Permite incluir variables subjetivas en el momento de desarrollar el diagrama de relaciones, permitiendo incluir valores de cercanía que no están numéricamente reflejados.
- Esta herramienta no asegura encontrar la mínima distancia recorrida ya que simplemente va colocando un departamento al lado de otro de acuerdo al grado de relación que tienen.
- No es recomendable su utilización cuando se analiza una planta existente, que ya no toma en cuenta departamentos existentes que deban ubicarse en medio de la distribución analizada.
- No presenta problemas de utilización en plantas con flujos conectados a través de bandas transportadoras o tubería, ya que su grado de importancia puede ser aplicado en forma subjetiva.
- No permite generar distribuciones alternativas, simplemente genera una sola respuesta.

Por las características presentadas, CORELAP definitivamente no es el método a utilizar, uno de los principales fundamentos a este comentario es que no es recomendable su utilización cuando se analiza una planta existente, además, no asegura encontrar una solución con distancia mínima recorrida y tampoco permite encontrar alternativas para estudio ya que su aplicación es limitada a una sola respuesta.

A continuación se presenta tabla resumen con cada una de las metodologías analizadas:

Metodología	Uso	Ventajas	Desventajas
Systematic Plan Layout (SPL)	Resolución de distribuciones en planta nuevas y existentes	Es la herramienta más sencilla de aplicar	No puede entregar una distancia óptima de recorrido
		Permite incluir variables subjetivas al momento de desarrollar el diagrama de relaciones	
		No importa el número de departamentos o unidades de la planta	
		Genera alternativas de distribución sin límite de cantidad o tamaño	
		Se puede usar en plantas con flujo continuo	
Quadratic Assignment Problem (QAP)	Busca minimizar la distancia recorrida entre departamentos. Tiene un desarrollo más complejo	Es útil cuando se analiza una planta existente	No se recomienda en plantas donde existe flujo comunicado
		Puede incluir variables subjetivas	No es recomendable cuando existen más de 18 departamentos
		Mayor complejidad en su elaboración	
ASBMODEL	Posicionar departamentos o unidades en una o dos dimensiones	Minimización de distancias recorridas	No se enfoca en el tamaño del departamento
CORELAP	Diseño y análisis de una distribución física sin importar el número de departamentos	Permite incluir variables subjetivas al momento de desarrollar el diagrama de relaciones	No asegura encontrar la mínima distancia recorrida
		Puede ser utilizada para plantas con flujo comunicado	No se recomienda para analizar una planta existente
			Presenta una sola respuesta

Tabla 3 Cuadro Resumen Metodologías Distribución en Planta

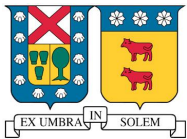


9. CONCLUSIONES

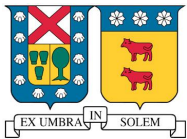
La metodología de distribución de en plantas es una herramienta de gran utilidad al momento de poder lograr una mejora en tiempo y costos de los procesos productivos. Esta metodología presenta variadas alternativas de resolución, los cuales comenzaron con métodos de resolución manual hasta complejos modelos computacionales. Dado que la problemática de una mejora en la distribución en planta de una organización se analiza en base a distintos factores y variables con que cuenta, es importante señalar que la elección de cualquier método no es la mejor solución ante una problemática de distribución en planta, este se debe elegir en base a los parámetros que el usuario necesita, las características de la planta, el tipo de producto que está fabricando y el espacio físico con que cuenta.

La industria a la cual nos enfocamos corresponde a maestranzas del rubro minero, dicho tipo de industria está en constante cambio y crecimiento, por un lado, por la elaboración de nuevos productos o la ampliación de la planta productiva por un aumento de producción o adjudicación de nuevos contratos. Estos niveles de aumento, cuando la maestranza cumple con requerimientos del mandante, presenta un crecimiento rápido y repentino. Esta situación ha llevado a muchos de estos tipos de negocio a comenzar con incumplimientos en los plazos establecidos, no adjudicar más servicios y, posteriormente ir a la quiebra, esto debido a que no han mejorado sus procesos productivos o han realizado un análisis y mejora de su distribución en planta.

El caso particular al cual nos enfocaremos es una maestranza, la cual ejecuta contratos para el rubro minero, un aumento en la cantidad de requerimientos de distintos mandantes ha generado la necesidad de ampliar la actual planta y generar una nueva distribución de las áreas con que cuenta.



Al realizar el análisis de las distintas metodologías, se pudo apreciar que cada metodología es efectiva si se cumplen una serie de requisitos y condiciones a cumplir, dado esto, los resultados que entrega puede no ser el efectivo si la elección no es la correcta. En base al estudio del caso particular, la metodología que mejor se acomoda a las características que presenta el caso es el método SPL. Una característica importante es que realiza resoluciones de plantas nuevas y existentes, además de ser una herramienta relativamente sencilla de aplicar. A pesar de tener la desventaja de no entregar una distancia óptima de recorrido, si puede plantear distintas alternativas de distribución, con lo cual, se puede evaluar finalmente cuál de éstas alternativas es la más adecuada. La elección de esta metodología también tiene la particularidad de que, al ser un método que es de fácil comprensión, puede ser utilizado por los propios usuarios de cada área y en conjunto, fomentando el involucramiento del personal en realizar mejoras en la planta, lo que también desarrolla un sentido de pertenencia hacia la empresa.



10. BIBLIOGRAFÍA

MUTHER, Richard. Distribución en Planta. Segunda Edición. Editorial Hispano Europea, Barcelona, España. New York, McGraw Hill, 1970.

SORTINO, Roberto. Radiación y distribución de planta (Layout) como gestión empresarial. Invenio, volumen 4, número 6, páginas 125-139, Universidad del Centro Educativo Latinoamericano, Rosario, Argentina.

GARCÍA DÍAZ, Alberto; McGregor J. Facilities Planning and Design, Capítulo 4, Layout Planning Procedures. Pearson Education Limited, 2014.

GARCÉS, Enrique. Estudio de la Eficiencia en los Procesos Productivos Mediante la Optimización del Uso de Áreas Productivas, a Través de Rediseño de Distribución en Planta en Empresa Rhona S.A. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Valparaíso, Departamento de Industrias, UTFSM, 2011.

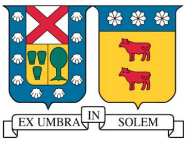
GALINDO, Ana. Desarrollo de un método de Distribución Física aplicable en las Industrias Ecuatorianas. Tesis de Grado para Optar al Título de Magister en Administración de la Producción. Guayaquil, Ecuador, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009.

Gestión de Operaciones I, Distribución de Planta.

<https://es.slideshare.net/slideshow/distribucion-planta/237617>

Metodologías para la resolución de problemas de distribución en planta.

<https://www.monografias.com/trabajos65/resolucion-distribucion-planta/resolucion-distribucion-planta2>



Distribución en Planta.

<https://es.slideshare.net/denton21/distribucin-en-planta-12807469>