

**Tecnológico de Costa Rica**  
**Programa Académico de Ingeniería en Mecatrónica**



**Propuesta de disminución de tiempos muertos en  
máquinas CNC por medio de un modelo de  
mejores prácticas y la integración con una  
herramienta digital PLM**

*Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en  
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura*

**William Andrés Jiménez Vásquez**

**Cartago, Noviembre de 2014**

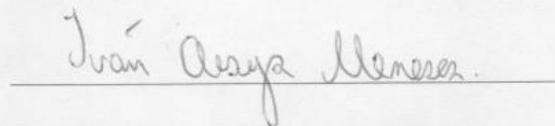
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PROYECTO DE GRADUACIÓN  
TRIBUNAL EVALUADOR  
ACTA DE EVALUACIÓN**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal

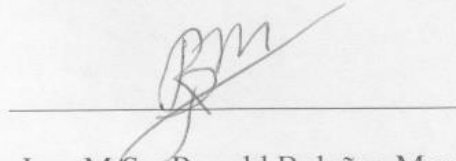


Ing. M.Sc. Arys Carrasquilla Batista  
Profesora lectora



Ing. M.Sc. Iván Araya Meneses  
Profesor lector

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica  
Ingeniería Mecatrónica



Ing. M.Sc. Ronald Bolaños Maroto  
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el Programa Académico de Ingeniería Mecatrónica

Cartago, 13 de Noviembre, 2014

# Declaratoria de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 13 de Noviembre de 2014



William Andrés Jiménez Vásquez

Cédula: 2-693748

# Resumen

Hoy en día, uno de los mayores retos para las Pymes dedicadas al sector de la producción es encontrar una forma de incrementar sus ingresos y ampliar su negocio sin tener que aumentar significativamente la planilla o la cantidad de recursos humanos. Las Pymes se encuentran en franca desventaja frente a las compañías de mayor tamaño, que por lo general disponen de un mayor apoyo financiero y de más recursos en general (empleados, equipos, contratistas, proveedores) para llevar a cabo nuevas iniciativas. Casi todos los pequeños fabricantes intentan crecer por sus propios medios y evitan caer en la tentación de atraer la inversión de las empresas de capital riesgo por temor a perder el control de su negocio. No obstante, para mantener su independencia y crecer orgánicamente, las Pymes deben instaurar un modelo de negocio que maximice el uso de los recursos y minimice los costes.

Para este proyecto, se estudió el caso de la empresa FEMA Industrial S.A., la cual es una Pyme dedicada a trabajos de mecánica de precisión en las áreas de mantenimiento de equipos, diseño y manufactura de productos. En sus instalaciones cuenta con varias máquinas-herramientas CNC, sin embargo, no han tenido los resultados esperados acordes a la inversión que representaron.

El avance de la tecnología y el desarrollo de las máquinas de control numérico CNC, ha permitido la evolución de la industria de manufactura, logrando avances en la complejidad, tiempos y calidad de los productos. El principal problema de estos equipos, es que tienen un costo elevado, por lo que para Pymes representa una inversión considerable. Con este proyecto se pretenden identificar los procedimientos que puedan mejorarse para agilizar el tiempo en que las máquinas CNC empiezan las operaciones, buscando sacar un máximo provecho de los recursos disponibles. Además, se buscará integrar parte de un modelo con las mejores prácticas y procedimientos con una herramienta digital para la gestión del ciclo de vida de los productos o PLM, más con el objetivo de poder mostrar los alcances de la utilización de tecnologías digitales en el beneficio de la mejora continua de las empresas.

**Palabras clave:** Mejores prácticas y procedimientos, Gestión de ciclo de vida del producto (PLM), tecnologías digitales, integración de procesos, CNC, tiempos muertos, tiempos de operación.

# Abstract

Today, one of the biggest challenges for SMEs engaged in the production sector is finding a way to increase their income and expand their business without significantly increasing the template. SMEs are at a total disadvantage against companies of a larger size, which generally have greater financial support and more resources in general (employees, teams, contractors, suppliers) to carry out new initiatives. Almost all small manufacturers try to grow on their own and avoid falling into the temptation to attract the investment of venture capital companies for fear of losing control of their business. However, to maintain its independence and grow organically, SMEs must establish a business model that maximizes the use of resources and minimize costs.

For this project, I studied the case of FEMA Industrial S.A., which is an SME dedicated to works of precision mechanics in the areas of maintenance of equipment, design and manufacture of products. In its facilities has several CNC machine tools, however, have not had the expected results in accordance with the investment represented.

The advancement of technology and the development of numerical control CNC machines, has allowed the evolution of the manufacturing industry, progress in complexity, time, and quality of products. The main problem of these teams is that they have a high cost, so for SMEs represents a considerable investment. This project is intended to identify procedures which can be improved to speed up time in CNC machines begin operations, looking for a maximum benefit from available resources. In addition, will seek to integrate part of a model with the best practices and procedures with a digital tool for the management of the life cycle of products or PLM, most with the aim to show the scope of the use of digital technologies to the benefit of the continuous improvement of the companies.

**Key words:** Best practices and procedures, Product Lifecycle Management (PLM), digital technologies, integration of processes, CNC, dead times, times of operation.

# Dedicatoria

*El presente trabajo de investigación está dedicado a mis padres, hermanos y familiares quienes me han apoyado en todas mis decisiones a lo largo de la vida y son el mejor regalo que Dios me haya podido dar. De ellos aprendí los valores de responsabilidad, cumplimiento y superación para conseguir mi objetivo estudiantil.*

# Agradecimiento

*Primero agradezco a Dios por el regalo de la vida, por estar siempre a mi lado y por todo lo que nos da día con día. A mis padres por todo el apoyo sin importar las dificultades, a mis hermanos, familiares y amigos que de una u otra manera han contribuido para la culminación de uno de mis más grandes anhelos. Al profesor Ing. Ronald Bolaños Maroto por la colaboración para la realización del proyecto y ser un guía durante todo su desarrollo. Al Área Académica de Ingeniería en Mecatrónica, a sus profesores, por todo el conocimiento que supieron transmitir durante la carrera, conocimientos valiosos para el desenvolviendo en la vida personal y profesional.*

# Índice general

Declaratoria de autenticidad .....	i
Resumen .....	ii
Abstract.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento .....	v
Capítulo 1 Introducción .....	1
1.1 Problema existente e importancia de su solución .....	2
1.2 Enfoque de la solución .....	3
1.3 Meta y Objetivos.....	4
1.3.1 Meta.....	4
1.3.2 Objetivo General.....	5
1.3.3 Objetivos Específicos .....	5
Capítulo 2 Investigación .....	6
2.1 Introducción al control numérico computarizado (CNC).....	6
2.2 Evolución del Control Numérico: Antecedentes Históricos.....	7
2.2.1 Evolución y tendencias de los controles numéricos .....	8
2.3 Actualidad de las máquinas CNC.....	10
2.4 Características de las máquinas-herramientas CNC.....	13
2.4.1 Ventajas del CNC .....	13
2.5 Partes de las máquinas CNC.....	14
2.6 Programación de las máquinas CNC.....	14
2.6.1 Código G .....	16
2.7 Sistemas CAD/CAM .....	17
2.8 Proceso de optimización de operaciones en máquinas de Control Numérico.....	22
2.9 Importancia de las máquinas de control numérico para la empresa de mecánica de precisión .....	24
2.10 Importancia de la gestión del recurso humano .....	25
2.11 Gestión del ciclo de vida de un producto .....	26
2.12 Dificultades de la Industria Actual .....	29
2.13 Industria de transformación.....	29
Capítulo 3 Diseño de la solución.....	31
3.1 Problemática .....	31



3.2	Indagación y estudio de la información.....	32
3.2.1	Recopilación de información.....	33
3.3	Valoración de las alternativas y solución final.....	34
3.4	Implementación de la solución.....	34
3.5	Reevaluación y rediseño.....	36
Capítulo 4 Descripción detallada de la solución .....		37
4.1	Alternativas de solución .....	37
4.1.1	Mejores prácticas y procedimientos .....	37
4.1.2	Tecnología digital PLM para gestionar procedimientos actuales.....	38
4.1.3	Integración de buenas prácticas con tecnología digital PLM.....	39
4.2	Solución definitiva.....	40
4.3	Detalles de la solución final.....	41
4.3.1	Información recopilada.....	41
4.3.2	Procedimientos actuales para la manufactura en CNC.....	44
4.3.3	Propuesta de mejora de procedimientos .....	47
4.3.4	Mejora por medio de herramientas digitales .....	54
4.3.5	Implementación de la tecnología PLM para la gestión de procesos.....	54
4.4	Disminución de tiempos en la elaboración de la Pieza “Y” .....	63
4.5	Adquisición de datos de forma automática por las máquinas .....	64
4.6	Descripción de las máquinas CNC en el taller de FEMA Industrial S.A.....	65
4.7	Descripción del software PLM.....	67
4.7.1	Arquitectura del sistema .....	68
4.7.2	Integración con software CAD.....	68
4.7.3	Modificaciones a proyectos .....	71
Capítulo 5 Análisis de Resultados .....		74
Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones.....		80
6.1	Conclusiones.....	80
6.2	Recomendaciones .....	81
Bibliografía.....		82
Apéndices .....		84
A.1	Glosario .....	84
A.2	Propuesta de modelo de buenas prácticas y procedimientos .....	85

# Índice de figuras

Figura 2.1 Primera máquina fresadora CNC. ....	7
Figura 2.2 Torno CNC de 3 ejes. ....	11
Figura 2.3 Centro de mecanizado CNC de 5 ejes. ....	12
Figura 2.4 Estructura bloque de programación de CNC. ....	16
Figura 2.5 Movimiento de circunferencia con código G. ....	17
Figura 2.6 Componente para “Empresa X”. ....	18
Figura 2.7 Plano principal de componente para “Empresa X”. ....	19
Figura 4.1 Elemento a limpiar del centro de mecanizado Okuma. ....	47
Figura 4.2 Medición del OEE. ....	52
Figura 4.3 Ciclo de vida de un producto. ....	56
Figura 4.4 Información generada por el centro de mecanizado Okuma en FEMA Industrial S.A. ....	59
Figura 4.5 Hoja de control de operaciones en FEMA Industrial S.A. ....	60
Figura 4.6 Herramientas de reporte en Windchill. ....	61
Figura 4.7 Internet de las cosas. ....	62
Figura 4.8 Centro de mecanizado Okuma Genos M-560v. ....	67
Figura 4.9 Integración Creo Parametric con Windchill. ....	69
Figura 4.10 Creación de piezas o ensambles desde Creo Parametric. ....	70
Figura 4.11 Integración Creo View Lite con Windchill. ....	70
Figura 4.12 Anotaciones en dibujos 3D en Windchill. ....	71
Figura 4.13 Generación de versiones y copias en Windchill. ....	72
Figura 4.14 Revisión de información de proyectos en Windchill. ....	73
Figura 5.1 Propuesta de mejores prácticas y procedimientos. ....	75

# Índice de tablas

Tabla 4.1 Ventajas y desventajas de aplicar mejores prácticas y procedimientos. ....	38
Tabla 4.2 Ventajas y desventajas de la aplicación del PLM. ....	39
Tabla 4.3 Tiempos tomados manualmente en maquinado de pieza “Y” .....	42
Tabla 4.4 Responsabilidades por departamento en FEMA Industrial S.A. ....	43
Tabla 4.5 Tiempo Ciclo de Vida de pieza “Y” .....	63
Tabla 4.6 Listado de máquinas CNC en FEMA Industrial S.A. ....	66

# Capítulo 1 Introducción

El siguiente proyecto se realizó en busca de una mejora considerable en los tiempos de producción en equipos CNC en la empresa Pyme FEMA Industrial S.A., enfocándose en la creación de un modelo de mejores procedimientos y prácticas con el fin de trabajar sobre el entorno de la máquina, combinado con una tecnología digital para gestionar el ciclo de vida de los productos. Para ello, se debe entender cómo trabajan las máquinas desde un punto de vista mecánico y eléctrico (interno de la máquina), y a su vez entender los aspectos externos a ellas y que afectan sus operaciones.

Esta empresa, dedicada a la mecánica de precisión, utiliza para sus trabajos equipos tornos CNC, tornos convencionales, fresadoras CNC y fresadoras convencionales; cuenta con un departamento técnico para el diseño y programación de los productos a maquinar en los equipos mencionados. Para ello, utilizan programas de computación como AutoCAD, Inventor y Edge-CAM.

En el primer capítulo se presentan las metas, objetivos y alcances del proyecto con el fin de tener claro cuáles deben ser los resultados finales del mismo y poder evaluar en comparación a lo que se planteó originalmente.

Seguidamente, se presentará el marco teórico con la información recopilada en el desarrollo del proyecto, que permite entender todos los conceptos involucrados en la identificación de los procedimientos a mejorar para la puesta en marcha de las máquinas CNC, así como la importancia de la gestión de los recursos de la empresa, en busca de ser competitivos y lograr una mejora continua, aprovechando los avances de la tecnología.

Luego, se presenta el proceso metodológico que se siguió para la elaboración del proyecto, desde el tipo de investigación realizada, evaluación de las alternativas de solución y la implementación de la solución definitiva. Seguido a esto, se muestra el desarrollo de la solución, donde por el tipo de proyecto de investigación, se presentarán todos los puntos que fueron identificados y que permitieron la confección de un modelo de buenas prácticas. En este capítulo se incluye el hardware y software estudiado.

Posteriormente, se desarrolló el análisis de los resultados, conclusiones y algunas recomendaciones que se consideraron importante. Así, finalmente se presenta el modelo de buenas prácticas que se elaboró como parte del proyecto.

### **1.1 Problema existente e importancia de su solución**

A lo largo de los años, la forma de trabajo de las industrias ha ido revolucionando continuamente. Por ejemplo, hablando de mantenimiento en los equipos, se inició por mantenimiento correctivo y se fue evolucionando hacia un mantenimiento productivo total, que permite el trabajo en equipo del departamento de mantenimiento con el de producción. En la actualidad, esta tendencia hacia la integración de diferentes áreas de trabajo en la industria, está tomando un papel relevante, permitiendo un mayor desarrollo y crecimiento de las empresas en busca de una ventaja competitiva.

Actualmente, principalmente en pequeñas y medianas empresas que utilizan equipos de control numérico computacional CNC, no están logrando obtener un máximo rendimiento de estas, puesto que sólo están en funcionamiento alrededor del 30% del tiempo, siendo el restante 70% correspondiente a tiempos de preparación y tiempo muertos.

Para lograr una mejora de la productividad por medio de utilización de las mejores prácticas, es necesario lograr la integración, de la gestión del equipo con su proceso de funcionamiento.

La importancia de este tipo de integración de áreas y donde mecatrónica juega un papel destacado, es en lograr una automatización avanzada, donde la interacción hombre-máquina sea lo que permita su ejecución. Esta interacción debe ser optimizada, el contar con productos inteligentes va a cambiar radicalmente la forma de trabajo en las empresas.

#### *Síntesis del problema*

*Las pequeñas y medianas empresas que utilizan equipo de control numérico, no están obteniendo un máximo rendimiento de los equipos debido a los tiempos muertos, generados principalmente por una incorrecta gestión de todo el proceso productivo.*

## 1.2 Enfoque de la solución

El ciclo de vida de un producto comprende una serie de etapas donde se combinan los trabajos de diferentes departamentos dentro de una empresa. Una eficiente comunicación entre departamentos permitirá desarrollar dicho producto de manera rápida y económica. Asimismo, la comunicación entre los responsables de un proyecto dentro un mismo departamento permitirá obtener resultados de manera más eficiente.

La solución que se plantea es la elaboración de un modelo de buenas prácticas y procedimientos, que permita dar un mejor uso a los activos disponibles en la empresa, tanto humanos como materiales, para una optimización en los tiempos de puesta en marcha de las máquinas-herramientas de control numérico. Para ello se deberá estudiar la metodología de trabajo actual para poder evaluar puntos de mejora en el proceso. Aplicando los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, se pretende entender la máquina desde un punto de vista interno y externo, así como el uso de programas de ingeniería CAD/CAM para agilizar la manufactura de productos.

Asimismo, como parte del proyecto se plantea investigar en el uso de una herramienta digital para gestionar el ciclo de vida de los productos, de manera que se pueda asegurar el cumplimiento de las buenas prácticas y la estandarización de procedimientos. Esto como un primer paso de investigación, pero tener una visión de ir más allá con el proyecto, donde una vez que se implemente la herramienta pensar en ingresar inteligencia al sistema de manera que se pueda automatizar, además de buscar medios para que la adquisición de datos de las máquinas se haga de manera automática.

Debido a que la herramienta digital para la gestión de ciclo de vida del producto o PLM (por sus siglas en inglés de Product Lifecycle Management) es una tecnología nueva y que requiere mucho tiempo de investigación para su implementación, se propone dar a conocer los alcances del software en función de la aplicación del modelo de buenas prácticas, de manera que se pueda observar y entender los beneficios de la aplicación de ambas soluciones en un futuro, pero desde un punto de vista conceptual.

## **1.3 Meta y Objetivos**

### **1.3.1 Meta**

Crear un modelo de buenas prácticas y procedimientos para la puesta en marcha efectiva de las máquinas-herramientas de control numérico por computadora (CNC), que permita disminuir los tiempos en que los equipos se mantienen sin operar. El modelo no será implementado en la empresa por lo que no se va a poder comprobar los resultados del mismo, el análisis se hará con base al proceso de investigación que se realice y observaciones por parte del estudiante.

Realizar una investigación en el uso de la herramienta digital para la gestión de ciclo de vida o PLM, de manera que se pueda implementar un modelo de buenas prácticas y procedimientos con una tecnología digital, aprovechando los beneficios de ambos y pensando en el inicio de la era digital y la importancia para las empresas de formar parte, para poder mantener una mejora continua y ser competitivas en el mercado.

Por otro lado se espera mostrar una oportunidad laboral para el Ingeniero en Mecatrónica en nuestro país, resolviendo un problema real en la industria, asimismo pensando en los avances tecnológicos y las nuevas tendencias de automatización, que buscan la comunicación entre todos los equipos y sistemas por medio del internet. Lograr esa integración de procesos y posteriormente su automatización representa un claro nicho laboral para Mecatrónica.

### **1.3.2 Objetivo General**

Desarrollar un modelo de buenas prácticas y procedimientos para optimizar la producción en talleres con máquinas-herramientas de control numérico computarizado por medio de la gestión del ciclo de vida de los productos.

### **1.3.3 Objetivos Específicos**

1. Investigar sobre los procedimientos y prácticas utilizadas en los procesos productivos de las máquinas de control numérico en las empresas VITEC y FEMA.
2. Investigar en el uso de una herramienta digital que permita realizar la gestión del ciclo de vida del producto.
3. Identificar tiempos muertos en la puesta en marcha de equipos CNC en la empresa FEMA Industrial S.A.
4. Identificar una oportunidad laboral para el Ingeniero Mecatrónica en la solución de un problema real en la industria.



# Capítulo 2 Investigación

## 2.1 Introducción al control numérico computarizado (CNC)

La máquina herramienta ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto que no es una exageración decir que la tasa del desarrollo de máquinas herramientas gobierna directamente la tasa del desarrollo industrial.

Gracias a la utilización de la máquina herramienta se ha podido realizar de forma práctica, maquinaria de todo tipo que, aunque concebida y realizada, no podía ser comercializada por no existir medios adecuados para su construcción industrial.

Así, por ejemplo, si para la mecanización total de un número de piezas fuera necesario realizar las operaciones de fresado, mandrilado y perforado, es lógico que se alcanzaría la mayor eficacia si este grupo de máquinas herramientas estuvieran agrupadas, pero se lograría una mayor eficacia aún si todas estas operaciones se realizaran en una misma máquina. Esta necesidad, sumada a numerosos y nuevos requerimientos que día a día aparecieron forzó la utilización de nuevas técnicas que reemplazaran al operador humano. De esta forma se introdujo el control numérico en los procesos de fabricación, impuesto por varias razones:

- Necesidad de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.
- Necesidad de obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano.
- Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Inicialmente, el factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de productividad. Posteriormente, debido a las nuevas necesidades de la industria aparecieron otros factores no menos importantes como la precisión, la rapidez y la flexibilidad.

Hacia 1942 surgió lo que se podría llamar el primer control numérico verdadero, debido a una necesidad impuesta por la industria aeronáutica para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones.

## 2.2 Evolución del Control Numérico: Antecedentes Históricos

A continuación se presentará una breve reseña histórica de la evolución de la máquina-herramienta, destacando los principales hitos que marcaron su desarrollo hasta lo que tenemos en la actualidad.

Desde la prehistoria, la evolución tecnológica de las máquinas-herramienta se ha basado en el binomio herramienta-máquina. Durante siglos, la herramienta fue la prolongación de la mano del hombre hasta la aparición de las primeras máquinas rudimentarias que ayudaron en su utilización.

El Control Numérico por Computador tuvo su origen a principio de los años 50 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora. En esta época, las computadoras estaban en sus inicios y eran tan grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la misma máquina CNC, tal y como se puede observar en la Figura 2.1.

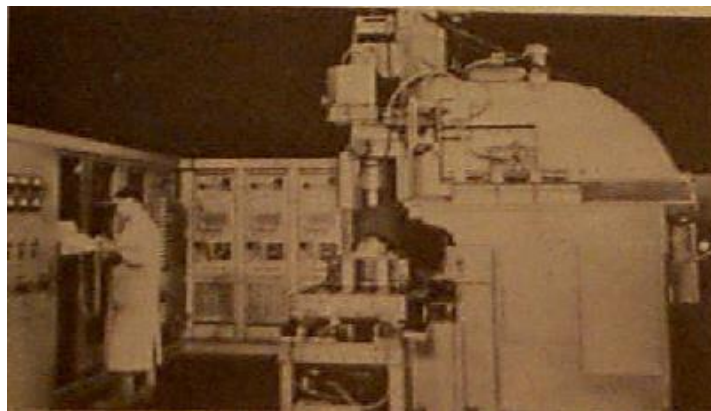


Figura 2.1 Primera máquina fresadora CNC.

Fuente: Aldabaldetrecu, P. (01 de Febrero de 2002). *Evolución técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica.* Obtenido de [Interempresas.net](http://Interempresas.net) | [Metalmecánica:](http://Metalmecánica.com)

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1435-Evolucion-tecnica-de-la-maquina-herramienta-Resena-historica.html>

### 2.2.1 Evolución y tendencias de los controles numéricos

A continuación se presenta un resumen con los principales hechos que marcaron el desarrollo del control numérico:

- (1725) Máquinas de tejes construidas en Inglaterra, controladas por tarjetas perforadas.
- (1863) M. Forneaux-primer piano que tocó automáticamente.
- (1870-1890) Eli Whitney- desarrollo de plantillas y dispositivos.  
“Sistemas norteamericano de manufactura de partes intercambiables”
- (1880) Introducción de una variedad de herramientas para el maquinado de metales. Comienzo del énfasis en la producción a gran escala.
- (1940) Introducción de los controles hidráulicos, neumáticos y electrónicos. Aumento del énfasis en el maquinado automático.
- (1945) Comienzo de la investigación y desarrollo del control numérico. Comienzo de los experimentos de producción a gran escala con control numérico.
- (1955) Las herramientas automatizadas comenzaron a aparecer en las plantas de producción para la Fuerza Aérea de producción de Estados Unidos.
- (1956) Hay concentración en la investigación y el desarrollo del control numérico.
- (1960) Hasta la actualidad
  - Se crean varios nuevos sistemas de control numérico.
  - Se perfeccionaron las aplicaciones a la producción de una gama más grande de procedimientos de maquinado de metales.
  - Se idearon insumos computarizados de planeación gráficos por control numérico.
  - Se han desarrollado procedimientos computarizados de trazo de curvas de nivel por control numérico, a bajo costo.
  - Se han establecido centro de maquinado para utilización general.

## Capítulo 2: Investigación

Hoy día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria, como por ejemplo tornos, rectificadoras, electroerosionadoras, máquinas de coser, entre otras.

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los 3 ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de moldes y troqueles.

En una máquina CNC, una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina esta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. En el caso de una industria o taller, esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo.

El avance tecnológico del CNC ha constituido el aspecto dominante, afectando a todas las máquinas-herramienta, incluso a las universales. En cierto aspecto, las máquinas se han convertido en más simples, porque ciertas funciones han sido transferidas del sistema mecánico al electrónico. Se ha logrado el control simultáneo de varios ejes, como es el caso de los centros de mecanizado, de los tornos, etc., lo cual no era posible hasta la aplicación del CNC.

Nos hallamos ante una revolución que está pasando de una economía sustentada en los principios de la mecánica, esto es, en la producción en masa, en el carácter uniforme de los productos, etc. a una economía que se caracteriza por la flexibilidad, la rápida reacción a la evolución de los mercados, la adaptabilidad de los productos, etc. Para ello ha sido necesario integrar tecnologías basadas en la mecánica y la electrónica - mecatrónica - lo que ha supuesto entrar en una nueva cultura industrial condicionada por un enfoque global y pluridisciplinario de los problemas de producción (Aldabaldetrecu, 2002)

Según (Aldabaldetrecu, 2002) el alto grado de automatización no ha corregido suficientemente el grado de utilización; lo que ha puesto de manifiesto deficiencias existentes en cuanto a disponibilidad de máquinas y sistemas, y por lo tanto una insuficiente productividad con relación a su elevado coste. En la mayoría de los casos, cuando se inicia el proceso de mecanizado de piezas en una máquina solamente el 40% del tiempo total disponible están siendo mecanizadas, y el 60% restante se consume en cambio de utillaje, carga y descarga de pieza, posicionado, averías, rotura y afilado de herramientas, etc.

### **2.3 Actualidad de las máquinas CNC**

La evolución de la tecnología de las máquinas herramientas ha estado marcada por grandes avances en la capacidad de control, particularmente en los últimos 30 años. La configuración básica de muchas máquinas herramientas (tornos, por ejemplo) no ha cambiado en muchos años; pero, la llegada del control numérico, control numérico computacional y avances relacionados han traído importantes cambios y efectos en los métodos de manufactura y sus costos.

En muchos países en vías de desarrollo existe un ambiente de grandes expectativas e incertidumbre debido a los cambios rápidos de la tecnología actual, pues no hay tiempo suficiente de asimilarla en forma oportuna por falta de infraestructura, lo que hace difícil sacar su mejor provecho.

El control numérico (NC, Numerical Control), el control numérico computacional (CNC, Computer Numerical Control) ha dado a la industria manufacturera la capacidad de ejercitar un nuevo y mayor grado de libertad en el diseño y manufactura de productos. Esta nueva libertad es demostrada por la capacidad de producir automáticamente productos que requieren de procesamientos complejos con un alto grado de calidad y confianza. Es más, productos que antes eran imposibles de fabricar económicamente pueden ahora ser hechos con relativa facilidad usando máquinas NC. Lo usual es observar máquinas de control numérico de 3 ejes como la que se observa en la Figura 2.2., sin embargo, poco a poco se introducirán en las industrias equipos de mayor cantidad de ejes.



Figura 2.2 Torno CNC de 3 ejes.

Fuente: Industrias ROMI S.A. (s.f.). *CNC Lathes ROMI C Series*. Obtenido de [http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/CATALOGOS\\_2014\\_INGLES/cat\\_romi\\_c\\_in\\_ag\\_final\\_bx.pdf](http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/CATALOGOS_2014_INGLES/cat_romi_c_in_ag_final_bx.pdf)

Hoy en día, podemos ver máquinas de control numérico cada vez más complejas, capaces de trabajar hasta en 4, 5 y hasta 6 ejes, con opción a colocar más de 30 herramientas de corte. Por ejemplo en la Figura 2.3 se muestra un equipo de 5 ejes. Los centros de mecanizado son cada vez más comunes en las empresas de metalmecánica, sin embargo, los precios de las máquinas siguen siendo muy elevados, lo que representa una importante inversión para las industrias.



Figura 2.3 Centro de mecanizado CNC de 5 ejes.

Fuente: Haas Automation Ltd. (2014). *Haas VF-5TR 5-Axis Vertical Machining Centre*. Obtenido de Haas Automation UK: <http://www.haas.co.uk/vf5tr.html>

En empresas pequeñas y/o medianas como FEMA Industrial, la inversión en máquinas de control numérico representa un gasto importante y debe ser vital aprovecharlas al máximo para poder recuperar esa inversión.

Las máquinas de control numérico modernas cuentan con gran cantidad de sensores que permiten dar a sus usuarios mucha información respecto a sus ciclos de trabajo, estado de la máquina, entre otras cosas. Sin embargo, la empresas no conocen la importancia de la información, entonces no analizan los resultados brindados por la misma máquina.

Por otro lado, se logró conocer sobre proyectos actuales que consisten en la instalación de más sensores en las máquinas CNC, de manera que se permita medir otros elementos como la carga de trabajo y a partir de esta información, generar gráficos y diagramas estadísticos sobre el trabajo útil de las máquinas y su estado general. Así, desde un nivel gerencial, poder tomar decisiones respecto al tiempo de producción de las máquinas, gracias a información recolectada en tiempo real.

## 2.4 Características de las máquinas-herramientas CNC

A continuación se presentarán cuáles son las principales ventajas y desventajas de las máquinas CNC.

### 2.4.1 Ventajas del CNC (Sánchez, 2010)

Entre las principales ventajas de las máquinas CNC se pueden mencionar:

- Mayor precisión y mejor calidad de productos.
- Mayor uniformidad en los productos producidos.
- Un operario puede operar varias máquinas a la vez.
- Fácil procesamiento de productos de apariencia complicada.
- Flexibilidad para el cambio en el diseño y en modelo en un tiempo corto.
- Fácil control de calidad.
- Reducción en costos de inventario, traslado y fabricación en los modelos y abrazaderas.
- No se requieren operadores con experiencia.
- Mayor seguridad en las labores.
- Permite simular el proceso de corte a fin de verificar que este sea correcto.

Sin embargo, entre las desventajas se encuentran:

- Alto costo de la maquinaria.
- Falta de opciones o alternativas en caso de fallas.
- Es necesario programar en forma correcta la selección de las herramientas de corte y la secuencia de operación para un eficiente funcionamiento.
- Los costos de mantenimiento aumenta, ya que el sistema de control es más complicad y surge la necesidad de entrenar al personal de servicio y operación.
- Es necesario mantener un gran volumen de producción a fin de lograr una mayor eficiencia de la capacidad instalada.



## **2.5 Partes de las máquinas CNC**

Una máquina-herramienta CNC está constituida principalmente por tres entidades: el sistema mecánico de la máquina-herramienta, los dispositivos de potencia tales como motores y la unidad de CNC. La unidad de CNC de una máquina-herramienta consiste de uno o más microprocesadores, dispositivos de entrada y controladores lógicos programables (PLC's), y es encargada de controlar y activar todas las funciones y movimiento de una máquina-herramienta. Es decir, el sistema CNC lee un sucesión de instrucciones, conocidas como código G, y si dicho código involucra movimiento, el sistema de control genera un perfil de velocidad lo suficientemente suave (con una razón de cambios acotada por una constante fija), el cual es integrando para obtener un perfil de movimiento también suave. Con este perfil de movimiento el sistema realiza el movimiento hasta llegar a la posición final con la velocidad y aceleración deseada. El lazo de retroalimentación del sistema se realiza por medio de un dispositivo de medición de posición llamado encoder (codificador). El encoder genera pulsos cuadrados por medio de dos canales llamados A y B, desfasados 90° entre sí, los cuales indican la posición y la dirección del servomotor. Si el código G involucra alguna otra tipo de acción, la misma se ejecuta por medio del PLC.

## **2.6 Programación de las máquinas CNC**

Un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado. Dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, esta es capaz de maquinar una simple ranura, una cavidad irregular, la cara de una persona en autorrelieve o bajorrelieve, un grabado artístico, un molde de inyección de una cuchara o el de una botella... lo que se quiera.

Al principio hacer un maquinado era muy difícil y tedioso, pues había que planear e indicarle manualmente a la máquina cada uno de los movimientos que tenía que hacer. Era un proceso que podía durar horas o hasta días. Aun así, era un ahorro de tiempo comparado con los métodos convencionales.

## Capítulo 2: Investigación

Actualmente, muchas de las máquinas modernas trabajan con lo que se conoce como "lenguaje conversacional" en el que el programador escoge la operación que desea y la máquina le pregunta los datos que se requieren. Por ejemplo en Fema Industrial, cuentan con varias máquinas CNC que utilizan este tipo de lenguaje de programación, el cual además, es el tipo de programación con el que se sienten más identificados.

Cada instrucción de este lenguaje conversacional puede representar decenas de códigos numéricos. Por ejemplo, el maquinado de una cavidad completa se puede hacer con una sola instrucción que especifica el largo, alto, profundidad, posición, radios de las esquinas, etc. Algunos controles incluso cuentan con visualizador gráfico en pantalla y funciones de ayuda geométrica. Todo esto hace la programación mucho más rápida y sencilla.

Asimismo, se pueden utilizar programas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática.

El lenguaje máquina comprende todo el conjunto de datos que el control necesita para la mecanización de la pieza. Al conjunto de informaciones que corresponde a una misma fase del mecanizado se le denomina bloque o secuencia, que se numeran para facilitar su búsqueda. Este conjunto de informaciones es interpretado por el intérprete de órdenes. El programa de mecanizado contiene todas las instrucciones necesarias para el proceso de mecanizado. Una secuencia o bloque de programa debe contener todas las funciones geométricas, funciones máquina y funciones tecnológicas del mecanizado, de tal modo, un bloque de programa consta de varias instrucciones.

Se vio la necesidad de normalizar los códigos de programación como condición indispensable para que un mismo programa pudiera servir para diversas máquinas con tal de que fuesen del mismo tipo. Actualmente, se cuentan con las normas DIN 66024 y 66025 quienes norman los caracteres que se utilizan en la programación.

La estructura de un bloque de programación CNC es como el que se muestra en la figura 2.4, donde, debe mantenerse el orden en cada bloque, sin embargo, no es necesario que estén presentes todos los ítems. Se puede programar en sistema métrico (mm) o en sistema inglés (pulgadas).

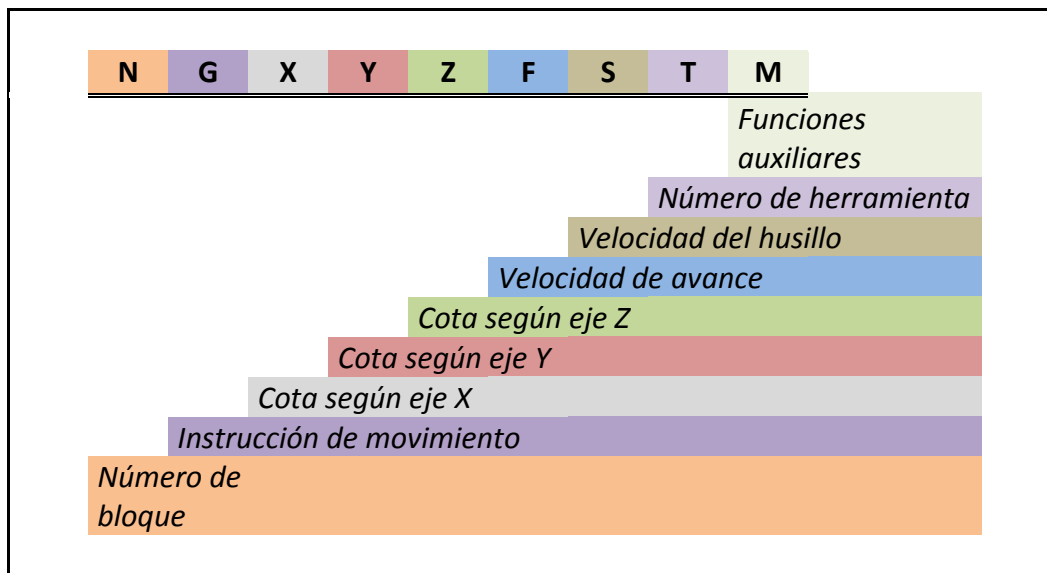


Figura 2.4 Estructura bloque de programación de CNC.

### 2.6.1 Código G

El código G es un formato de texto que se puede escribir con la mano o generada por un script. Aplicaciones de CAM se utilizan generalmente para generar el código G. Se utiliza principalmente las extensiones de archivo .tap y .nc, aunque existen decenas de otras extensiones que cumplen la misma función. Finalmente, todas son extensiones de texto tipo .txt.

Se puede utilizar cualquier editor de texto para hacer o editar el archivo (es decir, el bloc de notas, Wordpad), pues son archivos de texto.

Los comandos G son las órdenes más utilizadas y son las que corresponden a los movimientos de las herramientas. Son las funciones básicas del lenguaje de programación G y las que determinarán las coordenadas y la forma final de la pieza mecanizada.

Un ejemplo de programación en código G se presenta a continuación. En la figura 2.5 lo que se busca es realizar el movimiento de una circunferencia.

G2: Arco de circunferencia en dirección horario.

**Datos requeridos:**

Coordenada de punto final.

Radio de la curva.

Código de la operación: **G2 X100 Y100 I100 F1000**

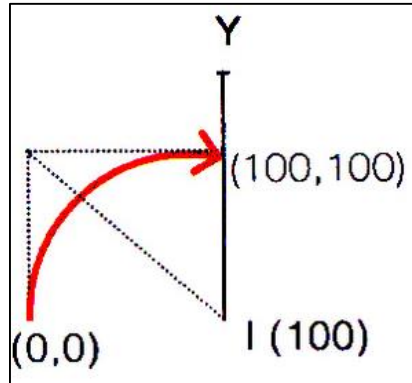


Figura 2.5 Movimiento de circunferencia con código G.

## 2.7 Sistemas CAD/CAM

Con el evolución de las máquinas CNC, también se han ido desarrollando herramientas digitales que permiten realizar trabajos de maquinado de manera más sencilla y en un menor tiempo. Tal es el caso de los programas para el Diseño Asistido por Computadora (CAD) y la Manufactura Asistida por Computadora (CAM).

CAD/CAM, proceso en el cual se utilizan los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Éstos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión o a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología informática.

Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, acrónimo de Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. Estas características podrían ser el tamaño, el contorno y las formas de cada componente, almacenadas como dibujos bi y tridimensionales. Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. Además, pueden compartirse e integrarse las ideas

## Capítulo 2: Investigación

combinadas de varios diseñadores, ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas, con lo que los diseñadores e ingenieros situados en lugares distantes entre sí pueden trabajar como un equipo.

Los sistemas CAD también permiten simular el funcionamiento de un producto. Hacen posible verificar si un circuito electrónico propuesto funcionará tal y como está previsto, si un puente será capaz de soportar las cargas pronosticadas sin peligros e incluso si una salsa de tomate fluirá adecuadamente desde un envase de nuevo diseño. Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM (CAM, acrónimo de Computer Aided Manufacturing).

En diseño de industrial y de productos, CAD es utilizado principalmente para la creación de modelos de superficie o sólidos en 3D, o bien, dibujos de componentes físicos basados en vectores en 2D. Sin embargo, CAD también se utiliza en los procesos de ingeniería desde el diseño conceptual y hasta el layout de productos, a través de fuerza y análisis dinámico de ensambles hasta la definición de métodos de manufactura. Esto le permite al ingeniero analizar interactiva y automáticamente las variantes de diseño, para encontrar el diseño óptimo para manufactura mientras se minimiza el uso de prototipos físicos.

En la Figura 2.6 que se presenta a continuación se diseñó un modelo similar a una pieza fabricada en FEMA Industrial para una “Empresa X”. Se pidió el plano de la pieza y se diseñó en el software Autodesk Inventor 2013 con algunas variaciones en las medidas y en modelo en general por asuntos de confidencialidad.

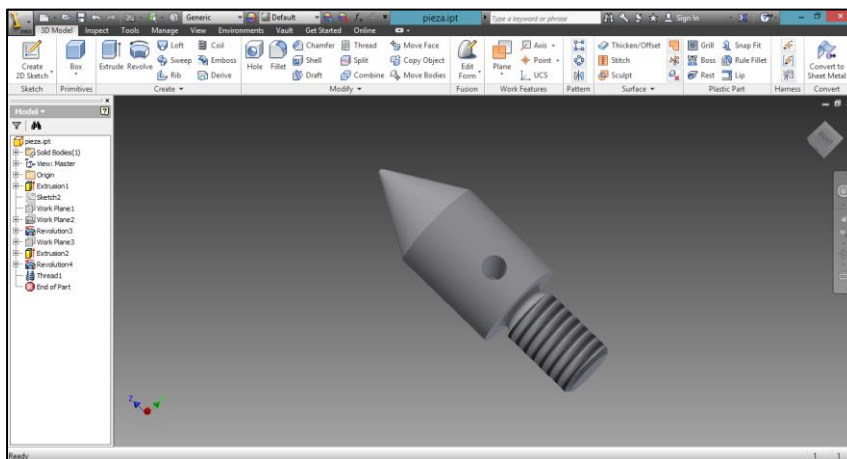


Figura 2.6 Componente para “Empresa X”.

## Capítulo 2: Investigación

En la Figura 2.7 por su parte, se presenta el plano principal de la pieza realizada. Este tipo de software permite generar planos de manera rápida y sencilla una vez teniendo el diseño en 2D o 3D.

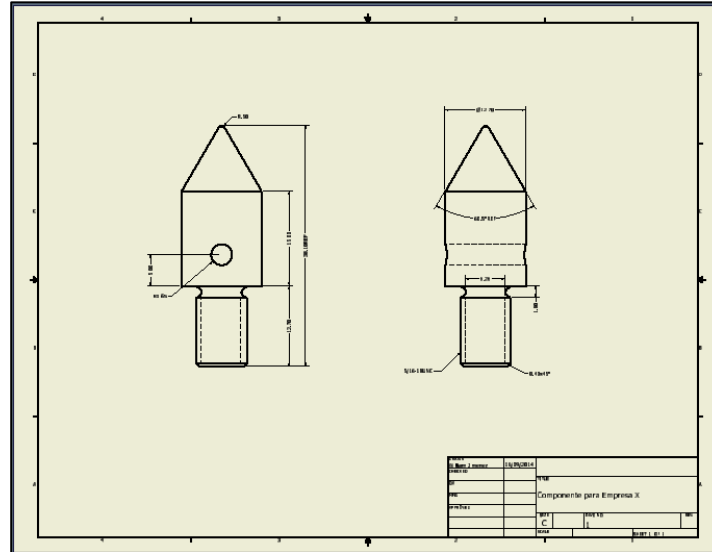


Figura 2.7 Plano principal de componente para “Empresa X”.

Algunos ejemplos de programas para diseño CAD son Autodesk Inventor, SolidWorks, Catia, Creo Parametric.

Por su parte, CAM se refiere al uso de aplicaciones de software computacional de control numérico (NC) para crear instrucciones detalladas (G-code) que conducen las máquinas de herramientas para manufactura de partes controladas numéricamente por computadora (CNC). Los fabricantes de diferentes industrias dependen de las capacidades de CAM para producir partes de alta calidad.

Una definición más amplia de CAM puede incluir el uso de aplicaciones computacionales para definir planes de manufactura para el diseño de herramientas, diseño asistido por computadora (CAD) para la preparación de modelos, programación NC, programación de la inspección de la máquina de medición (CMM), simulación de máquinas de herramientas o post-procesamiento. El plan es entonces ejecutado en un ambiente de producción, como control numérico directo (DNC), administración de herramientas, maquinado CNC, o ejecución de CCM.

## Capítulo 2: Investigación

Los sistemas CAM avanzados, integrados con la administración del ciclo de vida del producto (PLM) proveen planeación de manufactura y personal de producción con datos y administración de procesos para asegurar el uso correcto de datos y recursos estándar.

Algunos ejemplos de programas CAM son NX CAM y CAM Express, Parasolid, EdgeCAM, entre otros.

En la Figura 2.8 se muestra algunos ejemplos de trabajo en el software EdgeCAM, utilizado además en la empresa FEMA Industrial S.A.

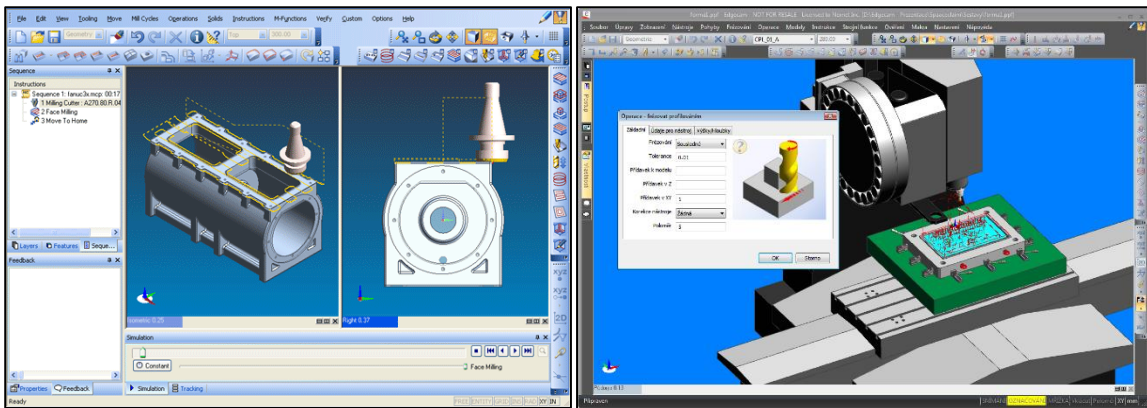


Figura 2.8 Ejemplos de trabajo en el software EdgeCAM.

La Fabricación Asistida por Ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales de controlar equipos de fabricación con ordenadores en lugar de hacerlo con operadores humanos. Por lo general, los equipos CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costes de mano de obra. Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores. Por ejemplo, las cuchillas y herramientas de corte se desgastarán más lentamente y se estropearían con menos frecuencia, lo que reduciría todavía más los costes de fabricación.

Frente a este ahorro pueden aducirse los mayores costes de bienes de capital o las posibles implicaciones sociales de mantener la productividad con una reducción de la fuerza de trabajo. Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos, para controlar las tareas de fabricación. Este Control Numérico por Computadora (CNC) se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de los códigos especiales y de la geometría de formas de los componentes, creando archivos

## Capítulo 2: Investigación

informáticos especializados o programas de piezas. La creación de estos programas de piezas es una tarea que, en gran medida, se realiza hoy día por software informático especial que crea el vínculo entre los sistemas CAD y CAM.

Las características de los sistemas CAD/CAM son aprovechadas por los diseñadores, ingenieros y fabricantes para adaptarlas a las necesidades específicas de sus situaciones. Por ejemplo, un diseñador puede utilizar el sistema para crear rápidamente un primer prototipo y analizar la viabilidad de un producto, mientras que un fabricante quizá emplee el sistema porque es el único modo de poder fabricar con precisión un componente complejo. La gama de prestaciones que se ofrecen a los usuarios de CAD/CAM está en constante expansión. Los fabricantes de indumentaria pueden diseñar el patrón de una prenda en un sistema CAD, patrón que se sitúa de forma automática sobre la tela para reducir al máximo el derroche de material al ser cortado con una sierra o un láser CNC. Además de la información de CAD que describe el contorno de un componente de ingeniería, es posible elegir el material más adecuado para su fabricación en la base de datos informática, y emplear una variedad de máquinas CNC combinadas para producirlo. La Fabricación Integrada por Computadora (CIM) aprovecha plenamente el potencial de esta tecnología al combinar una amplia gama de actividades asistidas por ordenador, que pueden incluir el control de existencias, el cálculo de costes de materiales y el control total de cada proceso de producción. Esto ofrece una mayor flexibilidad al fabricante, permitiendo a la empresa responder con mayor agilidad a las demandas del mercado y al desarrollo de nuevos productos.

La futura evolución incluirá la integración aún mayor de sistemas de realidad virtual, que permitirá a los diseñadores interactuar con los prototipos virtuales de los productos mediante la computadora, en lugar de tener que construir costosos modelos o simuladores para comprobar su viabilidad. También el área de prototipos rápidos es una evolución de las técnicas de CAD/CAM, en la que las imágenes informatizadas tridimensionales se convierten en modelos reales empleando equipos de fabricación especializada, como por ejemplo un sistema de estereolitografía.



## **2.8 Proceso de optimización de operaciones en máquinas de Control Numérico**

Durante el ciclo de vida de cualquier producto, existen muchas etapas distintas que deben combinarse entre sí para lograr el objetivo final, donde se ven además involucrados diferentes áreas o departamentos dentro de una misma empresa. Así bien, lograr que esta combinación de áreas sea eficaz constituye uno de los principales desafíos.

En la actualidad vivimos en un mundo donde la competencia entre industrias es cada vez mayor, y en este caso de industria de mecanizado no es la excepción. Por ello, se torna tan importante la optimización de los procesos existentes con el fin de lograr competir dentro de un mercado cada vez más sofisticado.

La empresa FEMA Industrial ha ido mejorando sus operaciones con el pasar de los años. Entre sus equipos cuenta actualmente con equipos tornos y fresadoras CNC, además se ha invertido en nuevos programas de computación como AutoCAD, Inventor y EdgeCAM para el Departamento Técnico y Microsoft Project para el Departamento de Producción. Esto demuestra el interés en crecer y ser una empresa líder en mecánica de precisión en el país.

Debido a la necesidad de las empresas de producir más y mejor, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles, como son: recursos humanos, materiales, recursos financieros, se establecen procedimientos que se deben cumplir para lograrlo. Para ello además, debe existir una coordinación de todos los niveles, contar con capacitación continua, mejores recursos, mantenimiento y compromiso de aprovechar el principal recurso, el tiempo.

El proceso a mejorar es el que se presenta en la Figura 2.10, en el cual se puede observar el ciclo de vida para el maquinado de una pieza en una máquina CNC en la empresa FEMA Industrial S.A. Una vez que el sistema se pueda optimizar de acuerdo a mejores procedimientos, es posible pensar en automatizar el proceso, de manera que se cuente con un sistema inteligente y moderno.



Figura 2.10 Diagrama de flujo del proceso a mejorar

En cuanto a los tiempos de configuración de parámetros se debe aclarar que no se pueden considerar como tiempos muertos debido a que son pasos necesarios para la puesta en marcha de la máquina, sin embargo, estos tiempos varían en función del operario de la máquina.

### **2.9 Importancia de las máquinas de control numérico para la empresa de mecánica de precisión**

Con el crecimiento actual de la tecnología y la competitividad del mercado, cada vez es necesario producir más en menos tiempo y con el menor costo posible. Debido a esta tendencia es que las máquinas-herramientas han tenido una evolución importante, permitiendo a las industrias de metalmecánica crecer y desarrollarse rápidamente.

En un mundo tan acelerado como el de hoy, es importante para todos ser productivos y ofrecer a los clientes los resultados que desean en el tiempo adecuado. Lo mismo en los servicios que en la industria, todas las empresas se esfuerzan por ser más productivas y reducir costes. Si hablamos de la industria del metal, hay procesos que se realizan manualmente lo que provoca altos costes y estrés de los trabajadores, limitando la productividad y el beneficio.

Las máquinas de control numérico son unas de las mejores herramientas para operaciones como fresado, taladrado, torneado, entre otras de corte de metal de forma automática a través de órdenes computarizadas. Las empresas que se dedican a operaciones de este tipo pueden utilizar la capacidad de las máquinas CNC para acabar con los procesos tradicionales que consumen mucho tiempo, y conseguir una mejor productividad en el trabajo.

Hay dos tipos de máquinas CNC, verticales y horizontales, clasificación en función de la posición del motor del husillo. También hay máquinas CNC de diferentes tamaños para fabricar piezas, como las de 3,4 y 5 ejes. A mayor número de ejes, las empresas pueden producir comparativamente más en menos tiempo.

Con todo esto que se ha presentado hasta ahora, queda claro como para que una empresa de metalmecánica puede competir en el mercado debe contar con equipo CNC, es decir, se nota la importancia de la automatización de sus operaciones para poder producir más, en

menos tiempo y de una mejor calidad. Aunque implica un gasto económico alto, se invierte para ganar, y cambiando el equipo convencional por maquinaria CNC moderna, va a permitir a la empresa crecer y desarrollarse cada vez más.

### **2.10 Importancia de la gestión del recurso humano**

En los puntos anteriores se ha hablado sobre la evolución de la máquina-herramienta, la importancia de la CNC y el porqué de la necesidad de su aprovechamiento al máximo. También se mencionó sobre qué tan avanzadas se encuentran actualmente los equipos CNC y lo difícil que resulta mejorar aún más sus operaciones, puesto que ya están casi completamente automatizadas. Entonces, ¿cómo mejorar los tiempos de producción de los equipos de control numérico sin alterar su diseño?

Es sencillo, se debe trabajar en mejorar el entorno de la máquina más que en la misma máquina. Por ejemplo, si ya el equipo CNC está bastante automatizado, con tiempos de producción de piezas sumamente rápidos, con ejes suficientes para poder realizar todo tipo de operaciones de maquinado, entonces, ¿por qué se siguen presentando tiempos muertos en el maquinado de las piezas?

La mayoría del tiempo la máquina se encuentra detenida por diferentes razones, entre ellas cambios de herramientas, mantenimiento, etc. (más adelante se explicarán con más detalle), labores que corresponden a trabajos realizados por un operador. La tecnología juega un papel fundamental en la vida cotidiana, facilitando el trabajo diario de las personas, sin embargo, en muchas ocasiones no se saca el máximo provecho de la tecnología, donde la industria de la mecánica de precisión no es la excepción.

Si se logra crear un modelo donde se consideren las mejores prácticas y procedimientos a seguir por los operarios, se podrá optimizar considerablemente los tiempos de producción de las máquinas al aprovechar de mayor manera los recursos que tiene a disposición. El poder gestionar el recurso humano, de forma que la interacción hombre-máquina sea lo más eficiente posible, va a permitir a la empresa crecer y aprovechar más todos activos con los que cuenta, hablese de los equipos de alta tecnología y el recurso humano.

El incremento en la utilización de CNC que se puede lograr mediante la mejora de las capacidades de su personal superará cualquier otra mejora sobre el entorno de CNC. No hace falta decir que un programador bien entrenado será capaz de preparar programas eficientes, seguros y viables. Una persona capacitada será capaz de hacer eficientes, buenas y seguras configuraciones. Un operador bien entrenado ejecutará de manera eficiente partes buenas y nunca causará un accidente. En verdad, la calidad del medio ambiente de la CNC está directamente relacionada con el nivel de competencia de su gente. (Lynch, 1997).

### **2.11 Gestión del ciclo de vida de un producto**

En los puntos anteriores nos hemos enfocado en el estudio y evaluación de las máquinas de control numérico, sus características principales y el problema de los tiempos muertos que afectan su producción en las empresas. Ahora, pasaremos a detallar los principales aspectos y elementos de software que también han contribuido al desarrollo de estas máquinas, y además han ido evolucionando junto con ellas. Asimismo, empezaremos a comentar sobre el concepto de gestión de ciclo de vida del producto y sobre tecnologías digitales que permiten realizar esta gestión.

Como parte del desarrollo de las máquinas de control numérico computacional, se han creado diferentes programas que facilitan las labores del personal de la empresa y que con el pasar de los años y los avances de la tecnología han ido aumentando su complejidad. Háblese de programas para el diseño asistido por computadora (CAD) y la manufactura asistida por computadora (CAM). El papel que juega en la actualidad este tipo de software es tan importante como el de las mismas máquinas-herramienta porque permiten agilizar los trabajos de diseño, programación y simulación de las piezas a maquinar.

La empresa FEMA Industrial ha ido mejorando sus operaciones con el pasar de los años. Entre sus equipos cuenta actualmente con equipos tornos y fresadoras CNC, además se ha invertido en programas como los que mencionamos anteriormente como AutoCAD, Inventor y EdgeCAM para el Departamento Técnico y Microsoft Project para el Departamento de Producción. Esto demuestra el interés en crecer y ser una empresa líder en mecánica de precisión en el país.

## Capítulo 2: Investigación

Sin embargo, debido a la inversión tan importante que significa la adquisición de este tipo de software, es necesario aprovechar al máximo todos los beneficios que brinda, pues son programas de alto nivel computacional que deben explotarse acorde al gasto que implicaron.

Como se mencionó anteriormente, un concepto nuevo que está tomando mucha relevancia a nivel mundial es el de Gestión de Ciclo de Vida de un Producto o PLM (por sus siglas en inglés de Product Lifecycle Management), el cual, consiste en gestionar el producto desde su mismo diseño o concepción hasta la puesta en servicio o distribución al cliente. A destacar de esto, es que para poder llevar a cabo este proceso es necesario la integración y el trabajo conjunto de todas las áreas y departamentos de la empresa, de lo contrario no se podría realizar. Pero, ¿Cómo me beneficia esto a la optimización de los tiempos de trabajo de las máquinas de control numérico?

En un apartado anterior, se hablaba de la importancia de actuar sobre el entorno de trabajo de la máquina CNC y no tanto sobre la misma máquina. Por medio de la gestión del ciclo de vida del producto, podemos agilizar los tiempos que se tarda en tener a disposición por ejemplo los planos para la producción, los materiales que se van a utilizar, las herramientas que se requieren para maquinar una pieza específica, entre otros. Se puede además, identificar claramente los puntos donde es necesario actuar para realizar una mejora en las prácticas que se ejecutan.

Hoy en día, se han desarrollado tecnologías digitales PLM capaces de gestionar de manera completa el proceso de vida de un producto, contribuyendo aún más con la necesidad de las empresas de producir más y mejor, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles, como son: recursos humanos, materiales, recursos financieros, etc.

Asimismo, para dar un máximo provecho a estos nuevos conceptos, debe existir además una coordinación de todos los niveles, contar con capacitación continua, mejores recursos, mantenimiento y compromiso de aprovechar el principal recurso, el tiempo.

En la Figura 2.12 se presenta un diagrama en el cual se puede visualizar el ciclo de vida del producto, de acuerdo a las diferentes funciones que se deben contemplar.



Figura 2.11 Ciclo de vida de un producto.

El PLM está soportado en un conjunto de herramientas informáticas, pero también debe estar impreso en la realidad de la compañía como una forma de actuar y trabajar. En un enfoque holístico, el PLM combina las soluciones tecnológicas con métodos y buenas prácticas empresariales para dar respuesta a los problemas que surgen de los rápidos cambios sociales y de las condiciones del mercado.

La experiencia indica que las implementaciones de PLM con más éxito se ponen en marcha con la finalidad de alcanzar los principales objetivos estratégicos de una empresa. Si el objetivo es reducir el tiempo del ciclo, adoptar la moda rápida, controlar el desarrollo del producto a nivel global, o mejorar la colaboración, el PLM debería mejorar la rentabilidad aumentando la eficiencia operativa, desde el concepto inicial hasta la fabricación.

Es interesante enfocarse en una frase de mucha relevancia en este caso, “Quien tiene la información tiene el poder” (Anónimo). La cultura de la información dentro de las empresas,

puede influir en el desarrollo y la mejora continua de sus procesos productivos. El PLM es la herramienta capaz de gestionar toda la información que se maneja dentro de una empresa.

## **2.12 Dificultades de la Industria Actual**

Algunos de los principales problemas industriales que enfrentan las empresas de mecánica de precisión se mencionan a continuación:

- Existe cada vez una mayor exigencia en la precisión.
- Los diseños son cada vez más complejos.
- La diversidad de productos hace necesario la tendencia a estructuras de producción más flexibles.
- Se tiende a incrementar los tiempos de inspección.
- Los costos de fabricación de moldes es mayor y se hace necesario minimizar errores.
- El tiempo de entrega de los productos tiende a ser cada vez más reducido.
- Necesidad de automatizar procesos para disminuir tiempos y costos con trabajos de mejor calidad.

Ante la necesidad de cumplir con todos estos retos que se presentan, es que resulta primordial hacer un buen uso de todos los recursos con los que cuenta, donde cualquier error en la producción genera tiempo perdido valioso y que puede afectar la competitividad de la empresa.

## **2.13 Industria de transformación**

En las tres últimas décadas se ha producido una transición hacia lo digital en todos los ámbitos y las fábricas no han sido ajenas a este fenómeno incorporando desde sistemas de Diseño Asistido por Computación (CAD), software de Fabricación Asistida por Computador (CAM), pasando por el empleo de autómatas y robots, la inspección de calidad mediante visión artificial y el control del avance de la producción en tiempo real (MES), hasta la



## Capítulo 2: Investigación

modelización y recreación virtual de procesos y fábricas enteras con software de simulación (CAPE). (Fundación COTEC, 2011).

El país se encuentra ante un inminente cambio en el sistema de producción que conocemos hasta ahora. Para poder ser un país desarrollado es necesario adoptar todos los nuevos cambios y metodologías que conlleva formar parte de la industria digital.

Estamos por experimentar un impacto aún mayor que la revolución industrial, el lograr una industria inteligente está empezando a tomar fuerza y cada vez más empresas están invirtiendo en investigación de este tipo. El concepto de automatización que se ha manejado hasta ahora también está por cambiar, el lograr que todos los objetos y máquinas estén conectadas a internet (Internet de las Cosas) y que puedan tomar decisiones por sí mismas va a permitir una automatización avanzada.

Lo que ha llevado al desarrollo industrial a este punto es la necesidad de la mejora continua, estar innovando constantemente ha hecho que las industrias no puedan descansar en su misión de ser parte de un mercado tan competitivo. Para lograr seguir en él, deben estar dispuestos a cambiar metodologías de ser necesario, invertir en nuevas tecnologías y a capacitar a su personal para poder adaptarse a esta transformación.

## Capítulo 3 Diseño de la solución

En este capítulo se describen una serie de pasos, los cuales permitieron alcanzar los objetivos planteados anteriormente. La referencia utilizada fue el método de diseño en ingeniería, el cual es un método bastante similar al método científico. El procedimiento principal a seguir fue identificar el problema, se plantearon posibles soluciones y se seleccionó la más adecuada.

### 3.1 Problemática

La presente investigación está orientada a identificar mejoras en los procesos de trabajo que pueden acontecer en el funcionamiento de las máquinas CNC de la empresa “FEMA Industrial S.A.”, para lo cual emplearemos la investigación de campo y bibliográfica.

El problema existente se explica detalladamente en la sección 1.1 de este documento. Para identificar el problema se realizaron reuniones y visitas para hablar con el personal de la empresa FEMA Industrial, los cuales se encargaron de brindar la información necesaria de la situación actual en las operaciones de las máquinas de control numérico.

Asimismo, se realizó una visita a la empresa VITEC para observar el funcionamiento una tecnología digital PLM y buscar retroalimentación por parte del personal que lo utiliza, que se pudiera aplicar en el desarrollo de este proyecto.

El tema que dio paso al desarrollo del proyecto fue la necesidad de mejorar los tiempos de operación de las máquinas CNC, debido a que a pesar de la enorme inversión que han significado para la empresa, no se está obteniendo un máximo provecho a sus capacidades y esto representa un gasto económico importante. Por otro lado, se quiere realizar un cambio en las funciones que realizan los distintos departamentos de la empresa, de manera que se pueda centralizar una mayor cantidad de funciones para el personal técnico y así, que los operarios de las máquinas en el taller dediquen todo su tiempo a la puesta en marcha, operación y mantenimiento de los equipos.

Se conversaron las condiciones y se plantearon las siguientes tareas definidas bajo responsabilidad del estudiante:

- Identificar los tiempos muertos que afectan la producción de los equipos CNC.
- Identificar las mejores prácticas y procedimientos que permitirán aumentar los tiempos en operación de las máquinas.
- Integración de un proceso en la herramienta digital PLM.

Por otro lado, se busca dar los primeros pasos en la investigación de herramientas PLM para la implementación en nuestro país, así como ir introduciendo conceptos como automatización avanzada e internet de las cosas.

### **3.2 Indagación y estudio de la información**

Con respecto a experiencias anteriores, el estudiante desarrollador desconocía totalmente el tema de la Gestión del Ciclo de Vida de un Producto, así como las tecnologías digitales utilizadas para realizar dicha gestión. Por su parte, se tenía experiencia en el trabajo con equipos CNC en proyectos de investigación en la universidad, así como en cursos donde se utilizaron equipos de este tipo. Sin embargo, era la primera experiencia en el estudio del proceso de maquinado en CNC en casos reales de la industria.

La información que se brindó en el marco teórico concerniente al estudio del problema y a sus posibles soluciones fue el resultado de una búsqueda exhaustiva en Internet, de las visitas realizadas a la empresa FEMA Industrial S.A., de la información obtenida de las consultas al profesor asesor, así como la participación en el Congreso Nacional de la Industria de Transformación organizada por la Cámara de Industrias de Costa Rica y la empresa Mecsoft.

Asimismo, con el aporte de Mecsoft de Costa Rica se coordinó una visita a la empresa VITEC, la cual, según se le indicaba al estudiante, es el modelo a seguir para todas las demás empresas que trabajan con equipo CNC, debido al manejo de la información que realizan y los índices de clase mundial en sus trabajos.

## Capítulo 3: Diseño de la solución

Se investigó sobre las ventajas de optimizar los tiempos de producción en las máquinas de control numérico, desde un punto de vista económica, de calidad y disponibilidad. Además, se buscaron casos de éxito de empresas a nivel mundial que han aplicado tecnologías digitales como PLM.

La información brindada por parte del personal en la empresa FEMA Industrial S.A. fue una fuente valiosa para poder identificar los puntos de mejora en el proceso de maquinado de las piezas. La razón de esto fue que, como empleados de la empresa, conocían a detalle el día a día y ayudaron al estudiante a comprender mejor el proceso.

Es importante recalcar que el proyecto es de finalidad abierta para empresas de mecánica de precisión que utilicen máquinas de control numérico para realizar sus labores, tomando como referencia real a la empresa FEMA Industrial para generar un modelo de mejores prácticas.

### **3.2.1 Recopilación de información**

Para desarrollar la solución al problema que se planteó, fue necesario poder identificar de manera clara los posibles tiempos muertos que estuvieran afectando los tiempos de operación de las máquinas de control numérico.

Las técnicas que se utilizarán serán:

- La observación, ya que se observará el funcionamiento de la maquinaria y a los operarios en su contexto cotidiano, los datos serán obtenidos a través de la recopilación de la información existente, sin realizar intervenciones en su comportamiento.
- La entrevista, de esta manera se tendrán datos reales provenientes de los propios operarios.

### **3.3 Valoración de las alternativas y solución final**

El procedimiento seguido para la selección de una solución se basó en la investigación realizada, tomando en consideración las principales ventajas y desventajas de cada una de ellas, con base en la meta propuesta. Se analizó las herramientas que se tenían a disposición, logrando determinar los alcances del proyecto.

Por el tipo de proyecto a desarrollar, no es necesario la utilización de hardware, el mismo son las máquinas CNC que se encuentran en la empresa FEMA Industrial y fueron el objeto de estudio únicamente. Por su parte, el software a utilizar se encontraba a disposición en la empresa Mecsoft que ya contaba con las licencias necesarias para el proyecto.

De esta forma, se buscó la forma de identificar los posibles problemas que estaban causando que los tiempos de operación de las CNC fueran bajos, orientando siempre la solución hacia un modelo óptimo que tomara en cuenta todas las posibles prácticas y procedimientos que influenciaran en el entorno de trabajo de las máquinas.

### **3.4 Implementación de la solución**

La implementación de la solución se llevó a cabo por medio de un largo periodo de indagación, aprendizaje y capacitación, esto debido a que las tecnologías a emplear en el proyecto eran desconocidas para el estudiante. Asimismo, para determinar los procedimientos óptimos para un máximo aprovechamiento de los equipos CNC, fue necesario investigar sobre tendencias actuales en el uso de las mismas, además de lograr identificar elementos de mejora en los procesos realizados en la empresa FEMA Industrial.

La solución se enfocó de manera que se pudiera entender la oportunidad laboral que se presenta para el Ingeniero Mecatrónico en proyectos posteriores. Donde, lo que se logró desarrollar en este caso es un primer paso para una solución más amplia, que conlleva el poder crear una industria inteligente en el país, por medio de la automatización del ciclo de vida del producto en todos sus ámbitos.

### Capítulo 3: Diseño de la solución

El primer paso de la implementación fue conocer a profundidad el proceso de producción que se realiza actualmente en la empresa, con el fin de dar seguimiento y control a las prácticas realizadas por los operarios de las máquinas. En este proceso se estudió las labores realizadas por los diferentes departamentos involucrados, entre ellos el Departamento Técnico y el Departamento de Producción. No se consideró el Departamento de Calidad para este proyecto.

El siguiente paso fue realizar las capacitaciones para el aprendizaje en el uso de la tecnología digital del PLM. En este caso, las capacitaciones se realizaron virtualmente con la empresa PTC y fueron en el uso de Windchill 10.0 (esta no es la última versión disponible del software sino la 10.2). Se realizaron en busca de una certificación, sin embargo, no fue posible completarla porque la última parte consistía en clases virtuales con un horario establecido el cual no podía ser atendido por el estudiante.

Al mismo tiempo que se realizaban las capacitaciones en el software a utilizar, se realizaban las primeras pruebas en la empresa Mecsoft, donde se encontraba el servidor en el cual se instaló el PLM. El principal objetivo en esta parte, fue lograr la integración de la tecnología digital del PLM con un software para diseño de ingeniería CAD, específicamente con Creo Parametric.

Durante todo el proyecto, fue necesario continuar con la investigación en la determinación de las mejores prácticas y procedimientos según los elementos que se habían logrado identificar en la empresa. Paralelo a esto, se fue elaborando el respectivo Modelo de Mejores Prácticas y Procedimientos para la Optimización de los Tiempos Productivos en Máquinas CNC.

Además, se fue desarrollando la documentación pertinente del proyecto, con el fin de trabajar el informe final con suficiente tiempo en caso de realizar cambios o mejoras en la propuesta de solución planteada.

### **3.5 Reevaluación y rediseño**

Se lograron identificar varios elementos que podrían mejorar los tiempos de producción de las máquinas CNC, sin embargo, muchos de estos puntos consisten en una reasignación o centralización de las labores dentro de la empresa, por lo cual no fue posible su implementación.

Es necesario que se aproveche mejor la información que se tiene a disposición, puesto que para poder mejorar el proceso, es necesario primero medir lo que se está haciendo. Para poder implementar este modelo, se debe realizar una medición detallada de los tiempos actuales, así como valoración de las labores que se realizan actualmente.

El proyecto es de finalidad abierto, por lo que se puede implementar en otras empresas similares que utilicen equipo de control numérico. El control numérico puede ser aplicado a toda clase de máquinas industriales, por ejemplo tornos, fresadoras, taladros, soldadoras, rectificadoras, prensas, robots, etc.

El uso de las tecnologías digitales debe formar parte de toda industria moderna, sin embargo, la evaluación del software que se vaya a utilizar debe ser fundamental antes de adquirir alguna licencia, debido a que en muchos casos, estos programas están sobredimensionados para las labores de la empresa.

Para que un modelo de mejoras prácticas y procedimientos tenga éxito, el personal de la empresa debe estar dispuesto a cambios en las metodologías de trabajo, además, debe darse una capacitación constante del recurso humano, para que estos nuevos conceptos estén presentes en el personal y entiendan la importancia de su aplicación para crecimiento de la empresa.

# Capítulo 4 Descripción detallada de la solución

En este capítulo se encontrará una descripción detallada de las alternativas de solución planteadas, así como de la solución elegida separada en módulos. En cuanto a las diferentes alternativas, se presentarán cuadros resumen con las principales ventajas y desventajas de cada uno de ellas, con el fin de poder analizar la mejor opción.

## 4.1 Alternativas de solución

A continuación se presentan las alternativas de solución que se plantearon para la disminución de los tiempos muertos en las máquinas de control numérico.

### 4.1.1 Mejores prácticas y procedimientos

Como alternativa de solución a la optimización de los tiempos de producción de las máquinas de control numérico, se propone identificar los procedimientos que pueden estar generando tiempos muertos en el trabajo de las máquinas CNC en la empresa FEMA Industrial. Asimismo, investigar sobre cuáles deben ser las mejores prácticas y procedimientos que se deben realizar para el desarrollo de un producto en una máquina-herramienta, considerando todo su ciclo de vida.

Así bien, luego de estudiar y analizar cuáles son las prácticas que se ejecutan actualmente, poder implementar una guía con mejores procedimientos que permitan aumentar los tiempos de trabajo de las máquinas. A destacar en esta solución, es que se debe trabajar sobre la gestión del recurso humano y no tanto sobre la máquina, es decir, se buscará cambiar la metodología de trabajo del operador de ser necesario, si con ello se puede incrementar la producción.



Tabla 4.1 Ventajas y desventajas de aplicar mejores prácticas y procedimientos.

Solución	Ventajas	Desventajas
<b>Mejores prácticas y procedimientos</b>	Elimina tiempos muertos o cuellos de botella en la producción sin necesidad de inversión, solo cambio de metodología de trabajo.	Requiere de personal dispuesto a cambiar la metodología de trabajo.
	Permite identificar procedimientos erróneos.	
	Mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en la empresa.	
	Personal más capacitado.	

En empresas Pymes que trabajan en mecánica de precisión cuesta encontrar procesos estandarizados o con certificaciones en la gestión de activos, entonces existen muchos procedimientos que no se ejecutan de la mejor manera y no se da un correcto aprovechamiento de los recursos disponibles. Por ello, crear un modelo que resuma cuáles deben ser las mejores prácticas y procedimientos representa un atractivo importante para ellos, puesto que permitirá optimizar sus procesos sin tener que invertir en tecnologías digitales de alto costo. Sin embargo, es necesario que el personal de la empresa esté en disposición de un cambio en su metodología de trabajo, lo cual puede ser visto de mala manera por ellos, quienes están acostumbrados a realizar sus labores de una forma específica.

#### 4.1.2 Tecnología digital PLM para gestionar procedimientos actuales

Se propone implementar una tecnología digital capaz de gestionar los procedimientos que se realizan actualmente en la empresa, desde funcionar como base de datos a toda la información de proyectos hasta la integración de los diferentes departamentos de la empresa. En este caso, la tecnología a utilizar es la conocida como Gestión del Ciclo de Vida del Producto o PLM por sus siglas en inglés. Esta permite gestionar todos los procesos que se realizan en la empresa para el desarrollo de un producto. De esta manera, toda la información se va a encontrar centralizada en un punto de fácil acceso de manera digital, permitiendo

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

agilizar la comunicación entre empleados y departamentos, pero sin cambiar los procedimientos que se realizan actualmente. Es decir, se pretende administrar de manera digital las tareas tal y como se ejecutan hoy en día.

Tabla 4.2 Ventajas y desventajas de la aplicación del PLM.

Solución	Ventajas	Desventajas
<b>Tecnología digital a procedimientos actuales</b>	Permite tener toda la información centralizada en un punto común de acceso a los involucrados.	Las licencias son costosas.
	Se mejora la comunicación entre departamentos y agiliza los trámites entre ellos.	Debe haber una persona (interna o externa a la empresa) que se encargue de actualizar constantemente la información.
	Es más sencillo informar al personal sobre cambios en proyectos.	Requiere capacitación del personal en el uso de la herramienta digital.
	Ayuda a estandarizar procesos.	Aplicable principalmente a industrias grandes.
	Contribuye a cumplir normas industriales y regulaciones gubernamentales.	La tecnología PLM es nueva en el país por lo que está aún en etapa de investigación.
	Transparencia operativa.	

Debido a los elevados costos de las licencias del PLM, una de las ideas futuras que se podrían considerar, consiste en crear un servicio por parte del Tecnológico de Costa Rica a las empresas Pymes en nuestro país del área de mecánica de precisión, en el cual, se les ofrezca las licencias del software PLM. Con ello, se les permita a los estudiantes analizar procesos, proyectos, etc., dentro de las empresas, donde tengan la experiencia de la industria real y se pueda contribuir considerablemente en su formación profesional.

### 4.1.3 Integración de buenas prácticas con tecnología digital PLM

Con el fin de implementar una solución que cumpla con los objetivos planteados de la mejor manera, se propone integrar ambas soluciones anteriormente explicadas, logrando aprovechar las principales características de cada una.

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

Según investigaciones realizadas el implementar una tecnología digital como PLM se pueden generar ahorros del 35%, si se combinan el conocimiento de las mejores prácticas y la tecnología digital, esto implica reentrenar el personal técnico y de ingeniería.

Para industria Pymes en nuestro país, lograr ahorros del 35% tiene una importancia enorme, puesto que las inversiones que se realizan en equipos de control numérico son muy altas y no ven los resultados positivos que se esperaban. Integrar ambas soluciones va a permitir quizás ahorros mayores que el mencionado, si además se logra automatizar posteriormente todo el sistema al dar inteligencia al proceso. Y no sólo eso, sino es desarrollar proyectos para la modernización de los equipos físicos, de forma que generen información real automáticamente sobre sus trabajos y estado general, en función de parámetros como disponibilidad, rendimiento y calidad. Para lograr una solución completa como la que se menciona, es necesario los conocimientos del Ingeniero Mecatrónica, que pueda integrar diferentes áreas dentro de la empresa, en función del trabajo de las máquinas CNC; es aquí donde se puede ver la oportunidad laboral que se tiene a disposición.

Para llevar a cabo esta solución, se debe identificar todos los posibles tiempos muertos que están afectando el trabajo de las máquinas, a partir de ello, buscar la manera de eliminarlos o disminuirlos por medio de mejores procedimientos y finalmente, gestionar todo el proceso de ciclo de vida del producto de manera digital.

### **4.2 Solución definitiva**

Después de analizar cada una de las soluciones planteadas, se decide llevar a cabo la integración de una guía de mejores prácticas y procedimientos, junto con una gestión del ciclo de vida del producto por medio de la herramienta PLM Windchill de PTC.

Para este proyecto, por cuestiones de tiempo y disponibilidad de las herramientas digitales se propone mostrar una parte del ciclo de vida del producto en la tecnología PLM, específicamente la del diseño CAD de la pieza, que corresponde al trabajo que realiza el Departamento Técnico en la empresa FEMA Industrial. Sin embargo, es importante aclarar

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

que eventualmente se puede llegar a integrar todos los demás departamentos, permitiendo una comunicación efectiva entre todo el personal de la empresa.

Los criterios que llevaron a la selección de esta solución fueron los siguientes:

- La integración de diferentes soluciones dentro de una misma permite combinar las mejores características de cada una de ellas y mitigar las debilidades que tienen por separado.
- Con el fin de comprometerse en lograr una transformación en la industria actual, es importante buscar los mejores procedimientos para realizar los procesos, de la mano con el uso de la tecnología digital.
- Debido al uso actual de herramientas computacionales de ingeniería como CAD y CAM en la empresa FEMA Industrial S.A., es importante seguir por esa línea con el uso del PLM, además identificando como obtener un máximo provecho de sus características.

### **4.3 Detalles de la solución final**

En este apartado se presentarán los procedimientos realizados para desarrollar la solución final, desde la información recopilada en la empresa FEMA Industrial hasta su respectivo estudio.

La solución elegida debía estar totalmente acorde con los requerimientos establecidos en las reuniones iniciales con la empresa y muy importante también, de acuerdo con los objetivos que se plantaron en el capítulo 2.

#### **4.3.1 Información recopilada**

Primeramente, se tomó como ejemplo el proceso de maquinado de una pieza “Y” que se realizó en la empresa, para la cual, se tomaron los tiempos que se tardó en tenerla lista. En la tabla 4.3 que se presenta a continuación se observa un resumen con los tiempos que se brindaron al estudiante.

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

Tabla 4.3 Tiempos tomados manualmente en maquinado de pieza “Y”.

Código:			Tiempos Estimados		Tiempo Real		Aprobación de Calidad	Regulación de proceso			
Operación	Descripción	#Maq	Set Up	Tiempo por PZ.	Set Up	Tiempo por PZ.		Cant. Pzs Buenas	Cant. Pzs Malas	# Operario	Firma / Fecha
0101	Desalmanaje										
0401	Torneado CNC1	TCNC-30	4h	0,0583	5h	0,0458		504	3		
1307	Revisión Final							503	4		
0107	Despacho de Piezas										

Como se observa en la tabla anterior, los mayores tiempos se dan en la preparación de la máquina CNC, donde además, se encuentra por encima del valor estimado inicialmente.

Es importante aclarar que entre los tiempos de “set up” o preparación se consideran: programación de la máquina, cambios de herramienta, ingreso de material, montaje de la pieza, pruebas y simulación, que son parte del proceso para la puesta en marcha del equipo CNC.

Seguidamente, se prosiguió con la identificación de los roles en que se desempeñaba cada departamento dentro de la empresa que estaban involucrados en el funcionamiento de las máquinas de control numérico. Esto se hizo con el fin de determinar si algunas de las labores podrían ser realizadas por otro departamento y que permitieran agilizar los procedimientos, asimismo, poder reconocer si existían procedimientos estándar entre las distintas áreas de la empresa.

A modo de resumen, los resultados obtenidos para el punto anterior se presentan en la tabla 4.4 que se observa a continuación. Es importante aclarar, que no se detallan a profundidad las responsabilidades por motivos de procedimientos internos de la empresa y que deben mantenerse con cierta confidencialidad.

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

Tabla 4.4 Responsabilidades por departamento en FEMA Industrial S.A.

Departamento	Responsabilidades
<b>Técnico</b>	Diseño de planos.
	Creación de la programación de las máquinas CNC.
	Identificación de operaciones.
	Cotización de partes.
	Compra de materiales (encargado del Dpto).
	Programación de las máquinas CNC.
<b>Producción</b>	Programación de las máquinas CNC.
	Preparación de las máquinas CNC.
	Solicitud de herramientas.
	Inspecciones de calidad.
	Mantenimiento diario máquinas.

En cuanto a las labores realizadas por el departamento de producción, a destacar la preparación de las máquinas CNC, puesto que como se ha mencionado anteriormente es lo que conlleva un mayor tiempo del operador.

Por otro lado, a continuación se presenta otra información que se consideró relevante y que fue posible recopilar gracias a observaciones del estudiante y comentarios por parte del personal de la empresa.

- Se cuenta con un operador para cada máquina CNC. Esta persona, debe estar pendiente de su máquina, en caso que no tenga órdenes de trabajo, realiza normalmente labores de mantenimiento, limpieza, etc.
- En las visitas realizadas a la empresa, se logró observar en varias ocasiones que los operadores no se encontraban en sus respectivas máquinas y por lapsos relativamente largos no tenían trabajos de maquinado que realizar.
- En cuanto al departamento de diseño, se cuenta con únicamente una licencia del programa EdgeCAM y que sólo es utilizada por uno de los técnicos.
- Luego de crear un respectivo código de programación para CNC, la misma persona del departamento técnico va al taller y programa la máquina.

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

- Algunas de las máquinas de control numérico generan información de trabajo, por ejemplo sobre tiempos en operación, tiempos de parada, tiempo de corte, etc., sin embargo, esta información no se evalúa.
- Se cuentan con diferentes modelos de máquinas CNC, las cuales trabajan con diferentes modelos de programación, por lo cual no existe un estándar de trabajo en cuanto a la generación de códigos máquina.
- Debido al tipo de empresa, se da muy poco la producción en serie.
- Muchas de las piezas o trabajos que se realizan en el taller son por operaciones relativamente simples, tales como maquinado de ejes, enderezado, refrentado de partes, entre otras operaciones, que pueden ser desarrolladas en un menor tiempo en las máquinas-herramienta convencionales.
- El mantenimiento programado que se realiza, únicamente evalúa aspectos de lubricación, tal como el estado del aceite y de las grasas en las máquinas. No existe un mantenimiento programado que evalúe el estado mecánico-eléctrico de las máquinas, sino hasta que se dé una falla, es decir, mantenimiento correctivo.
- El personal del taller no utiliza equipo de seguridad. A pesar de que en la entrada al taller se tiene un rótulo con la indicación que es obligatorio el uso de lentes de seguridad, los operarios no lo utilizan. Asimismo, no hay demarcación sobre zonas de paso y espacios de trabajo.

En este apartado se presentó la información recopilada con el fin de poder evaluar a continuación las alternativas de solución al problema planteado, asimismo poder determinar la solución que mejor se adapte a las condiciones del proyecto.

### **4.3.2 Procedimientos actuales para la manufactura en CNC**

De acuerdo a la información que se presentó en el Capítulo 3 e investigaciones realizadas por parte del estudiante, fue posible identificar puntos de mejora en el proceso de maquinado de piezas en las máquinas de control numérico en la empresa FEMA Industrial.

A continuación se presentarán cuáles fueron los principales procedimientos o tareas realizadas que afectan los tiempos de trabajo de las máquinas CNC. Asimismo, una

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

descripción general de cada uno de ellos de acuerdo a la información recopilada, con el fin de entender de mejor manera el entorno de trabajo de dichas máquinas.

- Solicitud de herramientas de cortes

El procedimiento actual para la solicitud de las herramientas de corte, consiste en la generación de una orden por parte del operario de la máquina, la cual una vez que esté completa, debe ser entregada a la persona encargada en bodega, donde a partir de la orden se prosigue a buscar las herramientas solicitadas.

Una vez que se entregó la orden, el operario debe esperar a que el personal de bodega busque las herramientas y se las entregue para continuar con su colocación en la máquina CNC.

- Solicitud de materiales e ingreso en la máquina

Uno de los puntos a considerar para este procedimiento, es que como se mencionó anteriormente, por el tipo de empresa que es FEMA Industrial S.A. se trabaja muy poco con producción en serie, por tanto es necesario estar cambiando constantemente herramientas y materiales. Por ejemplo, algunas de las máquinas CNC tienen la característica que realizan una alimentación de material automática, como es el caso del torno suizo; sin embargo, esto no se puede aprovechar debido a la situación mencionada.

- Operarios a cargo únicamente de un equipo CNC

Uno de los principales beneficios que se le atribuyen a las máquinas de control numérico, es que permiten que un solo operario pueda estar atendiendo varias máquinas a la vez, a diferencia de los equipos convencionales. En la empresa FEMA Industrial esto se aprovecha en algunos casos dependiendo de los equipos.

Ahora bien, se le comentó al estudiante que por el tipo de piezas que se realizan en la empresa, donde el lote de piezas producidas por ejecución es relativamente bajo y los maquinados no son tan complejos, no requieren mucho tiempo de la máquina en operación de forma continua y por ello no se ha dejado de utilizar a una persona por equipo. Esto porque los cambios de piezas se hacen en tiempos cortos, entonces se prefiere tener a la persona pendiente de una máquina en específico.



## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

En las visitas que se realizaron al taller, se pudo observar en varias ocasiones que los operarios de las máquinas no se encontraban en sus respectivos sitios de trabajo, o por el contrario se encontraban en su espacio de trabajo pero la máquina a su cargo no tenía ninguna orden pendiente, por tanto, tenían que ver qué labor realizar (normalmente limpieza del equipo).

- Programación de la máquina de control numérico

En este punto, se notaron varios aspectos o elementos que afectan el tiempo de producción de las máquinas CNC. Uno de ellos, fue el hecho de que como se cuenta en el taller con diferentes marcas y modelos de máquinas-herramientas, no existe un estándar de programación, es decir, dependiendo de la máquina la programación se puede realizar por código conversacional, código G a partir de EdgeCAM, código G generado punto por punto por el personal técnico.

Por otro lado, esta misma situación de las diferencias entre las máquinas CNC afecta la asignación de órdenes de trabajo, puesto que por ejemplo, del departamento técnico se indica la máquina en la cual se va a realizar una operación específica, sin embargo, esta máquina puede que se encuentre ocupada, mientras que otra de las máquinas está disponible, pero por el tipo de programación que lleva y la operación que se va a realizar resulta más sencillo hacerlo en la máquina que se encuentra ocupada. Es decir, es esperar a que se desocupe la máquina, o asignar la orden de trabajo a otro equipo que va a generar que se tarde un mayor tiempo en tener lista la pieza.

- Configuración de parámetros y simulación

Como se vio en apartados anteriores, los tiempos de preparación o “set up” de la máquina CNC son bastante altos, además estos tiempos que se tarda preparando el equipo en muchas ocasiones no compensa con el lapso que se mantiene operando la CNC.

De igual manera que con la programación, la configuración de los parámetros de la máquina cambia de un equipo a otro, es decir, no hay un estándar de configuración. Según comentarios de los operarios al estudiante, el código conversacional facilita mucho esta configuración y les permite realizarlo en menor tiempo.

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

Luego de realizar o cargar la respectiva programación en la máquina, se procede a la simular la pieza en el entorno de simulación que posee cada equipo, el problema en este caso es que solo se puede ver que los pasos de la programación estén correctos, es decir, lo que se visualiza es la trayectoria que realiza la herramienta para el corte de material y no se puede observar la posición de la mesa de trabajo y del husillo. Por tanto, no se pueden prevenir choques en la máquina.

- Labores de mantenimiento

Como se mencionó anteriormente, el mantenimiento programado que se realiza sobre las máquinas es para revisar el estado en la lubricación, tales como aceites y grasas. Debido a la falta de un mantenimiento preventivo no se puede prever fallos inesperados en los equipos.

En la Figura 4.1, se observa uno de los elementos del centro de mecanizado Okuma, el cual, requiere de una limpieza del polvo cada cierto tiempo, pero no se había tomado en cuenta hasta que ya se encontró en un estado avanzado de suciedad.



Figura 4.1 Elemento a limpiar del centro de mecanizado Okuma.

### 4.3.3 Propuesta de mejora de procedimientos

En el punto anterior se presentaron los distintos tiempos muertos que fueron posibles identificar gracias a la información recopilada. Ahora, se presentarán las soluciones que se

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

plantearon para cada uno de ellos como mejores prácticas y que además se resumen en el modelo de mejores prácticas y procedimientos que se observa en el apéndice A.2.

- Solicitud de herramientas por parte del Departamento Técnico

Una de las soluciones que se plantea a los tiempos muertos corresponde en eliminar al personal de producción, aquellas tareas que pueden ser realizadas fuera del taller, de manera que se pueden enfocar en la puesta en marcha de los equipos.

Actualmente, el personal del Departamento Técnico realiza un estudio de las operaciones que se necesitan para el maquinado de las piezas; entonces está en la capacidad de determinar las herramientas que se van a utilizar en el proceso y solicitarlas en bodega incluso antes de entregar el plano de trabajo al operador del taller, de manera que al empezar con la producción, las herramientas ya estén disponibles.

- Operarios a cargo de varias máquinas CNC

En el entorno en que se desarrolló el proyecto, la empresa se encontraba en una época laboral difícil puesto que el trabajo estaba en un punto bajo, es decir, no estaban en un buen momento en cuanto a la solicitud para producción de piezas o mantenimiento. Debido a esto, se logró notar que los operarios de las máquinas una vez que terminaban un trabajo, debían esperar largos lapsos para que les llegara una nueva orden de trabajo a la máquina que tenían a cargo. Ahora bien, se puede aprovechar esta situación para poner a un operario a cargo de varios máquinas a la vez.

Actualmente, se realiza en algunos casos donde una misma persona está a cargo de dos máquinas, sin embargo, se propone evaluar mejor la opción de establecer fijo el rol de los operarios con al menos dos máquinas en todos los casos que se considere posible, con el fin de obtener un mejor provecho del recurso que se tiene.

Para poder realizar esta gestión, también será importante que la distribución de órdenes de trabajo a las respectivas máquinas CNC, se haga acorde a la disponibilidad del operario y de los equipos (serán varios equipos en vez de sólo uno como se hace actualmente), puesto que

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

al tener que trabajar sobre varios de estos a la vez, debe tener un control de su proceso de trabajo de manera que este cambio no vaya a generar más bien pérdidas a la empresa.

En cuanto al personal que quedaría “libre”, porque la máquina que tenía a cargo ahora le corresponde a otra persona, se le pueden asignar otro tipo de labores, tales como de mantenimiento, colaboración con el departamento técnico, estudio de la información generada por las máquinas, etc.; o en el más drástico de los escenarios, reducir el personal actual, logrando ahorros a la empresa.

- Aprovechamiento de las herramientas digitales disponibles actualmente

Como se ha mencionado anteriormente, la empresa ha hecho importantes inversiones en la adquisición de herramientas digitales que contribuyan con su crecimiento y competitividad dentro del mercado. Sin embargo, a pesar de estas altas inversiones realizadas, no se está obteniendo ventaja considerable de la utilización de estas herramientas.

En cuanto al diseño asistido por computadora, se adquirió el software Autodesk Inventor, con el cual se diseñan todas las piezas que se van a maquinar y se generan todos los planos necesarios.

Para la manufactura asistida por computadora (CAM) se adquirió una licencia del software EdgeCAM, la cual, sólo es utilizada por uno de los técnicos del departamento. Se propone que la persona que utiliza el software se encargue de la generación de todos los códigos máquina que van para la CNC, puesto que gracias a esta tecnología el código se genera de manera rápida y sencilla. Al consultar con el personal del porqué no se realizan todos los códigos en EdgeCAM se menciona que al generar los códigos por medio del programa se limita la modificación del mismo. Ahora bien, esto demuestra aún más el mal uso de la herramienta, puesto que si todos los parámetros se ingresan de la manera correcta no deberían realizarse modificaciones al código, puesto que para eso se realizan las simulaciones previas del maquinado.

Se propone además, realizar simulaciones en EdgeCAM del proceso de corte en las máquinas, pudiendo observar el movimiento de la mesa de trabajo y husillo, y así previniendo posibles choques entre dichos elementos que ocasionan paros en las CNC. Este software

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

permite integrar modelos específicos de máquinas y poder realizar estas simulaciones. Asimismo, se pueden configurar todos los parámetros para la preparación de las máquinas desde la computadora, tales como posicionamiento del cero pieza, del cero máquina, compensación de herramientas, etc.

Para agilizar la carga de la programación para el maquinado de las piezas, se propone conectar las computadoras del departamento técnico con las máquinas CNC que lo permitan, según el protocolo de comunicación que acepten, preferiblemente Ethernet.

- Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo

En la empresa no se cuenta con un Plan de Mantenimiento Preventivo que controle el estado de las máquinas de manera que se puedan prevenir fallas. Con el crecimiento en la competitividad del mercado y la necesidad de las industrias de realizar trabajos de calidad, resulta indispensable el desarrollo de planes de mantenimiento preventivo, puesto que de esta manera se puede eliminar el mantenimiento correctivo que genera paros largos de los equipos.

Los aspectos que se deben tomar en cuenta en la inspección de las máquinas son los siguientes:

- Presiones
- Niveles de lubricación
- Vibraciones
- Fugas
- Grietas
- Ruidos
- Corrosión
- Deformación
- Limpieza de componentes primordiales

Actualmente, la empresa sólo realiza controles de mantenimiento de los niveles de lubricación de las máquinas, lo realiza cada operario y se hace diario. Sin embargo, para

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

mantener en óptimo estado los equipos, es necesario también verificar los aspectos que se mencionaron, de manera que se pueda garantizar la disponibilidad de los equipos.

- Medición de la Efectividad Global de los Equipos (OEE)

A partir de lo mencionado anteriormente, podemos introducir un criterio de clase mundial que justifica el desarrollo de planes de mantenimiento, así como la ejecución de las mejores prácticas laborales. El concepto de Efectividad Global de los Equipos u OEE (por sus siglas en inglés de Overall Equipment Effectiveness) es un indicador de clase mundial que permite a las empresas y a sus consumidores tener una visión de las pérdidas que ocurren durante el proceso de fabricación.

Como las máquinas funcionan en comparación con una máquina ideal (máquina que funciona siempre que queremos, a la máxima velocidad y produciendo solo productos buenos a la primera), OEE nos permite identificar las pérdidas diferenciadas en los siguientes factores:

- ✚ Disponibilidad: Cuánto tiempo ha estado funcionando la máquina o equipo respecto del tiempo que quería que estuviera funcionando (quitando el tiempo no planificado)
- ✚ Rendimiento: Durante el tiempo que ha estado funcionando, cuánto ha fabricado (bueno y malo) respecto de lo que tenía que haber fabricado a tiempo de ciclo ideal.
- ✚ Calidad: Es el indicador más conocido por todos. Cuánto he fabricado bueno a la primera respecto del total de la producción realizada (bueno y malo).

El OEE indica con cuánta efectividad las máquinas están siendo utilizadas comparada con la Máquina ideal (OEE = 100%). La figura siguiente ilustra cómo se determina el OEE:

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

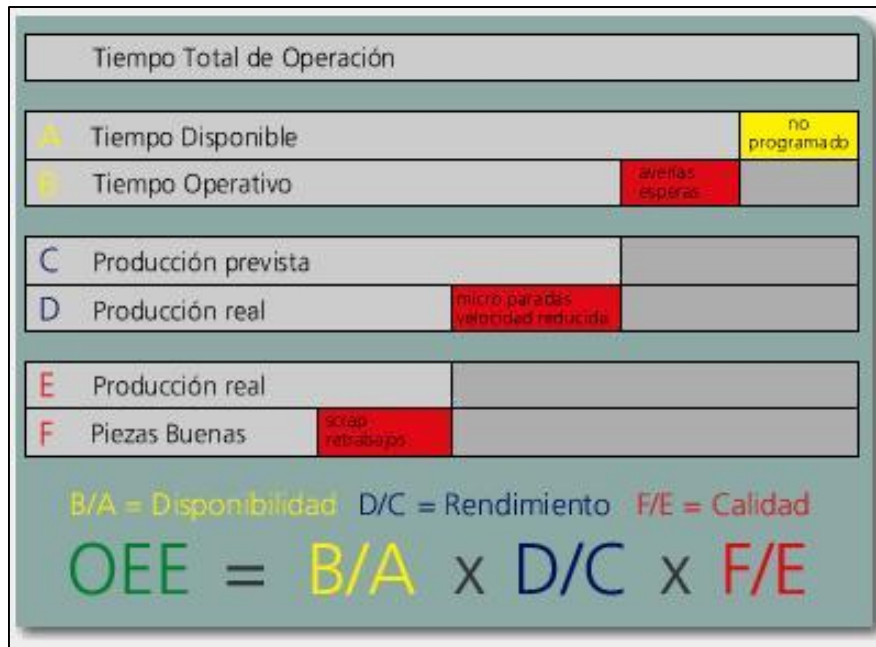


Figura 4.2 Medición del OEE.

Fuente: LeanSis Productividad. (2014). *¿Qué es el OEE?* Obtenido de LeanSis Productividad: <http://www.leansisproductividad.com/oe-toolkit-footer/ique-es-el-oe>

Para toda empresa que busca una mejora continua en sus procesos de producción, el OEE es un buen punto de partida puesto que permitirá dar una visión general de la situación actual, y además identificar los factores donde se requiere actuar principalmente.

### Cálculo del OEE para la producción de la Pieza “Y”

La pieza “Y” es que se presentó en la Figura 2.7 y los tiempos de trabajo que se recolectaron se presentan en la Tabla 4.3.

Disponibilidad:

$$Tiempo\ disponible: 4h + 0,0583h * 520 = 34,316$$

$$Tiempo\ operativo: 5h + 0,0458h * 507 = 28,221$$

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

Rendimiento:

*Producción prevista: 520 piezas*

*Producción real: 507 piezas*

\*El dato de producción prevista no se tuvo a disposición como se puede observar en la Tabla 4.3, entonces se aproximó buscando referencias sobre las variaciones en producciones en máquinas CNC para una pieza sencilla como la que está en estudio.

Calidad:

*Producción real: 507 piezas*

*Piezas buenas: 503 piezas*

Finalmente,

$$OEE = \frac{28,221}{34,316} \times \frac{507}{520} \times \frac{503}{507} = 0,796$$

Si el valor de OEE es mayor o igual a 0,85 está dentro de los índices de clase mundial. Según el resultado que se obtuvo, el valor está relativamente cerca de ese número, sin embargo, es importante entender que la pieza en estudio es bastante sencilla, puesto que sólo requiere de operaciones simple de torneado y la cantidad de piezas a realizar es pequeña.

De los tres factores que considera el cálculo del OEE, se puede observar claramente que el que está afectando su valor es el de los tiempos de disponibilidad. Por tanto, permite dar una idea sobre la importancia de aumentar los tiempos en que la máquina se encuentra trabajando, y que el enfoque principal es en el entorno de trabajo de la misma y no directamente sobre ella como se mencionó en puntos anteriores.

Por otro lado, estamos únicamente considerando los tiempos sobre la máquina CNC, es decir, existen muchos tiempos que no considera este parámetro, por ejemplo los tiempos de diseño, programación o simulación, que de igual forma pueden mejorarse por medio de la solución que se planteó en este proyecto. Si se incluyeran estos tiempos en el cálculo del OEE su valor disminuiría considerablemente.



#### **4.3.4 Mejora por medio de herramientas digitales**

En este caso, se presentarán algunas propuestas planteadas por el estudiante en el uso de herramientas digitales para la optimización de los tiempos de operación de las máquinas CNC. A pesar de que no se realizó la implementación completa de la solución, se presentarán las principales características de la misma y los beneficios que trae su implantación en las empresas.

- Base de datos de herramientas

Se propone generar una base de datos en tiempo real, donde se encuentren todas las herramientas disponibles en la empresa, además, permita al personal técnico seleccionar la(s) herramienta(s) que va a utilizar para un proceso de producción y que de manera automática se le indique a la persona encargada en bodega las herramientas que debe buscar. Así, se pueden eliminar los tiempos generando una orden para la solicitud de herramienta y los tiempos que se tarda en informar a bodega para que busque las herramientas.

- Base de datos de materiales disponibles

De igual manera que con las herramientas, se propone tener el inventario de materiales disponibles en una base de datos, donde la persona encargada de la búsqueda de material para una producción pueda acceder él mismo y revisar el material que tiene a disposición o por el contrario qué materiales debe cotizar y mandar a comprar.

En caso de utilizar material disponible en bodega, se permita digitalmente a la persona seleccionar el material que va a utilizar y se genere una notificación automática al encargado de bodega para que los busque y organice para la producción.

#### **4.3.5 Implementación de la tecnología PLM para la gestión de procesos**

Gracias a la investigación realizada y la información recopilada con el profesor asesor y la empresa Mecsoft, se encontró una herramienta digital capaz de realizar las labores que se

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

mencionaron en el apartado 4.3.3., además de una gran cantidad de funciones más. Entramos nuevamente en el concepto de PLM o Gestión del Ciclo de Vida de un Producto.

El PLM es una estrategia que busca mejorar la competitividad de las empresas, a través del manejo óptimo e integrado de toda información que genera un producto a lo largo de su vida; desde su concepción inicial, diseño, fabricación, control de calidad y comercialización, hasta la disponibilidad del mismo y el servicio postventa.

Como parte de la solución planteada, consiste en poder integrar las mejores prácticas y procedimientos con una tecnología digital, capaz de gestionar el ciclo de vida de los productos. Inicialmente se pensó en realizar la implementación de un sistema PLM, al menos mostrando uno de los procesos que se realizan en FEMA Industrial S.A., de manera que se pudiera observar los alcances de la herramienta en un caso real. Sin embargo, el proceso de aprendizaje de una tecnología digital de este tipo, requiere de mucho más tiempo de investigación, principalmente en un mercado como el costarricense donde representa un concepto nuevo.

Como parte principal del proyecto fue el desarrollo de un modelo de buenas prácticas en el uso de máquinas-herramienta de control numérico CNC, pero además se presentará el análisis sobre el uso e implantación de un sistema PLM desde un punto de vista conceptual, en combinación con dicho modelo, permitiendo entender la relevancia de ambas partes en el desarrollo de la empresas.

### 4.3.5.1 *Concepto de PLM*

El PLM (Product Lifecycle Management) es una solución informática empresarial que permite implementar una estrategia de gestión de toda la información relacionada con el producto, desde la primera idea hasta su retirada del mercado.



Figura 4.3 Ciclo de vida de un producto.

Fuente: Axis Technologies. (2012). *Product Lifecycle Management*. Obtenido de Axis Technologies: <http://www.axistec.com/product-lifecycle-management.html>

Lo más importante para este proyecto, es poder determinar el valor que representa para una empresa la implantación de un sistema digital de PLM, a partir de un modelo de mejora de las prácticas y procedimientos que realiza. Para este caso, se estudiará el PLM Windchill de la empresa PTC, puesto que es la herramienta que se tiene a disposición gracias al aporte de Mecsoft de Costa Rica.

Una mejor relación hombre-máquina la podemos lograr a partir de la información que podamos obtener y medir de los equipos de trabajo. Generar una cultura de información dentro de la empresa por medio de una gestión total de activos, permitirá evaluar parámetros de funcionamiento de las máquinas y de las personas, y a partir de ello poder tomar decisiones.

#### 4.3.5.2 Estandarización de procesos

Como se presentó en los puntos anteriores, uno de los principales retos que tiene FEMA Industrial S.A. es lograr estandarizar sus procesos, desde la creación de los diseños, planos,

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

programación, etc. Una de las características que posee la tecnología PLM es que facilita la ejecución de procedimientos estándar, establecidos además por normas nacionales o internacionales y que puedan ser regulados por los jefes de la compañía. Esto gracias a que se puede dar seguimiento y control al desarrollo de un producto durante todo el ciclo de vida. Es decir, es posible asegurarse de los métodos que está empleando el personal de cada departamento y velar por el cumplimiento de la normativa establecida por la empresa.

Según un estudio realizado el 27% de los nuevos productos lanzados por pymes no cubren las expectativas de negocio previstas. Además, más de una tercera parte de los pequeños fabricantes (menos de 500 empleados) y casi una cuarta parte de los fabricantes de mediano tamaño carecen de un proceso formal para el lanzamiento de nuevos productos al mercado, y muchos de ellos siguen procesos informales que varían con cada proyecto. (Infor Corporate Headquarters, 2007)

Esto implica que la falta de procesos específicos no sólo impide a las empresas crecer, sino que contribuye a su potencial fracaso. Si una empresa tiene procesos que varían según el proyecto o la persona, esto indica que su estructura es altamente manual y que requiere muchos recursos humanos.

### 4.3.5.3 *Gestión de activos*

Para crecer, muchas veces es necesario simplificar algunos procesos, como la gestión de activos. La implantación de un nuevo sistema de trabajo es algo imprescindible para que una empresa pueda simplificar su proceso de gestión de activos y adquiera una posición que le ayude a expandir su negocio. Con una gestión más precisa de los stocks de materias primas, es posible reducir los costes de inventario y ampliar la cartera de clientes sin necesidad de ampliar la plantilla. Con ello, se evita la necesidad de revisar manualmente el inventario y los recursos antes utilizados para esta tarea, pueden asignarse a funciones de valor añadido, como la gestión de pedidos o la producción.

Desde el punto de vista del aprovisionamiento, la introducción de un nuevo sistema permite realizar un seguimiento de los gastos laborales asociados a cada pedido, así como conocer la carga de trabajo y los gastos totales derivados de los pedidos, lo que facilita el proceso de gestión de costes y mejora de la rentabilidad. De este modo se identifican más

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

fácilmente las tareas que son rentables y las que provocan pérdidas, algo difícil de detectar cuando se usan procesos manuales.

Un punto a evaluar en la gestión de activos y que permitirá dar un mayor renombre y competitividad a la empresa es poder obtener una certificación de este tipo. Las herramientas de gestión de procesos como PLM, permiten a las empresas administrar todos sus recursos de manera eficaz contribuyendo para la obtención de una certificación como la ISO 55000. Esta norma, define la gestión de activos como la optimización del ciclo de vida del activo para ofrecer el rendimiento especificado por los propietarios de los mismos de una manera segura, socialmente beneficiosa y ambientalmente responsable. Por tanto, la intención de proporcionar una medida de las buenas prácticas en la gestión de activos por la norma ISO 55000 traza el camino hacia la gestión de activos empresariales de clase mundial, convirtiéndose así en un concepto atractivo para la industria.

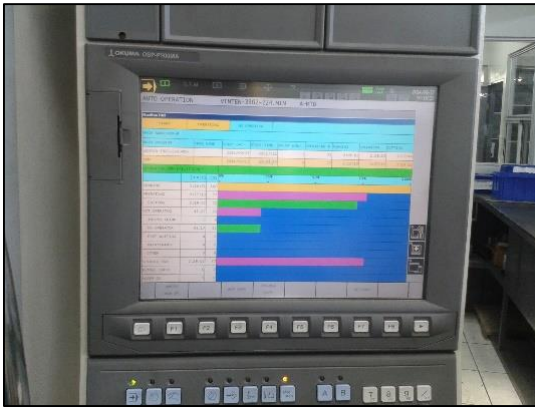
Una de las mejoras que se plantearon en el modelo de buenas prácticas, era utilizar bases de datos para llevar control de los materiales y herramientas disponibles, de manera que el personal técnico pudiera acceder desde su computadora y ver la cantidad de un “material X” que tiene a disposición, o por el contrario, cuánto material se debe comprar para llevar a cabo una orden de producción. En el mismo caso de las herramientas, se podría disminuir considerablemente el tiempo de solicitud de las mismas por medio de un proceso automatizado, donde la persona ingrese a la base de datos y pueda seleccionar la(s) herramienta(s) que va a utilizar y automáticamente se le envíe un correo o una notificación a la persona en bodega para que prepare las herramientas. Por medio de la tecnología PLM esto se puede realizar, puesto que permite tener almacenado en la nube todos los activos como materiales y herramientas que tiene la empresa.

### 4.3.5.4 *Cultura de información*

Como se ha mencionado en varios puntos del informe, generar una cultura de información en las empresas corresponde a una de las principales consideraciones sobre la aplicación de buenas prácticas. Esto porque a partir de la información, es que se obtienen indicadores de rendimiento que permiten evaluar el funcionamiento de los activos físicos de la empresa.

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

Hablemos por ejemplo de las máquinas de control numérico CNC. Las máquinas-herramienta modernas, automáticamente generan información respecto al trabajo realizado durante una cierta cantidad de tiempo, con algunos parámetros como tiempo total en operación, tiempo de parada, tiempo de corte, etc. En la Figura 4.4 se muestran los resultados generados por la máquina Okuma en el taller de FEMA Industrial S.A. Sin embargo, no se hace nada con esa información, es decir, se tiene a disposición resultados reales de operación de los equipos pero no se analiza para tomar decisiones.



Las máquinas-herramientas modernas generan automáticamente información sobre parámetros de operación en un tiempo definido

Figura 4.4 Información generada por el centro de mecanizado Okuma en FEMA Industrial S.A.

Actualmente, se está tratando de implantar en la empresa procedimientos para la toma de datos por parte de los operarios, respecto a algunos aspectos como tiempos de operación, tiempos de preparación, cantidad de piezas buenas, etc., por medio de una hoja de control de operaciones como la que se observa en la Figura 4.5. Sin embargo, esa hoja se agrega a una carpeta con los documentos del producto que se realizó y se guarda, no se analiza esa información.



## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

Logrando primero generar esa cultura de información y luego ingresando todos los datos recopilados a un sistema PLM, se pueden generar análisis y toma de decisiones a partir de los resultados que se obtienen rápidamente. El PLM permite generar gráficas y tablas estadísticas de acuerdo a información que se le ingresa, así como observar tendencias en los procesos de trabajo. Además, toda la información que se vaya recopilando a lo largo del tiempo quedará guardada en un punto centralizado y de fácil acceso para cualquier persona involucrada en los proyectos de la empresa.

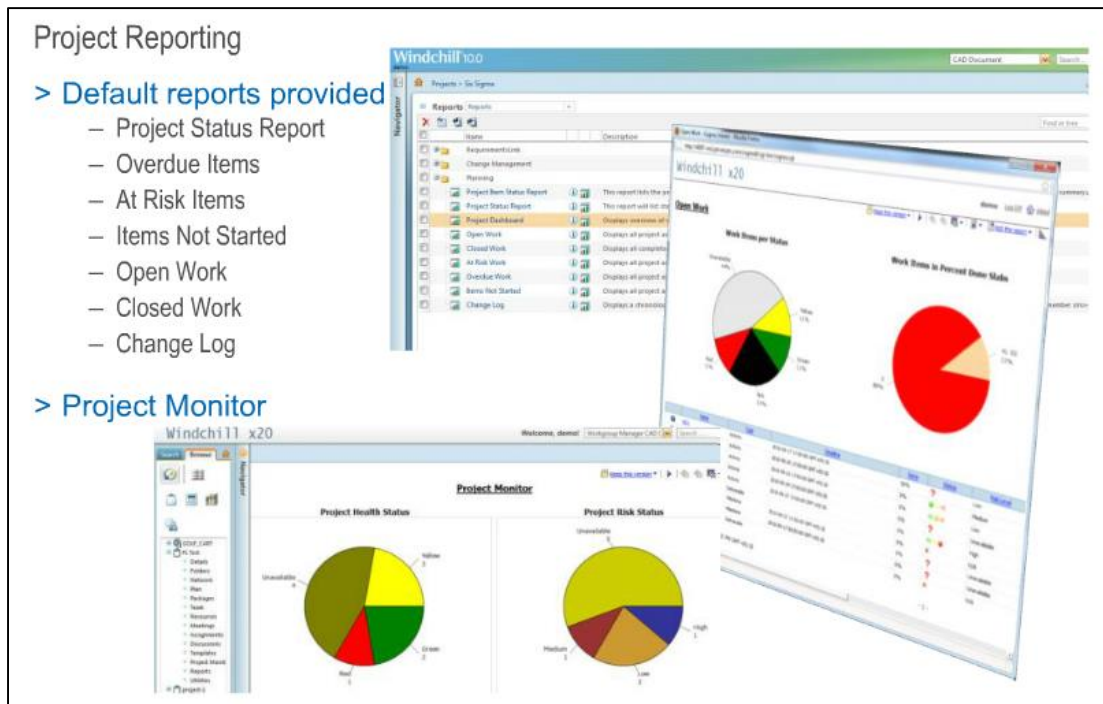


Figura 4.6 Herramientas de reporte en Windchill.

Fuente: PTC University. (s.f.). Introduction to Windchill PDMLink 10.0 for Heavy Users.

Obtenido de PTC University Precision LMS:

<https://precisionlms.ptc.com/viewer/course/en/5358790/page/5047939>

Una consideración que resulta interesante, es lograr que la recolección de información mencionada en el punto anterior se realiza de manera automática por parte de los equipos, y no solo eso, sino también poder conectarlo al sistema PLM, logrando que además de la generación de información útil por parte de las máquinas, esta se cargue automáticamente en la herramienta digital.





Fuente: Lozano, J. (03 de 2014). Internet de las Cosas: Aplicada a Pymes. Obtenido de Expo MiPyme Digital: [http://expomipymedigital.co/wp-content/uploads/2014/04/Internet-de-las-cosas\\_Josu%C3%A9-Lozano-Oracle.pdf](http://expomipymedigital.co/wp-content/uploads/2014/04/Internet-de-las-cosas_Josu%C3%A9-Lozano-Oracle.pdf)

#### 4.4 Disminución de tiempos en la elaboración de la Pieza “Y”

Nuevamente, se tomará como ejemplo la pieza que se presenta en el plano de la Figura 2.7 y se calculará cuánto tiempo se podrá reducir con la gestión del ciclo de vida del producto, Para aclarar, este cálculo es meramente conceptual, con aproximación en los números que se determinaron por medio de la investigación realizada. Esto porque no se ha implementado el proyecto en la empresa entonces no es posible medir aún sus resultados reales.

Como se mencionó anteriormente, en empresas que han implementado exitosamente un sistema de gestión del ciclo de vida del producto, se habla de ahorros de hasta un 35% en el lanzamiento de nuevos productos. Para nuestro caso, utilizaremos un porcentaje de 30% en ahorros en los tiempos del ciclo de vida de la pieza “Y”.

De la empresa, se logró recopilar la siguiente información de tiempos por tarea. De igual forma, son datos aproximados sobre los tiempos de trabajo en los diferentes procesos.

Tabla 4.5 Tiempo Ciclo de Vida de pieza “Y”.

Tarea	Tiempo (h)
Diseño planos	4
Pruebas de calidad	5,5
Preparación de la máquina	5
Maquinado en CNC	23

Como se mencionó anteriormente, se va a considerar una disminución teórica del 30% en los tiempos de fabricación de la pieza, el cual es un valor cercano al 35% mencionado como resultado en empresas que han aplicado la herramienta de forma exitosa; sin tomar en cuenta las 23h que tardó el maquinado en CNC, podemos reducir hasta en más de 4h el proceso. No se consideran las 23h en el equipo puesto que no estamos afectando directamente su trabajo, sino todo el entorno en el ciclo de vida de la pieza.

*Tiempo total = 14,5 horas*

*Reducción del 30% = 10,15 horas*

Esto como una primera aproximación, si pensamos nuevamente en desarrollar una proyecto futuro para la automatización de los procesos de la empresa, de manera total, estaremos hablando de reducciones de tiempo aún más grandes y por lo tanto, de ahorros económicos para la empresa.

## **4.5 Adquisición de datos de forma automática por las máquinas**

Como parte importante del proyecto es poder ver y entender la necesidad del Ingeniero en Mecatrónica para poder lograr una automatización completa en la industria. Como hemos visto en varios puntos, la capacidad de mejorar está en entender y tener al alcance los indicadores claros que me permitan medir lo que tengo de manera cualitativa y cuantitativa.

El Ingeniero Mecatrónica está en la capacidad de entender lo que sucede dentro de la máquina CNC, qué está haciendo y qué debe mejorar, desde punto de vista mecánico y eléctrico. En este caso, se enfocó en CNC en una industria de metalmecánica, pero esto se aplica para cualquier tipo de máquina que sea controlada automáticamente por medio de una computadora, a la cual se le programen los procedimientos que debe seguir por medio de un sistema de actuación (servomotores) de alta precisión. Por otro lado, está en la capacidad también de analizar lo que sucede fuera de la máquina, todos esos procesos que afectan el entorno de la máquina y qué se debe hacer para mejorar.

Ahora bien, pensar en que las máquinas generen información por sí mismas resulta un gran desafío, pero que poco a poco se está convirtiendo en realidad; con este proyecto se pudo entender y ver en un caso real de industria, la importancia de tener información respecto al trabajo de las máquinas. Aquí es donde nuevamente entra el papel del Ingeniero en Mecatrónica, puesto que en la industria nacional hay muy pocas máquinas con la capacidad de generar información de manera automática, por tanto, los mismos operarios son los que realizaron la toma de estos datos de forma manual. Esto causa que los datos no sean del todo fieles, los operarios se enfocan en que la maquina esté operando y no tanto en la toma de

datos, por lo cual se pueden ver alterados los resultados. Además, si las máquinas no trabajan como se espera esto les afecta a ellos entonces de igual manera se podría modificar la información. Entonces, pensar en desarrollar proyectos de instalación de sistemas con redes de sensores o sistemas de visión en los equipos, de manera que los mismos generen información de trabajo, y que al ser adquirida por la misma máquina, nos aseguramos que es real y válida.

Ahora bien, aprovechando la aplicación de una tecnología digital PLM, se puede considerar que una vez los equipos generan la información automática sobre sus operaciones, se carguen directamente en el espacio de trabajo de la herramienta digital, por medio de conexión a internet. Entonces, estamos yendo aún más allá con el proyecto, dotar a las máquinas de la capacidad de conectarse a internet (Internet de las Cosas), de forma que puedan comunicarse con el sistema PLM y con los demás equipos (en la nube todo se puede conectar entre sí). Asimismo, una vez que se carguen dichos datos en la herramienta, que se puedan generar tendencias de trabajo, gráficas estadísticas, resultados durante cierto tiempo de operación, etc., que permitan poder tomar decisiones de manera sencilla y ágil, en función de dicha información recopilada automáticamente por las máquinas.

Como se puede apreciar, hay un montón de trabajo que se puede realizar en este tema, en el cual, existe una clara oportunidad de negocio para el Ingeniero en Mecatrónica. En este proyecto se estudió el caso específico de la empresa FEMA Industrial S.A., sin embargo, en el país hay muchas empresas similares y que buscan optimizar y automatizar sus procesos para poder ser competitivas.

### **4.6 Descripción de las máquinas CNC en el taller de FEMA Industrial S.A.**

El hardware de este proyecto consiste en las máquinas CNC que se estudiaron en la empresa FEMA Industrial S.A. En la tabla 4.5 se presenta un resumen con las máquinas de control numérico con las que cuentan actualmente.

Tabla 4.6 Listado de máquinas CNC en FEMA Industrial S.A.

<b>Listado de máquinas CNC en FEMA Industrial S.A.</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Modelo</b>	<b>Código Empresa</b>
Fresadora Milltronics	RW14 serie A	FCNC-10
Fresadora Milltronics	RW15 serie C	FCNC-20
Fanuc Robodrill Mate	AO4B-0098-B	FCNC-30
Fanuc Robodrill D14MiA5	At-14Fa"eco2"	FCNC-40
Centro de mecanizado Okuma	Genos M-560v	FCNC-50
Torno Bridgeport	Ez Path	TCNC-10
Torno Taurus	CNC-260	TCNC-20
Torno Suizo Star	SV-32J II	TCNC-30
Torno Okuma	Genos L250E	TCNC-40

Lo más importante a destacar en la tabla anterior es que como se puede observar se tienen mucha variedad de fabricantes de CNC, lo cual fue un punto a considerar en el análisis de tiempos muertos.

Para la descripción del hardware se tomará únicamente como ejemplo el centro de mecanizado Okuma Genos M-560v que es el equipo más moderno que tiene en el taller. Esto debido a que un estudio de todas las máquinas CNC sería innecesario, ya que en la investigación realizada y que se presentó en el capítulo 2, se pueden encontrar las principales características generales de las CNC.

En general, la diferencia principal entre las máquinas que se observan en la Tabla 4.5 es en cuánto al método de programación, puesto que dependiendo de la marca cambia su método de entrada de datos, desde la interfaz gráfica de usuario hasta tipos de programación distinta. Por otro lado, también es importante mencionar que a pesar de que tienen máquinas sumamente modernas como el centro de mecanizado Okuma o el Torno Suizo, también tienen máquinas con varios años de antigüedad que poco a poco se han ido deteriorando a falta de un mantenimiento más estricto y la disminución de su vida útil.

En la Figura 4.8 siguiente, se observa una imagen del centro de mecanizado Okuma que se tiene en la empresa FEMA Industrial. Esta máquina es la de mayor costo que se ha adquirido en el taller y la que tiene las mejores características. Su precio fue de casi \$200 000 según datos del gerente de la empresa y se pidió con algunas partes menos que el modelo original.



Figura 4.8 Centro de mecanizado Okuma Genos M-560v.

La fotografía fue tomada en una de las visitas realizadas a la empresa, donde se puede observar como el operador de la máquina no se encuentra en su respectivo espacio de trabajo.

Este centro de mecanizado, es el que cuenta con la tecnología más moderna de las máquinas que se tienen en el taller, donde una de sus características es que genera información de trabajo para que sus usuarios puedan analizar la información y puedan tomar decisiones respecto a ella. Como se mencionó anteriormente, esto no se realiza en la empresa.

## 4.7 Descripción del software PLM

El software utilizado para el proyecto fue principalmente la herramienta digital Windchill de PTC, es cual es uno de los gestores del ciclo de vida de producto de mayor crecimiento a nivel mundial en los últimos años.

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

En el apartado 4.3.4., se presentó bastante información respecto a los alcances de la herramienta, por eso, en esta sección nos enfocaremos en el detalle de sus características y las principales ventajas de su implementación en las empresas.

### 4.7.1 Arquitectura del sistema

Los sistemas PLM tienen una arquitectura informática del tipo cliente-servidor, aunque en las últimas generaciones se observa una creciente presencia de arquitecturas puramente web.

- El servidor: En el servidor opera una base de datos relacional en la que se almacena y gestiona toda la información.
- Los clientes: El acceso para los usuarios al servidor se hace mediante una aplicación cliente instalada en los ordenadores personales. Este acceso puede hacerse tanto vía red local como remotamente vía web. Las aplicaciones (CAD, ofimática, etc.) que generan la información que se quiere gestionar están integradas con el PLM. Así, en el sistema PLM se guardan automáticamente todos los archivos generados por las numerosas aplicaciones informáticas y que de otra forma acostumbran a estar diseminados y desprotegidos por las carpetas y discos de los diversos ordenadores y servidores. De la misma manera, cuando se quiere consultar, visualizar o recuperar cualquier información, ésta se busca en el sistema PLM.
- El hardware: Se requiere un servidor las características del cual dependerán del volumen de documentación a gestionar y del número de usuarios del sistema, pero nada especialmente diferente a otros sistemas de gestión empresarial. En cuanto a los PCs clientes, se utilizan los mismos que ya tienen los usuarios para sus tareas habituales.

### 4.7.2 Integración con software CAD

Una de las principales características de los sistemas PLM es que permiten la integración con otro software, por ejemplo CAD, CAM, ERP, etc. En este caso, se realizó la integración con Creo Parametric 2.0, sin embargo, es posible trabajar con otros sistemas CAD como

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

Solidworks, Inventor, Catia, por medio de un complemento llamado Workgroup Manager que permite trabajar con programas de diferentes compañías.

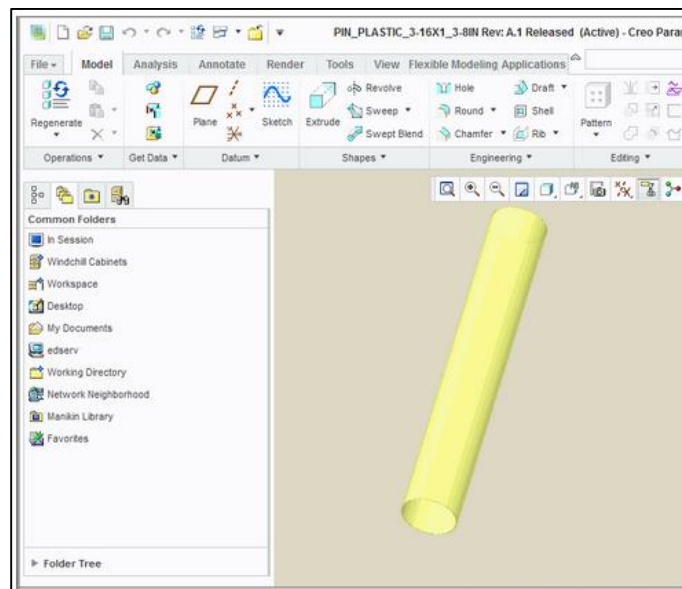


Figura 4.9 Integración Creo Parametric con Windchill.

Fuente: PTC University. (s.f.). Introduction to Windchill PDMLink 10.0 for Heavy Users.

Obtenido de PTC University Precision LMS:

<https://precisionlms.ptc.com/viewer/course/en/5358790/page/5047939>

Al generar una nueva pieza o ensamble, este automáticamente se guardará en el espacio de trabajo asignado en el servidor de Windchill de acuerdo a las funciones que se observan en la Figura 4.10.



## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

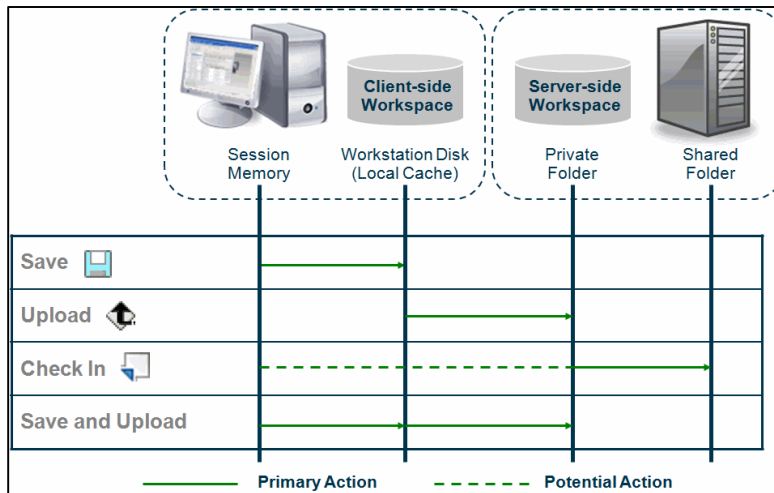


Figura 4.10 Creación de piezas o ensamblajes desde Creo Parametric.

Fuente: PTC University. (s.f.). Introduction to Windchill PDMLink 10.0 for Heavy Users.

Obtenido de PTC University Precision LMS:

<https://precisionlms.ptc.com/viewer/course/en/5358790/page/5047939>

Desde el entorno de trabajo de Windchill es posible abrir archivos CAD por medio de Creo View Lite como se observa en la Figura 4.11.

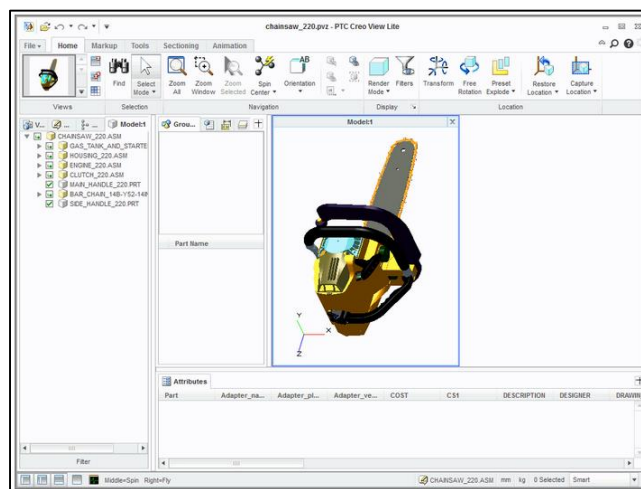


Figura 4.11 Integración Creo View Lite con Windchill.

Fuente: PTC University. (s.f.). Introduction to Windchill PDMLink 10.0 for Heavy Users.

Obtenido de PTC University Precision LMS:

<https://precisionlms.ptc.com/viewer/course/en/5358790/page/5047939>

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

Otra característica a destacar es que Windchill permite realizar anotaciones de forma sencilla sobre los dibujos en 3D, de manera que luego puedan ser considerados por otras personas dentro del proyecto. En la Figura 4.12 se muestra un ejemplo de ello.

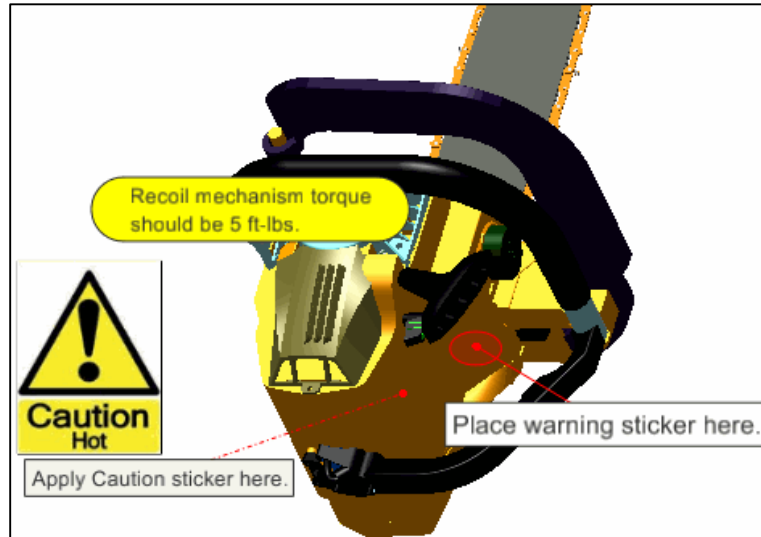


Figura 4.12 Anotaciones en dibujos 3D en Windchill.

Fuente: PTC University. (s.f.). Introduction to Windchill PDMLink 10.0 for Heavy Users.  
Obtenido de PTC University Precision LMS:  
<https://precisionlms.ptc.com/viewer/course/en/5358790/page/5047939>

### 4.7.3 Modificaciones a proyectos

Cuando se realiza algún cambio en un diseño, Windchill irá generando diferentes versiones del mismo, pero manteniendo en la nube todas las versiones anteriores, en caso de que sea necesario devolverse a un estado anterior. Asimismo, en cualquier cambio o modificación aparecerá la persona responsable de hacerlo y la fecha, así como el estado del proyecto.

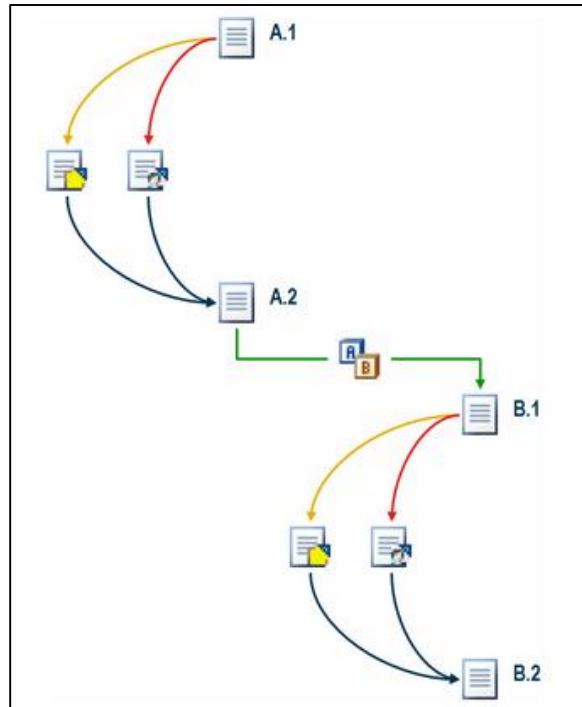


Figura 4.13 Generación de versiones y copias en Windchill.

Fuente: PTC University. (s.f.). Introduction to Windchill PDMLink 10.0 for Heavy Users.

Obtenido de PTC University Precision LMS:

<https://precisionlms.ptc.com/viewer/course/en/5358790/page/5047939>

Esto resulta una característica indispensable para algunas industrias como la médica o aeronáutica, las cuales tienen normas respecto a la falla de alguna pieza, donde en caso de ser así, deben poder investigar en todas las versiones para encontrar lo que ocasionó la falla y el responsable de ella. Es decir, todas las modificaciones deben mantenerse almacenadas en caso de querer revisar alguna de las versiones.

Otro de los beneficios de mantener almacenada toda la información referente a un proyecto específico, es que en un futuro si se debe fabricar nuevamente la misma pieza o una similar, no hay necesidad de volver a generar los diseños y la programación de la misma, sino que se puede reciclar del trabajo que se hizo anteriormente. En industria como FEMA Industrial S.A. donde casi no se observa producción en serie, normalmente se genera una orden de producción para una pieza, y es posible que nunca más se vuelva a realizar o hasta

## Capítulo 4: Descripción detallada de la solución

dentro de mucho tiempo. Por ello, mantener toda la información clara en una base de datos de fácil acceso permitirá agilizar los trabajos en caso de que se repita una orden en el futuro.

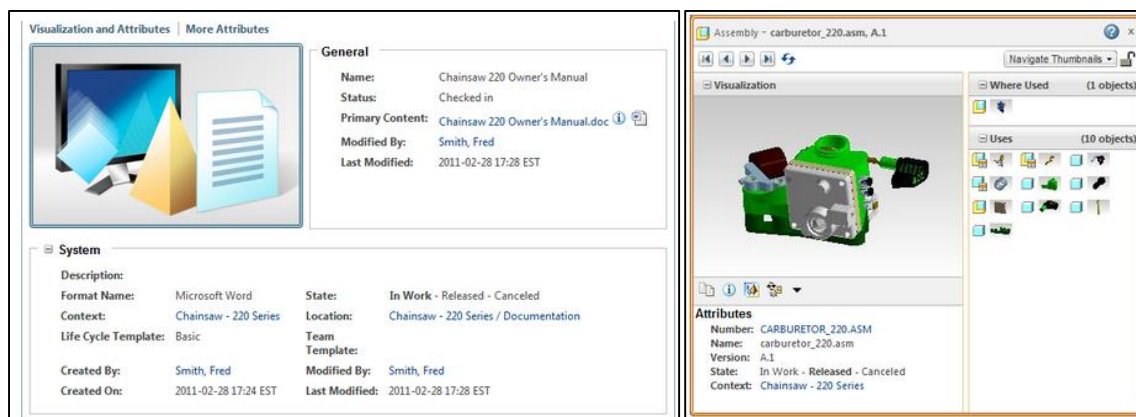


Figura 4.14 Revisión de información de proyectos en Windchill.

Fuente: PTC University. (s.f.). Introduction to Windchill PDMLink 10.0 for Heavy Users.

Obtenido de PTC University Precision LMS:

<https://precisionlms.ptc.com/viewer/course/en/5358790/page/5047939>

Asimismo, Windchill permite asignar roles y permisos específicos dependiendo de las personas involucradas en el proyecto. De esta manera una persona podría crear, modificar, leer o revisar información del producto.

## Capítulo 5 Análisis de Resultados

En este capítulo se presentará el análisis de los resultados obtenidos con el proyecto. Por el tipo de desarrollo conceptual que se realizó y por ser un proyecto principalmente de investigación, los resultados son teóricos y los análisis se hicieron en función de los alcances que se lograron.

Se logró comprender e identificar los pasos que se deben realizar en las empresas para el desarrollo de un producto, desde su diseño hasta su fabricación en la máquina. Con ello, se elaboró una propuesta de buenas prácticas para la disminución de tiempos muertos en las máquinas CNC que se presenta en el apéndice A.2, a partir del estudio de los procesos y procedimientos en la Pyme FEMA Industrial S.A.

Dicha propuesta de buenas prácticas y procedimientos, se realizó con base a la investigación realizada por el estudiante, observaciones en visitas a otras empresas como VITEC, consultas con el profesor asesor y profesionales del área y consideraciones personales del estudiante de acuerdo a los conocimientos adquiridos durante la carrera.

Esta propuesta se presentó en la empresa FEMA Industrial S.A. y se mostró un interés importante en poder aplicarla, sin embargo, por motivos de tiempos y complejidad de la mayoría de soluciones no se logró implementar para este proyecto. Esto porque se busca generar un cambio en la cultura de trabajo y no puede realizarse de un momento a otro, sino, que tiene que ir desarrollándose poco a poco para que todos los trabajadores puedan ir adaptándose a las nuevas metodologías, sin generar pérdidas o retrasos en la producción por mal entendimiento de los procedimientos.

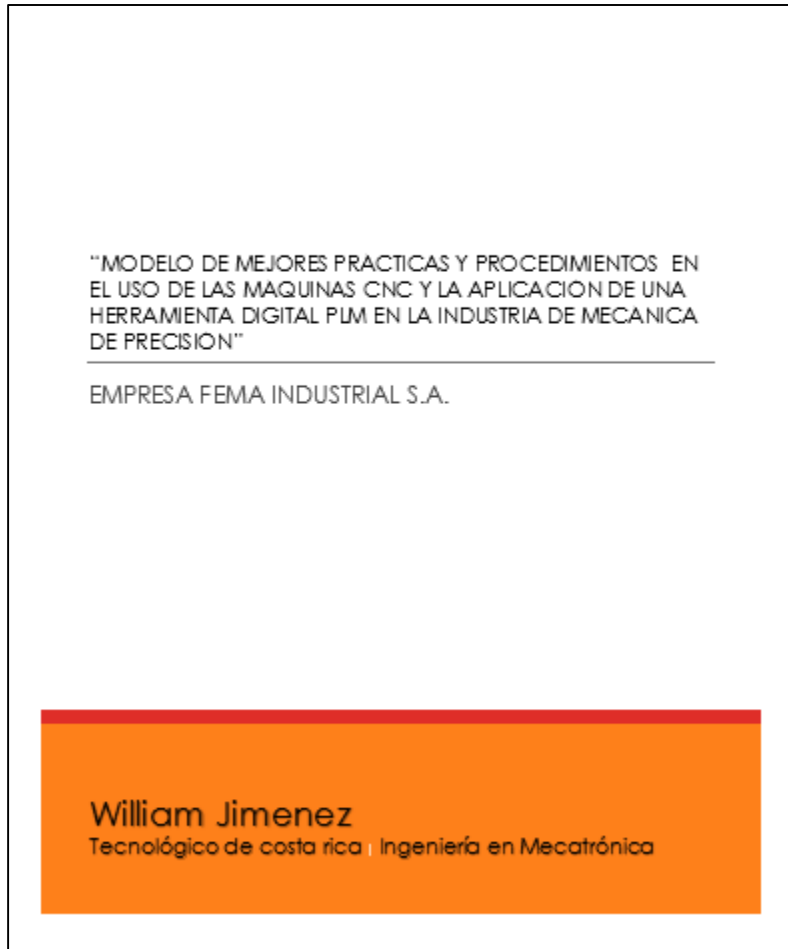


Figura 5.1 Propuesta de mejores prácticas y procedimientos.

Con la evolución de las máquinas-herramientas se logró un avance importante en el desarrollo industrial. Con las máquinas de control numérico CNC se mejoraron los trabajos en calidad, complejidad y tiempos. Como se logró observar durante este proyecto, aún este tipo de equipos presenta el problema de que se tarda mucho tiempo en su preparación, lo cual significa pérdidas económicas para las empresas (tiempos de no producción). A pesar de que no se logró implementar la propuesta de buenas prácticas, con la investigación realizada fue posible establecer criterios válidos de mejora en los procedimientos que actualmente se ejecutan y se espera que con su aplicación en la empresa se generen ahorros gracias a la optimización de los tiempos de operación de las CNC.

Como se mencionó en varios puntos del documento, las máquinas-herramientas CNC son de alto costo y representan una inversión considerable para las industrias de manufactura,

## Capítulo 5: Análisis de Resultados

principalmente si son Pymes como el caso de FEMA Industrial S.A. Por ello, es tan trascendental obtener el máximo rendimiento posible de los equipos con el fin de poder recuperar dicha inversión.

Una de las áreas que ha tenido una evolución destacada a través de los años es la del mantenimiento, iniciando con el mantenimiento correctivo hacia el mantenimiento preventivo, predictivo y ahora se habla del mantenimiento productivo total (TPM). Sin embargo, muchas empresas aún basan sus labores de mantenimiento en el tipo correctivo como es el caso de FEMA Industrial S.A., lo que genera en ocasiones paros en los equipos debido a fallas inesperadas que representan pérdidas económicas considerables. Con este proyecto, aunque de manera mínima (no fue el enfoque del proyecto) se presentó conceptualmente la importancia de crear un plan de mantenimiento preventivo para evitar esas paradas en las máquinas.

La otra parte del proyecto, consistió en la investigación en la tecnología digital de PLM. Para ello, fue necesario entender el concepto de gestión de ciclo de vida del producto, su importancia para el crecimiento de las industrias y el aprendizaje en el manejo de la herramienta. En la propuesta inicial del proyecto, se esperaba poder implementar parte del modelo de buenas prácticas en el PLM, sin embargo, el tiempo de aprendizaje, instalación y configuración de la herramienta conlleva una investigación más profunda y enfocada directamente en su estudio.

Para llevar a cabo este proyecto, se realizaron varias pruebas de instalación de la herramienta en el servidor en Mecsoft, logrando tener interacción del estudiante y el software. Entre los resultados obtenidos fue la integración del programa Creo Parametric 2.0 con Windchill 10.0. Se generaron varios diseños CAD y se observó el funcionamiento del PLM en cuanto a permisos de usuarios, liberación de piezas en espacio compartido o espacio de trabajo, creación y manipulación de archivos CAD, entre otras funciones.

## Capítulo 5: Análisis de Resultados

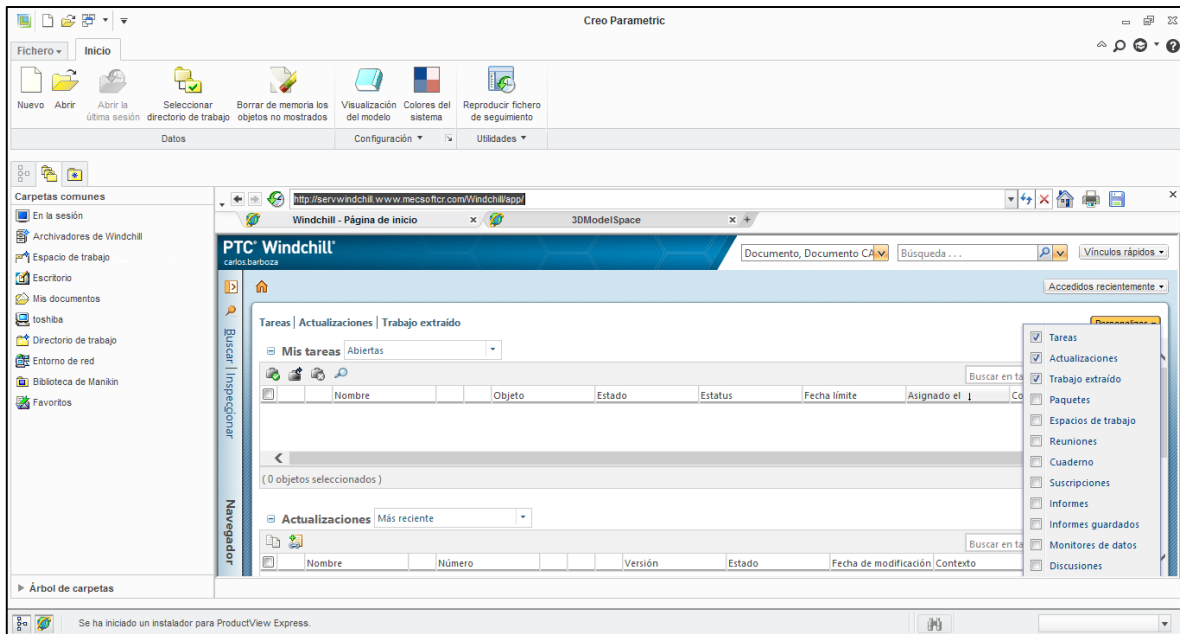


Figura 5.2 Integración Creo Parametric 2.0 con Windchill 12.0.

A pesar de los progresos realizados, no se pudo avanzar más con este tema debido a problemas con el servidor y los pasos de la instalación del programa, puesto que resultó ser poco trivial su configuración, básicamente, se realizaron las primeras pruebas para su implementación e instalación. Importante mencionar que el software PLM debe ser instalado directamente sobre el servidor, por ejemplo con Windows Server y se puede utilizar gestores de bases de datos como SQL o Oracle. Preferiblemente en este último, sin embargo en este caso se realizó con SQL por el costo de la licencia de Oracle.

Con el desarrollo de este proyecto se generó un punto de partida en la investigación de tecnologías digitales para la gestión de los procesos en las industrias. A pesar de que se realizó de manera teórica, se pudieron determinar muchos aspectos importantes sobre la implantación de este tipo de herramientas en las empresas. Empezando con la necesidad de poder medir para poder mejorar, el PLM permitirá tener toda la información de proyectos almacenada en un punto centralizado de acceso para todos los involucrados, de manera que quién desee observar los resultados o avances que se van realizando lo pueda hacer desde cualquier lugar.

Para este punto de partida, se realizó un cálculo aproximado de los tiempos que se podría ahorrar durante el ciclo de vida de un producto, con base a un ejemplo de una pieza fabricada



## Capítulo 5: Análisis de Resultados

en la empresa FEMA Industrial. Según los datos recopilados, para la fabricación de esta pieza se tardó 14,5 horas (sin considerar tiempos de maquinado), y con la aplicación de una herramienta PLM (se consideró ahorros del 30%) se podría reducir este tiempo en 4,35 horas. Este caso, da simplemente una visión general de los beneficios de la aplicación de esta solución, puesto que en las industrias va a depender del producto que se esté realizando y de la ejecución de las mejores prácticas. De la misma manera, se calculó el estándar OEE en el desarrollo de esta misma pieza, cuyo resultado fue de 0.79; lo que permitió dar un punto de partida sobre la importancia en la mejora de los tiempos de disponibilidad de la máquina principalmente.

Asimismo, durante la ejecución del proyecto fue posible ir considerando las ventajas que tendrían la aplicación de una herramientas PLM en las industrias de una manera teórica, además de observar la integración con un programa CAD, sin embargo, por ser un tema relativamente nuevo en nuestro país, requiere de una investigación más profunda y un proyecto destinado únicamente a su implementación. Con los cursos realizados y las experiencias con el software, se pudo entender su funcionamiento y muchas de las aplicaciones que posee, no obstante, sólo es una pequeña parte de lo que en realidad consiste un PLM.

Otro tema que se trató en este documento fue el concepto de Internet de las Cosas (IoT). Gracias al internet, hoy en día vivimos en un mundo cada vez más globalizado, donde las personas pueden comunicarse fácilmente desde cualquier punto del orbe. Se presentó este nuevo concepto que se refiere, a groso modo, a la posibilidad de dar inteligencia a los objetos para que puedan tomar decisiones por sí mismos, dependiendo de la información que tomen del entorno y comunicados a través del internet, además, poder generar datos en tiempo real y descargarlos sobre programas como PLM, de manera que puedan ser observados y analizados por los ingenieros en las industrias.

Como una de los principales resultados del proyecto, fue determinar una función para el Ingeniero en Mecatrónica en el país. Al ser una carrera nueva que apenas se está abriendo paso en el mercado, es importante determinar la función de este profesional para las empresas, puesto que actualmente no existe una clara percepción de su rol en muchas industrias. La capacidad para poder integrar conocimiento de diferentes áreas como sistemas

## Capítulo 5: Análisis de Resultados

CAD/CAM, automatización, control digital, entre otros, lo hacen ideal para poder optimizar los procesos de trabajo, por medio del uso de herramientas digitales de diseño, manufactura y en general de gestión de ciclo de vida del producto, que abarca todos estos temas mencionados. Y no sólo eso, sino poder entender y analizar indicadores e información sobre el rendimiento global de los equipos y poder tomar decisiones en busca de mejoras considerables, a partir de datos generados por las mismas máquinas en tiempo de trabajo real.

Es importante que los egresados de la carrera generen oportunidades a los demás profesionales que están en camino, creando un impacto positivo en la industria costarricense. Lograr una optimización en los tiempos de trabajo de los equipos a partir de indicadores reales, va a permitir un crecimiento de la industria y generará una mayor competitividad en el mercado, además el poder crear una industria digital, aprovechando todas las herramientas disponibles, dará un mayor valor agregado a la empresa nacional. Uno de los enfoques principales de la Ingeniería Mecatrónica es la automatización industrial, en esta nueva era digital, donde la percepción de automatización está creciendo a un nivel donde se habla de dar inteligencia de los objetos, donde se espera que por medio del internet crear toda una red de comunicación entre dispositivos, es fundamental que el país se integre y sea parte del cambio, por tanto se puede aprovechar el conocimiento del profesional en mecatrónica para lograrlo.

# Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones

A continuación se presentarán las conclusiones que se obtuvieron con el desarrollo de este proyecto. Asimismo, algunas recomendaciones que se consideraron importantes generadas por el estudiante para las empresas que quieran involucrarse en este tipo de iniciativas, así como para una futura continuación del proyecto.

## 6.1 Conclusiones

1. Se diseñó una propuesta de mejores prácticas y procedimientos para optimizar los tiempos de operación en equipos de control numérico computarizado.
2. Se logró dar un primer paso en la investigación de la tecnología digital PLM para la gestión de los procesos en una empresa Pyme en Costa Rica.
3. Se identificaron varios procesos a mejorar en la puesta en marcha de los equipos CNC en FEMA Industrial S.A.
4. Se integró la herramienta CAD Creo Parametric 2.0 con el software PLM Windchill 10.0.
5. Se encontró un nicho laboral para el Ingeniero en Mecatrónica en Costa Rica, generando la oportunidad de abrir camino a los profesionales en camino en esta nueva carrera.
6. El valor de OEE en la fabricación de una pieza fue de aproximadamente 0.79 y permitió dar una visión clara sobre la importancia de trabajar sobre el entorno de la máquina CNC y no directamente sobre ella.

## 6.2 Recomendaciones

1. Implementar la propuesta de mejores prácticas y procedimientos en la empresa pero poco a poco, identificando los puntos de mayor importancia, para generar un impacto positivo y aceptación por parte de todo el personal.
2. Una vez estén claramente definidos todos los procedimientos para el desarrollo de los productos, implementar una herramienta de gestión digital como PLM que contribuya con el alcance de los objetivos en cuanto a la estandarización de procesos, gestión de activos y mejora en los tiempos de trabajo.
3. Enfocar los trabajos de los operarios del taller únicamente a la operación y puesta en marcha de las máquinas permitirá optimizar los tiempos de preparación de las CNC.
4. Aprovechar al máximo las características de las herramientas digitales que se adquieren, por medio de capacitación de personal, consultorías con la empresa distribuidora, etc.
5. Antes de adquirir o comprar una nueva máquina CNC, analizar las características que debe cumplir de manera rigurosa, con tal de evitar gastar en equipos sobredimensionados para la empresa.
6. Continuar con la investigación en tecnologías digitales como PLM e Internet de las Cosas, puesto que serán de gran beneficio para las empresas nacionales si se les da un buen uso y se obtiene el máximo provecho de las mismas.

## Bibliografía

- Albán, J. E. (2007). *Manual de Mantenimiento Preventivo para la Maquinaria CNC y CN de la Compañía Limitada "Sertecpetla"*. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Ecuador, Ambato. Obtenido de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/241/t299id.pdf?sequence=1>
- Aldabaldetrecu, P. (01 de Febrero de 2002). *Evolución técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica*. Obtenido de Interempresas.net | Metalmecánica: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1435-Evolucion-tecnica-de-la-maquina-herramienta-Resena-historica.html>
- Arthaya, B., Setiawan, A., & Sunardi, S. (2010). The design and development of G-code checker and cutting simulator for CNC turning operation. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 58-70. Obtenido de [http://www.academicjournals.org/article/article1379602837\\_Arthaya%20et%20al.pdf](http://www.academicjournals.org/article/article1379602837_Arthaya%20et%20al.pdf)
- Benavides, R. F. (2003). *Reducción de Tiempos Muertos de Operación Usando Seis Sigma*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México, CD. Universitaria. Obtenido de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020149131.pdf>
- García, A. D. (2008). *Implantación de un Sistema PLM*. Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Madrid. Obtenido de <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/48dbab920fa30.pdf>
- Infor Corporate Headquarters. (2007). *Hacer más con menos: Las cinco estrategias de éxito utilizadas por las pymes en el sector de la producción*. Georgia. Obtenido de <http://www.technologyevaluation.com/es/research/white-paper/Hacer-mas-con-menos-Las-cinco-estrategias-de-exito-utilizadas-por-las-pymes-en-el-sector-de-la-produ.html>
- LeanSis Productividad. (2014). *¿Qué es el OEE?* Obtenido de LeanSis Productividad: <http://www.leansisproductividad.com/oe-toolkit-footer/ique-es-el-oe>

## Bibliografía

- Lozano, J. (03 de 2014). *Internet de las Cosas: Aplicada a Pymes*. Obtenido de Expo MiPyme Digital: [http://expomipymedigital.co/wp-content/uploads/2014/04/Internet-de-las-cosas\\_Josu%C3%A9-Lozano-Oracle.pdf](http://expomipymedigital.co/wp-content/uploads/2014/04/Internet-de-las-cosas_Josu%C3%A9-Lozano-Oracle.pdf)
- Metal Actual. (2013). El Universo del PLM: Los Productos También Nacen, Crecen y Mueren. *Metal Actual*, 40-47. Obtenido de [http://www.metalactual.com/revista/30/automatizacion\\_plm.pdf](http://www.metalactual.com/revista/30/automatizacion_plm.pdf)
- PTC University. (s.f.). *Introduction to Windchill PDMLink 10.0 for Heavy Users*. Obtenido de PTC University Precision LMS: <https://precisionlms.ptc.com/viewer/course/en/5358790/page/5047939>
- Ruiz, L. (28 de Abril de 2014). *El Control Numérico Computacional en el Desarrollo Industrial*. Obtenido de Zona Emec: <http://zonaemec.files.wordpress.com/2014/04/1-mc3a1quinas-cnc.pdf>
- Sánchez, A. (2010). Principios de Control Numérico Computarizado (CNC). *Tec-Magazine*, 1(1), 36-51. Obtenido de <http://itstepeaca.edu.mx/e-magazine/vol1,%20num%201/CNC1.pdf>
- Superintendencia de Riesgos de Trabajo. (2014). *Manual de Buenas Prácticas: Industria Metalmeccánica*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Obtenido de [http://www.srt.gob.ar/publicaciones/manuales/MBP\\_Metalmecanica.pdf](http://www.srt.gob.ar/publicaciones/manuales/MBP_Metalmecanica.pdf)
- Tondaladinne, S. S., Gurrarn, S., & Bachala , S. (Julio de 2006). An Overview of Product Lifecycle Management Implementation Challenges. *Technology Evaluation journal*, PLM subsection. Obtenido de [http://medical-admin.kau.edu.sa/Files/0056854/Researches/58087\\_28318.pdf](http://medical-admin.kau.edu.sa/Files/0056854/Researches/58087_28318.pdf)
- Ventura, J. B. (2012). *Mejora en el ajuste y cambio de herramental de tornos CNC para reducir tiempos muertos*. Instituto Politécnico Nacional , Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México, DF. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12339/1830%202012.pdf?sequence=1>
- Vergés, X. C. (2010). *Gestión del ciclo de vida del producto (PLM)*. Arion Data System, S.L., Barcelona. Obtenido de [http://konotec.com/Downloads/PLM\\_-\\_Gestion\\_del\\_Ciclo\\_de\\_Vida\\_del\\_Producto-Arion\\_Data\\_Systems.pdf](http://konotec.com/Downloads/PLM_-_Gestion_del_Ciclo_de_Vida_del_Producto-Arion_Data_Systems.pdf)

# Apéndices

## A.1 Glosario

**PLM** (Product Lifecycle Management): Gestión del ciclo de vida del producto.

**CNC** (Computerized Numerical Control): Control numérico computarizado.

**CAD** (Computer aided design): Diseño asistido por computadora.

**CAM** (Computer aided manufacture): Manufactura asistida por computadora.

**Pyme**: Pequeñas y medianas empresas.

## **A.2 Propuesta de modelo de buenas prácticas y procedimientos**

El fin de este proyecto es implantar los mecanismos necesarios de un modelo de mejores prácticas y procedimientos, que requiere la generación de un hábito a favor de aplicar las mejores metodologías de trabajo. En donde se requiere esfuerzo, disciplina y conocimiento sobre prácticas de gestión de los recursos disponibles.

La implantación del presente modelo ayudará a incrementar la competitividad de la empresa, gestionando todos los recursos que tiene a disposición y cumpliendo con estándares de calidad reconocidos.

Lo que busca este modelo en general es incrementar lo mayor posible la gestión de los recursos, entre ellos equipos, personas y tiempo. Asegurarse que los equipos están en buen estado y en operación el mayor tiempo posible permitirá cumplir con los propósitos para lo cual fueron adquiridos por la empresa.

Lo más importante a destacar, es que exista la cultura y la disciplina responsable orientada a la aplicación de las mejores prácticas de trabajo, contribuyendo con el desarrollo de la empresa y la adaptación a cambios en el mercado.



“MODELO DE MEJORES PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS EN EL USO DE LAS MÁQUINAS CNC Y LA APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DIGITAL PLM EN LA INDUSTRIA DE MECÁNICA DE PRECISIÓN”

---

**EMPRESA FEMA INDUSTRIAL S.A.**

**William Jiménez**

Tecnológico de Costa Rica | Ingeniería en Mecatrónica |

# **1.Introducción**

---

Las empresas nacionales pymes de mecánica de precisión deben buscar mejorar las prácticas y procedimientos que realizan, con el fin de poder dar servicio a multinacionales con altos estándares de calidad. La empresa “FEMA Industrial S.A.” está consciente de ello y desde hace ya varios años ha tratado de invertir en nuevas tecnologías que le permitan alcanzar un mayor desarrollo.

El objetivo con este modelo es poder obtener el máximo beneficio de todos los recursos que tiene la empresa disponible, logrando generar ahorros y ganancias acordes a las inversiones que se han realizado.

Primeramente veremos algunas de las generalidades de la empresa, con el fin de poder ubicarse en el contexto de trabajo a partir del cual se logró generar este modelo. Seguidamente, se irán presentando cada uno de los diferentes procedimientos que se lograron identificar con sus respectivas recomendaciones de buenas prácticas.

Por último, se plantea como una descripción de cómo podría ser la integración de las mejores prácticas con una herramienta digital de gestión del ciclo de vida del producto o PLM. Además se presenta alguna información respecto a la importancia y necesidad de realizar una mejora continua y de generar una cultura de información dentro de la empresa, con el fin de establecer criterios de trabajo de clase mundial.

## **2.Generalidades**

---

### **1.1. Presentación de la empresa**

En el año 1983 nace el Taller Industrial FEMA S.A. (hoy FEMA Industrial S.A.) como un pequeño taller de precisión en unas instalaciones de no más de 50 m<sup>2</sup> en la ciudad de La Lima en Cartago.

La empresa inicia brindando servicios de mantenimiento y evaluación de equipos, posteriormente hace pocos años incursiona también en el diseño y manufactura de productos para diferentes clientes.

### **1.2. Actividad**

La empresa “FEMA Industrial S.A.” realiza diferentes actividades para la industria de la mecánica de precisión. Se fabrican productos como: ejes, piñones, boquillas, molduras, dados, etc.; asimismo ofrece servicios de ensamble, soldadura, pintura, anodizado, suministros, reparación de equipos y evaluación de procesos.



## **3.Procedimientos de diseño, simulación y programación**

---

Objetivo: Establecer los procedimientos de control para el diseño, simulación y programación de las piezas de trabajo a maquinarse en CNC.

Alcances: a todas las piezas que se elaboren en la empresa.

Sectores afectados: Técnico y producción.

Responsabilidad: Personal del Departamento Técnico

Descripción del proceso: Cuando se genera una orden de trabajo de una pieza, los primeros pasos del ciclo de vida del producto corresponde al diseño del producto. Para ello, se utiliza software de ingeniería CAD. Seguidamente se realiza el estudio de las operaciones y a partir de esto se crea el código máquina, por medio de la herramienta CAM que genera el código una vez que se le ingrese el diseño CAD y todos los parámetros de operación. Aprovechando los recursos de la herramienta CAM, se realizan las simulaciones de maquinado de la pieza para verificar su correcta elaboración.

Buenas prácticas de diseño:

- Establecer un modelo de planos estándar para la empresa.
- Mantener todas las modificaciones de los diseños en una base de datos en caso de que se requiera regresar a una versión anterior. Asimismo para futuros diseños donde se pueda aprovechar modelos anteriores.

Buenas prácticas de programación:

- Establecer un estándar de programación.
- Aprovechar el software CAM para la creación de los códigos máquina.
- Debido a que sólo una persona utiliza el software CAM, establecer un rol para esa persona que se encargue de la creación de los programas CNC de todas las piezas.

## Apéndice

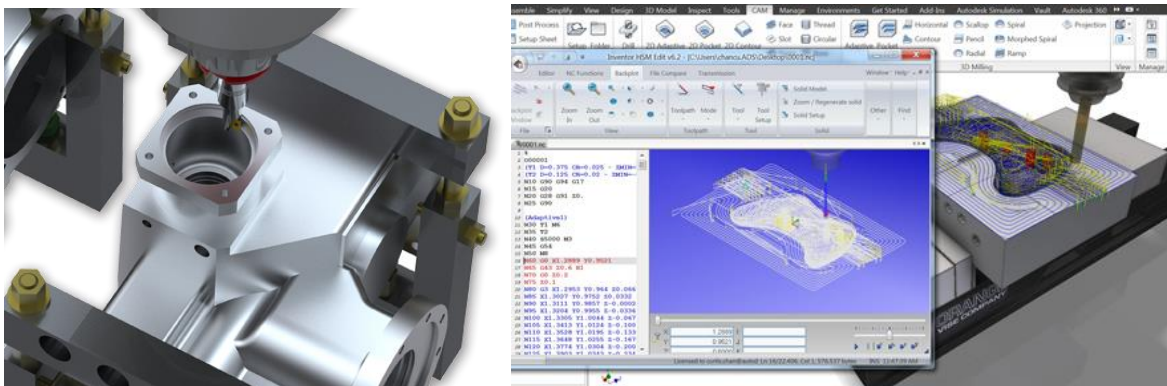
- Conectar las computadoras a las CNC directamente de manera que una vez se cree y simula la pieza se descargue el programa en la máquina.

### Buenas prácticas de simulación:

- Establecer procedimientos de simulación desde la computadora aprovechando la herramienta CAM disponible.
- Realizar simulación de los procesos de corte de la pieza desde la herramienta CAM evitando el tiempo de simulación en la máquina CNC.
- Además de la simulación de cortes, se debe utilizar al máximo los recursos que posee la herramienta CAM simulando el proceso de maquinado de la pieza en los entornos CNC. Es decir, descargar los paquetes de los modelos de las máquinas que se encuentren disponibles y poder realizar la configuración de los parámetros máquina desde el computador.

La inversión en herramientas digitales como CAD y CAM beneficia al crecimiento de la empresa, y por tanto, es tan importante aprovechar al máximo todas las características que poseen.

El futuro de la industria irá de la mano con el desarrollo digital, entre mayor provecho se obtenga de estas tecnologías permitirá una mejor adaptación a los cambios que se den en el mercado.



## **4.Procedimientos de operación y configuración de equipos**

---

Objetivo: Establecer los procedimientos de operación y configuración de equipos que permitan la disminución de los tiempos de parada de las máquinas CNC.

Alcances: A todas las máquinas-herramienta NC y CNC.

Sectores afectados: Producción.

Responsabilidad: Operarios de las máquinas CNC.

Descripción del proceso: Debido a que se cuentan con diferentes marcas y modelos de máquinas CNC se dificulta la creación de procedimientos estándar en la configuración de los parámetros de operación de las máquinas, sin embargo, es importante aprovechar al máximo el tiempo disponible en cada una de ellas. La asignación de órdenes de trabajo a los equipos debe realizarse de acuerdo a:

- Urgencia de la orden.
  - Disponibilidad de equipos.
  - Asignar en equipos de menor tiempo de preparación.
- Tipo de operaciones.

\* Buscando en lo posible de mantener siempre operando la maquina CNC de mayor capacidad, en este caso el centro de mecanizado Okuma.

Buenas prácticas:

- Evaluar siempre que sea posible asignar a un solo operador el control de al menos dos máquinas CNC.
- Eliminar la programación directo sobre las máquinas en todos los casos que sea posible.

## Apéndice

- Generar la mayor carga de trabajo en los equipos con las mejores características, obteniendo una mejor calidad y productos terminados en un menor tiempo.
- Debe estar delimitado el trabajo que realiza el personal técnico en el diseño de las piezas y del personal operativo encargado de la puesta en marcha de las máquinas. Es decir, una persona del Departamento Técnico no debería tener que programar y configurar alguna de las máquinas del taller.

Como parte del control del proceso de ciclo de vida de un producto, se requiere realizar una correcta gestión de todos los recursos que se tienen a disposición, tanto materiales como humanos.

Los tiempos de preparación de las máquinas de control numérico no se consideran tiempos muertos debido a que son necesarios para la puesta en marcha de los equipos, sin embargo, lograr que estos procedimientos se realicen en el menor tiempo posible permitirá mantener en operación las CNC una mayor cantidad de tiempo.

## 5.Procedimientos para solicitud de herramientas

---

Objetivo: Establecer procedimientos que agilicen los tiempos de disponibilidad de las herramientas de corte.

Alcances: Todos los procesos de maquinado.

Sectores afectados: Técnico, producción y bodega.

Responsabilidad: Departamento Técnico, encargado de bodega.

Descripción del proceso: Una vez que se realiza el diseño CAD y los planos de una pieza a fabricar, se estudian las operaciones que requiere y las herramientas que se van a utilizar en el proceso. Por tanto, se puede realizar la solicitud de las herramientas al encargado de bodega de una vez, por parte del mismo personal técnico, de manera que al llegar el paquete de planos al operador, las herramientas estén listas y disponibles para su instalación en las máquinas.

### Buenas prácticas:

- Realizar la solicitud de herramientas de cortes desde el equipo técnico y no por parte de los operadores.
- Alistar el paquete de herramientas una vez llegue la solicitud asegurando que apenas llegue la carpeta de planos al operador las mismas estén disponibles.





## **6.Procedimientos para solicitud de materiales: compra o disponibilidad en bodega**

---

Objetivo: Establecer procedimientos para asegurar la disponibilidad de materiales al operador en el menor tiempo posible.

Alcances: A todos los procesos de maquinado.

Sectores afectados: Técnico, producción y bodega.

Responsabilidad: Departamento Técnico, bodega.

Descripción del proceso: El personal técnico está en la capacidad de determinar los materiales que se van a utilizar en la producción de piezas, por tanto, asignando la tarea de revisar la disponibilidad de materiales en bodega o la cotización y compra de nuevos materiales a este departamento, permitirá aumentar las labores fuera del taller y enfocando las labores internas a la operación de las máquinas.

Buenas prácticas:

- Asignar todas las tareas posibles fuera del taller, tales como la solicitud de herramientas, materiales, etc.
- Realizar la cotización, compra o solicitud de materiales para un maquinado desde el Departamento Técnico.

Como se pudo observar en los dos anteriores puntos, se busca con este modelo recargar el trabajo del personal técnico y por el contrario disminuir los trabajos de los operarios en el taller, de manera que estos se puedan enfocar únicamente en la operación y mantenimiento de los equipos.

## 7. Procedimientos de mantenimiento de equipos

---

Objetivo: Garantizar el mantenimiento de equipos y herramientas para su correcta utilización; garantizar la disponibilidad de los equipos en la medida de lo posible.

Alcances: A todos los equipos y herramientas del taller

Sectores afectados: Producción

Responsabilidad: Operarios del taller

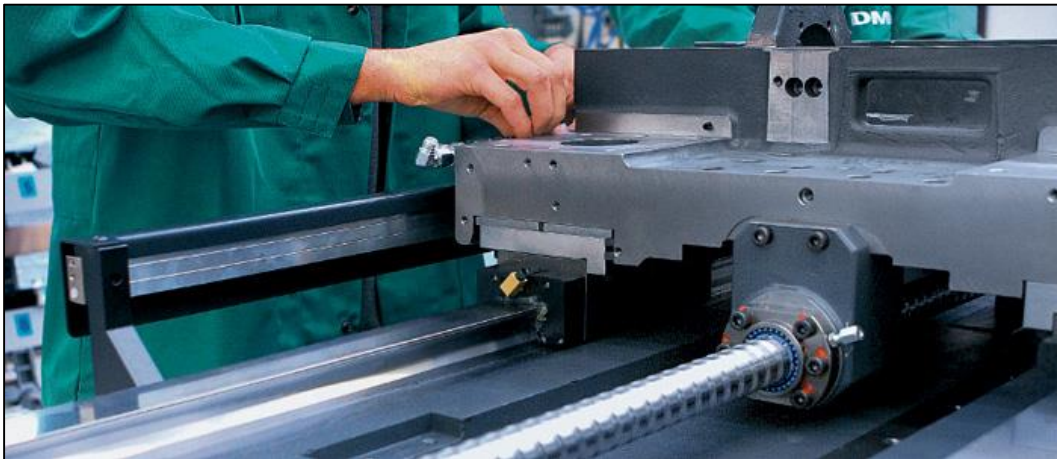
Descripción del proceso: Con el fin de evitar el mantenimiento correctivo en las máquinas, es necesario crear un plan de mantenimiento preventivo que asegure la disponibilidad de las máquinas todo el tiempo posible, evitando paradas innecesarias debido a fallas en los equipos. El personal operario debe realizar el mantenimiento de sus respectivas máquinas considerando los siguientes factores:

- Presiones
- Niveles de lubricación
- Vibraciones
- Fugas
- Grietas
- Ruidos
- Corrosión
- Deformación
- Limpieza de componentes primordiales

Buenas prácticas:

- Elaborar un Plan de Mantenimiento Preventivo para las máquinas CNC.

La elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo conlleva trabajos de evaluación y análisis de la situación actual de los equipos, así como un estudio técnico a detalle de cada uno de ellos. En este proyecto sólo se menciona la necesidad del plan por recomendación, para su confección, es necesario todo un proyecto de mantenimiento industrial.



## 8.Procedimientos de capacitación y entrenamiento

---

Objetivo: Capacitar en la implementación de procedimientos establecidos por la empresa para lograr el desarrollo de productos de calidad en el menor tiempo posible. Capacitar a los operarios en la implementación de los principios de las Buenas Prácticas de Manufactura en CNC. Establecer una formación continua, con una frecuencia que permita el entrenamiento y reentrenamiento constante y que refleje el compromiso de la empresa.

Alcances: Todos.

Sectores afectados: Todos.

Responsabilidad: Gerente General, Supervisores.

Descripción del proceso: Debe realizarse una capacitación constante de todo el personal en la implementación de las mejores prácticas en cada uno de los Departamentos. Asimismo, en el uso de las herramientas digitales que se adquieren con el fin de aprovechar al máximo sus capacidades.

Es importante que existe un equilibrio de conocimiento entre todos los operarios de las máquinas, lo cual sólo es posible por medio de la capacitación y entrenamiento constante, aprovechando además del personal con mayor experiencia.

Buenas prácticas:

- Establecer periodos de capacitación y entrenamiento del personal en el uso de nuevas tecnologías, desde herramientas para diseño y simulación, como en el uso de las máquinas CNC más modernas, de manera que se pueda obtener el máximo provecho de sus características.

## Apéndice

Es importante que cada uno de los empleados de la empresa esté dispuesto a mejorar, aunque eso implique cambios en los procesos actuales. Se está cerca de una transformación a nivel industria en el país, por tanto para estar preparados a ellos se necesita personal lo más capacitado posible en sus respectivas áreas.

En la nueva Era Digital, las personas deben estar informadas y capacitadas en el uso de tecnologías digitales para el desarrollo de sus actividades diarias.



## **9.Procedimientos de seguridad del personal**

---

Objetivo: Establecer principios de seguridad dentro de la empresa. Velar por el cumplimiento de las normas de seguridad establecidas por la empresa.

Alcance: Todos.

Sectores afectados: Todos.

Responsabilidad: Gerente General, Supervisores.

Descripción del proceso: Velar por la seguridad del personal debe ser siempre uno de los principios de las empresas y es importante exigir que se cumplan estas normas.

Buenas prácticas:

- Exigir el uso de equipo de seguridad por parte de todo el personal del taller: lentes, gabacha, calzado de seguridad, etc.
- No utilizar en el taller anillos, pulseras, cadenas en el cuello, bufandas, corbatas o cualquier adorno o prenda que cuelgue.
- Marcar los espacios de trabajo de acuerdo a normas de seguridad establecidas en nuestro país.
- Revisar constantemente el sistema eléctrico del taller para asegurar que esté en óptimas condiciones.
- Mantener el orden y la limpieza en los espacios de trabajo.

## **10.Implementación del PLM**

---

Objetivos: Gestionar el ciclo de vida de los productos por medio del uso de una herramienta digital. Estandarizar los procesos que se realizan en la empresa. Realizar una gestión de activos que permita la obtención de certificaciones futuras en gestión de activos como ISO 55000. Combinar las buenas prácticas con la tecnología digital.

Alcance: Todos.

Sectores afectados: Todos.

Responsabilidad: Todos.

Descripción del proceso: La implementación de un sistema PLM en las empresas, facilitará la estandarización de procesos y la gestión de todos los activos disponibles. Poder controlar el ciclo de vida de los productos de manera digital, permitirá a los gerentes de la compañía tomar decisiones respecto al trabajo que se está realizando, al tener toda la información almacenada en un punto de acceso para ellos.

Como primer paso para el crecimiento de una empresa, se deben aplicar las mejoras prácticas y procedimientos para el desarrollo de sus productos, identificando puntos de mejora y generando indicadores que les permitan evaluar cualitativa y cuantitativamente los procesos que se realizan. Luego de aplicar estas “buenas prácticas” y teniendo definidos de manera clara todos los procedimientos, se pueden trasladar una herramienta de gestión digital, que permita dar un seguimiento y control a la aplicación de estas prácticas.

En esta propuesta, se propone la implantación futura de una herramienta PLM para la gestión de los equipos de control numérico, pero luego de establecer una metodología de trabajo específica generada a partir de la determinación de las mejores prácticas. Para obtener beneficio de este tipo de software, es necesario tener definida cada tarea dentro de la empresa, puesto que se va a encargar de gestionar digitalmente los trabajos que se realizan en todas áreas.

## Apéndice

Como un punto de partida de mejora en las empresas, se propone la medición de la Eficiencia Global de los Equipos (OEE) para tener un indicador de clase mundial que les permita evaluar tres factores importantes como son disponibilidad, calidad y rendimiento de los equipos, y partir de dichos resultados determinar los principales aspectos a mejorar. Nuevamente, para mejorar primero se debe medir.