

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**Diseño de un Modelo de Programación de la Producción en Industrial
de Limache Ltda.**

Por

Matías Felipe Padilla Jerez
Matías Benjamín Rojas Roilar

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado de Ciencias de la Ingeniería y título de
Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía Eduardo Lara

Mayo, 2018

Dedicatoria

Quiero agradecer a todas las personas que estuvieron en mi largo periodo estudiantil, en la ciudad de Valparaíso, comenzando por los tíos de la pensión; la tía María Jessica Cruz y el tío Juan Carlos Santander, también a mi querida hermana postiza la Nacha, que han sido un pilar fundamental en todo este periodo de estudio, considerándolos como mis segundos padres y hermana, en un lugar lejano de mi hogar, los quiero y siempre estarán en mi corazón con su amor incondicional, gracias por todo su ayuda sin interés alguno.

Lo más importante que tengo en mi vida es mi familia, sin ellos no hubiera podido lograr nada de lo que me he propuesto, por esto agradezco a mi madre Ana Luisa Jerez Torres, por estar a mi lado en cada momento que lo he necesitado, por apoyarme en todo lo que se me ocurre y ser mi amiga incondicional, más sincera y ser la mejor madre del mundo. A mi padre Camilo Enrique Padilla Lobos por ser mi apoyo más real y fiel en todos mis proyectos, por ser siempre sincero y directo para decir las cosas, ser mi compañero en todo lo que se me ha ocurrido en mi corta vida y ser el mejor padre del mundo. Por último a mi amada hermana Daniela Fernanda Padilla Jerez por ser mi fiel compañera, por quererme incondicionalmente, por enseñarme lo importante que es el amor de hermanos y ser la cabra chica más linda del mundo. Agradezco por creer en mí y apoyarme incondicionalmente.

Por último y más importante quiero agradecer a mi abuelita, por ser la persona que siempre creyó en mí y por haberme enseñado cada uno los valores para ser la gran persona que soy, te mando un beso al cielo y le dedico este gran logro que me costó conseguir pero aquí esta y es para usted. Te amo abuelita.

A mis padres por su amor, paciencia y apoyo incondicional.

A mis amigos, familiares y todos aquellos que de una u otra forma fueron parte de este logro.

A los cabros por las risas en la cafeta y la buena onda.

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a los profesores de la escuela por los años de formación que nos dieron y en especial a los profesores; Eduardo Lara, nuestro profesor guía que desde un principio confió en nosotros y nos ayudó a terminar este proyecto; Luis Seccatore por su infinita sabiduría, ayuda en el desarrollo del modelo matemático y disposición a responder cualquier duda; Erik Schulze por sus intervenciones y observaciones que realizo, sin su ayuda este trabajo de título no hubiera sido posible.

También agradecer a Industrial de Limache Ltda. por permitirnos realizar nuestra memoria en sus instalaciones y entregarnos la información necesaria para el desarrollo del trabajo. Agradecimientos especiales a Yerty Rojas por acoger nuestra solicitud de hacer nuestro trabajo de título en la empresa, Mario Aravena por su tiempo y la buena disposición cuando teníamos alguna duda y a Claudio Leiva, por facilitar la información necesaria.

Finalmente a nuestras familias por la paciencia, nos demoramos pero terminamos.

Índice

Glosario	7
Lista de Abreviaturas	8
Lista de Figuras	9
Lista de Gráficos	10
Lista de tablas	11
Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
Capítulo 1: Descripción de la empresa	15
1.1. Historia	15
1.2. Visión de la Empresa	16
1.3. Misión declarada por la Empresa	16
1.4. Estructura organizacional	17
1.5. Distribución de Planta	18
1.6. Clientes	20
1.7. Principales Competidores dentro del Mercado	21
1.8. Proceso de Comercialización	21
1.9. Proceso Productivo	24
Capítulo 2: Descripción del Problema	27
2.1. Descripción del problema	27
2.2. Causas del problema	31
2.3. Objetivos	34
2.3.1. Objetivo General	34
2.3.2. Objetivos Específicos	34
Capítulo 3: Metodología	35

Capítulo 4: Marco Teórico	37
4.1. Marco Teórico	37
4.1.1. Distribución de instalaciones (<i>Layout</i>)	37
4.1.2. Distribución de procesos	38
4.1.3. Sistemas de Producción	39
4.1.4. Planificación de la producción	40
4.1.5. Reglas y técnicas de prioridad	40
4.1.6. Regla de Johnson	42
4.1.7. Planificación y control de la producción	43
4.1.8. Modelo matemático	44
Capítulo 5: Aplicación de la metodología	46
5.1. Recolección de datos relevantes.	46
5.2. Distribución de maquinarias para cada trabajo	50
5.3. Organización de actividades	52
5.4. Criterios lógicos no matemáticos para el desarrollo del modelo	54
5.5. Desarrollo del modelo matemático	58
5.5.1. Definición de parámetros	60
5.5.2. Variables de decisión	60
5.5.3. Función objetivo	61
5.5.4. Restricciones	61
5.6. Programación del software de optimización	63
5.7. Desarrollo de software	64
5.7.1. Objetivo del software	64
5.7.2. Elaboración de base de datos relacional para el software.	65
5.8. Procedimiento de uso del software	67
5.9. Verificación	68
Capítulo 6: Resultados y Análisis	72

6.1.	Resultados.	72
6.2.	Análisis.	75
6.3.	Problemas de modelación	78
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones		79
7.1.	Conclusiones.	79
7.2.	Recomendaciones	80
Bibliografía		82
Anexos		84
Anexo A: Marco Teórico		84
Anexo B: Manual de Usuario		89

Glosario

AGNES: Software diseñado para la gestión empresarial en el área de producción, para la generación de órdenes de trabajo internas.

ERP: Sistema de información gerencial que integra y maneja la producción, logística, distribución, inventario y contabilidad de toda la compañía.

FEFO (Primero en caducar, primero en salir): Técnica de gestión que distribuye los productos por la cadena de suministro seleccionando primero los que caduquen antes.

ISO 9001: Norma internacional que se aplica a los sistemas de gestión de calidad (SGC), que se centra todos los elementos de administración y calidad con que debe contar la empresa para tener un sistema efectivo que permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios.

Job-shop: Sistema de tipo taller, en el cual cada producto tiene una secuencia de tareas sobre diferentes máquinas, por lo que no todos los productos tienen la misma cantidad de operaciones.

Layout (Distribución de planta): Organización del espacio físico de los elementos que constituyen una instalación sea industrial o de servicio [Chase05].

Lista de Abreviaturas

ARA: Árbol de la realidad actual.

BOM: Bill of materials / Lista de materiales.

EETT: Especificaciones técnicas.

ERP: Planificación de recursos empresariales.

FEFO: First Expires, First Out / Primero en caducar, primero en salir.

HH: Horas hombre.

HM: Horas máquina.

IC: Índice crítico.

INDELI: Industrial de Limache.

KPI: Key performance indicator / Indicador clave de rendimiento.

MPS: Master production Schedule / Plan maestro de producción.

MRP: Material requirements planning / Planificación de las necesidades de materiales.

NV: Nota de venta.

OC: Orden de compra.

OP: Orden de producción.

OT: Orden de trabajo.

OTI: Orden de trabajo interna.

SAAM: Sudamericana agencia aéreas y marítimas.

TCVAL: Terminal cerros de Valparaíso.

TOC: Teoría de restricciones.

TPS: Terminal pacífico sur.

Lista de Figuras

Figura 1: Organigrama de Industrial de Limache Ltda.	17
Figura 2: <i>Layout</i> , Industrial de Limache Ltda.	18
Figura 3: Flujo del Proceso de Comercialización.	23
Figura 4: Flujo del Proceso de Producción.....	25
Figura 5: Principales efectos indeseados del problema.	31
Figura 6: Principales causas de la problemática, árbol de la realidad actual.....	32
Figura 7: Distribución por proceso	38
Figura 8: Programación óptima de tareas mediante la regla de Johnson.....	42
Figura 10: Clasificación de los modelos Matemáticos.....	44
Figura 11: Diagrama de metodología aplicada.....	35
Figura 12: Base de datos relacional del sistema	65
Figura 13: Interfaz de inicio del programa.....	67
Figura 14: Simulación de Programación de la Producción.....	69
Figura 15: Validación del modelo.....	71
Figura 15: Proceso de planificación, programación y control de la producción.	86
Figura 16: Menú Principal	89
Figura 17: Mantenimiento de Productos	90
Figura 18: Búsqueda de productos	91
Figura 19: Mantenimiento de clientes	92
Figura 20: Mantenimiento de secuencia	93
Figura 21: Mantenimiento de ordenes	95
Figura 22: Ventana clientes	96
Figura 23: Ventana productos.....	97
Figura 24: Programación semanal	98

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Exportaciones totales en USD\$ entre los años 2010-2014	16
Gráfico 2: Porcentaje de participación en Ventas, clientes Indeli 2016.	20
Gráfico 3: Ventas Segundo Semestre 2016	28
Gráfico 4: Multas segundo semestre 2016.....	29
Gráfico 5: Proyectos entregados a tiempo vs proyectos entregados con retraso	30
Gráfico 6: Proyectos retrasados con multa vs proyectos retrasados sin multa	30

Lista de tablas

Tabla 1: Distribución de Instalaciones.....	19
Tabla 2: Listado de talleres.....	19
Tabla 3: Tabla de Actividades 1.....	49
Tabla 4: Distribución de máquinas por talleres.....	51
Tabla 5: Tabla de actividades 2.....	53
Tabla 6: Importancia de Clientes.....	56
Tabla 7: Proyectos para simulación de producción.....	68
Tabla 8: Proyectos simulados.....	70
Tabla 9: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de julio.....	72
Tabla 10: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de agosto.....	72
Tabla 11: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de septiembre.....	73
Tabla 12: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de octubre.....	73
Tabla 13: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de noviembre.....	73
Tabla 14: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de diciembre.....	74
Tabla 15: Resumen, empresa v/s modelo.....	75

Resumen

Industrial de Limache Ltda., es una empresa privada, ubicada en la región de Valparaíso, que inicia su actividad en el mercado nacional a fines de la década del 50 como proveedor de insumos marítimos, industriales y mineros.

En el año 2013 la planta de producción se traslada a su nueva casa matriz ubicada en la ciudad de Quillota, la que cuenta con una capacidad de producción de 600 Ton mensuales de piezas metálicas, que posteriormente pueden ser utilizadas para fabricar diferentes estructuras. Dado este crecimiento, la programación de la producción se convierte en una tarea que necesita ser nuevamente planificada. Además es necesario establecer procedimientos que guíen la programación de la producción, ya que actualmente ésto se realiza de forma intuitiva, generando retrasos en la entrega de los proyectos, lo que conlleva al cobro de multas por entrega de productos fuera de plazo e inconformidades con la norma de calidad ISO 9001 con que se trabaja.

El alcance del trabajo comprende a la evaluación interna en el área de producción y administración, los que involucran mano de obra, materiales, maquinarias y tiempo.

La metodología utilizada supone una mejora significativa a la programación de la producción, mediante la creación de trazabilidades tanto para el área de trabajo como de proyecto. Asimismo, se generan diagramas de piscina y se aplican herramientas de *TOC*, para recopilar indicadores de variables críticas dentro de los procesos de producción.

Finalmente, se propone una mejora a la actual planificación y programación de la producción de la empresa Industrial de Limache Ltda., con el objetivo de minimizar los retrasos en la entrega de productos y los costos involucrados de cada proyecto.

Abstract

Industrial de Limache Ltda., is a private company, located in the region of Valparaíso, which started its activity in the national market in the late 50's as a provider of marine, industrial and mining inputs.

In 2013 the production plant moves to its new headquarters located in the city of Quillota, which has a production capacity of 600 tons per month of metal parts, which can later be used to manufacture different structures. Given this growth, production scheduling becomes a task that needs to be re-planned. It's also necessary to establish procedures to guide production scheduling, since this is currently done intuitively, generating delays in the delivery of projects, which leads to the collection of fines for delivery of products after the deadline and non-compliance with the ISO 9001 quality standard with which we work.

The scope of the work includes the internal evaluation in the area of production and administration, which involves labor, materials, machinery and time.

The methodology used supposes a significant improvement to the programming of the production, by means of the creation of trazabilidades for the area of work as of project. Likewise, pool diagrams are generated and TOC tools are applied to collect indicators of critical variables within the production processes.

Finally, an improvement is proposed to the current planning and programming of the production of the Industrial de Limache Ltda. Company, with the objective of minimizing the delays in the delivery of products and the costs involved in each project.

Introducción

En las empresas que fabrican a contra pedido la tarea de determinar la secuencia óptima de fabricación en un taller es laboriosa debido al problema de combinar trabajos. Sólo en algunos casos se pueden resolver de forma exacta, como es el caso de la fabricación en línea.

Para el caso de estudio, se presenta una metodología de trabajo *job-shop*, en la que los productos tienen una relación de procesos y secuencias particulares. Para cada uno de estos se establece una secuencia de trabajo diferente, por lo que habitualmente suceden inconvenientes que impiden la normal operación y generan retrasos.

Todas las empresas, independientemente del tipo de producción que utilicen, necesitan conocer qué productos se fabricarán cada día, con el fin de hacerlo de la forma más eficiente, este es el objetivo principal del planificador. Sin embargo, no solo es preciso planificar, sino que también controlar lo que se ha planificado, comprobando periódicamente que se está realizando según lo establecido desde un comienzo.

Indeli es una empresa chilena dedicada a la producción y comercialización de partes y piezas metalmecánicas, que basa su programación de la producción en dos ítems, un software llamado *AGNES* diseñado específicamente para esta empresa, que se encarga de generar órdenes de trabajo; y el segundo, corresponde a la experiencia del jefe de producción. Debido a que el software fue construido bajo volúmenes de producción menores a los manejados actualmente, 450 toneladas mensuales, no logra cumplir con las necesidades actuales de la empresa. La programación se realiza con la herramienta antes mencionada y la experiencia del jefe de producción, por lo que no se sigue ninguna pauta ni criterio formal para llevar a cabo el plan de producción.

Capítulo 1: Descripción de la empresa

1.1. Historia

Industrial de Limache Ltda. O Indeli, es una empresa nacional con más de 60 años de experiencia en el sector industrial chileno y creciendo en el mercado internacional. Su actividad se orienta a la comercialización de insumos nacionales e importados, producción y abastecimiento de cables de acero, cadenas marinas, estrobos, maestranza de calderería, estructuras, partes y piezas mecánicas de acuerdo a especificaciones técnicas y planos de los clientes, atendiendo a sectores esenciales en el desarrollo del país, como la construcción civil, industria marítima y minera.

En el año 2013 la casa matriz se traslada desde la localidad de Limache a las nuevas dependencias ubicadas en la ciudad de Quillota, emplazadas en un terreno de 2.7 hectáreas que alberga las oficinas administrativas, de gerencia y la planta productiva. Este traslado se produce debido a los requerimientos de aumentar los volúmenes de producción, la complejización de los trabajos y ampliar los espacios para talleres que alojen más máquinas herramientas.

Durante los últimos años Indeli ha generado alianzas estratégicas con diferentes compañías internacionales, adjudicándose la representación de marcas como Van Beest (Holanda), distribuidos bajo el nombre Green Pin, y de Thiele (Alemania), siendo todos estos productos garantizados y clasificados en la norma ISO 9001, demostrando así el compromiso de la empresa con la calidad de los productos entregados.

La empresa fabrica sus propios productos para exportar, alcanzando una utilidad de US\$ 121.259 en el año 2014. Dentro de sus principales destinos de exportación se encuentran Venezuela (70%), Haití (10%), Colombia (8%), Ecuador (7%) y Estados Unidos (5%). En el siguiente gráfico se observan los ingresos generados por exportaciones en el período 2010-2014.

Gráfico 1: Exportaciones totales en USD\$ entre los años 2010-2014



Fuente: Elaboración Propia.

La disminución significativa de las exportaciones en el período 2013-2014 mostrada en el gráfico 1, se correlaciona directamente con la recesión económica que sufre Venezuela durante ese período, ya que es el principal destino de las exportaciones de la empresa.

1.2. Visión de la Empresa

“Nuestra visión es entregar valor a nuestros clientes a través del diseño e implementación de soluciones innovadoras, orientadas a potenciar el crecimiento, la competitividad y la rentabilidad.” Fuente: Industrial de Limache.

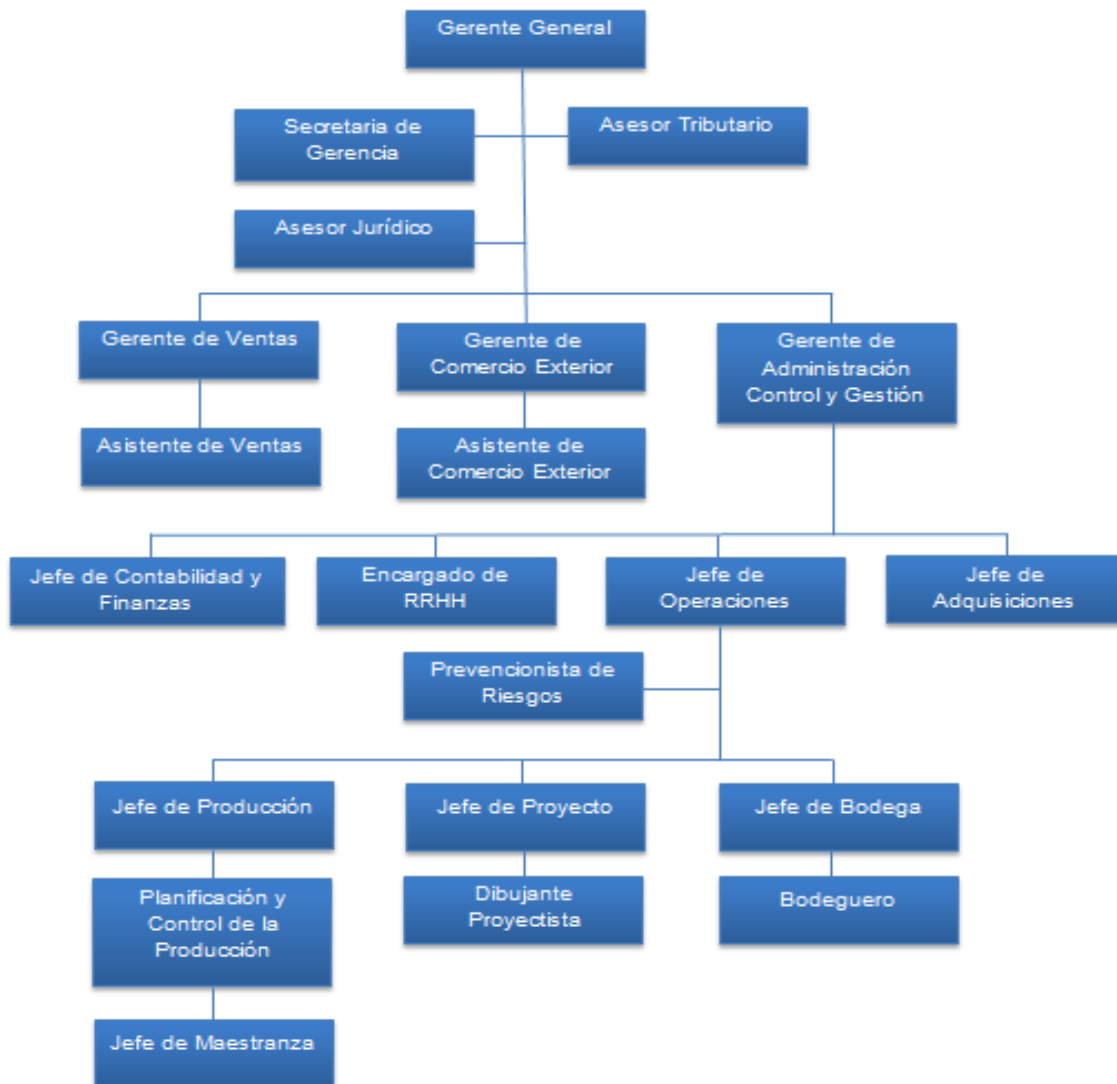
1.3. Misión declarada por la Empresa

“Ser socio de nuestros clientes en las soluciones y procesos empresariales, creando relaciones a largo plazo con nuestros clientes, ofreciendo servicios profesionales de excelencia y alto valor agregado; teniendo como respaldo una organización compuesta por los mejores especialistas, comprometidos con un servicio de largo plazo para lograr el éxito de nuestros clientes.” Fuente: Industrial de Limache.

1.4. Estructura organizacional

La empresa está organizada en base a una estructura jerárquica de tipo vertical, figura 1, donde la información se transmite en sentido descendente, desde la gerencia general quien es que toma las decisiones de tipo corporativas y estratégicas, siguiendo por los distintos departamentos como la gerencia de ventas, gerencia de comercio exterior hasta la gerencia de administración y control de gestión. Dentro de esta última área es donde se lleva a cabo este trabajo.

Figura 1: Organigrama de Industrial de Limache Ltda.

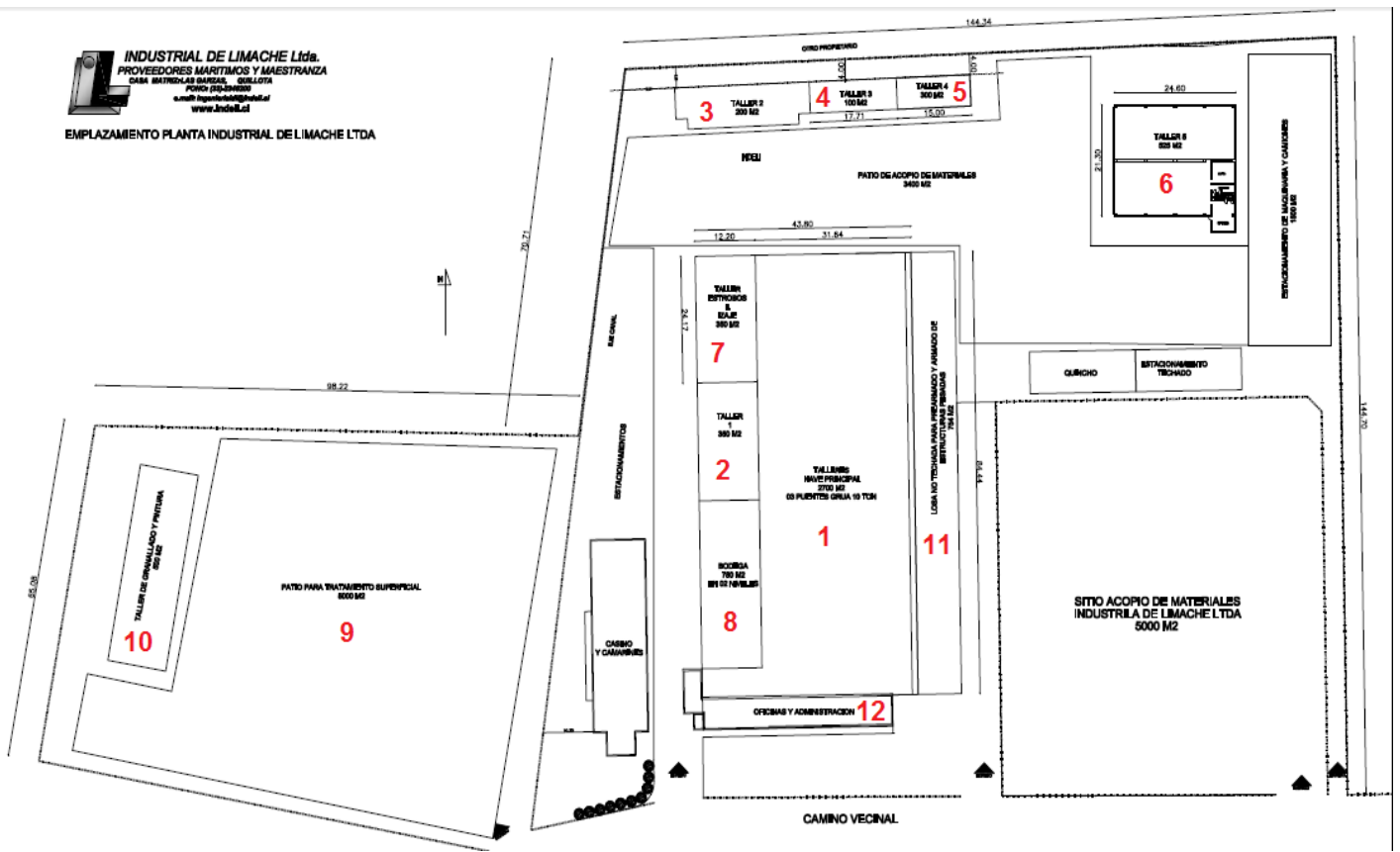


Fuente: Industrial de Limache Ltda.

1.5. Distribución de Planta

La casa matriz de Industrial de Limache se encuentra emplazada en 2,7 hectáreas, en las que se distribuyen las distintas áreas de trabajo, como se muestra en la figura 2 y se explica detalladamente en la tabla 1. El tipo de distribución de la planta productiva está orientada por proceso o *job-shop*, es decir, cada sector desarrolla únicamente una tarea del pedido.

Figura 2: *Layout*, Industrial de Limache Ltda.



Fuente: Industrial de Limache Ltda.

Tabla 1: Distribución de Instalaciones.

Numero	Descripción	Área de trabajo (mts ²)
1	Talleres naves principal (3 puentes grúa 10 TON)	2700 mts ²
2	Taller 1	350 mts ²
3	Taller 2	200 mts ²
4	Taller 3	100 mts ²
5	Taller 4	300 mts ²
6	Taller 5	525 mts ²
7	Taller estrobos e izaje	350 mts ²
8	Bodega en 2 niveles	780 mts ²
9	Patio para tratamiento superficial	5000 mts ²
10	Taller de granallado y pintura	500 mts ²
11	Loza para pre-armado y armado de estructuras pesadas	754 mts ²
12	Oficinas y administración	No especificada

Fuente: Elaboración propia

La empresa dispone de 24 máquinas herramientas que están distribuidas en la planta de trabajo según su función: el taller 1 (*T1*) está constituido por todas las herramientas de maquinado; el taller 2 (*T2*), constituido por las herramientas de corte; el taller 3 (*T3*), integrado por las herramientas de soldado; el taller 4 (*T4*), que contiene las máquinas herramientas de torno; el taller 5 (*T5*), formado por los bancos de perforación; y por último, el taller 6, que se divide en *T6A* denominado loza de pre-armado y armado, y *T6P* donde se realizan las tareas de granallado y pintura.

Tabla 2: Listado de talleres

Taller	Denominación
Taller de Maquinado (MQ)	T1
Taller de corte (C)	T2
Taller de soldado (S)	T3
Taller de torno (TO)	T4
Banco de perforación (BP)	T5
Loza de pre-armado y armado (T6A)	T6A
Taller de granallado y pintura (T6P)	T6P

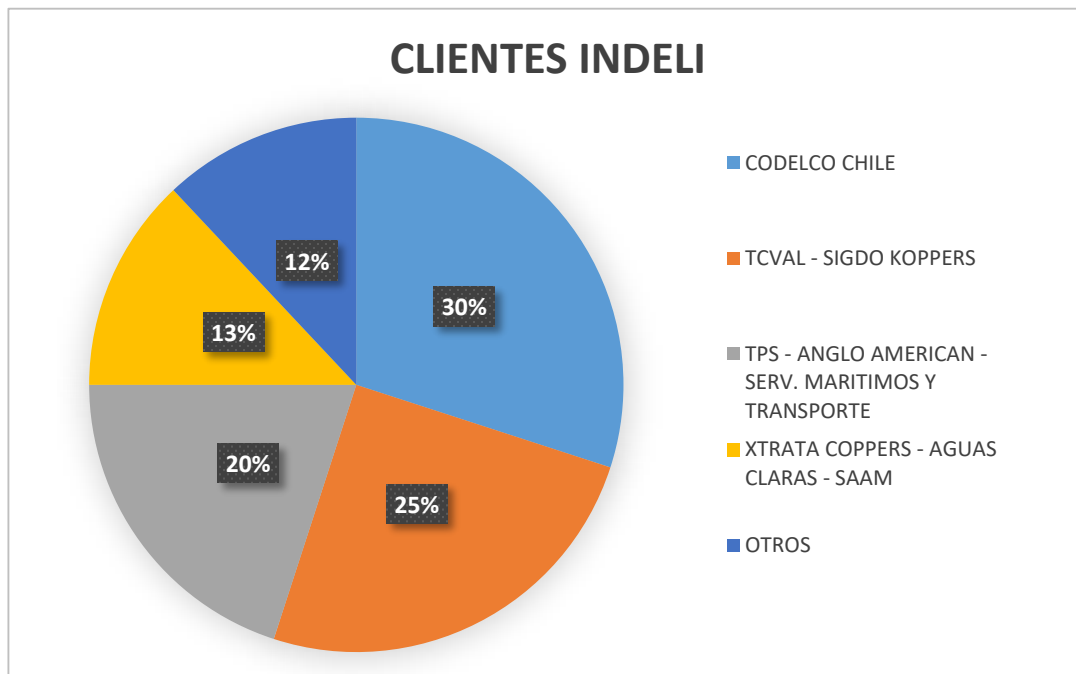
Fuente: Elaboración propia

1.6. Clientes

La empresa cuenta con una diversa cartera de clientes, en los distintos rubros en que trabaja, desde personas naturales a grandes empresas.

El siguiente gráfico demuestra la participación de los principales clientes de la empresa, representados en porcentajes relativos al nivel de participación dentro de las ventas de la compañía para el periodo 2016, siendo Codelco Chile el cliente de mayor importancia debido a que representa el 30% de las ventas anuales.

Gráfico 2: Porcentaje de participación en Ventas, clientes Indeli 2016.



Fuente: Elaboración propia

1.7. Principales Competidores dentro del Mercado

Dado que la compañía se desarrolla en diversos rubros como la minería, la construcción y la industria marítima, esto genera un gran número de competidores. Entre éstos destacan los siguientes:

- Maestranza Alemania Ltda.
- Mecsa Ingeniería Ltda.
- Edyce S.A.
- Bettoli S.A.

1.8. Proceso de Comercialización

La secuencia de un pedido en Industrial de Limache se inicia mediante el contacto del vendedor con el cliente, quien inicialmente solicita una cotización, donde especifica el producto y sus características. El área comercial prepara la cotización que posteriormente se entrega al área de proyectos donde se genera un presupuesto que detalla materiales y el valor total de la solicitud.

Posterior a esto, se envía el presupuesto al área comercial para que la cotización sea entregada al cliente. Una vez que el cliente acepta la cotización, se genera la orden de compra (*OC*) que es recibida por el área comercial, quien elabora una nota de venta (*NV*) por medio del *software ERP "Softland"*. Luego de esto, el área de proyecto genera la orden de trabajo interna (*OTI*) en el *software AGNES* que detalla la cantidad de materiales, horas hombres (*HH*) y horas máquinas (*HM*) necesarias para la producción del pedido.

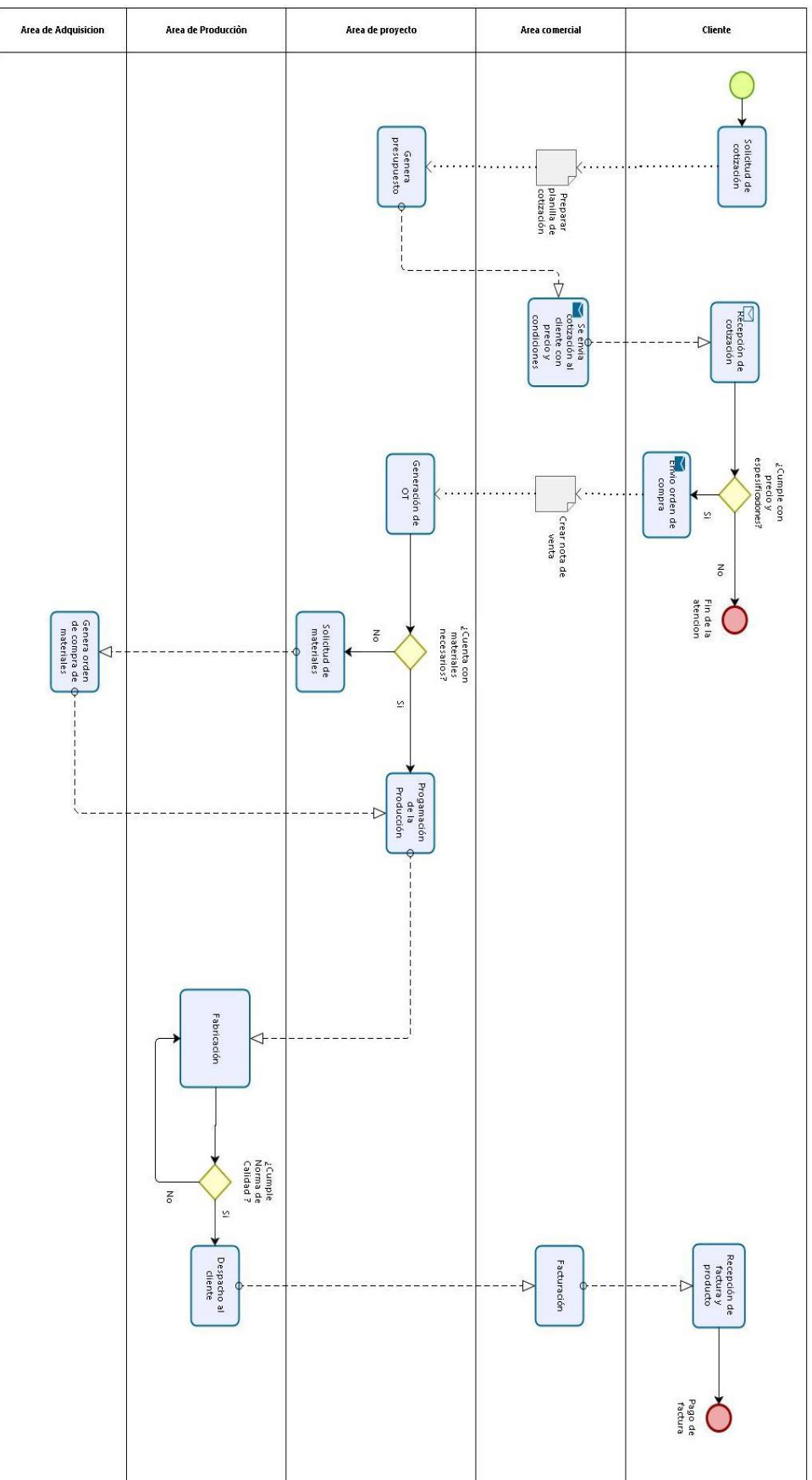
Posteriormente, el área de proyecto se comunica con el departamento de producción y adjunta el listado de materiales necesarios, las especificaciones técnicas (*EETT*), la orden de compra (*OC*), la nota de venta (*NV*) y, por último, el presupuesto realizado al principio del proceso. Una vez que el departamento de producción dispone de lo previamente especificado, se contacta con el departamento de adquisiciones para que verifique si se dispone de los materiales o es necesario realizar la compra de alguno en específico para dar inicio a la fabricación.

Una vez terminado el proceso de fabricación, la pieza debe ser sometida a un control de calidad previa al despacho, y en caso de que no superar con éxito las pruebas, debe ser enviada a reproceso. Finalmente, el área comercial realiza la facturación del producto que es enviada al cliente, concluyendo el proceso de comercialización una vez efectuado el pago de la factura.

De acuerdo a lo expresado previamente, dentro del proceso de comercialización las principales fallas se encuentran en la etapa de generación de la *OTI*, por parte del área de proyecto; en el software *AGNES*, que al momento de establecer materiales, *HH* y *HM* totales, lo realiza de una manera general y no permite precisar qué tipo de máquina se requiere en cada etapa del proceso, esto genera que se asignen máquinas equivocadas para trabajos específicos y no considera la disponibilidad de maquinaria. Esto afecta directamente a los tiempos de entrega establecidos previamente entre el cliente y la empresa.

En el siguiente diagrama de piscina se observa el análisis global del proceso de comercialización:

Figura 3: Flujo del Proceso de Comercialización.



Fuente: Elaboración propia.

1.9. Proceso Productivo

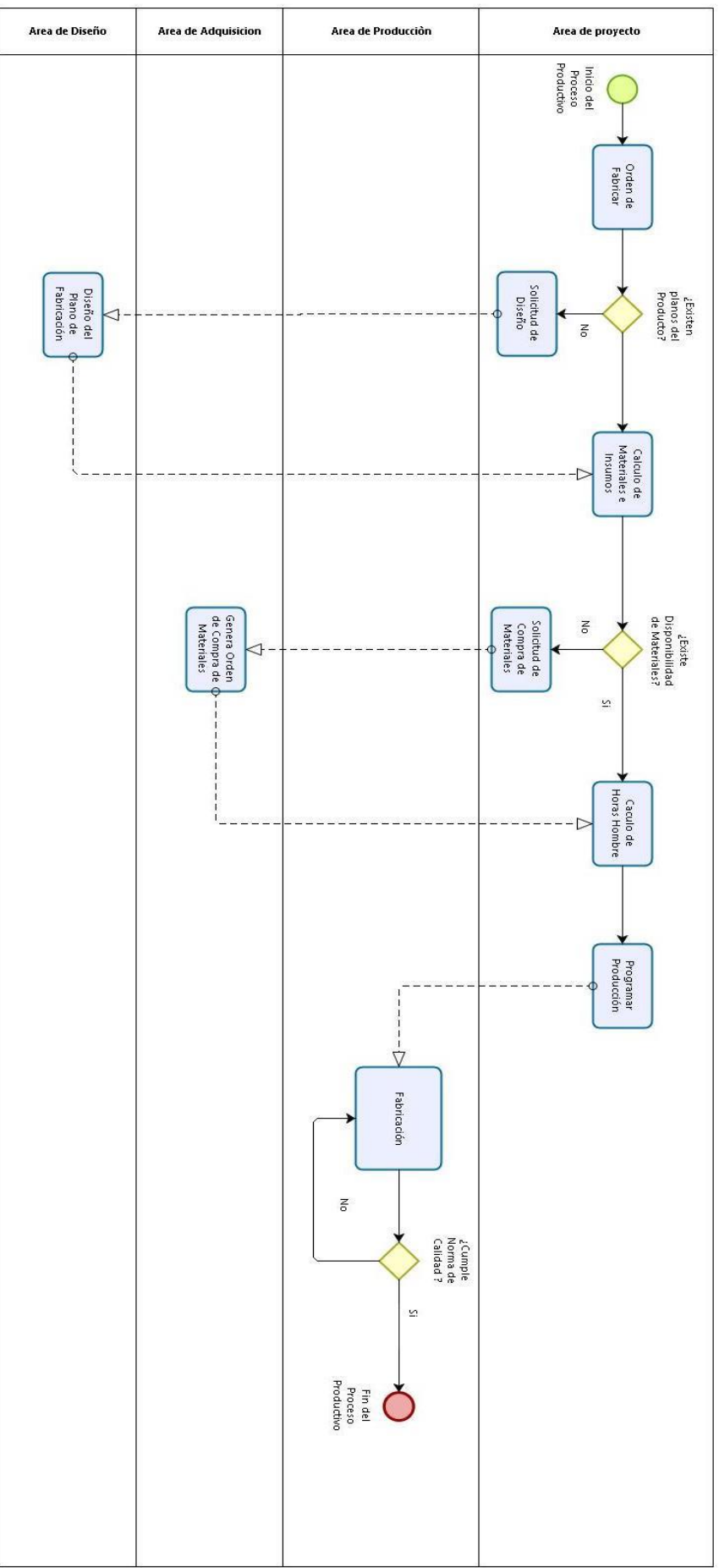
Dentro de la planta productiva se cuenta con una dotación de 12 soldadores calificados, 16 maestros de primera en obras civiles y montaje, 23 maestros de segunda categoría, 17 ayudantes y 12 operarios, entre estos últimos se encuentran operarios de grúas horquilla, operadores de mesa de corte y operadores de puentes grúa.

Luego de un periodo de espera aproximado de una a dos semanas desde que se creó la OT se da inicio a la fabricación del producto. Debido a la gran variedad de diseños en las piezas, se exige que el proceso sea flexible, ya que los requerimientos varían de un proyecto a otro. Los productos fabricados en la empresa varían en sus secuencias de elaboración, lo que conlleva a que no todos pasan por cada una de las estaciones de trabajo, por consiguiente su punto de partida varía según las requerimientos y solicitudes de los productos solicitados.

El jefe de proyecto es el responsable de establecer el orden y secuencia en que el proceso debe ser programado, basándose en su experiencia y detallando estos datos en la OT. La empresa no utiliza un criterio formal para priorizar una OT sobre otra, en ocasiones se le asigna prioridad a los clientes que dentro de los contratos tienen como cláusula multas por plazos de entrega atrasada o se ordenan por los montos de los contratos. Todos los procesos realizados son revisados ya que deben cumplir con estándares de calidad de la norma *ISO 9001*, en el caso que algún producto no cumpla con estos estándares debe ser reprocesado, costo que asume directamente la compañía.

En el siguiente diagrama de piscina se observa el análisis global del proceso de producción:

Figura 4: Flujo del Proceso de Producción.



Fuente: Elaboración propia

Debido a las características de *job-shop* del área de producción, la empresa sigue el siguiente protocolo de programación y posterior fabricación de sus productos:

Se da inicio al proceso productivo en el área de proyecto, al recibir la orden de fabricación proveniente del área comercial, lo primero a realizar es consultar al área de diseño si existen planos anteriores del proyecto, de no contar con estos planos, se eleva una solicitud al área de diseño para que el dibujante proyectista genere los planos necesarios para la construcción del producto. Teniendo disponible los planos se da paso al cálculo de materiales e insumos que van detallados dentro de la *OT*, en este punto se vuelve a realiza una consulta si es que se tiene disponibilidad de los materiales requeridos para la fabricación del proyecto, en caso de no contar con estos materiales se genera una solicitud al área de adquisición para que esta cree una orden de compra de materiales. Teniendo la totalidad de los materiales necesarios se sigue con el cálculo de las horas hombres requeridas por el proyecto.

La intervención del área de proyecto llega a su fin con la programación de la producción, donde detalla las operaciones y secuencia que debe seguir el proyecto. Una vez realizadas todas estas acciones el proyecto se dirige al área de producción en donde se da inicio a la fabricación, una vez completadas todas las operaciones del proyecto se verifica si cumple con todas las normas de calidad internas y exigidas por el cliente, si tiene una calificación no satisfactoria en esta etapa se reprocessa, pero si tiene una calificación conforme se da fin al proceso productivo y el producto es despachado al cliente.

Capítulo 2: Descripción del Problema

2.1. Descripción del problema

La empresa Industrial de Limache no cuenta con una programación de la producción formal, esta programación se basa en la experiencia del jefe de proyecto, él quien se apoya en un software de generación de órdenes de trabajo llamado *AGNES*, este software además de haber sido diseñado para volúmenes de producción menores a los que manejan actualmente, no detalla completamente los requerimientos que necesita un proyecto para ser terminado, en general, no considera el uso y disponibilidad de maquinaria con respecto a la capacidad de planta. En la orden de trabajo no se especifica realmente el tipo de maquinaria necesaria para la fabricación de cada uno de los productos y no se hace referencia al tiempo de operación por estación de trabajo.

Se debe considerar que algunos contratos dentro de sus cláusulas generan cobro de multas por conceptos de retrasos en la entrega de sus productos. Esta multa corresponde al 3% del valor total de la orden de trabajo por día retrasado. Las multas se consideran como pérdidas directas para la empresa pues se descuentan del valor de la *OT* mediante una nota de crédito, costo que asume directamente la compañía.

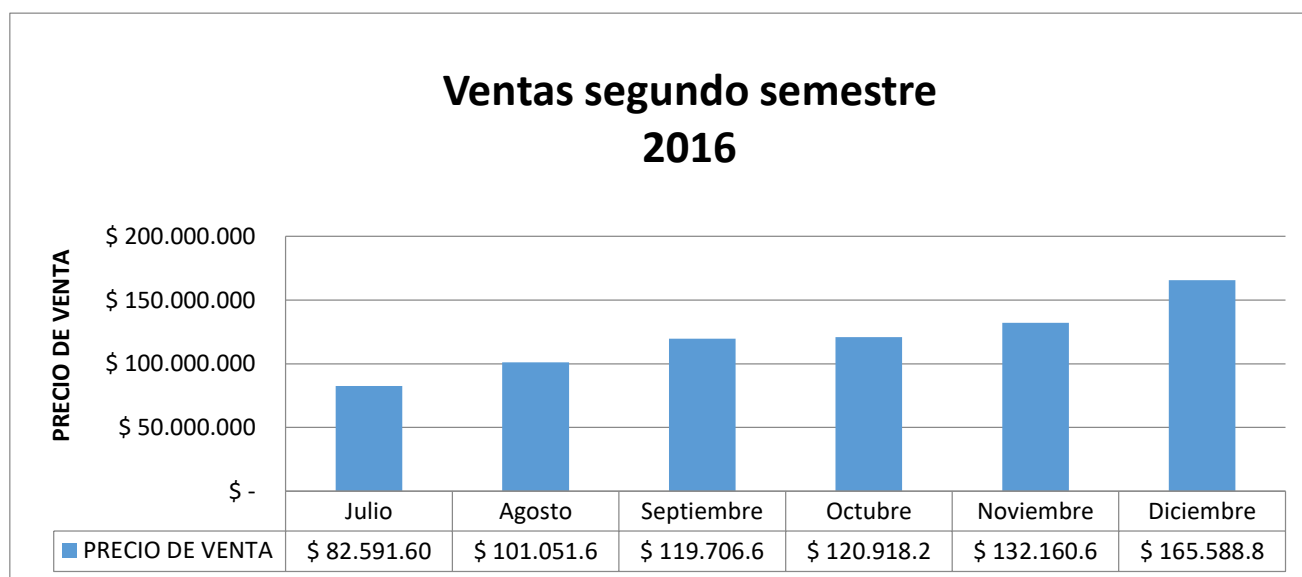
Durante el periodo 2016 los proyectos fabricados por la empresa fueron 384 los cuales ascienden a un monto de \$1.444.034.800 millones en ventas, se calcula que el 34% de los proyectos son despachados con retraso, es decir anualmente 132 proyectos se entregan fuera de plazo, de estos proyectos retrasados el 59% generan multas por concepto de retraso en la entrega, por tanto es posible señalar que anualmente 78 proyectos que generan multas son despachados con retraso. Estos 78 proyectos representan un monto de \$ 481.780.000 millones en ventas.

La empresa no cuenta con un registros detallado de pérdidas, sin embargo se conocen los proyectos que generan multas y sus valores, los cuales son el 3% del valor de la *OT* por día retrasado, por concepto de análisis se estima que el promedio de días de retrasos es 5, si tomamos en cuenta esta consideración el monto de multa ascendió a \$ 72.267.000 millones anuales, costo que asume directamente la empresa a través de una nota de crédito la cual se descuenta al precio de venta.

Además existe una tasa de unidades que van a reproceso del 8% sobre el total de proyectos fabricados, por no cumplir con las normas de calidad *ISO 9001*. Para el periodo 2016 alcanzan la suma de 31 proyectos que tuvieron que ser reprocesados.

En el siguiente gráfico se presentan las ventas durante los 6 meses de mayor flujo, periodo que comprende de julio a diciembre de 2016.

Gráfico 3: Ventas Segundo Semestre 2016

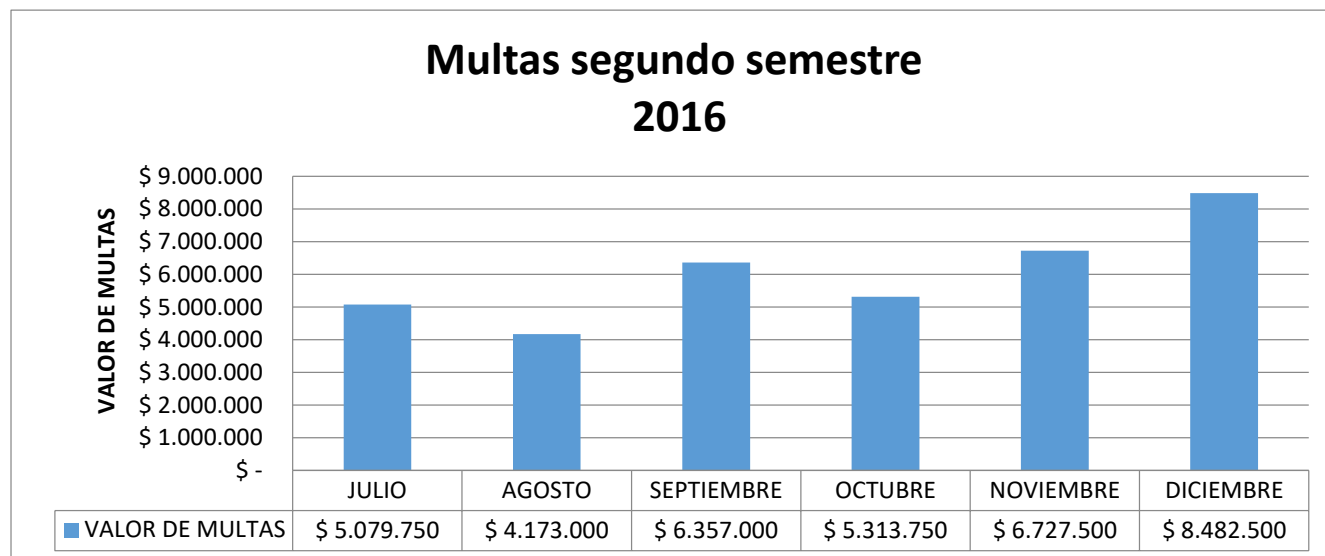


Fuente: Elaboración propia

Para el gráfico 3 se considera el periodo de julio a diciembre de 2016 como los meses de mayores ventas, ya que en estos últimos meses del año el principal cliente de la empresa, Codelco, realiza grandes compras de productos para cumplir con su presupuesto anual, esto se traduce en que el promedio de venta de los meses anteriores que corresponde a \$ 100 millones aumente en un 62% a final del periodo.

A continuación se presentan gráficamente los valores de las multas estimadas en que incurrió la empresa durante los 6 meses de mayor flujo, periodo que comprende de julio a diciembre de 2016.

Gráfico 4: Multas segundo semestre 2016

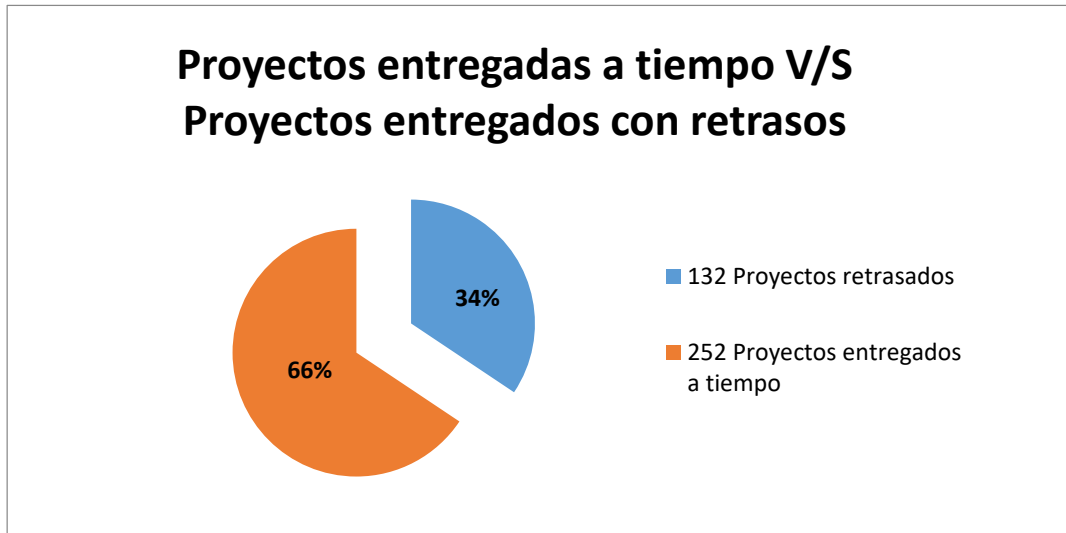


Fuente: Elaboración propia

La cantidad de proyectos retrasados que generan multas en el segundo semestre del año 2016 son 39, lo cual equivale a un total de \$36.133.500 incurridos en multas en este periodo, dinero que debe pagar directamente la empresa, por concepto de pérdidas de producción.

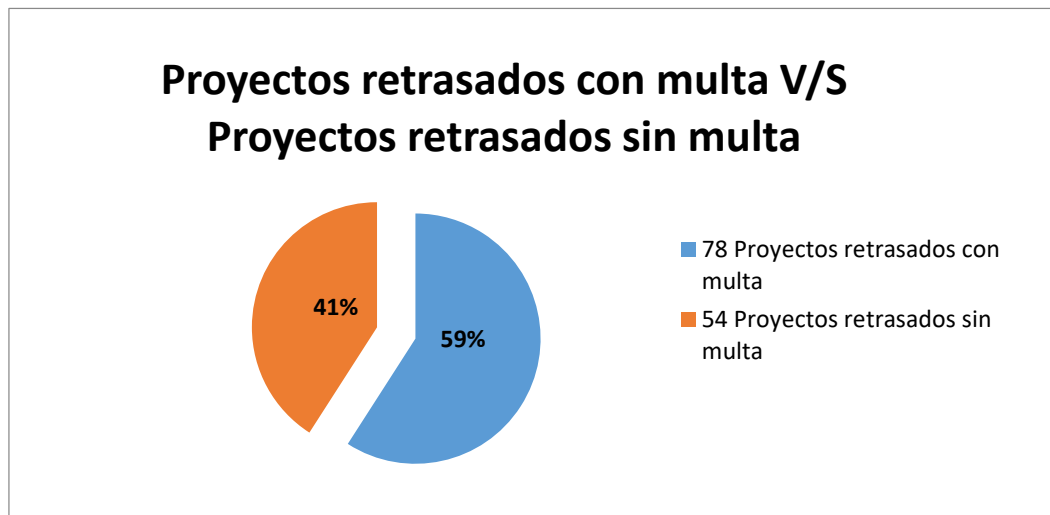
Como se menciona anteriormente los proyectos retrasos para el periodo 2016 son 132, lo que se ilustra en los siguientes gráficos.

Gráfico 5: Proyectos entregados a tiempo vs proyectos entregados con retraso



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6: Proyectos retrasados con multa vs proyectos retrasados sin multa

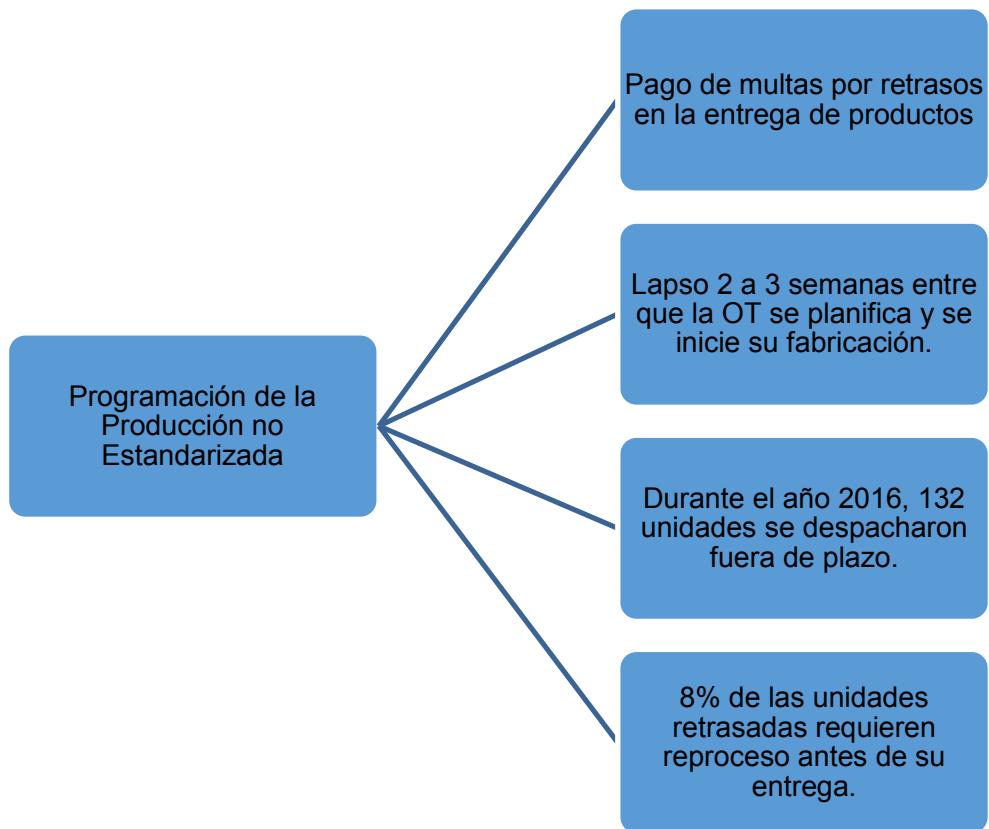


Fuente: Elaboración propia

2.2. Causas del problema

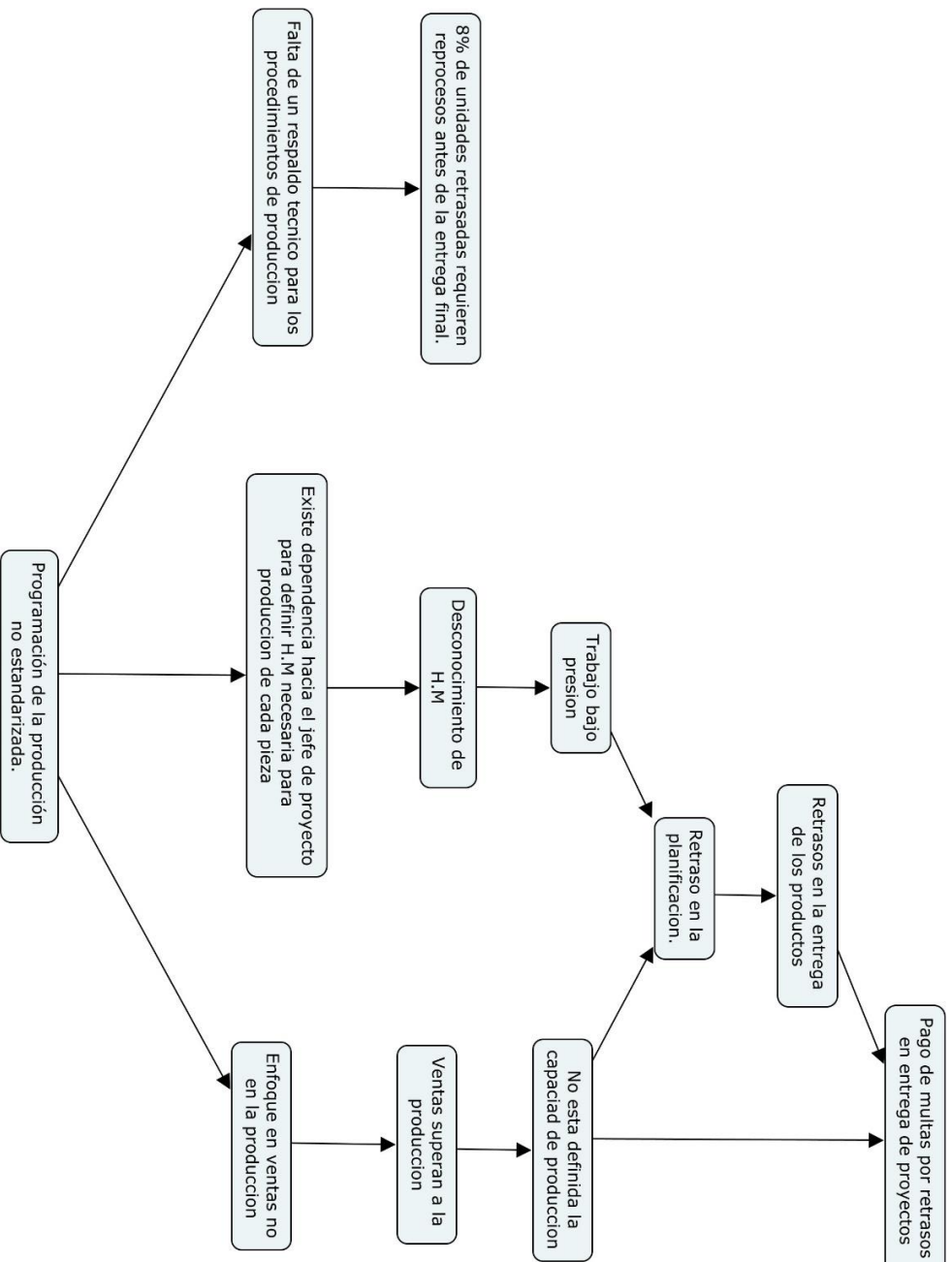
Mediante la herramienta *ARA*, árbol de la realidad actual, se analizaran los efectos indeseados y las causas de estos con la finalidad de encontrar el problema real, a continuación se encuentra el cuadro resumen con sus principales efectos indeseados.

Figura 5: Principales efectos indeseados del problema.



Fuente: Elaboración propia.

Para tener una visión más amplia del problema, se describe cada una de la causas como se muestra a continuación:
 Figura 6: Principales causas de la problemática, árbol de la realidad actual.



Fuente: Elaboración propia.

La elaboración del árbol de la realidad actual, comienza con identificar los principales efectos indeseados que se generan dentro de la organización. Los cuales son los siguientes: 8% de las unidades retrasadas requieren reproceso antes de la entrega final al cliente, retrasos en la entrega de los productos, pago de multas por retrasos en entrega de proyectos y retraso en la planificación.

Una vez identificados estos efectos indeseados se continúa con la búsqueda de las causas que generan éstos. Para llegar al problema raíz se ocupa la técnica de los cinco "Por Qué".

El primer efecto indeseado que se analiza es que el 8% de las unidades retrasadas requieren reproceso antes de la entrega final debido a la falta de un respaldo técnico de los procedimientos de producción.

El segundo efecto indeseado que se analiza es que la empresa entrega 34 % de sus proyectos retrasados, generados por el retraso en su planificación, luego se identifica que los operarios trabajan bajo presión pues el área de proyecto tiene un desconocimiento de las horas máquinas disponibles, la causa principal de este efecto indeseado es la dependencia hacia el jefe de proyecto al momento de calcular las horas máquinas.

El tercer efecto indeseado que se analiza es que la empresa incurre en pagos de multas por retrasos en la entrega de los proyectos, esto se produce por el retraso en la entrega de los productos, debido a que la capacidad de producción no está completamente definida, pues las ventas superan a la producción. La causa principal del tercer efecto indeseado es que la empresa se enfoca en las ventas y no en lo que son capaces de producir.

Por medio de la identificación de las causas principales de los efectos se evidencia el problema raíz, el cual es que su programación de la producción no está estandarizada.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo General

Diseñar un modelo de programación de la producción para reducir los retrasos y costos asociados a multas en la empresa INDELI Ltda.

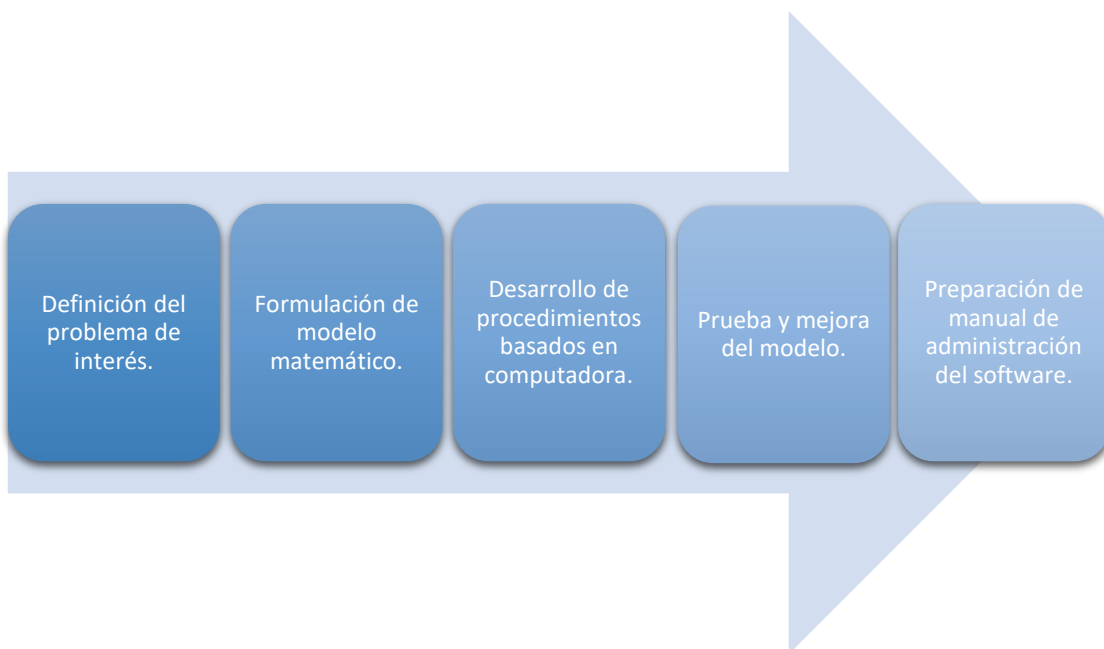
2.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar las variables de producción críticas.
- Diseñar una herramienta de trazabilidad que muestre la secuencia de fabricación de los productos.
- Construir un modelo según los lineamientos de la empresa, que se adecue a sus necesidades.
- Programar una interfaz que permita operar y programar el sistema según los requerimientos del modelo propuesto.

Capítulo 3: Metodología

La metodología a utilizar para desarrollar un modelo que resuelva la problemática de secuenciación de fabricación y reducción de tiempos de fabricación es la planteada por los autores Hillier & Liberman, en su libro *“Introducción a la Investigación de Operaciones”*, quienes describen un enfoque de 6 etapas la construcción de un modelo de investigación de operaciones [Hillier&Liberman10].

Figura 7: Diagrama de metodología aplicada.



Fuente: Elaboración propia con información de [Hillier&Liberman10].

1. Definición del problema de interés y recolección de datos relevantes; Consiste en el estudio del sistema y el desarrollo de un resumen bien definido del problema considerando todas las variables y restricciones que influyan sobre este.
2. Formulación de un modelo matemático que represente el problema; Construcción del modelo, donde se incluyan los parámetros, variables de decisión, restricciones y función objetivo.

3. Desarrollo de un procedimiento basado en computadora para derivar una solución del problema a partir del modelo; determinar las soluciones del modelo a través de un software de optimización.
4. Prueba y mejora del modelo de acuerdo con las necesidades; verificar que las soluciones propuestas por el modelo sean correctas, mediante la comparación de estas con datos históricos.
5. Preparación de un manual de usuario para la administración del software desarrollado.
6. Implementación.

Dentro del desarrollo de este trabajo el punto 6 no será considerado ya que se encuentran fuera de los límites de la propuesta, llegando solo hasta la etapa 5 la que consiste en la preparación de un manual de uso.

Capítulo 4: Marco Teórico

4.1. Marco Teórico

Toma en cuenta todas las técnicas teóricas y prácticas que se aplican en el presente trabajo de título para facilitar su desarrollo, en esta sección se listan aquellas técnicas con su respectiva descripción y características.

4.1.1. Distribución de instalaciones (*Layout*)

La distribución de planta hace referencia al orden físico de los elementos que constituyen una instalación sea industrial o de servicios. Esto implica determinar dónde irán los departamentos, los grupos de trabajo dentro de esos departamentos, las máquinas y los puntos de inventario de existencias dentro de una instalación de producción [Chase05].

Una distribución de planta realizada de manera efectiva y estudiando las necesidades de la empresa se puede traducir en una disminución de los retrasos de producción, a la vez utilizar todos los espacios que estén desocupados dentro de la planta para así incrementar la productividad. También reducir los riesgos de posibles accidentes dentro de la planta por una distribución ineficiente.

4.1.2. Distribución de procesos

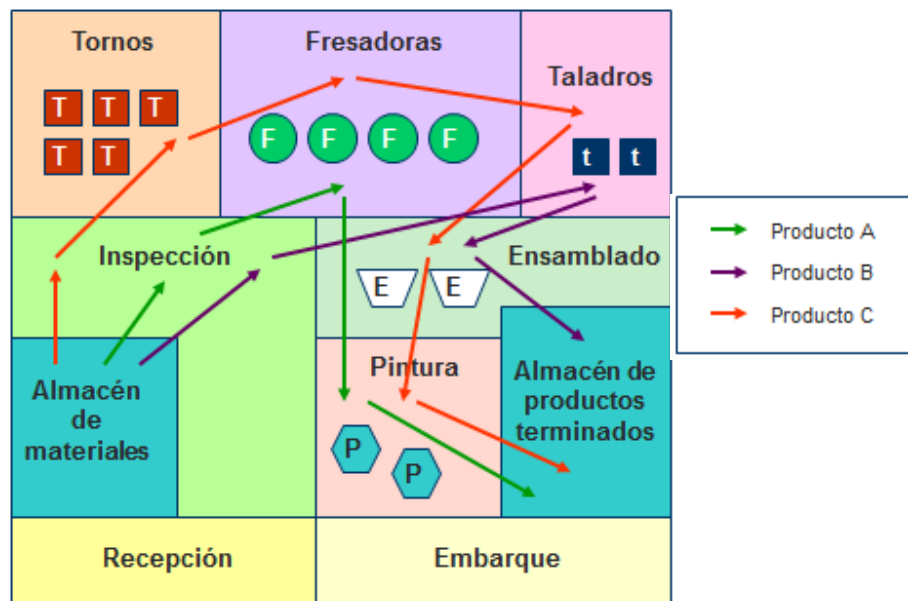
La distribución de procesos define los formatos para ordenar los departamentos de una instalación. Hay tres tipos básicos de formatos; distribución por proceso, distribución por producto y distribución de posición fija, y uno híbrido; celda de manufactura.

Según el *layout* existente en la empresa y el flujo de materiales, este se ajusta a la distribución por proceso.

- Distribución por Proceso

Centros de trabajo o también llamado taller de trabajo o distribución por función: La técnica más común para obtener una distribución por proceso, es acomodar las estaciones que realizan procesos similares de manera que se optimice su ubicación relativa. En muchas instalaciones, la ubicación óptima implica colocar de manera adyacente las estaciones entre las cuales hay gran cantidad de tráfico lo que implica minimizar los costos de manejo de materiales entre estaciones. Al agrupar funciones o equipamiento similares, con todos los tornos en un área y todas las prensas en otras, la pieza avanza en una secuencia preestablecida de operaciones, de un área a otra, donde se encuentran las máquinas necesarias para cada operación [Chase&Jacob11].

Figura 8: Distribución por proceso



Fuente: Dirección de la producción. Curso 2006-2007 Universidad de Valencia.

4.1.3. Sistemas de Producción

Existen cinco categorías para describir el proceso utilizado en la producción, aunque en la práctica se dan diversas combinaciones. En general, las cinco categorías que se toman en consideración, son:

1. Proyecto.
2. Proceso de trabajo.
3. Procesamiento por lotes o intermitente.
4. Procesamiento repetitivo o de flujo.
5. Continuo.

La metodología de trabajo con la cual se rige el sistema de producción de Indeli es el proceso por trabajo o *job-shop*, ya que la empresa se dedica a la fabricación de una variada cartera de productos a pedido.

- Proceso de trabajo

Los procesos de trabajo (o procesos de taller de trabajo) por lo general tienen como objetivo lograr flexibilidad. El equipo utilizado en ellos suele ser de propósito general, lo cual significa que puede ser empleado para múltiples requerimientos de producción diferentes. La habilidad para generar el producto de acuerdo con las especificaciones del cliente se centra por lo general en los trabajadores, quienes tienden a ser altamente calificados en un proceso de trabajo. Los procesos de trabajo por lo general se concentran en la producción de una gran variedad de requerimientos especiales. La alta variedad de diseño exige procesos flexibles y mayores habilidades entre la fuerza laboral. El trabajo en estas condiciones se desarrolla de forma un tanto “desorganizada” debido a la alta variabilidad del diseño en cada labor. También es a causa de la variabilidad en el diseño y en los requerimientos de trabajo que los vínculos de información tienden a ser informales [Chapman06].

4.1.4. Planificación de la producción

Debido a la gran variedad de productos que se fabrican, la manera más sencilla de ordenar su producción es bajo el procedimiento *MRP*, el cual necesita las listas de materiales, los registros de compra del inventario y los plazos de entrega de cada artículo. Estos son los ingredientes de un sistema de planificación de las necesidades de materiales (*MRP*), al juntarlo con el programa marco de producción (*PMP*) es posible determinar los días en que se deben fabricar los artículos, es importante remarcar que no indica la secuencia en que se deben procesar estos en la instalación. Ver Anexo A: Marco Teórico.

4.1.5. Reglas y técnicas de prioridad

El proceso para decidir cuál tarea se realiza primero en una máquina o en un centro de trabajo cualquiera se conoce como establecer la secuencia o el orden de prioridad. Las prioridades son las que usamos para determinar la cadena de tareas. Pueden ser muy sencillas y requerir tan solo que las operaciones sigan una secuencia de acuerdo con un dato, como sería el tiempo de procesamiento, la fecha de vencimiento o el orden de su llegada [Chase05].

Industrial de Limache en el área de planificación utiliza una regla de prioridad basada en los valores de las órdenes de trabajo, priorizando las *OT* de mayor valor por sobre las de menos valor, este método no les resulta eficiente ya que su tasa de retraso es de 34% de las unidades fabricadas. Una técnica de prioridad que se ajusta a las necesidades de la compañía es el índice crítico (*IC*), se calcula dividiendo el tiempo que falta hasta la fecha de entrega entre el tiempo de trabajo restante [Heizer07].

Cálculo de índice crítico:

$$IC = \frac{\textit{Fecha de entrega} - \textit{fecha actual}}{\textit{Tiempo de trabajo restante (para al entrega)}}$$

Fuente: [Heizer07]

- Índice crítico menor a 1,0 lleva retraso con respecto al programa.
- Índice crítico igual a 1,0 el trabajo marcha según lo programado.
- Índice crítico mayor a 1,0 el trabajo va por delante del programa.

La regla del índice crítico ayuda a:

1. Determinar la situación de un trabajo específico.
2. Establecer la prioridad relativa de los trabajos partiendo de una base común.
3. Relacionar los trabajos para inventarios y los que se hacen por pedido en una base común.
4. Ajustar automáticamente las prioridades (y revisar los programas) según los cambios en la demanda y el avance de los trabajos.
5. Dar seguimiento dinámico al avance de los trabajos.

4.1.6. Regla de Johnson

Para el caso en estudio la regla de Johnson es útil para los requerimientos de trabajo en las áreas de planificación y producción de la compañía, ya que un grupo de proyectos en proceso de fabricación deben pasar por dos o más máquinas al mismo tiempo ($n/2$). Se refleja en el caso cuando distintos trabajos deben pasar por el área de soldado y pintura, es aquí cuando no se prioriza cuál de los proyectos pasa primero que el otro. Su principal objetivo es reducir al mínimo el tiempo de flujos desde el inicio de la primera tarea hasta el término de la última.

La regla de Johnson incluye los siguientes pasos:

1. Hacer una lista del tiempo de operación necesario para cada tarea en las dos máquinas.
2. Escoger el tiempo de operación más breve.
3. Si el tiempo más breve es para la primera máquina, hacer esa tarea primero; si es para la segunda, hacer esa tarea al último.
4. Repetir los pasos 2 y 3 con cada una de las tareas restantes hasta que le programa este completo.

Figura 9: Programación óptima de tareas mediante la regla de Johnson.

Soldado 1	Tarea C	Tarea B	Tarea D	Tarea A	Inactiva pero disponible para otra tarea	
Pintura 2	Inactiva	Tarea C	Tarea B	Tarea D	Tarea A	
		↓	↓	↓	↓	
	0	5	11 C	19 B	23 D	25 A

Tiempo acumulado en días y trabajo terminado.

Fuente: [Chase05].

4.1.7. Planificación y control de la producción

Existen 5 fases claramente diferenciadas para la planificación y control de la producción, para el desarrollo de este trabajo de título se dará énfasis en la programación maestra de producción, las 4 fases restantes se encuentran en el Anexo A: Marco teórico. [Domínguez95].

a) Programación Maestra.

La programación maestra se establece con la necesidad de coordinar la planificación estratégica y operativa en detalle. Cuando el plan agregado no es suficiente para llevar a cabo la planificación operativa se descompondrá los productos y se disminuirán los periodos de meses a semanas. Se deberá llevar a cabo un programa maestro de producción, ya que el nivel de desagregación es mayor tanto para productos como para periodo de tiempo.

El trabajo de esta memoria está enfocado en este programa maestro de producción, ya que este determina en el ámbito operativo que y cuando se debe hacer, para toma la decisión de que se va a producir.

4.1.8. Modelo matemático

¿Qué es un modelo?

Según la Real Academia de la Lengua Español un modelo es un “esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, como la evolución económica de un país, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento”.

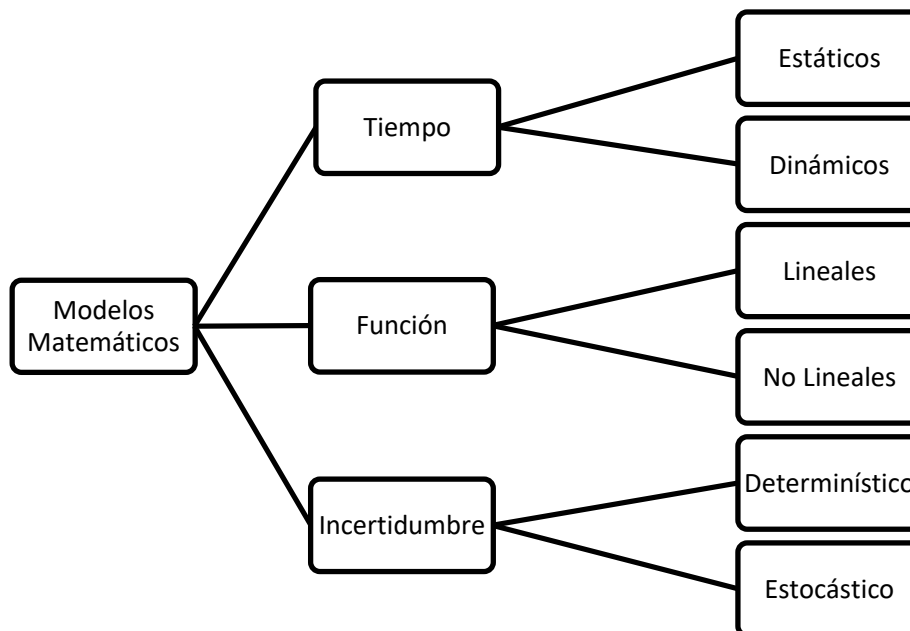
Por lo que en definitiva un modelo es una herramienta que ayuda a entender la realidad y obtener resultados para la toma de decisiones.

- Clasificación de los modelos matemáticos

La selección del tipo de modelo que se utilizara dependerá de las dificultades del problema, el tiempo, la tecnología disponible para resolver el modelo y el costo del desarrollo de este.

Se pueden clasificar de múltiples maneras. A continuación se describen algunas que se consideran importantes [Garcia&Maheut15]. Para clasificación ver Anexo A: Marco Teórico.

Figura 10: Clasificación de los modelos Matemáticos.



Fuente: Elaboración propia.

Según la clasificación que se ha descrito en la figura anterior se puede concluir que el modelo de este trabajo de título contiene las siguientes características:

- Dinámico: el sistema evoluciona con el tiempo.
- Lineal: contiene sólo funciones lineales.
- Determinístico: el conjunto de variables y datos son conocidos y están de definidos.
- Continuo: las variables cambian de valor junto con el paso del tiempo.

Capítulo 5: Aplicación de la metodología

5.1. Recolección de datos relevantes.

La empresa incrementa significativamente su capacidad de producción por el cambio de sucursal que realiza en el año 2013. Esto provoca que la programación de la producción que usaba antes del cambio de sucursal no diera abasto a los requerimientos actuales, por lo que la empresa debe establecer nuevos procedimientos que guíen la programación de la producción. Hoy en día algunas etapas de este proceso se realizan de manera manual, lo cual genera retrasos en la entrega de los productos o inconformidades de los clientes. Otro aspecto resultante de una programación de la producción desajustada a las dimensiones de producción es que la empresa en algunos casos es sancionada con una multa por parte del cliente si el proyecto se entrega fuera de plazo.

Para realizar una programación de la producción no intuitiva y confiable se construye un modelo matemático determinístico, lineal, entero, basado en datos históricos de producción de la empresa. El objetivo de esta propuesta es diseñar una herramienta capaz de disminuir los tiempos de retrasos, las pérdidas por concepto de multas y la inconformidad de los clientes, estableciendo una programación de la producción que se adecue a sus necesidades.

La empresa no cuenta con un registro donde se detalle la trazabilidad de los productos y cuanto demoran en cada operación, por lo que para realizar el análisis de datos se confecciona una tabla de elaboración propia donde se ordenan la información. La recolección de datos se realiza según la disponibilidad histórica de la empresa y tomando en cuenta los periodos de mayores ventas. Los criterios para tomar estas decisiones se explican a continuación:

1. La etapa de recolección comprende un total de 4 meses de investigación histórica y 2 meses de recopilación presencial de información en la empresa. Periodo que comenzó el mes de julio 2016 hasta el mes de diciembre del mismo año, este horizonte temporal se elige en vista de que en el segundo semestre es en donde la demanda aumenta explosivamente debido a que los clientes deben hacer uso completamente de su presupuesto anual, este aumento de demanda conlleva a que

- los retrasos aumenten y a su vez como consecuencia asumir el pago de multas por la entrega de los proyectos fuera del plazo pactado.
2. Como anteriormente se menciona para realizar la recopilación de la información y finalmente crear el modelo se elabora una tabla de actividades, en la cual durante las visitas a la empresa se traspasan los datos históricos de los primeros 4 meses desde cada una de las OT de los proyectos, los datos de los 2 meses de recopilación presencial se obtienen en las visitas a la empresa, que se realizaban una vez a la semana, luego de que el jefe de proyecto completara la programación semanal.

Esta tabla se elabora con los requerimientos esenciales para la posterior creación de la bases de datos que alimenta el modelo de programación de la producción, en esta se detalla el nombre del artículo a fabricar, el nombre del cliente, las horas reales, el estado en que se despacha el proyecto (A tiempo / Fuera de plazo) y si genera o no multa. Cada uno de estos requerimientos se explica en detalle a continuación:

- Nombre de producto

Se detalla el nombre del producto y sus características diferenciadoras según los requerimientos de cada uno de los clientes, en los meses de investigación la empresa fabrico 88 productos diferentes, esta información se obtiene mediante la revisión de la base de datos de productos desde la plataforma *Softland* que se maneja dentro de la empresa.

- Los Clientes

Son las empresas que generan los pedidos, este ítem es importante ya que uno de los filtros de prioridad que se desarrolla en el modelo y se aplica en base a la participación dentro de las ventas, la empresa cuenta con una cartera de 29 clientes, en la tabla 3 se muestra un extracto del listado de clientes, siendo el más frecuente Codelco en sus distintas divisiones solicitando 88 de los 192 proyectos que lleva a cabo la empresa en el segundo semestre del año 2016. Esta información se obtiene desde la carpeta "*clientes*", en la plataforma *Softland*, donde se encuentran los contratos con los distintos clientes.

- Horas reales

Corresponde a las horas totales que demora el proyecto en ser fabricado, se consideran; los retrasos producidos, su lugar en la programación y las horas maquinas efectivas. Estos datos son recopilados desde las órdenes de trabajo al momento de ser gestionadas.

- Estado

El estado representa si el pedido se ha terminado dentro del plazo establecido, destacándolo en color verde que hace referencia a la leyenda "*A tiempo*", y en el caso de que el proyecto se retrase, se destaca en color rojo el cual hace referencia a la leyenda "*Fuera de plazo*". Este *Kpi* es de elaboración propia ya que no se contaba con él, su desarrollo se fundamenta para contrastar los datos históricos de ordenes despachadas versus tiempo de entrega, para el periodo de estudio que va de julio a diciembre de 2016, de 192 proyectos, 66 se despachan fuera de plazo, si bien este indicador no es relevante para el desarrollo del modelo se elaboro para el mejor analisis de los proyectos retrasados.

- Multa

La columna multa identifica los proyectos que poseen en su contrato una cláusula de multa por día retrasado en su entrega, para el periodo en estudio que va de julio a diciembre de 2016, los proyectos que generan multa son 39, la multa es un indicador de prioridad significativo para el desarrollo del modelo pues es parte de la priorización, además este costo es asumido por la empresa directamente. Las multas se obtienen al revisar la carpeta de clientes, donde se encuentran los contratos, en los que se especifica las condiciones en que la empresa y el cliente trabajan.

El proceso de recopilación de datos se lleva a cabo mediante la construcción de una tabla resumen de datos, donde se realiza una trazabilidad de proyectos según los procesos que intervienen para obtener el producto final.

Tabla 3: Tabla de Actividades 1

PRODUCTO	CLIENTE	HORAS REALES	ESTADO	MULTA
PIÑA PARA SPREADER	SERVICIOS MARITIMOS Y TRANSPORTES LTDA	69	●	NO
TWIST LOCK PIHEAD BLOCK N.47801	SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL CARTAGENA S.A.	27	●	NO
SPREADER 20" DOBLE T 35 T	ESQUIPOS Y SERVICIOS DEL ECUADOR S.A.	88	●	NO
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 1,5 MTS. RUD QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	28	●	SI
MANIOBRA CADENA 10MM X 10MT DE 4 RAMALES- GANCHO AUTOSEGURO	SERVICIOS PORTUARIOS QUELLON S.A.	77	●	SI
MANIOBRA CADENA 1RAMAL DE 22MM X 4 MT GRADO 8 SwL 15 TON	TERMINAL CERROS DE VALPARAISO S.A.	66	●	NO
MANIOBRA CADENA DE TRINCA X 6MT DE LARGOS CON GANCHO EXTREMO	COMERCIAL TRANSMAG LTDA	41	●	NO
MANIOBRA CADENA DE 10MM X 1MT DE 4 RAMALES CON GANCHOS	SAAM S.A.	47	●	NO
MANIOBRA CADENA DE 10MM X 6 MT DE 2 RAMALES GANCHO ESLINGA	CONSORCIO SIGDO KOPPERS COMSA LTDA.	82	●	NO
JAULAS LEVANTE B S/P	TERMINAL CERROS DE VALPARAISO S.A.	25	●	NO
TWIST LOCK PI MANIOBRA LEVANTE CONT. SwL 17 TON	IQUIQUE TERMINAL INTERNACIONAL S.A.	44	●	NO
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 1,5 MTS. RUD QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	58	●	SI
MANIOBRA CADENA DE 10MM X 4 MT DE 2 RAMALES GANCHO ESLINGA	COMPANIA PORTUARIA MEJILLONES S.A.	80	●	SI
JAULA IZAJE PERSONAS CAPACIDAD 600 KG.	SERVICIOS PORTUARIOS QUELLON S.A.	13	●	NO
BOCA DE GASES	COMPLEJO METALURGICO ALTONORTE S. A.	120	●	SI
MANIOBRA LEVANTE CADENA 1/2 X6	RODOTRANS CHILE S.A.	33	●	NO
CONO CENTRADOR	CODELCO CHILE	153	●	SI
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 1,5 MTS. RUD QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	28	●	SI
GANCHO PARA LEVANTE DE BOBINAS	ANDI PUERTO GUAYAGUIL S.A.	19	●	NO
PIÑA PARA SPREADER	ESQUIPOS Y SERVICIOS DEL ECUADOR S.A.	72	●	NO
JAULAS LEVANTE B S/P	LOGISTICA PERUANA DEL OPRIENTE	25	●	NO
VIGA 30 TON	TERMINAL CERROS DE VALPARAISO S.A.	39	●	NO
MANIOBRA CADENA DE 10MM X 4 MT DE 2 RAMALES GANCHO ESLINGA	INGENIERIA Y CONSTRUCCION SIGDO KOPPERS S.A.	47	●	NO
IMPULSOR EXTRACTOR	CORP. NAC. DEL COBRE DE CHILE-DIV. RADO MIRO TOMIC	133	●	SI
SELLO S1 Y SELLO S2	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	15	●	NO
VIGA 90 TON	TERMINAL PACIFICO SUR VALPARAISO S.A.	86	●	SI
PANELES REFRIL CAMPANA VENTANAS	CODELCO CHILE DIVISION VENTANAS	117	●	SI
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 1,5 MTS. RUD QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	28	●	SI
SPREADER 40" DOBLE T 40 T	SERVICIOS MARITIMOS Y TRANSPORTES LTDA	142	●	NO
MANIOBRA CADENA DE 8MM X 4 MT DE 4 RAMALES GANCHO ESLINGA	INGENIERIA Y CONSTRUCCION SIGDO KOPPERS S.A.	52	●	NO
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 1,5 MTS. RUD QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	28	●	SI
CAJA TOBERA INYECCION	CORP. NACIONAL DEL COBRE DE CHILE DIV. EL SALVADOR	133	●	SI

Fuente: Elaboración propia

Para continuar con el desarrollo del trabajo se requiere de una herramienta de trazabilidad de proyectos, estas tablas se elaboran con la finalidad de recopilar datos, para su posterior procesamiento y servir de alimento para la base de datos que alimenta al modelo matemático.

5.2. Distribución de maquinarias para cada trabajo

En la empresa se distribuye en 6 talleres de máquinas-herramientas para distintos trabajos, los cuales son utilizados para diversos proyectos a la vez, para poder identificar qué máquina está siendo ocupada por cada proyecto se define una nomenclatura para la individualización de cada uno de estas.

El taller 1 corresponde al taller de maquinado que cuenta con 5 máquinas-herramientas las cuales son; cilindradora mecánica, fragua, prensa hidráulica, prensa tornillo y plegadora hidráulica. Este taller tiene una nomenclatura *MQ*, siendo *MQ* el identificador para el proceso de secuenciación de los proyectos.

El taller 2 corresponde al taller de corte que cuenta con 7 máquinas-herramientas las cuales son; oxicorte Myh, guillotina Beyelerl, pantógrafo Binsler, plasma Hyperterm, plasma Lincoln-electric, rana circular, rana Excoweld. Este taller tiene una nomenclatura *C*, siendo *C* el identificador para el proceso de secuenciación de los proyectos.

El taller 3 corresponde al taller de soldado que cuenta con 4 máquinas-herramientas las cuales son; soldadora Myh monomig, soldadora Myh trueno, soldadora Myh megamin y soldadora Lincoln-electric 300. Este taller tiene una nomenclatura *S*, siendo *S* el identificador para el proceso de secuenciación de los proyectos.

El taller 4 corresponde al taller de torno que cuenta con 3 máquinas-herramientas las cuales son; torno Cw 6280c, torno pedestal y torno Turri T190. Este taller tiene una nomenclatura *TO*, siendo *TO* el identificador para el proceso de secuenciación de los proyectos.

El taller 5 corresponde al banco de perforación que cuenta con 4 máquinas-herramientas las cuales son; punzonadora, taladro magnético Atlas, taladro Maskinder y por último un taladro radial. Este taller tiene una nomenclatura *BP*, siendo *BP* el identificador para el proceso de secuenciación de los proyectos.

Lo antes mencionado se representa en la tabla 4, distribución de máquinas por talleres, en donde se identifican los talleres con sus respectivas máquinas, esta distribución fue elaborada con el objetivo de utilizarla dentro del modelo para la identificación de las operaciones por las cuales debe pasar cada proyecto y conocer la disponibilidad de máquinas.

Tabla 4: Distribución de máquinas por talleres

N°	MAQUINAS		N°	MAQUINAS	
	IDENTIFICACIÓN	CODIGO		IDENTIFICACIÓN	CODIGO
1	Equipo Oxicorte Myh	C1	13	Fragua	MQ2
2	Guillotina Beyeler	C2	14	Prensa Hidráulica	MQ3
3	Pantógrafo Zinser	C3	15	Prensa Tornillo (Balancín)	MQ4
4	Pasma Hypertherm	C4	16	Máquina De Soldar Myh Monomig	S1
5	Plasma Lincoln-Electric	C5	17	Máquina De Soldar Myh Trueno 402	S2
6	Rana Circular	C6	18	Máquina De Soldar Myh Megamin 400	S3
7	Rana Excoweld	C7	19	Maquina Soldar Lincoln- Electric 300	S4
8	Punzonadora	BP1	20	Torno Cw 6280c	TO1
9	Taladro Magnético Atlas Copco	BP2	21	Torno Pedestal Fiedrich Engels	TO2
10	Taladro Maskiner	BP3	22	Torno Turri T190	TO3
11	Taladro Radial	BP4	23	Taller De Pre-Armado Y Armado	T6A
12	Cilindradora Mecánica	MQ1	24	Taller De Granallado Y Pintura	T6B

Fuente: Elaboración propia

5.3. Organización de actividades

Es la secuencia que debe seguir el proyecto dentro del centro de trabajo, indica la secuencia por taller y el tiempo de operación dentro de este, para completar los requerimientos del pedido.

Como ejemplo de esto, si un proyecto *“Piña Para Spreader”*, ingresa a la programación por el taller de maquinado, y es procesado en la maquina *“MQ1”* durante 6 horas, luego va al banco de perforación y es procesado por la maquina *“BP4”* durante 5 horas, después al taller de torno y es procesado por la maquina *“TO1”* durante 7 horas, más tarde va al taller de soldado y es procesado por la maquina *“S1”* durante 7 horas y finalmente pasa al Taller de granallado y pintura *“T6P”* por 22 horas, para completar su fabricación en 47 horas máquinas teóricas. La secuencia por máquina en este caso sería *MQ1, BP4, TO1, S1 y T6A* como se observa al inicio de la tabla 5.

La información de cómo se secuencian los proyectos no se encuentra registrada de forma confiable, esta operación recae en manos del jefe de operaciones y no cuenta con un registro completo de los pasos a seguir para la construcción de los proyectos, por esta razón se opta por trabajar con esta información y acudir al jefe de proyectos para consultar la validez de los datos y lograr completar el registro formal de secuenciación de los proyectos.

Según la tabla 5, tabla de actividades, que se presenta a continuación, se detalla en las columnas la siguiente información:

- Producto
- Cliente
- Horas reales
- Estado
- Multa
- Detalle de la maquina en que se encuentra un trabajo (*E1, E2, E3, E4, E5*)
- Tiempo en horas que dura la operación en una maquina (*T1, T2, T3, T4, T5*)
- Horas teóricas

Las columnas en donde se detalla máquina y tiempo de demora, son posteriormente utilizadas para confeccionar la secuencia de fabricación de los proyecto.

A continuación se presenta la tabla con la cual se hizo el seguimiento a los distintos productos fabricados.

Tabla 5: Tabla de actividades 2

PRODUCTO	CLIENTE	HORAS REALES	ESTADO	MULTA	E1	T1	E2	T2	E3	T3	E4	T4	E5	T5	HRS TEORICAS
PIÑA PARA SPREADER	SERVICIOS MARITIMOS Y TRANSPORTES LTDA	69	●	NO	MQ1	6 BP4	5 TO1	7 S1	7 S2	7 T8P					47
TWIST LOCK PHEAD BLOCK N47801	SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL CARTAGENA S.A.	27	●	NO	MQ3	6 BP2	7 TO3	7 S2	7 S2	7 T8P					27
SPREADER 20' DOBLE T 38 T	ESQUIPOS Y SERVICIOS DEL ECUADOR S.A.	88	●	NO	MQ2	28 C6	13 T6A	10 S2	22 T8P						88
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 15 MTS. RUO QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	28	●	SI	C4	10 S4	10 T6A	8							28
MANIOBRA CADENA 10MM X 10MT DE 4 RAMALES- GANCHO AUTOSEGURO	SERVICIOS PORTUARIOS QUELLON S.A.	77	●	SI	C5	15 S1	17 MQ1	10 T6A	8						90
MANIOBRA CADENA TRAMAL DE 22MM X 4 MT GRADO 8 SWL 15 TON	TERMINAL CERROS DE VALPARAISO S.A.	66	●	NO	C6	20 S2	26 MQ2	10 T6A	10						66
MANIOBRA CADENA DE TRIMCA X 8MT DE LARGOS CON GANCHO EXTREM	COMERCIAL TRAMSMA LTDA	41	●	NO	C7	10 S3	15 MQ3	8 T6A	8						41
MANIOBRA CADENA DE 10MM X 1 MT DE 4 RAMALES CON GANCHOS	SAAM S.A.	47	●	NO	C1	12 S4	15 MQ4	10 T6A	10						47
MANIOBRA CADENA DE 10MM X 6 MT DE 2 RAMALES GANCHO ESLINGA	CONSORCIO SIGO KOPPERS COMSA LTDA.	82	●	NO	C2	15 S1	17 MQ1	10 T6A	10						52
JALULAS LEVANTE B SIP	TERMINAL CERROS DE VALPARAISO S.A.	25	●	NO	C7	5 IMQ2	7 S3	8 T8P	5						25
TWIST LOCK PY MANIOBRA LEVANTE CONT. SWL 17 TON	IGUIQUE TERMINAL INTERNACIONAL S.A.	44	●	NO	MQ4	10 S4	14 TO3	10 S4	10						44
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 15 MTS. RUO QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	58	●	SI	C5	10 S4	10 T6A	8							28
MANIOBRA CADENA DE 10MM X 4 MT DE 2 RAMALES GANCHO ESLINGA	COMPANIA PORTUARIA MELLONES S.A.	80	●	SI	C6	12 S1	17 MQ3	8 T6A	10						47
JALULA ZALE PERSONAS CAPACIDAD 800 KG.	SERVICIOS PORTUARIOS QUELLON S.A.	13	●	NO	C7	2 MQ4	4 S2	3 T8P	4						13
BOCA DE GASES	COMPLEJO METALURGICO ALTOMORTE S. A.	120	●	SI	MQ4	30 C2	23 S3	40 T6A	27						120
MANIOBRA LEVANTE CADENA 1/2 X8	RODOTRANS CHILE S.A.	33	●	NO	C2	7 S4	10 MQ1	6 T6A	10						33
CONO CENTRADOR	CODELCO CHILE	83	●	SI	C3	20 S1	15 MQ2	30 TO2	25 T8P	20					110
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 15 MTS. RUO QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	28	●	SI	C2	10 S2	10 T6A	8							28
GANCHO PARA LEVANTE DE BOBINAS	ANDI UERTO GUAYACUL S.A.	19	●	NO	C4	6 S3	5 T6A	8							19
PIÑA PARA SPREADER	ESQUIPOS Y SERVICIOS DEL ECUADOR S.A.	72	●	NO	MQ4	6 BP3	5 TO3	7 S4	7 T8P	22					47
JALULAS LEVANTE B SIP	LOGISTICA PERUANA DEL ORENTE	25	●	NO	C5	5 MQ1	7 S1	8 T8P	5						25
VIGA 30 TON	TERMINAL CERROS DE VALPARAISO S.A.	39	●	NO	C6	5 T6A	11 S2	15 T8P	8						39
MANIOBRA CADENA DE 10MM X 4 MT DE 2 RAMALES GANCHO ESLINGA	INGENIERIA Y CONSTRUCCION SIGO KOPPERS S.A.	47	●	NO	C3	12 S2	17 MQ1	8 T6A	10						47
IMPULSOR EXTRACTOR	CORP MAC DEL COBRE DE CHILE DIV. RADIOMIRO TOMIC	133	●	SI	C1	25 S2	20 MQ3	20 T6A	25						90
SELLO S1 Y SELLO S2	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	15	●	NO	C1	4 BP1	4 S3	4 T8P	3						15
VIGA 90 TON	TERMINAL PACIFICO SUR VALPARAISO S.A.	86	●	SI	C4	8 T6A	18 S4	21 T8P	8						55
PANELES REFR. CAMPANA VENTANAS	CODELCO CHILE DIVISION VENTANAS	117	●	SI	C5	35 MQ1	20 C5	15 S1	20 T6A	27					117
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 15 MTS. RUO QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	28	●	SI	C3	10 S3	10 T6A	8							28
SPREADER 40' DOBLE T 40 T	SERVICIOS MARITIMOS Y TRANSPORTES LTDA.	142	●	NO	MQ3	38 C1	15 T6A	10 S3	25 T8P	18					106
MANIOBRA CADENA DE 8MM X 4 MT DE 4 RAMALES GANCHO ESLINGA	INGENIERIA Y CONSTRUCCION SIGO KOPPERS S.A.	52	●	NO	C4	15 S3	17 MQ2	10 T6A	10						52
ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 15 MTS. RUO QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	28	●	SI	C1	10 S1	10 T6A	8							28
CAJA TOBERRA INYECCION	CORP NACIONAL DEL COBRE DE CHILE DIV EL SALVADOR	133	●	SI	C6	32 MQ2	24 TO3	18 S2	20						94

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Criterios lógicos no matemáticos para el desarrollo del modelo

Se toman ciertas consideraciones para el buen desarrollo del modelo y su posterior programación, las cuales se detallan a continuación:

a) Jornada laboral:

Como jornada laboral se consideran tres turnos diarios de 8 horas cada uno, de lunes a viernes, y el día sábado dos turnos de 8 horas, iniciando el lunes a las 7 am y terminando el día sábado a las 15 horas, para un total de 136 horas semanales, cabe destacar que estas horas corresponden a horas máquinas, no se toman en consideración las horas hombre para el caso en estudio.

b) Periodo de programación:

La programación de los trabajos se realiza de manera semanal, debido a la demanda y el tiempo de duración promedio de los proyectos que es de 6 días.

c) Comportamiento de set-up:

Los *set-up* o tiempos muertos de las máquinas están considerados en el tiempo establecido para completar el trabajo en cada operación, dicho de otro modo no se considerarán tiempos extras de *set-up*.

d) Materiales e insumos:

El modelo no considera el inventario disponible de materiales e insumos, pues se enfoca en la programación de los trabajos y no gestión de inventario.

e) Continuidad de proyectos:

Si la duración de un proyecto es superior a una semana, las horas restantes son re-programadas para la semana siguiente, teniendo en consideración que se dará inicio a la programación con estos trabajos no concluidos.

A continuación se desarrollan los criterios a tomar para el ordenamiento y secuencia de los trabajos:

1. Criterios de priorización.

Cada uno de los criterios que se mencionan a continuación se seleccionó para establecer los distintos niveles de importancia y el orden de prioridad por el cual se deben realizar cada uno de los proyectos programados, criterios que se ordenan dentro del modelo y software desarrollado.

Para realizar la priorización se consideran las multas, los clientes y la fecha de caducidad más próxima como factores de importancia, esto se acordó mediante un juicio de expertos realizado en conjunto con la empresa, debido a que actualmente las multas representan un 5% de las ventas anuales. Se acordó con la empresa considerar la prioridad de los clientes a partir de su participación en las ventas.

2. Multas

Este índice representa a las multas por retrasos, cabe destacar que no todas las *OT* poseen cláusula de multa, pero las que sí, su cálculo es mediante la multiplicación del valor de la orden de trabajo por el factor establecido por el clientes que corresponde al 3% del valor de la *OT* por día retrasado, este índice apunta a darle una mayor prioridad a los proyectos que como cláusula generan multas. Si un proyecto de un monto de \$5.000.000 pesos se retrasa, la multa que genera corresponde a $\$5.000.000 * 3\% = \150.000 pesos diarios, costo asumido por la empresa por medio de una nota de crédito la cual se descuenta al valor de la *OT*.

3. Clientes

Este índice se define con el fin de establecer la prioridad en base a la participación e importancia que tienen los clientes dentro de las ventas de la empresa. Este rango se representa en el gráfico 2, en el que se indica el porcentaje de participación en las ventas de cada cliente, los clientes más pequeños se agrupan en otros. Este ranking fue decidido de esta forma luego de un juicio experto en conjunto con la empresa.

La prioridad de los clientes se establece en la siguiente tabla:

Tabla 6: Importancia de Clientes

CLIENTES	IMPORTANCIA
Codelco Chile	1
TCVAL - Sigdo Koppers	2
TPS - Anglo American - Serv. Maritimos Y Transporte	3
Xstrata Coppers - Aguas Claras - SAAM	4
Otros	5

Fuente: Elaboración propia

4. Tiempos

- Tiempo demandado por estación

Esta variable representa el tiempo requerido para la completación de una etapa u operación en un trabajo, en otras palabras el tiempo que demora en cada una de las estaciones. Resulta útil para identificar posibles demoras que se produzcan dentro del sistema, además de informar acerca de las horas de uso de las estaciones de trabajo.

- Tiempo de espera

Esta variable se refiere al tiempo de espera que requiere un trabajo para poder iniciarse o continuar, como existe un número limitado de máquinas y una priorización de los trabajos no todos estos pueden empezar al mismo tiempo, es por ello que algunos proyectos deben esperar a que una maquina sea liberada para iniciar o continuar con su secuencia, ejemplo de ello es que si un trabajo inicia su secuencia en el taller de corte, maquina "C1", la cual se encuentra libre y demora 5 horas la operación, su tiempo de espera es 0, si en la secuencia sigue el armado que demora 3 horas, el tiempo de espera para esta operación serán 5 horas y luego el proceso de soldado que demora 7 horas, su tiempo de espera es de 8 horas.

La metodología de priorización de los proyectos se establece de la siguiente manera:

Los proyectos que generan multas, y estas sean las más altas frente a las que también generen, se les dará mayor prioridad para luego ser ordenadas de manera descendente según los valores de las multas, después de ya haber evaluado este criterio se priorizaran los proyectos que no generan multas, estos siguen el orden descendente de priorización antes mencionado y se ordena según la importancia del cliente, establecida según la participación dentro de las ventas, como se presenta en la tabla 6, y por ultimo para finalizar con el orden descendente de priorización se ordena a los proyectos según el tiempo de expiración más próximo, para no generar un retraso mayor y gestionar de mejor manera el inventario en tránsito, por ende se fabricara siguiendo la regla del que primero que caduca, es el primero que sale, *FEFO*.

Resumen de priorización:

1. Priorizar por el monto de multa.
2. Priorizar por importancia del cliente.
3. Priorizar según la fecha más próxima de expiración del proyecto, *FEFO*.

5.5. Desarrollo del modelo matemático

Se considera que existen i trabajos $\{i = 1, \dots, n\}$ los que deben ser procesados por j máquinas $\{j = 1, \dots, m\}$. Se supone que cada trabajo ha de pasar por cada máquina una vez según su secuencia, denominándose operación o_{ij} al proceso de un trabajo en una máquina, en otras palabras la operación de procesar el trabajo i en la máquina j . Cada operación o_{ij} requiere un cierto tiempo p_{ij} para ser desarrollada, denominado tiempo de proceso. [Vitoriano09]

Al analizar los datos obtenidos de la investigación histórica y la trazabilidad, es posible identificar distintas consideraciones con las cuales es posible construir un modelo que represente de manera óptima el problema de la empresa.

Hipótesis del sistema de producción *job-shop*:

- Todos los trabajos y máquinas están disponibles para iniciar en el instante $T = 0$
- Cada trabajo es parte de un todo y, por lo tanto, no es posible procesar dos operaciones de un mismo trabajo al mismo tiempo.
- No se permiten anulaciones, es decir, no es posible cancelar una operación ya iniciada.
- Una vez finalizado el proceso de una operación en cualquier máquina, ésta de forma inmediata queda disponible para la siguiente operación
- Se debe respetar la continuidad del trabajo i en la máquina j , es decir el trabajo i no tiene interrupción alguna cuando se opera en la máquina j , sólo se puede utilizar la máquina j cuando el trabajo i concluya.
- Cada máquina es capaz de llevar a cabo una operación a la vez
- Existen diferentes tiempos de operación dentro de un mismo trabajo en las diferentes máquinas.

- Se permite inventario en proceso, es decir, los trabajos pueden esperar hasta que la máquina siguiente esté libre. No se considera por tanto que los trabajos deban ser continuos de operación en operación.
- En los trabajos establecidos no existe aleatoriedad, es decir sus operaciones están establecidas y fijas desde un principio.
- Existen j máquinas por cada estación de trabajo, pudiendo elegir la adecuada para cada operación.
- Los *set-up* o tiempos muertos de las máquinas están considerados en el tiempo establecido para completar el trabajo en cada estación, es decir no se consideran tiempos extras de *set-up* en el proceso productivo y a la vez cada trabajo tiene distintos tiempos de ajuste de máquinas.
- Las máquinas pueden estar ociosas en el proceso si no se requieren o si ya completaron su operación.
- Un trabajo se considera terminado cuando todas sus operaciones han sido completadas.

5.5.1. Definición de parámetros

i = Sea la lista de trabajos no programados $\{1, 2, 3, \dots, n\}$

j = Sea la lista de máquinas $\{1, 2, 3, \dots, m\}$.

T_{ij} = Instante en que se inicia el proceso del trabajo i en la máquina j .

P_{ij} = Tiempo, en horas, que demora una operación del trabajo i en la máquina j .

r_i = Retraso de un trabajo i [horas].

f_i = Importancia del Cliente según sus ventas. Ver tabla 6.

k_i = Valor de la Multa, en pesos, de un trabajo i , por día retrasado [\$/ día retrasado].

K_n = Valor de la orden de trabajo, en pesos.

5.5.2. Variables de decisión

- X_{ij} Asignación de una máquina para un trabajo: establece que un trabajo i será asignado solo una máquina j

$$X_{ij} \begin{cases} 1 & \text{si un trabajo } i \text{ utiliza la máquina } j \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

- Y_{ikj} No simultaneidad en una máquina: establece la secuencia que se debe seguir si se tienen dos trabajos para una misma máquina. Dado los trabajos i y k , y la máquina j , se tiene que.

$$Y_{ikj} \begin{cases} 1 & \text{si en la máquina } j \text{ el trabajo } i \text{ precede a } k. \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$j = 1, \dots, m; \quad i, k = 1, \dots, n; \quad i < k$$

- S_i Variable de retraso: indica que un trabajo i se encuentra retrasado.

$$S_i \begin{cases} 1 & \text{si } r_i > 0, \text{ el trabajo está retrasado.} \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

5.5.3. Función objetivo

W indica el tiempo de completación del conjunto de operaciones, lo que es equivalente a minimizar el tiempo de finalización del último trabajo que se ejecuta.

$$\mathbf{Min} z = W$$

5.5.4. Restricciones

- Restricción de un trabajo a dos máquinas: restricción de un trabajo i para una máquina j , no se podrá asignar un mismo trabajo a dos maquinas

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq 1 \quad \forall j = 1, \dots, m$$

- Restricción de precedencia entre máquinas: establece el orden de las máquinas en cada trabajo. El trabajo i inicia su operación en la maquina $j+1$ después de completar el trabajo en la maquina j :

$$T_{ij} + P_{ij} \leq T_{i,j+1} \quad j = 1, \dots, m - 1; i = 1, \dots, n$$

- Restricción de simultaneidad: dados dos trabajos y una máquina o se procesa primero uno y luego el otro o viceversa. Es decir, establece la secuencia de trabajos en la máquina.

$$M(Y_{ikj}) + T_{ij} - T_{kj} \geq P_{kj} \quad j = 1, \dots, m; i, k = 1, \dots, n; i < k; (i \text{ precede a } k)$$

$$M(1 - Y_{ikj}) + T_{kj} - T_{ij} \geq P_{ij} \quad j = 1, \dots, m; i, k = 1, \dots, n; i < k; (k \text{ precede a } i)$$

Donde M es un número positivo muy grande.

- Naturaleza de las variables: describe la naturaleza de las variables utilizadas

$$T_{ij} \geq 0 \text{ enteras, } j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$$

$$Y_{ikj} \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, m; i, k = 1, \dots, n; i < k$$

- Restricción de tiempo: establece que el último tiempo de operación por estación más el último instante debe ser menor o igual al tiempo total de terminación del proyecto

$$W \geq T_{mi} + P_{mi} \quad i = 1, \dots, n$$

- Restricción de Orden: establece la prioridad de ejecución de los proyectos asignándoles un orden

$$\sum_{i=1}^N f_i * r_i * k_i * s_i < K_n \quad \forall i = 1, \dots, n$$

$$r_i > 0, s_i = 1$$

$$r_i \leq 0, s_i = 0$$

5.6. Programación del software de optimización

El modelo matemático explicado anteriormente es implementado mediante un software computacional de elaboración propia, el software es desarrollado en la plataforma *Visual Basic 6.0* con el objetivo de modelar y resolver problemas de programación lineal, mediante la utilización del lenguaje de programación *Visual Basic*.

Los parámetros del modelo son ingresados al software a través de su *dashboard* (interfaz gráfica de usuario), el programa registra esos parámetros dentro de una base de datos relacional diseñada en Microsoft Access, la cual guarda y lee los datos ingresados.

Una vez ingresados los parámetros la base de datos guarda toda la información necesaria para que el programa pueda funcionar y procesar las instrucciones que se le dan a partir de las variables de decisión y restricciones del modelo matemático. Siendo la restricción de cliente y multa, las principales restricciones al programar.

Al ejecutar la programación dentro del software, el programa resuelve el problema de secuenciación mediante la minimización del tiempo de finalización del último trabajo que se ejecuta, además entrega el orden y secuencia de los proyectos programados y los instantes de inicio y fin de cada una de sus operaciones. Este resultado es devuelto por consola en forma de carta *Gantt* lo que facilita el análisis y muestra gráficamente la carga de trabajo que tiene cada máquina y que proyectos se están ejecutando en ella.

Para evaluar el modelo se utiliza un computador con procesador Intel® Core™i3 de 2,3 GHz y 8GB de memoria RAM, bajo el sistema operativo de 64 bits Windows 10.

5.7. Desarrollo de software

5.7.1. Objetivo del software

El objetivo de este programa es ayudar directamente a la programación de la producción, de forma fácil y sencilla para el usuario, para así poder disminuir los tiempos de operaciones y los costos que implican el retraso en la entrega de los proyectos.

El software es capaz de programar todos los proyectos que la empresa puede fabricar, tanto con sus tiempos por estaciones de trabajo y sus tiempos finales de operación. El programa como respuesta final entrega al usuario una carta Gantt con la programación de la producción de las diversas *OT* requeridas por la empresa, en la cual los proyectos se priorizan según los siguientes criterios, con un primer filtro que es si el proyecto genera o no multa y las ordena según el valor de estas, el segundo filtro de priorización es el tipo de cliente que ordena la fabricación del producto, descrito en la tabla 6, por último prioriza según la fecha de caducidad más próxima. Así el software cumple la función objetivo de minimizar el tiempo de completación del último trabajo según los criterios de priorización y las restricciones del modelo.

El programa desarrollado tiene una interfaz gráfica amigable con el usuario, la cual es capaz de recibir y entregar datos vía consola, según los requerimientos solicitados por el usuario.

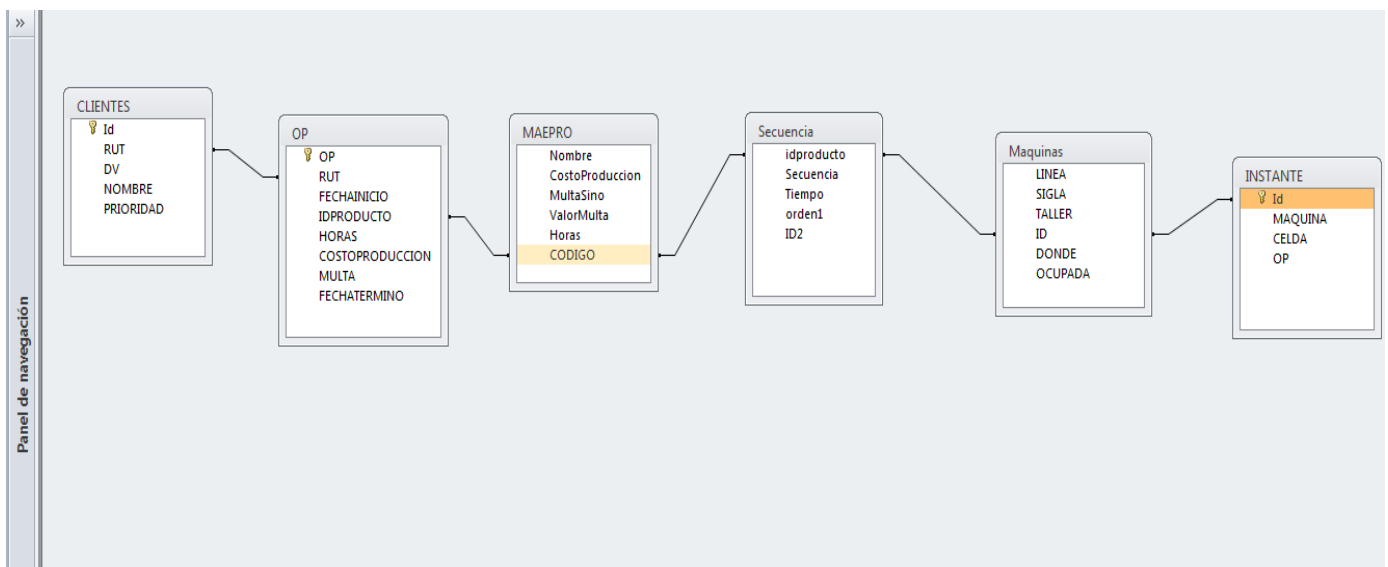
El software se sustenta en una base de datos relacional donde se almacena toda la información ingresada al software referente a clientes, proyectos, valores, secuencias y órdenes de trabajo, con estos datos el modelo es capaz de crear las secuencias de fabricación.

5.7.2. Elaboración de base de datos relacional para el software.

Mediante la recopilación de datos y posterior orden en tablas de actividades, tabla 5, se procede a construir y rellenar con esta información la base de datos Access, la base de datos llamada *DBsistema* contiene toda la información relevante para poder alimentar al software, esta opera como soporte del software, ya que el software solo entrega instrucciones y es la base de datos la encargada de buscar la información crear las relaciones y entregar la secuencia.

Las tablas de la base de datos *DBsistema* tienen las siguientes relaciones:

Figura 11: Base de datos relacional del sistema



Fuente: Elaboración propia

Las relaciones de las tablas se detallan a continuación:

- Tabla *clientes* y tabla *op*: el *rut* del cliente se relaciona directamente con el *rut* generado en la *op*, lo que significa que un *rut* de cliente puede relacionarse con muchas *op*.
- Tabla *op* y tabla *maestro de productos (maepro)*: el *idproducto* de la *op* se relaciona directamente con el *código* de la tabla *maepro*, siendo los dos el mismo código, lo cual significa que una *op* se relaciona solo con un código de producto.
- Tabla *maestro de productos* y tabla *secuencia*: el *código* de la tabla *maepro* se relaciona directamente con el *idproducto* de la tabla *secuencia*, siendo los dos el mismo código, lo que significa que un producto tiene una secuencia establecida.
- Tabla *secuencia* y tabla *maquinas*: el *idproducto* de la *secuencia* se relaciona directamente con *id (maquinas)* de la tabla *máquinas*, lo cual significa que una secuencia contiene varias máquinas.
- Tabla *máquinas* y tabla *instante*: el *id* de *máquinas* se relaciona directamente con el *id* de la tabla *instante*, lo cual significa que una máquina puede utilizar varios instantes al momento de programar.

Con las tablas relacionadas correctamente en la base de datos *DBsistema*, ya es posible comenzar a rellenar las tablas con la información referente a los proyectos.

5.8. Procedimiento de uso del software

Con el fin de facilitar y automatizar los cálculos del modelo propuesto, se ha desarrollado una herramienta informática llamada “*TesisPrograma v1.0*”. Para el correcto uso del software se ha creado un manual de usuario donde se detalla el paso a paso de las distintas aplicaciones, ver Anexo B: Manual de Usuario.

Figura 12: Interfaz de inicio del programa.



Fuente: Elaboración propia

Los pasos a seguir para programar un trabajo son:

1. **Producto:** Permite cargar los atributos generales de los distintos proyectos a fabricar
2. **Cliente:** Permite asociar e identificar los clientes que ingresan al sistema.
3. **Secuencia de Producción:** Módulo que permite la carga de la secuencia de producción de cada uno de los proyectos previamente agregados a la base de datos.
4. **Orden de Producción:** Módulo que permite la creación de una orden de producción, a partir de los datos ya cargados en clientes y secuencia de producción.
5. **Programación Semanal:** Una vez guardadas las órdenes de producción que se confeccionan previamente, permite ejecutar los cálculos sobre las mismas, de manera tal, que como resultado, se obtenga el programa de fabricación, en forma de carta *Gantt*, con el menor tiempo total de fabricación.

5.9. Verificación

En esta etapa lo que se busca es verificar si el programa cumple con su objetivo básico que es reducir los tiempos de fabricación y realizar la programación. Se programan 6 proyectos que se detallan en el siguiente cuadro resumen, estos proyectos son representados con un código de *OT* asignado por la base de datos durante la creación de esta misma.

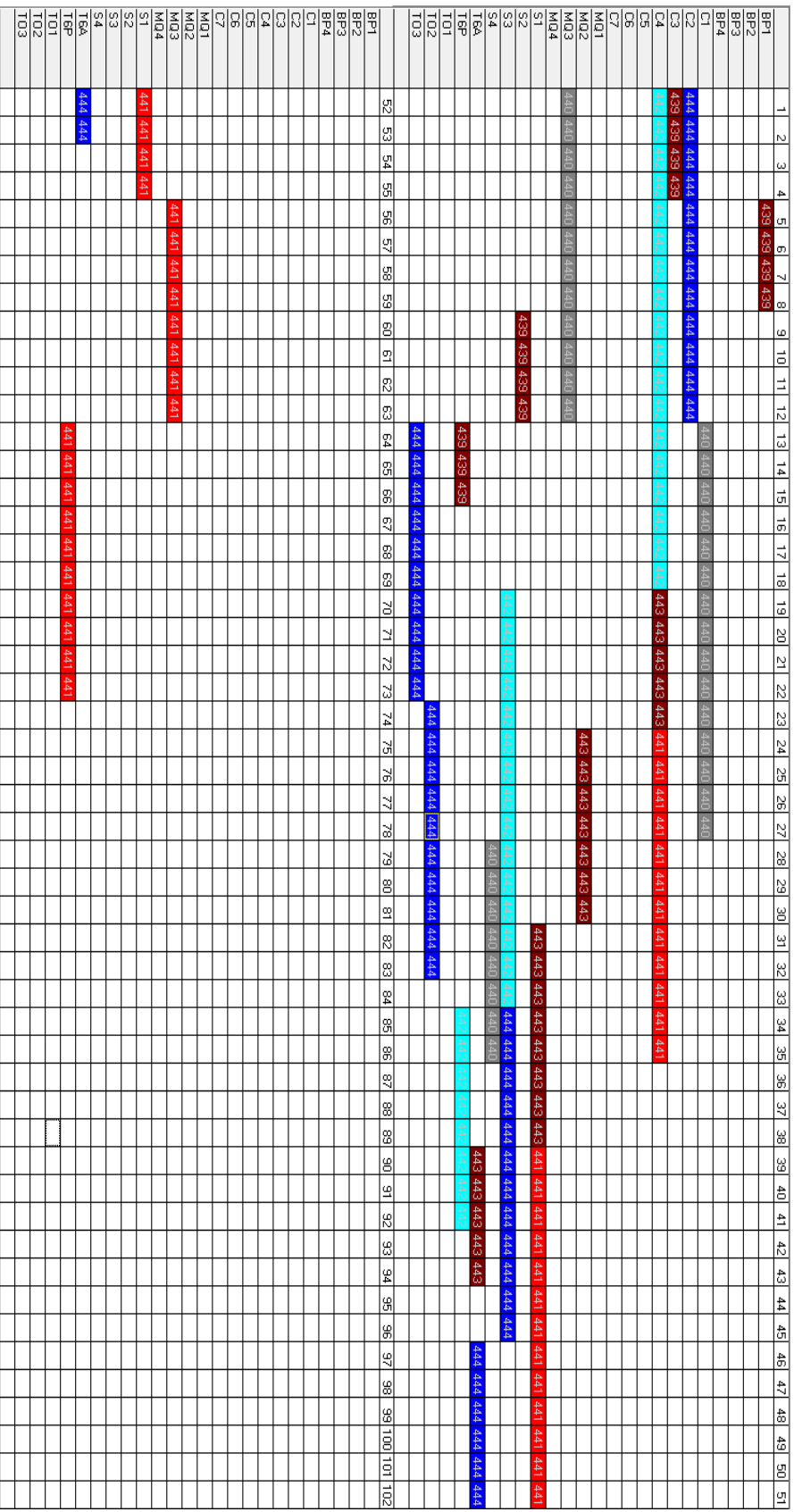
Tabla 7: Proyectos para simulación de producción

OT	PRODUCTO	CLIENTE	E1	T1	E2	T2	E3	T3	E4	T4	E5	T5	HRS TT
439	SELLO S1 Y SELLO S2	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	C1	4	BP1	4	S3	4	T6P	3			15
440	CRUCETA DISTRIB CANALES	CODELCO CHILE DIVISION VENTANAS	MQ3	12	C1	15	S4	8					35
441	MANIOBRA CADENA DE 10MM X 4 MT DE 2 RAMALES GANCHO ESLINGA	COMPAÑIA PORTUARIA MEJILLONES S.A.	C4	12	S1	17	MQ3	8	T6P	10			47
442	CANAL DE SANGRIA	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	C4	18	S3	15	T6P	8					41
443	JAULA LEVANTE B SIP	CORP.NACIONAL DEL COBRE DE CHILE DIV.EL TENIENTE	C4	5	MQ2	7	S1	8	T6A	5			25
444	CONJUNTO CATALINA	CODELCO CHILE	C2	12	TO2	10	TO3	10	S3	12	T6A	8	52

Fuente: Elaboración Propia

Se simulan 6 proyectos tomados desde la base de datos ya cargada, esta selección se hace de manera aleatoria con objeto de demostrar que el software se ejecuta de manera correcta.

Figura 13: Simulación de Programación de la Producción.



Fuente: Elaboración Propia

Luego de haber verificado que el programa funciona de manera correcta, Se comprueba que las restricciones y parámetros tengan un correcto funcionamiento, esta validación se realiza con datos de la primera semana de investigación histórica de la empresa, la cual contempla 8 proyectos de diversos clientes y a la vez de diversas prioridades.

Los 8 proyectos a programar en la validación son los siguientes:

Tabla 8: Proyectos simulados

OT	PRODUCTO	CLIENTE	MULTA	E1	T1	E2	T2	E3	T3	E4	T4	E5	T5	Hrs TT
431	ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 1.5 MTS. RUD QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	SI	C1	10	S1	10	T6A	9					29
432	TWIST LOCK P/HEAD BLOCK N.47601	SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL CARTAGENA S.A.	NO	MQ3	6	TO3	7	S3	7	MQ1	7			27
433	ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 1.5 MTS. RUD QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	SI	C3	10	S3	10	T6A	9					29
434	ESLINGA CADENA 3/8 PULG. X 1.5 MTS. RUD QOSH	CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE	SI	C4	10	S4	10	T6A	9					29
435	MANIOBRA CADENA 10MM X 10MT DE 4 RAMALES- GANCHO AUTOSEGURO	SERVICIOS PORTUARIOS QUELLON S.A.	SI	C5	15	S2	17	MQ1	10	T6P	8			50
436	MANIOBRA CADENA 1 RAMAL DE 22MM X 4 MT GRADO 8 SWL 15 TON	TERMINAL CERROS DE VALPARAISO S.A.	NO	C6	20	S2	26	MQ2	10	T6P	10			66
437	MANIOBRA CADENA DE TRINCA X 6MT DE LARGOS CON GANCHO EXTREMO	COMERCIAL TRANSMAG LTDA	NO	C7	10	S3	15	MQ3	9	T6A	8			42
438	MANIOBRA CADENA DE 10MM X 1 MT DE 4 RAMALES CON GANCHOS	SAAM S.A.	NO	C1	12	S4	15	MQ4	10	T6A	10			47

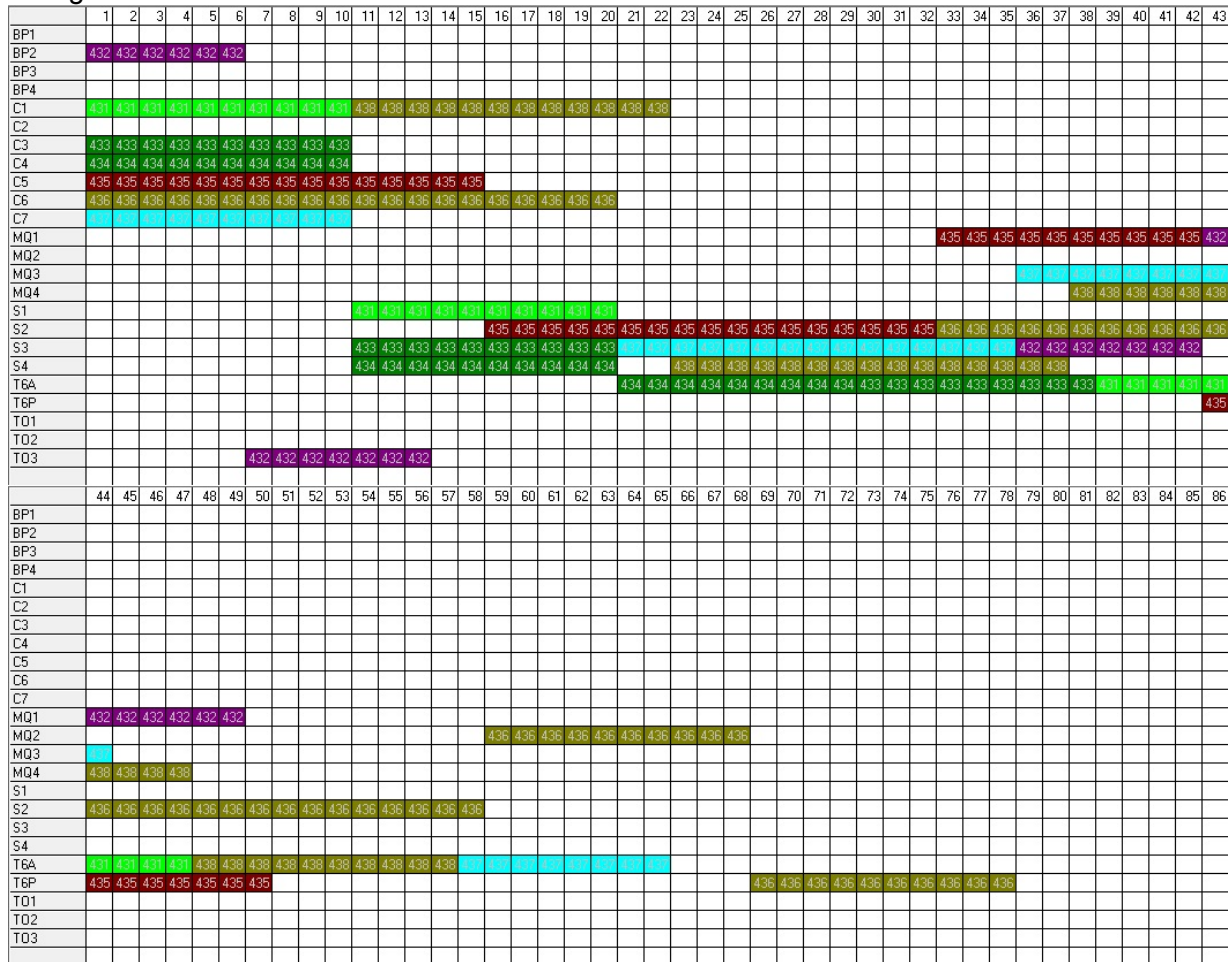
Fuente: Elaboración Propia

Según las restricciones especificadas en el modelo, el software debe priorizar la programación de la producción según si el proyecto genera o no multa, luego el valor de la multa siguiendo por la importancia del cliente y por último la fecha de caducidad más próxima, luego de realizar esta acción el software entrega el siguiente orden por estación de trabajo rigiéndose por los criterios de priorización: el primer proyecto que entra a la programación es la *maniobra cadena de 10 mm x 10 mts. de 4 ramales gancho autaseguro, OT 315*, pues este proyecto genera una multa de \$45.000 pesos, siendo esta la más alta de las multas de los proyectos programados, el segundo proyecto también genera multa, pero aquí sucede que el valor de multa de los tres proyectos es el mismo al igual que su prioridad de cliente y la fecha de caducidad, esto es porque un cliente solicita fabricar tres productos iguales, para este caso la programación se rige por el orden de creación de su *OT*, por lo tanto el segundo, tercer y cuarto lugar de prioridad será ocupado por la *eslinga cadena 3/8 pulgadas x 1,5 mts* según el orden de programación las *OT 311, 313, 314*. En quinto lugar se programa según los proyectos que no generan multas, ya que los que generan ya se han programado, siguiendo con el criterio de prioridad de importancia del cliente, por lo tanto el proyecto que debe estar en quinto lugar es la *maniobra cadena de 1 ramal de 22mm x 4mts grado 8 SWL 15 ton*, ya que su importancia de cliente es 2 según la tabla 6. En sexto lugar está la *maniobra de cadena de 10mm x 1 mts. de 4 ramales con gancho*, pues su importancia de cliente es 4, y por último en el séptimo y octavo lugar se

priorizan por la fecha de caducidad más próxima, ya que estos proyectos no generan multas y su importancia de cliente es 5 la mínima dentro de la clasificación de importancia, por lo tanto el orden séptimo y octavo es ocupado por el *twist lock p/head block* o la *maniobra de cadena de trinca x 6 mts. de largo con gancho extremo* respectivamente.

A continuación se muestra la gráfica de Gantt obtenida:

Figura 14: Validación del modelo



Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la gráfica Gantt, el software es puesto a prueba, siguió la secuencia esperada y respetó los criterios de priorización descritos en la formulación del modelo matemático y en el modelado del software, por lo que el modelo es verificado.

Capítulo 6: Resultados y Análisis

6.1. Resultados.

La función objetivo del modelo matemático plantea la minimización del tiempo total de producción. Los resultados obtenidos mediante el modelo construido muestran la secuencia de construcción que se debe seguir y el tiempo de procesamiento, a continuación se presentan los resultados obtenidos gracias al modelo en comparación con los resultados de la empresa.

Tabla 9: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de julio.

JULIO	Horas Totales de completación			Multa			Horas retrasados		
	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora
Semana 1	443	431	2,7%	\$ 50.625	\$ -	100,0%	49	37	24,5%
Semana 2	455	402	11,6%	\$ 81.563	\$ -	100,0%	93	40	57,0%
Semana 3	516	405	21,5%	\$ 752.500	\$ -	100,0%	111	0	100,0%
Semana 4	601	515	14,3%	\$ 369.375	\$ 16.260	95,6%	106	20	81,1%
	2.015	1.753	13,0%	\$ 1.254.063	\$ 16.260	98,7%	359	97	73,0%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de agosto.

AGOSTO	Horas Totales de completación			Multa			Horas retrasados		
	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora
Semana 5	483	401	17,0%	\$ 250.625	\$ -	100,0%	98	16	83,7%
Semana 6	460	402	15,0%	\$ 393.750	\$ -	100,0%	100	42	58,0%
Semana 7	426	354	16,9%	\$ 234.813	\$ -	100,0%	72	0	100,0%
Semana 8	406	349	14,0%	\$ 104.063	\$ -	100,0%	109	52	52,3%
	1.775	1.506	15,2%	\$ 983.250	\$ -	100,0%	379	110	71,0%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de septiembre.

SEPTIEMBRE	Horas Totales de completación			Multa			Horas retrasados		
	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora
Semana 9	510	418	18,0%	\$ 515.000	\$ -	100,0%	92	0	100,0%
Semana 10	507	454	10,5%	\$ 210.375	\$ -	100,0%	72	19	73,6%
Semana 11	553	491	11,2%	\$ 551.500	\$ -	100,0%	103	41	60,2%
Semana 12	560	447	20,2%	\$ 255.000	\$ 7.500	97,1%	119	6	95,0%
	2.130	1.810	15,0%	\$ 1.531.875	\$ 7.500	99,5%	386	66	83%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de octubre.

OCTUBRE	Horas Totales de completación			Multa			Horas retrasados		
	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora
Semana 13	575	548	4,7%	\$ 60.000	\$ -	100,0%	62	35	43,5%
Semana 14	619	582	6,0%	\$ 540.000	\$ -	100,0%	96	59	38,5%
Semana 15	564	535	5,1%	\$ 217.500	\$ -	100,0%	98	69	29,6%
Semana 16	638	598	6,3%	\$ 405.000	\$ 60.000	85,2%	77	37	51,9%
	2.396	2.263	5,6%	\$ 1.222.500	\$ 60.000	95,1%	333	200	39,9%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de noviembre.

NOVIEMBRE	Horas Totales de completación			Multa			Horas retrasados		
	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora
Semana 17	643	599	6,8%	\$ 540.000	\$ -	100,0%	73	29	60,3%
Semana 18	521	487	6,5%	\$ 87.500	\$ 21.875	75,0%	76	42	44,7%
Semana 19	621	549	11,6%	\$ 657.500	\$ 67.500	89,7%	123	51	58,5%
Semana 20	563	540	4,1%	\$ 345.000	\$ 67.500	80,4%	91	68	25,3%
	2.348	2.175	7,4%	\$ 1.630.000	\$ 156.875	90,4%	363	190	47,7%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14: Tiempos de completación, multas y horas retrasadas, mes de diciembre.

DICIEMBRE	Horas Totales de completación			Multa			Horas retrasados		
	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora
Semana 21	711	657	7,6%	\$ 607.500	\$ 67.500	88,9%	128	74	42,2%
Semana 22	710	694	2,3%	\$ 601.250	\$ 313.125	47,9%	97	81	16,5%
Semana 23	655	592	9,6%	\$ 792.500	\$ 315.000	60,3%	96	33	65,6%
Semana 24	582	545	6,4%	\$ 225.000	\$ 67.500	70,0%	69	32	53,6%
	2.658	2.488	6,4%	\$ 2.226.250	\$ 763.125	65,7%	390	220	43,6%

Fuente: Elaboración Propia.

Para garantizar que los resultados del modelo reflejan una mejora para la empresa, se compararan con los valores planificados por esta, valores que representan el estado actual de la organización, se debe considerar que los valores de la empresa son a partir de datos históricos y a medida que se genera demanda se fabrica, pues la empresa por sus procesos no considera stock de productos fabricados.

Como se observa en las tablas anteriores, se muestra el total de las horas que la empresa y el modelo demora en completar los proyectos divididos en periodos de un mes, estos valores a su vez se subdividen semanalmente ya que la programación de la empresa se realiza de manera semanal, al igual que en el modelo.

Se comparan los resultados de la función objetivo, marcados en amarillo, entre las horas de completación históricas de la empresa y las horas de completación del modelo, para obtener un índice de mejora, esto se hace también para la columna de multas, pues en el modelo programado las multas se consideran como un índice de prioridad para la asignación de máquinas. La empresa calcula tiempos teóricos para la fabricación de los proyectos, para tener una referencia temporal, la última columna "horas retrasadas" representa la diferencia que existe entre las horas que realmente demora la empresa y las horas que demora el modelo, tomando como referencia las horas teóricas calculadas por la empresa.

6.2. Análisis.

Para entender las mejoras globales del modelo matemático y comprobar el cumplimiento de la función objetivo, se comparan los resultados generales obtenidos de la empresa, datos históricos, y los resultados generales entregados por el modelo propuesto. Se presentan en porcentaje las mejoras con respecto a las horas totales de completación, multas y horas retrasadas.

El siguiente cuadro sintetiza los resultados al comparar las horas totales de completación históricas mensuales de la empresa v/s las horas totales de completación mensuales que entrega el modelo, las multas históricas mensuales de la empresa v/s las multas mensuales generadas por el modelo y las horas retrasadas históricas por mes v/s las horas retrasadas generadas por el modelo por mes.

Tabla 15: Resumen, empresa v/s modelo.

Meses	Horas Totales de completación			Multa			Horas retrasados		
	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora	Empresa	Modelo	Mejora
Julio	2.015	1.753	13,0%	\$ 1.254.063	\$ 16.260	98,7%	359	97	73,0%
Agosto	1.775	1.506	15,2%	\$ 983.250	\$ -	100,0%	379	110	71,0%
Septiembre	2.130	1.810	15,0%	\$ 1.531.875	\$ 7.500	99,5%	386	66	82,9%
Octubre	2.396	2.263	5,6%	\$ 1.222.500	\$ 60.000	95,1%	333	200	39,9%
Noviembre	2.348	2.175	7,4%	\$ 1.630.000	\$ 156.875	90,4%	363	190	47,7%
Diciembre	2.658	2.488	6,4%	\$ 2.226.250	\$ 763.125	65,7%	390	220	43,6%
Total	13.322	11.995	10,0%	\$ 8.847.938	\$ 1.003.760	88,7%	2.210	883	60%

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 15 muestra que la función objetivo se cumple, pues minimiza el tiempo total de fabricación para los 6 meses, se debe considerar que todos los cálculos se hacen en base a una programación semanal de los proyectos, los cuales posteriormente se agruparon por mes, de un total de 13.322 horas de fabricación para la empresa el modelo reduce este tiempo a 11.995 horas, logrando una disminución del 10% del tiempo que lleva completar los trabajos programados durante el periodo en estudio.

En detalle para el mes de agosto, según la información histórica fue el mes en el que las horas totales de fabricación fueron las más bajas, 1.775 horas. Para este mes el modelo entregó un total de 1.506 horas totales de fabricación, lo que significa que la programación realizada por el modelo disminuye un total de 269 horas, que representa una mejora de un 15,2% en comparación con los datos históricos. Además el modelo reduce a cero las multas, lo que representa una mejora del 100% en este ítem, en comparación a los \$983.250 pesos de multas generados por programación realizada por la empresa.

En el mes de septiembre según la información histórica, la empresa tuvo un registro de 2.130 horas totales de fabricación versus 1.810 horas totales de fabricación que se obtienen mediante la programación del modelo, el cual logra disminuir estas en 320 horas. Las multas en este periodo ascienden a \$1.531.875 pesos, mediante la programación generada por el modelo se priorizó de tal forma que las multas disminuyeron a \$7.500 pesos, lo cual genera un ahorro de \$1.524.375 pesos, una mejora del 99,5%, siendo septiembre el segundo mes, después de agosto, en donde se logra reducir más las multas. Para las horas retrasadas septiembre fue el mes en donde el modelo se acercó más a las horas teóricas de fabricación calculadas por la empresa, sobrepasándolas 66 horas.

En el mes de diciembre el modelo entregó un total 2.488 horas de horas fabricación versus 2.658 horas totales históricas de fabricación. Se realiza esta comparación en este mes ya que es cuando las horas total de fabricación son las más altas, pero aun así la función objetivo se cumple y genera una mejora de un 10%. Esta mejora significa un ahorro de \$1.463.125 pesos en multas que representa un 65,7% de mejora, este porcentaje de mejora es menor en comparación con la de los otros meses estudiados, esto se debe a que los proyectos desarrollados en diciembre son de mayor duración, valor de fabricación y de costos de multas.

De forma global el modelo reduce en un 88,7% las multas aplicadas a la empresa por concepto de entrega de proyectos retrasados. Para los meses de julio a diciembre de 2016 la empresa llevo a cabo 192 proyectos, de estos 84 tienen cláusula de multa en caso de retraso en su entrega, y de éstos, 42 se entregan con retraso por lo que la empresa desembolsa un monto de \$8.847.938 por el pago de multas. Con la aplicación del modelo los trabajos retrasados que contenían multas se disminuyen a 10 y se logra disminuir la

multa a un monto de \$1.003.760. Cabe señalar que para el mes de agosto el modelo logra reducir a cero las multas.

La empresa calcula horas teóricas de fabricación de los distintos productos, pero en la realidad esos tiempos difieren de las horas reales de producción, siendo estas horas teóricas menores a las reales. Para el caso de la empresa, en promedio mensualmente se retrasan 368 horas más que lo calculado teóricamente para un total de 2.210 horas retrasadas durante 6 meses. En el caso del modelo en promedio se retrasan 174 horas de más, para un total de 883 horas, esto se traduce en una mejora del 60%, al reducir 1.327 horas retrasadas.

Estos datos generados por el modelo ayudan a distribuir de manera más eficiente los recursos y aumenta la utilización de las máquinas, esto se traduce en un aumento de la productividad del 10% para el periodo en cuestión, que genera un incremento en los ingresos de la empresa de \$7.844.760.

6.3. Problemas de modelación

Es importante enfatizar el hecho que el modelo funciona bajo las condiciones especiales descritas en el capítulo 4, específicamente en los puntos 4.4 y 4.5, pero también se debe tomar en consideración los siguientes puntos que aunque están fuera del alcance del modelo, es tarea de la empresa llevar a cabo para que el modelo sea factible:

1. Comunicación con el departamento de ventas: si el departamento de ventas no realiza una buena cotización esta información errada pasara al área productiva de la empresa creando problemas en la fabricación.
2. Comunicación con el departamento de diseño: son los encargados de diagramar los planos utilizados en el área productiva, si un plano contiene algún error, esto genera que la pieza en fabricación deba pasar por una etapa de reproceso, generando retrasos y mala utilización de los recursos.
3. Stock de materias primas e insumos: la empresa debe tener stock de materias primas e insumos para no retrasar la producción
4. Calculo de demanda: debido a la naturaleza del problema, no es posible calcular una demanda real exacta, pero aun así se puede calcular una demanda histórica, con el objetivo de vaticinar las fluctuaciones de esta.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones.

En este trabajo de título se presenta un problema de programación de la producción dentro de la empresa Industrial de Limache, maestranza que trabaja bajo el modelo de producción *job-shop*, como se describe en los primeros capítulos de este trabajo la empresa tiene dificultades a la hora de programar su fabricación, lo que la hace incurrir en retrasos y pago de multas por este mismo motivo.

Según los objetivos fijados y el modelo propuesto se logran dar una solución satisfactoria al problema planteado. De acuerdo al modelo matemático desarrollado y su posterior simulación y análisis se da como resultado que el objetivo se cumple, el cual es de minimizar el tiempo de completación del último proyecto.

Este modelo que luego fue digitalizado y convertido en una herramienta informática es capaz de otorgar datos en forma de una carta Gantt con la secuencia de producción de los artículos a fabricar, la hora de inicio y termino de cada trabajo. Estos datos le permiten a la empresa:

- Programar compra de materias primas e insumos.
- Programar tiempos de fabricación y despacho de los proyectos.
- Conocer la utilización y disponibilidad de la maquinaria.
- Contar con una carta Gantt de carga de máquinas.

Mediante los datos obtenidos a partir de la programación y posterior análisis de estos, se evidencia que la metodología de la programación de la producción propuesta, se adapta a los requerimientos de la empresa tanto para las áreas de planificación como para el área de producción. Esto se debe a que el modelo cumple una función de apoyo para dar solución a problemas de alta complejidad en la empresa.

El resultado del modelo propuesto entrega una disminución del tiempo total de completación de los proyectos, siendo capaz de resolver de forma efectiva el 100% de los escenarios en que fue puesto, modelando 24 escenarios y 192 trabajos, calculando una disminución de los tiempos de completación de un 10%. Además el modelo logra disminuir

los costos asociados a las multas en un 88,7% que equivale a un ahorro de \$7.844.178 millones de pesos para el periodo analizado.

El software de programación de la producción tiene la capacidad de modificarse y adaptarse a nuevos requerimientos futuros de la maestranza o de cualquier otra empresa que esté relacionada con la fabricación de materiales industriales, marítimos o simplemente con procesos de trabajo *job-shop*. En si es un modelo de programación flexible, tanto en el ámbito matemático como en el de programación de la plataforma.

Finalmente se concluye que el modelo de programación de la producción es útil a la empresa para disminuir los tiempos de producción y multas, proporcionando información para la toma de decisiones y así seguir enfocándose en una mejora continua integral.

7.2. Recomendaciones

Las propuestas formuladas a la empresa Industrial de Limache Ltda. son;

- La programación de la producción se debe elaborar una vez a la semana, por el jefe de producción, el cual es quien opera y maneja el software, tanto para poder añadir nuevos clientes, nuevos proyectos y nuevas órdenes de trabajo. El jefe de producción es la persona calificada para modificar productos y secuencias previamente cargadas al software, quien debe ser capacitado en el uso del software y leer el manual de usuario con que cuenta el programa.
- La empresa debe establecer paradas de planta según el plan de mantenimiento preventivo de máquinas, establecido por la empresa, para evitar posibles desperfectos que generen retrasos en la producción y entren en conflicto con la carta Gantt entregada por el programa.
- Recalcular las horas teóricas que demoran los proyectos ya que es una referencia alejada de la realidad, y da información poco precisa a la hora de programar las horas que necesita en realidad un proyecto.

- En meses de baja demanda se plantea disminuir las horas máquinas para disminuir los costos de operación, pues el modelo es capaz de adaptarse a los requerimientos de demanda de la empresa.
- El jefe de producción es quien define las horas máquinas semanales, para que el modelo se adapte y trabaje dentro del rango de horas definido.

Bibliografía

- [Chapman06] Chapman. S. Planificación y control de la producción. Editorial Pearson Education. 2006.
- [Chase&Jacob11] Chase. R, Jacob. R. Administración de operaciones, producción y cadena de suministros. Editorial McGraw-Hill. 2011.
- [Chase05] Chase. R, Jacob. R, Aquilano. N. Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva. Editorial McGraw-Hill. 2005.
- [D'Alessio02] D'Alessio Fernando. Administración y dirección de la producción, enfoque estratégico y de calidad. Editorial Pearson Education. 2002.
- [Garcia&Maheut15] Garcia. J, Maheut. J. Modelado y resolución de Problemas de Organización Industrial mediante Programación Matemática Lineal. España. 2015.
- [González10] Gonzáles Alena R. Instructivo para la elaboración de un Manual de Usuario. Soluciones Informáticas CETA – Cujae. Ciudad de la Habana, Cuba. 2010.
- [Heizer07] Heizer. J, Render. B. Dirección de la producción y operaciones. Decisiones tácticas. Editorial Pearson Education. 2007.
- [Hillier&Lieberman10] Hillier Frederick S, Lieberman Gerald J. Introducción a la Investigación de Operaciones. Editorial McGraw-Hill. 2010.
- [Ortiz&Seccatore09] Ortiz Z Carmen, Seccatore G Luis. Modelamiento y Gestión de Negocios. Capítulo 4, Páginas 423-427. Chile. 2009.
- [Ramos10] Ramos Andrés. Modelos de secuenciación de tareas en máquinas. Universidad Pontificia Comillas. España. 2010
- [Reyes07] Reyes. P. Teoría de restricciones. Mexico. 2007.

- [Rodriguez&Rodriguez08] Rodríguez Carlos M, Rodríguez Pablo A. Visual Basic 6.0 Orientado a Base de Datos. Grupo Experto Bucarely. 2008.
- [Vitoriano09] Vitoriano Begoña. Modelos operativos de gestión. Universidad Complutense de Madrid. Capítulo 4, Paginas 195-198, 207-211. España. 2009.
- En línea disponible en; [<http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/>] Consultado en junio 2016.

Anexos

Anexo A: Marco Teórico

Planificación de la producción

- Planificación de requerimientos de materiales (*MRP*):

Es la pieza clave de la lógica que enlaza las funciones de producción desde el punto de vista de control y planificación de material. La *MRP* es un método lógico, que se entiende fácilmente, para el problema de determinar el número de piezas, componentes y materiales necesarios para producir todo artículo final. La *MRP* también da el programa que especifica cuándo debe pedir o producir cada uno de estos artículos.

- Programa maestro de producción (*MPS*):

Es el plan con los tiempos desglosados que especifica cuantas piezas finales va a fabricar la empresa y cuando.

- Lista de materiales (*BOM*):

Contiene la descripción completa de los productos y consigna materiales, piezas y componentes, además de la secuencia en que se elaboran los productos. Esta *BOM* es uno de los principales elementos del programa *MRP*

- Programa marco de producción (*PMP*):

Especifica lo que se va hacer, es decir, el número de productos o artículos acabados, y cuando. El programa debe ser coherente con un plan de producción. El plan de producción establece el nivel global del output en términos generales (por ejemplo, familias de productos, horas estándar o volumen en dólares). Estos planes incluyen una variedad de input, como los planes financieros, la demanda de los clientes, las capacidades de ingeniería, la disponibilidad de mano de obra, las fluctuaciones del inventario, el seguimiento de proveedores y otras consideraciones. [Heizer07].

Planificación y control de la producción

A. Planificación estratégica o a largo plazo

La planificación estratégica arranca de los objetivos estratégicos de la empresa, la cual busca generar el plan de ventas a largo plazo, que evidencie la demanda de la empresa que deberá alcanzar para cumplir con las metas establecidas. Esta estrategia servirá para establecer el plan de producción a largo plazo, de los diversos productos de la empresa. Los dos planes mencionados conllevan a las necesidades de recursos para llevarlos a cabo, lo cual genera el plan financiero a largo plazo, el cual puede modificar los anteriores con fin de cumplir las restricciones existentes en la empresa.

B. Planificación táctica o a medio plazo

Para continuar con el correcto desarrollo de la planificación estratégica se debe ejecutar la planificación táctica la cual determina con anticipación que se debe hacer mediante la elaboración de un plan agregado, es decir este considera en concretar algo más que solo el mencionado plan estratégico. En si establece modificaciones en unidades agregadas y variables productivas. Teniendo en cuenta la capacidad disponible e intentando que se cumpla el plan a largo plazo a un menor costo posible. Esto se denomina planificación a medio plazo. La planificación a medio plazo está enfocada a un horizonte que no va más allá de los 18 meses. En cuanto al plan agregado se debe regir según las capacidades de las instalaciones mencionadas desde un principio de la producción, solo podrá realizar medidas de ajustes transitorios para su correcto desarrollo.

C. Programación de componentes.

La programación de componentes consiste en establecer según la demanda estimada por el plan estratégico una programación detallada tanto en cantidades y de tiempos de cada uno de los componentes de los distintos productos a fabricar. Esta programación se debe realizar para cada centro de trabajo por separado, para así obtener realmente los requerimientos de materiales.

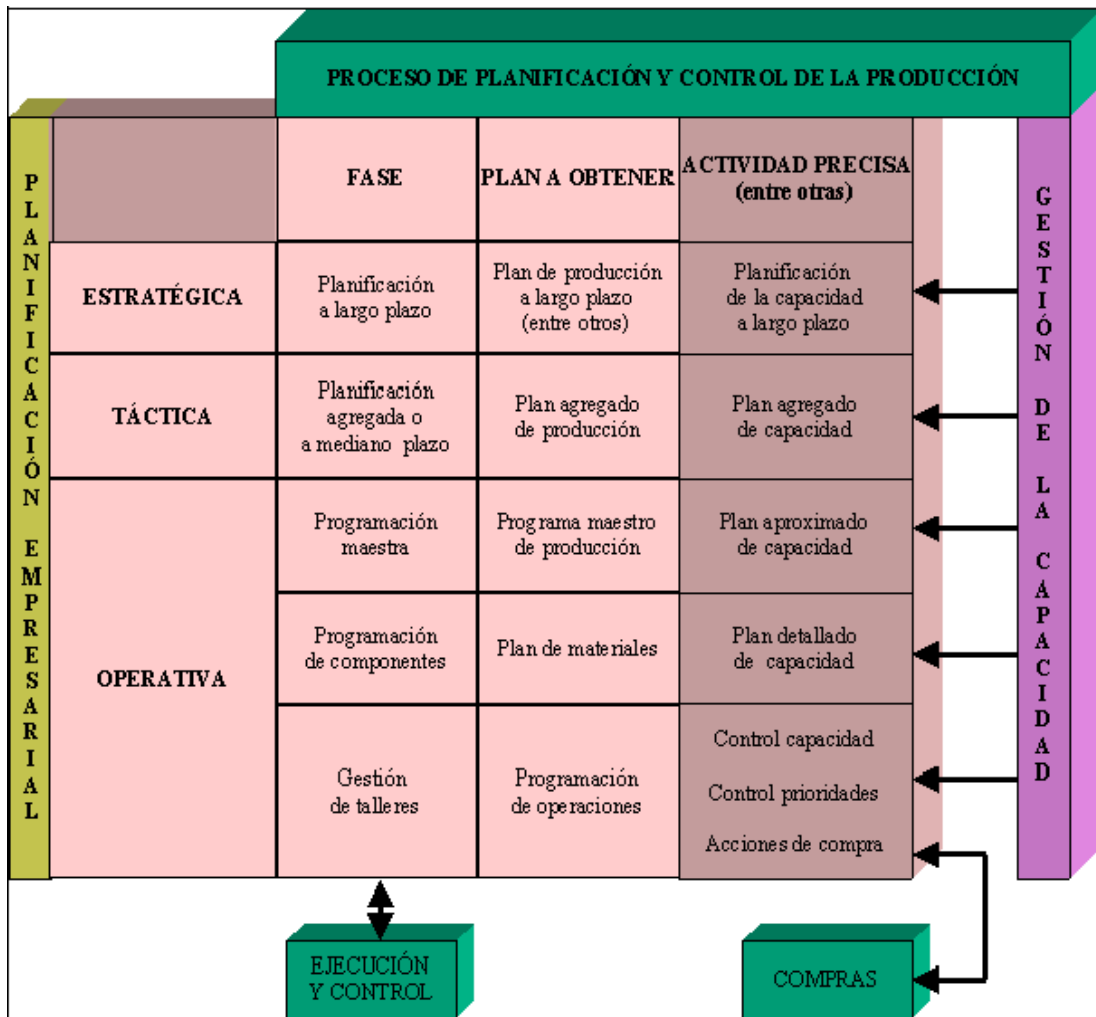
D. Ejecución y control

Esta es la última etapa de la planificación y control de la producción con un enfoque jerárquico. En esta etapa cada uno de los trabajadores ya tiene claro que tarea realizar y cuáles son los materiales proporcionados para cumplir con la fabricación final, esto se

relaciona con la “programación de operaciones” en cada centro de trabajo. A la vez se realiza un control exhaustivo en las acciones de compras, tanto para las materias primas y para los componentes necesarios en el proceso completo.

También se realiza un control de la capacidad, de una forma detallada, informando tanto lo que entra y lo que sale del proceso (“control de input/output), con el cual se proporciona una retroalimentación completa de los distintos niveles de la planificación.

Figura 15: Proceso de planificación, programación y control de la producción.



Fuente: [Domínguez95]

La figura 9 resume las 5 fases anteriormente mencionadas y las clasifica según sus distintos planes empresariales referidas a cada planificación y gestión de capacidad. Como se mencionó anteriormente el proyecto de título estará centrado en el programa maestro de producción, ya que establece los tiempos especificados en la investigación y toma la decisión de cuándo, cómo y cuánto producir según los requerimientos establecidos en la estrategia estratégica y táctica.

Modelo Matemático

Clasificación de los modelos matemáticos:

1. Los modelos pueden ser estáticos o dinámicos: un modelo estático no tiene en cuenta el tiempo y no considera los efectos de las decisiones para períodos futuros, mientras que los modelos dinámicos sí, las decisiones de un ciclo se ven afectadas por períodos futuros y anteriores. Los modelos dinámicos se suelen representar con ecuaciones en diferencias o ecuaciones diferenciales.
2. Los modelos pueden ser lineales o no-lineales: si todos los operadores de un modelo son lineales el modelo es lineal. Si al menos uno es no-lineal el modelo es no-lineal, generalmente al modelar una gran cantidad de situaciones resulta un modelo con características no lineales.
3. Un modelo puede ser determinístico o estocástico. Un modelo determinístico es aquel en que cada conjunto de variables en un estado está definido por los parámetros del modelo y por los estados anteriores. Un modelo determinista se comporta siempre igual para un conjunto de parámetros de entrada. En un modelo estocástico las variables de estado se representan por distribuciones de probabilidad, y por tanto el modelo es capaz de recoger aleatoriedad o incertidumbre.
4. Los modelos se pueden clasificar por tiempo de variable, ya sean variables continuas, en donde las variables de estado cambian de forma continua con el paso el tiempo. Por otro lado existen las variables discretas, las cuales cambian de estado instantáneamente en instantes separados de tiempo.

Visual Basic orientado a base de datos

Visual Basic es un lenguaje de programación orientado a objetos creado por la empresa Microsoft. Este lenguaje incorpora todas las herramientas necesarias para la creación de cualquier aplicación para Windows. Con este lenguaje se puede crear desde una simple calculadora hasta un procesador de texto de la talla de Word, o una hoja de cálculo como Excel, o bien, cualquier aplicación que se le ocurra al programador.

Visual Basic es un lenguaje visual que se origina del lenguaje de programación Basic. La programación en Visual Basic se basa en un ambiente de desarrollo totalmente gráfico, que facilita la creación de interfaces gráficas, y en cierta medida, también la programación misma. Todos los programas que realicemos en Visual Basic serán por defecto, programas con todas las características de una aplicación típica de Windows.

[Rodríguez&Rodríguez08]

La principal herramienta tecnológica que se utilizara en este proyecto de título para conectar a una base de datos será ADO (*ActiveX Data Object*), esto ya que se considera que es una herramienta completa y potente de la cual dispone Visual Basic para conectar a un origen de datos.

ADO es una interfaz de alto nivel con OLE DB (*Object linking and embedding for databases*). OLE DB es una interfaz de bajo nivel a la que no se puede acceder con facilidad utilizando lenguajes de alto nivel como Visual Basic. ADO está construido sobre un OLE DB para proporcionar funciones que no se encuentran disponibles directamente en OLE DB o que exigirían profundos conocimientos y habilidades de codificación a los programadores.

Las principales ventajas de ADO son su facilidad de uso, su gran velocidad, su escasa utilización de memoria y el poco espacio que ocupa en disco. ADO proporciona un acceso a los datos constante y de alto rendimiento para crear un cliente de base de datos para el usuario o un objeto empresarial del nivel medio con una aplicación, una herramienta, un lenguaje o un explorador.

Anexo B: Manual de Usuario

- Introducción

TesisPrograma v1.0 es un software que sirve para construir y resolver problemas de programación lineal de manera simple, con resultados gráficos para su mejor análisis.

A continuación se presenta el manual del software *TesisPrograma v1.0*, donde se incluye la estructura de los ficheros de datos, la interfaz gráfica del programa, la estructura de los menús, las funciones de cada una de las opciones disponibles y los procedimientos que debe seguir el usuario con el fin de obtener resultados. [González10]

A continuación se describe el Manual de Usuario:

A. Menú principal

Al iniciar el archivo ejecutable “*TesisPrograma*”, aparecerá el menú principal, donde se encuentran las siguientes opciones:

Figura 16: Menú Principal



Fuente: Elaboración propia

- Producto: Permite cargar los atributos generales de los distintos proyectos a fabricar
- Cliente: Permite asociar e identificar los clientes que ingresan al sistema.
- Secuencia de Producción: Modulo que permite la carga de la secuencia de producción de cada uno de los proyectos previamente cargados

- Orden de Producción: Módulo que permite la creación de una orden de producción, a partir de los datos ya cargados en clientes y secuencia de producción.
- Programación semanal: Una vez registradas las órdenes de producción que se confeccionaron previamente, permite ejecutar los cálculos sobre las mismas, de manera tal, que como resultado, se obtenga el programa de fabricación con el menor tiempo total de fabricación.

B. Registro de los datos del producto.

- Producto

Si selecciona el modulo Producto se desplegara el menú de mantención de éstos.

Figura 17: Mantención de Productos

The screenshot displays a web application interface for product maintenance. At the top, the header includes the local time '02:16:46 am', the title 'Mantención de Productos', and the date '16-01-2018'. The main form area contains several input fields: 'CODIGO' (a short text box), 'NOMBRE' (a long text box), 'COSTO PRODUCCION' (a numeric field with '0'), 'GENERA MULTA?' (a dropdown menu with '0'), 'VALOR MULTA' (a numeric field with '0'), and 'TIEMPO TOTAL' (a numeric field with '0' and 'HRS' label). Below the form, there is a row of five buttons: 'Crear Producto' (highlighted with a dashed border), 'Buscar Producto', 'Eliminar Producto', 'Guardar Producto', and 'Volver al Menu'.

Fuente: Elaboración propia

Para crear un producto nuevo los pasos son los siguientes:

1. Diríjase a la opción “*Crear Producto*” y selecciónela, al haber seleccionado esta opción, los campos superiores se activarán para ser llenados.
2. Nombre: identifique su proyecto con un nombre representativo

Costo Producción: Rellene este campo con el costo de producción interno del proyecto

¿Genera Multa?: En esta opción se encuentra una lista desplegable con dos opciones “SI” y “NO” selecciones según corresponda.

Valor Multa: Si el proyecto genera multas rellene el campo el valor de la multa diaria, en caso contrario rellene con 0.

Tiempo Total: Rellene este campo con las horas maquina totales estimadas de producción

5. Una vez completados los pasos anteriores presione “*Guardar Producto*” para que el proyecto sea guardado en la base de datos
6. Para buscar un proyecto selecciones la opción “*Buscar Producto*”, donde se desplegara una ventana emergente, en la cual podrá buscar los distintos proyectos por nombre o por código de producto, una vez seleccionado el proyecto a visualizar, presione la opción “*Ver Producto*” y este se desplegara en la pantalla de mantención de productos junto con todos sus datos, en caso contrario presiones “*Cerrar Ventana*”

Figura 18: Búsqueda de productos

Busqueda de Productos

Busqueda de Producto

Nombre Producto CODIGO

Digite lo que desea buscar

CODIGO	PRODUCTO	COSTO PROD.	GENERA MULTA?
133	ANILLA BOYA NV	300.000	SI
78	ANILLAS BOYA	300.000	NO
103	BANDEJA ALIMENTACION OC	5.500.000	SI
151	BOCA CONVERTIDOR CPS NV	9.000.000	SI
76	BOCA CONVERTIDOR CPS SP	9.000.000	SI
50	BOCA CONVERTIDOR PERCE SMITH	9.000.000	SI
196	BOCA CONVERTIDOR PERCE SMITH DC	9.000.000	SI
139	BOCA CONVERTIDOR PERCE SMITH NV	9.000.000	SI
115	BOCA CONVERTIDOR PERCE SMITH OC	9.000.000	SI
7	BOCA DE GASES	9.000.000	SI
188	BOCA DE GASES AC36 DC	9.000.000	SI
114	BOCA DE GASES AC36-OC	9.000.000	SI
48	BOCA DE GASES CPS 1	9.000.000	SI

Fuente: Elaboración propia

7. Para eliminar un producto debe repetir el paso 4, elegir un proyecto y seleccionar “*Ver Producto*” para que este se despliegue en la pantalla de mantención de productos, selecciones la opción “*Eliminar Producto*” y el producto será eliminado de la base de datos.
8. Para volver al menú de principal seleccione el botón de la parte inferior derecha “*Volver al menú*”

- Clientes

Si ha seleccionado el modulo Clientes, se desplegará el menú de mantención de Clientes

Figura 19: Mantención de clientes

Hora local 01:18:34 pm Fecha martes, 16 enero 2018

Mantención de Clientes

Ej. 12362529 sin el dígito

RUT: : -

CLIENTE: :

PRIORIDAD DE ATENCION:

Nombre Rut

PRIORIDAD	CLIENTE
4	AGUAS CLARAS S.A
5	ANDIPIERTO GUAYAQUIL S.A.
5	ANGLO AMERICAN SUR S.A
4	BSK SERVICIOS COMPLEMENTARIOS LTDA.
1	CODELCO CHILE
1	CODELCO CHILE DIVISION NORTE
1	CODELCO CHILE DIVISION RADOIRO TOMIC
1	CODELCO CHILE DIVISION SALVADOR
1	CODELCO CHILE DIVISION TENIENTE
1	CODELCO CHILE DIVISION VENTANAS
5	COMERCIAL TRANSMAG LTDA
5	COMPAÑIA PORTUARIA MEJILLONES S.A

Fuente: Elaboración propia

Si desea ingresar un nuevo cliente, los pasos son los siguientes:

1. Presiones en la opción “*Crear Cliente*”, al seleccionar esta opción los campos de la parte superior se activaran para ser llenados
2. Rut: Ingrese el Rut del cliente sin el dígito verificador

Cliente: Identifique al cliente por su nombre

Prioridad de atención: seleccione una prioridad de 1 a 5, siendo 1 la prioridad más alta y 5 la más baja.

3. Una vez completados los campos del punto 2, seleccione *“Guardar Datos”* para que el cliente sea guardado en la base de datos.
4. Para buscar un Cliente selecciones la opción *“Buscar Cliente”*, se desplegará el cuadro inferior que se observa en la imagen, en el cual podrá buscar los distintos clientes por nombre o por Rut, una vez seleccionado el cliente a visualizar, presione la opción *“Ver Detalle”* y este se desplegara en la pantalla de mantención de Clientes junto con todos sus datos, en caso contrario presiones *“Cerrar Ventana”*.
5. Para eliminar un cliente debe repetir el paso 4, elegir un Cliente y seleccionar *“Ver Detalle”* para que este se despliegue en la pantalla de mantención de Clientes, selecciones la opción *“Eliminar Cliente”* y el Cliente será eliminado de la base de datos.
6. Para volver al menú de principal seleccione el boto de la parte inferior derecha *“Volver al menú”*

- Secuencia de Productos.

Si selecciona el modulo Secuencia de Productos. Se desplegara el menú de mantención de Secuencia.

Figura 20: Mantención de secuencia



Fuente: Elaboración propia

Para crear la secuencia de un producto ya ingresado con anterioridad los pasos son los siguientes:

1. Diríjase a la opción "*Crear Secuencia*" y selecciónela, al haber seleccionado esta opción los campos a la izquierda de su pantalla se activaran para ser llenados.
2. Tiempo: ingrese el tiempo de duración de la operación a realizar
Orden: ingrese el orden al que corresponde la operación dentro de la secuencia
Producto: seleccione el producto del cual quiera crear la secuencia
Taller: Seleccione la maquina correspondiente a la operación que desee realizar
3. Una vez completados los pasos anteriores presione en "*Guardas Datos*" para que la secuencia sea guardada en la base de datos
4. El cuadro que ocupa la parte derecha de su pantalla es el buscador de las secuencias cargadas previamente, el cual puede buscar un proyecto en particular presionando la lista desplegable de la parte superior, seleccionando el proyecto y presionando en "*Buscar por Producto*", lo cual devolverá dentro del cuadro el proyecto seleccionado y mostrara su secuencia, orden y maquinas a utilizar.
5. Para volver al menú de principal seleccione el boto de la parte inferior "*Volver al Menú*"

- Orden de producción

Al seleccionar el modulo Orden de producción se desplegara el menú de mantención de Ordenes.

Figura 21: Mantención de ordenes

Fecha: 16-01-2018

Rut: F1 Para ver clientes

Señore(s):

Prioridad:

CODIGO	PRODUCTO	HRS	COSTO PRODUCCION	VALOR MULTA
<input type="text"/>	<input type="text"/>	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>

SECUENCIA DE PRODUCCION

TALLER	TIEMPO (HRS)
<input type="text"/>	<input type="text"/>

TOTAL HORAS 0

Crear OP Cerrar OP Buscar OP GUARDAR Volver al Menu

Fuente: Elaboración propia

Para crear una nueva orden de producción los pasos son los siguientes:

1. Diríjase a la opción “*Crear OP*” y selecciónela, al haber seleccionado esta opción los campos superiores se activaran para ser llenados.
2. Rut: para ingresar un cliente desde la base de datos debe presionar F1, y se desplegara una ventana emergente llamada “*Cientes*” en donde se encuentran todos los clientes previamente ingresados y guardados en la base de datos. Seleccione el cliente elegido para crear la OP y presione aceptar.

Figura 22: Ventana clientes

Fecha: 16-01-2018

Rut: F1 Para ver clientes

Señor(es):

Prioridad:

CODIGO	CLIENTES
23232323	AGUAS CLARAS S.A
88888888	ANDIPIERTO GUAYAQUIL S.A.
24242424	ANGLO AMERICAN SUR S.A.
45454545	BSK SERVICIOS COMPLEMENTARIOS LTDA.
99999999	CODELCO CHILE
11763191	CODELCO CHILE DIVISION NORTE
34343434	CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC
13131313	CODELCO CHILE DIVISION SALVADOR
26262626	CODELCO CHILE DIVISION TENIENTE
17752326	CODELCO CHILE DIVISION VENTANAS
22222222	COMERCIAL TRANSMAQ LTDA
10101010	COMPAÑIA PORTUARIA MEJILLONES S.A
12121212	COMPLEJO METALURGICO ALTONORTE S.A
77777777	CONSORCIO SIGDO KOPPERS COMSA LTDA.
51515151	CONTECON ECUADOR
47474747	CREAM LTDA.
14141414	EQUIPOS Y SERVICIOS DEL ECUADOR
15151515	INGENIERIA Y CONSTRUCCION SIGDO KOPPERS S.A
16161616	IQUIQUE TERMINAL INTERNACIONAL S.A
17171717	LOGISTICA PERUANA DEL ORIENTE
48484848	MAERSK CONSTAINERS INDUSTRY SAN ANTONIO SPA.
49494949	MFM LTDA.
27272727	PETROBRAS CHILE DIST LTDA.
12548975	PRUEBA CLIENTE 12012018
19191919	RODOTRANS CHILE S.A
41414141	SAAM S.A

Botones: Aceptar, Volver

Botones inferiores: Crear OP, Cerrar OP, Buscar OP, GUARDAR, Volver al Menu

Fuente: Elaboración propia

- Los datos de Rut, Señor(es) y prioridad se rellenaran automáticamente con la información del cliente seleccionado.
Luego diríjase a la casilla "Código" la que se encuentra bajo los datos del cliente, y presione *Enter*, para desplegar una ventana emergente como se muestra a continuación:

Figura 23: Ventana productos

PRODUCTOS					
CODIGO	DESCRIPCION	COSTO PROD.	MULTA?		
133	ANILLA BOYA NV	300.000	SI		
78	ANILLAS BOYA	300.000	NO		
103	BANDEJA ALIMENTACION DC	5.500.000	SI		VALOR M
151	BOCA CONVERTIDOR CPS NV	9.000.000	SI		
76	BOCA CONVERTIDOR CPS SP	9.000.000	SI		
50	BOCA CONVERTIDOR PERCE SMITH	9.000.000	SI		
196	BOCA CONVERTIDOR PERCE SMITH DC	9.000.000	SI		
139	BOCA CONVERTIDOR PERCE SMITH NV	9.000.000	SI		
115	BOCA CONVERTIDOR PERCE SMITH DC	9.000.000	SI		
7	BOCA DE GASES	9.000.000	SI		
188	BOCA DE GASES AC36 DC	9.000.000	SI		
114	BOCA DE GASES AC36-DC	9.000.000	SI		
48	BOCA DE GASES CPS 1	9.000.000	SI		
49	BOCA DE GASES CPS 2	9.000.000	SI		
159	BOCA DE GASES CPS NV-1	9.000.000	SI		
160	BOCA DE GASES CPS NV-2	9.000.000	SI		
161	BOCA DE GASES CPS NV-3	9.000.000	SI		
184	BOCA DE GASES CPS123 DC	9.000.000	SI		
166	BOCA DE GASES CPS4 DC	9.000.000	SI		
180	BOCA DE GASES CPS4 DC2	9.000.000	SI		
186	BOCA DE GASES DC	9.000.000	SI		
183	BOCA DE GASES NUEVO DISEÑO DC	9.000.000	SI		

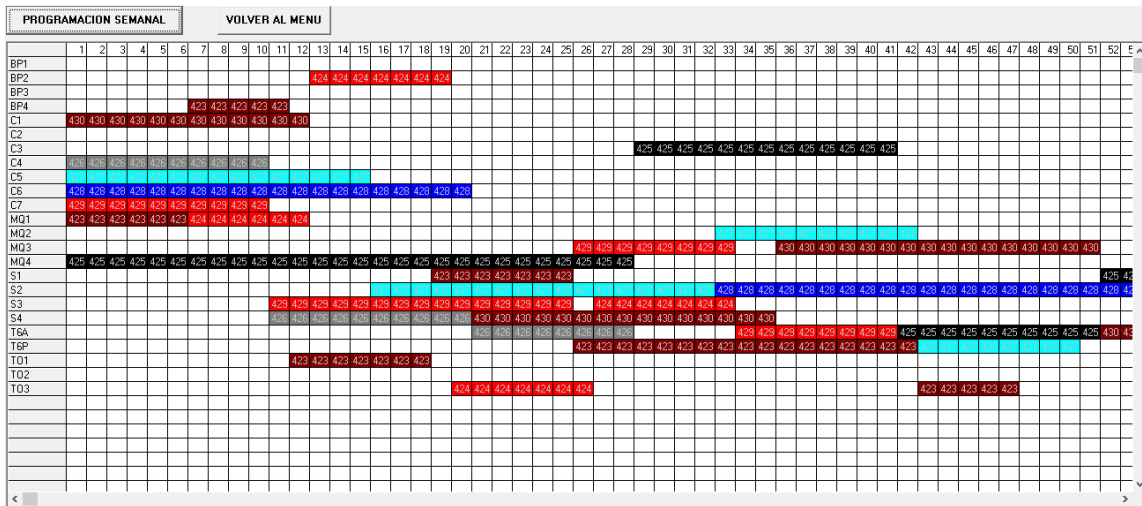
Fuente: Elaboración propia

4. Ya desplegada la ventana emergente de "Productos", proceda a seleccionar el proyecto que se desee programar y presione aceptar, en caso contrario presione cancelar.
5. Si seleccionó aceptar, los datos del proyecto elegido se completarán en los campos que se encuentran aún en blanco.
6. Para volver al menú de principal seleccione el botón de la parte inferior "Volver al Menú".

C. Programación

- Programación Semanal

Figura 24: Programación semanal



Fuente: Elaboración propia

Al entrar al módulo de programación semanal el usuario vera una grilla en blanco, en la primera columna se encuentran las maquinas disponibles y en la primera fila se hallan las horas máquinas, en la parte superior de la grilla se muestran dos opciones:

1. “PROGRAMACIÓN SEMANAL”: al seleccionar esta opción se ejecuta el algoritmo de resolución sobre las ordenes de producción guardadas, tal algoritmo está desarrollado en base al modelo matemático descrito anteriormente. Como resultado se obtiene una gráfica Gantt.
2. “Volver al Menú”: Retorno al menú principal.

D. Salir del software.

Para salir del programa selecciones la opción “Salir” dentro del menú principal