

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA
LEAN MANUFACTURING A UNA EMPRESA DE
FABRICACIÓN DE SELLOS MECÁNICOS”**

**Memoria para optar al Título de:
INGENIERO MECÁNICO**

**ALUMNO : CLAUDIO BAHAMONDES RIQUELME
PROFESOR : SERGIO SOTO SILVA**

2018

RESUMEN EJECUTIVO

Keywords: Lean Manufacturing, 5s, mejora de procesos, Fabricación de repuestos, minería, sellos mecánicos.

La idea de este proyecto nació del requerimiento de satisfacer por un lado las expectativas crecientes del mercado de fabricación y reparación de sellos mecánicos para la industria y mejorar la productividad de la planta.

El horizonte de este proyecto fue evaluado por un período de 5 años, tiempo suficiente para ver el comportamiento y si vale la pena invertir y capacitar a la gente en este cambio cultural que representa este tipo de metodología.

Esta empresa se puso en marcha con máquinas de última generación. Estas máquinas son centros de mecanizados computarizados y un torno con control numérico, lo que permite satisfacer en un alto porcentaje las necesidades de los clientes.

A continuación, se entrega un resumen del contenido de cada capítulo que forma parte de este proyecto.

Capítulo 1: “Diagnóstico y metodología de Evaluación”: Se analizaron los antecedentes generales y específicos del proyecto. Los objetivos planteados, también se detallan el contexto de desarrollo del proyecto y finalmente el tamaño e impactos relacionados con éste, también se expondrá la metodología, definiendo las situaciones con y sin proyecto.

Capítulo 2: “Estudio Técnico”: Analiza el proyecto desde el punto de vista tecnológico; incluye la selección de equipos, procesos productivos, rendimientos, calidad del producto y la determinación de la inversión inicial requerida.

Capítulo 3: “Estudio Económico”: Desarrolla el proyecto desde la perspectiva económica, incluye la selección de equipos tomando decisiones financieras

Conclusión: Se entregan los resultados del trabajo, los resultados de la evaluación económica, y se reconoce todas las variables positivas y/o negativas para la instalación de la planta, la que concluye con un proyecto factible de ejecutar y de buena rentabilidad.

INTRODUCCIÓN

La empresa John Crane Chile S.A. es una empresa americana con más de 100 años de experiencia en el mercado de ingeniería, y fabricación de sistema de sellado de bombas, se ha especializado en diversas industrias, sean estas; Petróleo y Gas, Generación de energía, Química, Farmacéutica, Minería, Alimentos y Bebidas, Procesamiento de pulpa y papel, Gestión de aguas limpias, residuales y en distintos negocios vinculados al sector silvoagropecuario. John Crane Chile S.A. ha incrementado su participación en sectores tales como, celulosa, alimenticio, petróleo y gas y fuertemente en minería, con el objeto de competir de igual a igual con un mercado global en aumento. En el proceso de crecimiento se han creado y adquirido diversas filiales, una de ellas en Chile.

Como la gran mayoría de las empresas se ve enfrentada al reto de controlar los niveles de pérdidas que tiene, derroche de materia prima, los cuales generan gastos en excesos, a esto se suma los innumerables errores que se generan en los procesos productivo y finalmente horas extraordinarias del personal de producción fuera de los márgenes legales. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, esta empresa comenzó a buscar la forma de implantar nuevas técnicas organizativas y de producción que les permitieran competir en un mercado local.

Una técnica consolidada es el modelo Lean Manufacturing o también conocido como fabricación esbelta, modelo que sienta sus bases en el sistema de producción Just in Time (JIT) desarrollado en los años 50 por la empresa automovilística japonesa Toyota. Este modelo Lean consiste en la aplicación sistemática y habitual de un conjunto de técnicas de fabricación que buscan la mejora de los procesos productivos a través de la reducción de todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como los procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios, modelo que tiene como clave generar una nueva cultura que tiende a encontrar la forma de aplicar mejoras en la planta de fabricación, tanto a nivel de puesto de trabajo como de línea de fabricación, y todo ello en contacto directo con los problemas existentes para lo cual se considera fundamental la colaboración y comunicación plena entre directivos, mandos y trabajadores.

Como un prelude a este modelo de gestión Lean Manufacturing, la sección describe y analiza este modelo como filosofía y cultura aplicable a la empresa John Crane Chile S.A., con el fin de generar propuestas de mejoras en el sistema productivo de la empresa, con la utilización y aplicación de las distintas herramientas que ofrece el modelo de gestión de “producción esbelta”, Lean Manufacturing, donde el factor humano toma una especial relevancia como clave en la aplicación de dicha técnica y herramienta, sumado a esto resulta esencial, el compromiso y la participación de la alta dirección y sus acciones de motivar y comunicar a todos los niveles de la empresa.

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	8
OBJETIVOS GENERAL	9
1.1. MARCO TEÓRICO	10
1.1.1. Antecedentes históricos	10
1.1.2. Concepto Lean Manufacturing	12
1.1.3. Definición Lean Manufacturing	12
1.1.4. Objetivo Lean Manufacturing	13
1.1.5. Principios de Lean Manufacturing	13
1.1.6. Metodologías de gestión estratégicas similares a Lean Manufacturing	14
1.1.6.1. Seis Sigma	15
1.1.6.2. Gestión de ciclo de vida del producto	15
1.1.6.3. Teoría de restricciones (TOC)	15
1.1.7. Beneficios del Lean Manufacturing	17
1.1.8. Aplicación de Lean Manufacturing.	17
1.1.9. Casos reales de implantación de 5s	18
1.1.9.1. Atlas Copco Chilena implementa metodología 5S en sus procesos de trabajo	18
1.1.9.2. Implementación en Codelco división El Teniente.	19
1.1.10. Sectores económicos	20
1.2. CONCEPTO DE VALOR AGREGADO VS DEPERDICIOS	22
1.2.1. Valor agregado.	23
1.2.2. Concepto de desperdicio	24
1.3. HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING	27
1.3.1. Demanda	29
1.3.2. Takt Time	30
1.3.3. Takt image (visualizando el flujo de una pieza)	30
1.3.4. Andon	30
1.3.5. Mapeo de proceso (Value Stream Mapping)	31
1.3.6. Flujo continuo	32
1.3.6.1. Flujo Continuo (One piece flow)	33
1.3.7. Células de Manufactura	34
1.3.8. Balanceo de línea	35
1.3.8.1. Tiempo de ciclo (T/C)	35
1.3.9. Trabajo estandarizado	35
1.3.10. Cambios rápidos (SMED)	36
1.3.11. Mantenimiento autónomo	36
1.3.12. Mantenimiento productivo Total (TPM)	37

1.3.13. Jidoka (Automatización con toque humano)	37
1.3.14. JIT (Justo a tiempo)	38
1.3.15. Sistema Kanban	38
1.3.16. 5 S	38
1.3.17. Fábrica y administración Visual	39
1.3.18. Poka-yoke (A prueba de errores)	40
1.3.19. Kaizen (Mejoramiento continuo)	40
1.3.20. Hoshin Kanri	40
1.3.21. Nivelación	41
1.3.22. Heijunka (nivelación de carga)	41
1.3.23. Caja heinjunka	41
1.3.24. Retiro constante (paced withdrawal)	41
2. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO	43
2.1. Descripción y funcionamiento de pedidos.	44
2.2. Capacidad de planta	47
2.3. Demanda actual	48
2.4. Demanda futura	50
2.5. Plan de acción	51
2.6. Análisis FODA.	51
2.6.1 Fortalezas	51
2.6.2. Debilidades	52
2.6.3. Oportunidades	53
2.6.4. Amenazas	53
3. DESCRIPCIÓN Y PROCESOS DE FABRICACIÓN	54
3.1. Tipos de mecanizados	55
3.2. Diagrama de flujo de producción	58
3.3. Selección de herramientas de taller	60
3.4. Vida esperada del proyecto	
4. COSTOS	61
4.1. Tiempos de mecanizado por tipo de pieza	61
4.1.1. Ranurado con fresas	65
4.1.2. Mecanizado en rampa	66
4.1.3. Machos de roscar	67
4.1.4. Roscado en fresadora	68
4.2. Costos de herramientas	70
4.3. Costos de horas extras	72
4.4. BAUE	75

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

SIGLAS

VMS:	Mapa de la cadena de valor
LM:	Lean Manufacturing
JIT:	Just In Time (Justo a Tiempo)
TPM:	Mantenimiento Productivo Total
TPS:	Sistema Productivo Total
TQM:	Total quality management (Calidad Productiva Total)
HM:	Horas Máquinas
HH:	Horas Personas
VAN:	Valor Actual Neto
TIR:	Tasa de Interna de Retorno
TT:	Takt Time
OT:	Orden de trabajo
KPI:	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Rendimiento).
SMED:	Single Minute Exchange of Die (Cambio de utillaje en menos de diez minutos)

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Evolución histórica de Lean Manufacturing	12
Figura 1-2. Charlas de concientización en Codelco Teniente	20
Figura 1-3. Antes y después de la implementación de 5s, Codelco Teniente	20
Figura 1-4. Clasificación de los sectores productivos	22
Figura 1-5. Pensamiento Lean Manufacturing por sobre el tradicional	24
Figura 1-6. Desperdicios en una línea productiva	25
Figura 1-7. Niveles para aplicación de Lean Manufacturing	29
Figura 1-8. Los tres niveles de la manufactura esbelta	30
Figura 1-9. Pasos para un mapeo de procesos flujo continuo	33
Figura 1-10. Flujo continuo One piece flow	34
Figura 1-11. Sistema de producción de empujar v/s jalar (Push v/s pull)	35
Figura 1-12. Célula de fabricación	36
Figura 1-13. Resumen de las 5s	40
Figura 1-14. Estructura de facturación Manufacturing	43
Figura 2-1. Partes de un sello mecánico	45
Figura 2-2. Flujo de proceso liberación de requerimiento a producción	47
Figura 2-3. Layout de planta antes de la mejora	49
Figura 4-1. Dispositivos de sujeción estandarizado	65
Figura 4.2. Mecanizado frontal con inserto diámetro 16 mm.	65
Figura 4.3. Mecanizado en rampa	66
Figura 4.4. Brida Acero Inoxidable AISI 316, sometida a estudio	67
Figura 4.5. Inserto diámetro 16 mm para acero AISI 316.	67
Figura 4.6. Machos de roscar	69

Figura 4.7. Fresa de roscar	70
Figura 4.7. Broca con insertos	74
Figura 4.8. Condiciones de corte	75

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Comparativo de metodologías de gestión estratégicas	16
Tabla 1-2. Los 7+1 tipos de desperdicios	25
Tabla 2-1. Matriz EFI	52
Tabla 2-2. Matriz EFE	53
Tabla 4-1. Indicadores de producción	62
Tabla 4-2. Tiempos de ciclo de producción antes de la mejora	63
Tabla 4-3. Tiempos de ciclo de producción después de la mejora	63
Tabla 4-4. Tiempos de ciclo de producción piezas de mayor rotación	64
Tabla 4.5. Comparativo de tiempo con fresado frontal V/S en rampa	67
Tabla 4.6. Comparativo de tiempo con macho de roscar V/S fresa de roscar	70
Tabla 4-7. Velocidad de corte para brocas de Cobalto	71
Tabla 4-8. Comparativo de tiempo brocas cobalto v/s Insertos	76
Tabla 4-9. Comparativo de costos de herramientas	77
Tabla 4-10. Costos de herramientas seleccionadas a invertir	78
Tabla 4-11. Costos de insertos de herramientas, mensuales y anual, área CNC	78
Tabla 4-12. Costo promedio de horas extras	79
Tabla 4-13. Costo promedio de horas extras después de la mejora	80
Tabla 4-14. BAUE	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1. Áreas de aplicación de Lean Manufacturing	18
Gráfico 2-1. Horas extras del área de producción, período de 2 años	49
Gráfico 2-2. Facturación mensual, período de 2 años	50
Gráfico 2-3. Proyección de crecimiento de la demanda sin mejora	51
Gráfico 4-1. Comparativo de tiempos antes y después de la mejora	64
Gráfico 4-2. Comparativo de tiempo con fresado frontal V/S en rampa	68
Gráfico 4-3. Comparativo de tiempo con macho de roscar V/S fresa de roscar	70
Gráfico 4-4. Comparativo de tiempo brocas cobalto v/s Insertos	76
Gráfico 4.5. Registro de horas extras periodo de 2 años, antes de la mejora	80
Gráfico 4.6. Registro de horas extras periodo de 1 años, después de la mejora	81

1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La empresa americana John Crane realiza la adquisición de la empresa chilena General Seal, en el año 2005, empresa que se dedicaba a la fabricación y mantención de sellos mecánicos, para satisfacer la demanda de diversas industrias, tales como, Petróleo y Gas, Generación de energía, Química, Farmacéutica, Minería, Alimentos y Bebidas, Procesamiento de pulpa y papel, Gestión de aguas limpias y residuales. La empresa chilena no trabaja con ningún procedimiento de trabajo, además no emplea tecnología en sus diseños y menos en el área de producción. Sus máquinas y herramientas no eran competitivas para satisfacer la demanda y menos podían cumplir con los tiempos de entrega tan acotados que exige el mundo industrial. Tras realizar la adquisición de esta empresa, se realiza la compra de maquinaria de Control Numérico Computarizado, sean estos torno y centro de mecanizado conocidas por sus siglas en inglés CNC, pero al no contar con personal calificado en la operación y programación de estas máquinas los tiempos de entrega en vez de mejorar, estos aumentaron llegando a 45 días de entrega, lo cual trae consigo una serie de problemas, lo que se mencionan a continuación:

- Plazo de entregas elevadas. (lead time delivery)
- Elevados costos de fabricación.
- Exceso de horas extras.
- Retrabajo de piezas terminadas.

Es por ello, que se decide realizar un cambio drástico a nivel de producción, implementando la metodología Lean Manufacturing la cual es una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios. Identifica varios tipos de “desperdicios” que se observan en la producción: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos.

Dentro de las herramientas Lean Manufacturing se encuentran una serie de metodologías que apunta a disminuir los “desperdicios”, sean estos, Kaizen, 5s, TPM, Pokayoke, SMED, Kanban, Celularización, Mapa de Procesos, Sistema de Jalar, Control visual.

Con este trabajo se busca utilizar una o más metodologías, para cumplir con la reducción de los tiempos de entrega, reducción de horas extras, reducir los costos de fabricación, realizar una mejora continua a los procesos del área de producción. Para ello se pretende hacer un estudio técnico del estado actual y plantear tecnología en herramientas para reducir los tiempos, todo ello contrarrestándolo con una evaluación económica para poder determinar si es rentable o no hacer esta implementación.

Dentro de los objetivos que se busca conseguir están:

Objetivos:

Objetivo General.

- Realizar la implementación de la metodología lean manufacturing a una empresa de ingeniería y fabricación de sellos mecánicos.
- **Objetivos Específicos.**
- Realizar estudio de este tipo metodologías Lean.
- Explicar los diferentes componentes y tipos de materiales para la fabricación de un sello mecánico.
- Seleccionar la o las herramientas de la metodología Lean para ser utilizadas en el taller de fabricación.
- Evaluar técnica y económicamente el impacto de esta implementación.

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1 Antecedentes históricos

Taylor estableció las primeras bases de la organización de la producción a partir de la aplicación de método científico a procesos, tiempos, equipos, personas y movimientos. Posteriormente Henry Ford introdujo las primeras cadenas de fabricación de automóviles en donde hizo un uso intensivo de la normalización de los productos, la utilización de máquinas para tareas elementales, la simplificación de tareas y recorridos, la sincronización entre procesos, la especialización del trabajo y la formación especializada. Ambos casos consisten en conjuntos de acciones y técnicas que buscan una nueva forma de organización.

La ruptura con estas técnicas se produce en Japón, en donde nace el primer indicio reconocido con el pensamiento Lean Manufacturing. En 1902, Sakichi Toyoda, inventó un dispositivo que detenía el telar cuando se rompía el hilo e indicaba con una señal visual al operador que la maquina necesitaba atención. Este sistema de “automatización con un toque humano” permitió separar al hombre de la máquina. Con esta simple y efectiva medida un único operario podía controlar varias máquinas, lo que supuso una tremenda mejora de la productividad que dio paso a una preocupación permanente por mejorar los métodos de trabajo.

Los japoneses querían lograr beneficios de productividad sin recurrir a economías de escala. En base a esto estudiaron los métodos de producción de Estados Unidos, con especial atención a las prácticas productivas de Ford, el control estadístico de procesos desarrollado por W. Shewart, las técnicas de calidad de Edwards Deming y Joseph Moses Juran, junto con las desarrolladas en el propio Japón por Kaoru Ishikawa.

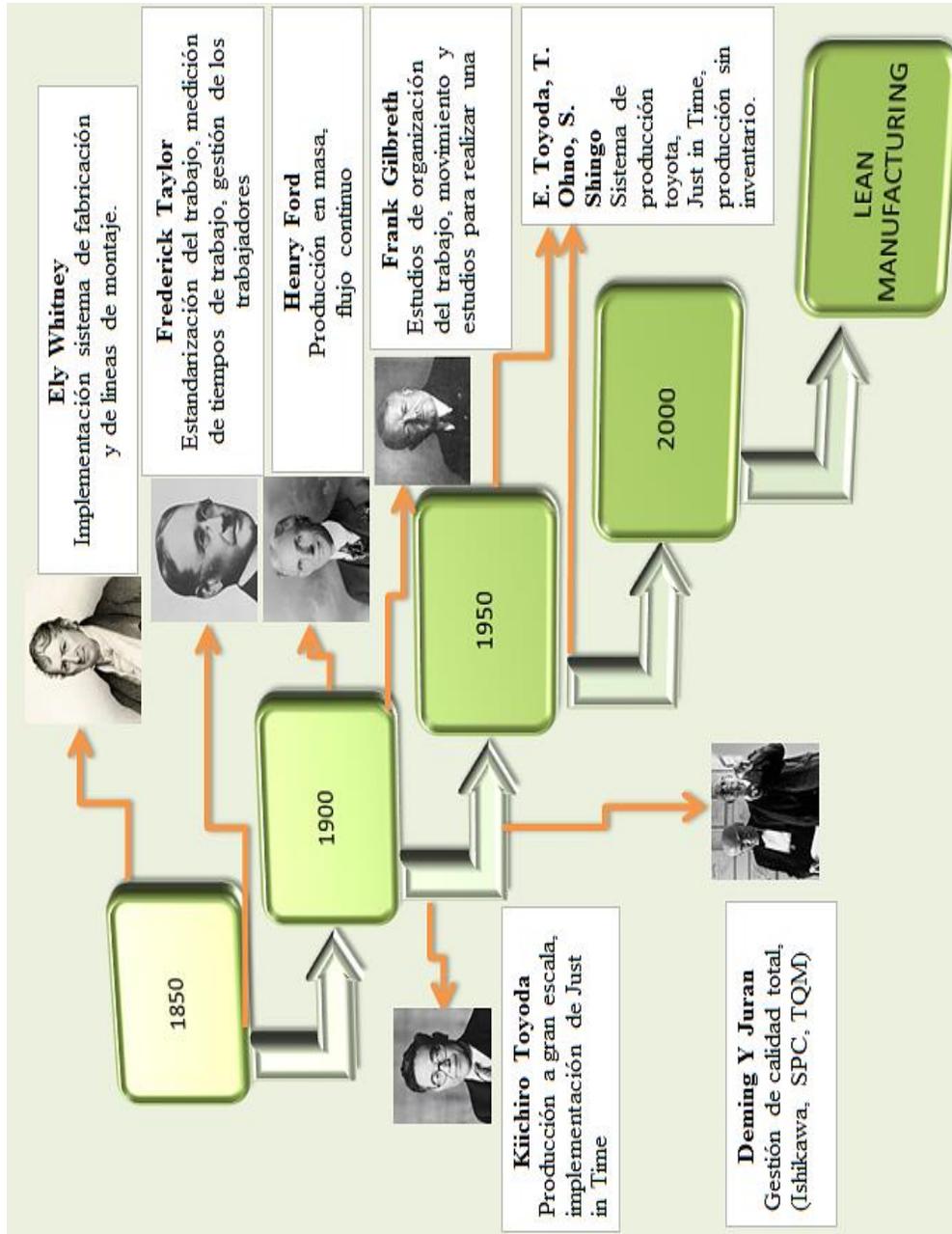
Dos jóvenes ingenieros de la empresa, Eiji Toyoda (sobrino de Kiichiro) y Taiicho Ohno, visitaron las empresas automovilísticas americanas. Por aquel entonces el sistema americano proponía la reducción de costes fabricando vehículos en grandes cantidades pero limitando el número de modelos. Observaron que el sistema americano no era aplicable a

Japón y que el futuro iba a pedir construir automóviles pequeños y modelos variados a bajo costo. Esto solo sería posible suprimiendo los stocks y toda una serie de desperdicios, incluyendo los de aprovechamiento de las capacidades humanas.

En base a estas reflexiones, Ohno estableció las bases del nuevo sistema de gestión JIT/Just in Time (Justo a tiempo), también conocido como TPS (Toyota Manufacturing System). El sistema formulaba un principio muy simple: “producir solo lo que se demanda y cuando el cliente lo solicita”.

El trabajo de Ohno se complementó con los trabajos de Shigeo Shingo, también ingeniero industrial de Toyota, que estudió detalladamente la administración científica de Taylor y teorías de tiempos y movimientos de Gilbreth, Shingo entendió la necesidad de transformar las operaciones productivas en flujos continuos, sin interrupciones, con el fin de proporcionar al cliente únicamente lo que requería, focalizando su interés en la reducción de los tiempos de preparación.

Sin embargo, pese a todos estos antecedentes, no es hasta principios de la década de los 90, cuando el modelo japonés tiene “un gran eco” en occidente y lo hace a través de la publicación de “La máquina que cambió el mundo” de Womack, Jones y Roos. En este libro se sintetiza el “Programa de Vehículos a Motor” que se realizó en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) con el fin de contrastar, de una forma sistemática, los sistemas de producción de Japón, Europa y Estados Unidos. En esta obra fue donde por primera vez se utilizó la denominación Lean Manufacturing.



Fuente: Elaboración Propia
 Figura 1-1. Evolución histórica de Lean Manufacturing.

1.1.2. Concepto Lean Manufacturing

Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios. Identifica varios tipos de “desperdicios” que se observan en la producción: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos.

1.1.3 Definición Lean Manufacturing

A la hora de definir el significado de Lean Manufacturing es el elevado número de términos en español con los que las empresas se refieren a estas técnicas. Dependiendo de la industria o del autor se encontrarán traducciones como producción/fabricación delgada, ajustada, ágil, esbelta o incluso, sin grasa. Por otra parte, las empresas han adaptado como universales palabras en inglés o japonés que han pasado a ser parte del vocabulario técnico de las empresas que adoptan metodología Lean. A lo largo de este trabajo se utilizará la denominación “Lean Manufacturing” debido a que la variedad de traducciones aplicadas a este término puede inducir a error y, por otro, por el hecho de ser ésta la expresión más utilizada entre los profesionales. No obstante, en numerosas ocasiones se hará referencia exclusivamente a la denominación “Lean” dado que puede aplicarse en entornos distintos a fabricación.

1.1.4. Objetivo Lean Manufacturing

El objetivo de la metodología Lean Manufacturing es el de generar una cultura de la mejora basada en la comunicación y en el trabajo en equipo; identificando y eliminando los desperdicios dentro de la cadena de valor del proceso, produciendo exclusivamente lo que se solicita y cuando se necesita, empleando el mínimo de recursos (personas, materiales, máquinas, espacio, etc.), logrando implantar la eficacia en todos los procesos de negocio con el fin de generar lo que realmente es de valor para el cliente final

1.1.5. Principios de Lean Manufacturing

Los principios de Lean Manufacturing son de aplicación en toda la cadena de valor, desde el proceso de pedidos a proveedores hasta la distribución y entrega del producto al cliente. En todas las etapas es posible eliminar desperdicios, mejorar la calidad, reducir los costos y aumentar la flexibilidad. Es así como se identifican cinco principios claves, los cuales son:

- I. **Definir el valor desde la perspectiva del cliente (eliminar desperdicios)**, o comprensión de lo que es valor para el cliente, el consumidor final es el que decide lo que es importante y le aporta valor, las actividades de valor añadido son aquellas que el cliente final está dispuesto a pagar por ellas. Todas las otras actividades son “desperdicios” (MUDA).
- II. **Identificar el mapa de la cadena de valor (VSM)**, o estudio de las fases de proceso de producción para tener claro las que añaden valor o las que deben ser eliminadas, en otras palabras, un flujo de valor son secuencias de actividades que permiten responder a una necesidad del cliente.
- III. **Optimizar el flujo (sin interrupciones)**. Se debe lograr un movimiento continuo del producto a través de la corriente de valor, esto al quitar obstáculos innecesarios en el proceso.
- IV. **Extraer Valor al cliente (PULL)**. Esto es dejar que los clientes tiren la producción, en la que los equipos de proyectos deberían permitir a sus clientes que se involucren en su proceso. El producto no termina hasta que los clientes no hacen su pedido.
- V. **Buscar permanentemente la perfección (mejora continua)**, en la medida que se eliminan los pasos innecesarios y los flujos de trabajos se adaptan a los pedidos de los clientes, se comprueban las reducciones de costos, esfuerzos y tiempo de trabajo en todas las áreas, donde se sigue trabajando constantemente para conseguir unos ciclos de producción más cortos, obtener la producción ideal (calidad y cantidad) y focalizar los esfuerzos en el valor para el cliente

1.1.6. Metodologías de gestión estratégicas similares a Lean Manufacturing

Otras herramientas o metodologías que tienen más relevancia en la aplicación de mejora de procesos son: Seis sigma, gestión de ciclo de vida del producto (Product Lifecycle Management, PLM) y Teoría de restricciones (Theory of constraints, TOC), todas estos enfoques vienen a la mejora de diversas direcciones, de los cuales se obtiene resultados muy superiores al empirismo vigente, por lo menos en los primeros años. Pues cada una de esas metodologías trae una contribución única e imprescindible para cualquier organización seriamente empeñada en el mejoramiento continuo

1.1.6.1. Seis Sigma

Es un herramienta de gestión estratégica del desempeño. Es la evolución de calidad total (TQM – Total Quality Management) que incluye como herramientas para mejora de procesos al control estadístico (SPC).

El objetivo fundamental que seis sigmas desea cumplir, es la reducción de la variabilidad de los procesos para contribuir con la disminución del desperdicio y la mejora de la productividad.

1.1.6.2. Gestión de ciclo de vida del producto

La gestión del ciclo de vida del producto (Product Lifecycle Management, PLM) es una estrategia de información que posibilita construir una estructura de datos coherente, consolidando sistemas.

PLM también puede denominarse una estrategia empresarial, la cual permite que las organizaciones globales trabajen como un equipo unificado para diseñar, producir, dar soporte y retirar productos del mercado, al mismo tiempo, recoger las prácticas recomendadas y lecciones aprendidas durante el proceso.

1.1.6.3. Teoría de restricciones (TOC)

La teoría de restricciones es una herramienta de software y procesos de soporte para mejorar el flujo de las cadenas productivas y operaciones (OPT), es una herramienta que indica que la única forma de asegurar una mejora permanente requería enseñar y educar a la gerencia y las personas de las organizaciones. Esta idea se concretó con su novela The Goal (La Meta, 1984) escrita por Eliyahu M. Goldratt (1947-2011), que se ha convertido en uno de los libros de gerencia más vendidos y utilizado aún en las principales escuelas de ingeniería y operaciones.

Tabla 1-1. Comparativas de metodologías de gestión estratégicas

Comparativas de estrategias de gestión				
	Lean Manufacturing	Seis sigma	Gestión de ciclo de vida del producto (PLM)	Teoría de restricciones (TOC)
Teoría	Eliminar los desperdicios	Reducir Variación	Gestión empresarial a nivel del producto	Manejar las restricciones
Comparativas de estrategias de gestión, ventajas de LM sobre otras herramientas de gestión		1) Frente a LM, seis sigma no es usado correctamente ya que es complicada de utilizar.	1) PLM es aplicable a cadenas productivas que tienen alto valor agregado, respecto a LM que puede ser aplicado a procesos con poco valor agregado.	1) al contrario de LM, TOC posee una falta de transparencia, puesto que emplea un algoritmo no publicado para programar la planta de producción.
		2) Frente a LM, seis sigma tiende a perder la interdependencia que existe entre los miembros de la empresa.	2) PLM es orientada al marketing del producto, mientras que LM es orientada a los flujos de procesos.	2) Para su aplicación requiere de mayor conocimiento y capacitaciones en áreas de programación finita.

	3) Al contrario de LM, seis sigma está diseñada para ignorar el costo, con el fin de centrarse en la calidad.	3) Frente a LM. PLM es una metodología de alto valor y de tiempos de aplicación extensos.	3) TOC se adecua a ambientes estables, a comparación de LM es aplicable a ambientes estáticos y dinámicos
--	---	---	---

Fuente: Elaboración Propia

1.1.7. Beneficios del Lean Manufacturing

El pensamiento Lean evoluciona permanentemente como consecuencia del aprendizaje, que se va adquiriendo sobre la implementación y adaptación de las diferentes técnicas a los distintos entornos industriales e, incluso, de servicios.

Para definir los beneficios que se obtienen al implementar un modelo de gestión bajo el Lean Manufacturing, es necesario que el modelo lleve a las organizaciones que decidan incorporarlo, a que se mejoren diversos aspectos, que afectan las actividades en su operación diaria; algunos de estos beneficios son:

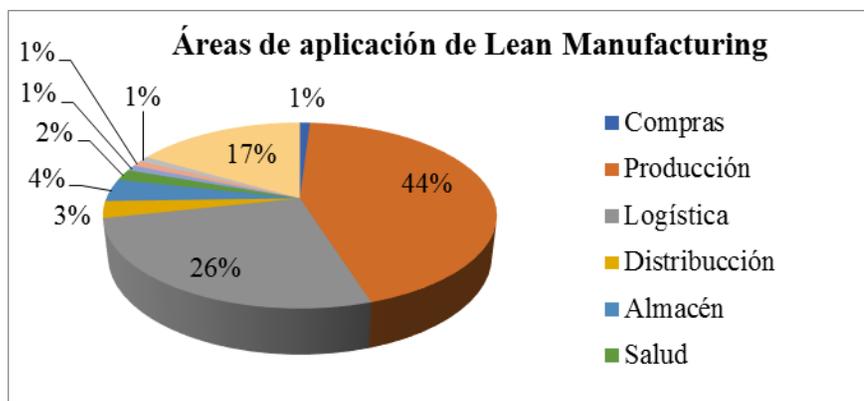
- ✓ Reducción en el tiempo de manufactura.
- ✓ Distancias más cortas entre los movimientos de los materiales.
- ✓ Reducción de inventarios.
- ✓ Mayor responsabilidad a las demandas del mercado.
- ✓ Trabajadores más comprometidos en la resolución de problemas.
- ✓ Reducción de los costos de calidad y desperdicios.
- ✓ Mejoras en calidad.

1.1.8. Aplicación de Lean Manufacturing.

En relación con el área de aplicación del Lean Manufacturing, esta es muy abundante dentro de todas los tipos de industrias, siendo dentro de las empresas los aspectos más relevantes los cuales Lean Manufacturing mejora son: producción, seguida del área de

logística, almacén, distribución. Dichas áreas son de mayor interés para la aplicación de las herramientas Lean Manufacturing.

Gráfico N°1-1 Áreas de aplicación de Lean Manufacturing.



Fuente: Elaboración Propia.

1.1.9. Casos reales de implantación de 5s

Algunas empresas en Chile que han implementado esta metodología son:

1.1.9.1. Atlas Copco Chilena implementa metodología 5S en sus procesos de trabajo

Atlas Copco Chile, implementó la metodología de trabajo que busca generar eficiencias y ser una aporte a la mejora continua.

Se trata de la Metodología 5S, la cual se encuentra inserta en la filosofía LEAN, una cultura que busca continuamente una forma mejor de hacer las cosas. Se trata de una técnica de gestión japonesa basada en cinco principios simples, denominados 5S por su traducción al español:

La metodología 5 s tiene como objetivo mantener un ambiente laboral de calidad, organizado, limpio y seguro. Entre los beneficios de incorporar esta metodología al trabajo diario se encuentra el aumento de la motivación y compromiso de los trabajadores, la disminución de accidentes laborales, rápido acceso a determinados objetos permitiendo la disminución del tiempo muerto, entre otros.

La aplicación de la metodología en Atlas Copco Chile se está realizando en una zona de reparación de perforadoras del Taller de Servicio de Minería en Santiago y recientemente se inició la implementación en el Taller de Minería de la sucursal de Antofagasta. Las próximas etapas incluyen llegar con la metodología a las faenas mineras en la que se mantienen contratos de servicio.

1.1.9.2. Implementación en Codelco división El Teniente.

Esta implementación parte el año 2013 con la filosofía Lean, en donde se inicia evaluando ¿Qué es LEAN?. Luego se pasa a la etapa de diagnóstico, diseño e implementación, con lo cual buscaban obtener una excelencia operacional, en donde los supervisores juegan un rol clave de implementación. Algunas imágenes del antes y el después de implementación se ve a continuación.



Figura 1-2. Charlas de concientización en Codelco Teniente

Fuente: http://www.ansco.cl/files/PPT_para_JBV.pdf

Impactos que han tenido al implementar esta metodología.



Figura 1-3. Antes y después de la implementación de 5s, Codelco Teniente

Fuente: http://www.ansco.cl/files/PPt_para_JBV.pdf

1.1.10. Sectores económicos

Toda actividad económica se basa y divide en **sectores económicos**. Cada sector hace referencia a una parte de la actividad económica con características comunes y en relación a los procesos de producción que ocurren dentro de ellos.

División clásica de la economía

Las **actividades económicas** son las que realizan tanto las personas y familias como las empresas y administraciones públicas para poder subsistir. Se pueden dividir en tres partes: producción, distribución y consumo.

En función de la división de la economía clásica, las actividades económicas se clasifican en tres grupos, denominados sectores de la economía. Son los siguientes: sector primario, secundario y terciario.

- Dentro del **sector primario o agropecuario** incluiríamos las actividades mediante las cuales se adquieren de la naturaleza alimentos y materias primas. Por ejemplo, son actividades de este sector la agricultura, la ganadería, la pesca, la explotación forestal y la minería.
- El **sector secundario o industrial** engloba a las actividades económicas que transforman las materias primas en productos elaborados. Por tanto, serían todas las vinculadas con la industria.
- Por último, en el **sector terciario o de servicios** tienen lugar las actividades que prestan servicios a la sociedad, como el comercio, el transporte, la educación, el ocio, etc.



Figura 1-4. Clasificación de los sectores productivos

Fuente: <https://rosafernandezsalamancaprimaria.blogspot.com/2016/02/el-trabajo-sector-primario-secundario-y.html>

En cada uno de los sectores mencionados anteriormente es factible la implementación de la metodología lean manufacturing, como se vio en los casos reales de la sección 1.1.9.

La aplicación de esta filosofía organizacional es fundamental al éxito de una empresa, donde la implementación es prácticamente nula, entendiendo que no se encuentra ninguna empresa en el mundo que se sostenga en el tiempo sin aplicar la mayoría de estas técnicas de manera adecuada,

Se recomienda hablar y concientizar a los empleados de la importancia y utilidad que traerá la implementación de nuevos métodos, para que ellos sepan porque se están haciendo las cosas y se comprometan a colaborar, de otro modo ellos rechazarán lo nuevo, ya que el ser humano por naturaleza tiende a rechazar lo desconocido. La compañía que quiera implantar Lean en su entorno debe documentarse bien, acerca de esto. Primeramente afrontar la fase Pre-Lean, para posteriormente proceder a la implementación de Lean, teniendo en cuenta los resultados de ambientes similares al suyo de acuerdo con la documentación consultada.

1.2. CONCEPTO DE VALOR AGREGADO VS DESPERDICIOS

Lean Manufacturing propone un cambio radical cultural dentro de los procesos de la empresa. Este cambio consiste en analizar, medir la eficiencia y productividad de todos los procesos en términos de “valor añadido” y “despilfarro”.

El valor se añade cuando todas las actividades tienen el único objetivo de transformar las materias primas del estado en que se han recibido a otro de superior acabado que algún cliente esté dispuesto a comprar. El valor añadido es lo que realmente mantiene vivo el negocio. Su cuidado y mejora debe ser la principal ocupación de todo el personal de la cadena productiva.

Mientras tanto, se define como “desperdicios o despilfarro” todo aquello que no añade valor al producto, o que no es absolutamente esencial para fabricarlo.

Cabe señalar que existen actividades necesarias para el sistema o proceso, aunque no tengan un valor añadido. En este caso estos desperdicios tendrán que ser asumidos.

Si las empresas actúan en la línea de la eliminación de los desperdicios dispondrán de la herramienta más adecuada para mejorar sus costos. Justamente Lean surgió cuando las empresas ya no podían vender productos a partir del cálculo de sus costes, más un porcentaje de incremento por beneficios.

1.2.1. Valor agregado.

La primera pregunta en esta metodología dentro del sistema de producción es. ¿Qué es lo que el cliente espera de este proceso?

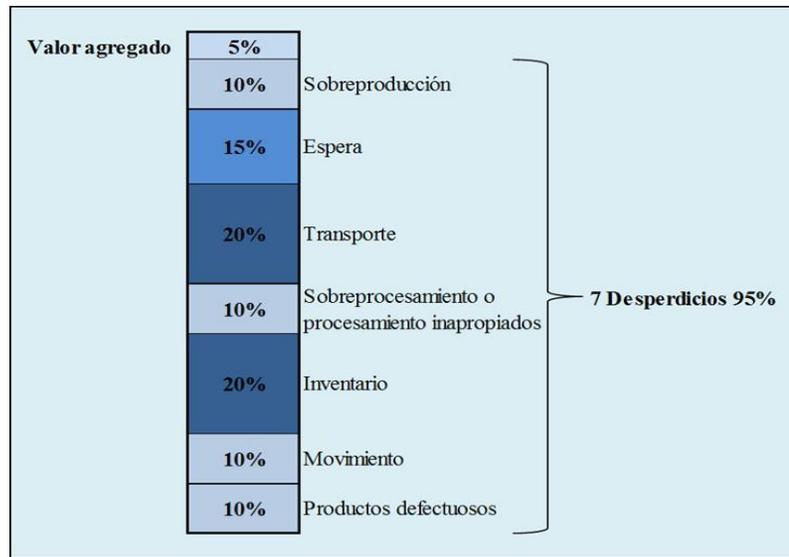
Valor para el cliente significa dar algo en lo cual se sienta realmente agradecido, haber cumplido con lo que se esperaba o, aún mejor, haber cumplido con lo que se necesitaba y lo que se quería. En otras palabras, el valor agregado es cualquier actividad que incremente la forma del producto o servicio, dichas actividades el cliente está en disposición de pagar por ellas.

1.2.2. Concepto de desperdicio

Es todo el valor no agregado o sea es cualquier actividad que no incremente la forma o la función del producto, por lo cual el cliente no está en posición de pagar por ellas, por ende estas actividades deben ser eliminadas o reducidas.

Lean Manufacturing establece como objetivo principal en cualquier sistema la eliminación del “desperdicio”, que es todo aquello que no agrega valor al proceso y por el cual el cliente no está dispuesto a pagar.

Los principales desperdicios que establece la metodología Lean son:
Sobre producción – espera – transporte – sobre procesamiento o procesamiento incorrecto – inventario – movimientos – productos defectuosos.



Fuente: Villaseñor, Lean Manufacturing

Figura 1-6. Desperdicios en una línea productiva

Para comprender de mejor manera el concepto de desperdicio, a continuación se presentan pensamientos sobre el concepto de desperdicios.

Ohno (1988) afirma, Cuando se piensa en la eliminación absoluta del desperdicio, se debe mantener en mente dos puntos: la eficiencia en el mejoramiento, y todo lo que es fuera del mínimo necesario de materiales, equipamiento, partes, espacio y tiempo para el proceso.

Galgano (2004) define el desperdicio de manera muy simple: cualquier actividad desarrollada por una empresa que consume recursos y no produce valor para el cliente.

Las diferentes definiciones apuntan al mismo objetivo, el cual es, eliminar las ineficiencias que afectan los ingresos de las empresas; el precursor en el proceso de identificación fue Ohno quien en su tarea de reestructurar y mejorar la posición de Toyota identificó siete desperdicios que se presentan desde la recepción de la orden hasta la estrategia del producto. Sin embargo, hoy en día se suma el tipo de desperdicio por factor humano, los cuales en conjunto son mencionados por la metodología Lean Manufacturing como 7+1 Tipos de Desperdicios los cuales son detallados en la tabla 1-2

Tabla 1-2. Los 7+1 Tipos de desperdicios

LOS 7+1 TIPOS DE DESPERDICIOS			
Nº	Desperdicios	Características - Descripción de desperdicios	Causas Posibles
1	Sobreproducción	Producir mayor cantidad de artículos que lo requerido, esto es producir productos antes de que el consumidor lo requiera, esto provoca que las partes sean almacenadas y se incremente el inventario, así como el costo de mantenerlo.	<ul style="list-style-type: none"> > Procesos no capaces y poco fiables > Automatización insuficiente > Respuestas a las previsiones, no a las demandas > Falta de comunicación > Equipamiento obsoleto > Equipos sobe dimensionados
2	Tiempo de espera	Corresponde a operarios esperando por información o materiales para la producción, esperas por averías de máquinas o clientes a la espera para atención,	<ul style="list-style-type: none"> > Procesos no estandarizados > Layout deficiente (dispersión de procesos) > Falta de maquinaria apropiada > Baja coordinación entre personal > Cambios de utillaje elevados > Producción en grandes lotes
3	Transporte	El movimiento innecesario de algunas partes (movimiento o manipulación de material o bienes) durante el proceso productivo es un desperdicio.	<ul style="list-style-type: none"> > Layout obsoleto > Gran tamaño delos lotes > Procesos deficientes y pocos flexibles > Reprocesos frecuentes
4	Sobre-procesamiento o procesos inapropiados	No tener claro los requerimientos de los clientes causa que en la producción se hagan procesos innecesarios, los cuales agregan costos en lugar de valor al producto o servicio, también el uso de equipos y herramientas inapropiadas, agregan valor al proceso.	<ul style="list-style-type: none"> > Layout Obsoletos > Tiempos de preparación elevados > Excesivos almacenes intermedios > Baja eficiencia de los operarios y las máquinas > Programas de producción no uniformes
5	Inventario	Excesos de materia prima o productos terminados causan largos tiempos de entrega, obsolescencia de productos, productos dañados, costos por transportación, almacenamientos y retrasos.	<ul style="list-style-type: none"> > Procesos con poca capacidad > Cuellos de botella no identificados > Previsiones de ventas erróneas > Sobreproducción > Retrocesos por defectos de calidad > Baja eficiencia de los operarios y las máquinas
6	Movimientos Innecesario	Cualquier movimiento innecesario hecho por el personal durante sus actividades productivas, tales como mirar, buscar y acumular partes, herramientas significan un desperdicio.	<ul style="list-style-type: none"> > Layout obsoleto > Procesos pocos flexibles > Programas de producción no uniformes > Reprocesos frecuentes > Excesivos almacenes intermedios > Gran tamaño delos lotes

7	Productos defectuosos	Producción de partes defectuosas. Reparaciones, scrap, reemplazo en la producción e inspección significan manejo, tiempo y esfuerzo desperdiciado.	<ul style="list-style-type: none"> > Procesos no capaces y poco fiables > Proveedores no capaces > Poca experiencia de operarios > Técnica de procesos inadecuados > Procesos Productivo mal diseñado > Errores de los operarios
8	Talento Humano	Pérdidas de aportes en ideas y oportunidades de mejoramiento	<ul style="list-style-type: none"> > Falta de capacitación de personal > Falta de conocimiento en los 7 desperdicios anteriores > Uso de creatividad sin conocimiento previo

Fuente: Elaboración Propia

1.3. HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING

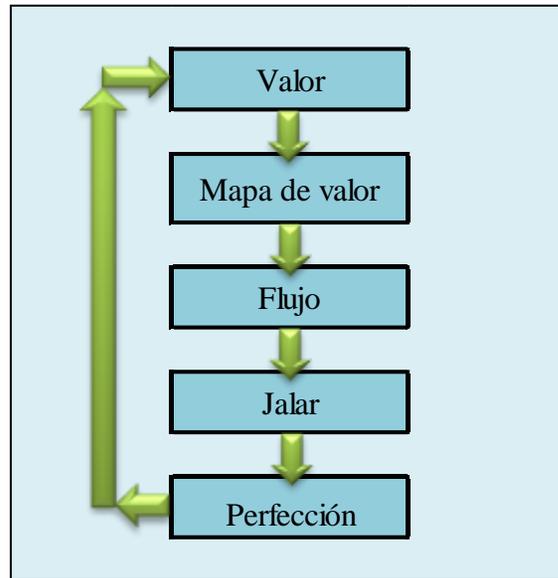
Lean Manufacturing es una herramienta de gestión estratégica que utiliza una serie de herramientas para poder cumplir sus objetivos, pero estas herramientas de nada sirven si no existe un compromiso por parte de la empresa. A continuación se detalla la forma correcta de implementar la metodología para que sea eficiente.

La manufactura esbelta tiene un proceso de 5 pasos para su implementación, los cuales son:

1. Definir que agrega valor para el cliente.
2. Definir y hacer el mapa del proceso.
3. Crear flujo continuo
4. Que el consumidor “jale” (termino empleado en la metodología Lean) lo que quiere.
5. Esforzarse por la excelencia y alcanzar la perfección

Para (Villaseñor,2007) ser un empresa esbelta requiere una forma de pensar que se enfoque en hacer que el producto fluya a través del proceso que le agrega valor sin interrupciones (flujo en una sola pieza); un sistema que “jale” de las estaciones de trabajo anteriores (proceso anterior), iniciando desde el cliente y continuando, de la misma manera,

con las estaciones en periodos cortos de tiempo (varias veces al día), y crear un cultura en donde todos estén comprometidos con el mejoramiento continuo.



Fuente: Elaboración propia

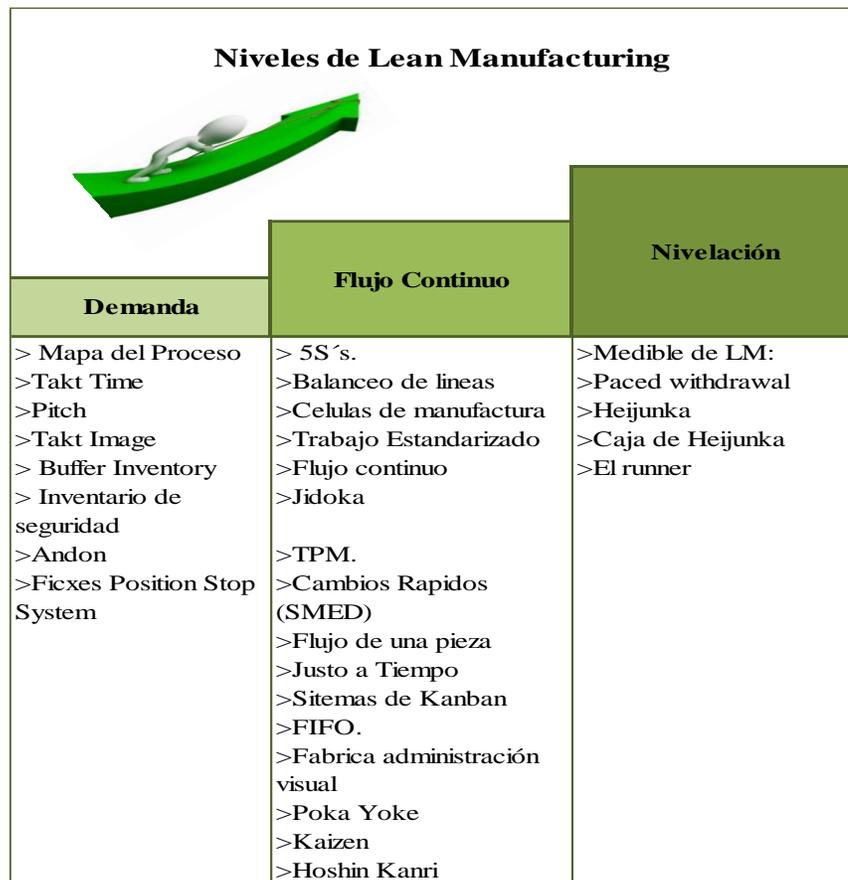
Figura 1-7. Niveles para aplicación de Lean Manufacturing

Las herramientas de Lean Manufacturing se pueden agrupar dentro de tres niveles, que son: demanda, flujo y nivelación, las cuales se describen a continuación:

- 1. Demanda:** entender las necesidades que tiene el cliente de productos o servicios, además de tener en cuenta las características de calidad, tiempo de entrega (lead Time) y precio.
- 2. Flujo continuo:** implementar el flujo continuo en toda la compañía para que los clientes internos y externos reciban los productos y materiales indicados, en el tiempo que los necesitan y en la cantidad correcta.
- 3. Nivelación:** distribuir uniformemente el trabajo, por volumen y variedad, para reducir el inventario final, lo que permitirá a los clientes pedir ordenes en pequeñas cantidades.

Dentro de estos tres niveles se agrupan las distintas herramientas de la metodología Lean Manufacturing.

En la siguiente imagen se puede apreciar dichas herramientas clasificadas en los tres grupos mencionados anteriormente.



Fuente: Elaboración propia

Figura. 1-8. Los tres niveles de la manufactura esbelta

1.3.1. Demanda

Lo que permite la existencia y permanencia de una empresa en el mercado es poder satisfacer la demanda que tiene el cliente sobre un determinado artículo o servicio. Por ello, es vital entender la demanda del cliente, incluyendo las características de calidad, tiempos de entrega (Lead Time) y precio.

El cliente es quien marca el ritmo, decide la manera y forma en la que se le entregarán los productos o servicios que desea; además, es quien decide que agrega y que no agrega valor

dentro de los procesos, que es lo que genera desperdicio y por lo cual no está dispuesto a pagar.

De ahí la importancia de las herramientas que se presentarán a continuación:

1.3.2. Takt Time

Takt es una palabra de origen alemán que significa “ritmo”. Esto quiere decir que el Takt time marca el ritmo de lo que el cliente está demandando, De la información que se tenga sobre la demanda del cliente, se debe determinar el Takt Time, o el ritmo de producción que marca el cliente. Producir con Takt time significa que los ritmos de producción y de ventas están sincronizados, lo cual, es una meta de lean Manufacturing.

1.3.3. Takt image (visualizando el flujo de una pieza)

Es una técnica de control visual, las que son medidas prácticas de comunicación que persigue plasmar, de forma sencilla y evidente, la situación del sistema de productivo con especial interes en las anomalías y desperdicios.

1.3.4. Andon

Lean Manufacturing incrementa dramáticamente la importancia de hacer las cosas bien a la primera. Andon es una herramienta visual que muestra el estado actual de las operaciones, solo con pasar por el lugar de trabajo. Básicamente es un sistema que consiste en un tablero en una parte alta del área con indicadores de la estación.

Cuando la luz se enciende, es señal que hay problemas; esta alarma o señal puede ser producida de forma manual o automática, la señal es destinada para que se genere una

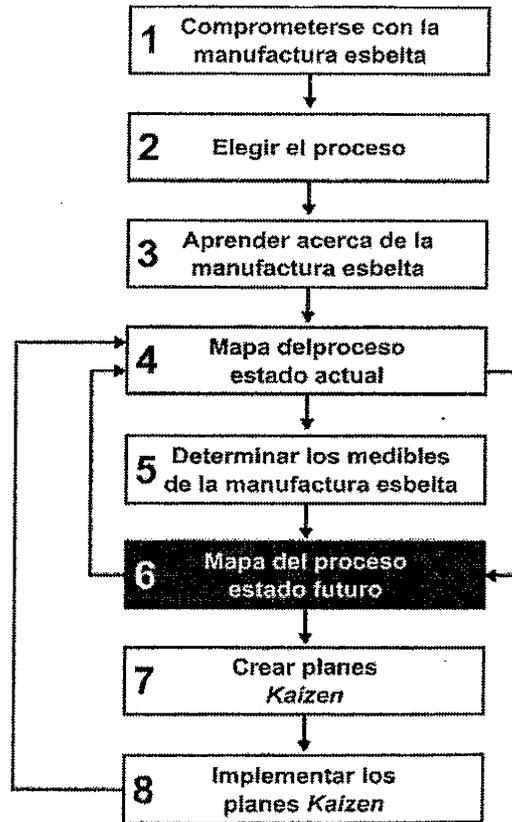
solución inmediata al problema que se está presentando La señal sirve para que se genere una ayuda inmediata, o bien, para que se tenga una retroalimentación.

1.3.5. Mapeo de proceso (Value Stream Mapping)

El mapa de valor de un proceso contiene todas las acciones (tanto las que agregan y no agregan valor) requeridas para producir un producto, desde la materia prima, hasta llegar a las manos del cliente. El mapeo de procesos se enfoca más al flujo continuo de la producción. VSM es una herramienta que ayuda a ver y entender el flujo de material e información a través de la cadena de valor de un producto de principio a fin.

Es una herramienta de diagnóstico donde se puede determinar cómo varias actividades están conectadas y donde podrían estar fallando las conexiones o actividades, esto permite reconocer el desperdicio y sus causas.

Un mapa de proceso del estado actual debe ir acompañado de un mapeo de un estado futuro puede ser utilizado como una herramienta de comunicación, una herramienta de planeación y una herramienta para mejorar el proceso de cambio. El mapeo de procesos sigue pasos que se muestran a continuación.



Fuente: Villaseñor Lean Manufacturing

Figura 1-9. Pasos para un mapeo de procesos flujo Continuo

1.3.6. Flujo continuo

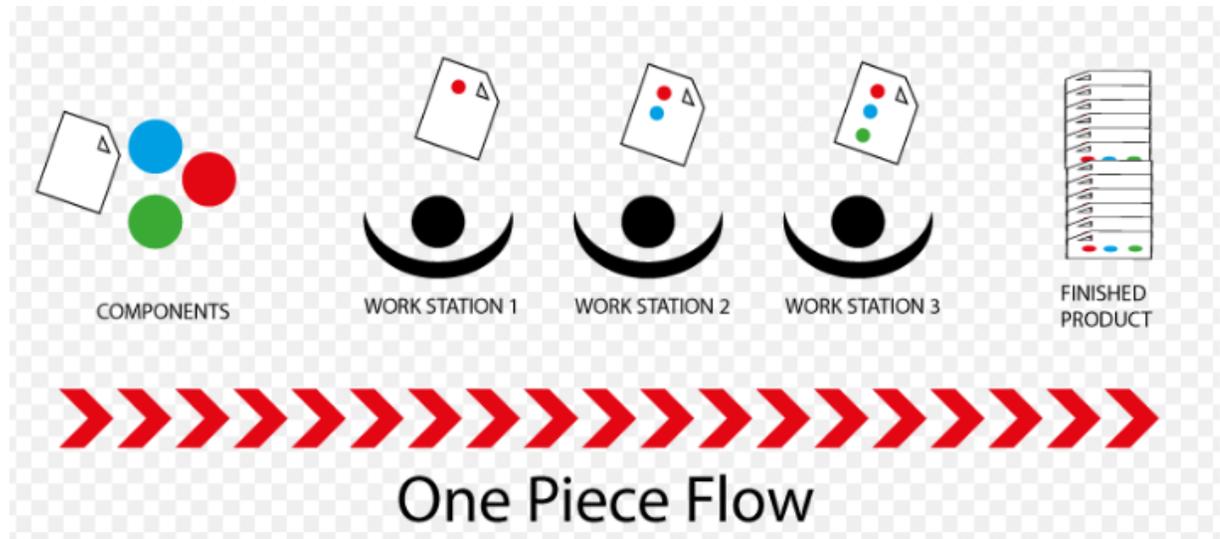
Flujo continuo es el mejoramiento progresivo de actividades a través de toda la cadena de valor, desde el diseño hasta el lanzamiento del producto, desde ordenar hasta entregar, y desde la materia prima hasta las manos del cliente sin paros, desperdicios o rechazos.

Esto significa un proceso productivo continuo y sin paradas o pérdidas de tiempo productivo por conceptos de desperdicios. El flujo continuo permite establecer un plan de trabajo y comenzar con los cambios necesarios para establecer un flujo continuo dentro de la planta.

A continuación, se muestran las herramientas necesarias para establecer el flujo dentro del proceso.

1.3.6.1. Flujo Continuo (One piece flow):

El flujo continuo se puede resumir en un simple enunciado: “mover uno, hacer uno” (o mover un pequeño lote”), esto es asegurarse de que las operaciones nunca harán más de lo que sea necesario o de lo que se haya demandado.



Fuente: <http://trilogiqusa.com/the-benefits-of-one-piece-flow/>

Figura 1-10. Flujo continuo One piece flow

Un proceso con un flujo continuo contempla producir o transportar productos de acuerdo con tres principios clave:

- Lo que se necesita
- Justo cuando se necesita
- En la cantidad exacta que se necesita

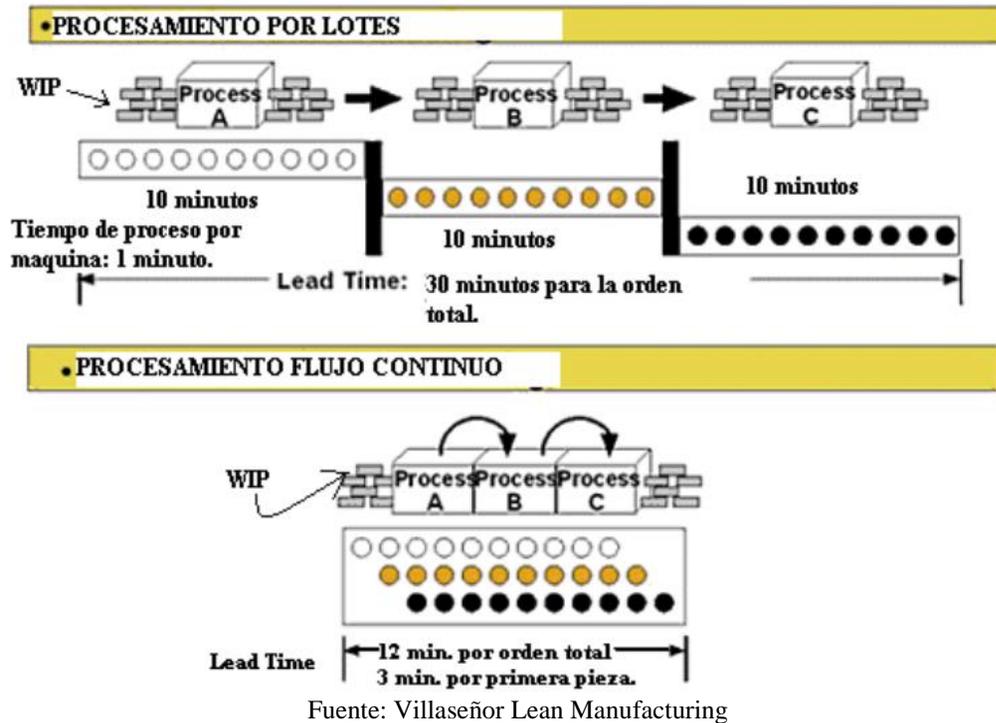


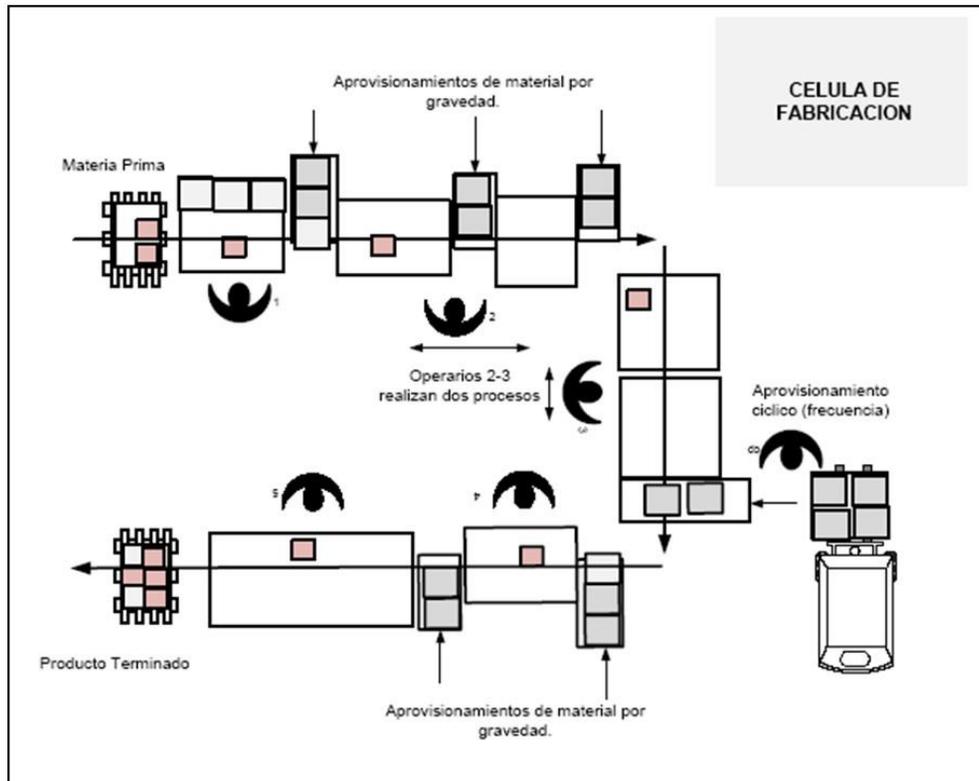
Figura 1-11. Sistema de producción de empujar vs jalar (Push vs Pull)

1.3.7. Células de Manufactura

Las células de manufacturas con los puestos o estaciones de trabajo distribuidos estratégicamente de tal forma que se reduzcan al máximo conceptos de desperdicios por movimiento innecesarios y procesamientos inapropiados, aumentando las operaciones que agregan valor a un proceso productivo, esto se logra principalmente por la producción en pequeños lotes.

Las células de manufactura involucran equipos y personas, en una secuencia de producción e incluye todas las operaciones requeridas para elaborar un producto de manera reducida y funcional.

Una célula corresponde al recorrido mínimo que habría de efectuar una pieza por cada una de sus máquinas.



Fuente:
Villaseñor
Lean

Figura 1-12. Célula de fabricación

1.3.8. Balanceo de línea

Es un proceso a través del cual, se logra nivelar las líneas de trabajo, reduciendo los desperdicios por conceptos de espera por una mala distribución de labores.

1.3.8.1. Tiempo de ciclo (T/C)

El tiempo de ciclo es el tiempo requerido para terminar un proceso.

1.3.9. Trabajo estandarizado

Se busca encontrar y dar soluciones que vaya a estandarizar el tiempo de ciclo y todos hagan lo mismo trabajando de la misma manera. Esto se realiza mediante un conjunto de procedimientos de trabajo establecidos por ser el mejor método y secuencia para cada proceso.

1.3.10. Cambios rápidos (SMED)

Hacen referencias a las técnicas y teorías diseñadas para realizar las operación de cambio de herramientas y utillaje en menos de 10 minutos.

Siendo utillaje de una maquina el conjunto de operaciones que se desarrollan desde que se detiene la máquina para proceder al cambio de lote hasta que la maquina empieza a fabricar la primera unidad del siguiente producto.

Algunos de los beneficios que aporta esta herramienta son:

- Reducir el tiempo de preparación y pasarlo a tiempo productivo
- Reducir el tamaño del inventario
- Reducir el tamaño de los lotes de producción

1.3.11. Mantenimiento autónomo

El mantenimiento autónomo es un elemento básico del mantenimiento productivo total (TPM, por sus siglas en inglés).

Con esta herramienta se pueden prevenir perdidas de equipos relacionadas con paros, perdidas de velocidad y defectos de calidad mediante la detección temprana por parte de los o del operador, defectos o fallas como falta de lubricación, desgaste excesivo debido a la contaminación de la suciedad, pernos flojos o falta de estos, ect.

El mantenimiento autónomo se enfoca en mantener en óptimas condiciones al equipo de con el fin de prevenir las perdidas antes mencionadas. Este mantenimiento se ha probado que ayuda especialmente a reducir los paros y los problemas de calidad que interrumpen el flujo continuo.

Para estas herramientas se recomiendan seguir los siguientes pasos:

- Limpiar e inspeccionar equipo
- Eliminar las fuentes de contaminación
- Lubricar componentes y establecer estándares de limpieza y lubricación

- Tener inspecciones generales programadas
- Tener inspecciones autónomas
- Establecer una administración y control visuales en los lugares de trabajo
- Implementar una administración autónoma de los equipos

1.3.12. Mantenimiento productivo Total (TPM)

El TPM es el sistema de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto “mantenimiento preventivo”. El mantenimiento productivo total asegura que cada máquina en el piso de producción siempre está disponible para ser utilizada según el programa de producción, lo cual provoca que esta nunca se detenga.

Siendo las tres metas del mantenimiento productivo total:

1. Maximizar la efectividad de cada pieza del equipo (la eficiencia global del equipo)
2. Proveer un sistema de mantenimiento acorde al ciclo de vida del equipo
3. Involucrar a los departamentos en el plan, el diseño, el uso y el mantenimiento del equipo.

1.3.13. Jidoka (Automatización con toque humano)

Jidoka es un término japonés que significa automatización con un toque humano. Se refiere al diseño de las operaciones y equipos que no detengan a los operadores y así estos estén libres para que hagan trabajos que agreguen valor.

Jidoka consiste en instalar un mecanismo en las máquinas que permita detectar los defectos y también un mecanismo que detenga la línea o la máquina cuando ocurren los defectos. Estas máquinas agregan valor a la producción sin necesidad de contar con un operador.

1.3.14. JIT (Justo a tiempo)

Justo a tiempo (JIT) significa poder producir el artículo indicado en el momento requerido y en la cantidad exacta. Todo lo que implique despilfarro o desperdicios (Muda) en el proceso de producción, desde las compras hasta la distribución debe ser eliminado.

1.3.15. Sistema Kanban

Kanban es una palabra de origen japonés que significa etiqueta de introducción, también llamadas tarjetas.

Dichas tarjetas contienen la información necesaria para poder sincronizar las etapas del sistema productivo, permitiendo que se entreguen los materiales en tiempos más reducidos y con una mayor calidad.

Kanban además hace referencia al uso de tarjetas para el control de los inventarios en el sistema jalar. Kanban también se usa como sinónimo para referirse al desarrollo de un sistema de control de inventarios.

1.3.16. 5 S

Las 5S forman parte esencial de Lean Manufacturing, pues implica sumar esfuerzos para lograr beneficios, manteniendo un lugar de trabajo bajo condiciones tales que logre contribuir a la disminución de desperdicio y reprocesos, así como mejorar la moral del personal.

La herramienta 5S se corresponde con la aplicación sistemática de los principios de orden y limpieza en el puesto de trabajo.

Se llama estrategia de las 5S porque representa acciones que son principios expresados con cinco palabras japonesas que comienzan con las letras “S” cada palabra tiene un significado importante para la creación de un lugar digno y seguro donde trabajar. Estas cinco palabras son:

- 1) Seiri (Clasificar)
- 2) Seiton (Orden)
- 3) Seiso (Limpieza)
- 4) Seiketsu (Estandarizar)
- 5) Shitsuke (Disciplina)

Su importancia radica en mantener un buen ambiente de trabajo, que es crítico para lograr encaminar a una organización hacia la calidad, bajo costos y entregas inmediatas.

SEIRI Separar y eliminar	SEITON Arreglar e identificar	SEIDO Proceso diario de limpieza	SEIKETSU Seguimiento de los primeros 3 pasos, asegurar un ambiente seguro	SHITSUKI Construir el hábito
Separar los artículos necesarios de los no necesarios	Identificar los artículos necesarios	Limpiar cuando se ensucia	Definir métodos de orden y limpieza	Hacer el orden y la limpieza con los trabajadores de cada puesto
Dejar solo los artículos necesarios en el lugar de trabajo	Marcar áreas en el suelo para elementos y actividades	Limpiar periódicamente	Aplicar el método general en todos los puestos de trabajo	Formar a los operarios de cada puesto para que hagan orden y limpieza
Eliminar los elementos no necesarios	Poner todos los artículos en su lugar definido	Limpiar sistemáticamente	Desarrollar un estándar específico por puesto de trabajo	Actualizar la formación de los operarios cuando hay cambios
Verificar periódicamente que no haya elementos no necesarios	Verificar que haya "un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar"	Verificar sistemáticamente la limpieza de los puestos de trabajo	Verificar que exista un estándar actualizado en cada puesto de trabajo	Crear un sistema de auditoría permanente de planta visual y 5s

Fuente: Libro manual sobre Lean Manufacturing

Figura 1-13. Resumen de las 5S's

1.3.17. Fábrica y administración Visual

La fábrica y administración visual inicia con una simple primicia: "una imagen dice más que mil palabras". La fábrica y administración visual es un sistema de comunicación y control usado en toda la planta que enfoca principalmente la información visual como principal método de aprendizaje, disciplina y control de un proceso productivo.

1.3.18. Poka-yoke (A prueba de errores)

Poka-yoke es una técnica de calidad que significa a pruebas de errores. La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de cometer.

Como error se entiende lo que hace mal el trabajador y que después hace que un producto salga defectuoso, por ende es de suma importancia detener y controlar el proceso sobre el cual se está generando el error. Un mecanismo Poka-Yoke es cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan.

1.3.19. Kaizen (Mejoramiento continuo)

Es el término japonés para el mejoramiento continuo, está compuesta por dos palabras, una KAI que significa “cambio” y la otra ZEN que significa “bueno, mejor” lo que implica que KAIZEN signifique “cambio para mejorar” y es el proceso para hacer mejoras incrementalmente, no importa de lo pequeñas que sean, y alcanzar las metas de Lean Manufacturing de eliminar todos los desperdicios, que generan un costo sin agregar valor.

Kaizen significa mejoramiento continuo en la vida personal, familiar, social y de trabajo. Cuando se aplica al lugar del trabajo.

1.3.20. Hoshin Kanri

Hoshin Kanri o administración por directrices (APD) es el sistema nervioso de Lean Manufacturing. Básicamente el Hoshin kanri es un subsistema de Control Total de calidad (CTC), que permite a una organización planear y ejecutar innovaciones estratégicas, a través del desarrollo de planes de implementación apropiados a cada nivel jerárquico a través de toda organización.

Hoshin kanri es el sistema administrativo de una empresa, para lograr la supervivencia a través de la satisfacción de las necesidades del cliente.

1.3.21. Nivelación

Sin lugar a dudas, este es uno de los aspectos, mas importantes de todo el proceso, ya que de esta manera se buscará distribuir el turno durante el día o la semana, el trabajo requerido en la célula de manufactura para satisfacer la demanda del cliente.

1.3.22. Heijunka (nivelación de carga)

Heijunka es un sofisticado método para planear y nivelar la demanda del cliente a través del volumen y variedad a lo largo del turno de trabajo.

1.3.23. Caja heinjunka

La caja heinjunka, o caja de nivelación del volumen y la variación de la producción sobre un periodo específico de tiempo.

Este permite nivelar la carga considerando el uso más eficiente del equipo y de las personas.

1.3.24. Retiro constante (paced withdrawal)

Es un sistema para mover pequeñas cantidades de productos de una operación o proceso a otro, en intervalos de tiempos iguales para el pich.



Fuente: Ppt Lean manufacturing en línea Slideshare.es

Figura 1-14. Estructura de facturación Manufacturing

El techo de la casa está constituido por las metas propuestas, estas se identifican con la mejor calidad al más bajo costo, el menor tiempo de entrega.

Sujetando este techo se encuentran las dos columnas que sustentan el sistema: JIT y Jidoka, JIT para producir el artículo indicado en el momento requerido y en la cantidad exacta y Jidoka consiste en dar a las máquinas y operadores la habilidad para determinar cuándo se produce una condición de fallo e inmediatamente detener el proceso. Ese sistema permite detectar las causas de los problemas y eliminarlas de raíz de manera que los defectos no pasen a próximas estaciones.

La base de la casa consiste en la estandarización y estabilidad de los procesos: el heijunka o nivelación de la producción y la aplicación sistemática de la mejora continua.

A este cimiento, se le añade el factor humano como clave en las implantaciones del Lean, factor éste que se manifiesta en múltiples facetas como son el compromiso de la dirección, la formación de equipos, la formación y capacitación del personal, los mecanismos de motivación y los sistemas de recompensa.

Todos los elementos de esta casa se construyen través de la aplicación de múltiples técnicas que han sido divididas según se utilicen para el diagnóstico del sistema, a nivel operativo, o como técnicas de seguimiento.

2. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Un sello mecánico es un dispositivo que ayuda a unir una parte fija con una móvil en mecanismos o sistemas usando presión para cerrar herméticamente la unión, previniendo de esta forma cualquier fuga o gotera. En la industria: se usan sellos mecánicos para bombas centrifugas industriales, compresores, agitadores, mezcladores y otras aplicaciones donde se requiere continuamente el uso de un eje giratorio en un proceso que involucre líquidos.

En la industria de procesos químicos: en esta industria se trabaja con líquidos tóxicos, corrosivos y/o explosivos, por lo que los sellos mecánicos son esenciales.

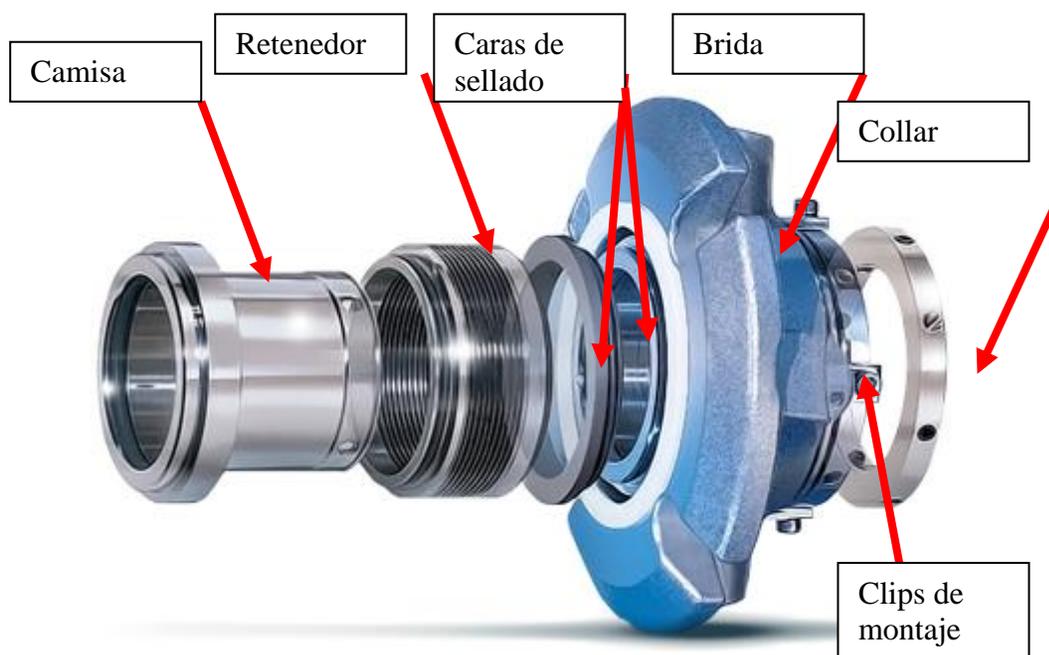
Uso doméstico: se utilizan en sistemas de bombeo para abastecimiento de agua, cisternas, albercas, jacuzzis y en aparatos domésticos de línea blanca, como lavadoras y lavaplatos.

Uso automotriz: se instalan en sistemas de enfriamiento de motores y en compresores para aire acondicionado.

Todos los tipos de sellos mecánicos constan de tres grupos básicos de partes:

1. El más importante de estos grupos de partes es el de las caras mecánicas del sello. Todo sello tiene una cara giratoria, la cual está sujeta a la flecha o eje de la bomba, y una estacionaria, que se mantiene fija a la cubierta del sistema, gracias a un anillo de collarín.
2. Otro grupo de componentes es el de los miembros secundarios, el cual consiste en un anillo de cuña bajo la cara giratoria, un anillo encima de la cara fija y el empaque del anillo del collarín.
3. El último grupo de componentes es la parte mecánica del sello, este incluye el anillo de collarín, los resortes y el retén de soporte. Las funciones principales del retén de soporte son conducir mecánicamente la cara giratoria del sello y alojar los resortes.

Los resortes son indispensables para asegurar que las caras del sello mantengan su contacto durante cualquier movimiento que tengan los ejes debido a una mala alineación o al desgaste de la cara del sello.



Fuente: <http://www.abm-industrial.com/2013/06/18/que-es-sello-mecanico/>

Figura 2-1. Partes de un sello mecánico.

2.1. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE PEDIDOS.

Para realizar el pedido de un sello mecánico, este debe pasar en primera instancia por la aprobación y validación de el Ingeniero de Ventas, quien dará las mejores directrices para acotar un sello mecánico específico de acuerdo a la aplicación operativa de dicha bomba. Una vez que se ha acordado con el cliente la parte técnica y económica, el Ingeniero emite una Orden de Compra (OC), la cual es procesada por personal administrativo de la casa matriz, quien emite una orden de trabajo a la Gerencia de Operaciones, que establece criterios en relación a tiempos de entrega, lo cual puede ser desde los 12 días hábiles hasta los 30 días, de acuerdo al tipo de material.

- Tiempo de entrega para productos con estructura definida, fabricado en AISI 316 y materiales importados disponibles en stock.

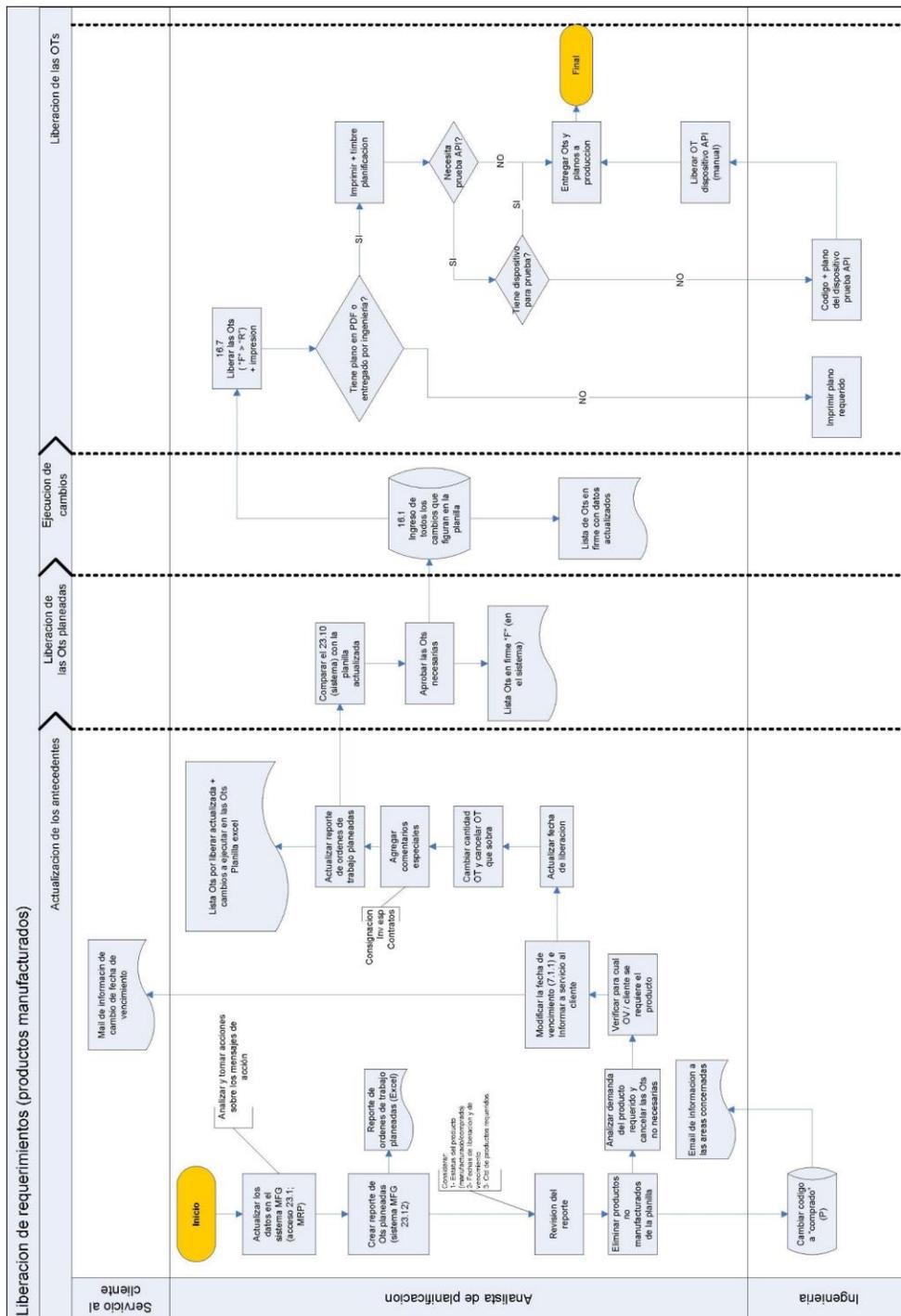
- ✓ 02 días de tránsito
- ✓ 05 días de producción
- ✓ 02 días de espera por carga de planta (1, 2, 3, 4, 5ta semana)
- ✓ 01 días de planificación
- ✓ 01 días en Customer Service
- ✓ 01 días de diseño.

Total = 12 días hábiles después de recibida la O/C

- Tiempo de entrega para productos con estructura definida, fabricados en materiales especiales (Hastelloy, Duplex, Super Duplex, dimensiones sobre 4 ¾)

- ✓ 02 días de tránsito
- ✓ 08 días de producción
- ✓ 02 días de espera por carga de planta (1, 2, 3, 4, 5ta semana)
- ✓ 01 día de planificación
- ✓ 01 día en Customer Service
- ✓ 01 días en diseño
- ✓ 15 días tiempo promedio para importación de materiales (Confirmar tiempo caso a caso ya que el promedio sirve como referencia para dar tiempos de entrega)

Total = 30 días hábiles una vez recibida la Orden de Compra.



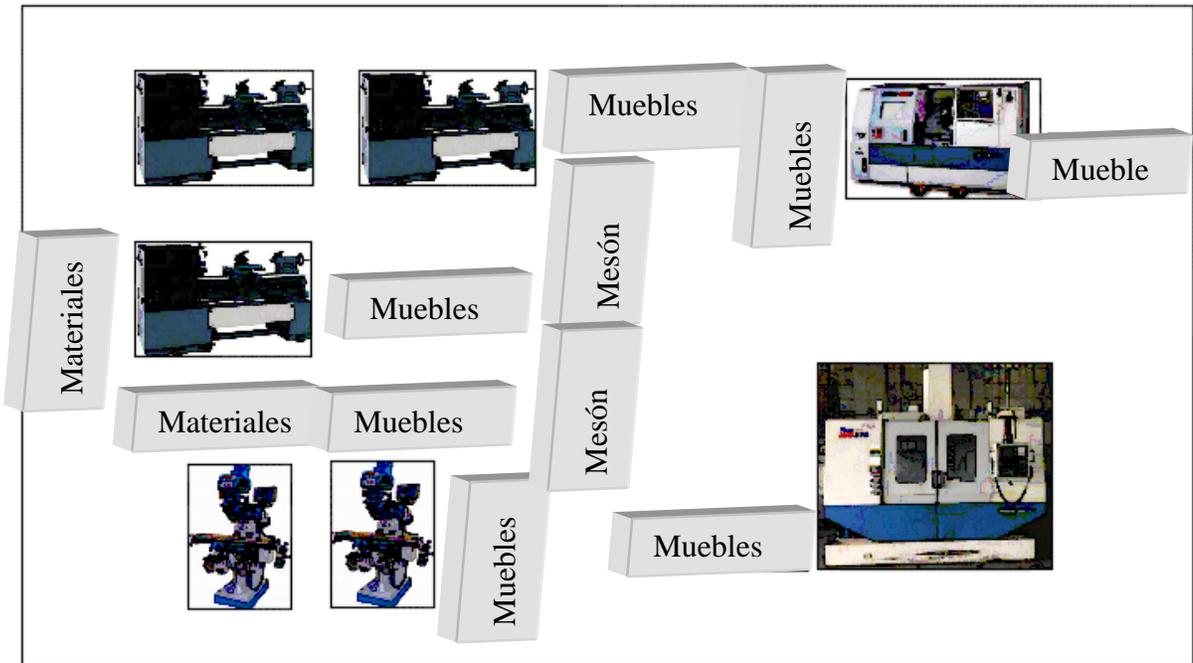
Fuente: elaboración propia
 Figura 2-2. Flujo de proceso liberación de requerimiento a producción

2.2. CAPACIDAD DE PLANTA

Las máquinas que se muestran en la figura 2-3, se caracterizan por ser de Control numérico computarizado, esto quiere decir que todos sus movimientos deben ser programados para que estos ocurran, bajo un lenguaje apropiado de programación. Esta característica hace que estas máquinas CNC, sean de un alto nivel en lo que respecta a seguridad, fiabilidad y con ello se puede asegurar una calidad y repetitividad en sus ejecuciones, lo que genera una disminución en los tiempos de entregas, mayor satisfacción del cliente y por sobre una rotación mayor de productos en proceso. Además, para satisfacer la demanda del departamento de ventas, el área de producción cuenta con las siguientes máquinas siendo estas:

- 1 torno CNC
- 1 Centro de mecanizado.
- 5 tornos convencionales
- 2 fresas convencionales.
- 2 rectificadoras cilíndricas.
- 2 lapeadoras

En la figura siguiente se encuentra el layout original, este no el óptimo para mantener una ruta expedita de trabajo.



Fuente: elaboración propia

Figura 2-3 Layout de planta antes de la mejora

2.3. DEMANDA ACTUAL

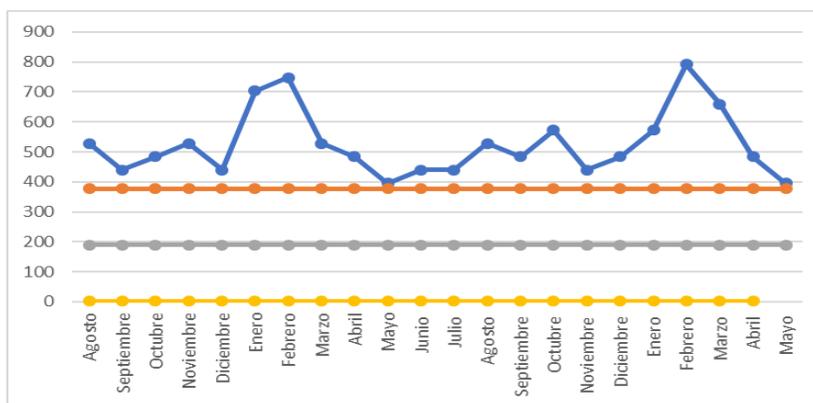
John Crane tiene una facturación mensual en promedio de 150 millones de pesos mensuales, siendo sus principales clientes los que se nombran a continuación:

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1. Refinería Aconcagua (RPC) | 9. Codelco Teniente |
| 2. Refinería Bio Bio (Petrox) | 10. Pelambres |
| 3. Celulosa Arauco Valdivia | 11. Minera Michilla |
| 4. Methanex | 12. Enap Magallanes |
| 5. El Abra | 13. Nueva Aldea |
| 6. CMPC Pacifico | 14. CMPC Laja |
| 7. SQM | 15. CMPC Arauco Planta Arauco |
| 8. Codelco Norte | |

- 16. CMPC Licancel
- 17. Collahuasi
- 18. Codelco Ventana
- 19. CMPC MAULE
- 20. Petroquímica DO

- 21. Escondida
- 22. Petroquim
- 23. Inforsa
- 24. Santa Fe
- 25. Redesin

Para cumplir con la facturación mensual requerida por la gerencia se ocupan todos los recursos humanos disponibles en el área de producción, que equivalen a 12 personas, siendo todos operadores de máquinas herramientas. Adicionalmente, para poder cumplir con los pedidos se deben hacer una gran cantidad de horas extras, las que se detallan en la siguiente gráfica.



Fuente: Elaboración propia

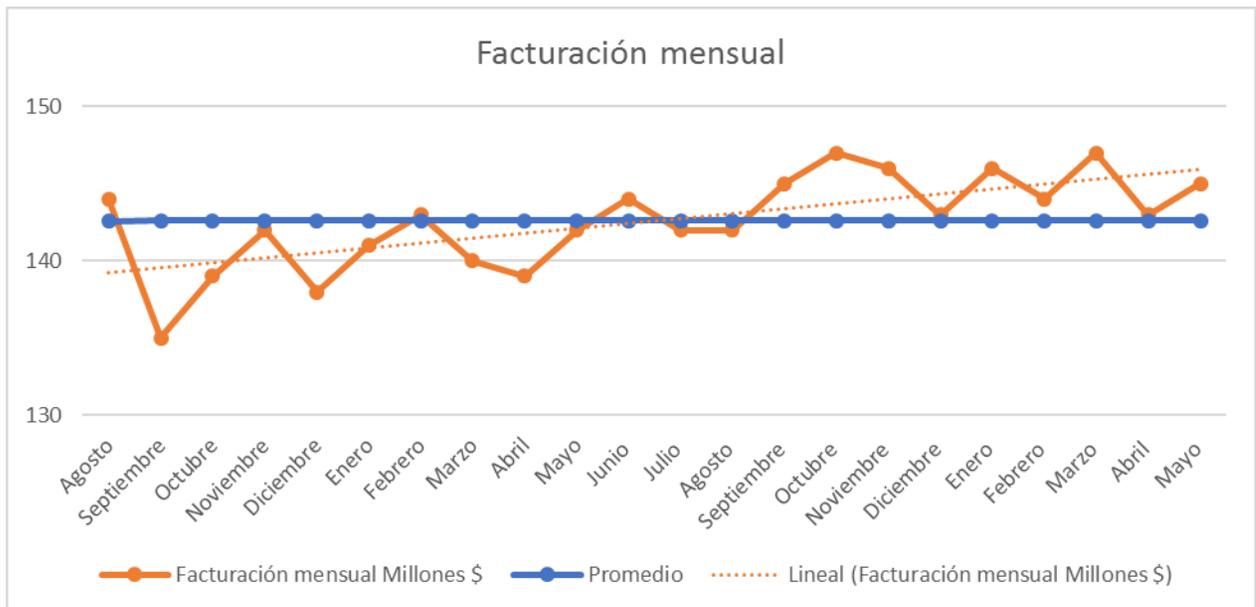
Gráfico 2-1. Horas extras del área de producción, periodo de 2 años

La línea azul indica la cantidad de horas extras realizadas en cada mes por todos los trabajadores de operaciones. La línea salmón, representa la cantidad máxima de horas extras. La línea amarilla representa el mínimo de horas extras y finalmente la línea ploma es la media de horas extras.

	Mes	Hr extras mensuales
1	Agosto	528
2	Septiembre	440
3	Octubre	484
4	Noviembre	528
5	Diciembre	440
6	Enero	704
7	Febrero	748
8	Marzo	528
9	Abril	484
10	Mayo	396

11	Junio	440
12	Julio	440
13	Agosto	528
14	Septiembre	484
15	Octubre	572
16	Noviembre	440
17	Diciembre	484
18	Enero	572
19	Febrero	792
20	Marzo	660
21	Abril	484
22	Mayo	396

La demanda actual se tiene como datos la facturación mensual, la cual ha sido modificada por motivos de confidencialidad, lo que se muestra son valores referenciales para poder ver el comportamiento en el transcurso de 2 años.



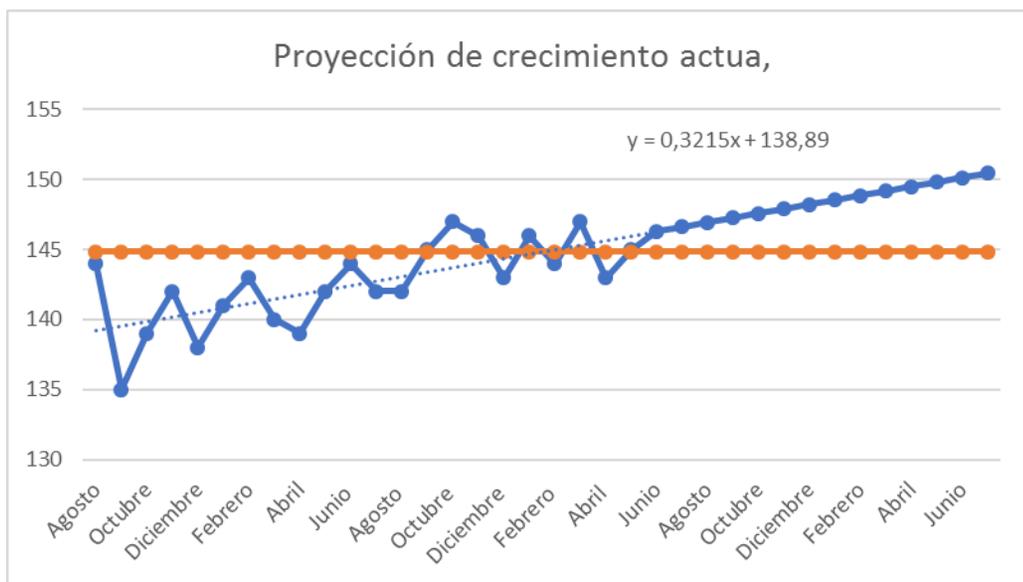
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2-2. Facturación mensual, periodo de 2 años

En el gráfico se puede ver que el promedio de facturación era de 142,5 millones de pesos y las proyecciones de gerencia pedían un crecimiento del 12% anual lo que equivale a 159,6 millones, con lo cual, haciendo los trabajos de la misma forma con la cual se está haciendo, es imposible de lograr dicha meta.

2.4. DEMANDA FUTURA

Los inversionistas piden como requerimiento que la facturación se incremente en un 12% anual, para lo cual se deben hacer mejoras al proceso de producción, para conseguir aumentar la capacidad de planta, las restricciones que establecieron fueron a que no se debía contratar más personal y tampoco comprar nuevas maquinarias.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2-3. Proyección de crecimiento de la demanda sin mejora.

Al mantener esta tendencia de crecimiento sólo se logrará crecer un 7%, muy por debajo del 12% requerido por los accionistas.

2.5. PLAN DE ACCIÓN

Para determinar el escenario actual de la empresa se comienza haciendo un análisis FODA y ver posibles oportunidades de mejora, teniendo en mente el crecimiento de la facturación requerida.

2.6. ANÁLISIS F.O.D.A.

El siguiente análisis es un estudio para saber cómo se encuentra John Crane Cile S.A. dentro del mercado.

2.6.1. Fortalezas

- Experiencia en la fabricación de sellos mecánicos para bombas industriales, esto se refiere a las personas que han trabajado en ese rubro por más de 15 años.
- Gran conocimiento en organización de la producción y mecanizados en general.
- Personal altamente calificado.
- Red de contactos con proveedores altamente comprometida
- Negociación estratégica con cliente principal.

2.6.2. Debilidades

- Rotación constante de jefaturas.
- Bajo nivel técnico de operadores
- Sin departamentos o división de trabajos escasos, islas de trabajo

Tabla 2-1. Matriz de Evaluación de Factores Internos (EFI)

Factores internos Claves			
	Valor	Clasificación	Valor Ponderado
Fortalezas			
Personal con alta experiencia en la fabricación de sellos mecánicos	0,12	4	0,48
Gran conocimiento en organizaciones internacionales y red de clientes cuativos	0,12	3	0,36
Personal Calificado	0,1	3	0,3
Red de proveedores altamente comprometida	0,1	3	0,3
Negociación estratégica con cliente principal	0,15	4	0,6
Debilidades			
Personal poco motivado al cambio	0,15	2	0,3
Sin departamentos o divisiones entre áreas	0,1	2	0,2
Recursos financieros dependientes del extranjero	0,07	1	0,07
Suma			2,61

Fuente Elaboración propia

En la tabla 2-1, que muestra la tabla EFI, Evaluación de factores internos, en la cual muestra una ponderación de 2,61, lo óptimo debería ser 2,75 puntos, se encuentra por debajo de este valor, se debe a que es una empresa que está recién en funcionamiento en Chile y con personal que estaba acostumbrado a trabajar de una forma poco eficiente

2.6.3. Oportunidades

- Incorporación de nuevas tecnologías
- Nuevos clientes y proveedores estratégicos
- Crecimiento de los mercados actuales
- Alianzas estratégicas con empresas

2.6.4. Amenazas

- Fusión de empresas.
- Escasa mano de obra calificada

- Crecimiento de la competencia
- Inconvenientes en la economía mundial
- Disminución de los precios de los servicios, competencia agresiva
- Fuga de Talentos

Tabla 2-2. Matriz EFE

Factores internos Claves			
	Valor	Clasificación	Valor Ponderado
Oportunidades			
Incorporación de nuevas tecnologías	0,11	3	0,33
Nuevos clientes y proveedores estratégicos	0,15	4	0,6
Crecimiento de los mercados actuales	0,1	2	0,2
Alianzas estratégicas con empresas	0,06	3	0,18
Amenazas			
Fusión de empresas competidoras	0,12	1	0,12
Crecimiento de la competencia	0,1	3	0,3
Escasa mano de obra calificada	0,09	3	0,27
Inconvenientes en la economía mundial	0,11	2	0,22
Disminución de precios, competencia agresiva	0,15	4	0,6
Fuga de talentos	0,1	1	0,1
Suma			2,92

Fuente elaboración propia

En la tabla 2-2 se muestra la matriz de Evaluación de factores externos, en la cual muestra una ponderación de 2,92 puntos, lo que quiere decir que esta empresa debe formular estrategias fuertes para poder mantenerse en funcionamiento, ya que tiene amenazas de las cuales no puede pasar por alto, de este modo puede convertir estas amenazas en oportunidades.

3. DESCRIPCIÓN Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

Para el proceso de fabricación de piezas mecanizadas por arranque de virutas se utilizarán máquinas CNC, máquinas convencionales u otro tipo de mecanizado, esto va a depender del diseño del producto que se quiere obtener, por considerar algunos factores, que pueden ser, precisión, repetibilidad, calidad superficial, entre otros, es el tipo de mecanizado que se dispondrá para materializar dicho producto.

Las máquinas con las cuales se comenzará a fabricar el sello mecánico estándar, comienza con el dimensionamiento en la sierra de banda, quien corta el material al largo solicitado de acuerdo a especificaciones técnicas de montaje, luego pasa al área de mecanizado la cual puede ser convencional o Tornos CNC, de control numérico computacional. El Control Numérico Computacional es el control de una máquina herramienta usando números y letras. Es un sistema en el cual los valores numéricos programados son directamente digitados y almacenados en alguna forma de medio de entrada, y automáticamente leídos y decodificados para provocar el movimiento correspondiente en la máquina que se está controlando.

Ventajas de un Sistema CNC

- ✓ Alto grado de calidad debido a la precisión, repetibilidad y ausencia de variaciones introducidas por un operador.
- ✓ Desperdicios reducidos. Son menos probables los errores debidos a la fatiga del operador, interrupciones y otros factores.
- ✓ Inspección simplificada. Una vez que la primera pieza ha pasado la inspección, se requiere una inspección mínima en las partes subsecuentes.
- ✓ Menores costos de herramientas debido a la menor necesidad de montajes y reparaciones complejas.
- ✓ Tiempo de servicio reducido.
- ✓ Las operaciones complejas de la maquinaria se realizan más fácilmente debido al control avanzado de la máquina.

Desventajas de un Sistema CNC

- ✓ Las herramientas de una máquina numéricamente controlada no cortan el metal tan rápido como las máquinas convencionales.
- ✓ El control numérico no elimina la necesidad de herramientas caras. Además, hay un gasto inicial mayor.
- ✓ El control numérico no elimina los errores por completo. Los operadores todavía se pueden equivocar al presionar los botones equivocados, al realizar alineaciones erradas, y fallan al ubicar las piezas adecuadamente en una montura.
- ✓ Se necesita escoger y entrenar a programadores y a personal de mantención.

3.1. TIPOS DE MECANIZADOS

Un centro de mecanizado, es ante todo una máquina herramienta que por medio de un útil o herramienta de corte, provoca el arranque de material (esto es, una máquina no portable que, operando con la ayuda de una fuente de energía exterior, es capaz de modificar la forma del material o pieza a mecanizar mediante el arranque de pequeñas porciones del mismo o virutas, de forma continua o discontinua). Sin embargo, las características esenciales de un centro de mecanizado y que sirven para diferenciarse de otro tipo de máquinas son las siguientes:

- b) Está dotado de un control numérico, llamadas propiedades esenciales o definitorias significa que los centros de mecanizado son el producto de la revolución tecnológica que ha supuesto en el mundo de la mecanización la introducción de la tecnología del control numérico.

b) Puede realizar otras operaciones de mecanizado además del fresado. La transformación de la fresadora clásica en un centro de mecanizado ha sobrevenido como consecuencia de dotarla de la potencialidad para desarrollar operaciones de trabajo que tradicionalmente se realizaban en otro tipo de máquinas. Es el caso del taladrado, y del roscado fundamentalmente. En efecto, este tipo

de operaciones no son cinemática y conceptualmente hablando distintas del fresado, dado que aunque tengan implicaciones mecánicas y tecnológicas bien distintas, todas ellas se ejecutan mediante un movimiento de corte circular, con la ayuda de una herramienta rotativa. Esto es lo que hizo posible que en un momento dado se integrasen este tipo de operaciones en una misma máquina que se conoce como centro de mecanizado. Por lo tanto, y hasta aquí, un centro de mecanizado es una máquina herramienta dotada de control numérico que permite realizar distintas operaciones de mecanizado como fresado, taladrado y roscado.

Los factores que dieron origen para invertir en máquinas de control numérico computarizado son las siguientes:

- ✓ La tipología de las piezas a producir (tamaño, complejidad)
- ✓ El tamaño de los lotes de producción
- ✓ Las especificaciones técnicas (tolerancias de las piezas)
- ✓ El entorno donde ha de ubicarse y trabajar la máquina.

En efecto, todos estos factores y otros derivados, relacionados e incluso adicionales a los mismos intervienen en una decisión que puede ser de importancia para la empresa. A partir de aquí (y suponiendo que se precise una máquina para realizar operaciones de fresado) se puede plantear la opción siguiente: ¿Con o sin control numérico?

La respuesta vendrá condicionada básicamente por tres aspectos:

El tamaño de los lotes de producción: para tiradas medias y cortas el control numérico puede ser la opción más rentable dado que se minimiza el tiempo de preparación, y por lo tanto se reduce el tiempo de ciclo.

La complejidad de las piezas: en muchas ocasiones el control numérico es ineludible para la fabricación de piezas de cierta complejidad geométrica.

La precisión requerida: cuando se estrechan los márgenes de tolerancia, el control numérico suele ser la opción preferible, sobre todo si se trata de series de piezas donde se precisa además asegurar una buena repetibilidad.

En el caso de la unidad productiva analizada, lo que se tiene es una serie de piezas de

tiradas pequeñas, en las que el tiempo de preparación de máquina tiene un impacto muy elevado, lo cual, unido a la dificultad de ciertos contornos de piezas en los que dos o tres ejes deben ser controlados simultáneamente, hace ineludible el empleo de control numérico.

Las diferencias estriban básicamente en la aplicación específica a la que van destinados y en otros factores dados por la evolución de la tecnología.

- ✓ Capacidad para gobernar tres o más ejes de control numérico
- ✓ Mayor potencia de cálculo (en la medida que aumente el número de ejes a controlar).

Tareas asociadas al trabajo de control numérico computarizado:

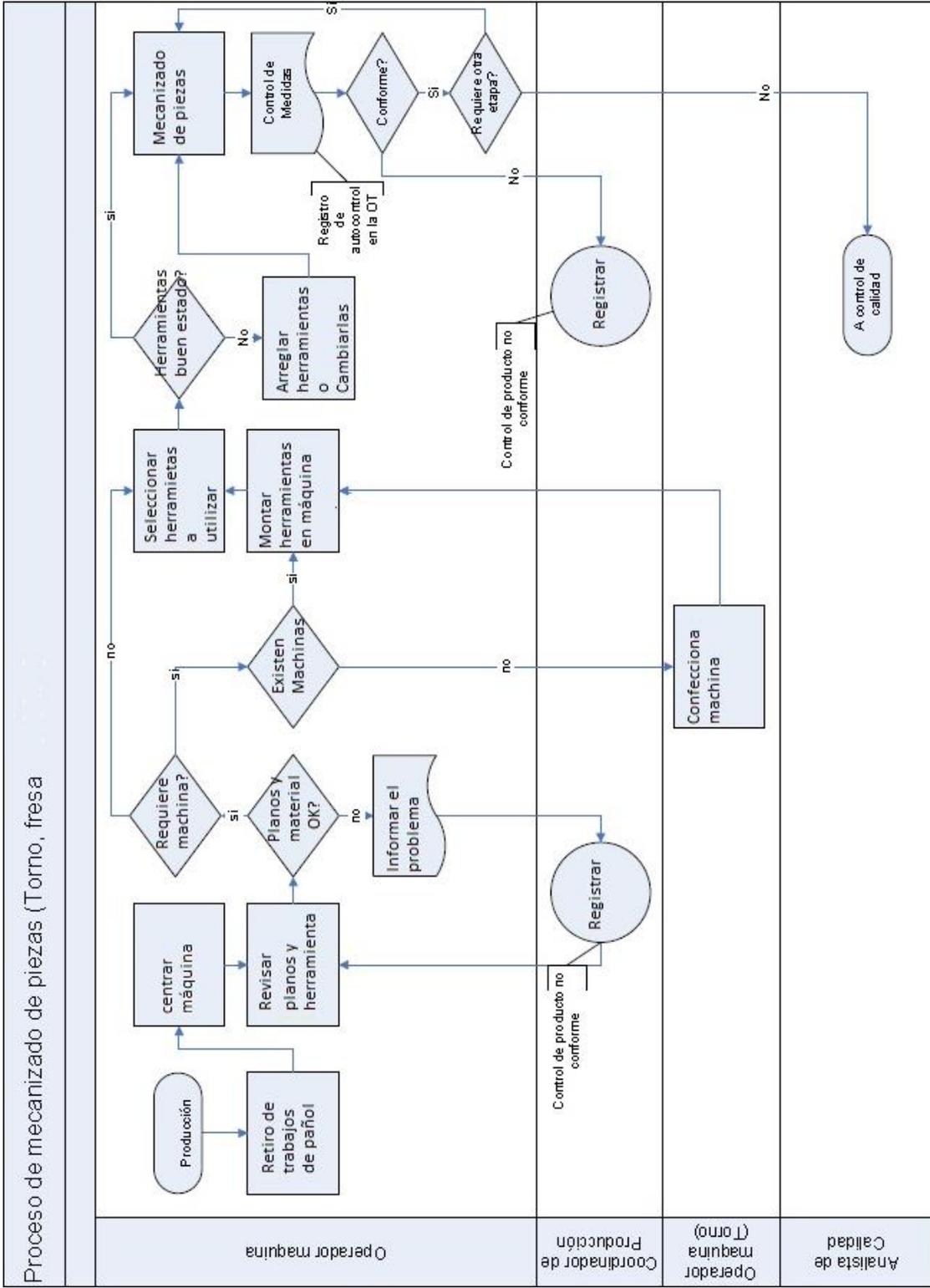
- ✓ La programación
- ✓ La preparación de la máquina y de las herramientas
- ✓ La carga, descarga, selección y eventual modificación de los programas en el panel de la máquina.
- ✓ La asistencia y vigilancia durante la ejecución del programa y el cambio de piezas a mecanizar.
- ✓ El mantenimiento mecánico, hidráulico, neumático eléctrico y electrónico (hardware y software).

Debido a que la división (o estructuración del trabajo) se suele acentuar en las empresas más grandes, podría concluirse que para microempresas y pequeñas empresas se requiere una preparación mayor (más completa) de los operadores de máquina que en las empresas medianas o grandes. En el primer caso puede llegarse a la situación extrema en la que todas las tareas anteriores tengan que ser desarrolladas por una misma persona. Para empresas medianas o grandes lo habitual es que el operador no requiera grandes conocimientos de programación ni de mantenimiento, aunque unas mínimas nociones pueden resultar muy útiles.

3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE PRODUCCIÓN

El tipo de proceso en producción es del tipo de operaciones intermitentes, el cual se caracteriza por ser variado, lo que conlleva ser dinámicos y estar dispuesto a trabajar innovando, reinventando y cambiando día a día sus procesos de mecanizados, debido a la gran diversidad de productos a mecanizar. Este tipo de empresas se caracteriza por tener un nivel de productividad de 50% a 70% de sus horas trabajadas, lo que se debe tener en consideración al momento de realizar los cálculos de costos y flujos de rentabilidad.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso de mecanizado de piezas.



3.3. SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE TALLER

Los equipos y maquinarias necesarias para la implementación del proyecto de mejora de tiempos, en su fase inicial son:

- Llaves neumáticas,
- Brocas con insertos
- Fresas de roscar NPT
- Fresas con insertos
- Mordazas blandas para tornos cnc con diámetros preestablecidos.

Estas herramientas fueron seccionadas después de haber realizado un estudio de tiempo en donde arrojó que cambiar una mordaza de plato de torno conllevaba a un exceso de tiempo (de 10 a 15 minutos), es por ello que se optó por seleccionar una llave neumática. De igual modo se hizo para las fresas enterizas, se sugirió cambiarlas por fresas con insertos. Las roscas, se realizaban con machos de roscar lo que provocaba un exceso de tiempo y lo peor era cuando estos se rompían provocando el daño completo de la pieza, en base a esto se propone implementar el uso de fresas de roscar, para evitar daños a las piezas.

Para mejorar los tiempos de fabricación se optó por utilizar las siguientes metodologías, en su fase inicial:

- ✓ Kaizen.
- ✓ 5s
- ✓ TOC

Los equipos seleccionados fueron escogidos por las siguientes condiciones:

- ✓ Costos.
- ✓ Condiciones de pago.
- ✓ Trayectoria del proveedor

4. COSTOS

Si las propuestas de mejoras expuestas en el capítulo N°3, se lograran implementar como un conjunto generaría un gran impacto en las variables de producción anuales, esto se vería reflejada en una evaluación anual de los resultados y teniendo en consideración que los indicadores claves de producción son:

Tabla 4.1. Indicadores de producción

	Producción Diaria línea	Producción mensual línea	Producción Anual línea
KPI's de Producción	[und/turno]	[und/mes]	[und/año]

Fuente: elaboración propia.

Donde la producción mensual de la línea de producción se calcula a partir de 20 días hábiles disponibles para la producción en un mes

4.1 TIEMPOS DE MECANIZADO POR TIPO DE PIEZAS.

Para analizar y cuantificar los tiempos que se disminuyeron al implementar las metodologías, las que fueron, en primera parte SMED, que se aplicó a la máquina que era cuello botella, según lo muestra la tabla siguiente, en donde el Centro de mecanizado tenía el mayor tiempo de montaje y fabricación. El tiempo promedio de montaje era de 35 minutos por piezas, lo que conllevaba un tiempo perdido de 2,5 a 3 horas por días.

Por otro lado, se aplicó la metodología de 5s y Kaizen en el taller de operaciones de mecanizado, buscado la mejora de los procesos y empleando nuevas herramientas para disminuir los tiempos de fabricación.

A continuación, se muestran los tiempos antes de la mejora, en donde queda destacado que la máquina centro de mecanizado es el cuello de botella (TOC, Teoría de las restricciones) y es donde se comenzará a implementar las mejoras, ya que esta máquina está considerada como

cuello de botella y es quien marca el nivel de producción y por ende marca el ritmo de facturación mensual.

Tabla 4-2. Tiempos de ciclo de producción antes de la mejora

	Ruta Óptima 1	Ruta Óptima 2	1		2		3		4		5
			Torno CNC		Torno Conv.		Centro de Mec.		Fresa Falcon		Desb./Limp.
			Setup	Run	Setup	Run	Setup	Run	Setup	Run	Run
Brida	1-3-4-2-5	1-3-2-4-5	30	60	10	20	25	70	20	45	20
Camisa	1-2-3-5		15	30	15	30	15	30	0	0	15
Retenedor	1-3-2-4-5		20	25	10	20	20	30	0	0	20
Collar	*1-2-5		0	0	15	20	15	25	0	0	10
Collar de traccion	2-3-5		0	0	15	30	20	50	0	0	15
Anillo de Bombeo	2-3-2-5		0	0	20	60	20	90	10	30	30
Espaciador	2-3-5		0	0	10	35	20	30	0	0	25

Fuente: elaboración propia

Con esta forma de trabajo se tiene un tiempo de producción de 460 minutos en sólo estas 7 piezas que son estándar dentro de un sello mecánico

Tabla 4-3. Tiempos de ciclo de producción después de la mejora

	Ruta Óptima 1	Ruta Óptima 2	1		2		3		4		5
			Torno CNC		Torno Conv.		Centro de Mec.		Fresa Falcon		Desb./Limp.
			Setup	Run	Setup	Run	Setup	Run	Setup	Run	Run
Brida	1-3-4-2-5	1-3-2-4-5	30	60	10	20	10	40	20	45	20
Camisa	1-2-3-5		15	30	15	30	5	10	0	0	15
Retenedor	1-3-2-4-5		20	25	10	20	5	15	0	0	20
Collar	*1-2-5		0	0	15	20	5	15	0	0	10
Collar de traccion	2-3-5		0	0	15	30	5	40	0	0	15
Anillo de Bombeo	2-3-2-5		0	0	20	60	10	60	10	30	30
Espaciador	2-3-5		0	0	10	35	10	25	0	0	25

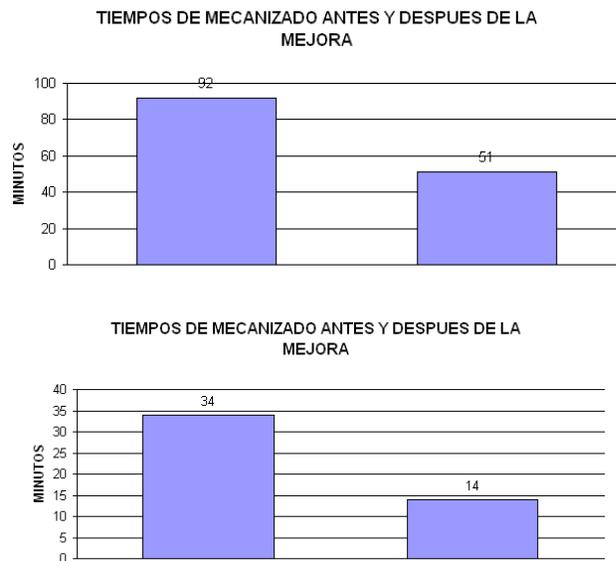
Fuente: elaboración propia

Una vez que se aplicaron las mejoras se obtuvieron los siguientes resultados, con las mismas piezas se obtuvieron tiempos de 255 minutos, lo que equivale a un 55% de aumento de capacidad de planta, lo que se traduce en poder aumentar la facturación en un mínimo y muy holgadamente del 15%, lo que estaba pidiendo la gerencia.

Tabla 4-4. Tiempos de ciclo de producción piezas de mayor rotación

		PFCH	TIEMPO ACTUAL	TIEMPO DESPUES DE LA MEJORA
BRIDA DIAMETRO 220	AISI 316	H-3500-3513	92	51
BRIDA DIAMETRO 165		0444-223	45	34
CAMISA		0476-035	28	22
RETENEDOR		0508-136	19	14

Fuente: elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4-1. Comparativo de tiempo antes y después de la mejora

Siguiendo la línea de realizar montajes más rápidos, bajo la filosofía SMED, nació por parte de los torneros la solución de contar con juegos de mordazas blandas con diámetros definidos y estandarizados para no tener rectificarlas y además que al utilizar las mordazas duras, las piezas al ser de un material más blando quedaban marcadas, y por otro lado, al poner lanas de cobre, el tornero demoraba más tiempo en el centrado. Con esta solución se ahorraron los tiempos de montajes de ambas máquinas CNC.



Fuente: elaboración propia

Figura 4-1. Dispositivos de sujeción estandarizado

4.1.1. Ranurado con fresas

El mecanizado de ranuras o cavidades, también conocido como ranurado, presenta tres facetas:

- Las ranuras cerradas por ambos extremos se denominan cavidades y requieren fresas de ranurar que puedan trabajar en dirección axial.
- El fresado de ranuras es una operación exigente. La profundidad de corte axial se debe reducir por regla general hasta cerca del 70% de la longitud del filo. También se deben tener en cuenta la rigidez de la máquina y la evacuación de la viruta para determinar el mejor método para ejecutar la operación.
- Las fresas de ranurar son sensibles a los efectos de las fuerzas de corte. La desviación y la vibración pueden ser factores de limitación, especialmente con velocidades de mecanizado altas y voladizos grandes.



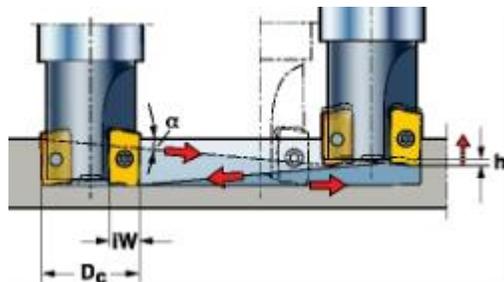
Fuente: Elaboración propia

Figura: 4.2. Mecanizado frontal con inserto diámetro 16 mm.

4.1.2. Mecanizado en rampa

.El mecanizado en rampa circular (3 ejes a la vez) es un método menos productivo que el taladrado pero puede ser una buena alternativa en los siguientes casos:

- Ranuras de gran diámetro cuando la potencia de la máquina está limitada.
- Mecanizar una gama de tamaños de agujeros.
- Almacén de herramientas con espacio limitado para almacenar múltiples tamaños de brocas.
- Producción de agujeros ciegos que requieren fondos planos.
- Piezas poco rígidas, de pared delgada.
- Cortes intermitentes.
- Materiales difíciles de taladrar debido a la rotura y la evacuación de la viruta.
- Cuando no hay líquido de corte.
- Al fresar cavidades/alojamientos ("agujeros que no son redondos").



Fuente: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets/pages/ramping.aspx>

Figura: 4.3. Mecanizado en rampa

Cuadro comparativo de tiempo de fresado de brida en acero inoxidable AISI 316 con herramienta inserto D16 mm R390 calidad ISO P M K. La imagen siguiente muestra la pieza que se desea mecanizar.



Fuente: <http://www.tecnopeg.com/productos/sello-mecanico->
 Figura 4.4. Brida Acero Inoxidable AISI 316, sometida a estudio

La imagen siguiente muestra la herramienta que se utilizará para hacer el cuadro comparativo.

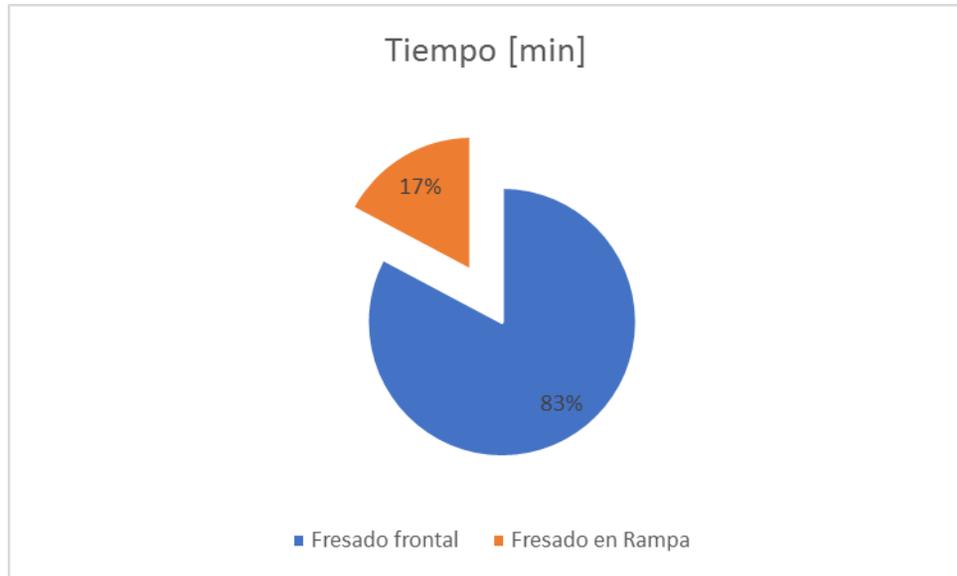


Fuente: [https://www.sandvik.coromant.com/es-](https://www.sandvik.coromant.com/es-es/pages/search15products.aspx?tpcleaf=INSMILG&q=INSERTO%20r390)
 es/pages/search15products.aspx?tpcleaf=INSMILG&q=INSERTO%20r390
 Figura 4.5. Inserto diámetro 16 mm para acero AISI 316.

Tabla 4.5. Comparativo de tiempo con fresado frontal V/S en rampa

	Fresado frontal	Fresado en Rampa
Tiempo [min]	48	10

Fuente: elaboración propia en base a tiempos de mecanizados de taller.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4-2. Comparativo de tiempo con fresado frontal V/S en rampa

4.1.3. Machos de roscar

Esta herramienta sirve para obtener roscados interiores de diámetro limitado. Está conformado por un elemento cilíndrico o parcialmente cónico, semejante a un tornillo y cuya rosca posee las mismas características geométricas que la tuerca con canales longitudinales para la salida de la viruta.



<https://www.izaro.com/machos-de-roscar-tanto-helicoidales-como-rectos/c-1427105208/>

Figura 4.6. Machos de roscar.

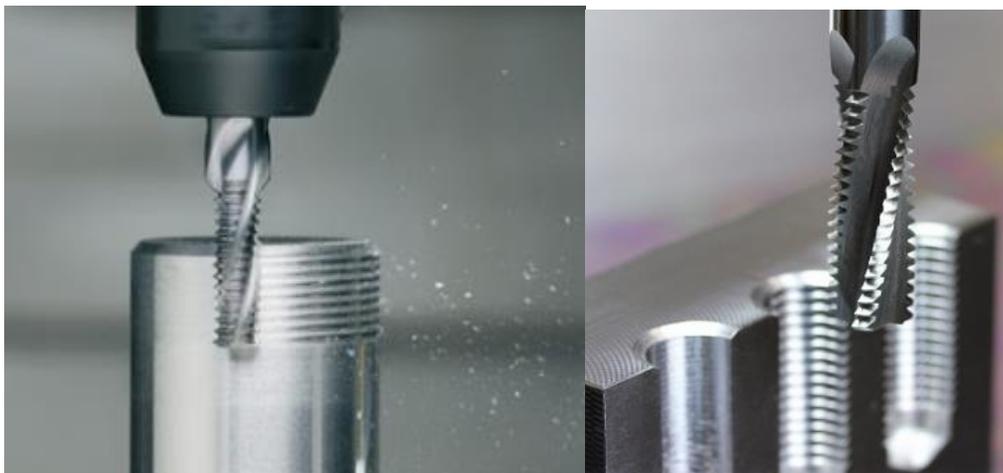
4.1.4. Roscado en fresadora

El roscado con macho no es la única opción para mecanizar roscas en un orificio y la mayoría de los talleres lo saben. También conocen algunas de las ventajas del fresado de roscas, sin embargo, la lista es grande. Por ejemplo, una herramienta de fresado puede abarcar un rango de diámetros de orificio en lugar de un solo tamaño.

La fresa de roscas puede llevar la rosca más cerca al fondo de un orificio ciego, y puede mecanizar roscas en orificios grandes con facilidad. La fresa de roscar deja un espacio por donde las virutas pueden salir. Y la fresa de roscas, a diferencia del macho, puede combinar varias operaciones de roscado de orificios en una sola herramienta. En resumen, hay grandes cosas que la fresa de roscar puede hacer.

El roscado con macho es simple y, de muchas maneras, menos exigente. El roscado con macho puede ser realizado en un amplio rango de máquinas a velocidades convencionales, sin caminos de herramienta interpolados helicoidalmente.

En la imagen siguiente se aprecia la forma de tallar la rosca mediante un avance helicoidal con sus 3 ejes de interpolación.



Fuente: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Herramientas-para-fresado-de-roscas-por-interpolacion-46601.html>

Figura 4.7. Fresa de roscar

Tabla 4.6. Comparativo de tiempo con macho de roscar V/S fresa de roscar

	Roscado Manual	Roscado con fresa
Tiempo [min]	22	2

Fuente: elaboración propia en base a tiempos de mecanizados de taller.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4-3. Comparativo de tiempo con macho de roscar V/S fresa de roscar

4.1.5. Brocas de cobalto

Existen varios tipos de brocas según el uso al cual se destinen. El diseño de estas piezas considera la velocidad con que el material ha de ser removido y la dureza del material a perforar y otras características propias del material, ya sea para maderas, muros, chapas, metales, y dentro de ellos encontramos los aceros inoxidable. Para la fabricación de sellos mecánicos se usaba en primera instancia sólo brocas de cobalto, estas brocas para metal son de máxima calidad, y están recomendadas para taladrar metales de todo tipo incluyendo los muy duros (hasta 120 Kg./mm²) y los aceros inoxidable. Tienen una especial resistencia a la temperatura, de forma que se pueden utilizar sin refrigerante y a altas velocidades de corte.

Tabal 4-7. Velocidad de corte para brocas de Cobalto

Grupo de material	Resistencia a la tracción en N/mm ² y/o dureza HB	Velocidad de corte recomendada en m/min	Tipo de viruta	Lubricante/Refrigerante recomendado
Aceros, baja dureza	< 800 N/mm ²	40 - 50	Larga	Emulsión de aceite Mezcla emulsión aceite + aceite de corte
Aceros, alta dureza	> 800 N/mm ²	20 - 30	Larga	Aceite de corte Mezcla emulsión aceite + aceite de corte
Aceros inoxidables	> 800 N/mm ²	8 - 12	Larga	Aceite de corte
Hierro fundido, fundición maleable	< 250 HB	15 - 20	Corta y extra-corta	Mezcla emulsión aceite + aceite de corte Emulsión de aceite
Aleaciones de aluminio	< 350 N/mm ²	20 - 40	Corta e intermedia	Emulsión de aceite
Aleaciones de cobre	< 500 N/mm ²	30 - 40	Corta, intermedia y larga	Emulsión de aceite
Aleaciones de titanio	< 900 N/mm ²	15 - 20	Corta e intermedia	Aceite de corte
Termoplásticos	-	20 - 30	Extra larga	Emulsión de aceite
Termorrígidos	-	10 - 15	Corta	Corte en seco / emulsión de aceite
Plásticos reforzados	-	15 - 20	Extra larga	Corte en seco / emulsión de aceite

Fuente:

https://www.cusan.com/udecontrol_datos/FileManager/File/documentos_pdf/Brocas%20tipos%20y%20caracteristicas.pdf

Haciendo un caso práctico como ejemplo podemos decir que para perforar con una broca de diámetro 14 [mm] de H.S.S. con recubrimiento de cobalto para ser ocupada en un material de acero inoxidable ocuparemos una velocidad de corte de 8 [m/min].

Sabiendo que para calcular las rpm la fórmula es la siguiente:

$$V_c = \pi \times D \times N / 1000$$

Siendo:

V_c = Velocidad de corte en [m/min]

D = diámetro de la broca

N = número de revoluciones por minutos

Despejando N

$$N = V_c \times 1000 / \pi \times D$$

$$N = 8 \times 1000 / 3,14 \times 14$$

$$N = 181,98 \text{ RPM}$$

Con estas condiciones podemos calcular el avance y obtener el tiempo de mecanizado, para ello se ocupa la siguiente fórmula

$$V_f = \text{RPM} \times F_n$$

Vf = velocidad de avance

Fn = Avance por diente por revolución.

Para el caso del acero inoxidable el avance por diente es de 0,1 [mm/rev]

Reemplazando en la fórmula tenemos que:

$$V_f = 182 \times 0,05$$

$$V_f = 9 \text{ [mm/min]}$$

Con estas condiciones de corte, una pieza que tiene un espesor de 30 mm y que tiene que perforar 4 perforaciones de acuerdo al plano siguiente, el tiempo de mecanizado es de

$$T_m = L / V_f$$

Siendo:

T_m = tiempo de mecanizado

L = Longitud a mecanizar

Reemplazando;

$$T_m = 40 \text{ [mm]} / 9 \text{ [mm/min]}$$

$$T_m = 4,4 \text{ [min]}$$

El tiempo de mecanizado total estaría dado por:

$$T_{mt} = T_m \times N_n$$

T_{mt} = tiempo mecanizado total

T_m = Tiempo de mecanizado unitario

N_n = Número de mecanizados

Reemplazando

$$T_{mt} = 4,4 \times 4$$

$$T_{mt} = 17,6 \text{ [min]}$$

El tiempo de mecanizar la pieza, sólo en lo que respecta a perforaciones es de 17,6 [min]

Este tiempo es teórico, ya que en la práctica por temas de vibración, poca evacuación de viruta, pérdida de filo, la operación total en promedio andaba en 45 [min].

Este tiempo excesivo en la operación debía bajarse, es por ello que se buscaron alternativas que se exponen a continuación.

4.1.6. Brocas con insertos

La broca para taladrar paquetes T-Max está optimizada para el taladrado de una gran gama de materiales, dentro de ellos el acero inoxidable, un método empleado para taladrar un gran número de agujeros a través de placas delgadas. Cuando la broca atraviesa una placa del paquete, crea un disco muy pequeño que se evacua por el canal para virutas.

Ventajas

- Taladrado de paquetes productivo
- Evacuación eficiente de las viruta
- Broca de plaquita intercambiable
- Óptima evacuación de las virutas a través de un canal para virutas
- Diámetro de taladrado: 27-59 mm (1.063-2.323)
- Profundidad de taladrado: 2.5 x DC
- Entre las aplicaciones típicas se incluye el taladrado de placas deflectoras para intercambiadores térmicos y de componentes para puentes
- Para materiales de acero con bajo contenido en carbono y materiales de acero inoxidable



Figura 4.7. Broca con insertos

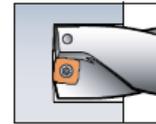


CoroDrill® 880

Datos de corte (valores base)

El texto en negrita son las calidades, geometrías y datos de corte recomendados

TALADRADC



ISO/ANSI	CMC	HB	Diámetro de broca D_c mm	Calidad plaquita central	Calidad plaquita periférica	Velocidad de corte v_c m/min	Geometria / Avance mm/rev.				
							Longitud de taladrado $4 \times D_c$				
							-LM f_n	-MS f_n	-GM f_n	-GT f_n	-GR f_n
P	02.1	180	12.00-13.99	1044	4014*	175-320	0.04-0.10				0.04-0.12
			14.00-16.49				0.04-0.10		0.04-0.10	0.06-0.14	0.04-0.14
			16.50-19.99				0.06-0.14		0.06-0.14	0.06-0.16	0.06-0.16
			20.00-23.99				0.06-0.18		0.06-0.18	0.06-0.20	0.06-0.20
			24.00-29.99				0.06-0.18		0.08-0.18	0.06-0.22	0.08-0.22
			30.00-35.99				0.06-0.20		0.08-0.20		0.08-0.24
			36.00-43.99				0.06-0.24		0.08-0.24		0.08-0.24
			44.00-52.99				0.10-0.20		0.10-0.24		0.10-0.24
53.00-63.50	0.10-0.20		0.10-0.24		0.10-0.24						
M	05.21	180	12.00-13.99	1144	4024	120-250	0.04-0.10				0.04-0.08
			14.00-16.49				0.04-0.12	0.04-0.12	0.04-0.08	0.04-0.12	0.04-0.08
			16.50-19.99				0.06-0.12	0.06-0.12	0.04-0.08	0.06-0.12	0.04-0.08
			20.00-23.99				0.06-0.14	0.06-0.14	0.06-0.12	0.06-0.14	0.06-0.12
			24.00-29.99				0.06-0.14	0.06-0.14	0.06-0.12	0.06-0.14	0.06-0.12
			30.00-35.99				0.06-0.16	0.06-0.16	0.06-0.16		0.06-0.16
			36.00-43.99				0.06-0.16	0.06-0.16	0.06-0.16		0.06-0.16
			44.00-52.99				0.10-0.16		0.10-0.16		0.10-0.16
53.00-63.50	0.10-0.16		0.10-0.16		0.10-0.16						

Figura 4.8. Condiciones de corte

Fuente: Manual CoroKey Sandvik 2015

Con los datos de la tabla entregada por el fabricante podemos ver que para un acero inoxidable corresponde a un ISO M, como en el caso de nuestro ejemplo la broca es de 14 [mm], tiene una velocidad de corte de 120 [m/min] y una avance por revolución de 0,04 a 0,12 (mm/rev)

Reemplazando en las fórmulas tenemos que:

$$V_c = \pi \times D \times N / 1000$$

$$N = 2729 \text{ rpm}$$

$$V_f = \text{RPM} \times F_z$$

$$V_f = 2729 \times 0,04$$

$$V_f = 109 \text{ [mm/min]}$$

Ahora reemplazamos en las fórmulas de tiempo total

$$T_m = 40 \text{ [mm]} / 109 \text{ [mm/min]}$$

$$T_m = 0,36 \text{ [min]}$$

$$T_{mt} = 0,36 \times 4$$

$$T_{mt} = 1,46 \text{ [min]}$$

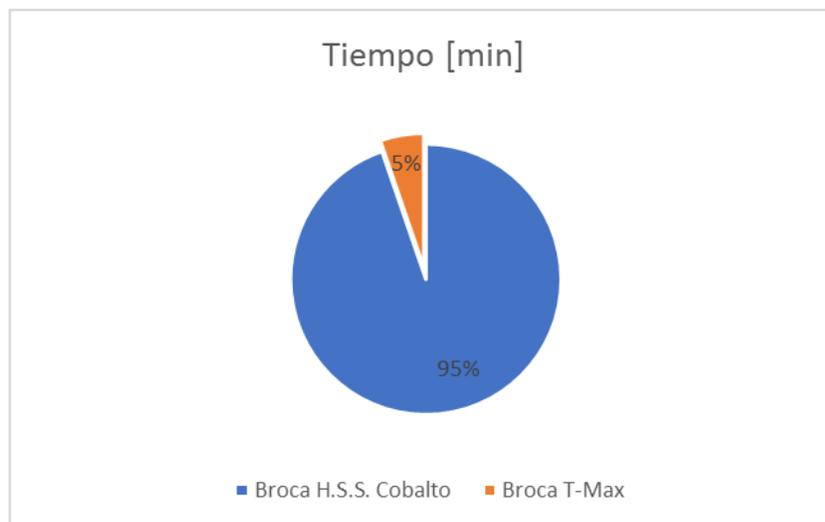
Este tiempo es el tiempo teórico, que por los mismos motivos anteriores, es decir, vibraciones el tiempo cronometrado en máquina fue de 2,5 [min].

Lo que demuestra drásticamente la reducción de tiempos de mecanizados.

Tabal 4-8. Comparativo de tiempo brocas cobalto v/s Insertos

	Broca H.S.S. Cobalto	Broca T-Max
Tiempo [min]	45	2,5

Fuete: elaboración propia en base a tiempo de mecanizados



Fuete: Elaboración propia

Gráfico 4-4. Comparativo de tiempo brocas cobalto v/s Insertos

4.2. COSTOS DE HERRAMIENTAS

Las herramientas que se desean utilizar para la implementación de la mejora comprenden desde porta herramientas e insertos de alta gama tecnología para agilizar los procesos de fabricación. Como parte del grupo de ingeniería industrial global se debe estar a la vanguardia dando soluciones de mecanizado y conocimiento experto que impulsan los estándares y las innovaciones industriales necesarios para la industria del mecanizado actual y futuro, es por ello que en la siguiente tabla se muestran algunas de la herramienta implementar.

Tabla 4-9. Comparativo de costos de Costos de herramientas

Herramientas de Taller				27.210,37
Descripción	Kenamettal	Sandvik	Diferencia	UF
Fresa R390 diámetro 12	\$ 45.760	\$ 65.000	\$ 19.240	0,71
40 Placas R390 tamaño 18	\$ 87.640	\$ 95.000	\$ 7.360	0,27
20 Placas R390 radio	\$ 49.520	\$ 65.245	\$ 15.725	0,58
Fresa R390 diámetro 40	\$ 89.500	\$ 99.000	\$ 9.500	0,35
30 placas R390	\$ 125.900	\$ 127.000	\$ 1.100	0,04
Fresa APKT Ø16 mm	\$ 33.450	\$ 35.670	\$ 2.220	0,08
Fresa APKT Ø20 mm	\$ 33.450	\$ 35.670	\$ 2.220	0,08
60 placas BCMT Japón (para fresa Ø16-Ø20mm)	\$ 264.000	\$ 265.360	\$ 1.360	0,05
70 placas APKT tamaño 11	\$ 233.450	\$ 235.620	\$ 2.170	0,08
10 placas APMT	\$ 43.230	\$ 45.650	\$ 2.420	0,09
Fresa de roscar ntp	\$ 110.000	\$ 115.400	\$ 5.400	0,20
Broca con insertos Ø25 mm	\$ 143.000	\$ 145.300	\$ 2.300	0,08
Broca con insertos Ø25	\$ 134.000	\$ 145.300	\$ 11.300	0,42
Broca con insertos Ø17 mm	\$ 110.240	\$ 117.690	\$ 7.450	0,27
2 Fresas de carburo Ø14 mm	\$ 77.000	\$ 78.470	\$ 1.470	0,05
2 Fresas de carburo Ø16 mm	\$ 85.700	\$ 87.600	\$ 1.900	0,07
20 insertos WCMX 03	\$ 81.345	\$ 83.400	\$ 2.055	0,08
Fresa ranurar Ø10 mm para una placa	\$ 27.690	\$ 28.900	\$ 1.210	0,04
Pistola neumática	\$ 349.000	\$ 350.000	\$ 1.000	0,04
Total	\$ 2.123.875	\$ 2.221.275	\$ 98.400	3,62

Fuente elaboración propia en base a cotizaciones

UF correspondiente al 08 de agosto 2018, \$27.210,37

Tabla 4-10. Costos de herramientas seleccionadas a invertir

Inversión	Pesos	UF
Fresa R390 diámetro 12	\$ 65.000	2,39
Fresa APKT Ø16 mm	\$ 35.670	1,31
Fresa APKT Ø20 mm	\$ 35.670	1,31
Broca con insertos Ø25 mm	\$ 145.300	5,34
Broca con insertos Ø25	\$ 145.300	5,34
Broca con insertos Ø17 mm	\$ 117.690	4,33
Pistola neumática	\$ 350.000	12,86
Fresa ranurar Ø10 mm para una placa	\$ 28.900	1,06
Total inversión	\$ 923.530	33,94

De la tabla anterior se desglosa los costos de inversión en herramientas sólo para el área de mecanizado CNC.

Tabla 4-11. Costos de insertos de herramientas, mensuales y anual, área CNC

Herramientas mensuales	Costo mensual \$	Costo anual UF
40 Placas R390 tamaño 18	\$ 95.000	41,90
20 Placas R390 radio	\$ 65.245	28,77
30 placas R390	\$ 127.000	56,01
60 placas BCMT Japón (para fresa Ø16-Ø20mm)	\$ 265.360	117,03
70 placas APKT tamaño 11	\$ 235.620	103,91
10 placas APMT	\$ 45.650	20,13
20 insertos WCMX 03	\$ 83.400	36,78
Total de insumos anuales	\$ 11.007.300	404,53

La decisión de compra no se hizo considerando el costo mas bajo, si no que se hicieron pruebas de rendimiento y duración de las herramientas y por trayectoria, por tal motivo se seleccionó al proveedor Sandvik para la implementación del taller.

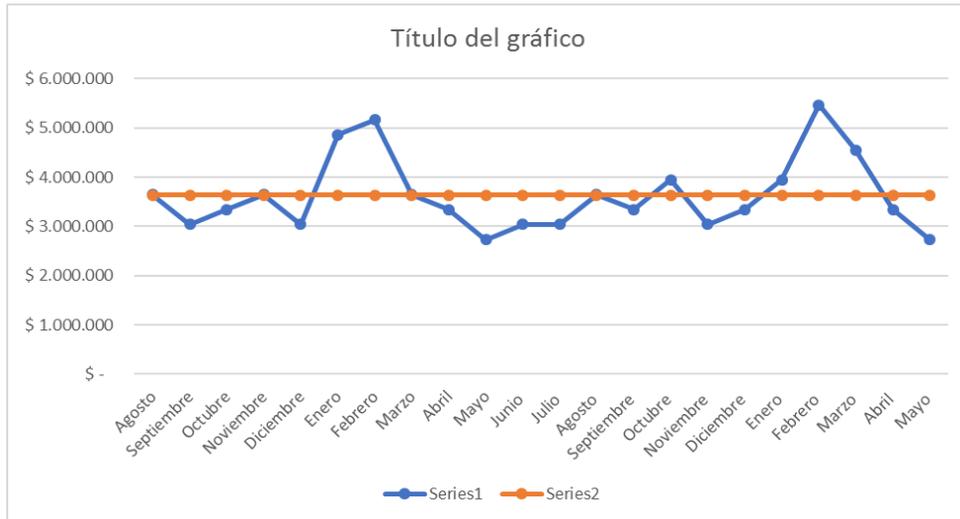
4.3. COSTOS DE HORAS EXTRAS

Para realizar el costo de horas extras y hacer una comparación antes de la mejora y después de la mejora, se consideró un valor promedio de \$6900 por hora para los operadores de máquinas, que era en donde se generaban los mayores gastos de horas extras, a continuación se muestra un resumen de las cantidades mensuales generadas y los costos asociados.

Tabla 4-12 Costo promedio de horas extras

Horas extras				
		22	\$ 6.900 promedio horas extras	
	Mes	Hr extras	Costos mensual	Promedio
1	Agosto	528	\$ 3.643.200	\$ 3.629.400
2	Septiembre	440	\$ 3.036.000	
3	Octubre	484	\$ 3.339.600	
4	Noviembre	528	\$ 3.643.200	
5	Diciembre	440	\$ 3.036.000	
6	Enero	704	\$ 4.857.600	
7	Febrero	748	\$ 5.161.200	
8	Marzo	528	\$ 3.643.200	
9	Abril	484	\$ 3.339.600	
10	Mayo	396	\$ 2.732.400	
11	Junio	440	\$ 3.036.000	
12	Julio	440	\$ 3.036.000	
13	Agosto	528	\$ 3.643.200	
14	Septiembre	484	\$ 3.339.600	
15	Octubre	572	\$ 3.946.800	
16	Noviembre	440	\$ 3.036.000	
17	Diciembre	484	\$ 3.339.600	
18	Enero	572	\$ 3.946.800	
19	Febrero	792	\$ 5.464.800	
20	Marzo	660	\$ 4.554.000	
21	Abril	484	\$ 3.339.600	
22	Mayo	396	\$ 2.732.400	
Total			\$ 43.414.800	
Total UF			\$ 1.596	

Fuente elaboración propia

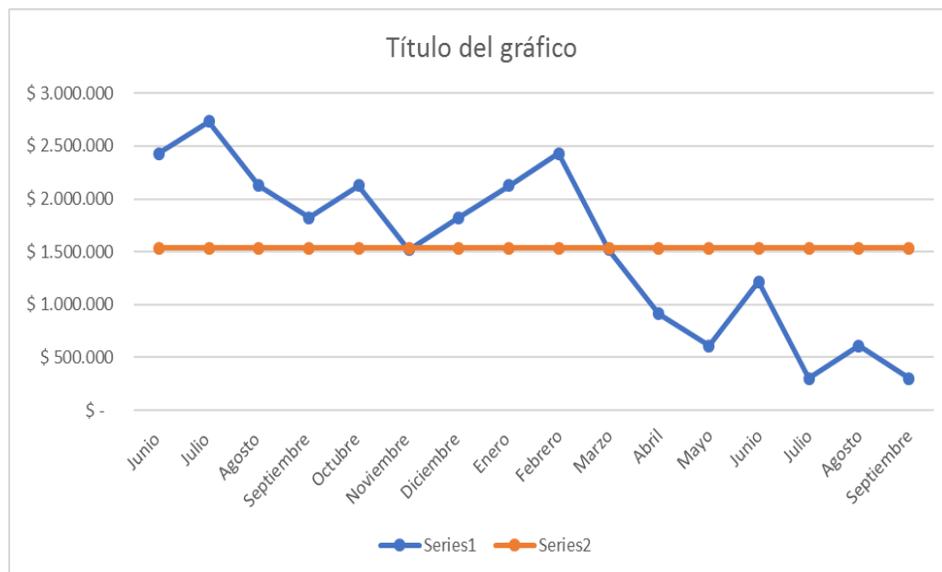


Fuente: elaboración propia en base a datos de Gerencia de Operaciones
 Gráfico 4.5. Registro de horas extras periodo de 2 años, antes de la mejora

Después de la mejora se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-13. Costo promedio de horas extras después de la mejora

	Meses	Cantidad Hr	Costo mensual	Promedio	UF
23	Junio	352	\$ 2.428.800	\$ 1.536.975	56,48
24	Julio	396	\$ 2.732.400	\$ 1.536.975	56,48
25	Agosto	308	\$ 2.125.200	\$ 1.536.975	56,48
26	Septiembre	264	\$ 1.821.600	\$ 1.536.975	56,48
27	Octubre	308	\$ 2.125.200	\$ 1.536.975	56,48
28	Noviembre	220	\$ 1.518.000	\$ 1.536.975	56,48
29	Diciembre	264	\$ 1.821.600	\$ 1.536.975	56,48
30	Enero	308	\$ 2.125.200	\$ 1.536.975	56,48
31	Febrero	352	\$ 2.428.800	\$ 1.536.975	56,48
32	Marzo	220	\$ 1.518.000	\$ 1.536.975	56,48
33	Abril	132	\$ 910.800	\$ 1.536.975	56,48
34	Mayo	88	\$ 607.200	\$ 1.536.975	56,48
35	Junio	176	\$ 1.214.400	\$ 1.536.975	56,48
36	Julio	44	\$ 303.600	\$ 1.536.975	56,48
37	Agosto	88	\$ 607.200	\$ 1.536.975	56,48
38	Septiembre	44	\$ 303.600	\$ 1.536.975	56,48
Total			\$ 15.483.600		
Total UF			\$ 569		



Fuente: elaboración propia en base a datos de Gerencia de Operaciones
 Gráfico 4.6. Registro de horas extras periodo de 1 años, después de la mejora

Tras la implementación se siguió midiendo las horas extras realizadas por el personal de producción. Se evidencia una clara disminución en el gastos de horas extras, lo que se traduce en un ahorro anual de \$21.252.000.

Por otro lado, trajo consigo un descontento de parte de los trabajadores ya que estaban acostumbrado a percibir un monto adicional a su sueldo. Por tal motivo se decidió entregar un bono de producción a cada trabajador que tenia ciertas restricciones que no serán abordadas en profundidad en este trabajo, pero por mencionar algunos indicadores fueron, cantidad de piezas no conformes, o bien retrabajos de piezas y finalmente indicador de accidentabilidad, todo asociado a un valor mínimo de facturación.

4.4. BAUE

Para realizar el calculo de Beneficio Anual equivalente del proyecto realizando la inversión de herramientas y aplicando las metodologías se tiene un BAUE de 374 UF lo equivale a 10 millones de pesos anuales, sólo por concepto de ahorro de horas extras.

Tabla 4-14. Costo promedio de horas extras después de la mejora

	0	1	2	3	4	5
Ingresos		781	789	797	805	813
Costos		-405	-409	-413	-417	-421
Inversión	-34					
Utilidades brutas	-34	376	380	384	388	392
VPN	-34	342	314	289	265	243
BAUE	374	374	374	374	374	374
Tasa 10%						

Fuente: elaboración propia

Otro dato interesante que fue que al disminuir las horas extras y bajar los tiempos de producción se logró aumentar la capacidad de planta en aproximadamente un 45%, lo que trajo consigo poder aumentar la facturación mensual, cumpliendo con los lineamientos de los inversionistas.

Considerando los últimos 12 meses el costo promedio de horas extras antes de la mejora fue de \$3.617.900 y después de la mejora fue de \$1.290.300 lo que equivale al 35,6% de reducción promedio de horas extras, lo que anualmente tiene una reducción de \$27.931.200 equivalente a 1026,49 UF

Algunas consideraciones que se deben tener a futuro es que la metodología Lean consiste en la búsqueda de mejoras concurrentes mediante la eliminación de pérdidas o despilfarros (Muda/Waste), con objeto de conseguir una organización más competitiva (por cuanto podrá conseguir los tres ejes de la competitividad: Precio, Calidad y Servicio). Durante la propuesta realizada se pusieron de manifiesto los resultados de la aplicación de dicha metodología y las fases que se han ido abordando, consiguiendo los resultados esperados de reducción de tiempo de fabricación, lo cual tiene su efecto directo en los costos totales de la orden de compra y por otro lado mejoró el nivel de servicio de la empresa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para cualquier tipo de empresa sea productiva o de servicio siempre existirán desperdicios en su línea productiva, esto puede ser desde la obtención de la materia prima hasta que el producto sea entregado al cliente.

La metodología de gestión Lean Manufacturing busca reducir e incluso eliminar en su totalidad los desperdicios generados en los procesos productivos mediante una serie de herramientas, asociadas a dicha metodología.

Al analizar todas las metodologías de Lean Manufacturing pueden ser aplicable a todos los tipos de industrias, no así sus herramientas que deben pasar a través de una evaluación previa para determinar la compatibilidad que tiene con el rubro y las necesidades de la empresa en cuestión. La disminución en los tiempos de preparación, o de montaje, demostró que no es necesario de tecnología de punta para generar un impacto en el ámbito operacional, más bien se requiere de una buena disposición por parte del personal en lo que se trate de participación creando nuevos modelos de mejoras para los puestos de trabajo.

En relación con las mejoras en el flujo continuo de los procesos productivos es importante señalar que una organización estratégica de los puestos de trabajo supone una mejora considerable para la eliminación de los tiempos de preparación y tiempos de recorridos, pudiendo ser considerado la implementación de equipos y tecnología para automatizar los puestos de trabajo a fin de aumentar el rendimiento del equipo de trabajo.

Lean Manufacturing trae consigo una serie de beneficios, pero, para obtener los mejores resultados posibles de la implementación de Lean Manufacturing, es necesario el esfuerzo y dedicación de todas las personas involucradas en el proceso, desde la alta gerencia hasta el personal de planta.

Considerando los últimos 12 meses posterior a la mejora se realizó el cálculo de Beneficio Anual equivalente del proyecto realizando la inversión de herramientas y aplicando las metodologías se tiene un BAUE de 374 UF que equivale a 10 millones de pesos anuales, sólo por concepto de ahorro de horas extras. Otro dato interesante que fue al disminuir las horas extras y bajar los tiempos de producción se logró aumentar la capacidad de planta en aproximadamente un 45%, lo que trajo consigo poder aumentar la facturación mensual, cumpliendo con los lineamientos de los inversionistas.

Algunas recomendaciones que cabría destacar serían principalmente dos puntos en el desarrollo de la metodología. Por un lado, la importancia de la implicación de las personas, lo cual está íntimamente relacionado con la capacidad de comunicación y de relaciones interpersonales que deben caracterizar a los líderes e impulsores de los equipos Lean. Por otro lado, la relevancia de efectuar un seguimiento de los indicadores que vayan guiando la labor del equipo de trabajo y de cuyo análisis vayan surgiendo ideas de mejora que aseguren la continuidad y sostenibilidad de los resultados. Hay que tener mucho cuidado con declarar el éxito en forma prematura, se debe seguir monitoreando los proyectos y trabajando en las actividades de mejora sobre el mismo, hasta conseguir el establecimiento de un proceso robusto y sustentable en el tiempo. Por último, cabría señalar que para que Lean tenga éxito, es fundamental cambiar la imagen de autoridad por la de liderazgo dentro de las empresas y asegurar que existe una dirección con disposición a escuchar las ideas de los trabajadores para ponerlas en práctica si son aprovechables. Finalmente, se puede decir que el proceso por arranque de viruta en algunas décadas más, se irá minimizando, esto debido a que ya hoy en día en países fuertemente industrializado se está empleado impresión 3D para hacer los componentes mecánicos en diferentes tipos de aceros, pero aun no en materiales inoxidables o termorresistentes como titanio, por sus altos puntos de fusión, pero no es de sorprender que en las próximas décadas ya se sea una realidad, es por ello que se recomienda seguir en esa mirada a futuro y estar dispuesto a estos cambios en la era de la cuarta revolución industrial.

BIBLIOGRAFÍA

GALBANO, Alberto. Las tres revoluciones. 1ª ed. Doña Juana I de Castilla, 2228027 MADRID: Diaz de Santos, 2004. Serie: Le tre Rivoluzioni ISBN: 84-7978-604-3

CUATRECASAS, Luis. Lean Management: la gestión competitiva por excelencia. Barcelona España: Profit Editorial, 2010. Serie B-3.846-2010 ISBN: 978-84-96998-15-5

HERNANDES, Juan. Y VIZAN Antonio. Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación. Madrid España: Fundación eoi, 2013. Serie M-16246-2013 ISBN 978-84-15061-40-3

VILLASEÑOR , Alberto y GALINDO, Edber Manual de Lean Manufacturing. Mexico : Limusa, S.A de C.V. 2007 colección: costo de administración ISBN-13: 978-968-18-6975-5

<http://www.abm-industrial.com/2013/06/18/que-es-sello-mecanico/>

http://www.sii.cl/valores_y_fechas/uf/uf2018.htm

<http://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=107219049>

http://www.ansco.cl/files/PPt_para_JBV.pdf

<https://rosafernandezsalamancaprimaria.blogspot.com/2016/02/el-trabajo-sector-primario-secundario-y.html>