



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**CONVERSIÓN DE FRESADORA HORIZONTAL A MÁQUINA DE
CONTROL NUMÉRICO PARA PRODUCCIÓN DE ENGRANAJES,
ARGUETA'S INDUSTRIAL**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21411168 LUIS JOSÉ OSEGUERA MANZANARES

ASESOR: INGENIERO DARWIN REYES HERNÁNDEZ

CAMPUS SAN PEDRO SULA, CORTES

NOVIEMBRE, 2018

DEDICATORIA

A DIOS por toda su gracia e infinitas bendiciones ya que nunca me ha abandonado en el camino, acompañándome siempre en todo momento, permitiendo que llegara a cumplir esta meta anhelada.

A mis padres, que siempre han demostrado su amor incondicional y sus consejos apoyándome en todo momento que además entregaron parte de su vida para convertirme en la persona que soy ahora, ellos son todo para mí y les estaré eternamente agradecido. Ellos junto con mi hermana, siempre serán mi más grande Bendición y agradezco mucho a Dios por sus vidas.

A mi hermana, por su gran cariño y siempre contar con ella en todo momento que Dios le permita alcanzar todos sus sueños.

A mis amigos, con los que compartí, con los que además recorrí este camino y que juntos logramos cumplir nuestra meta.

Al personal de Acompañamiento Estudiantil UNITEC SPS y Asociación Fulbright Honduras, por confiar en mis capacidades y por todo el apoyo incondicional que pudieron brindarme a lo largo de todo mi recorrido en la universidad.

Al personal de ARGUETA'S INDUSTRIAL S. de R.L. de C.V., por sus enseñanzas, guía y su gran apoyo.

A todas las personas que han sido parte de este camino e impactado en mi vida infinitas gracias.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1 ANTECEDENTES.....	2
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	3
2.4 OBJETIVOS	3
2.4.1 <i>Objetivo general</i>	3
2.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2.5 JUSTIFICACIÓN	4
III. MARCO TEÓRICO	5
3.1 MECANIZADO DE PIEZAS	5
3.1.1 <i>Tipos de Máquina-Herramienta</i>	6
3.1.2 <i>Los Procesos de Corte</i>	7
3.2 LA OPERACIÓN DE FRESADO	9
3.2.1 <i>Fresadora</i>	9
3.2.2 <i>Elementos de la Fresadora</i>	11
3.2.3 <i>Características de las fresas</i>	12
3.2.4 <i>Tipos de fresado</i>	13
3.2.5 <i>Tipos de Fresadora</i>	14
3.2.6 <i>Introducción al control numérico</i>	15
3.2.7 <i>Seguridad</i>	16

3.3	SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO CN	17
3.3.1	<i>Máquina de Control Numérico Computarizado</i>	18
3.3.2	<i>Máquina fresadora CNC</i>	20
3.3.3	<i>Ventajas de la utilización de la máquina-herramienta con control numérico</i>	22
3.4	TRANSMISIÓN MECÁNICA.....	23
3.4.1	<i>Tipos de transmisión mecánica</i>	23
3.4.2	<i>Motor paso a paso</i>	24
3.4.3	<i>Cadena de rodillos</i>	25
3.5	CARACTERÍSTICAS DE LOS ENGRANAJES.....	26
3.5.1	<i>Tipos de Engranajes</i>	27
3.5.2	<i>Nomenclatura</i>	27
3.6	CONTROL SOBRE PROCESOS.....	29
3.6.1	<i>Microcontrolador</i>	29
3.6.2	<i>Programación</i>	29
IV.	METODOLOGÍA	34
4.1	Variables de Investigación.....	34
4.1.1	<i>Variables Dependientes</i>	34
4.1.2	<i>Variables Independientes</i>	34
4.2	Enfoque y Métodos.....	35
4.3	Técnicas e Instrumentos Aplicados	35
4.3.1	<i>Técnicas Aplicadas</i>	35
4.3.2	<i>Instrumentos Aplicados</i>	36

4.4	Materiales	37
4.5	Cronograma de Actividades	37
V.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	38
5.1	Análisis.....	38
5.1.1	<i>Estado inicial, previo a conversión de la máquina fresadora.....</i>	<i>38</i>
5.1.2	<i>Cálculos teóricos matemáticos previos.....</i>	<i>40</i>
5.2	Resultados	41
5.2.1	<i>Creación del panel de control.....</i>	<i>41</i>
5.2.2	<i>Creación de la programación</i>	<i>48</i>
5.2.3	<i>Procesos previos y necesarios para la realización de un engranaje</i>	<i>51</i>
5.2.4	<i>Configuración de parámetros.....</i>	<i>55</i>
5.2.5	<i>Finalización del proceso de mecanizado.....</i>	<i>60</i>
VI.	CONCLUSIONES	63
VII.	RECOMENDACIONES.....	64
7.1	Para la empresa	64
7.2	Para la universidad	64
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	65
IX.	ANEXOS.....	70
	Anexo 1 - Estado inicial de la fresadora horizontal, vista 2.....	70
	Anexo 2 - Motor a paso instalado, cabezal divisor.....	70
	Anexo 3 - Motor a paso instalado en eje Z.....	71
	Anexo 4 - Transmisión de potencia con cadena, eje Y.....	71

Anexo 5 - Transmisión de potencia con cadena, eje Z.....	72
Anexo 6 - Vista de la máquina fresadora CNC.	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Ejemplificación de maquinado de un engranaje.....	11
Ilustración 2 - Tipos de Fresado.....	14
Ilustración 3 - Fresadora Horizontal.....	15
Ilustración 4 - Transmisión de potencia con cadena de rodillos.....	26
Ilustración 5 - Nomenclatura del diente de un engranaje recto.....	28
Ilustración 6 - Ejemplo de algoritmo con el lenguaje de C++	31
Ilustración 7 - Ejemplo de un diagrama de flujo de un proceso.....	33
Ilustración 8 - Estado inicial de la fresadora horizontal.....	38
Ilustración 9 - Motor a paso Nema 23 de 4.2Amp.....	39
Ilustración 10 - Microstep Drivers de los motores a paso.....	41
Ilustración 11 - Conexión común del Driver ST-4045-A1.....	42
Ilustración 12 - Diseño Esquemático del circuito principal.....	45
Ilustración 13 - Diseño PCB del circuito principal.....	46
Ilustración 14 - Placa elaborada.....	46
Ilustración 15 - Placa de circuito electrónico principal finalizado.....	47
Ilustración 16 - Panel de control finalizado.....	48
Ilustración 17 - Diagrama de flujo de fresado de engranaje recto.....	49

Ilustración 18 - Diagrama de flujo de fresado de engranaje helicoidal.....	49
Ilustración 19 - Ejemplo de programación de la pantalla.....	51
Ilustración 20 - Elaboración del módulo para creación de engranaje.....	52
Ilustración 21 - Instalación del módulo de engranaje.....	54
Ilustración 22 - Alineación de la fresa.....	55
Ilustración 23 - Calibración de parámetros para el fresado CNC.....	58
Ilustración 24 - Elaboración de engranaje, etapa inicial.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Operaciones en una fresadora según el tipo de fresa a utilizar.....	13
Tabla 2 - Valores de velocidad de corte y avance según el tipo de operación.....	21
Tabla 3 - Cronograma.....	37
Tabla 4 - Configuración de los Switch en los drivers.....	43
Tabla 5 - Formato para la toma de tiempo de trabajo.....	60

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 - Relación de movimiento de cadenas de transmisión.....	40
Ecuación 2 - Calculo para el módulo de un engranaje.....	52
Ecuación 3 - Determinar revoluciones por minuto para la fresa, diámetro en milímetros.....	56
Ecuación 4 - Velocidad de avance ideal en las fresadoras.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativa de tiempos de trabajo.....	61
----------------------------------------------------	----

GLOSARIO

- **Acabado:** En el proceso de mecanizado así se le llama a la eliminación de poco material con mucha precisión cuyo objetivo es dar a la pieza una superficie fina.
- **Control numérico:** El control numérico (CN) es un sistema de fabricación mediante el mecanizado de piezas de manera automática y programada.
- **Desbaste:** En el proceso de mecanizado así se le llama a la eliminación de mucho material con poca precisión, es un proceso intermedio.
- **Engranaje:** Un engranaje está constituido por ruedas dentadas que, al acoplarse unas con otras, sirven para transmitir el movimiento desde una parte de un mecanismo a otra.
- **Fresa:** Pueden considerarse como herramientas de corte múltiple y que trabajan en las mismas condiciones que una herramienta de torno.
- **Fresadora:** Máquina – herramienta para realizar trabajos mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa llamada fresa.
- **Materia prima:** Todos aquellos recursos utilizados en la elaboración de productos.
- **Microcontrolador:** Abreviado como μC o MCU, es una maravilla digital integrada en un solo Circuito Integrado.
- **Transmisión mecánica:** Mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina.
- **Virutas:** Así se les llama a los residuos o desperdicios que surgen en las operaciones de mecanizado de piezas al momento de realización de corte.

I. INTRODUCCIÓN

Daneri (2008) Afirma:

Para alcanzar elevados niveles de productividad en la industria, resulta indispensable aplicar tecnología de automatización y control. Esto permite incrementar el rendimiento de las tareas repetitivas, brindar mayor seguridad a los operadores de la planta y garantizar un determinado nivel de calidad en la producción. (p. 3)

Actualmente la empresa ARGUETA'S INDUSTRIAL S. de R.L. de C.V cuenta con una línea de producción de maquinaria para la construcción, entre ellas maquinaria para la fabricación de bloques, mezcladoras de concreto, trituradoras de piedra entre otras. La manufactura de los componentes que conforman estas máquinas es en su totalidad elaborada de forma manual ya que la empresa no cuenta con equipo automatizado para la realización de sus procesos, sino que son hechos por diversos operarios en máquinas y herramientas tradicionales como ser: tornos, fresadoras verticales, fresadoras horizontales, cizalla, etc.

En este caso ARGUETA'S INDUSTRIAL S. de R.L. de C.V dispone de una fresadora horizontal manual destinada específicamente para la elaboración de engranajes, este proceso es sumamente repetitivo y consume gran cantidad de horas laborales por parte del operario, causando un alto costo para la fabricación de dichos elementos. Por lo enunciado anteriormente, se llegó a la decisión de automatizar la máquina que realiza este proceso mediante la conversión de esta a una máquina de control numérico, para así reducir los costos de producción como también el tiempo de elaboración de las piezas y aumentar la calidad del producto final. No se debe olvidar que en las industrias tanto la manufacturera como la de procesos deben realizar grandes esfuerzos en la optimización de sus métodos. Algunas de ellas deben centrarse en diferentes aspectos ya sean de la calidad o costos de producción.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

ARGUETA'S INDUSTRIAL S. de R.L. de C.V es una empresa con más de 40 años de experiencia la cual se dedica principalmente a la producción de maquinaria destinada para la obra de construcción. La empresa dispone de una línea de producción, esta se encarga de elaborar diferentes tipos de máquinas, entre ellas se puede mencionar máquinas para la fabricación de bloques, mezcladoras de concreto, trituradoras de piedra entre otras.

La línea de producción con la cual dispone la ARGUETA'S INDUSTRIAL S. de R.L. de C.V los procesos que esta realiza son efectuados en su totalidad de manera manual en diversos tipos de máquinas y herramientas tradicionales como ser: tornos, fresadoras verticales, fresadoras horizontales, cizalla, etc. La empresa carece de máquinas automatizadas que les permita la realización de sus procesos de una manera más rápida, precisa y a un costo menor.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la falta de máquinas de control automático, la empresa requiere de cierto número de operarios para realizar los cálculos teóricos, además de la ejecución de todos los procesos en su línea producción.

En este caso se toma en cuenta uno de sus procesos el cual es la elaboración de engranajes, estos con el fin de usarse en la producción de la maquinaria, este proceso es realizado en una máquina fresadora horizontal tradicional, dicha actividad es sumamente repetitiva, esto se traduce en grandes pérdidas de horas laborales "tiempo" y que a su vez puede ocasionar falta de precisión en la elaboración de dichos engranajes por parte del operario, causando un alto costo para la fabricación de dichos elementos.

2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál sería el mejor procedimiento o gestión para controlar la máquina?
- ¿Qué procesos deberá ejecutar la máquina para su correcto funcionamiento de mecanizado?
- ¿Cómo se puede mejorar la eficiencia operacional al automatizar el proceso de elaboración de engranajes?

2.4 OBJETIVOS

Según Galpin (2013) "El proceso de establecimiento de objetivos es imprescindible para alcanzar las metas deseadas".

A continuación, se plasman tanto el objetivo general y los objetivos específicos referentes al presente proyecto:

2.4.1 Objetivo general

Efectuar la conversión de una máquina fresadora horizontal tradicional a una asistida por control numérico (CNC) para optimizar el proceso de elaboración de engranajes en ARGUETA'S INDUSTRIAL.

2.4.2 Objetivos específicos

- Designar un panel eléctrico que tendrá el control total sobre la máquina.
- Establecer la programación que regirá las instrucciones que ejecutará la máquina para el proceso de mecanizado de las piezas.
- Identificar a través de pruebas piloto la mejoría en la eficiencia del proceso de mecanizado de la máquina en comparación a su versión tradicional.
- Detallar un manual de operación para el correcto uso de la máquina.

2.5 JUSTIFICACIÓN

ARGUETA'S INDUSTRIAL S. de R.L. de C.V al ser una empresa que produce maquinaria, es necesario que pueda contar con equipo automatizado que sea capaz de efectuar los procesos que se realizan en su línea de producción, con el fin de mejorar la eficiencia de esta, ya sea una mejora en la calidad y tiempo de elaboración de su maquinaria.

Para la empresa resulta de gran importancia poder contar con equipo automatizado para la realización de los procesos en su línea, por lo que hacer un esfuerzo por comenzar a controlar de manera automática uno de sus procesos es vital para así obtener los grandes beneficios que trae consigo la automatización de procesos, en este caso de la elaboración de engranajes, ya que esto optimizará la relación que existe entre el costo-producción de estos elementos además de eliminar la necesidad de un operador para la realización de los cálculos y ejecución de las tareas que dicho equipo podría efectuar de una manera más precisa y rápida.

III. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo contiene el sustento teórico del proyecto. Se define el mecanizado de piezas a través de los procesos de corte como por ejemplo el de arranque de viruta además de la importancia del sistema de control numérico en los procesos industriales.

Barragán Serrano, Esquivel Lara, & Villalobos Ordaz (2009) Afirma: "El ingeniero ocupa una posición clave con respecto a la fabricación, ya sea diseñando productos o equipos de fabricación, o dirigiendo una planta de elaboración".

3.1 MECANIZADO DE PIEZAS

Como menciona Gallardo Rodríguez (2012): "El mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones que dan forma a las piezas mediante la eliminación de material"(p. 28).

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.

El proceso de fabricación mediante mecanizado consiste en un conjunto de operaciones para transformar una materia prima o producto semielaborado, utilizando las máquinas-herramientas de corte y los instrumentos de verificación adecuados para conseguir la geometría de la pieza deseada y con las especificaciones requeridas (Serrano Sánchez, Mejías Sanguino, & Rodríguez Dorado, 2012).

El mecanizado de piezas debe ser analizado antes de realizar cualquier operación con el fin de obtener los métodos más sencillos, rápidos y económicos.

3.1.1 Tipos de Máquina-Herramienta

- **Máquinas-herramienta de taller:** Las máquinas-herramienta de este tipo usualmente se diseñan con elementos de trabajo universal y dispositivos de sostén de herramienta, alimentaciones manuales o automáticas y componentes móviles que permiten el posicionamiento más fácil de la pieza de trabajo para un corte dado.
- **Máquinas-herramienta de producción:** Se ha diseñado una gran cantidad de máquinas estándar con la capacidad para realizar trabajo repetitivo de naturaleza un poco especializada o de alcance limitado, con mayor calidad de dependencia que la que se espera usualmente del equipo del taller de herramientas para trabajo múltiple.

3.1.1.1 Principio de operación

Según menciona Arriaga Segundo (2005): "El principio de operación de las máquinas-herramienta convencionales está íntimamente relacionado con la ingeniería de manufactura (planeación) y la habilidad práctica del operario"(p. 22).

Dependiendo directamente de esta última el nivel de producción alcanzado en un día, una semana o durante un tiempo predeterminado. Por lo tanto, podemos citar que los puntos básicos en los que se fundamenta el principio de operación de las máquinas-herramienta son los siguientes:

- El operario estudia y analiza el plano elaborado por ingeniería de manufactura.
- Determina el tipo de herramienta posible a utilizar para producir los diferentes contornos o especificaciones de la pieza requeridos.
- Delimita la secuencia de operaciones para producir la forma especificada.

- Precisa el tipo de sujeción adecuada de la pieza o herramienta, según sea el caso, en función de la secuencia de operaciones antes mencionada.
- El operario determinará las diferentes velocidades, avances y profundidad de corte, dependiendo del tipo de operación que se realice (desbaste o acabado), del tipo de material que se machine y de la clase de herramienta utilizada.
- Cambio de sujeción de la pieza, herramienta, velocidades, avances y profundidad de corte en caso de requerirse, para machinear otra cara de la pieza.
- Medición o verificación final de las dimensiones requeridas.

3.1.2 Los Procesos de Corte

“La operación de corte no es difícil de realizar y es muy común su utilización en el taller, tanto en la fabricación de piezas como en los procesos de mecanizado.” (Fenoll, Borja, & Herrera, 2009, p. 95).

Este proceso varía según el tipo de corte que se realice y además cada uno de ellos se realiza en diferente tipo de máquina-herramienta. A continuación, se comete a definir brevemente cada uno de los tipos de corte.

3.1.2.1 Tipos de corte

a) Corte por arranque de virutas o aserrado

En este tipo de corte se elimina en forma de virutas el material por donde se quiere dividir la pieza.

b) Corte por cizallamiento

El corte por cizallamiento se basa en someter a una gran presión la zona por la que se quiere dividir el material hasta que este se rompa.

c) Corte por abrasión

Mediante herramientas de abrasión se puede someter la pieza a un gran desgaste hasta llegar a eliminar el material necesario para producir un corte.

d) Corte térmico

Se basa en calentar el material hasta fundirlo, así este se vuelve líquido y puede desprenderse, de tal forma que se pueda proceder al corte.

En este sentido para el presente proyecto el tipo de corte que ocurre en el proceso de maquinado de engranajes es el llamado corte por arranque de viruta debido a que como se menciona se elimina en forma de virutas el material por donde se quiere dividir la pieza, en este caso tomar un objeto sólido metálico y transformarlo finalmente a un engranaje listo para su uso en la elaboración de la maquinaria.

3.1.2 Mecanizado por arranque de viruta

Según Sánchez Fulgueira (2012):

La calidad de un corte en un proceso de mecanizado por arranque de viruta depende de factores asociados a la máquina y al fluido de corte utilizado, pero también influyen las condiciones de corte elegidas. Dicha elección determinará la rapidez con la que se realiza el mecanizado de una pieza o el acabado superficial que se obtendrá. (p. 20)

En este tipo de mecanizado el material es arrancado o cortado con una herramienta dando lugar a un desperdicio o viruta. La herramienta consta, generalmente de uno o varios filos o cuchillas que separan la viruta de la pieza en cada una de las pasadas que la herramienta realiza. En este proceso ocurren 2 situaciones:

- El desbaste de material
- Su acabado final.

“Los parámetros tecnológicos necesarios para el mecanizado son la velocidad de corte (V_c) o giro (n), avance o velocidad de avance (f) y profundidad de pasada (p)” (Tornero Martínez, 2017, p. 13).

Los parámetros de velocidad de corte, avance y profundidad, no deben ser tomados con premura ni desconocimiento. Una mala elección de estos puede provocar defectos en el mecanizado, así como una disminución de la vida de la herramienta. Estos parámetros tienen relación con el tipo de operación, material de la herramienta, máquina herramienta, etc.

3.2 LA OPERACIÓN DE FRESADO

Las máquinas-herramienta empleadas para realizar las operaciones de fresado han venido a acelerar el ritmo de la producción industrial. La operación de fresado consiste en cortar la superficie o material de una pieza con una herramienta rotativa llamada fresa, formada por varios filos llamados dientes, labios o plaquitas, fabricados con un metal extremadamente duro y resistente.

La máquina que acciona la fresa en las operaciones de fresado se denomina fresadora. A continuación, se define a la máquina fresadora como tal:

3.2.1 Fresadora

“La máquina fresadora es básicamente una máquina herramienta que tiene una o más herramientas giratorias de corte de bordes múltiples. Los cortadores de las fresadoras, o fresas, se fijan en un husillo y giran contra la pieza de trabajo” (Barragán Serrano, 2009, p. 36).

3.2.1.1 Características

Ciertas de las características que se puede mencionar de las fresadoras son las siguientes:

- La herramienta de corte se monta en el husillo y gira a distintas velocidades, en función de las especificaciones de la herramienta y del material.
- La pieza es fijada a una mesa conocida como carro transversal.
- El carro transversal mueve la pieza de trabajo y la pone en contacto con la herramienta de corte. La herramienta elimina material de la pieza de trabajo en los puntos de contacto, creando piezas terminadas.

Cabe mencionar que, en años anteriores, todos los movimientos de la fresadora se realizaban manualmente. Con el desarrollo de la tecnología, las fresadoras más modernas pueden ser controladas por computadoras.

3.2.1.2 Función de la fresadora

Según Toledo Matus (2005): "Como herramienta de corte se utilizan fresas o fresadoras para tallar engranes, que tienen la forma del hueco entre diente y diente"(p. 130).

La función que desempeña es la de generar superficies de forma plana como son:

- a) Ranuras rectas o angulares.
- b) Superficies cóncavas o convexas.
- c) Procesos de taladrado.
- d) Engranajes.

A continuación, en la Ilustración 1 se muestra un ejemplo de como una fresa realiza los dientes de un engranaje.

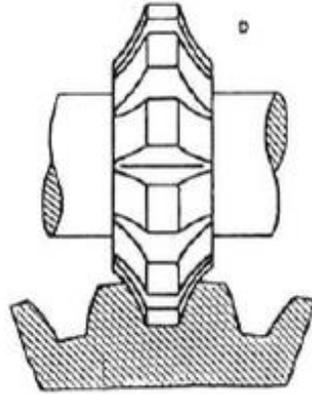


Ilustración 1 - Ejemplificación de maquinado de un engranaje.

Fuente: (Toledo Matus, 2005).

3.2.1.2.1 Uso industrial

Dado su amplio campo de aplicación se considera a las máquinas fresadoras como las más versátiles de las máquinas-herramienta en los trabajos de metales. Sus características principales son la potencia para la remoción del metal, rigidez estructural para la precisión y por la provisión de controles para una manipulación fácil y precisa.

3.2.2 Elementos de la Fresadora

A continuación, se enumeran y describen los órganos constituyentes de las máquinas fresadoras. Características como la orientación de su eje de giro o el tipo de trabajo para el que han sido concebidas, dan lugar a una de las múltiples clasificaciones que se pueden hacer en este tipo de máquina.

“En toda máquina fresadora se pueden distinguir cinco partes principales: el bastidor, el husillo, el carro, la mesa y la ménsula” (Cabrerero Armijo, 2012, p. 93).

- a) Bastidor:** Este órgano es la base o bancada de la máquina. Realiza las veces de nexo de unión entre la propia máquina y la plataforma de trabajo (suelo).

Su función es la de dar apoyo al resto de la fresadora y elementos constructivos.

- b) Husillo:** También llamado "eje porta fresa" es la parte encargada de sujetar la herramienta de corte y a su vez dotarla de movimiento giratorio. Mediante una caja de transmisión (o caja de velocidades), el eje recibe el movimiento que a su vez transmite a la fresa (herramienta de corte).
- c) Mesa:** Se utiliza como apoyo inferior de las piezas a mecanizar, las piezas a fresar podrán montarse directamente sobre la mesa o sobre diferentes accesorios de sujeción destinados a ello. La mesa está provista de acanaladuras en forma de "T", donde se alojarán los tornillos de anclaje para estos accesorios.
- d) Carros:** Son los elementos encargados de desplazar la mesa en las direcciones X e Y, estos movimientos siempre tienen lugar en planos horizontales. El desplazamiento de los carros se efectúa a través de unas correderas, mediante las que puede ser realizado el movimiento de forma manual (tornillo y tuerca) o automática (mediante caja de avances).
- e) Ménsula:** Es un elemento que se fija a la cara frontal de la columna por medio de correderas. Estas guías hacen posible los desplazamientos verticales (eje Z) del conjunto mesa-pieza. Manualmente y mediante un tornillo, se consigue la posición deseada en el eje Z (posicionamiento en altura).

3.2.3 Características de las fresas

Las características principales que diferencian las distintas fresas son las siguientes:

- Su diámetro exterior.
- Su número de dientes que las forman.
- El paso de los dientes, la distancia que existe entre dos dientes consecutivos.
- El sistema de fijación de la fresadora.

3.2.3.1 Tipos de fresa

Dada la gran variedad de trabajos que se pueden realizar en la fresadora, el tipo de fresa a utilizar dependerá de la operación que se ha de realizar como se puede apreciar en la Tabla 1 siguiente:

Tabla 1 - Operaciones en una fresadora según el tipo de fresa a utilizar.

Herramienta	Operación						
	Planear	Redondear	Vaciado	Acanalado	Taladrado	Roscar	Chafianar
Cilíndrica	•			•			
F. de radio		•	•	•			
F. cilíndrica radio						•	
Broca					•		
F. cuarto círculo		•					
Esféricas		•	•	•			•
F. para ángulos Tipo A	•			•			•
F. para ángulos Tipo B	•			•			•
Crónicas con radio			•	•			

Fuente: (Tornero, 2008, p. 132).

3.2.4 Tipos de fresado

El proceso de fresado se puede aplicar de dos formas fundamentales. La fresa siempre corta con su periferia, pero la superficie resultante puede ser la superficie en contacto con la periferia, o por el contrario la superficie en contacto con la base de la fresa. Esta última es la circunstancia que define el fresado frontal.

El fresado periférico se efectúa cuando la superficie que queremos obtener es de la que se extrae la viruta. Distinguir entre estos dos tipos de fresado es importante en planificación de procesos, ya que la superficie obtenida tendrá tolerancias y rugosidades diferentes según el tipo de fresado. En los casos en los que la fresa

genere dos superficies (con su base y su periferia), la operación se denominará Fresado frontal-periférico.

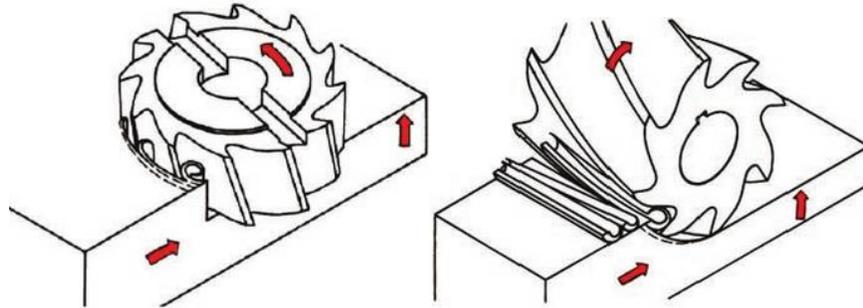


Ilustración 2 - Tipos de Fresado.

Fuente: (Gonzalez Contreras & Meseguer Calas, 2015).

En la Ilustración 2 anterior se puede visualizar un ejemplo de los tipos de fresado, tanto como el fresado frontal (izquierda) y el fresado periférico (derecha).

3.2.5 Tipos de Fresadora

Existe dos tipos principales de fresadora:

- Fresadora vertical
- Fresadora horizontal

3.2.5.1 Fresadora Vertical

Las fresadoras verticales son las más extendidas en la industria de fabricación metálica. Se consideran fresadoras de iniciación, ya que son relativamente fáciles de manejar. Mediante el movimiento giratorio de la herramienta de corte (llamada fresa) y los desplazamientos de la pieza en los ejes X, Y, Z, se podrán realizar multitud de trabajos de fresado diferentes. En ellas, su eje está dispuesto en forma vertical y han sido concebidas para realizar una gran cantidad de trabajos sobre piezas de tamaño pequeño y medio.

3.2.5.2 Fresadora Horizontal

Su característica principal es la disposición de su eje en forma horizontal (de ahí, su nombre). Un extremo del mismo, se apoya en el propio cabezal de giro y el extremo opuesto en un rodamiento situado en un puente deslizante (también llamado carnero). Diríjase a Ilustración 3 para visualizar una fresadora horizontal.

Esta máquina está especialmente concebida para la ejecución de trabajos de ranurado. Cuando se trata de elaborar un ranurado múltiple o paralelo, de forma general, se realiza un acoplamiento de varias fresas en el eje portaherramientas, formando lo que se conoce como tren de fresado.



Ilustración 3 - Fresadora Horizontal.

Fuente: (Cabrero Armijo, 2012).

3.2.6 Introducción al control numérico

Si para la mecanización total de un número de piezas fuera necesario realizar las operaciones de fresado, perforado etc., 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. (Gonzalez Contreras & Meseguer Calas, 2015)

Esta necesidad, sumada a numerosos y nuevos requerimientos que día a día aparecieron forzaron 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.

3.2.7 Seguridad

Durante las operaciones de arranque de viruta en este caso el fresado tradicional, es imprescindible:

- El uso de gafas de seguridad para evitar que se introduzcan virutas en los ojos y así evitando heridas en nuestra vista.
- Las virutas producidas durante el mecanizado nunca deben retirarse con la mano, ya que se pueden producir cortes y pinchazos.
- Las virutas secas se deben retirar con un cepillo o brocha adecuados, estando la máquina parada. Para virutas húmedas o aceitosas es mejor emplear una escobilla de goma.
- Se debe llevar la ropa de trabajo bien ajustada sin tener nada suelto para evitar accidentes.

Groover (2007) afirma: "La seguridad es imprescindible para evitar accidentes en cualquier proceso de maquinado".

3.3 SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO CN

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.

Jiménez Cruz (2005) Afirma:

Un sistema de control numérico (CN) contiene las instrucciones necesarias para realizar un maquinado a una máquina, como números. El trabajo se lleva a cabo por medio de una herramienta de corte (fresa) en forma automática y precisa. El sistema se programa fácilmente para el trabajo a su alcance. Cuando se termina un trabajo, se introduce un programa nuevo y el sistema realiza el nuevo maquinado, y así sucesivamente. Puesto que el control numérico es un sistema automático mediante números, se utiliza para controlar la posición relativa entre la pieza y la herramienta, así como los avances, RPM. (p. 11)

Básicamente el control numérico (CN) consiste en la elaboración de un programa en el que se le indica a la máquina los movimientos y acciones que ha de realizar hasta conseguir la pieza deseada.

Tiene la gran ventaja de que, al efectuarse todas las piezas con un solo programa, se consigue la práctica uniformidad de las mismas, solamente condicionada por el propio desgaste de la herramienta. Luego de unos años surgió otra representación de este sistema conocido como sus siglas CNC que significa "control numérico computarizado".

3.3.1 Máquina de Control Numérico Computarizado

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo 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.

Ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. Esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo.

Tornero Martínez (2012) menciona: "La industria metalmecánica ha estado usando un sistema de automatización para las máquinas herramienta conocido como control numérico (CN)", el cual intenta satisfacer la mayoría de los requerimientos de maquinado de esta industria, tales como:

- Elaboración de partes terminadas en menor tiempo y a menor costo.
- Mayor libertad en el diseño del producto a fabricar.
- Mayor exactitud y confiabilidad en el proceso de manufactura.
- Gran flexibilidad y repetitividad en el maquinado de partes.
- Sustitución de mano de obra calificada, dado que sólo se requiere un operador para poner la pieza por maquinar y retirar la maquinada.
- Incremento de la productividad.
- Calidad consistente.

3.3.1.1 Lenguaje de programación de Control Numérico

El control numérico es un sistema de fabricación automatizada mediante la ejecución de programas en los que se describen las acciones de la máquina (arranque, parada, etc.) y los movimientos de la herramienta necesarios para obtener el producto final

(pieza). La elaboración de estos programas es los que denominamos "Programación de control numérico".

La programación es, por tanto, la base del control numérico y es absolutamente indispensable que cualquier operario que intervenga en el proceso de fabricación a través de este sistema, ya sea en la oficina técnica o en el taller, lo conozca en profundidad.

3.3.1.2 Estructura

La programación no es más que una secuencia ordenada de instrucciones, de manera que el control de la máquina las ejecuta en el orden en que han sido escritas. Así pues, si tenemos en cuenta los aspectos característicos de la fabricación de elementos mecánicos, podemos deducir fácilmente que en los programas de control numérico habrá que introducir toda la información relativa a la pieza (datos geométricos) así como la información necesaria para el funcionamiento de la máquina (datos tecnológicos). (Tornero Martínez, 2012, p. 8)

En los últimos tiempos se han desarrollado potentes sistemas de Mecanizado Asistido por Ordenador (CAD/CAM). CAD/CAM, es el proceso en el cual 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.

Es posible la creación de una programación diferente a la tecnología CAD/CAM para que la máquina CNC pueda ejecutar las acciones que el usuario le permita realizar.

3.3.2 Máquina fresadora CNC

La aplicación del control numérico abarca gran variedad de procesos. Aquí se dividen las aplicaciones en dos categorías:

- Aplicaciones con máquina herramienta, tales como el fresado, torneado, etc.
- Aplicaciones sin máquina herramienta, tales como el ensamblaje, trazado e inspección.

El principio de operación común de todas las aplicaciones del control numérico es el control de la posición relativa de una herramienta o elemento de procesado con respecto al objeto a procesar.

Según menciona Escalona (2009): "El CNC tuvo su origen a principios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora"(p. 13).

En la actualidad, cada vez es más común el uso de fresadoras de control numérico (CNC), que están aumentando las operaciones de fresado de forma industrial, convirtiéndose así en un método polivalente de fabricación y mecanizado de piezas. Con las fresadoras CNC, además, se ha logrado aumentar la exactitud del acabado de las piezas mecanizadas, la productividad de su fabricación y su calidad.

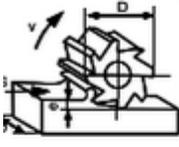
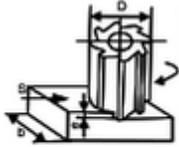
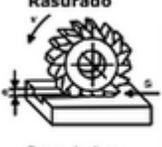
Al igual que en el mecanizado convencional, hay que realizar una preparación de la máquina, del utillaje necesario, de las herramientas elegidas para el mecanizado y de la puesta a punto de la máquina. Y además quedaría todavía la comunicación de las órdenes del hombre a la máquina a través del control establecido.

3.3.2.1 Datos para el corte en fresadoras

“Los datos necesarios para los mecanizados en la fresadora se obtienen de las tablas proporcionadas por los fabricantes de las fresas, en función de éstas y del material que se va a mecanizar” (Tornero, 2008, p. 133).

La siguiente Tabla 2 nos da una aproximación de los valores aproximados de velocidad de corte y avance necesarios según el tipo de operación:

Tabla 2 - Valores de velocidad de corte y avance según el tipo de operación.

Operaciones de fresado	Material utilizado	Debastado		Acabado		Comentarios
		Velocidad v m/min	Desplazamiento 5 mm/min	Velocidad v m/min	Desplazamiento 5 mm/min	
		Profundidad de pasada # 5 mm		Profundidad de pasada # 1 mm		
 <p>Cilindrado o planado</p>	Acero no aleado hasta 80 kg/mm ²	16...18	90...150	18...22	60...90	<p>Toda clase de fresado hasta 100 mm de ancho en fresado normal</p>
	Acero ligeramente aleado hasta 110 kg/mm ²	10...13	50...70	13...16	35...45	
	Fundición gris	12...14	10...170	14...18	70...100	
	Latón, bronce	30...40	160...220	40...60	100...160	
	Aluminio aleado	180...300	200...350	220...320	100...200	
 <p>Refrentado</p>	Acero no aleado	20...25	80...120	25...30	45...70	<p>Ancho del fresado = 0,8 · D, siendo D el diámetro de la fresa</p>
	Acero ligeramente aleado	12...15 32...40	50...70 80...90	16...30 40...45	45...70 56...70	
	Fundición gris	16...20 50...63	110...160 140...200	20...25 63...70	50...80 125...180	
	Latón, bronce	46...60	220...280	50...70	90...140	
	Aluminio aleado	240...320 400...500	240...360 350...400	260...380 500...630	90...170 250...350	
 <p>Ranurado</p>	Acero no aleado	16...18	35...55	20...24	75...100	<p>Las fresas de alto rendimiento deben estar sólidamente fijadas</p>
	Acero ligeramente aleado	12...14	15...25	16...28	40...50	
	Fundición gris	14...16	40...75	18...20	80...110	
	Latón, bronce	30...40	60...100	50...60	100...140	
	Fresas de mango Aluminio aleado	160...200	60...100	180...240	80...120	
 <p>Rasurado</p>	Acero no aleado	12...16	26...34	18...24	20...30	<p>Valores contraavance para perfil simple y fresado normal</p>
	Acero ligeramente aleado	10...14	18...24	14...18	15...20	
	Fundición gris	14...16	36...45	16...22	25...35	
	Latón, bronce	26...32	50...65	30...40	35...35	
	Fresas de disco					

Fuente: (Tornero, 2008, p. 134).

3.3.3 Ventajas de la utilización de la máquina-herramienta con control numérico.

Las máquinas herramienta con CN son ampliamente aceptadas en ciertas industrias de casi todo el mundo. La meta de la industria de las máquinas herramienta ha sido siempre la mecanización para fabricar mejores productos, a precios competitivos, para ganar más y mejores mercados.

Cada día la competencia en estos mercados es más cerrada. Por lo tanto, los fabricantes necesitan reducir costos de producción mientras mejoran la calidad de sus productos, además de obtener mayor producción por trabajador y por máquina, lo cual redundará en mayor productividad por cada peso de capital invertido.

A continuación, se enumeran algunas de las ventajas que presentan este tipo de máquinas-herramienta con este tipo de control.

- **Reducción de los tiempos de ciclos operacionales.** Los tiempos que se tarda en realizar las distintas operaciones que conlleva una pieza, se verán reducidos como consecuencia de:
 - ✓ Trayectorias y velocidades más ajustadas que en las máquinas convencionales.
 - ✓ Menor revisión constante de los planos y hojas de instrucciones.
 - ✓ Menor verificación de medidas entre operaciones.
- **Ahorro de herramientas y utillaje.** El ahorro en concepto de herramientas se obtiene como consecuencia de la utilización de herramientas más universales. En cuanto al ahorro de utillajes, se obtiene por el menor número de operaciones en máquinas distintas.
- **Mayor precisión e intercambiabilidad de las piezas.**
- **Reducción del porcentaje de piezas defectuosas.**

- **Reducción del tiempo de inspección.** Dado que la probabilidad de que se produzcan piezas defectuosas dentro de una serie es menor, pueden evitarse inspecciones intermedias entre ciclos.

“La automatización reduce el personal requerido en una línea de producción” (Groover, 2007, p. 930).

3.4 TRANSMISIÓN MECÁNICA

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una máquina, muchas veces clasificado como uno de los dos subgrupos fundamentales de estos elementos de transmisión y elementos de sujeción.

En la gran mayoría de los casos estas transmisiones se realizan a través de elementos rotantes, ya que la transmisión de energía por rotación ocupa mucho menos espacio que aquella por traslación.

“La transmisión cambia la velocidad de rotación de un eje de entrada, lo que resulta en una velocidad de salida diferente” (Hernández Pavez, 2009).

3.4.1 Tipos de transmisión mecánica

Entre las formas más habituales de transmisión mecánica están:

- Cadena de transmisión.
- Correas o bandas de transmisión.
- Engranajes.
- Poleas.

3.4.2 Motor paso a paso

Conocido también como motor a pasos es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados dependiendo de sus entradas de control.

“Son ampliamente usados en aplicaciones industriales y tienen las ventajas de que no necesariamente requieren un sistema de retroalimentación y de los costos asociados” (Kumar Saha, 2010, p. 39).

Puesto que se trata de motores de control digital, no necesitan el gasto adicional de equipos de conversión de digital a analógica cuando se conectan a un sistema de control por computadora. Normalmente, la flecha del motor gira en forma incremental en pasos iguales en respuesta a un tren de impulsos de entrada programado. El número de pulsos por unidad de tiempo determina la velocidad del motor.

3.4.2.1 Tipos de motor a paso

- **Motor a paso de reluctancia variable:** “Reluctancia magnética” o simplemente “reluctancia” es el término análogo de resistencia eléctrica. Igual que una corriente sólo sucede en un lazo cerrado, un flujo magnético ocurre sólo alrededor de una trayectoria cerrada, aunque tal vez ésta pueda ser más variada que el de una corriente.
- **Motor a paso de imanes permanentes:** El método básico de operación de un tipo de motor de imanes (o magnetos) permanentes es similar al de reluctancia variable. El rotor es de construcción de imanes permanentes y tiene cuatro polos.

- **Motor a paso híbrido:** Los motores a pasos híbridos combinan las características de los motores de reluctancia variable y de imanes permanentes, teniendo un imán permanente interconectado en cubiertas de hierro que están cortadas para tener dientes.

Los ángulos de paso normales son 0.9° y 1.8° . De la descripción anterior resulta entonces que la velocidad con la que se aplican los impulsos determina la velocidad del motor.

“El número total de impulsos determina el desplazamiento angular y el orden en el que se energizan las bobinas en la primera instancia determina la dirección de rotación” (Kumar Saha, 2010).

3.4.3 Cadena de rodillos

“Una cadena es un elemento de transmisión de potencia formado por una serie de eslabones unidos con pernos. Este diseño permite tener flexibilidad, y permite además que la cadena transmita grandes fuerzas de tensión” (Mott, 2006, p. 283).

Cuando se transmite potencia entre ejes giratorios, la cadena entra en ruedas dentadas correspondientes llamadas catarinas.

El tipo de cadena más común es la cadena de rodillos, en la que el rodillo sobre cada perno permite tener una fricción excepcionalmente baja entre la cadena y las catarinas. A continuación, se observa en la Ilustración 4 una cadena de rodillos y catarinas, cada una con ciertas características.

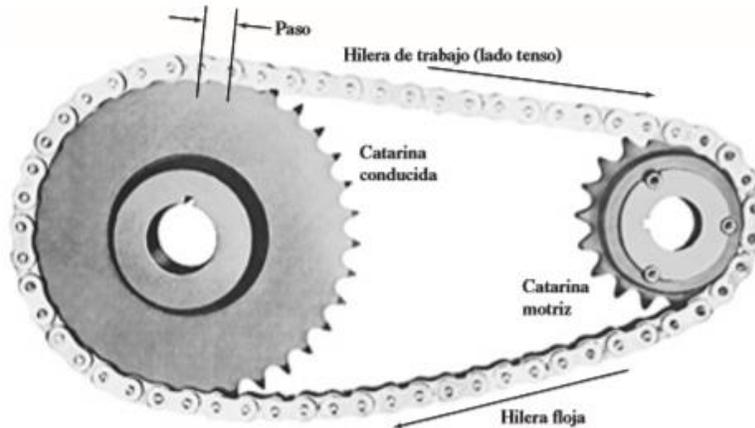


Ilustración 4 - Transmisión de potencia con cadena de rodillos.

Fuente: (Mott, 2006, p. 283).

3.4.2.1 Lubricación

Es esencial dar la lubricación adecuada a las transmisiones por cadena. En la cadena existen muchas partes móviles, además de la interacción entre la cadena y los dientes de la catarina.

3.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS ENGRANAJES

Los engranes son ruedas dentadas cilíndricas que se usan para transmitir movimiento y potencia desde un eje giratorio hasta otro. Los dientes de un engrane conductor encajan con precisión en los espacios entre los dientes del engrane conducido.

Los dientes del impulsor empujan a los dientes del impulsado, lo cual constituye una fuerza perpendicular al radio del engrane. Con esto se transmite un par torsional, y como el engrane es giratorio también se transmite potencia.

3.5.1 Tipos de Engranajes

Se fabrican engranes en muchas configuraciones para aplicaciones particulares.

Engranés rectos: Son engranes en los cuales los dientes son paralelos al eje de simetría del engrane. Ésta es la forma de engrane más simple y menos costosa. Los engranes sólo pueden engranarse si sus ejes son paralelos.

Engranés helicoidales: Son engranes en los cuales los dientes forman un ángulo helicoidal y con respecto al eje del engrane. Dos engranes helicoidales cruzados del mismo sentido pueden engranarse con sus ejes a un cierto ángulo. Los ángulos de hélice se pueden diseñar para que acepten cualquier ángulo oblicuo entre las flechas que no se intersecan.

Cabe mencionar que los engranes helicoidales son más costosos que los rectos, pero ofrecen algunas ventajas. Son más silenciosos que los rectos, debido al contacto más uniforme y gradual entre sus superficies anguladas a medida que los dientes se engranan. Los dientes de engrane recto se engranan de inmediato a todo lo ancho de su cara.

Pedrero Moya (2018) menciona: "Las transmisiones por engranajes, sin lugar a dudas las más utilizadas y eficientes para la transmisión de potencia entre ejes" (p. 142).

3.5.2 Nomenclatura

"Por lo que respecta a la nomenclatura de un engrane, son diversas las terminologías empleadas" (Guerra Torres, 2015, p 166).

- **Diente.** Es el elemento que efectúa el contacto, por lo que debe tener una geometría adecuada que permita un toque suave para evitar que los engranes se intrinquen.

- **Número de dientes (N).** Establece la cantidad de dientes de la que dispone un engrane, la cual no es arbitraria y depende de diversos parámetros.
- **Círculo de paso.** También denominado círculo primitivo. Es un círculo imaginario de dimensión específica sobre el engrane, de modo que si dos engranes están en contacto, por su efecto cinemático es como si fueran dos ruedas no dentadas (o cilindros).
- **Paso diametral (Pd).** Relación existente entre el número de dientes de un engrane (N) y el diámetro del círculo de paso (d); de hecho, para que dos engranes puedan conectarse, a fin de lograr la transmisión, deben tener el mismo paso diametral.

“Además, con el mismo diámetro y paso diametral del engrane, un engrane helicoidal es más fuerte debido a la forma de diente un poco más gruesa en un plano perpendicular al eje de rotación” (Norton, 2009, p. 335).

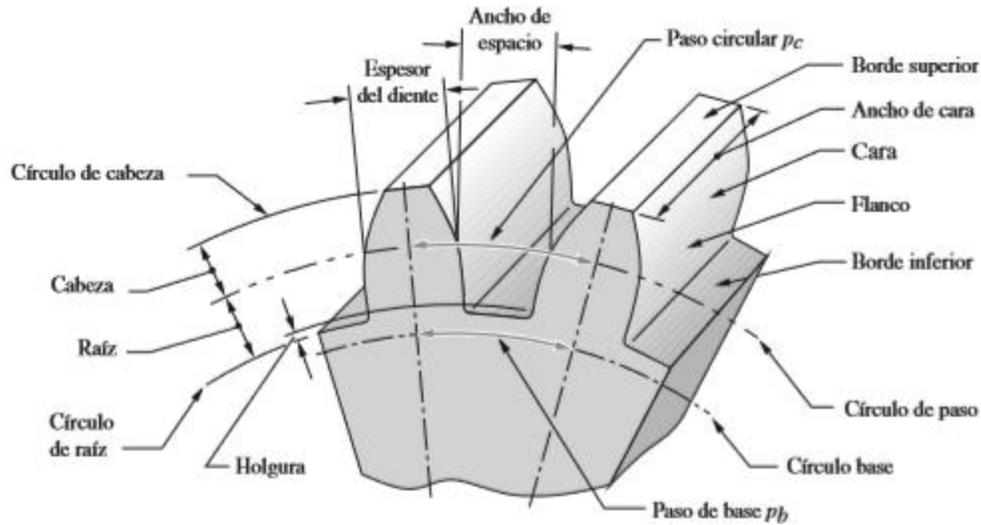


Ilustración 5 - Nomenclatura del diente de un engranaje recto.

Fuente: (Norton, 2009, p. 330).

En la Ilustración 5 se visualiza cada una de las partes y características de los dientes de un engranaje, tanto como su paso, espesor etc... de un engranaje recto.

3.6 CONTROL SOBRE PROCESOS

Para ejercer el control sobre algún tipo de proceso o acción en el ámbito industrial, es necesario conseguir la combinación de dispositivos eléctricos o electrónicos y sus diferentes funciones como ser: drivers, diodos, fuentes eléctricas, microcontroladores, resistencias, etc... con dispositivos mecánicos como motores, sistemas de transmisión, etc... además de la creación de la programación de los algoritmos que se necesiten para lograr la ejecución del proceso de la manera correcta.

3.6.1 Microcontrolador

Un microcontrolador (abreviado MCU o UC) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las ordenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Por lo general, tendrá la capacidad de mantenerse a la espera de un evento como pulsar un botón o de otra interrupción.

Para que pueda controlar algún proceso es necesario generar o crear y luego grabar en la EEPROM o equivalente del microcontrolador algún programa, el cual puede ser escrito en lenguaje para microprocesadores como por ejemplo el lenguaje C++.

3.6.2 Programación

La programación es un proceso que se utiliza para idear y ordenar las acciones que se realizarán en el marco de un proyecto; al anuncio de las partes que componen un acto o espectáculo; a la preparación de máquinas para que cumplan con una cierta tarea en un momento determinado; a la elaboración de programas para la resolución de problemas mediante ordenadores; y a la

preparación de los datos necesarios para obtener una solución de un problema.
(Moreno Pérez, 2014)

3.6.2.1 Programa

Un programa es una serie de órdenes o instrucciones ordenadas con una finalidad concreta que realizan una función determinada.

3.6.2.2 Código fuente

El código fuente de un programa informático (o software) es un conjunto de líneas de texto con los pasos que debe seguir la computadora para ejecutar dicho programa.

El código fuente de un programa está escrito por un programador en algún lenguaje de programación, pero en este primer estado no es directamente ejecutable por la computadora, sino que debe ser traducido a otro lenguaje o código binario; así será más fácil para la máquina interpretarlo (lenguaje máquina o código objeto que sí pueda ser ejecutado por el hardware de la computadora). Para esta traducción se usan los llamados compiladores, ensambladores, intérpretes y otros sistemas de traducción.

3.6.2.3 Lenguaje C++

Como menciona Joyanes Aguilar & Sánchez García (2006): "El aprendizaje de la programación requiere el conocimiento de técnicas y metodologías de programación estructurada" (p. 1).

C++ es una extensión (ampliación) de C con características más potentes. Estrictamente hablando es un superconjunto de C. Los elementos más importantes

añadidos a C por C++ son: clases, objetos y programación orientada a objetos (C++ fue llamado originalmente "C con clases").

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
float suma(float a, float b);

int main(int argc, char *argv[])
{
    float numero, numerol, sumadenumeros;

    numero = 2;
    numerol = 3;
    sumadenumeros = suma(numero, numerol);
    cout << " la suma de " << numero << " y " << numerol << endl;
    cout << " es : " << sumadenumeros << endl;
    system("PAUSE");
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Ilustración 6 - Ejemplo de algoritmo con el lenguaje de C++.

Fuente: (Joyanes Aguilar & Sánchez García, 2006).

3.6.2.3.1 Estructura

Un programa en C++ se compone de una o más funciones, de las cuales una debe ser obligatoriamente main (). Una función en C++ es un grupo de instrucciones que realizan una o más acciones. Un programa contiene una serie de directivas #include que permiten incluir en el mismo, archivos de cabecera que a su vez contienen funciones y datos predefinidos en ellos.

"Uno de los procedimientos más comunes y útiles en el procesamiento de datos es la ordenación de los mismos. Se considera ordenar al proceso de reorganizar un conjunto dado de objetos en una secuencia determinada" (Ceballos Sierra, 2009, p. 797).

3.6.2.4 Algoritmo

Un algoritmo es una secuencia finita de instrucciones, reglas o pasos que describen de modo preciso las operaciones que una computadora debe realizar para ejecutar una tarea determinada en un tiempo finito. En la práctica, un algoritmo es un método para resolver problemas mediante los pasos o etapas siguientes:

- Diseño del algoritmo que describe la secuencia ordenada de pasos sin ambigüedades conducentes a la solución de un problema dado (Análisis del problema y desarrollo del algoritmo).
- Expresar el algoritmo como un programa en un lenguaje de programación adecuado. (Fase de codificación).
- Ejecución y validación del programa por la computadora.

Para llegar a la realización de un programa es necesario el diseño previo de un algoritmo indicando cómo hace el algoritmo la tarea solicitada, y eso se traduce en la construcción de un algoritmo. El resultado final del diseño es una solución que debe ser fácil de traducir a estructuras de datos y estructuras de control de un lenguaje de programación específico. Las dos herramientas más comúnmente utilizadas para diseñar algoritmos son: diagramas de flujo y pseudocódigos.

- **Diagrama de flujo (flowchart):** Representación gráfica de un algoritmo.
- **Pseudocódigo:** Lenguaje de especificación de algoritmos, mediante palabras similares al inglés o español.

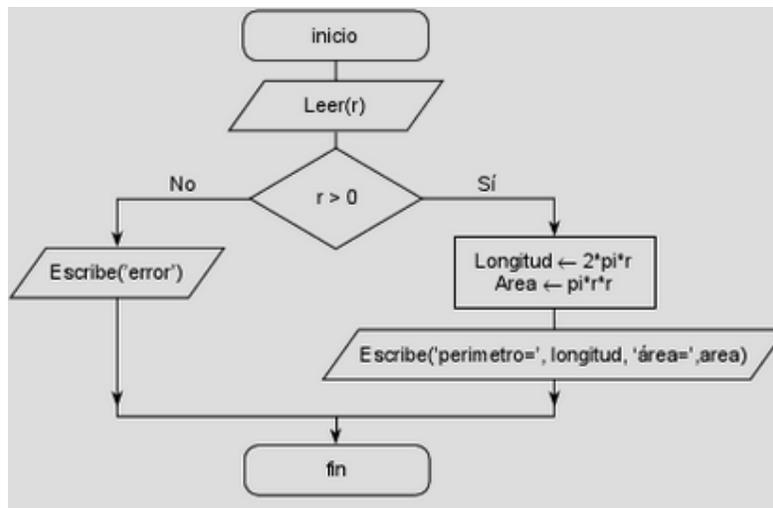


Ilustración 7 - Ejemplo de un diagrama de flujo de un proceso.

Fuente: (Joyanes Aguilar & Sánchez García, 2006).

IV. METODOLOGÍA

A palabras de Gómez (2009):

La metodología implica también el desarrollo de reglas lógicas de pensamiento, criterios apropiados de decisión y el uso de procedimientos coherentes con el fenómeno investigado, sin la aplicación de los cuales, el conocimiento obtenido como resultado de la tarea puede no servir a la ciencia.
(p. 14)

4.1 Variables de Investigación

Estas se dividen en variable dependientes y variable independiente, siendo la variable independiente la que manipula el experimentador y la que cambia su estado con la modificación de la(s) variables independientes se llama variable dependiente.

“En igualdad de circunstancias es preferible medir las variables que pueden dar una respuesta directa e importante acerca del problema” (Cegarra Sánchez, 2004, p. 116).

4.1.1 Variables Dependientes

La variable dependiente es el alto costo de la fabricación de los engranajes en la línea de producción para la elaboración de la maquinaria.

4.1.2 Variables Independientes

Las variables independientes fueron manipuladas, ya que, al efectuar la conversión de la máquina, se ven afectadas en la realización de la tarea. Las variables independientes bajo estudio afectan el costo de fabricación de los engranajes.

- Tiempo consumido en la elaboración de la tarea.
- Calidad final del engranaje realizado.

4.2 Enfoque y Métodos

El enfoque mixto es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, en una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema.

Durante la planeación y realización del proyecto se utilizó el método mixto, contando con características de ambos enfoques:

- Enfoque cuantitativo: Mediante el análisis de datos previos se determinó las causas y situaciones que generan un alto costo en la elaboración de los engranajes en línea de producción de la maquinaria.
- Enfoque cualitativo: "Este se basa en los métodos de recolección de datos sin medición numérica, sin conteo, utilizando descripciones y observaciones" (Gómez, 2006).

Se involucró al personal de la empresa como ser, los operadores y jefes de línea, ya que ellos cuentan con un amplio conocimiento del proceso y planificación de la elaboración de engranajes como también de la maquinaria.

4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados

A continuación, se detallan los instrumentos y técnicas aplicadas durante el desarrollo del proyecto.

4.3.1 Técnicas Aplicadas

4.3.1.1 Fuentes de Información

La realización de este proyecto trajo consigo la recopilación de múltiples fuentes de información para la investigación y confirmación de dicho proyecto. Las fuentes de información se clasifican en primarias y secundaria, siendo las primarias el resultado de un trabajo intelectual, nuevo y original, mientras que las secundarias emplean las

fuentes primarias para realizar una organización de esta información por medio de análisis.

Fuentes primarias empleadas:

- Libros electrónicos recopilados del CRAI (Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación) por parte de UNITEC.
- Libros físicos referentes al tema.
- Revistas científicas.

Fuentes secundarias empleadas:

- Manuales técnicos.
- Tesis de referencia.

El análisis de documentos, libros y manuales técnicos, tiene como propósito comprender todo el material referente a fichas técnicas para lograr apreciar e identificar las características de las conversiones de máquinas – herramientas a una por control numérico.

4.3.2 Instrumentos Aplicados

Máquinas y herramientas: Se utilizó en gran medida para la elaboración tanto de estructura como acopes y accesorios mecánicos para la conversión de la máquina. Para esto nos valimos de fresadoras verticales y tornos. Además de herramientas como machuelos para fabricar roscas internas en algunos de los accesorios.

Laptop PC: En este dispositivo se elaboró el diseño del circuito electrónico principal para el panel de control tanto como también la programación requerida para la correcta ejecución de la máquina.

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

El presente capítulo contiene el análisis y resultados obtenidos del proyecto. Se muestran ciertos cálculos, la selección de los elementos para el panel de control y modificación de la máquina, su instalación y resultados obtenidos gracias a la conversión de la fresadora.

5.1 Análisis

Previo al inicio de conversión de la máquina fueron necesarios la realización de una serie de cálculos teóricos matemáticos y análisis críticos de la fresadora, por ejemplo, análisis de sus características, capacidades y como estas podían ser alteradas al efectuarse la conversión o automatización de la misma, la ejecución de dichos procedimientos fueron un tanto difíciles ya que este proyecto presentaba un gran reto tanto mecánico como eléctrico.

5.1.1 Estado inicial, previo a conversión de la máquina fresadora.



Ilustración 8 - Estado inicial de la fresadora horizontal.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Ilustración 8, en semana 1 (y mucho antes claro está) la máquina fresadora horizontal ubicada en ARGUETA'S INDUSTRIAL se presentaba muy bien, cada uno de sus componentes se encontraban en óptimas condiciones, no presentaba ningún tipo de problema, ni mecánico ni eléctrico, dicha situación fue propicia para iniciar los diferentes procedimientos necesarios previos a la conversión de la misma.

Durante la conversión de la fresadora horizontal se debía tomar en cuenta el equipo que se encargaría del desplazamiento de cada uno de los ejes de la máquina de manera automática en este caso la elección fueron los motores a paso Híbridos Nema 23 de 4.2Amp, y como se mencionó anteriormente cada Eje de la fresadora horizontal como el eje Y, eje Z y el eje del cabezal divisor, fueron anexados a 3 motores a paso Nema 23.



Ilustración 9 - Motor a paso Nema 23 de 4.2Amp.

Fuente: Página oficial de Electronilab.

Para que la máquina pudiera valerse de dichos elementos debía ser modificada con ciertos accesorios mecánicos para lograr la implementación de los mismos entre ellos destaca ciertos acoples, piñones o ruedas dentadas y cadenas de rodillos con

el fin de que en conjunto puedan transferir el movimiento de los motores a cada uno de los ejes de la máquina.

5.1.2 Cálculos teóricos matemáticos previos

A continuación, se presenta diversos tipos de cálculos teóricos matemáticos realizados los cuales son imprescindibles para la conversión de la fresadora horizontal:

5.1.1.1 Relación de movimiento de transmisión

$$Z1 * W1 = Z2 * W2$$

Ecuación 1 - Relación de movimiento de cadenas de transmisión.

Fuente: Elaboración propia.

Siendo:

Z = El número de dientes del piñón o rueda dentada.

W = La velocidad angular/revoluciones por minuto.

En el eje Y se instaló un acople con una rueda dentada en transmisión a través de una cadena de rodillos con otra rueda dentada anexada a un motor Nema 23, en dichos elementos la relación que existe en ellos es de 11 dientes en la rueda que esta con el Nema 23 y 70 dientes en el eje Y por lo que, si tomamos en cuenta que, si $W1 = 1 \text{ rad/s}$ de la ecuación anterior se obtiene lo siguiente:

$$Z1 * W1 = Z2 * W2$$

$$11 * W1 = 70 * W2$$

$$(11 * 1 \text{ rad/s})/70 = W2$$

$$W2 = 0.157 \text{ rad/s}$$

En otras palabras, aproximadamente 6 revoluciones completas de la rueda dentada acoplada al motor a paso equivalen a 1 revolución completa en la rueda dentada acoplada al eje Y. Dicha relación al igual que las que existen en los otros ejes son importantes para la realización de la programación de la máquina para que cada eje ejecute la cantidad de revoluciones según el avance deseado para el mecanizado.

5.2 Resultados

5.2.1 Creación del panel de control

Para la creación del panel de control fueron necesario la integración de ciertos tipos de elementos como ser: drivers, switches, una pantalla LCD de 4*20 caracteres, componentes electrónicos, una fuente de alimentación, entre otros y por supuesto el cableado necesario para cada uno de los elementos. Se describirán los elementos más importantes del panel eléctrico.

5.2.1.1 Elección de control de motores



Ilustración 10 - Microstep Drivers de los motores a paso.

Fuente: Elaboración propia.

El dispositivo que controla los motores para su correcto funcionamiento es el Driver ST-4045-A1, observar Ilustración 10.

Entre sus características El Driver ST-4045-A1 posee un rango de entrada de voltaje DC de 12V hasta 40V, una salida de corriente de entre 0.6 a 4.5 amperios, protecciones de sobre corriente, bajo voltaje como también puede soportar temperaturas de 15 a 50 grados centígrados a una humedad del 90 por ciento y la máxima frecuencia de pulso es de 200khz.

En la Ilustración 11 siguiente se muestra como es internamente el driver y cada una de las conexiones que posee se observa con la ayuda de un diagrama, para que así el usuario pueda estar al corriente de la correcta configuración de cada una de sus entradas o puertos, por ejemplo, la PUL+- que es la entrada de pulso de paso a +5V, DIR+- que es la entrada de dirección del motor paso a paso, nivel de tensión activado, nivel alto hacia adelante, nivel bajo hacia atrás y ENA+- el motor libre.

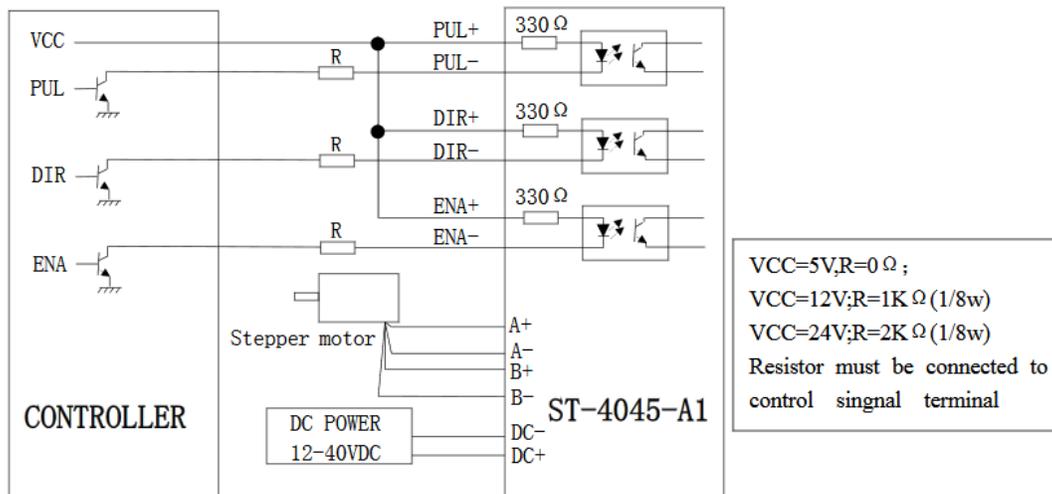


Ilustración 11 - Conexión común del Driver ST-4045-A1.

Fuente: Página oficial STEPPERONLINE.

Cada uno de los Drivers de control de los motores a paso posee diversas series de configuración según el usuario necesite, en este caso son combinaciones de una serie de switches, observe Tabla 4, las cuales permiten la elección de los pasos o pulso por revolución que el motor puede efectuar, así como también configurar la corriente que el motor puede consumir.

Tabla 4 - Configuración de los Switch en los drivers.

1. Microstep choice:

Microstep	Pluse/rev. (for 1.8° motor)	SW4	SW5	SW6
Standby	-----	OFF	OFF	OFF
1	200	OFF	OFF	ON
1/2(A)	400	OFF	ON	OFF
1/2(B)	400	OFF	ON	ON
1/4	800	ON	OFF	OFF
1/8	1600	ON	OFF	ON
1/16	3200	ON	ON	OFF
Standby	-----	ON	ON	ON

2. Current choice:

Peak current	SW1	SW2	SW3
0.6A	OFF	OFF	OFF
1.2A	ON	OFF	OFF
1.8A	OFF	ON	OFF
2.3A	ON	ON	OFF
2.8A	OFF	OFF	ON
3.3A	ON	OFF	ON
3.8A	OFF	ON	ON
4.5A	ON	ON	ON

Fuente: Página oficial STEPPERONLINE.

5.2.1.2 Creación de circuito principal

Para la creación del panel de control es de gran importancia la realización de un circuito principal (cerebro) que controlará todo lo respecto a la máquina, ya que sin dicho elemento hubiese sido muy difícil poder regir el control sobre la máquina ya que uno de sus componentes es un microprocesador y en él es donde se guarda la programación de nuestro proyecto.

Es un proceso que requiere tiempo debido a cada uno de sus pasos que va desde el diseño esquemático de nuestro circuito hasta la finalización en físico del mismo.

5.2.1.2.1 Diseño esquemático del circuito

Un diagrama electrónico, también conocido como un esquema eléctrico o esquemático es una representación pictórica de un circuito eléctrico.

Muestra los diferentes componentes del circuito de manera simple y con pictogramas uniformes de acuerdo a normas, y las conexiones de alimentación y de señal entre los distintos dispositivos.

Una de las herramientas de software más conocidas de este tipo de diseño es conocida como es EAGLE AUTODESK. El software EAGLE (siglas de Easily Applicable Graphical Layout Editor) es un programa de diseño de diagramas y PCBs con autoenrutador

EAGLE contiene un editor de diagramas electrónicos. Los componentes pueden ser colocados en el diagrama con un solo clic y fácilmente enrutables con otros componentes a base de "cables" o etiquetas.

Este fue usado para el diseño esquemático del circuito principal tomando en cuenta previamente que componentes debía contener para su correcto funcionamiento y posteriormente pasar a la realización física de nuestro circuito.

A continuación, en la Ilustración 12 se muestra el circuito esquemático de la placa principal del panel de control.

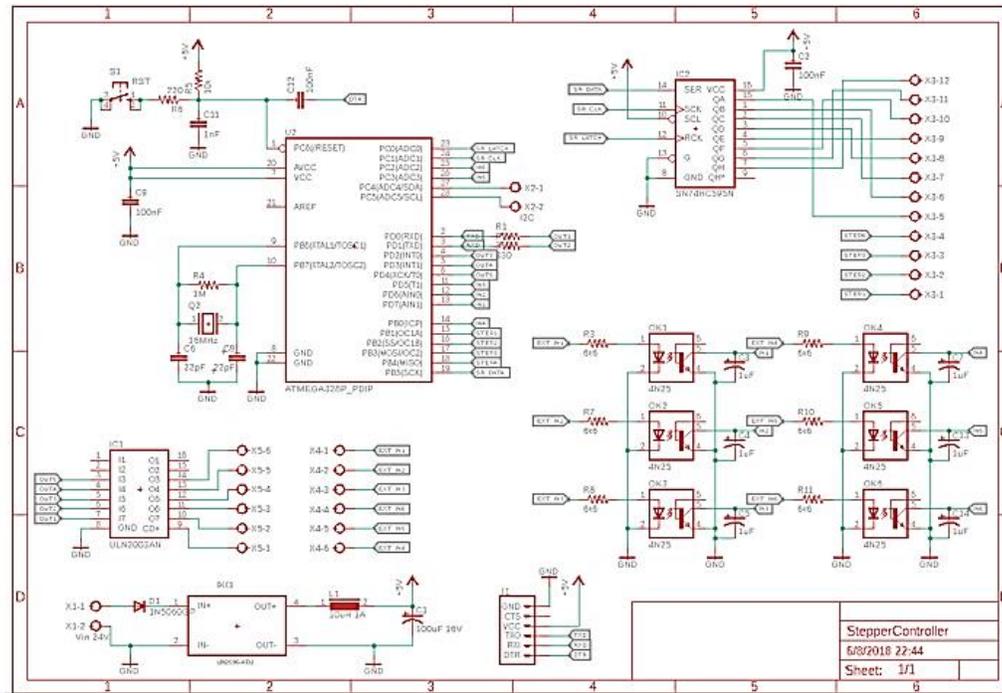


Ilustración 12 - Diseño Esquemático del circuito principal.

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.1.2.2 Circuito impreso

En electrónica, un circuito impreso, tarjeta de circuito impreso o PCB (sprinted circuitboard), es una superficie constituida por caminos o pistas de material conductor laminadas sobre un sustrato no conductor.

El circuito impreso se utiliza para conectar eléctricamente, a través de los caminos conductores, y sostener mecánicamente, por medio del sustrato, un conjunto de componentes electrónicos.

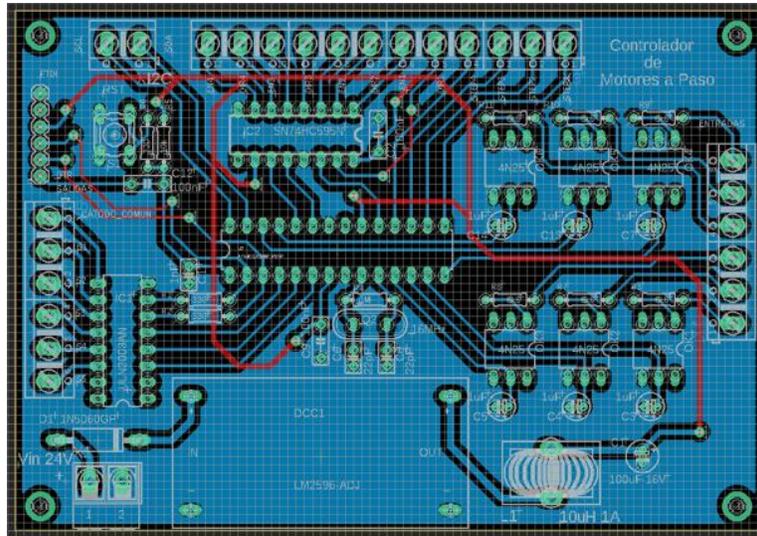


Ilustración 13 - Diseño PCB del circuito principal.

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez terminado el diseño esquemático de nuestro circuito el método o técnica para elaborar un circuito es el de Método de Serigrafía. La serigrafía es una técnica de impresión, empleada principalmente para reproducir imágenes sobre cualquier material. La fabricación de circuitos impresos ha ido revolucionando con una gran serie métodos, que, con el tiempo se van mejorando.

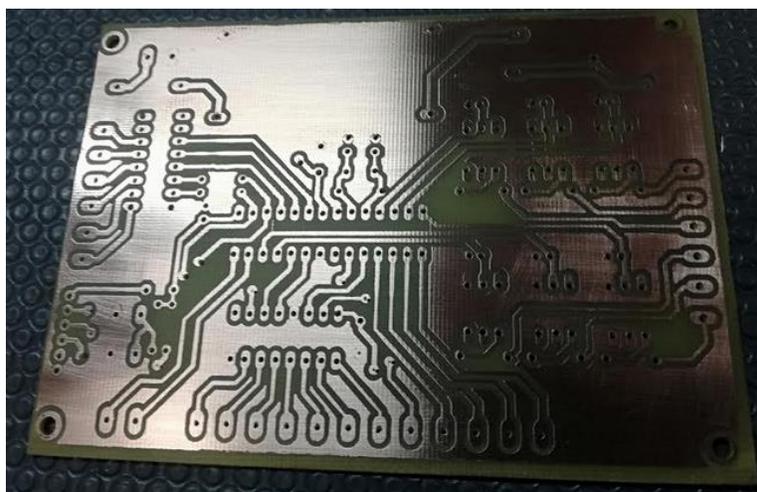


Ilustración 14 - Placa elaborada.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez teniendo el circuito en la placa de cobre con cada una de las pistas y perforaciones se prosigue a la colocación de cada uno de los componentes tales como resistencias, capacitores, microprocesador, entradas y salidas de borneras etc...

Como resultado final tal como se deseaba se obtuvo un circuito eléctrico completo y funcional, por lo que después de unas cuantas pruebas o test del mismo fue añadido al panel eléctrico, a continuación, una ilustración del circuito finalizado.

Observe Ilustración 15.



Ilustración 15 - Placa de circuito electrónico principal finalizado.

Fuente: Elaboración propia.

Finalizando la tarea de selección de los drivers para los motores a paso y creación del circuito electrónico principal se prosiguió a la colocación de cada uno de estos componentes en el panel de control, una vez ubicados se continuo con realizar el cableado necesario de cada uno de los componentes. En la Ilustración 16 siguiente se observa el panel de control de la máquina.

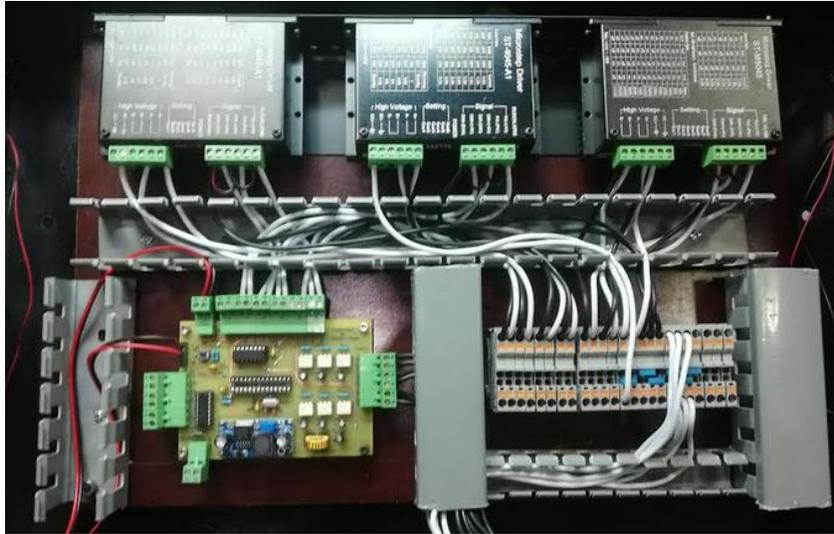


Ilustración 16 - Panel de control finalizado.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que a el panel de control se le añadió su respectiva circulación de aire para que los componentes en su interior no se vean tan afectados por las altas temperaturas. Y para la alimentación del panel de control se utilizó una fuente de alimentación 110/220V a 24V y 30Amp.

5.2.2 Creación de la programación

Para lograr que la máquina ejecutara las acciones correctas para la realización de los procesos para mecanizado de los engranajes fue necesario realizar previamente el diagrama de flujo de la/las tareas que la máquina debía de efectuar, observe Ilustración 17 e Ilustración 18 más adelante. Esto para identificar qué acciones de la tarea eran imprescindibles para que el mecanizado de piezas, en este caso de engranajes, resultase satisfactorio y que además las características del elemento final fueran las mejores. Una vez visualizadas las acciones del proceso como también interpretadas, poder proseguir con la creación de los algoritmos y líneas de

programación las cuales se encargarían de regir las acciones que la máquina podría ejecutar.

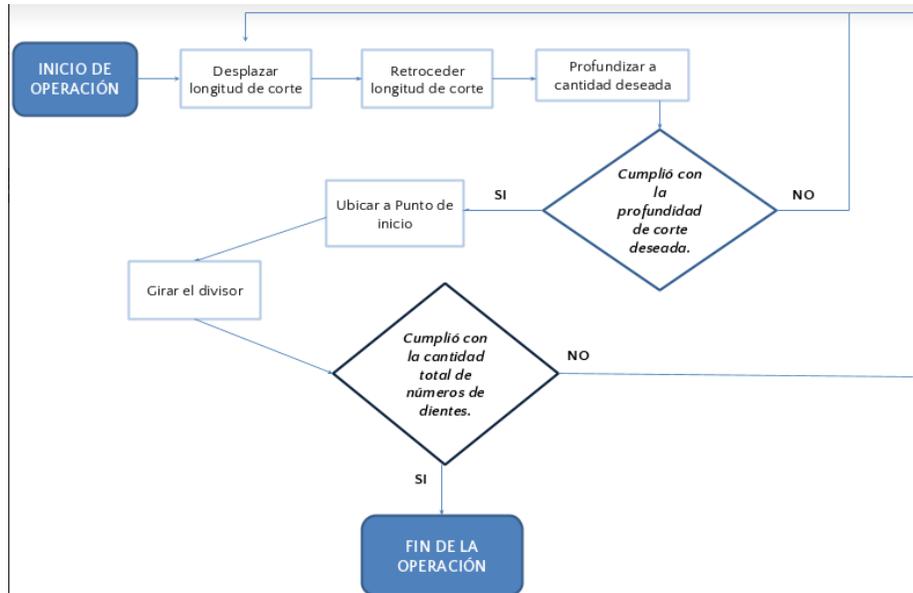


Ilustración 17 – Diagrama de flujo de fresado de engranaje recto.

Fuente: Elaboración propia.

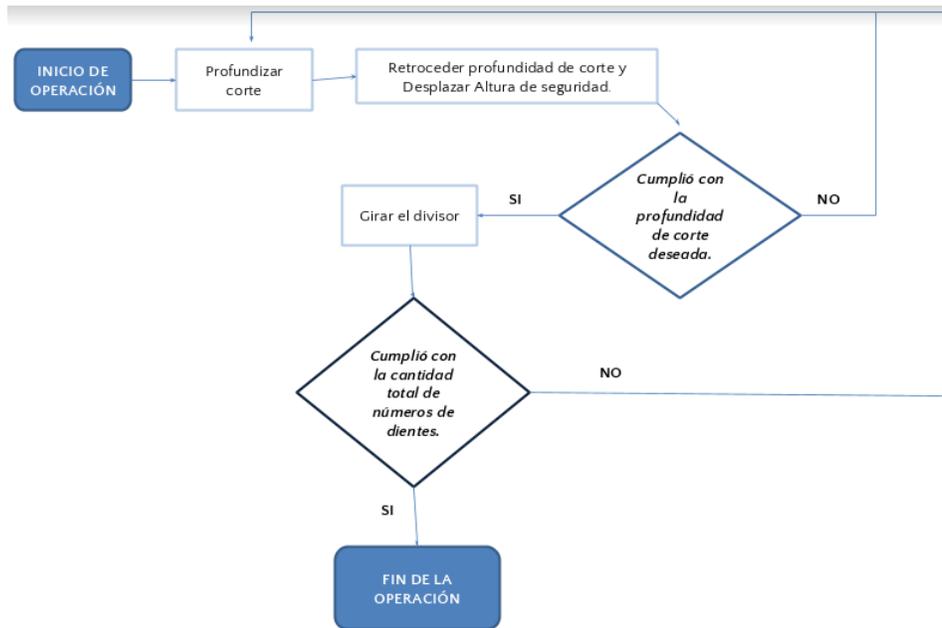


Ilustración 18 - Diagrama de flujo de fresado de engranaje helicoidal.

Fuente: Elaboración propia.

Para el control general de la máquina, se elaboró un sistema visual mediante el cual es posible tanto establecer los parámetros necesarios como mover los motores de los ejes ya sea de manera continua o controlando la cantidad de pasos a dar.

Esta interfaz gráfica consiste en un menú mostrado en la pantalla de caracteres LCD de 4x20 y una serie de botones para navegar dentro del menú.

El texto necesario para cada parte del menú se mantiene almacenado en la memoria FLASH del microcontrolador, considerando que este no cambiara durante la ejecución y no se requiere acceso rápido, esto con la finalidad de obtener más espacio para las variables del sistema al evitar copiar estos datos a la memoria RAM del microcontrolador.

Se utilizó un shift register, SN74HC595, para controlar las señales de DIR y EN de los controladores de los motores a pasos. Para que fuera posible cambiar el estado de un pin del shift register sin afectar los demás, se apartó una variable de ocho bits en el microcontrolador para modificarla y escribir la misma al shift register cada vez que fuera necesario cambiar el estado de algún DIR o EN.

Ya que esta aplicación requiere el control solamente de un motor a pasos a la vez, fue posible utilizar un Timer de 16 bits con frecuencia variable, para generar el pulso necesario para la señal de STEP del controlador.

Cada vez que el contador del timer regresa a 0 una interrupción se encarga de activar (1 lógico) el pin necesario para el motor que se desea mover, luego al alcanzar cierto valor seleccionado de acuerdo a la frecuencia de conteo del timer otra interrupción se encarga de apagar (0 lógico) el pin necesario de acuerdo al motor que se está utilizando.

Este enfoque nos permite generar pulsos a diferentes frecuencias sin ocupar mucho tiempo de procesamiento del microcontrolador, es decir mientras se generan los

pulsos el procesador del microcontrolador es libre de realizar otras tareas como revisar los estados de diferentes entradas y realizar cálculos.

Además del timer para generar pulsos, se utilizó otro timer de 8 bits para manejar la aceleración de los motores a pasos. Este timer se encarga, mediante una interrupción, de incrementar la frecuencia de los pulsos a intervalos constantes de tiempo, obteniendo así una función de rampa en la velocidad de los motores.

```
7
8 #include <avr/io.h>
9 #include "CNC.h"
10 #include "menu.h"
11 #include "InterruptRoutines.h"
12
13 CNC cnc;
14 extern ScreenManager screen_manager;
15 uint8_t menu;
16
17 int main(void)
18 {
19     menu = ST_HOME;
20     sei();
21     cnc.init();
22     while (1)
23     {
24         screen_manager.setCurrentScreen(menu_state[menu].textP, menu_state[menu].size);
25         screen_manager.printScreen();
26         switch(menu){
27             case ST_HOME:      menu = cnc.home();break;
28             case ST_F_RECTO:   menu =cnc.straight();break;
29             case ST_F_HELICOIDAL: menu = cnc.helicoidal();break;
30             case ST_DESP_ORIGEN: menu = cnc.displace();break;
31             case ST_CALIBRAR:   menu = cnc.calibrate();break;
32             case ST_M_RECTO:   menu = cnc.straight_Move();break;
33         }
34         _delay_ms(200);
35     }
36 }
37
```

Ilustración 19 - Ejemplo de programación de la pantalla.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Procesos previos y necesarios para la realización de un engranaje

5.2.3.1 Modulo del engranaje

Previamente a la realización de un engranaje se debe tomar un cilindro metálico de cierto diámetro este puede ser aluminio, cobre o la aleación que se desee o necesite. En este caso la elección para las pruebas fue un cilindro de aluminio, como se observa en la Ilustración 20, dicho elemento debe ser maquinado en un torno el cual

un conjunto de máquinas y herramientas que permiten mecanizar, roscar, cortar, cilindrar, desbastar y ranurar piezas de forma geométrica por revolución.

Estas máquinas-herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas. Nuestro primer objetivo es obtener el módulo del engranaje necesario para la creación del mismo.



Ilustración 20 - Elaboración del módulo para creación de engranaje.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.1.1 Cálculos para el módulo de engranaje

$$\frac{d}{z} = m$$

Ecuación 2 - Calculo para el módulo de un engranaje.

Fuente: Elaboración propia.

Siendo:

m = Módulo d = Diámetro primitivo o exterior

z = Numero de dientes en el engranaje.

En nuestro caso la elección del módulo (m) es de 6 milímetros (mm) y la cantidad de dientes (z) a realizar será de 15 dientes, por lo que el diámetro primitivo o exterior que debe tener nuestra pieza es de

$$\frac{d}{z} = m$$

Despejando para el diámetro (d) y sustituir m= 6 mm y z= 15 dientes

$$d = mz \quad d = 6 \text{ mm}(15) \quad \mathbf{d = 90 \text{ mm}}$$

Por lo que las dimensiones finales del módulo deben ser las siguientes:

Diámetro primitivo o corona: 90 milímetros (mm) y profundidad de 20 milímetros (mm).

Diámetro del paso de eje: 64 milímetros (mm) y profundidad de 19 milímetros (mm).

5.2.3.1.2 Dimensiones del engranaje

Estos cálculos dependen a su vez de las siguientes dimensiones de un engranaje:

- **Circunferencia exterior:** es la circunferencia que pasa por la parte exterior de las cabezas de los dientes.
- **Diámetro exterior (de):** es el que corresponde a la circunferencia exterior.
- **Circunferencia interior:** es la que pasa por la base de los pies de los dientes.
- **Diámetro interior (di):** es el que corresponde a la circunferencia interior.
- **Cabeza de diente (hc):** es la parte del diente comprendida entre la circunferencia primitiva y la circunferencia exterior. Toma el valor del módulo:

$$hc = m$$

En este caso hc= 6 milímetros (mm).

- **Pie de diente (hp):** es la parte del diente comprendida entre la circunferencia interior y la primitiva. Toma el valor de 1,25 veces el módulo: hp= 1,25m

En este caso hp = 1.25(6mm) = 7.5 milímetros (mm).

- **Altura del diente (h):** es la distancia entre la circunferencia interior y la exterior. Por tanto, tiene el valor de 2,25 veces el módulo: $h = 2,25m$
En este caso $h = 2.25(6\text{mm}) = 13.5$ milímetros (mm)
- **Longitud del diente (b):** es la anchura de la corona, sobre la que se tallan los dientes, en general suele tener un valor de 10 veces el módulo: $b = 10m$
En este caso $b = 10(6\text{mm}) = 60$ milímetros (mm)

Después del mecanizado en el torno del módulo del engranaje, el siguiente paso es realizar una perforación en su diámetro inferior para posteriormente realizar un machuelado del agujero y obtener una rosca interna en el elemento.

Esto con el fin de que al obtener nuestro engranaje dicho elemento pueda ser fijado en el sitio que le corresponda en la maquinaria en donde se llegue a utilizar. Una vez finalizado el mecanizado y preparación del módulo del engranaje este es colocado como es debido en la máquina fresadora.



Ilustración 21 - Instalación del módulo de engranaje.

Fuente: Elaboración propia.

Y posteriormente a la instalación del módulo del engranaje es colocada la herramienta fresa, esta debe ser colocada justo en el centro para que durante el mecanizado sea lo más exacto posible, por lo que debe de ser lo más exacta su posición y para verificación de la misma se recurre al uso de un pie de rey. En la Ilustración 22 siguiente puede observar el momento en el que se verifica la posición de la fresa.



Ilustración 22 - Alineación de la fresa.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de la instalación de la herramienta se procedió a la configuración de los parámetros de la máquina.

5.2.4 Configuración de parámetros

5.2.4.1 Cálculos previos

Previo a la configuración de parámetros en la pantalla se deben realizar ciertos cálculos matemáticos para que el mecanizado del engranaje sea eficiente.

5.2.4.1.1 Velocidad de Corte

Uno de los factores que más afectan la eficiencia de una operación de fresado es la velocidad de la fresa. Es la velocidad a la cual el metal se puede maquinar con eficiencia. Esta viene delimitada según:

- Tipo de material de la pieza.
- Material de la fresa.
- Diámetro de la fresa.
- Rigidez de la máquina y montaje de la pieza

$$r/min = \frac{320 \times CS}{D}$$

Ecuación 3 - Determinar revoluciones por minuto para la fresa, diámetro en milímetros.

Fuente: Elaboración propia.

Siendo:

CS = Velocidad de corte según la fresa y el material de la pieza.

D = Diámetro de la fresa.

El CS será de 300 m/min debido a que la pieza de trabajo es de aluminio. El diámetro de la fresa de módulo en cuestión es de 100 milímetros.

$$r/min = \frac{320 \times CS}{D}$$

$$\frac{r}{min} = \frac{320 \times 300}{100} = 320 \times 3 = \mathbf{960 \text{ rev/min}}$$

Por lo tanto, el resultado ideal de la velocidad de corte de la fresa ser de 960 rev/min.

5.2.4.1.2 Avance de la fresa

El avance de la máquina puede definirse como la distancia en milímetros (o pulgadas) por minuto, que se mueve la pieza hacia la fresa. Esta depende de la velocidad de corte de la herramienta.

Conforme avanza la pieza hacia la fresa, cada diente avanza dentro de la pieza una cantidad igual, produciendo virutas, es decir el avance por diente junto con el número de dientes de la fresa. La velocidad ideal de avance puede determinarse como:

$$\text{Avance} = N \times \text{CPT} \times r/\text{min}$$

Ecuación 4 - Velocidad de avance ideal en las fresadoras.

Fuente: Elaboración propia.

Siendo:

N: Número de dientes de la fresa.

CPT: Avance por diente de la fresa (depende del material).

r/min: Son las revoluciones por minuto de la fresa.

La fresa de módulo posee 12 dientes, la velocidad de la fresa es de 960 r/min y el CPT es de 0.15 milímetro por ser el material de aluminio

$$\text{Avance (mm/min)} = N \times \text{CPT} \times r/\text{min}$$

$$\text{Avance (mm/min)} = 12 \times 0.15 \times 960 = \mathbf{1,728 \text{ mm/min}}$$

El avance será de 1728 milímetros por minuto o también 172.8 centímetros por minuto traducidos a un avance de 28.8 milímetros por segundo así que por cuestiones de seguridad en el acabado de la pieza el parámetro del avance se asignará en 2 centímetros por segundo (2 cm/seg).

5.2.4.1.3 Profundidad del corte

Cuando se desea una superficie lisa y exacta, es buena práctica efectuar un corte de desbaste y otro de acabado, Los cortes de desbaste profundos, con un avance grande según lo permitido en la máquina y la pieza. Los cortes de acabado deben ser ligeros, con un avance más fino de lo utilizado en el desbaste en su mayoría es recomendado una profundidad de 0.4 milímetros.



Ilustración 23 - Calibración de parámetros para el fresado CNC.

Fuente: Elaboración propia.

Antes de iniciar el fresado automático para la elaboración de un engranaje recto, es necesario realizar un "set" o ajuste de cada uno de los parámetros principales según como el usuario lo necesite, observe Ilustración 23. Los parámetros son los siguientes:

- **Profundidad de diente:** Es la distancia entre la circunferencia exterior y la inferior. En la interfaz es indicada en milímetros (mm).

- **Profundidad de corte:** Es la distancia a la que se desea realizar cada paso de corte. En la interfaz es indicada en milímetros (mm).
- **Longitud de corte:** Es la longitud de corte del recorrido deseado, depende del tamaño de la pieza y de la velocidad de desplazamiento en Y. En la interfaz es indicada en milímetros (mm).
- **Velocidad de corte:** Es la velocidad con la que se desplaza la herramienta de corte en este caso la fresa la cual es en centímetros por segundo (cm/seg).
- **Velocidad de desplazamiento Y:** Es la velocidad con la que se desplaza el eje Y durante el proceso de corte, es en centímetros por segundo (cm/seg).
- **Velocidad de desplazamiento Z:** Es la velocidad con la que se desplaza el eje Z durante el proceso de corte al finalizar un diente del engranaje, su unidad es en milímetros por segundo (mm/seg).
- **Cantidad de dientes de engranajes:** Es la cantidad de dientes que desea que tenga el engranaje al finalizar todo el proceso de mecanizado.

Finalizando la configuración de los mismos y verificando la correcta instalación del módulo se prosigue a inicializar el proceso de mecanizado del engranaje.

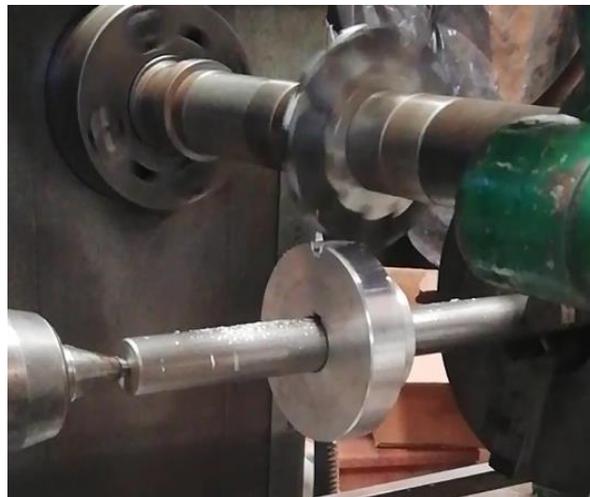


Ilustración 24 - Elaboración de engranaje, etapa inicial.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.5 Finalización del proceso de mecanizado

5.2.5.1 Toma de datos

Tabla 5 - Formato para la toma de tiempo de trabajo.

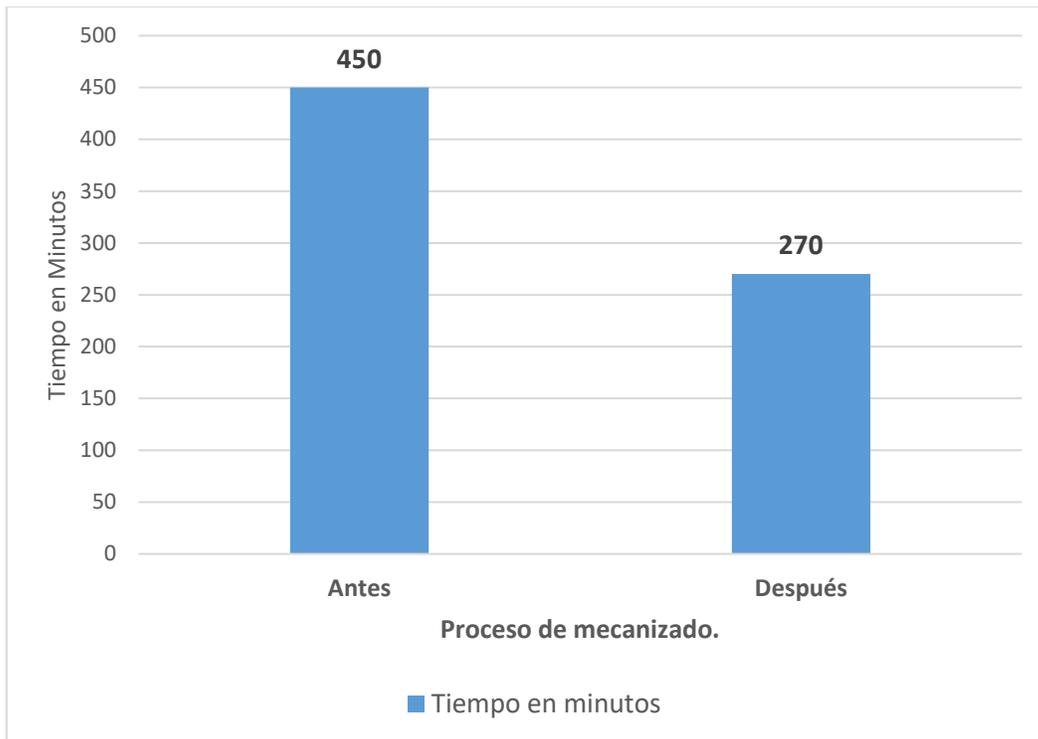
No. Diente	Tiempo requerido (min)	Tiempo teórico (min)	Diferencia (min)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
Total			

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5, se procedió a tabular los tiempos recopilados conforme se realizaba cada diente del engranaje terminado para así determinar el rendimiento de mecanizado de la máquina periódicamente.

Al finalizar el proceso de mecanizado del engranaje y realizar la toma de datos de tiempo se obtuvo el siguiente resultado:

Gráfico 1 - Comparativa de tiempos de trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el Gráfico 1, se presenta una comparación en el tiempo de trabajo del proceso de mecanizado del engranaje, antes o de manera tradicional y después de la conversión de la máquina fresadora.

De la manera tradicional, un operario necesitaba alrededor de 450 minutos (7 horas y 30 minutos) para poder culminar con la elaboración de un engranaje, esto tomando en cuenta el tiempo de descanso (tiempos muertos) del operario, lo que significaba en paros o atrasos en la realización de la tarea además del esfuerzo por parte de él de realizar una tarea tan repetitiva por un periodo tan largo de tiempo, ahora bien en comparación al trabajo de la máquina ya de manera automática solamente necesitó alrededor de 270 min (4 horas y 30 minutos) para lograr terminar el trabajo sin ningún tipo de problema y realizando de manera continua la tarea.

Se obtuvo una disminución considerable en tiempo requerido para la realización de la tarea, esto representa una eficiencia y ahorro del tiempo de elaboración del engranaje en un 40 % esto representa aproximadamente 3 horas de trabajo menos en la realización del mecanizado del engranaje que a su vez significa menos costos en su producción, además ocurre otra situación el acabado final del engranaje es más fino (posee una mejor calidad final) debido a que es un proceso continuo y que solamente la máquina detiene el proceso hasta finalizar con la pieza.

Uno de los otros beneficios de dicha conversión es que al ya no necesitar que un operador realice la tarea completamente sino que solamente se precise de él para la colocación y preparación tanto de la pieza a maquinar y de la fresa como también de ajustar los parámetros de la máquina para posteriormente inicializarla y en un tiempo debido retirar la pieza (engranaje) una vez terminado el proceso de mecanizado; el jefe de línea puede valerse de los servicios y/o tiempo de trabajo de dicho operador para que continúe o avance con otro proceso u otras asignaciones en la línea de producción de la maquinaria mientras que la máquina automáticamente este realizando el engranaje.

VI. CONCLUSIONES

“En la investigación y en la experimentación, las conclusiones son argumentos y afirmaciones relativas a datos de mediciones experimentales y de la lógica” (Villafuerte Ledesma, 2015).

A continuación, se presentan cada una de las conclusiones del presente proyecto:

- Se designó un panel eléctrico el cual posee el control total sobre la máquina.
- Se estableció la programación que regirá las instrucciones que la máquina ejecutará para el proceso de mecanizado de las piezas.
- Se logró identificar a través de pruebas piloto la mejoría en la eficiencia del proceso de mecanizado de la máquina en comparación a su versión tradicional.
- Se detalló un manual de operación para el correcto uso de la máquina.

VII. RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se enumeran las recomendaciones para mejora realizadas tanto a la empresa y la universidad.

7.1 Para la empresa

- Implementar el mantenimiento correspondiente a la máquina fresadora, esto para asegurar su correcto funcionamiento y verificar antes de utilizar cada uno de sus componentes para que esta no tenga fallos cuando este en operación.
- Motivo a que la empresa continúe la iniciativa de aspirar a cambiar algunas máquinas de sus procesos a equipo automatizados en las diferentes fases de su línea de producción y así ser más eficiente en sus tareas.

7.2 Para la universidad

- Que en los próximos meses pueda lograr abastecer los laboratorios existentes para el área de mecatrónica ya que tengo entendido que la meta es expandir más el área de trabajo y equipo de dichos laboratorios.
- Ampliar la oferta académica de la carrera de mecatrónica adicionando nuevas clases o nuevos tipos de laboratorio y además eliminar ciertas clases ya que algunas de ellas no están enfocadas a la mecatrónica.
- Realizar en lo posible y permitido más visitas técnicas a diferentes empresas o industrias (dependiendo del enfoque de la clase que el alumno este cursando) para que en el alumno se familiarice con el ambiente laboral que existe fuera de la universidad.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga Segundo, L. (2005). *Reconversión de las máquinas-herramienta convencionales a Control Numérico Computarizado (Metodología)*. México, D.F., MEXICO: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3191447>
- Barragán Serrano, A., Esquivel Lara, V. E., & Villalobos Ordaz, G. (2009). *Procesos de manufactura II: un enfoque práctico*. México, D.F., MEXICO: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3195610>
- Cabrero Armijo, J. M. (2012). *Proceso de mecanización por arranque de viruta: mecanizado por arranque de viruta (UF0881)* (1ra ed.). Málaga, SPAIN: IC Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3212244>
- Ceballos Sierra, F. J. (2009). *Enciclopedia del lenguaje C++ (2a. ed.)*. Madrid, SPAIN: RA-MA Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229431>
- Cegarra Sánchez, J. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3171339>
- Daneri, P. A. (2008). *PLC: automatización y control industrial*. Buenos Aires, ARGENTINA: Editorial Hispano Americana HASA. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3183744>

Escalona, I. (2009). Diseño y manufactura asistidos por computadora. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3181296>

Fenoll, J., Borja, J. C., & Herrera, J. S. de. (2009). *Mecanizado básico*. Madrid, SPAIN: Macmillan Iberia, S.A. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3195688>

Gallardo Rodríguez, F. L. (2012). *Técnicas de mecanizado y metrología (UF1213)* (1ra ed.). Málaga, SPAIN: IC Editorial. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3211756>

Galpin, T. J. (2013). *Fijando objetivos*. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3228668>

Gómez, M. (2009). *Introducción a la metodología de la investigación científica (2a. ed.)*. Córdoba, ARGENTINA: Editorial Brujas. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3185747>

Gonzalez Contreras, F., & Meseguer Calas, M. D. (2015). *Planificación de procesos de mecanizado*. Valencia, SPAIN: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4422075>

- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (3ra ed.). Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Guerra Torres, C. (2015). *Análisis y síntesis de mecanismos con aplicaciones*. Distrito Federal, UNKNOWN: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4569651>
- Hernández Pavez, R. F. (2009). *Mecánica técnica*. Santiago de Chile, CHILE: Editorial Universidad de Santiago de Chile. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3193989>
- Jiménez Cruz, J. (2005). *Introducción al proceso de fresado por control numérico (lenguaje: Heidenhain TNC/ISO)*. México, D.F., MEXICO: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3191989>
- Joyanes Aguilar, L., & Sánchez García, L. (2006). *Programación en C++: un enfoque práctico*. Madrid, SPAIN: McGraw-Hill España. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3194821>
- Kumar Saha, S. (2010). *Introducción a la robótica*. , España, UNKNOWN: McGraw-Hill España. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4585364>
- Moreno Pérez, J. C. (2014). *Programación*. Madrid, SPAIN: RA-MA Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229316>

- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (4ta ed.). Mexico: PEARSON EDUCACIÓN. Recuperado de <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=1257>
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de Maquinaria* (5ta ed.). Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Pedrero Moya, J. I. (2018). *Tecnología de máquinas. Tomo II: uniones. Engranajes. Transmisiones* (1ra ed.). Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5426525>
- Sánchez Fulgueira, M. (2012). *Elaboración de programas de CNC para la fabricación de piezas por arranque de viruta (UF0879)* (1ra ed.). Málaga, SPAIN: IC Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3212132>
- Serrano Sánchez, D., Mejías Sanguino, F., & Rodríguez Dorado, F. J. (2012). *Especificaciones técnicas en procesos de mecanizado por arranque de viruta*. Málaga, UNKNOWN: IC Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtual-ebooks/detail.action?docID=5350028>
- Toledo Matus, J. (2005). *Fresadora: apuntes para el alumno*. México, D.F., MEXICO: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3191735>
- Tornero, F. (2008). *Preparación y programación de máquinas de control numérico*. Barcelona, SPAIN: Cano Pina. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3227005>

Tornero Martínez, F. (2012). *Mecanizado por control numérico*. Barcelona, SPAIN:

Cano Pina. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3226658>

Tornero Martínez, F. (2017). *Mecanizado por arranque de viruta: MF0091_2* (1ra ed.).

Barcelona, UNKNOWN: Cano Pina. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5307377>

Villafuerte Ledesma, L. A. (2015). *Análisis metodológico en los trabajos de tesis*.

Distrito Federal, UNKNOWN: Editorial Digital UNID. Recuperado de

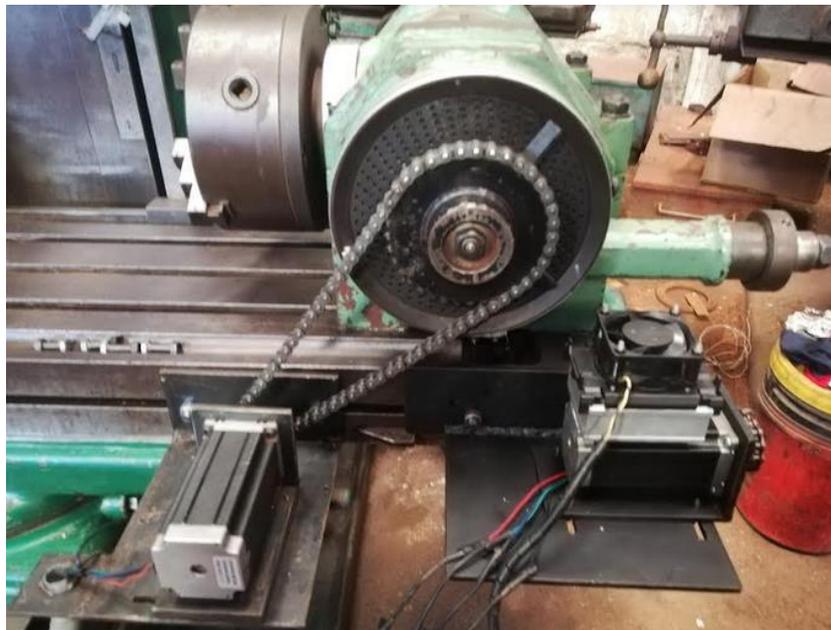
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5307893>

IX. ANEXOS



Anexo 1 - Estado inicial de la fresadora horizontal, vista 2.

Fuente: Elaboración propia.



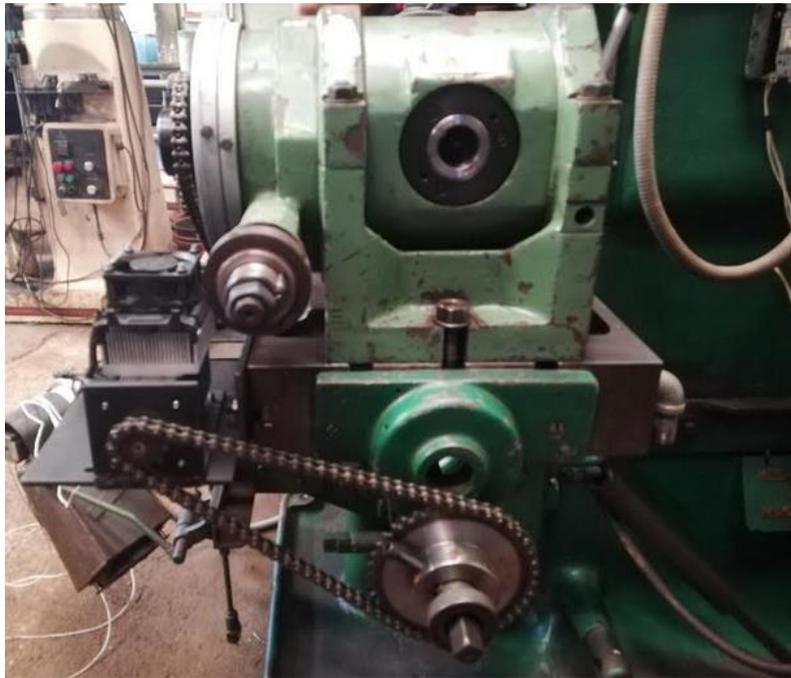
Anexo 2 - Motor a paso instalado, cabezal divisor.

Fuente: Elaboración propia.



Anexo 3 - Motor a paso instalado en eje Z.

Fuente: Elaboración propia.



Anexo 4 - Transmisión de potencia con cadena, eje Y.

Fuente: Elaboración propia.



Anexo 5 - Transmisión de potencia con cadena, eje Z.

Fuente: Elaboración propia.



Anexo 6 - Vista de la máquina fresadora CNC.

Fuente: Elaboración propia.