

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“CONVERSIÓN DE UNA FRESADORA CONVENCIONAL A
CNC (CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO), PARA UNA
MICROEMPRESA”**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Rubén Antonio Retana Chaves

AUTOR

Ing. Carlos Calderón Borge

TUTOR

SEDE ARANJUEZ, AGOSTO, 2023

Tabla de Contenido.

Dedicatoria.....	13
Agradecimientos	14
Resumen.....	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	17
Planteamiento del Problema	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.....	17
Antecedentes	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	32
.....	32
Mecanizado	32
Reseña Histórica	32
Definición de mecanizado.....	32
Operaciones de mecanizado.....	33
Máquinas-herramienta	35
Reseña Histórica	35
Definición de Máquina-Herramienta	35
Mecanica de presición.....	37
Taller de mecánica de precisión.....	38
Fresadoras Convencionales.....	38
Estructura de una fresadora convencional	39
Ejes de trabajo de una fresadora convencional	40

Herramientas de corte para una fresadora.....	42
Clases de fresas	43
Partes esenciales de una fresadora convencional.....	45
Mesa de trabajo.	45
Manivelas.....	45
Cabezal.....	46
Motor.....	47
Máquinas con Control Numérico Computarizado (CNC)	48
Reseña Histórica	48
Funcionamiento del Control Numérico Computarizado.....	49
Programas de diseño asistido por computadora (CAD).....	49
Programas de manufactura asistidos por computadora (CAM).....	50
Lenguaje de programación Código G y M	51
Fresadora CNC.....	53
Funcionamiento de la fresadora CNC.....	56
Componentes de una fresadora CNC.....	58
Husillos de bolas	58
Servomotor.....	59
Servo-controlador	62
Fuente de alimentación	63
Controlador Lógico Programable (PLC)	64
Controlador CNC	67
LINUX CNC.....	68
Arduino	70
CNC Escudo (Shield).....	71

Motores paso a paso.....	73
Firmware GRBL	74
Parámetros de mecanizado para fresadora CNC.....	75
Velocidad de corte	75
Revoluciones por minuto	75
Avance por diente.	76
Número de dientes	76
Avance por revolución.....	76
Avance de mecanizado	77
Materiales para mecanizado.....	77
Aceros	77
Hierro Fundido.....	78
Cobres	78
Bronce y latón.....	78
Aluminio	78
Titanio.....	78
Plásticos técnicos.	79
Grafitos	79
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	80
Enfoque de investigación.....	80
Fuentes de información.....	80
Unidades de análisis.....	81
Procedimiento de Recolección y Análisis de Datos	83
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
Estado actual de la empresa	84

Necesidades de la empresa.....	85
Gastos por unidades subcontratadas	86
Placa de acero inoxidable.....	87
Componentes Mecánicos y electrónicos para la conversión de la fresadora convencional.....	88
Tornillo de bolas	90
Reemplazo de manivelas de los ejes X y Y	93
Modificación para el Husillo (eje Z).....	95
Servomotores	98
Codificador	100
Velocidad del husillo	101
Controlador de servomotor (Servo driver).....	103
Sistemas de control	105
Tarjeta de control de movimiento	109
Fuente de alimentación	109
Computadora.....	110
Programas requeridos para la conversión	111
Programas CAD (Diseño asistido por computadora).....	112
Programas CAM (Manufactura asistida por computadora)	113
Programa de Control del CNC.....	115
Código-G (lenguaje de programación utilizado para controlar las operaciones de las máquinas herramienta CNC).....	117
Tiempos de producción.....	121
Fresadora Convencional.....	121
Fresadora convencional convertida a CNC.....	122
Simulación de las placas de acero inoxidable.....	122

Productividad	126
Reducción de piezas no conformes	127
Mecanizado de nuevas piezas	129
Rendimiento de herramientas de corte.....	135
Análisis financiero	138
Cálculo de ahorros	141
Cálculo de gastos.	142
Salario del operario.	142
Capacitación.....	144
Herramientas	145
Tasa de descuento.	146
Calculo VAN y TIR para el caso 1.	146
Calculo VAN y TIR para el caso 2	148
Cálculo del VAN y TIR para el Caso 3	149
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	163
Conclusiones.....	163
Recomendaciones	165
CAPÍTULO VI: PROPUESTA.....	167
Descripción	167
Objetivos	167
Perspectiva teórica	168
Glosario.....	169
Propuesta.....	170
REFERENCIAS.....	172
ANEXOS	175

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Lista de códigos G para fresadora CNC</i>	52
Tabla 2 <i>Lista de códigos M para fresadora CNC</i>	53
Tabla 3 <i>Matriz de conceptualización: Investigación con planteamiento metodología en Enfoque Cuantitativo</i>	81
Tabla 4 <i>Gasto por piezas subcontractadas</i>	86
Tabla 5 <i>Costo aproximado de la fresadora que se tiene en el taller.</i>	89
Tabla 6 <i>Código G</i>	118
Tabla 7 <i>Código M</i>	119
Tabla 8 <i>Ejemplo de programa Código-G</i>	120
Tabla 9 <i>Cálculo de ahorros</i>	142
Tabla 10 <i>Cálculo de horas anuales para mecanizado de las placas de acero inoxidable</i>	143
Tabla 11 <i>Salario anual para mecanizado de piezas de acero inoxidable</i>	144
Tabla 12 <i>Detalle costo capacitación centro de maquinado CNC</i>	145
Tabla 13 <i>Cálculo costo de herramientas anual</i>	145
Tabla 14 <i>Inversión inicial caso 1</i>	146
Tabla 15 <i>Cálculo del VAN y TIR para caso 1 con en un periodo de 3 años</i>	147
Tabla 16 <i>Inversión inicial caso 2</i>	148
Tabla 17 <i>Cálculo VAN y TIR Caso 2 con un período de 3 años</i>	149
Tabla 18 <i>Componentes para conversión de la fresadora convencional a CNC</i>	160
Tabla 19 <i>Inversión Inicial Caso 3</i>	161
Tabla 20 <i>Cálculo VAN y TIR para Caso 3</i>	162

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Secuencia de mecanizado CNC</i>	28
Figura 2 <i>Mecanizado de una placa metálica en una fresadora</i>	34
Figura 3 <i>Las máquinas-herramientas producen máquinas y herramientas para la manufactura de todo tipo de productos</i>	37
Figura 4 <i>Operaciones básicas de fresado vertical</i>	39
Figura 5 <i>Fresadora convencional</i>	40
Figura 6 <i>Ejes y direcciones de movimientos de una fresadora convencional</i>	42
Figura 7 <i>Tipos de fresas</i>	44
Figura 8 <i>Mesa de trabajo de una fresadora convencional</i>	45
Figura 9 <i>Manivelas de una fresadora convencional</i>	46
Figura 10 <i>Cabezal de una fresadora convencional</i>	47
Figura 11 <i>Motor de una fresadora convencional</i>	48
Figura 12 <i>Fresadora CNC</i>	55
Figura 13 <i>Diagrama de flujo para de un mecanizado CNC</i>	57
Figura 14 <i>Tornillo de Bolas</i>	59
Figura 15 <i>Servomotor y sus partes</i>	62
Figura 16 <i>Servo-controlador</i>	63
Figura 17 <i>Fuente de alimentación para CNC</i>	64
Figura 18 <i>Ejemplo de un PLC LOGO de la marca SIEMES</i>	67
Figura 19 <i>Control de CNC</i>	68
Figura 20 <i>Placa de microcontrolador Arduino UNO</i>	71
Figura 21 <i>Placa CNC Shield</i>	72
Figura 22 <i>Motor paso a paso</i>	74
Figura 23 <i>Fórmulas para cálculo de parámetros de corte</i>	77
Figura 24 <i>Distribución de planta</i>	85
Figura 25 <i>Vista Frontal de la placa</i>	87
Figura 26 <i>Vista Isométrica de la placa</i>	87
Figura 27 <i>Plano de la placa</i>	88
Figura 28 <i>Bridgeport series 1 (Model J head is a 1hp V-belt drive head)</i>	90
Figura 29 <i>Tornillo Actual de la máquina para el eje X</i>	91

Figura 30 Tornillo actual para el eje X.	92
Figura 31 Tornillo de bolas para el remplazo.	92
Figura 32 Manivela del eje x para movimiento manual.	94
Figura 33 Adaptación mecánica para movimiento automatizado de los ejes X y Y.	95
Figura 34 Mesa de Trabajo fresadora convencional.	96
Figura 35 Manivela del husillo Eje Z.	97
Figura 36 Mecanismo de transmisión para el movimiento manual del husillo en el eje Z.	98
Figura 37 Servomotor	99
Figura 38 Codificador.....	100
Figura 39 Relación de poleas y faja para el ajuste de la velocidad del husillo	102
Figura 40 Velocidades a seleccionar por defecto en la máquina	102
Figura 41 Controlador se servomotor (Servo Driver)	104
Figura 42 Servomotor con su respectivo controlador	105
Figura 43 Microcontrolador Arduino	106
Figura 44 Tarjeta de control de movimiento	107
Figura 45 Controladores de Robot	107
Figura 46 Tarjeta de expansión	108
Figura 47 Imagen de la Interfaz de Inventor	113
Figura 48 Interfaz de simulación de maquinado con el programa Mastercam.....	114
Figura 49 Interfaz de programa controlador CNC.....	117
Figura 50 Parámetros de maquinado Programa Mastercam.....	124
Figura 51 Parámetros de maquinado FSWizard	125
Figura 52 Simulación con tiempo de ciclo de mecanizado	126
Figura 53 Reporte de inspección	129
Figura 54 Montaje en aparato divisor	131
Figura 55 Centrado de agujeros	132
Figura 56 Montaje en torno	133
Figura 57 Modelado 3D.....	134
Figura 58 Simulación de mecanizado	135
Figura 59 Herramientas de corte para fresadora.....	136
Figura 60 Fresa embotada.....	137

Figura 61 <i>Fórmula para cálculo del VAN</i>	140
Figura 62 <i>Fórmula cálculo del TIR</i>	141
Figura 63 <i>Tornillos de bolas Bridgeport Kit</i>	151
Figura 64 <i>Servomotor 86M-DHT-A6MK</i>	152
Figura 65 <i>Controlador de servomotor DYN4</i>	153
Figura 66 <i>Cable de servomotor para DYN4</i>	154
Figura 67 <i>Cable del codificador para DYN4</i>	155
Figura 68 <i>ACORN CNC Controller Kit</i>	156
Figura 69 <i>Conector C86 para tarjeta controladora ACORNT</i>	157
Figura 70 <i>Interface del Programa CNC12</i>	158
Figura 71 <i>All-in-one Touch Screen CNCPC</i>	159

Índice de Anexos

Anexo 1 <i>Orden de subcontratación de las placas de acero inoxidable</i>	175
Anexo 2 <i>Características de la fresa de 4mm.....</i>	176
Anexo 3 <i>Condiciones de corte para la fresa de 4mm</i>	177
Anexo 4 <i>Cotización fresa de 4mm.....</i>	178
Anexo 5 <i>Cotización capacitación para configuración y programación de centro de maquinado CNC.....</i>	179
Anexo 6 <i>Cotización y ficha técnica centro de máquina 1100MX TORMACH</i>	180
Anexo 7 <i>Especificaciones técnicas y cotización del sistema Mill Power G2.....</i>	184
Anexo 8 <i>Cotización, catálogo de partes y especificaciones técnicas de los tornillos de bolas .</i>	190
Anexo 9 <i>Especificaciones técnicas del Intel NUC10i3FNH</i>	193

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mis padres, por ser mi ejemplo de perseverancia y dedicación.

A mi esposa, mi compañera de vida, por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional en cada etapa de mi carrera. A mi hijo, quien es mi mayor motivación y a Dios por ser mi fuente de fortaleza y guía en todo momento. Y a mis abuelos que están en el cielo.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas y organizaciones que me han apoyado en este proceso de investigación.

En primer lugar, a mis padres, quienes han sido fuente de motivación en este proyecto.

A mi esposa, por su apoyo en todo momento.

También quisiera agradecer a mis profesores de la U.I.A, por su dedicación y enseñanzas que me han permitido adquirir los conocimientos necesarios para realizar este estudio.

A mi tutor, Carlos Calderón Borge, por su guía y dedicación en este proyecto.

Agradezco al taller de mecánica de precisión por permitirme realizar el estudio en sus instalaciones y por brindarme su apoyo en la recolección de datos.

Además, quiero reconocer la ayuda y el apoyo de mis compañeros y amigos, por su colaboración y su valioso aporte durante mi carrera universitaria.

Resumen

El área de la mecánica de precisión siempre ha jugado un papel muy importante dentro de la sociedad. Encargada de la manufactura de piezas para repuestos, mantenimientos, edificaciones, entre otros y, hoy, con el avance de la tecnología juega un papel muy importante dentro de la industria médica la cual va en crecimiento en Costa Rica. Gracias a la implementación de las computadoras, el crecimiento y avance de tecnología en el campo de la electromecánica se ha logrado ir modificando las máquinas encargadas de la manufactura de los productos.

Tornos y fresadoras han sufrido transformaciones en el pasar de los años llegando a ser capaces de trabajar de forma automática, incrementando las producciones, reduciendo tiempos de mecanizados y mejorando la calidad de los productos. Todo esto gracias a la implementación de los controles computarizados los cuales permiten tener una comunicación humano-máquina y brindar instrucciones a la máquina por medio de una programación en un lenguaje que la máquina es capaz de interpretar.

En este proyecto se quiere estudiar qué posibilidad hay para una microempresa o pequeño taller de mecánica precisión lograr tomar una fresadora convencional la cual se opera de manera manual, que se encuentra actualmente en el taller y convertirla en una fresadora CNC. De manera que la empresa puede ampliar su mercado y ser más competitiva una vez que se realice la modificación de la máquina.

Se realizará el estudio de todas las partes que se requieren modificar en la máquina y nuevos accesorios que se tengan que agregar para lograr el cambio de manera exitosa. Se evaluarán diferentes formas de programación y controladores manteniendo siempre como objetivo la alternativa más económica. Ya que una de las finalidades del proyecto es poder aprovechar la máquina que ya se encuentra en el sitio y que los costos para la modificación no se eleven y siempre se mantengan por debajo de lo que costaría hacerse de una máquina CNC nueva.

Una vez que se tengan todos los componentes, programas y controladores que se requieren se evaluará que tan factible para la compañía es dar el paso para el cambio. Evaluando si los beneficios justifican realizar la inversión para la transformación de fresadora convencional a CNC.

Adicionalmente se espera poder proyectar en cuanto tiempo la empresa podría recuperar la inversión y estimar un porcentaje en el incremento de las ganancias.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Problema

Debido al costo de las fresadoras CNC (Control numérico computarizado) para una microempresa se desea investigar que tan factible es realizar la conversión de una fresadora convencional a una fresadora CNC. Se va a realizar la investigación de todos los componentes que se requieren para lograr la modificación de la máquina, cuáles de ellos pueden ser manufacturados en la misma empresa y cuales pueden conseguirse a un precio accesible.

¿Qué tan factible es para una microempresa realizar la conversión de una fresadora convencional a una fresadora CNC?

Objetivo General

Realizar el estudio para convertir una fresadora convencional a una fresadora con control numérico computarizado (CNC), con este cambio se espera que la microempresa en donde se va a realizar el estudio pueda incrementar sus ganancias.

Objetivos Específicos

- Investigar todos los componentes tanto mecánicos, electrónicos, eléctricos y softwares (programas) requeridos para realizar la conversión de la fresadora.
- Analizar la reducción de tiempos de producción una vez realizado el cambio en la fresadora mediante una simulación por medio de un programa CAM (Computer Aided Manufacturing).
- Evaluar la productividad y determinar si se puede lograr una reducción de piezas no conformes debido a las mejoras que se van a tener en la precisión de los mecanizados y posible mecanizado de nuevas piezas debido a la nueva versatilidad que tendría la máquina, la cual al ser automatizada estaría en capacidad de trabajar en 3 dimensiones mediante la programación de un diseño CAD (Computer Aided Design) y CAM.
- Comparar cual sería el rendimiento de las herramientas de corte de una fresadora convencional contra una fresadora CNC con el fin de ver en cuál de los casos logra alcanzar su vida útil.
- Realizar el análisis financiero para determinar si la inversión de convertir la fresadora sería rentable y en cuanto tiempo aproximado se lograría tener el retorno de la inversión.

Justificación

En Costa Rica el área de la mecánica de precisión tiene un gran aporte dentro del mercado, encargada de la manufactura de piezas principalmente en metales y polímeros. Piezas que son utilizadas para mantenimiento industrial, levantamiento de estructuras, área automotriz, aeroespacial e industria médica.

La maquinaria que utilizan los talleres de precisión para el mecanizado de piezas principalmente son tornos y fresadoras. Para este tipo de maquinaria existe tanto su versión convencional la cual es operada de forma manual, como la versión automatizada la cual es programada por medio de programas de diseño y su lenguaje de programación (código G), este tipo de maquinaria es llamada tornos y fresadoras CNC (control numérico computarizado).

Para las microempresas en Costa Rica o pequeños talleres de mecánica de precisión es difícil acceder a maquinaria CNC, lo cual hace que sus tiempos de entrega, costos y calidad del producto, sea menos competitivo o en algunos casos debido a la complejidad de las piezas incapaz de realizarlas.

Con esta investigación se busca realizar la conversión de una fresadora convencional a CNC en una microempresa. De tal manera que al realizar la conversión de la máquina por la misma empresa se logren reducir los costos en su transformación.

Una vez realizados los cambios, se espera que la empresa comience a ser más competitiva al poder ampliar su mercado y productividad. Lo cual conllevará a obtener más ganancias para la empresa.

El alcance de este estudio de ser exitoso podría llegar no solamente a la empresa donde se va realizar, sino también ser optado por otras microempresas sin capacidad económica de comprar una fresadora CNC, con los resultados de esta investigación se espera ver los costos de la inversión y el tiempo de retorno de la misma.

Antecedentes

Antecedente No.1

Título: Optimización de máquinas reconfigurables CNC por medio de interfaz de control inteligente.

Autora: Manuel Sanabria

Revista: Tecnología en marcha

Editorial: Tecnológica de Costa Rica

Año: 2020

En esta revista el autor del artículo menciona el funcionamiento de las máquinas CNC y sus implementaciones. Adicionalmente se menciona diferentes ejemplos de controles que se pueden implementar en máquinas CNC.

De este documento se pueden tomar datos importantes como el alto grado de precisión que se puede obtener con las máquinas CNC el cual según el autor indica que la unidad de la dimensión es la micra, el cual es alrededor de 25 veces más pequeño que el obtenido por una máquina convencional.

Además, otra información que se puede utilizar es que se hace referencia a los principales elementos de control de una máquina CNC, los cuales indica que son los actuadores eléctricos los cuales son capaces de proporcionar la fuerza para mover un dispositivo mecánico tal como herramientas de corte y husillos.

El autor en su investigación concluye que, “En los procesos de maquinado, la exactitud del movimiento de la herramienta de corte depende del desempeño del controlador sobre los diferentes ejes de movimiento de la máquina-herramienta para minimizar los errores de posición generados sobre movimientos lineales y de contorneado”.

Antecedente número 2.

Título: Metodología para el desarrollo del costeo por actividades en un proceso con tecnología CNC

Autor: Carmen Elena Madriz Quirós

Revista: Tecnología en marcha

Editorial: Tecnológica de Costa Rica

Año: 2008

Este documento evalúa una metodología para determinar los costos del producto final, mediante todos los procesos que conlleva la manufactura de este. Se menciona diferentes etapas, procesos y departamentos dentro de la empresa involucrados.

Para poder calcular el costo del producto el autor menciona mediante un diagrama de flujo como los diferentes departamentos dentro de la empresa juegan un papel importante que deben ser tomados en cuenta para determinar el costo del producto. Se aclara que hay una gran diferencia cuando se va a determinar el costo de un producto maquinado en CNC ya que envuelve un departamento de ingeniería encargado del desarrollo tanto de diseño de las piezas como el de la programación de las máquinas, así como control de calidad por parte del operario durante el proceso de maquinado.

Gran parte de la información mencionada es de gran aporte para esta investigación ya que la empresa actualmente no cuenta con maquinaria CNC y se deberá valorar como calcular el costo del producto si se realiza la conversión de la máquina, además sirve como guía para determinar la contratación de nuevo personal capaz de realizar la programación y puesta en marcha de la máquina.

Antecedente número 3.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Título: Diseño y construcción de un torno de control numérico

Autores: Morera-Barquero, Ana Lucía, Badilla-Corrales, Carlos, Mata-Coto, Manuel, Hasbum-Fernández, Ivannia

Año: 2008

La investigación realizada por estos ingenieros del instituto tecnológico de Costa Rica tiene como objetivo el diseño y la construcción de un torno CNC, orientado para talleres de precisión que quiera automatizar sus procesos.

Aporta que el diseño de una máquina CNC es multidisciplinario ya que involucra conceptos de electromecánica, electrónica y computación. Así mismo se hace mención a la interfaz de comunicación que debe existir entre la máquina y el usuario para poder dar instrucciones a la máquina.

De este documento se puede utilizar información tal como: las partes electromecánicas involucradas para el diseño de una máquina CNC, también la teoría que envuelve el documento sobre las diferentes partes como tornillos de bolas, rodamientos, fajas, transmisión que a pesar de que en este caso son para el diseño de un torno CNC pueden ser trasladadas para la conversión de una fresadora convencional con sus respectivas modificaciones para el objetivo de esta investigación.

Antecedente número 4.

Institución: Universidad de Costa Rica

Título: A Suggested plan for the implementation of CAD/CAM systems.

Autores: Rapso Brenes, Luis Arturo, Montoya, Alvaro, Bonilla, Javier, Morales, Alberto

Año: 2011

Este documento es basado en una pasantía que se realizó Universal Instruments Co, Binghamton New York, en el cual los autores. El alcance de este es proveer específicamente a pequeños talleres de precisión el uso apropiado de los recursos para la implementación de sistemas CAD/CAM los cuales juegan un papel muy importante para la correcta programación de las máquinas CNC.

Comienzan su trabajo valorando si realmente una empresa requiere la implementación de este tipo de sistemas o programas. Ya que el gasto que se debe realizar para la implementación de este genera un costo. Y podría ser que esto no llegue a solventar los problemas de la compañía.

En la presente investigación como parte del funcionamiento de la fresadora CNC se va requerir programas CAD/CAM, en donde se pueden tomar en cuenta los aportes que mencionan los autores, así como la teoría que incluyen sobre que es CAD/CAM. Las tareas y funciones que involucran el uso de estos programas y si realmente un proceso de manufactura requiere el uso de estos.

Antecedente número 5.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Título: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UN TORNO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA

Autores: José Armando Del Valle Zúñiga

Año: 2003

Como objetivo principal este proyecto planteo un estudio para ver qué tan factible era la automatización de un torno y una fresadora para la empresa AKA Precisión ubicada en San Antonio de Belén Heredia, debido a la poca cantidad de maquinaria y alta demanda de producción además de contar solo con máquinas convencionales, nace el estudio realizado en este proyecto.

Este proyecto va directamente relacionado con productividad para que la empresa pueda lograr cumplir con los pedidos requeridos sin comprometer tiempos de entrega para la cartera de clientes que manejan.

Con este estudio se puede rescatar información presentada por el autor tal como componentes utilizados como lo son tornillos de bolas, servomotores, y los controladores para las máquinas.

Adicionalmente como es el funcionamiento de una máquina CNC, variables que deben ser tomadas en cuenta para controlar los movimientos de esta y la selección de un controlador lógico programable (PLC)

También se muestra las diferentes partes una fresadora convencional y sus diferentes formas de mecanizado.

Como conclusión la empresa opta por contratar los servicios de la empresa COPRE para realizar la automatización de las máquinas.

Antecedente número 6.

Institución: Tecnológico de Costa Rica

Título: Desarrollo del centro de mecanizado, en el departamento de modelos y prototipos de la empresa Modelado y Fundición Saborío, mediante una mesa de enrutador (router) CNC

Autores: Sebastián Obando Castro

Año: 2019

En el caso de este proyecto el autor cita que la empresa ya contaba con una máquina CNC la cual fue desarrollada por una persona con conocimientos muy justos. La cual presentó muchas falencias desde que se diseñó.

Entre las cuales se mencionan:

- Efectos de deflexión.
- Mal diseño en los soportes de los ejes por una incorrecta selección de materiales.
- Falla en los motores ya que se traban y pierden el paso.
- No hay un control de la vida útil de los componentes.
- Problemas de vibración lo que no hace capaz a la máquina realizar piezas de 5mm de alto.

Como parte de los objetivos se menciona el desarrollo de un nuevo centro de mecanizado mediante una mesa de enrutador (router).

Datos muy importantes pueden ser tomados para la investigación de este proyecto como las posibles fallas que se pueden tener en el diseño de no contempla de manera correcta los componentes adecuados o materiales de fabricación de las partes.

Consecuentemente se tiene la formulación de un plan de mantenimiento preventivo el cual es sumamente importante que se tome en cuenta para cualquier equipo.

Antecedente número 7.

Institución: Universidad Carlos III de Madrid. España

Título: Diseño y construcción de un prototipo de fresadora-CNC

Autores: César Hurtado Juárez

Año: 2015

En este estudio el autor realizó el diseño total de una fresadora CNC, mediante el programa PTC creo parametric 2.0, donde de manera virtual se realizó el diseño de todas las piezas y luego de igual forma se realizó el montaje. Una vez realizado el modelo de las piezas en el programa se facilitó la fabricación de estas. Unas se realizaron en una impresora 3D y otras con una fresadora CNC industrial.

Otro aporte de este proyecto es el uso de Arduino para la parte electrónica además de todos los componentes utilizados a la placa del circuito, adicionalmente se incluyen los costos de partes como motores, finales de carrera, ventilador, fuente de alimentación entre otros.

Los aportes de este proyecto son de gran ayuda ya que se tiene como finalidad la creación de una máquina CNC de bajo costo, propósito que se quiere alcanzar también en esta investigación. A pesar de que el modelo presentado por el autor es para una fresadora casera comparte muchos principios que pueden ser tomados en cuenta para esta investigación.

Antecedente número 8.

Institución: Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Brasil

Título: Prototipo CNC: um novo recurso para ambientes maker como apoio didático ao ensino/aprendizagem em cursos de Robótica Educacional

Autores: Santos, Danrley Alves dos, Fonseca, Luis Carlos Costa, Pinto, Mauro Sérgio Silva, Ribeiro, Francisco Adelson Alves

Año: 2022

Los autores en este proyecto proponen la construcción de un prototipo CNC a un precio accesible. Con la finalidad de impulsar la enseñanza y el aprendizaje en los cursos de robótica educativa. Ellos dividieron el desarrollo del prototipo en 3 etapas.

La primera que mencionan es la preparación y selección de materiales y elementos mecánicos. Para la segunda etapa la selección del programa de control para la interpretación del código G. Y por último la configuración del programa para realizar las pruebas en los ejes de movimientos.

Como partes que podrían ser evaluadas para utilizar en este proyecto están la utilización del microcontrolador Arduino UNO. El controlador es capaz de recibir datos de sensores de manera digital y análoga. También se menciona una placa CNC escudo (shield) capaz de comunicarse con Arduino simplificando la instalación electrónica de los controladores de potencia, fuentes de energía y otros periféricos.

Con respecto al programa para controlar los movimientos de la máquina capaz de interpretar el lenguaje de programación mencionan varias alternativas de fuente abierta (Open Source), lo cual facilita el tema de compra de licencias reduciendo costos.

Antecedente número 9.

Institución: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS. México

Título: CONVERSIÓN DE UNA FRESADORA MANUAL A AUTOMÁTICA PARA USO DIDÁCTICO

Autores: SAMUEL PÉREZ GRANADOS

Año: 2022

Para este proyecto el objetivo principal es la conversión de una fresadora con avances manuales a control automático. Se muestra la parte teórica de que es el fresado y diferentes avances es sus respectivos ejes X, Y y Z. Tipos de movimientos como lo son corte y avances. Se hace mención a los diferentes tipos de fresadoras que hay.

Adicionalmente se mencionan los componentes que utilizan las máquinas CNC para producción industrial. De los cuales pueden ser tomados en cuenta para este proyecto el cambio automático de herramientas de corte y la línea hidrostática.

Mediante un diagrama de flujo se muestra la secuencia de maquinado en una fresadora CNC de manera que se visualiza fácilmente los procesos que se deben seguir.

La siguiente figura tomada de esta tesis muestra la secuencia del mecanizado CNC.

Figura 1

Secuencia de mecanizado CNC



Nota. Adaptado de Pérez Granados, S. (2022). Conversión de una fresadora manual a automática para uso didáctico (Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma del Estado de Morelos).

(<http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/2959?show=full>)

Antecedente número 10.

Institución: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Ecuador

Título: Automatización de una fresadora artesanal a control numérico, mediante un ordenador utilizando software

Autores: Roberto Washington Álava Navas, José Antonio Palacios Bauz

Año: 2014

En esta tesis los autores buscan convertir una fresadora artesanal que ellos llaman de esta manera en Ecuador a lo que en Costa Rica se conoce como fresadora convencional. Si finalidad es para un taller artesanal o con máquinas convencionales o manuales realizar la conversión de la máquina que se encuentra en un taller a CNC.

Se analizan cada uno de los componentes que deben ser modificados o añadidos para lograr realizar el cambio. Y logra cambiar los mandos manuales por mandos con motores de precisión. Dentro de los componentes que se mencionan se encuentran los motores de paso, servomotores, tarjetas controladoras de motores, fuentes de poder, tarjeta de corte y la computadora.

Todos estos estudios realizados son de peso para realizar esta investigación y utilizar como parte de los elementos requeridos para tener un estudio satisfactorio. Otros datos relevantes que son mencionados son las ventajas de las máquinas CNC con respecto a las convencionales. Señalan tres alternativas para la transformación de la máquina las cuales pueden ser evaluadas y tomadas en cuenta a lo largo del desarrollo de la presente investigación.

Antecedente número 11.

Institución: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Ecuador

Título: AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CNC PARA UNA FRESADORA VERTICAL TIPO TORRETA

Autores: ING. MARIO ALEJANDRO PÉREZ SEGURA

Año: 2015

En este trabajo el señor Pérez desarrolló un proyecto para la implementación de un sistema CNC para la pequeña industria en el cual hace una reseña histórica de las máquinas herramientas, sumado a esto menciona los diferentes tipos de control numérico computarizado y sus respectivos elementos de automatización. Además, cálculos de parámetros para el respectivo diseño y los equipos que se van a seleccionar para la investigación.

Toda la información mencionada es relevante para esta investigación, así como los mecanismos de transmisión de potencia y movimiento que el autor hace mención. También se adjuntan los posibles costos del proyecto, la inversión económica que se requiere para la implementación del sistema CNC en este caso para una fresadora vertical de torreta.

Dentro de las conclusiones del proyecto reflejan que se logran mejoras en los tiempos de producción, y que hay una mejora en los ingresos económicos del taller. Lo cual es parte fundamental que se quiere logra en el desarrollo de esta investigación.

También un detalle importante la versatilidad que puede tener la máquina al dejarla con capacidad de trabaja de modo tanto manual como automática. Esto posibilita que el personal que no esté capacitado para programar la máquina puede seguir haciendo uso de ella.

Antecedente número 12.

Institución: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MATANZA, Argentina

Título: Conversión de máquinas herramienta de accionamiento manual en centros de mecanizado CNC mediante la utilización de sistemas electrónicos embebidos.

Autores: Szklanny, Fernando Ignacio Maidana, Carlos Eduardo De María, Elio Augusto Rodríguez, Carlos Alberto Di Lorenzo, Roberto Carlos Sagarna, Gustavo H. Fourcade, Alejandro Gabriel Fiter, Jorge A. Cipollone, Mauro Ferreyra Birón, Martín Ortalda, Federico Gho, Edgardo

Año: 2017

En este proyecto se buscó implementar un sistema de control para máquinas herramientas considerando los últimos avances tecnológicos en el área de sistemas embebidos, para buscar una solución más simple y económica para las máquinas herramienta. Se buscó resolver el control numérico por medio de un sistema de control con base a microcontroladores programables integrados conocidos como sistemas embebidos.

En este documento se menciona interfaces de interés para el proyecto que pueden ser analizadas para su posible uso. Una de ellas es LinuxCNC y las placas Raspberry. Hay muchos aportes con respecto a la programación del control numérico. Los cuales podrían dar una guía para la programación que se va a requerir en el actual proyecto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

Mecanizado

Reseña Histórica

El mecanizado industrial nació a raíz de la máquina de vapor y la Revolución Industrial, pero los procesos a los que hace referencia encuentran su origen en la Prehistoria, en la que los humanos ya usaban procesos de piedra y madera para fabricar componentes. Más tarde, en el Antiguo Egipto, se realizaron taladros con mecanismos rotatorios integrados por palos y cuerdas para cortar, agujerear y dar forma a piedras y madera. Estos mecanismos se usaron más tarde para la conformación de piedras metálicas.

La mandrinadora de John Wilkinson, construida en el siglo XVIII, hacia 1774, fue la primera máquina-herramienta según algunos autores. Esta máquina aportó un corte mucho más preciso en las piezas de metal, sin el cual no hubiera sido posible fabricar la máquina de vapor de James Watt y, por lo tanto, la Revolución Industrial. La superficie interior del cilindro de la máquina de vapor requería una tolerancia en el mecanizado muy estrecha para que el vapor no se escapara por el lateral del pistón. (Planes, 2016)

Definición de mecanizado

El mecanizado es el conjunto de procesos industriales (corte, marcado, prensado, agujereado, etc.) realizados en una pieza de materia prima (generalmente metálica, pero también puede ser de cerámica, madera o plástico, entre otros) para darle una forma y tamaño final deseados limando el material sobrante de forma controlada.

Antes de la Revolución Industrial este tipo de procesos se hacían a mano en talleres de madera, de forja o cerámicos, entre otros, y no se conocían como mecanizado. A mediados del siglo XIX esta palabra se generalizó para describir lo que hoy conoceríamos como procesos tradicionales de mecanizado, en los que el torno tenía un papel esencial, al permitir mecanizar, roscar, cortar, agujerear, etc., piezas de diversos materiales haciéndolas girar sobre su eje.

Hoy, por mecanizado se entiende, generalmente, las técnicas de corte de metales, que han experimentado una gran evolución desde los tornos tradicionales hasta las llamadas

máquinas-herramienta de control numérico que tenemos en la actualidad, capaces de realizar operaciones de corte complejas mediante la ejecución de un programa.

Los procesos de mecanizado han ido mejorando con la aparición de nuevas máquinas, como tornos, fresadoras y taladros y los primeros estudios científicos sobre el corte de metales con las primeras relaciones entre energía consumida y material separado en el taladrado y los primeros experimentos que establecían cuáles eran las velocidades de corte y ángulos de filo recomendables para los procesos de mecanizado. Más tarde, los estudios como aquellos sobre la formación y la geometría de la viruta, sobre la fuerza de corte y sobre la influencia de los lubricantes, determinaron las mejoras posteriores.

La mayor parte de máquinas-herramienta convencionales usadas en la actualidad están diseñadas siguiendo los mismos principios que las versiones antiguas desarrolladas durante los dos últimos siglos, con algunos cambios cruciales la inclusión del control numérico que permitía realizar varias operaciones de corte a la vez en la misma máquina.

A raíz de la aparición de nuevos materiales a mecanizar, de mayor dureza y resistencia, se ha hecho necesario el mecanizado no convencional, que permite la obtención de geometrías complejas para las que no se pueden usar los procesos de mecanizado tradicional, como el torneado, el taladrado y el fresado. Ejemplos de este tipo de mecanizado es el mecanizado por electroerosión, ultrasónico y por chorro abrasivo.

Cada vez más vamos a procesos de mecanizado que mejoren la productividad del proceso sin perjudicar el acabado de las superficies mecanizadas y reduzcan la tolerancia y por lo tanto afinen la precisión, entre otros (Planes, 2016).

Operaciones de mecanizado

Las operaciones de mecanizado se suelen clasificar en torneado, taladrado y fresado, aunque también podemos incluir otras categorías como el perfilado, el cepillado, el aserrado, el taladrado y el brochado.

El torneado consiste en rotar la pieza de trabajo como principal movimiento, y se realiza generalmente en los tornos (la máquina es la que hace el movimiento de avance, al sujetar en el cabezal o fijar la pieza entre los puntos de centrado y, también la que hace el

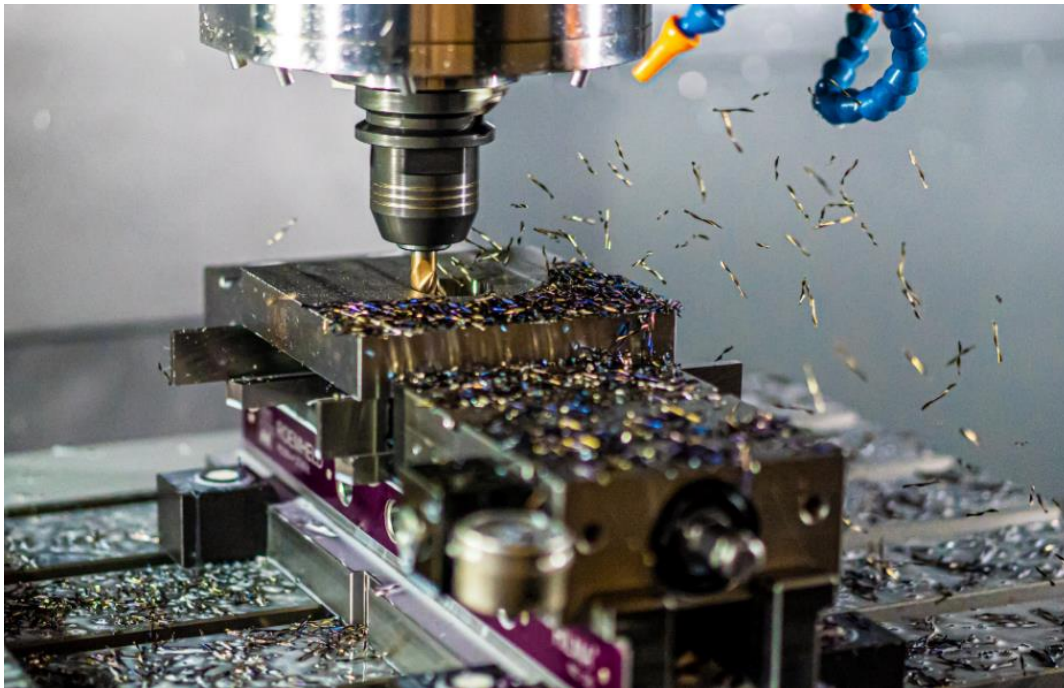
movimiento de corte con una o varias herramientas, que son empujadas hacia la superficie de la pieza).

El fresado consiste en hacer o pulir agujeros mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa (que es la que hace el movimiento de corte, mientras que la pieza hace el movimiento de avance, fijada sobre la mesa). El fresado se lleva a cabo generalmente con fresadoras, pero también puede hacerse con tornos o taladros.

El taladrado es una operación en la que una broca hace o pule agujeros de su mismo diámetro y de la profundidad deseada (la pieza es la que hace el movimiento de corte, giratorio, y también la que hace el movimiento de avance, linealmente). El taladrado suele hacerse mediante fresadoras, taladros o tornos (Planes, 2016).

Figura 2

Mecanizado de una placa metálica en una fresadora



Nota. Tomado de (¿Qué es el mecanizado? Definición, tipos y características, 2020)

Máquinas-herramienta

Reseña Histórica

Durante la historia de la humanidad con el pasar de los tiempos el progreso se ha visto directamente relacionado con el tipo de herramientas con las que se ha contado. Desde la prehistoria se han utilizado herramientas como lo fueron piedras para martillar o fabricación de armas para cazar.

En la época de la Revolución Industrial a mediados del siglo XVIII, se tuvo el desarrollo la mejora continua de las primeras máquinas-herramientas. El desarrollo de estas vio un rápido avance durante e inmediatamente después de la Segunda Guerra mundial, algunos procesos como los controles numéricos computarizado, procesos de electroerosión, el diseño asistido por computadora (CAD), la manufactura asistida por computadora (CAM), entre otros han modificado de gran manera los procesos de fabricación. (Steve F. Krar, 2002)

Definición de Máquina-Herramienta

Una definición rápida es que son por lo general máquinas de potencia para corte o conformación de metales las cuales son utilizadas para darle forma a los metales mediante diferentes procesos como:

- Eliminación de virutas.
- Prensado, corte o estirado.
- Procesos de maquinado eléctrico controlado.

Las máquinas-herramientas generalmente son capaces de:

- Sujetar y apoyar piezas de trabajo.
- Sujeción y apoyo de las herramientas de corte.
- Movimientos adecuados ya sean rotatorios o reciprocales a la herramienta de corte o a la pieza que se va a trabajar.
- El avance de la herramienta de corte o la pieza de manera tal que se logre el corte y la precisión que se requiera.

Las máquinas-herramientas están en la rama de la metalmecánica y está dividida en tres clases principales. Para el interés de este proyecto cabe destacar la de las máquinas productoras de viruta, las cuales transforman el metal a el tamaño y forma que se desea. Esto se logra retirando el material no deseado.

Puntos importantes que destacan el desempeño de una máquina-herramienta son:

- La velocidad con que remueve el metal.
- La exactitud.
- La capacidad de repetición.

Factores importantes que afectan la velocidad con que el metal es removido son:

- La velocidad de corte.
- La rapidez del avance.
- La profundidad del corte.

Por otro lado, la exactitud está determinada por la precisión que tenga la máquina para posicionar la herramienta de corte en una ubicación dada. Y por último la capacidad de repetición depende de la aptitud de la máquina para posicionar la herramienta de corte consistentemente en cualquier ubicación que se le dé.

En la figura 1 se puede observar cómo gracias a las máquinas-herramientas se logra el progreso material, siendo las máquinas herramientas las encargadas de producir más máquinas y más herramientas las cuales son utilizadas para manufacturar una gran variedad de productos (Steve F. Krar, 2002).

Figura 3

Las máquinas-herramientas producen máquinas y herramientas para la manufactura de todo tipo de productos.



Nota. Adaptado de Tecnología de las Máquinas Herramienta, 5a Edición. (Steve F. Krar, 2002)

Mecánica de precisión

Es una especialidad del área metalmecánica que se encarga de la fabricación, diseño y reparación de elementos mecánicos para el sector industrial, transporte, aeroespacial, médico entre otros.

Para ello se emplean máquinas herramientas, herramientas de corte y de medición para garantizar que el producto a fabricar cumpla con las especificaciones establecidas en el plano de fabricación (User, 2022).

Taller de mecánica de precisión

Es aquél que contiene una cierta cantidad de máquinas-herramientas básicas para lograr como resultado la producción de una gran variedad de piezas de metal. Dentro de las operaciones que se realizan en un taller de mecánica de precisión podemos encontrar:

- Torneados exteriores e interiores
- Taladrados
- Rimados
- Fresados
- Esmerilados
- Rectificados

Algunas de las máquinas herramientas básicas de un taller son, taladros verticales, tornos, sierras mecánicas, fresadoras y rectificadoras (Steve F. Krar, 2002).

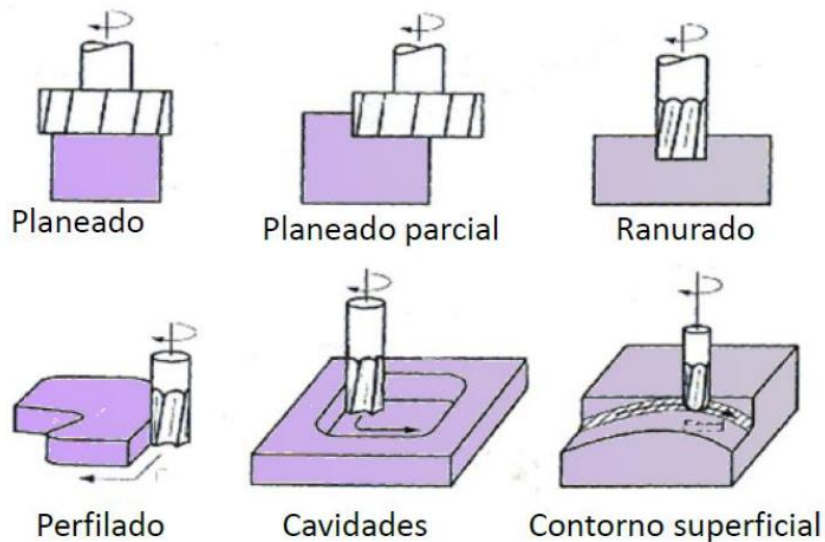
Fresadoras Convencionales

Existen varios tipos de fresadoras entre las más utilizadas están la fresadora horizontal y la fresadora vertical. Ambas máquinas utilizan una o más herramientas de corte como lo son las fresas o cortadores giratorios las cuales pueden tener uno o varios filos cortantes. Las piezas que se van a trabajar deben sujetarse en una prensa de tornillo o en algún aditamento que le permita quedar fijado a la mesa.

Este tipo de maquinarias si se encuentran equipadas con los accesorios apropiados son capaces de realizar operaciones, como taladrado, escariado, barrenado. Además, se puede lograr trabajar sobre los materiales logrando superficies planas, contornos, ranuras, dientes de engranes y formas helicoidales (Steve F. Krar, 2002).

Figura 4

Operaciones básicas de fresado vertical



Nota. Adaptado de Manual de prácticas (INGENIERIA MECÁNICA E INDUSTRIAL, s.f.).

Las fresadoras convencionales se caracterizan por ser utilizadas de forma manual, mediante manivelas con nonios (escalas para ver el avance), de manera que el operario pueda mover los ejes de la máquina al girarlas. Algunos modelos de fresadoras convencionales cuentan con un avance automático en alguno de sus ejes, el cual el operario activa por medio de un engranaje al eje para que se mueva de manera automática sin necesidad de mover las manivelas. Otro accesorio que puede ser instalado en una fresadora convencional son los visualizadores de cotas. (Trapero, 2020)

Estructura de una fresadora convencional

Las fresadoras convencionales tienen una estructura en forma de C sobre la que se distribuyen los elementos de la máquina. La característica más importante de la estructura de la fresadora es la rigidez, para soportar las fuerzas del fresado sin deformarse y mantener las tolerancias de la pieza.

Las fresadoras clásicas, horizontales u horizontales suelen tener una mesa de coordenadas (X e Y) que se mueve de arriba a abajo en el eje Z sobre un soporte rígido que se llama consola. Las fresadoras más modernas y los centros de mecanizado vertical suelen tener el eje X e Y estacionario y es el cabezal (no la pieza) el que se mueve de arriba a abajo en unas guías independientes. Ambas comparten una estructura similar en C.

Las estructuras que soportan fuerzas de una fresadora se suelen fabricar por fundición (piezas de hierro fundido) para obtener piezas muy pesadas y rígidas que mantienen la forma de la fresadora y absorben las vibraciones. También existen marcos de acero soldado, que por lo general son menos rígidos (Trapero, 2020).

Figura 5

Fresadora convencional



Nota. Adaptado de (Capris | Más que solo herramientas | CAPRIS, s.f.).

Ejes de trabajo de una fresadora convencional

En una fresadora, como en cualquier máquina herramienta, los ejes de trabajo y los movimientos de desplazamiento son fundamentales para un buen mecanizado. El

desplazamiento puede realizarlo la herramienta de corte, la pieza o la mesa de trabajo. En el caso de la fresadora, la fresa suele permanecer sujeta al cabezal que se mantiene fijo. En estas máquinas, la fresa tiene un movimiento rotativo, pues gira sobre su propio eje.

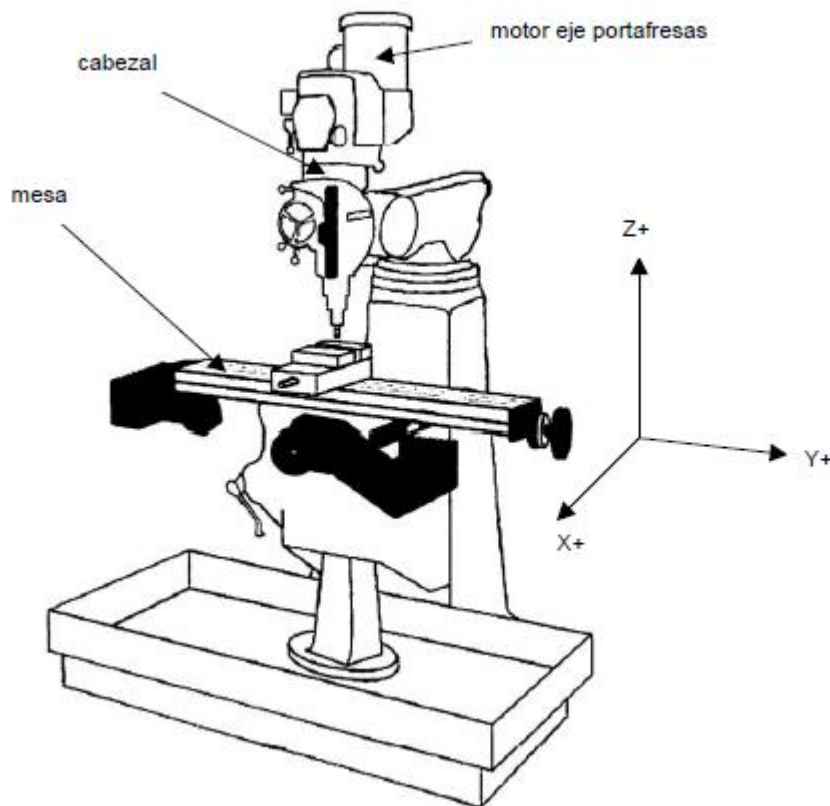
Aunque la herramienta permanezca fija y solo gire sobre su eje, algunos tipos de fresadoras permiten la variación del ángulo de inclinación de la fresa. También admiten prolongar la posición de esta respecto del eje sobre el que gira.

El movimiento más básico y que realizan todas las fresadoras es el longitudinal. Este desplazamiento se realiza sobre el eje X. Para que este movimiento sea eficaz, la pieza debe sujetarse firmemente a la mesa a través de mordazas. Este movimiento también puede utilizarse para tallar ángulos. Además del desplazamiento longitudinal, las fresadoras están dotadas con un movimiento transversal respecto del eje Y. Es sencillo y básico, pues se utiliza para posicionar, de forma correcta, a la fresadora respecto de la pieza. El tercer movimiento es el vertical y se realiza sobre el eje Z. Este tipo de desplazamiento se utiliza para determinar la profundidad de corte.

Ahora bien, también existen movimientos de giro que pueden ser respecto del eje longitudinal o del eje vertical. El giro longitudinal es posible gracias a un cabezal divisor o si se utiliza una mesa oscilante; por su parte, el vertical se produce cuando la mesa puede girar por completo o en ángulos de hasta 45 grados (MyContent, 2022).

Figura 6

Ejes y direcciones de movimientos de una fresadora convencional



Nota. Adaptado de (Zúñiga, 2003).

Herramientas de corte para una fresadora

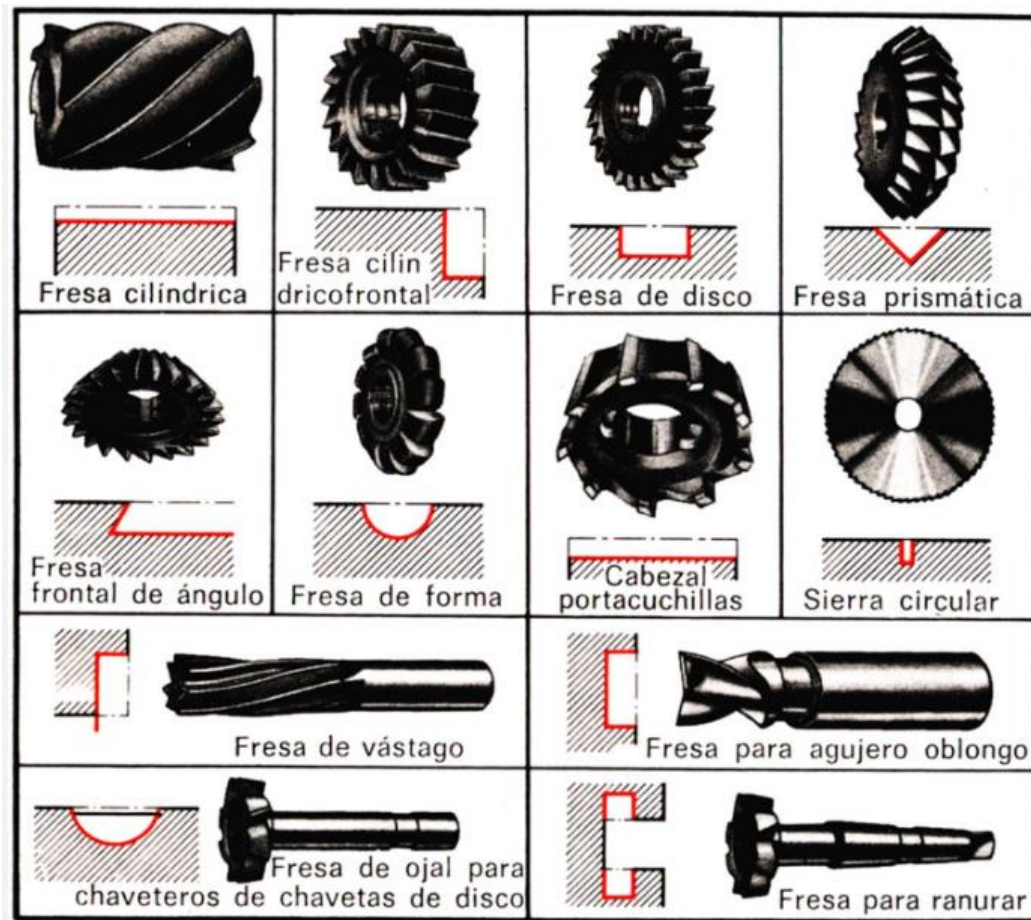
Las fresas van provistas en su periferia, o también en su cara frontal, de dientes o de cuchillas. Son útiles de varios filos y tienen respecto a los útiles de un solo filo, para cepillar y para torneado, la ventaja de que no se calientan tanto y de que tampoco se embotan tan rápidamente. Cada filo está cortando nada más que una fracción del tiempo que dura su revolución y durante el resto del tiempo se vuelve a enfriar.

También en el fresado, el material a trabajar y el tipo del trabajo, determinan los ángulos de filo. Estos dependen además del procedimiento de fresado. En el fresado paralelo

el ángulo de filo es más puntiagudo; el ángulo de ataque tiene que ser más empinado (20 a 22°). El ángulo de incidencia se elige de 6°. Las fresas para metales ligeros van provistas, con objeto de conseguir un buen arranque de viruta, de huecos entre dientes especialmente grandes y redondeados. Para materiales duros se emplean fresas con muchos dientes, lo cual lleva consigo la existencia de huecos pequeños entre diente y diente: arrancan sólo virutas pequeñas (*HERRAMIENTAS DE CORTE PARA LA FRESADORA*, 2011).

Clases de fresas

“Según la forma de sus dientes se distingue entre fresas de dientes puntiagudos, por ejemplo: fresas cilíndricas y fresas destalonadas” (*HERRAMIENTAS DE CORTE PARA LA FRESADORA*, 2011).

Figura 7*Tipos de fresas*

Nota. Adaptado de (HERRAMIENTAS DE CORTE PARA LA FRESADORA, 2011).

Partes esenciales de una fresadora convencional

Las partes esenciales de una fresadora convencional según lo menciona (*¿Qué es una fresadora y que tipos existen?*, 2018) son:

Mesa de trabajo.

Por lo regular en la mesa de trabajo se coloca una mordaza para sujetar la pieza.

Figura 8

Mesa de trabajo de una fresadora convencional



Ingeniería Mecafenix

Nota. Adaptado de (*¿Qué es una fresadora y que tipos existen?*, 2018).

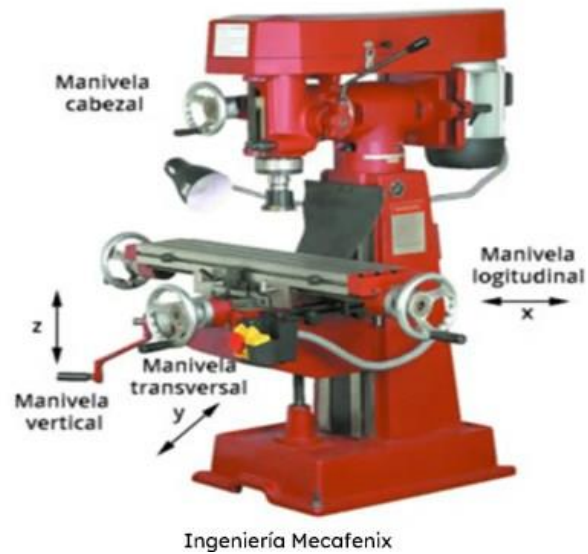
Manivelas.

- Vertical: Esta manivela ejerce un movimiento en el eje vertical o eje Z.
- Manivela longitudinal: Este mecanismo desplaza la mesa de trabajo en el eje X.
- Manivela transversal: La mesa de trabajo se desplaza en el eje Y.

- Manivela de cabezal: Esta manivela como su nombre lo indica sirve para desplazar al cabezal en el eje vertical.

Figura 9

Manivelas de una fresadora convencional



Nota. Adaptado de (¿Qué es una fresadora y que tipos existen?, 2018)

Cabezal.

El cabezal es el dispositivo donde se coloca la herramienta de corte.

Figura 10

Cabezal de una fresadora convencional



Nota. Adaptado de (¿Qué es una fresadora y que tipos existen?, 2018)

Motor.

Prácticamente es la parte más importante de la fresadora ya que este genera el movimiento giratorio de la herramienta de corte.

Figura 11

Motor de una fresadora convencional



Ingeniería Mecafenix

Nota. Adaptado de (¿Qué es una fresadora y que tipos existen?, 2018).

Máquinas con Control Numérico Computarizado (CNC)**Reseña Histórica**

La explosiva expansión industrial desde comienzos del siglo XX y el empleo masivo de maquinaria impulsada por energía motriz demandó una búsqueda constante de procesos cada vez más eficientes. Hasta hace unos 60-65 años, la mano de obra requerida en las tareas industriales era densa, lo cual no sólo exigía enormes dotaciones de obreros, sino que además afectaba la calidad, precisión y repetición, encarecía los costos y disminuía la producción.

Es así como ya entrada la década del '50 se introdujo en Estados Unidos el concepto de control numérico (CN) en una fresadora, que usaba tecnología de válvulas de vacío y la carga de datos se realizaba mediante tarjetas perforadas. Ya en los años '60 las válvulas de vacío eran reemplazadas por transistores, hasta que la introducción de las computadoras en la década del '70 sentó las bases definitivas de lo que hoy conocemos como tecnología del control numérico computarizado (CNC).

Los microprocesadores revolucionaron el mundo del control numérico, permitiendo integrar prestaciones tales como, entre otras, ayudas avanzadas de la programación, presentación gráfica de la trayectoria de la herramienta, subprogramas y ciclos fijos, y comunicaciones e integración en redes. A comienzos de los '90 se introdujo la tecnología de control numérico abierto, que posibilita su personalización y la incorporación de conocimientos propios, programación gráfica interactiva, comunicación digital con los accionamientos y otro nutrido etcétera que nos ofrece las notables ventajas actuales de la maquinaria CNC. (*Introducción a la tecnología CNC*, 2015)

Funcionamiento del Control Numérico Computarizado

El funcionamiento del control numérico computarizado se basa en el posicionamiento sobre los ejes X, Y y Z. A partir de estos tres ejes, se pueden realizar diferentes trabajos de mecanizado automático en una pieza. Los más habituales son el corte, el taladrado, el fresado, el roscado o el desbastado.

La primera tarea que se lleva a cabo es el diseño de la pieza por ordenador mediante el programa CAD.

Cuando ya se dispone del diseño final, el operario se dirige al panel de control de la máquina de mecanizado para indicarle las órdenes necesarias para la fabricación de la pieza. Los movimientos que realizará la máquina se integran en el CNC por medio de unos códigos con diversas claves determinadas.

Cada máquina tiene su propio programa diferente de CNC. Los tornos y las fresadoras son las máquinas de mecanizado más habituales. Pero, dentro de ellas, hay una serie de tipos que realizan trabajos diferentes con piezas específicas. El control numérico computarizado puede ser diferente en todas estas herramientas (Fresneda, 2022).

Programas de diseño asistido por computadora (CAD)

Los programas de diseño asistido por computadora (Computer-Aided Design), mayormente conocido por las siglas CAD, son programas para crear y editar modelos bidimensionales y tridimensionales de objetos físicos.

Existe una gran variedad de sectores en los que se utiliza CAD de manera muy regular, sobre todo en ingenierías, civil o aeronáutica, pero también lo usan arquitectos o la industria de la automoción, entre otros.

Esta tecnología permite la agilización del trabajo, automatizando los procesos manuales del proceso de diseño de producto, reduciendo errores, ganando velocidad y aumentando la calidad. Con esto las empresas consiguen así una mayor eficacia y productividad, puesto que permite visualizar de manera previa el producto final y además jugar de una forma interactiva con diferentes diseños, sin necesidad de crear un número elevado de prototipos.

Existen 2 tipos de software CAD, el 2D y el 3D. El primero de ellos, CAD 2D trabaja con dibujos técnicos bidimensionales simples que suelen ser la base para otros proyectos mayores, en cambio el 3D permite crear dibujos tridimensionales con mayor precisión y detalle y que además muestran el espacio de trabajo y la profundidad, por lo que ofrece una visión más real de los objetos.

En el momento en el que se interpretan dichos dibujos técnicos y se crean instrucciones para que las máquinas puedan crear los productos, aparece el programa de fabricación asistida por computadora (*Qué es CAD, para qué sirve y qué ventajas tiene*, 2019).

Programas de manufactura asistidos por computadora (CAM)

El mecanizado CAM es un término inglés que define la fabricación asistida por ordenador (computer-aided manufacturing) para controlar, entre otras aplicaciones, máquinas-herramienta CNC (por ejemplo, un torno o una fresadora) en la fabricación de piezas manufacturadas, como puede ser un perfil de tubo o una plancha de metal, y prototipos.

Se trata de software que hace de puente entre la tecnología CAD (computer-aided design), responsable de los diseños de planos 2D y 3D de piezas que conocemos) y el lenguaje de programación de las máquinas-herramienta (las líneas de palabras CNC que dan instrucciones cuando forman frases) para fabricar las piezas diseñadas. El CAM utiliza los modelos y ensamblajes creados en el software CAD para generar las trayectorias de las herramientas dirigidas por las máquinas, y así convertir los diseños en planos virtuales en partes físicas.

El CAM existe prácticamente desde que existen ordenadores. Sin él, habría que transformar el diseño CAD en líneas de palabras CNC a mano, directamente en la máquina (qué eje debe trabajar, con qué velocidad de avance, con qué velocidad de cabezal, etc. para llevar a cabo el diseño).

El mecanizado CAM ha simplificado mucho el proceso de programación en el mecanizado, al requerir solamente que el operario especifique en el software las opciones de mecanizado a llevar a cabo para volcar las frases y programas en código g (g-code).

Hay una gran variedad de software de mecanizado CAM, que generalmente incluye también la parte de diseño CAD o integración con ella, que se puede usar con cualquier máquina herramienta de la actualidad (Planes, 2017).

Lenguaje de programación Código G y M

La programación nativa de la mayoría de las máquinas de Control Numérico Computarizado se efectúa mediante un lenguaje de bajo nivel llamado G & M.

Se trata de un lenguaje de programación vectorial mediante el que se describen acciones simples y entidades geométricas sencillas (básicamente segmentos de recta y arcos de circunferencia) junto con sus parámetros de maquinado (velocidades de husillo y de avance de herramienta).

El nombre G & M viene del hecho de que el programa está constituido por instrucciones Generales y Misceláneas.

Si bien en el mundo existen aún diferentes dialectos de programación con códigos G&M, se dio un gran paso adelante a través de la estandarización que promovió la ISO.

Esta estandarización fue adoptada por la totalidad de los fabricantes industriales serios de CNC y permite utilizar los mismos programas en distintas máquinas CNC de manera directa o con adaptaciones menores.

A pesar de tratarse de un lenguaje de programación muy rudimentario para los gustos actuales, lo robusto de su comportamiento y los millones de líneas de programación que hacen funcionar máquinas de CNC en todas las latitudes del planeta aseguran su vigencia en los años por venir (*Programación de máquinas de CNC con códigos G&M*, s. f.).

Tabla 1*Lista de códigos G para fresadora CNC*

Código	Función
G00	Travesía rápida
G01	Interpolación lineal
G02	Interpolación circular en sentido horario
G03	Interpolación circular en sentido contrario a las agujas del reloj
G20	Entrada de datos en Sistema Inglés (pulgadas)
G21	Entrada de datos en Sistema Métrico Decimal (mm)
G28	Regresa al punto de referencia
G40	Cancela compensación del cortado
G41	Compensación izquierda del cortador
G42	Compensación derecha del cortador
G90	Sistema de coordenadas absoluto
G91	Sistema de coordenadas incremental
G94	Avance por minuto
G95	Avance por revolución

Nota. Códigos G de programación y sus respectivas funciones. Adaptado de (Cedillo, 2022)

Tabla 2

Lista de códigos M para fresadora CNC

Código	Función
M02	Reinicio del programa
M03	Movimiento del husillo en sentido horario
M04	Movimiento del husillo en sentido contrario a las agujas del reloj
M05	Paro del husillo
M06	Cambio de herramienta
M08	Aspersión del refrigerante
M09	Desactiva refrigerante
M98	Llamada subprograma
M99	Finalización de subprograma

Nota. Códigos M de programación y sus respectivas funciones. Adaptado de (Cedillo, 2022).

Fresadora CNC

Una fresadora CNC, a diferencia de las fresadoras tradicionales, funciona por control numérico computarizado. Es una máquina que cuenta con una herramienta de corte llamada fresa y que, gracias a sus múltiples filos, lleva a cabo el mecanizado por arranque de viruta. El control numérico computarizado, que data de mediados del siglo XX, ha supuesto una revolución para la industria de los mecanizados.

Gracias a esta tecnología las fresadoras funcionan de forma automática y con la mínima intervención humana. Una fresadora CNC permite la automatización de los procesos productivos, pero también es capaz de mecanizar piezas con diseños complejos que no podrían mecanizarse en otras máquinas herramientas; por ejemplo, para hacer una pieza compleja, sin la ayuda del CNC, es necesario pasar la pieza por múltiples máquinas hasta conseguir el resultado deseado. Esto supone más tiempo y aumento de la mano de obra.

Es así como una fresadora CNC permite la optimización de la producción, pero también aporta precisión, rapidez, seguridad, versatilidad y reducción de los desechos del material (*Fresadora CNC funcionamiento y características*, 2022).

Figura 12*Fresadora CNC*

Nota. Adaptado de (Fresadora CNC M-5 | Somos fabricantes | Travis CNC, s. f.).

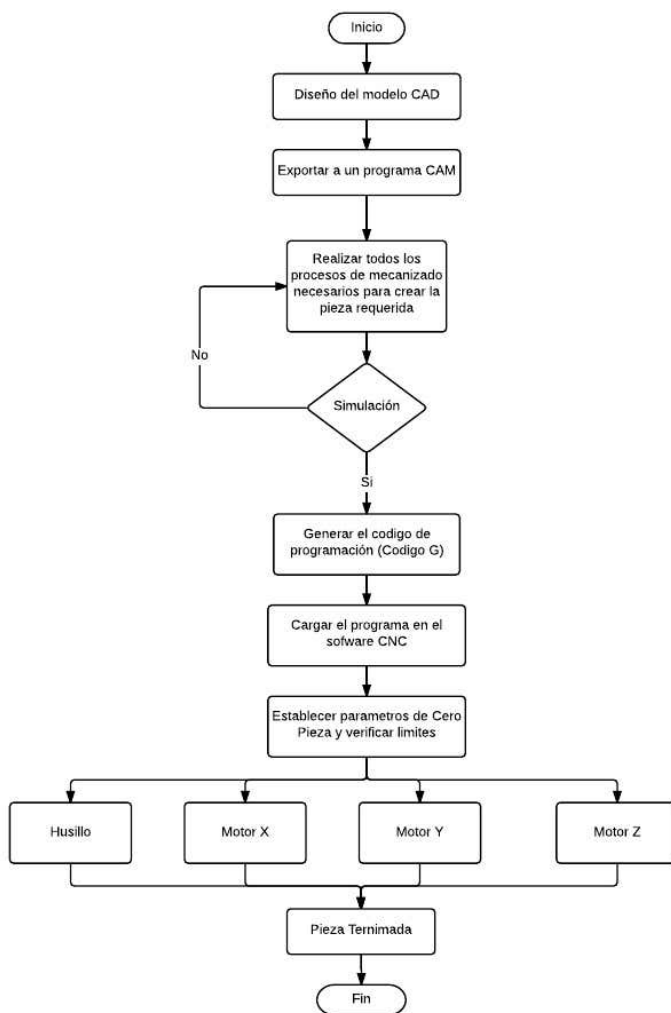
Funcionamiento de la fresadora CNC

Las fresadoras CNC cuentan con un ordenador que es el responsable de ejecutar todos los movimientos que la fresadora tiene que hacer. En lo que respecta a la fresadora CNC y su funcionamiento, el ordenador de la máquina juega un papel crucial. Antes de colocar la pieza en la fresadora, es necesario hacer un diseño previo de dicha pieza en un ordenador. Este diseño se hace utilizando un software específico, CAD. Después, el diseño creado por CAD se traslada a CAM, que es otro software capaz de traducir ese diseño por ordenador a una pieza física.

Cuando el diseño está listo, es momento de poner a la fresadora CNC en funcionamiento. Se precarga el diseño (en formato alfanumérico) al ordenador de la máquina. Se programa el ordenador y se coloca la pieza a mecanizar. Entonces, la fresa se acerca a la superficie de la pieza a mecanizar y se realiza el arranque de virutas. Al contar con la posibilidad de rotación, la fresa puede acceder a distintos ángulos de la pieza para realizar mecanizados muy complejos (*Fresadora CNC funcionamiento y características*, 2022).

Figura 13

Diagrama de flujo para de un mecanizado CNC.



Nota. Adaptado de (Carrillo, s. f.)

Componentes de una fresadora CNC

Husillos de bolas

La transmisión de husillo de bolas es un conjunto que convierte el movimiento giratorio en movimiento lineal (o viceversa). Comprende un husillo de bolas y una tuerca de bolas empaquetados en un conjunto con rodamientos de bolas que vuelven a circular. La interfaz entre el husillo de bolas y la tuerca de bolas se realiza mediante rodamientos de bolas que ruedan en hormas que concuerdan con las bolas. Con los elementos rodantes, la transmisión de husillo de bolas tiene un coeficiente de fricción sumamente bajo y tiene típicamente una eficiencia del 90%. Las fuerzas transmitidas se distribuyen entre un gran número de rodamientos de bolas, lo cual, comparativamente, produce una carga relativa baja por bola (*Husillo de bolas con tuerca*, s. f.).

Es una transmisión mecánica que convierte el movimiento de rotación de eje del servomecanismo en movimiento lineal a lo largo de los ejes X, Y, Z.

La transmisión de husillo de bola consiste en un tornillo y la tuerca de acero negro de baja aleación.

El tornillo se hace con diferente paso de rosca de 5 a 40 mm, el valor de los cuales es importante para lograr la velocidad de desplazamiento deseada.

Tuerca en el perímetro de su cuerpo de acero instalado sobre un manguito de caucho y plástico especial, tiene varias cadenas de bolas de acero de pequeño diámetro. El diseño y la calidad de estas bolas afectan en gran medida la precisión de posicionamiento en el movimiento progresivo.

Al girar el eje de servomotor, tornillo de la transmisión con el embrague comienza el movimiento de rotación. Hay un embrague de bolas de la tuerca, que están empezando a moverse a lo largo de la rosca y la tuerca lleva adelante el movimiento a lo largo del tornillo.

En la mayoría de los casos, el tornillo se encuentra entre dos carriles de guías lineales con carros. Con la tuerca está montada una plataforma especial que impulsa el carro a lo largo de los carriles (*Husillos de bolas de los fabricantes líderes Hiwin y SBC en España. Comprar husillos de bolas en España con entrega gratis*, s. f.).

Figura 14

Tornillo de Bolas



Nota. Adaptado de (Husillos de bolas de los fabricantes líderes Hiwin y SBC en España.

Comprar husillos de bolas en España con entrega gratis, s. f.-b).

Servomotor

Un servomotor es un actuador rotativo o motor que permite un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad, capacidades que un motor normal no tiene. En definitiva, utiliza un motor normal y lo combina con un sensor para la retroalimentación de posición.

Pero, los servomotores no son en realidad una clase específica de motor, sino una combinación de piezas específicas, que incluyen un motor de corriente continua o alterna, y son adecuados para su uso en un sistema de control de bucle cerrado.

Por lo que una definición más exacta de un servomotor sería la de un servomecanismo de bucle cerrado que utiliza la retroalimentación de posición para

controlar su velocidad de rotación y posición. La señal de control es la entrada, ya sea analógica o digital, que representa el comando de posición final para el eje.

Por otro lado, el codificador (encoder) sirve como sensor, proporcionando retroalimentación de velocidad y posición. En la mayoría de los casos, sólo se informa de la posición. La posición final se informa al controlador y se compara con la entrada de posición inicial, y luego, si hay una discrepancia, se mueve el motor para llegar a la posición correcta.

Hay varios tipos de servos como los que utilizan motores de corriente continua y detección de posiciones a través de un potenciómetro y también utilizan un control de gran potencia, lo que significa que el motor se mueve a la velocidad máxima hasta que se detiene en la posición designada.

En cambio, los servos para uso industrial disponen de sensores de posición y velocidad, así como de algoritmos de control proporcional-integral-derivativo, lo que permite llevar el motor a su posición de forma rápida.

Este tipo de dispositivos están disponibles en una gran variedad de tipos, formas y tamaños. El término servo fue utilizado por primera vez en 1859 por Joseph Facort, que implementó un mecanismo de retroalimentación para ayudar a controlar los timones de un barco con vapor.

Los servomotores se controlan enviando un pulso eléctrico de ancho variable, o modulación de ancho de pulso (PWM), a través del cable de control. Hay un pulso mínimo, un pulso máximo y una frecuencia de repetición.

Por lo general, un servomotor sólo puede girar 90° en cualquier dirección para un movimiento total de 180° . La posición neutra del motor se define como la posición en la que el servo tiene la misma cantidad de rotación potencial tanto en el sentido de las agujas del reloj como en el sentido contrario.

El PWM enviado al motor determina la posición del eje, y se basa en la duración del pulso enviado a través del cable de control; el rotor girará a la posición deseada.

El servomotor espera ver un pulso cada 20 milisegundos (ms) y la longitud del pulso determinará hasta dónde gira el motor. Por ejemplo, un pulso de 1.5ms hará que el motor gire a la posición de 90° .

Si el tiempo es inferior a 1,5 ms, se mueve en sentido contrario a las agujas del reloj hacia la posición de 0°, y si el tiempo es superior a 1,5 ms, el servo girará en sentido de las agujas del reloj hacia la posición de 180°.

Cuando se les ordena a los servos que se muevan, estos se moverán a la posición y mantendrán esa posición. Si una fuerza externa empuja contra el servo mientras el servo mantiene una posición, el servo se resistirá a salir de esa posición.

La cantidad máxima de fuerza que puede ejercer el servo se denomina par de torsión del servo. Sin embargo, los servos no mantendrán su posición para siempre; el pulso de posición debe repetirse para indicar al servo que se mantenga en posición.

Los servos incluyen tres componentes principales: un motor, un variador (también conocido como amplificador) y un mecanismo de retroalimentación. También se incluye típicamente una fuente de alimentación y un servo-controlador capaz de controlar un solo eje o coordinar el movimiento de varios ejes.

Los servomotores pueden ser de tipo CA o CC, siendo los servomotores CA los más adecuados para aplicaciones de velocidad constante y los servomotores CC para aplicaciones de velocidad variable.

La retroalimentación es proporcionada normalmente por un codificador (encoder), ya sea interno o externo al motor- o por un resolver. En aplicaciones que requieren un posicionamiento muy preciso, se pueden utilizar dos dispositivos de retroalimentación: uno en el motor para verificar el rendimiento del motor y otro en la carga para verificar la posición real de la carga.

Un servo accionamiento amplifica la señal de un controlador maestro proporcionando la suficiente corriente (potencia) al motor para generar velocidad y producir par. En un motor rotativo, la corriente es proporcional al par, por lo que el servomotor controla directamente el par producido por el motor.

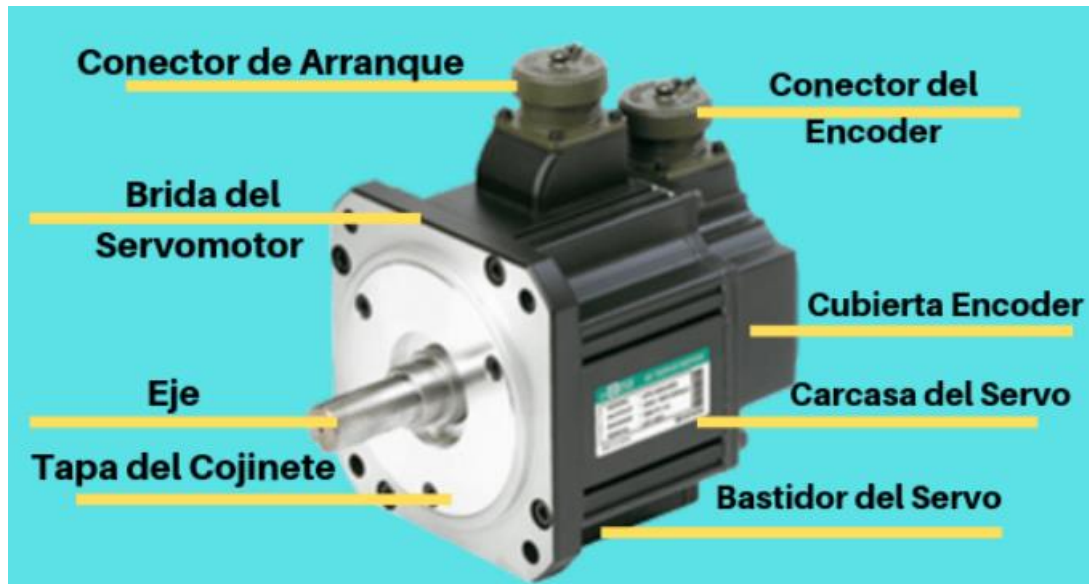
Del mismo modo, en un motor lineal, la corriente es proporcional a la fuerza, por lo que el accionamiento controla la fuerza producida por el motor.

Los servomotores se utilizan en aplicaciones que requieren variaciones rápidas de velocidad y, que podrían provocar un calentamiento excesivo del motor como en la robótica

industrial, en la fabricación con sistemas de automatización y en aplicaciones de mecanizado de control numérico (CNC) por ordenador, entre otras (*Qué es un Servomotor y para qué sirve*, 2022).

Figura 15

Servomotor y sus partes



Nota. Adaptado de (*Qué es un Servomotor y para qué sirve*, 2022)

Servo-controlador

El servo controlador (también conocido como controlador de movimiento) puede ser considerado como el cerebro del sistema del servomotor. Aquí es donde reside el perfil de movimiento, incluyendo la aceleración, velocidad y deceleración deseadas.

El controlador envía señales al convertidor, lo que hace que el motor ejecute el movimiento deseado. También tiene la importante tarea de cerrar el bucle en el sistema leyendo la retroalimentación del codificador (encoder) y modificando la señal al motor (a través del convertidor) para corregir cualquier error en la posición real frente a la deseada, velocidad o par (*Qué es un Servomotor y para qué sirve*, 2022).

El circuito de control es la parte más importante del sistema del servo-control. Ha sido diseñado específicamente para este propósito. No solo aporta la potencia necesaria al

servomotor, además de alimentar a este, actúa de intérprete y ejecuta las órdenes de movimiento programadas o recibidas externamente.

El controlador envía señales de baja tensión referente a la posición y la velocidad que se necesita al servoamplificador, estos comandos son amplificados a una alta potencia para que el motor pueda usarla. Las señales eléctricas del sensor del servomotor se devuelven al amplificador, este amplificador utiliza información para controlar la velocidad y la posición del rotor. La función del servo-controlador es completar el bucle del sistema. Al intercambiar constantemente datos con el servoamplificador, los parámetros del motor, ya sea la velocidad, el par o el torque, se ajustan inmediatamente (*¿Qué es un servomotor? ¿Cómo funciona?* •, 2022).

Figura 16

Servo-controlador



Nota. Adaptado de (NXD20-A Servo Motor Driver (Single-Phase 100-115 VAC), s. f.)

Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación es el equipo que se encarga de transformar la corriente alterna (AC), que es la corriente que proviene directamente de la línea eléctrica, en corriente

continua (DC), que es la que necesitan la mayoría de los dispositivos para funcionar correctamente. Es la encargada de proporcionar los distintos voltajes que cada componente requiere.

Todos los dispositivos que necesiten una corriente continua deben tener una fuente de alimentación entre ellos y la corriente eléctrica.

Figura 17

Fuente de alimentación para CNC



Nota. Adaptado de (48V 7.3A Power Supply | Avid CNC, s. f.).

Controlador Lógico Programable (PLC)

Un autómata programable o PLC es un sistema de control informático industrial que supervisa continuamente el estado de los dispositivos de entrada y toma decisiones basadas en un programa personalizado para controlar el estado de los dispositivos de salida.

Estos controladores pueden automatizar un proceso específico, una función de la máquina o incluso toda una línea de producción.

Casi cualquier línea de producción, función de la máquina o proceso puede mejorarse en gran medida utilizando este tipo de sistema de control. Sin embargo, el mayor beneficio en el uso de un PLC es la capacidad de cambiar y replicar la operación o el proceso mientras se recoge y se comunica la información vital.

El autómata programable o PLC recibe información de los sensores o dispositivos de entrada conectados, procesa los datos y activa las salidas basándose en parámetros programados.

Dependiendo de las entradas y salidas, un PLC puede monitorear y registrar datos de tiempo de ejecución como la productividad de la máquina o la temperatura de funcionamiento, iniciar y detener automáticamente los procesos, generar alarmas si una máquina no funciona correctamente, y más.

Los controladores lógicos programables son una solución de control flexible y fijo, adaptable a casi cualquier aplicación.

Un programa de PLC se instala normalmente en un ordenador y luego se descarga al controlador.

Lógica de escalera (Ladder Logic) es el lenguaje de programación tradicional. Imita diagramas de circuito en escalera de lógica leídos de izquierda a derecha. Cada peldaño representa una acción específica controlada por el PLC, partiendo de una entrada o serie de entradas (contactos) que dan como resultado una salida (bobina).

Debido a su naturaleza visual, la lógica de escalera (Ladder Logic) puede ser más fácil de implementar que muchos otros lenguajes de programación.

Por otro lado, el Diagrama de Bloques de Funciones (FBD) es otro de los lenguajes de programación oficiales y extensamente utilizados para PLC. Es una forma sencilla y gráfica de programar cualquier función de forma conjunta en un programa de autómatas programables. El diagrama de bloques de funciones es fácil de aprender y ofrece muchas posibilidades.

Algunos fabricantes de PLC suministran software propio de programación para el control de sus dispositivos de marca.

La CPU del PLC almacena y procesa los datos del programa, pero los módulos de entrada y salida conectan el PLC con el resto de la máquina; estos módulos de E/S son los que proporcionan información a la CPU y activan resultados específicos.

Las E/S pueden ser analógicas o digitales; los dispositivos de entrada pueden incluir sensores, interruptores y medidores, mientras que las salidas pueden incluir relés, luces, válvulas y variadores. Los usuarios pueden mezclar y combinar las E/S de un PLC para obtener la configuración adecuada para su aplicación (*Qué es un Autómata Programable o PLC y cómo funciona*, 2022).

Figura 18

Ejemplo de un PLC LOGO de la marca SIEMES



Nota. Adaptado de (¡PLC LOGO! 12/24RCE-Siemens, 2022).

Controlador CNC

Un controlador es un componente esencial de cada máquina controlada numéricamente por computadora (CNC). Entre otras cosas, el controlador maneja el movimiento, la velocidad y la temperatura, y operarlo a través del software puede permitir el control de una multitud de dispositivos, incluidos tornos, fresadoras, enrutadores, láseres y más.

Hay muchos controladores CNC industriales y comerciales, y quizás las opciones industriales más conocidas provienen de Fanuc y Siemens (GHARGE, 2022).

(Programmable Universal Machine for Assembly) o SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) y cualquier otro tipo de máquina de hasta 9 ejes. Linux CNC es un software libre con un código fuente abierto. Las versiones actuales de EMC (Enhanced Machine Control) están enteramente licenciadas bajo las licencias GPL y LGPL (General Public License y Lesser GNU General Public License).

Linux CNC proporciona: una interfaz gráfica (se puede elegir entre varias interfaces diferentes) un intérprete para código G (el lenguaje de programación de máquina RS-274) un planeador de movimientos en tiempo real con análisis de instrucción siguiente operación de electrónica de máquina de bajo nivel como sensores y controladores para motores una capa de aislamiento sencilla de usar que permite crear rápidamente configuraciones únicas para cada máquina un PLC basado en software programable con lógica de escalera, una instalación sencilla con un Live-CD.

No provee capacidades de dibujo (CAD - Dibujo asistido por computadora) o generación de código G a partir de dibujos (CAM – Manufactura asistida por computadora). Puede mover 9 ejes simultáneos y soportar una variedad de interfaces.

El control puede operar servomecanismos verdaderos (analógicos o por PWM) con retroalimentación de lazo cerrado por el software Linux CNC en la computadora, o puede operar en lazo abierto con motores a pasos o “paso-servos”.

Algunas características del controlador de movimientos: compensación de radio y largo, desviación de la trayectoria limitada a una tolerancia especificada, roscado en torno, movimientos de ejes sincronizados, velocidad de alimentación adaptiva, velocidad de alimentación controlada por el operador, control de velocidad constante.

Soporte para sistemas no cartesianos a través de un módulo de cinemática. Algunas de las arquitecturas disponibles son hexápodos (plataformas Stewart y conceptos similares) y sistemas con juntas rotatorias para proporcionar movimiento como en los robots PUMA o SCARA. Linux CNC se ejecuta en Linux usando exenciones de tiempo real (*Sobre LinuxCNC*, s. f.).

Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software de fácil manejo que se utiliza para la construcción de proyectos electrónicos. El mismo, está formado por una tarjeta o placa física de circuito programable (normalmente denominada microcontrolador) y un software, o IDE (Integrated Development Environment) que se instala en tu ordenador, y que se utiliza para picar y cargar código del ordenador a la tarjeta física.

Las placas de Arduino se caracterizan por leer entradas – la luz de un sensor, pulsar un botón, o un mensaje de texto enviado a una Red Social – para convertirla en una salida – activando un motor, encendiendo un LED, publicando algo on-line.

En resumen, te permite indicar a la placa qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador de la placa. Para ello utilizas el lenguaje de programación de Arduino, basado en Wiring y el programa de Arduino (IDE), basado en Processing.

Arduino nació en el Ivrea Interaction Design Institute como una herramienta sencilla para la creación rápida de prototipos. En un principio, dirigida a estudiantes sin formación en electrónica y programación.

La placa Arduino se conecta a un ordenador a través de un USB, donde se conecta con el entorno de desarrollo Arduino (IDE). El usuario escribe el código de Arduino en el IDE, y luego lo sube al microcontrolador que ejecuta el código, interactuando con las entradas y salidas como sensores, motores y luces.

El código abierto de Arduino es particularmente amigable para los usuarios nuevos y experimentados. Hay miles de ejemplos de código de Arduino disponibles en Internet.

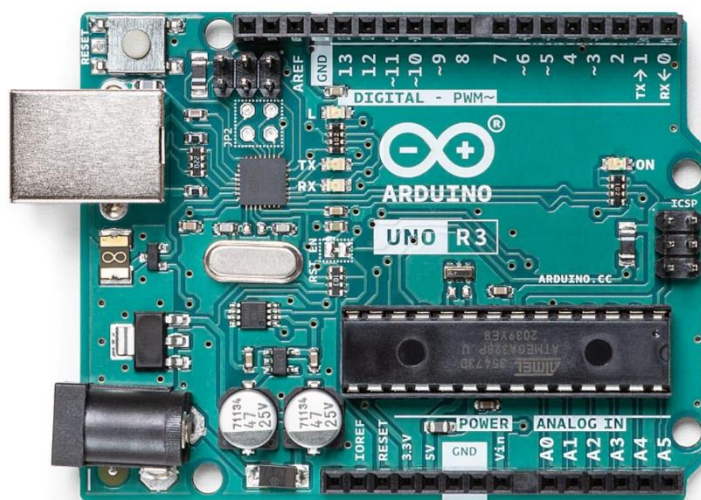
Esta flexibilidad en su diseño combinado con el hecho de que el software de Arduino es gratuito, las placas de hardware tienen un precio asequible, y tanto el software como el hardware son fáciles de aprender, ha llevado a crear una gran comunidad de usuarios que han contribuido con código e instrucciones para una gran variedad de proyectos basados en Arduino.

Tanto los principiantes como los expertos tienen acceso a una gran cantidad de recursos y materiales gratuitos para apoyarlos. Los usuarios pueden buscar información sobre cómo configurar su placa o incluso cómo codificar en Arduino.

Entre sus utilidades más frecuentes en el ámbito empresarial destacan proyectos realizados en Robótica, Internet de las Cosas, y Domótica. Los recursos específicos más utilizados en la industria van desde la programación de PLC, el desarrollo de voltímetros y osciloscopios, como tarjeta de adquisición de datos, hasta el empleo como servidor web entre otros muchos más (*Arduino: todo lo que necesitas saber*, 2022).

Figura 20

Placa de microcontrolador Arduino UNO



Nota. Adaptado de (Arduino Uno Rev3, s. f.).

CNC Escudo (Shield)

Arduino CNC Escudo (Shield), proporcionan a un microcontrolador Arduino la potencia necesaria para impulsar motores paso a paso y ejecutar todas las demás funciones que contribuyen al funcionamiento de una máquina CNC. Según el, esto podría incluir topes finales, control de velocidad del husillo y sondeo.

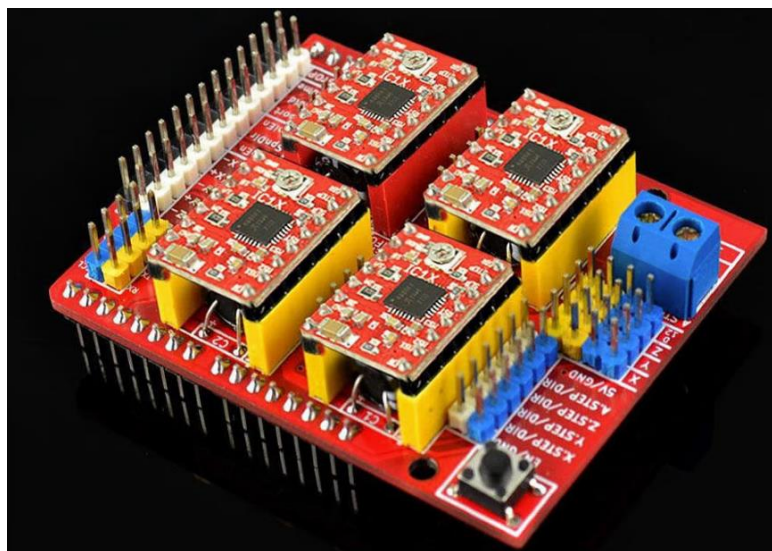
El V3.51 es uno de los CNC Escudo (Shield) de código abierto más populares por una buena razón. Marca todas las casillas: fácil de configurar y usar, tiene todas las características que desea, excelente soporte y tiene un precio razonable.

Específicamente, utiliza un Arduino Uno y requiere una fuente de alimentación de 12 a 36 voltios para impulsar los motores. Ejecuta el firmware común GRBL Arduino CNC. (El firmware GRBL se programa fácilmente para Arduino y tiene mucho apoyo de la comunidad). Al admitir hasta cuatro controladores de motor paso a paso enchufables, este escudo tiene la capacidad de clonar un eje si desea controlar un eje con dos motores.

También hay pines de cabecera para hasta seis interruptores de límite, dos para cada eje. Se admiten micro pasos hasta 1/32 dependiendo de los controladores paso a paso utilizados. Finalmente, los puentes se pueden usar para configurar micro pasos, la duplicación de ejes y la dirección de paso en el tablero. Aunque la duplicación de ejes y la dirección de los pasos se pueden cambiar en el software, tener la opción en la placa es una ventaja (Metz, 2020).

Figura 21

Placa CNC Escudo (Shield)



Nota. Adaptado de Osoyoo. (2017). [Diagrama de conexión del Arduino Uno con el CNC Shield V3.0 y el controlador A4988]. (<https://osoyoo.com/2017/04/07/arduino-uno-cnc-shield-v3-0-a4988/>)

Motores paso a paso

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de 1.8° . Es por eso que ese tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador.

Estos motores poseen la habilidad de quedar enclavados en una posición si una o más de sus bobinas está energizada o bien total mente libres de corriente.

Estos diferentes bobinados son alimentados uno a continuación del otro y causan un determinado desplazamiento angular que se denomina «paso angular» y es la principal característica del motor (Ingeniería Mecafenix, 2023).

Figura 22

Motor paso a paso



Nota. La figura muestra la parte interna de un motor paso a paso. Donde se puede observar los diferentes bobinados encargados de determinar el desplazamiento angular. Adaptado de (Ingeniería Mecafenix, 2023).

Firmware GRBL

GRBL es un software gratuito, de código abierto y de alto rendimiento para controlar el movimiento de máquinas que se mueven, que fabrican cosas o que hacen que las cosas se muevan, y se ejecutará en un Arduino directo. Si el movimiento fuera una industria, GRBL sería el estándar de la industria.

La mayoría de las impresoras 3D de código abierto tienen GRBL en sus corazones. Se ha adaptado para su uso en cientos de proyectos que incluyen cortadoras láser, escritores manuales automáticos, perforadoras, pintores de grafitis y máquinas de dibujo excéntricas. Debido a su rendimiento, simplicidad y requisitos de hardware frugales, GRBL se ha convertido en un pequeño fenómeno de código abierto.

Un controlador de fresado CNC y analizador de código g de código abierto, integrado y de alto rendimiento está escrito en C optimizado que se ejecutará en un Arduino directo

Este es el software que se ejecuta en la placa base del enrutador; básicamente toma código G (G Code) y lo traduce en impulsos eléctricos a los motores que controlan los

movimientos y las velocidades. GRBL es un software de código abierto de uso gratuito (Fomitchev, 2022).

Parámetros de mecanizado para fresadora CNC

Velocidad de corte

La velocidad de corte es la velocidad a la que se corta una viruta cuando mecanizamos (con fresadora, torno o cualquier otro proceso de arranque de viruta)

Esta velocidad es la que tiene la fresa en su punto de contacto con el material, o lo que es lo mismo, la velocidad tangencial de la fresa en su máximo diámetro.

Este valor no se calcula, viene determinado por tablas, que pueden ser generales o pueden proporcionarlas los fabricantes de nuestra herramienta de corte. Si encontramos tablas expresadas en SFM (surface feet minute) y vamos a trabajar en sistema métrico, tenemos que dividir este valor por 3,3, para pasarlo a Metros por Minuto (m/min)

Varía en función de los materiales que entren en juego en el corte, tanto el material de la herramienta, como el del material.

En fresas, lo más común es tener fresas de acero rápido o HSS y fresas de carburo de tungsteno.

Las fresas de carburo de tungsteno son más duraderas y tienen una velocidad de corte de 100m/min en acero y 300m/min en aluminio. También son más quebradizas por lo que pueden romperse con mayor facilidad si no se aplican bien las velocidades de corte y avance del mecanizado.

Las fresas HSS son las más económicas y tienen una velocidad de corte de aproximadamente la mitad que las de carburo de tungsteno, pero lo ideal es consultar las tablas para hacerlo correctamente (*Mecanizado por arranque de viruta. Parámetros de corte*, 2019).

Revoluciones por minuto

Una vez que la sabemos la velocidad de corte, hay que aplicar una fórmula para saber a cuantas RPM tenemos que hacer girar la fresa para conseguir esa velocidad en el labio de la fresa.

La fórmula de la velocidad de corte es: $V_c = (\pi \times D \times N) / 1000$. donde V_c es velocidad de corte, π es π (3,14), D es el diámetro de la herramienta, N es el número de RPM y 1000 es una constante, es siempre 1000.

Revoluciones de la fresa:

$n = (V_c \times 1000) / (3,14 \times D)$ donde V_c es la velocidad de corte, 1000 es una constante, siempre es 1000, 3,14 es π , y D es el diámetro de la fresa (*Mecanizado por arranque de viruta. Parámetros de corte.*, 2019).

Avance por diente.

El avance por diente (F_z), es lo que la fresa avanza por cada vez que un filo de corte de la fresa arranca una viruta. Normalmente es un valor que puede ir desde 0,025mm hasta 0,3mm y es un dato que, al igual que la velocidad de corte, nos viene impuesto por tablas, en esta ocasión las tablas no son tan generales, debemos buscar este dato en las tablas del fabricante de la herramienta de corte. (Aunque casi siempre, se cumple que son parecidos, y podemos acabar por aprendernos unos valores generales) (*Mecanizado por arranque de viruta. Parámetros de corte*, 2019).

Número de dientes

El número de dientes (Z) es fácil, es el número de dientes que tiene la fresa, y es crucial como ahora veremos, para calcular la velocidad de avance de la máquina.

Por lo general, a materiales más blandos, menor número de dientes, para poder evacuar mejor las virutas (y por qué los materiales más blandos producen virutas más gordas, al tener un valor de F_z por lo general mayor) (*Mecanizado por arranque de viruta. Parámetros de corte.*, 2019).

Avance por revolución

El avance por revolución es lo que se mueve la fresadora por cada vuelta completa de la fresa, tan solo tenemos que multiplicar el valor de F_z por el número de dientes (*Mecanizado por arranque de viruta. Parámetros de corte.*, 2019).

Avance de mecanizado

El avance de mecanizado, finalmente, es el dato que necesitamos para mecanizar de manera correcta

Para calcular el avance final de la máquina, simplemente hay que multiplicarlo todo:

Avance= RPM x Fz x n° de dientes (*Mecanizado por arranque de viruta. Parámetros de corte.*, 2019).

Figura 23

Formulas para cálculo de parámetros de corte

Cutting Speed	$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1,000}$	V_c = Cutting Speed (m/min)
Spindle Speed	$n = V_c \div \pi \div D \times 1,000$	π = 3.14 [The Circular Constant]
Feed	$V_f = n \times f_z \times Z$	D = Diameter (mm)
Feed per Tooth	$f_z = \frac{V_f}{n \times Z}$	n = Spindle Speed (min^{-1})
		V_f = Feed (mm/min)
		f_z = Feed per Tooth (mm/tooth)
		Z = Number of Flutes

Nota. Adaptado de (*Mecanizado por arranque de viruta. Parámetros de corte.*, 2019).

Materiales para mecanizado

Aceros

El acero es una aleación metálica, formada por hierro y carbono principalmente, aunque puede contener otros componentes como el Vanadio y el cromo, para hacerlo más duro o inoxidable respectivamente. Es un material muy duro y resistente y flexible, se emplea para construir estructuras, vehículos, máquinas, herramientas y un sinnúmero de objetos más.

Hierro Fundido

La fundición o hierro colado es muy dura, por su alto contenido en carbono, pero muy frágil, las acumulaciones de carbono provocan fracturas en la estructura que la hacen muy vulnerable a los golpes y a los esfuerzos de tracción. Funde a una temperatura entre 1400 y 1500 °C. La fundición es un material especialmente útil para realizar piezas fundidas en moldes.

Cobres

El cobre es un metal de color rojizo. Es blando, dúctil y maleable, por lo tanto, fácil de mecanizar y tallar. Por otra parte, el cobre es un metal duradero porque se puede reciclar un número casi ilimitado de veces sin que pierda sus propiedades mecánicas.

Bronce y latón

El bronce es una aleación de cobre y estaño, aunque también tiene pequeñas cantidades de plomo, cinc y plata. El bronce es una aleación dura, superada por el acero, pero más resistente a la corrosión. Se utiliza en el mecanizado por su buena conductividad y fácil deslizamiento. El latón es más duro que el cobre, pero fácil de mecanizar, troquelar y fundir, es resistente a la oxidación.

Aluminio

El aluminio es un metal de color blanco brillante. Una característica muy valiosa es que sólo se oxida muy superficialmente y esta capa de óxido impide que el material se siga deteriorando. El aluminio es un material blando y dúctil. Se emplea en la construcción de piezas y estructuras de poco peso.

Titanio

El titanio un metal de transición de color gris plata. Comparado con el acero, aleación con la que compite en aplicaciones técnicas, es mucho más ligero (4,5/7,8). Tiene alta resistencia a la corrosión y gran resistencia mecánica, pero es mucho más costoso que aquel, lo cual limita su uso industrial. Puede formar aleaciones con otros elementos, tales como hierro, aluminio, vanadio, molibdeno y otros, para producir componentes muy resistentes que

son utilizados por las industrias aeroespacial, aeronáutica, militar, petroquímica, agroindustrial, automovilística y médica.

Plásticos técnicos.

Materiales derivados del petróleo o de aleaciones entre ellos, de los cuales mediante procesos químicos consiguen unas características técnicas determinadas. Policarbonato, Metacrilato, Teflón, Celotex, Baquelita, Nylon, Techtron, Delrin, Nylatron, Ertalyte, Cestilene, PVC, Cestilite, Polipropileno, Arnite, Polietileno, etc.

Grafitos

De color negro con brillo metálico, refractario y se exfolia con facilidad

Al deslizarse las capas fácilmente en el grafito, resulta ser un buen lubricante sólido. Se utiliza en la fabricación de diversas piezas en ingeniería, como pistones, juntas, arandelas, rodamientos, crisoles, etc. (*Materiales para mecanizados y tallados*, 2019).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de investigación

Según los señores Hernández, Fernández y Baptista (2014), para la investigación hay tres tipos de enfoques metodológicos a seguir. Los cuales son cuantitativo, cualitativo y mixto. Los cuales pueden ser definidos como herramientas para enfrentarse a los problemas de investigación.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará el planteamiento con la metodología de enfoque cuantitativo el cual aporta una base sólida para el desarrollo del proyecto.

Este tipo de enfoque hace el uso de la recolección de datos para probar hipótesis en base a la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández et al., 2014, p.4).

Fuentes de información

El objetivo de investigación es analizar la conversión de una fresadora convencional a CNC, para lograr el objetivo se requiere recopilar información de la máquina fresadora que se encuentra trabajando actualmente en la empresa. Se requiere tomar los datos de los componentes de la máquina para determinar que partes serán necesarias remplazar, así como determinar las medidas correctas de cada una de las piezas que se instalarán.

Unidades de análisis

Tabla 3

Matriz de conceptualización: Investigación con planteamiento metodología en Enfoque Cuantitativo.

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición operacional	Definición instrumental
Realizar el estudio para convertir una fresadora convencional a una fresadora con control numérico computarizado (CNC), con este cambio se espera que la microempresa en donde se va realizar el estudio pueda incrementar sus ganancias.	Conversión del equipo.	Control numérico computarizado.	Estudiar las diferentes alternativas para lograr el cambio de la fresadora convencional a CNC.	Análisis de los diferentes métodos y partes involucradas para la transformación de la fresadora.	Programas de simulación e instrumentos medición.
Investigar todos los componentes tanto mecánicos, electrónicos, eléctricos y softwares (programas) requeridos para realizar la conversión de la fresadora.	Componentes mecánicos, electrónicos, eléctricos y softwares.	Especificaciones técnicas de los componentes.	Especificar los componentes y programas adecuados para una satisfactoria conversión del equipo.	Medición de los componentes actuales de la fresadora convencional.	Instrumentos de medición (Calibrador, micrómetro, entre otros).
Analizar la reducción de tiempos de producción una vez realizado el cambio en la fresadora mediante una simulación por medio de un programa CAM (Computer Aided Manufacturing).	Tiempos de producción.	Mejora en los tiempos de producción.	Analizar las simulaciones para la comparación de tiempos de producción.	Establecer los tiempos de producción.	Software de programación CAM.

<p>Evaluar la productividad y determinar si se puede lograr una reducción de piezas no conformes debido a las mejoras que se van a tener en la precisión de los mecanizados y posible mecanizado de nuevas piezas debido a la nueva versatilidad que tendría la máquina, la cual al ser automatizada estaría en capacidad de trabajar en 3 dimensiones mediante la programación de un diseño CAD (Computer Aided Design) y CAM.</p>	<p>Piezas no conformes.</p>	<p>Reducción de piezas no conformes.</p>	<p>Examinar los acabados y dimensiones de las piezas manufacturadas.</p>	<p>Valorar la calidad del producto final.</p>	<p>Equipos de medición para las diferentes dimensiones (calibradores, micrómetros, medidores de profundidad).</p>
<p>Comparar cual sería el rendimiento de las herramientas de corte de una fresadora convencional contra una fresadora CNC con el fin de ver en cuál de los casos logra alcanzar su vida útil.</p>	<p>Vida útil de la herramienta.</p>	<p>Desgaste de la herramienta.</p>	<p>Evaluar el rendimiento de las herramientas de corte con el fin de determinar la cantidad de unidades producidas.</p>	<p>Estimar el desempeño de las herramientas de corte en cada una de las máquinas.</p>	<p>Formulas, simulación y estadísticas para herramientas de corte.</p>
<p>Realizar el análisis financiero para determinar si la inversión de convertir la fresadora sería rentable y en cuanto tiempo aproximado se lograría tener el retorno de la inversión.</p>	<p>Análisis financiero.</p>	<p>Costo estimado del proyecto.</p>	<p>Valorar el costo de los componentes tanto mecánicos como electrónicos que se requieren para el proyecto.</p>	<p>Demostrar la rentabilidad del proyecto.</p>	<p>Cálculo de los costos mediante el uso de hojas electrónicas.</p>

Nota. Elaboración propia.

Procedimiento de Recolección y Análisis de Datos

Para este proyecto se tomarán los datos de la máquina fresadora ubicada en un taller de precisión en Desamparados, San José.

Se tendrá acceso al taller de precisión para la recolección de datos tales como: piezas que se manufacturan, herramientas que se utilizan, instrumentos de medición, manuales del equipo y planos.

Adicionalmente, se revisarán las órdenes de producción y tiempos de entrega que se tienen actualmente establecidos.

Mediante proyecciones y simulaciones se realizará una comparativa de la información para determinar todas las mejoras en tiempo, calidad, productividad y finanzas que se podrían obtener si el proyecto concluye de manera satisfactoria.

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se van a desarrollar las propuestas para ver si es factible para la empresa realizar la conversión de la fresadora convencional que se encuentra en el taller por una fresadora CNC. Se analizarán los resultados tanto desde la parte funcional de la máquina como la parte financiera.

Previo a presentar la propuesta se va a hacer mención de cuál es el estado actual de la empresa y su distribución de maquinaria.

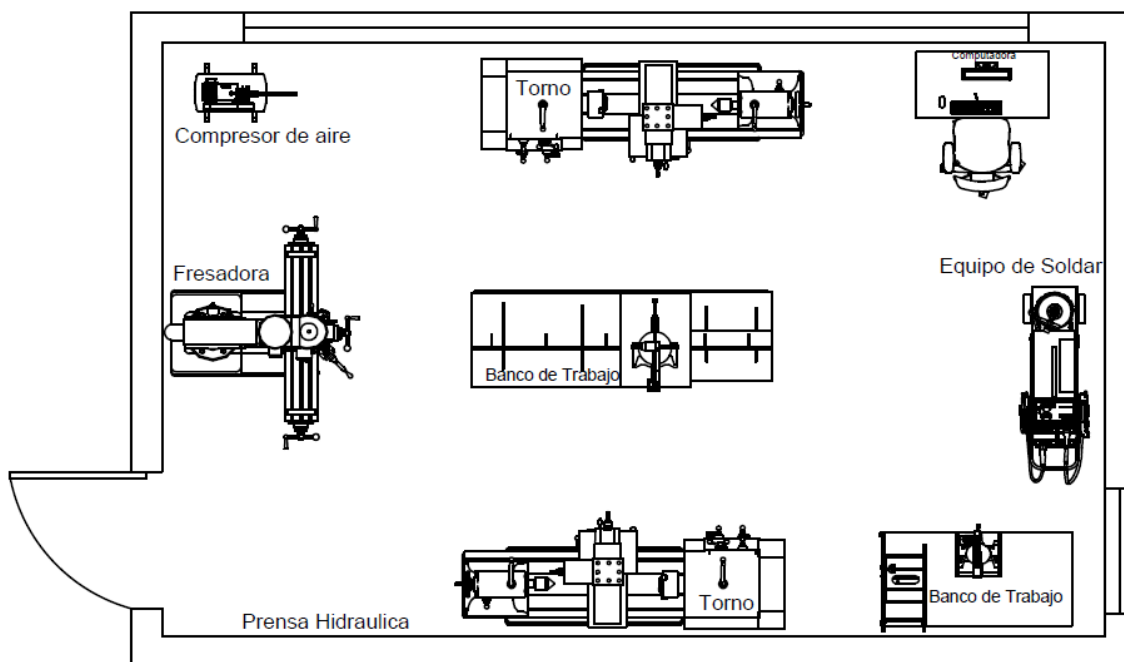
Estado actual de la empresa

La empresa actualmente se dedica a la fabricación de piezas de mantenimiento industrial y de mecánica automotriz tales como: tornillería, tuercas, anclajes, barras roscadas, placas, ranas, espárragos, rectificación, ejes, bujes, espaciadores, encamisados, entre otros.

Para la fabricación de estas piezas la empresa cuenta con la siguiente maquinaria: Dos tornos convencionales, una fresadora convencional, prensa hidráulica, compresor de aire, banco de trabajo con prensas, banco de trabajo con esmeril, máquinas de soldar, equipo de acetileno, banda lijadora, herramientas manuales como taladros, esmeriladoras, seguetas.

Así también como parte importante para poder cumplir con las especificaciones solicitadas por los clientes se cuenta con instrumentos de medición como los son, calibradores, micrómetros, medidores telescópicos, niveles de precisión, galgas de roscas, goniómetros, microscopio.

Adicionalmente se cuenta con un equipo de cómputo donde se realizan planos y se verifican los planos enviados por los clientes.

Figura 24*Distribución de planta*

Nota. Elaboración propia.

Necesidades de la empresa.

La empresa actualmente cuenta con un contrato el cual se renueva anualmente, dicho contrato comenzó en diciembre del 2021, para fabricar unas placas en acero inoxidable las cuales debido al volumen requerido y tiempos de entrega solicitados por el cliente la empresa los subcontrata. Son piezas que requieren el mecanizado en una fresadora, sin embargo, la fresadora convencional que se encuentra actualmente en el taller no logra alcanzar ni el tiempo de entrega, ni el volumen requerido; por esta razón se realiza la subcontratación de las piezas y luego los procesos finales de pulido y acabado se realizan en el taller.

Trabajando de esta manera se generan gastos adicionales ya que se requiere pagar a un tercero y además no se tiene control de la producción ya que está en manos de una compañía externa.

La propuesta de convertir la fresadora convencional a CNC es con el fin de eliminar los gastos de subcontratación, tener control del proceso cien por ciento en la empresa y cumplir con los tiempos de entrega.

Gastos por unidades subcontratadas

Actualmente la empresa subcontrata unas placas en acero inoxidable las cuales no se realizan en la fresadora que se encuentra en el taller debido al alto volumen y el tiempo de entrega que se requiere. La siguiente tabla muestra los gastos por unidad y la cantidad de unidades que se han enviado a fabricar, así como el total invertido en subcontratación.

Tabla 4

Gasto por piezas subcontratadas

Gastos por piezas subcontratadas			
Detalle	Precio por unidad subcontratada	Cantidad de piezas anual	Total de ahorro Anual
Placa acero inoxidable	₡ 343.52	20000	₡ 6,870,400.00

Nota. Elaboración propia.

Los datos de los precios por unidad del servicio subcontratado fueron tomados de una orden de producción que se realizó el 29 de marzo del 2023. Dicha orden fue por 4000 unidades. Como parte de las medidas solicitadas por la empresa no se permite compartir datos de la empresa a la cual se le contratan los servicios.

En el Anexo 1, se adjunta la orden de compra de los servicios subcontratados por 4000 unidades.

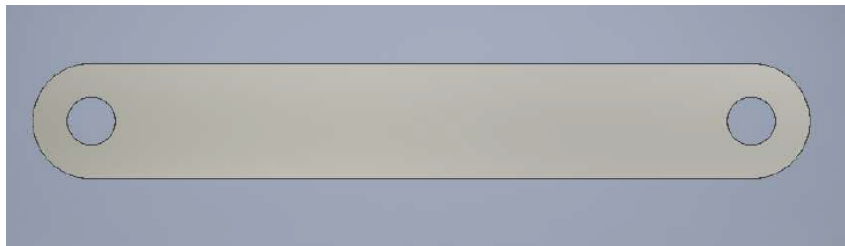
Placa de acero inoxidable

La pieza que se manda a subcontratar es una placa de acero inoxidable con un agujero en cada extremo y lleva un acabado pulido por ambas superficies.

Las siguientes imágenes muestran la placa de acero inoxidable.

Figura 25

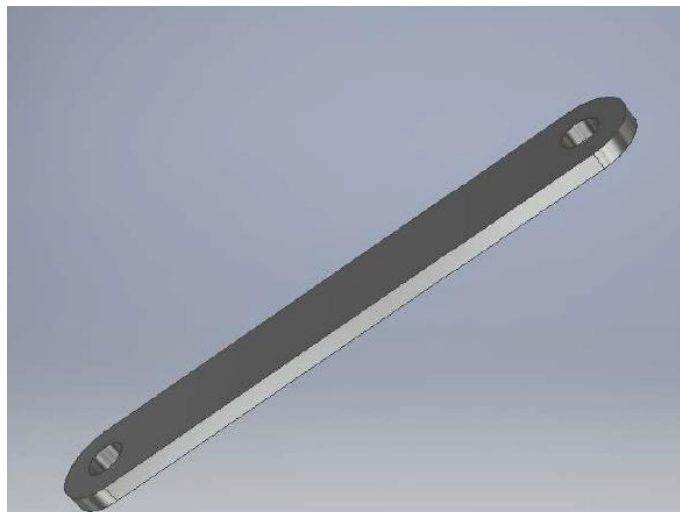
Vista Frontal de la placa



Nota. Elaboración propia.

Figura 26

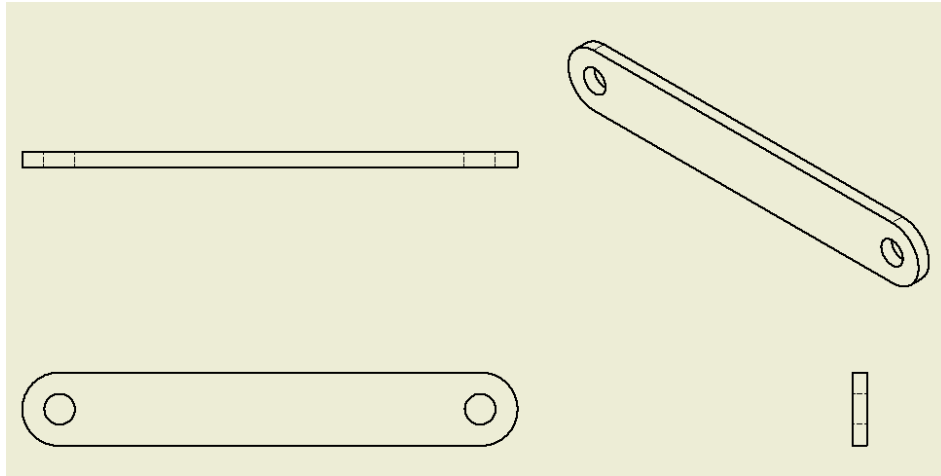
Vista Isométrica de la placa



Nota. Elaboración propia.

Figura 27

Plano de la placa



Nota. Por solicitud de la compañía las cotas de la pieza no pueden ser adjuntadas ni las especificaciones de esta.

Componentes Mecánicos y electrónicos para la conversión de la fresadora convencional

La fresadora convencional que se va a utilizar para realizar la conversión a CNC es Marca Bridgeport series 1 (Model J head is a 1hp V-belt drive head). Dicha máquina no incurre en un gasto ya que se encuentra actualmente en el taller. Está máquina a pesar de ser un equipo usado con la modificación para convertirla a CNC mejoraría cualquier desgaste que tenga actualmente en sus ejes, ya que estas partes serían remplazadas por unas nuevas aptas para la conversión, de manera que eliminan cualquier variación actual de la máquina.

La siguiente tabla muestra el costo aproximado del equipo de segunda mano.

Tabla 5

Costo aproximado de la fresadora que se tiene en el taller.

Maquinaria	Modelo	Costo
Fresadora Convencional	Bridgeport series 1 (Model J head is a 1hp V-belt drive head).	\$4000

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presenta una imagen de la fresadora.

Figura 28

Bridgeport series 1 (Model J head is a 1hp V-belt drive head).



Nota. Adaptado de Machinery Central. (s.f.). [Fotografía del molino de rodilla vertical Bridgeport Series 1 usado]. (<https://www.machinery-central.com/listings/1490533-used-bridgeport-series-1-vertical-knee-mill-w-1hp-step-pully-head-bridgeport-p-f-9-x-42-table-chrome-ways>)

Tornillo de bolas

Las dimensiones de la mesa de trabajo son de 42” en el eje X y 19” en el eje Y por lo cual para su conversión se requiere el cambio de los tornillos que realizan el movimiento de

estos ejes, así como una adaptación para realizar la transmisión mecánica de los servomotores a los ejes.

Según las especificaciones mencionadas anteriormente se requiere cambiar los tornillos actuales por unos tornillos de bolas. Los cuales tienen mayor precisión, reducen la fricción e incrementan la velocidad del movimiento. Adicionalmente transforman el movimiento rotacional en un movimiento lineal. Logrando movimientos más suaves y reduciendo la pérdida de posicionamiento. Con el cambio a los tornillos de bolas se obtiene un mejor control de los movimientos de la máquina los cuales al ser computarizados requieren de alta precisión y respuesta.

Las siguientes imágenes muestran una comparación entre los tornillos que tiene la máquina actual y por los cuales se reemplazarían.

Figura 29

Tornillo Actual de la máquina para el eje X.



Nota. Adaptado de SallyFilm. (2013). Bridgeport Retrofit Kit [Video].

(<https://www.youtube.com/watch?v=GFCYOe-5WQs>)

Figura 30

Tornillo actual para el eje X.



Nota. Adaptado de SallyFilm. (2013). Bridgeport Retrofit Kit [Video].

(<https://www.youtube.com/watch?v=GFCYOe-5WQs>)

Figura 31

Tornillo de bolas para el remplazo.



Nota. Adaptado de Hiwin Technologies Corp. (s.f.). [Fotografía del producto].

(<https://www.hiwin.us/products/ballscrews-supports/>).

Reemplazo de manivelas de los ejes X y Y

Con el reemplazo de los tornillos de los ejes X y Y que trae la fresadora convencional por los tornillos de bolas el movimiento de los ejes pasa de ser un movimiento manual a un movimiento automatizado. Por lo tanto, las manivelas con las cuales se realizan los movimientos manuales ya no son requeridas y deben ser reemplazadas por un sistema que brinde tracción a los ejes. Para ello se requiere una adaptación que engrane en los tornillos de bolas y a los motores que van a ser los encargados del movimiento.

La adaptación requerida va a ser desarrollada en el mismo taller ya que con la maquinaria que se cuenta actualmente es posible realizar la fabricación de las piezas necesarias para el correcto acople de los ejes, tornillos, fajas y motores.

Dentro de las posibles piezas que se requieren fabricar para la adaptación se podrían tener:

- Engranajes
- Placas para montaje
- Tuercas
- Tornillos
- Seguros
- Arandelas
- Cuñeros
- Ejes

En la siguiente imagen se puede observar la manivela mencionada anteriormente la cual se utiliza para el movimiento manual de los ejes de la máquina.

Figura 32

Manivela del eje x para movimiento manual.



Nota. Adaptado de SallyFilm. (2013). Bridgeport Retrofit Kit [Video].

(<https://www.youtube.com/watch?v=GFCYOe-5WQs>).

Seguidamente se puede observar una adaptación realizada a un equipo la cual tiene una similitud con lo que se requiere para la fresadora que se va a utilizar para el cambio. Sin embargo, cada caso es diferente ya que cada equipo varía en dimensiones y especificaciones.

Figura 33

Adaptación mecánica para movimiento automatizado de los ejes X y Y.



Nota. Adaptado de SallyFilm. (2013). Bridgeport Retrofit Kit [Video].
(<https://www.youtube.com/watch?v=GFCYOe-5WQs>).

Modificación para el Husillo (eje Z)

En la fresadora convencional la altura de la mesa es regula de forma manual por medio una manivela la cual realiza el movimiento de la mesa de trabajo para arriba o abajo. Y la profundidad de corte en el eje Z una vez se tiene la mesa en la altura deseada se realiza mediante el husillo o cabezal, el cual mediante una manivela va a realizar el incremento de corte.

En las siguientes imágenes se muestra la mesa de la fresadora convencional y el husillo o cabezal encargado de la profundidad del corte.

Figura 34

Mesa de Trabajo fresadora convencional.

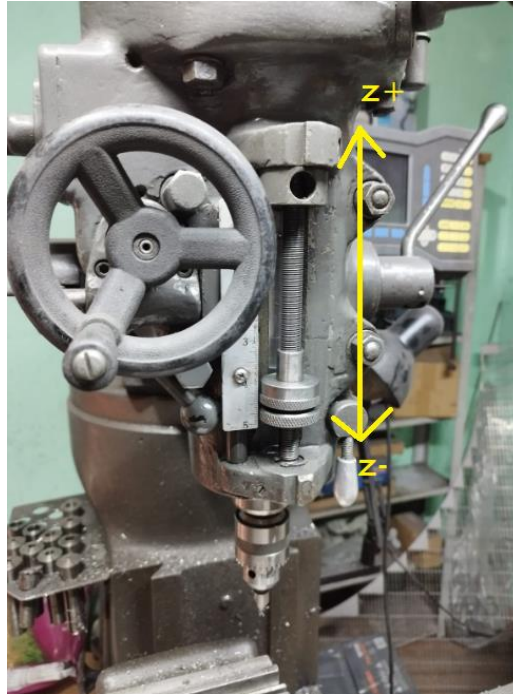


Nota. Adaptado de SallyFilm. (2013). Bridgeport Retrofit Kit [Video].

(<https://www.youtube.com/watch?v=GFCYOe-5WQs>).

Figura 35

Manivela del husillo Eje Z.



Nota. Elaboración propia

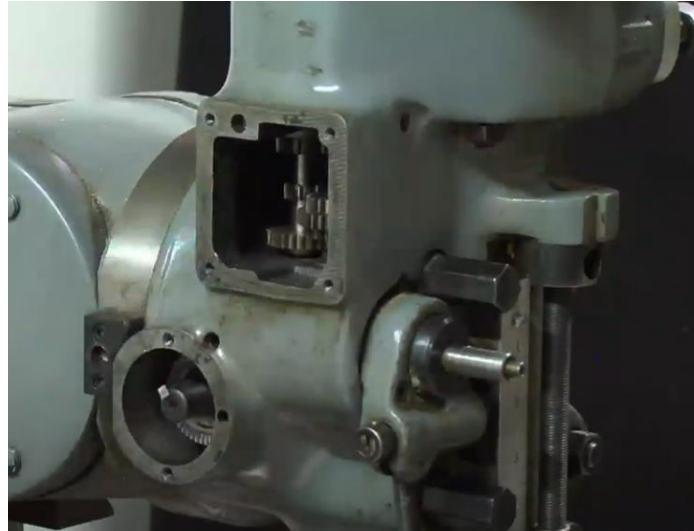
Para realizar la conversión de la fresadora y obtener un movimiento automatizado en la profundidad de corte es necesario realizar una adaptación para lograr colocar un servomotor. Las piezas para esta modificación son ejes, engranes, bujes y cuñeros. Dichas partes van a realizar la transmisión mecánica del servomotor al husillo para que pueda ser controlado de forma automatizada.

Las piezas para esta modificación pueden ser fabricadas en el mismo taller con los equipos que se tienen.

Seguidamente se muestra una imagen con el mecanismo actual para el movimiento del husillo en el eje Z.

Figura 36

Mecanismo de transmisión para el movimiento manual del husillo en el eje Z.



Nota. Adaptado de SallyFilm. (2013). Bridgeport Retrofit Kit [Video].

(<https://www.youtube.com/watch?v=GFCYOe-5WQs>).

Servomotores

Una vez realizado los cambios tanto de los tornillos de bolas para los ejes X y Y, como la modificación para el eje Z, se requiere la instalación de un servomotor para cada uno de los ejes mencionados. Los servomotores son capaces de trabajar a altas velocidades y con alta precisión, el servomotor consiste en un motor eléctrico convencional pero que integra un sistema de retroalimentación o codificador el cual funciona como un sistema de lazo cerrado, permitiendo que se logre controlar la velocidad, aceleración, torque y posición. Los servomotores tienen un sensor que envían información al controlador el cual indica la posición en que se encuentra el motor.

La selección del servomotor varía según el equipo y fuerza o carga que se requiere para poder mover la mesa de trabajo de la fresadora y poder soportar y llevar la fuerza que ejerce la herramienta contra el material a la hora del corte.

Para esta transformación los servomotores en el eje X y Y deben cumplir las mismas especificaciones. Para el movimiento del eje Z no se requiere un servomotor tan robusto ya que este eje solamente se encarga de dar la profundidad de corte.

Existe gran variedad de servomotores y fabricantes sin embargo para el modelo de fresadora convencional que se tiene para la modificación hay ya definido algunos modelos que se pueden seleccionar, los cuales varían con respecto a su marca.

La siguiente imagen muestra un servomotor

Figura 37

Servomotor



Nota. Adaptado deSZGH Auto Electronics Co., Ltd. (s.f.). [Fotografía del producto].

(<https://www.szghauto.com/product/SZGH-11120DC-1200W-SERVO-MOTOR-161.html>).

Codificador

En las máquinas CNC el codificador va a ser el encargado de medir la posición del eje de la máquina en tiempo real y enviar una retroalimentación precisa al controlador del CNC. De esta manera se controla la velocidad, dirección y posición de los ejes de las máquinas CNC. La retroalimentación que proporciona el codificador es de suma importancia para garantizar la precisión en los mecanizados. Seguidamente podemos observar una imagen de un Codificador.

Figura 38

Codificador



Nota. Adaptado de Embedded Expert. (2021). (<https://blog.embeddedexpert.io/?p=1288>).

Para la conversión de nuestro equipo se utilizarán servomotores los cuales ya traen integrados dentro de su misma carcasa el codificador.

Velocidad del husillo

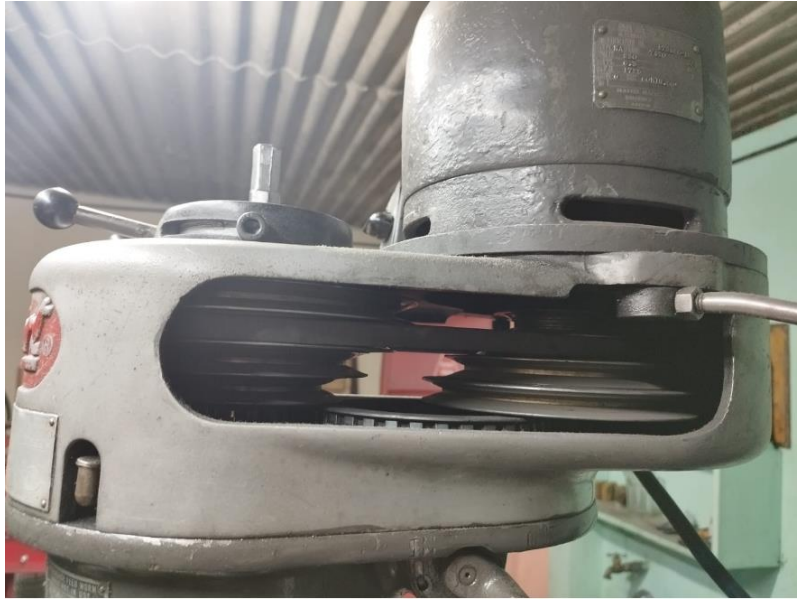
Es importante mencionar que la velocidad de giro del husillo seguirá siendo controlada de manera manual con el sistema que trae la máquina de fábrica en este caso se realiza mediante faja y poleas. La máquina proporciona dos modos de velocidad las cuales son alta y baja. La selección de la velocidad se realiza mediante una relación de poleas mediante una faja las cuales de esta manera varían la velocidad que proporciona el motor para obtener la velocidad de giro deseada.

Las velocidades predeterminadas por la máquina van de las 80rpm a las 2720rpm, la velocidad a trabajar dependerá de la herramienta seleccionada, velocidad de avance y profundidad de corte a la hora del mecanizado.

Como se puede observar en las siguientes imágenes la máquina ya trae las velocidades establecidas de acuerdo con la relación de poleas que se seleccione.

Figura 39

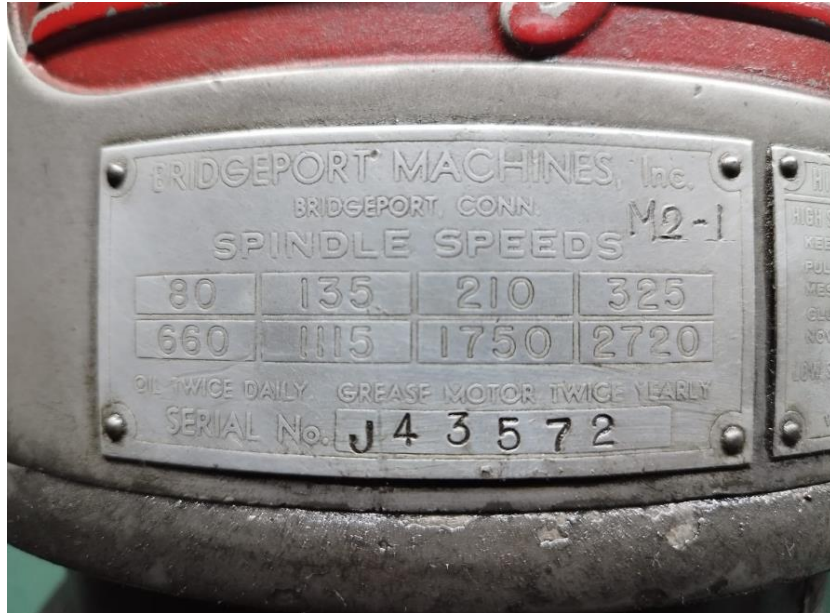
Relación de poleas y faja para el ajuste de la velocidad del husillo



Nota. Elaboración propia.

Figura 40

Velocidades a seleccionar por defecto en la máquina



Nota. Elaboración propia.

Controlador de servomotor (Servo driver)

Este es el encargado de controlar el servomotor, es quien manda las instrucciones para controlar la posición, velocidad y aceleración del servomotor. El servo driver interpreta las señales que se le envían y manda los comandos adecuados al servomotor.

El controlador del servomotor recibe señales de entrada tales como una señal de modulación por ancho de pulso y es caracterizada por tener una frecuencia fija y es de tipo digital. Las señales también pueden ser de tipo analógico.

Este dispositivo va a ir conectado a la tarjeta controladora y también a una fuente de alimentación. Una alimentación de energía es necesaria para el servomotor y permitir que funcione correctamente. Además, es necesaria establecer una conexión entre el controlador del servomotor y el servomotor para transferir la señal eléctrica que controla el movimiento del motor.

Para efectos de la propuesta en este trabajo se tratará de utilizar un conjunto de servomotor y controlador de servomotor que vengan juntos por parte del fabricante para así evitar problemas de compatibilidad. Ya que si la señal de control no es compatible el servomotor no se moverá de manera correcta o simplemente no se moverá del todo.

Seguidamente podemos ver por medio de la imagen el componente correspondiente a un controlador de servomotor.

Figura 41

Controlador se servomotor (Servo Driver)



Nota. Adaptado de Oriental Motor USA Corp. (s.f.). [Fotografía del producto]. Recuperado de (<https://www.orientalmotor.com/servo-motors/servo-motor-drivers.html>)

Figura 42

Servomotor con su respectivo controlador



Nota. Adaptado de Servotronics Motion Control Ltd. (s.f.). [Fotografía del producto].

(<https://www.servotronics.cn/en/sfqd>).

Sistemas de control

Hay varias formas de manejar los controladores de un servomotor, entre las que podemos encontrar:

- **Tarjetas microcontroladoras:** Dentro de esta categoría podemos encontrar marcas como Arduino, Raspberry Pi, Beagle Bone entre otras. Son una opción bastante económica, sin embargo, requiere utilizar todo un kit de la misma marca.
- **Tarjetas de control de movimiento:** Son las más utilizadas para aplicaciones de automatización y control de movimiento. La ventaja de este tipo de tarjetas es que son capaces de controlar diferentes tipos de motores incluyendo servomotores y su diseño permite altos niveles de precisión y control.

- Controladores de Robot: Su diseño está más enfocado a aplicaciones de robótica capaz de controlar motores y servomotores.
- Tarjetas de expansión: Son tarjetas que pueden ser conectadas a una computadora o tarjetas microcontroladoras y básicamente proporciona puertos adicionales para la conexión de servo controladores y servomotores.

Para la propuesta que se va a trabajar en este proyecto se va a optar por la tarjeta de control de movimiento. Ya que esta tiene más flexibilidad en cuanto a los dispositivos que se le pueden conectar y no requiere de una marca específica de servomotores o servo controladores.

Existen una gran variedad de fabricantes de este tipo de tarjetas de control de movimiento. Para nuestro caso se buscará una de bajo costo que logre satisfacer la necesidad de poder controlar los 3 ejes que se requieren (X, Y, Z).

Seguidamente se ilustran algunos de los tipos de los sistemas de control utilizados para manejar los controladores del servomotor mencionados anteriormente.

Figura 43

Microcontrolador Arduino



Nota. Adaptado de Build Electronic Circuits. (s.f.). [Fotografía del proceso de prototipado de un circuito con Arduino]. (<https://www.build-electronic-circuits.com/from-arduino-prototype-to-manufacturable-product/>).

Figura 44

Tarjeta de control de movimiento

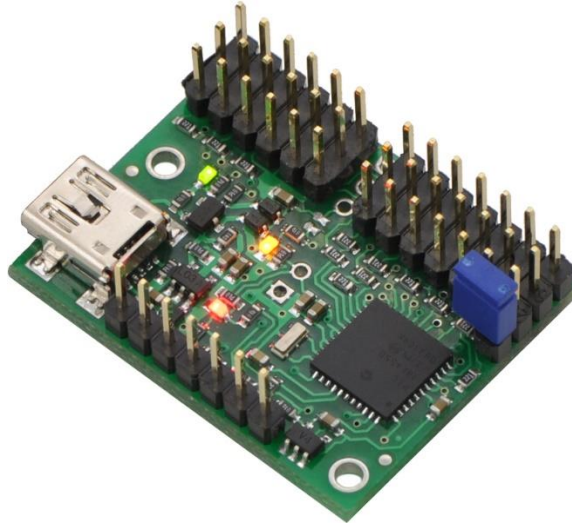


Nota. Adaptado de AliExpress. (s.f.). [Fotografía del producto].

(<https://es.aliexpress.com/item/4000133926025.html?gatewayAdapt=glo2esp>).

Figura 45

Controladores de Robot



Nota. Adaptado de Optimus Digital. (s.f.). [Fotografía del controlador de servo USB Mini Maestro de 12 canales]. (https://www.optimusdigital.ro/en/pwmservo-controllers/1074-mini-maestro-12-channel-usb-servo-controller-assembled.html?search_query=servo&results=269).

Figura 46

Tarjeta de expansión



Nota. Adaptado de Lynxmotion. (s.f.). Interfaz del software SSC-32U [Captura de pantalla].

Página 8. En Lynxmotion SSC-32U USB User Guide [Archivo PDF].

(https://wiki.lynxmotion.com/info/wiki/lynxmotion/download/servo-erector-set-system/ses-electronics/ses-modules/ssc-32u/WebHome/lynxmotion_ssc-32u_usb_user_guide.pdf).

Tarjeta de control de movimiento

Estas tarjetas son dispositivos electrónicos para poder controlar el movimiento de un sistema mecánico, como máquinas herramientas, robots o sistemas de posicionamiento. La tecnología que utiliza este tipo de tarjetas es enfocada donde se requieren altos niveles de precisión y repetitividad como lo son las máquinas CNC.

Hay una gran variedad de configuraciones y opciones de estas tarjetas capaces de controlar múltiples ejes y motores, las cuales varían en la cantidad de ejes que pueden controlar como accesorios de control adicional que se pueden conectar.

Para este caso se va a seleccionar una tarjeta de control de movimiento capaz de controlar al menos 3 ejes y la cual pueda conectarse a una computadora, la conexión puede ser mediante puertos de comunicación como lo son: puertos paralelos, USB, Ethernet o inalámbrico. Sin embargo, dicha conexión se propondrá que se lleve a cabo por medio de cable Ethernet, ya que es una conexión muy estable y confiable, además utiliza un protocolo de comunicación estándar y está diseñado para transmitir datos de manera rápida y segura.

La computadora será la encargada de enviar las señales digitales a la tarjeta controladora de movimiento, las cuales se encargan de enviar la información de posición, velocidad y dirección. Las señales enviadas en forma de pulso representan un paso en el movimiento del servomotor y las enviadas en forma de dirección indican en qué sentido debe girar el servomotor.

Fuente de alimentación

Para la conversión de la fresadora convencional a CNC es necesario utilizar una fuente de alimentación de corriente continua ya que los servomotores y controladores utilizados para el cambio así lo requieren. Ya que la fresadora trabaja con corriente directa, va a ser necesario una fuente capaz de convertir la corriente alterna a continua.

Se recomienda una fuente que incluya protección contra cortocircuitos y sobrecargas para proteger los componentes del sistema contra daños.

Adicionalmente, dentro de las características se considera adecuada una fuente de alimentación con regulación de voltaje, capaz de mantener una tensión constante y estable para los componentes del sistema, también con una capacidad suficiente para cumplir con toda la carga máxima de los componentes, la selección de la fuente se establecerá más adelante cuando se detalle cada uno de los componentes seleccionados.

Por último, se requiere una fuente de alimentación que sea compatible con los componentes que se van a utilizar como lo son servomotores, controladores del servomotor, tarjeta controladora de movimiento, entre otros.

Hay una gran variedad de fuentes de alimentación en el mercado que se pueden utilizar, sin embargo, para esta propuesta se va a utilizar una que cumpla con los requerimientos del sistema y sea de bajo costo.

Computadora

Para la conversión de la fresadora convencional a CNC es recomendable utilizar una computadora dedicada solamente para esta función y no para otras tareas. De esta manera se pueden obtener beneficios tales como: mejor rendimiento, mayor estabilidad y seguridad. Al utilizar una computadora dedicada, se evita utilizar recursos de la computadora para otras tareas que puedan afectar el rendimiento de los programas de control de CNC y programas relacionados. Además, se reducen riesgos de seguridad como exposición a virus que pueden afectar la estabilidad y rendimiento de la computadora.

Los requerimientos por el tipo de programas que se necesitan para controlar el CNC son bastante exigentes. Ya que los programas de modelado 3D (CAD), maquinado (CAM) y control de CNC requieren especificaciones técnicas de última generación.

Dentro de lo que se recomienda es:

1. **Procesador:** Se recomienda un procesador potente con varios núcleos y velocidades de reloj altas, como lo son los procesadores Core i5 o i7.
2. **Memoria RAM:** Se recomienda una cantidad suficiente de memoria RAM para la ejecución de los programas y el control del CNC. La recomendación es un mínimo

- de 8 GB de memoria RAM, pero para trabajar de forma fluida es mejor 16 GB de memoria RAM.
3. Tarjeta gráfica: Se recomienda una tarjeta gráfica dedicada de gama media o alta de al menos 2 GB de memoria de video. Esto es necesario para poder visualizar los modelos en 3D y ejecutar los programas de manera adecuada.
 4. Almacenamiento: Las unidades de estado sólido (SSD) son la opción más recomendada ya que tienen un rendimiento más rápido que los discos duros mecánicos. La capacidad de este debe ser como mínimo de 256 GB capaz de almacenar el sistema operativo, programas de diseño y controladores de CNC.
 5. Conexiones: Es importante que la computadora cuente con puertos USB y puertos Ethernet para poder realizar la comunicación entre la computadora y el controlador.

Programas requeridos para la conversión

Las fresadoras convencionales funcionan mediante la manipulación manual de los ejes de trabajo y herramientas de corte, los cuales son manipulados mediante volantes por el operario.

La conversión de una fresadora convencional a CNC requiere la instalación de un sistema de control numérico computarizado. El cual está compuesto por los componentes electrónicos y mecánicos mencionados previamente. La máquina al convertirse en CNC logra un proceso automatizado del mecanizado de las piezas, logrando una mayor precisión, eficiencia, flexibilidad y rentabilidad en la producción de piezas.

Para lograr que la máquina pueda mecanizar de manera correcta requiere de ciertos programas tanto para la creación de las piezas, como la programación de las secuencias de las operaciones de maquinado y generación del código G.

Por lo tanto, el programa que se genere para el CNC va a convertirse en el encargo de la manipulación de la máquina sustituyendo las operaciones manuales del operario durante el proceso de maquinado.

Dentro de los programas requeridos se tienen los CAD, CAM y programas de control del CNC.

Programas CAD (Diseño asistido por computadora)

Este tipo de programas se utilizan para diseñar las piezas que se desean fabricar. Este tipo de programa permite la creación de modelos tanto en dos dimensiones (2D), como en tres dimensiones (3D). Esto facilita la creación de los diseños y la visualización del producto final. Algunos programas CAD permiten realizar simulaciones de ensambles para verificar que todo va a trabajar de manera correcta después del mecanizado. Adicionalmente se puede crear un plano detallado con todas las vistas de la pieza y las medidas requeridas.

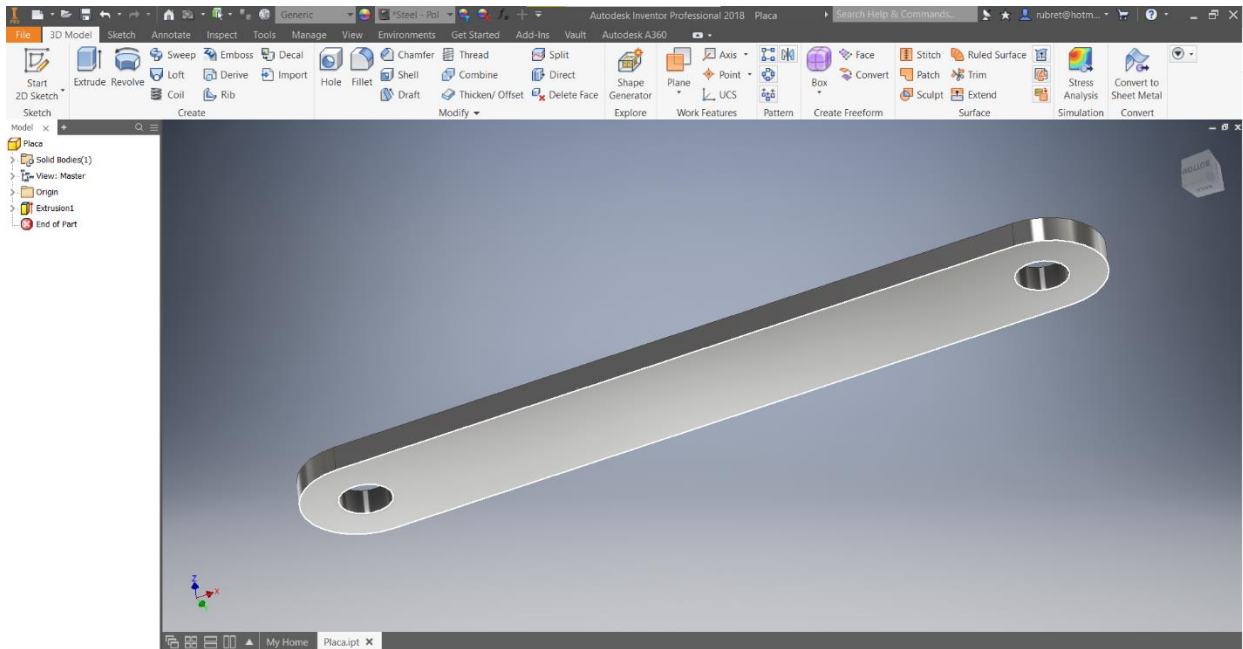
Con un programa CAD el usuario puede crear un modelo preciso de la pieza que se quiere fabricar, mediante el uso de herramientas de diseño como líneas, curvas, arcos y la creación de sólidos. Un sólido o diseño 3D permite visualizar la pieza desde diferentes ángulos y perspectivas, facilitando la detección de cualquier desperfecto en el diseño de manera que se puedan realizar los ajustes necesarios previo al mecanizado.

Existe una gran cantidad de programas CAD tanto de pago como gratuitos, dentro de los más conocidos podemos encontrar AutoCAD, SolidWorks, Inventor, entre otros.

Para este proyecto se ha utilizado el programa Inventor con una licencia de estudiante la cual permite el uso de las herramientas necesarias para la creación del modelo 3D de las piezas con la que se va a realizar el estudio de rentabilidad de la inversión del proyecto.

Es importante tener en cuenta que el uso de un software CAD/CAM no es esencial para la empresa. Sin embargo, es crucial seleccionar la tarjeta controladora de movimiento adecuada y contar con un programa con licencia para controlarla, el detalle de la selección del programa de control se especificará en la parte financiera cuando se detallen los componentes seleccionados para el proyecto.

A continuación, se muestra una imagen de la interfaz del programa con el modelo del sólido de la placa metálica que se quiere mecanizar una vez realizado la conversión de la fresadora convencional a CNC.

Figura 47*Imagen de la Interfaz de Inventor**Nota.* Elaboración propia**Programas CAM (Manufactura asistida por computadora)**

Una vez que se tiene el modelo de el sólido o en tres dimensiones de la pieza que se quiere manufacturar se requiere de un programa capaz de convertir el modelo 3D en un archivo de Código G (lenguaje de programación utilizado para controlar las operaciones de las máquinas herramienta CNC), del cual se hablará más adelante en esta sección. El programa CAM, mediante la selección de la herramienta de corte que se va a utilizar y sus condiciones de corte, genera una trayectoria, velocidad de corte, profundidad de corte, y otros parámetros de mecanizado necesarias para producir la pieza.

Este programa permite realizar una simulación del proceso de maquinado en tres dimensiones, lo cual permite comprobar que el mecanizado se va a dar de manera correcta, identificando errores durante el corte o colisiones de la máquina. De esta forma se pueden realizar los ajustes necesarios antes de generar el código G y enviar el archivo a la máquina. Este programa es fundamental en la conversión de una fresadora convencional a CNC porque

es el encargado de generar el código que se requiere para controlar el CNC, permitiendo producir piezas con mayor complejidad y de manera precisa y automatizada.

Dentro de este tipo de programas CAM se puede encontrar una gran variedad, tanto versiones libres como de pago. Entre los programas más reconocidos se pueden encontrar: Mastercam, SolidCAM, Autodesk Fusion 360.

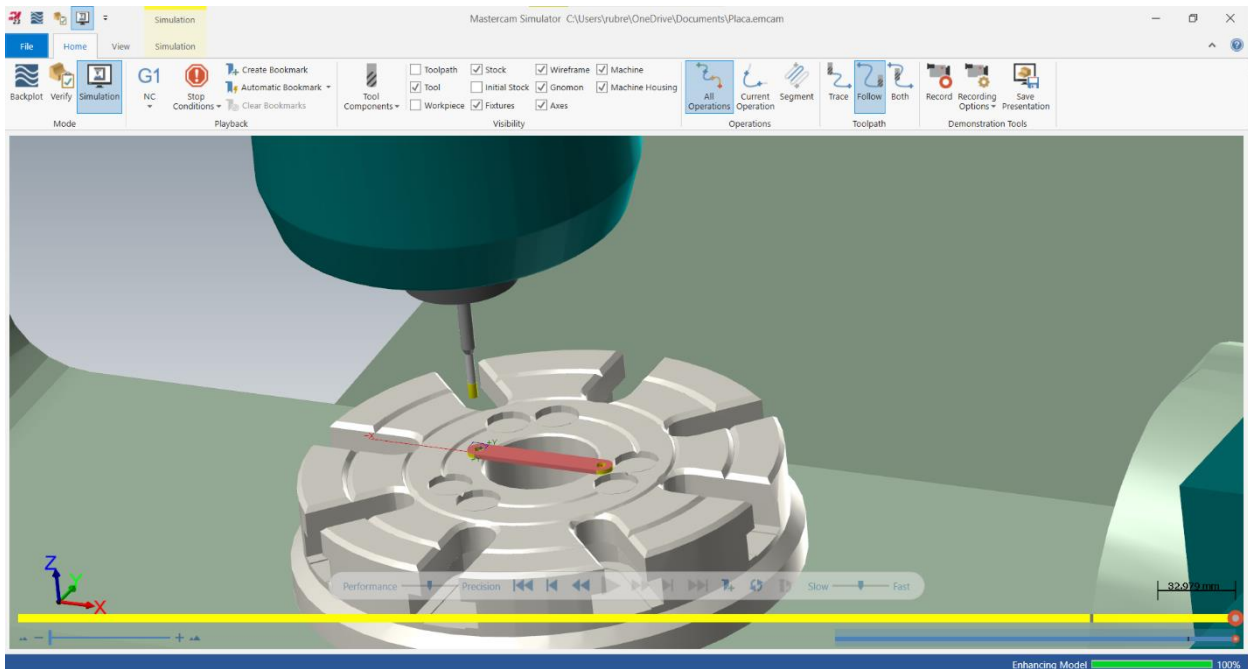
Es importante destacar que el uso del programa Mastercam con una licencia gratuita fue utilizado para este proyecto. Sin embargo, es importante recordar que este programa no es esencial para la empresa siempre y cuando la tarjeta controladora de movimiento cuente con un programa con licencia.

Esta versión del programa permite generar todas las trayectorias de maquinado, simulaciones en tres dimensiones y cálculo de tiempo de manufactura del mecanizado con la excepción que al ser una versión gratuita no permite generar el código G. Lo cual no interfiere en los efectos de esta propuesta ya que el proceso de maquinado no se va a llevar a cabo. Por lo tanto, el archivo del código G no es necesario.

Seguidamente se puede observar una imagen con la interfaz y la simulación del proceso de mecanizado de las placas que se están utilizando en este proyecto como parte de la justificación para el retorno de la inversión en caso de que la propuesta se llegue a materializar.

Figura 48

Interfaz de simulación de maquinado con el programa Mastercam



Nota. Elaboración propia.

Programa de Control del CNC

Una vez se tiene el archivo de código G este debe ser enviado al programa que se encargara de controlar la máquina CNC. Este programa va a ser el encargado de enviar las instrucciones a la máquina para comunicarse con los componentes como lo son los servomotores y sensores de posición, para controlar los ejes X, Y, Z de la fresadora CNC, además el programa controlador del CNC es el encargado de convertir las señales eléctricas del programa de control en movimientos físicos en la fresadora y todas las operaciones de mecanizado requeridas para producir la pieza.

Dentro de las características que tienen estos programas es la visualización en tiempo real de las trayectorias de la herramienta, detección de colisiones y compensación de las herramientas. En este programa es posible la edición del archivo de código G de manera textual, agregando o eliminando comandos según el operario lo requiera.

Al igual que los programas mencionados CAD/CAM existen versiones gratuitas y de pago. Es importante tener en cuenta que la escogencia del programa para controlar la tarjeta CNC o tarjeta controladora de movimiento se detallará en el apartado del análisis financiero cuando se detalle la selección de cada uno de los componentes para la conversión de la fresadora convencional a CNC.

Es fundamental seleccionar la tarjeta controladora de movimiento adecuada y contar con un programa con licencia para controlarla. Se debe asegurar que se cuente con una licencia válida del programa de control de la tarjeta controladora seleccionada para garantizar la calidad y eficiencia del proceso de control de la máquina CNC.

Además, se debe considerar que el uso de un programa CAD/CAM no es esencial para la empresa, siempre y cuando se cuente con un programa de control con licencia para la tarjeta controladora seleccionada.

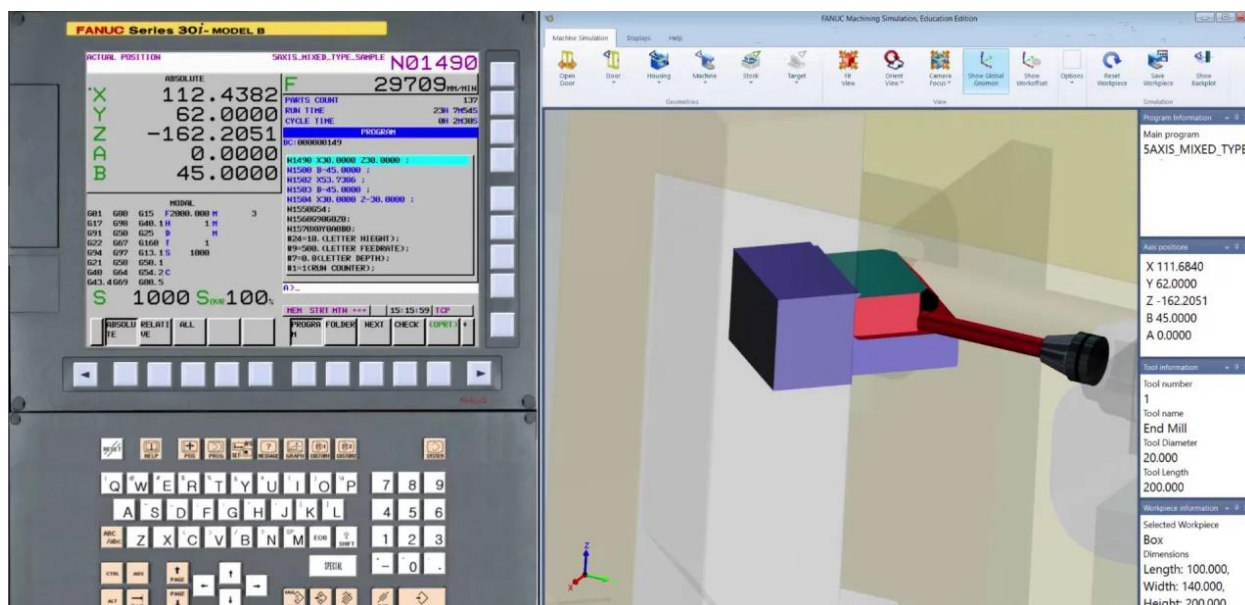
Es importante destacar que para el alcance de este proyecto no es necesario utilizar un programa de control de CNC, ya que el mecanizado de las piezas no se llevará a cabo. Este proyecto es una propuesta y se enfoca en la conversión de la fresadora convencional a CNC.

Algunos programas de control CNC reconocidos son: Fanuc CNC, Siemens SINUMERIK, Haas CNC, entre otros.

En la siguiente figura se puede observar un ejemplo de interfaz de un programa controlador de CNC de la marca FANUC, en el cual se muestra la posición en la cual se encuentra la herramienta en ese momento en el X, Y, Z, también se puede observar la velocidad a la que está trabajando el husillo, la línea de código G que está ejecutando la máquina en ese momento y la simulación del maquinado en tiempo real.

Figura 49

Interfaz de programa controlador CNC



Nota. Adaptado de FANUC America. (s.f.). [Captura de pantalla de la interfaz del software CNC Guide]. Recuperado de (<https://www.fanucamerica.com/products/cnc/cnc-software/programming-simulation-software/cnc-guide-simulation-software>).

Código-G (lenguaje de programación utilizado para controlar las operaciones de las máquinas herramienta CNC)

Durante la mención de los programas requeridos para la conversión de la fresadora convencional a CNC se ha hecho mención en múltiples ocasiones del código-G, este código es un lenguaje de programación encargado de controlar la máquina CNC. El código-G es un lenguaje de programación de bajo nivel (diseñados para interactuar directamente con los componentes), este lenguaje se compone de una serie de comandos alfanuméricos y cada uno va a corresponder a una operación o posición específica en la máquina.

Este código permite la programación de trayectorias de herramientas, especificación de velocidades de corte y operaciones más complejas.

La letra G en el código proviene de la palabra en inglés dimensionamiento y tolerancia geométrica (geometric dimensioning and tolerancing), que es utilizada en la ingeniería mecánica para describir y controlar la geometría de las piezas y componentes.

Dentro de este lenguaje de programación se tienen dos grupos el G y el M. El primer grupo se encarga de especificar los movimientos de la herramienta de corte y el grupo M se encarga para funciones auxiliares como por ejemplo activación de las líneas de refrigeración o paradas.

Las siguientes tablas muestran ejemplos de algunos códigos G y M y su respectiva instrucción.

Tabla 6

Código G

Código	Instrucción
G00	Movimiento rápido a una posición
G01	Movimiento lineal a una posición
G02	Movimiento circular en el sentido de las agujas del reloj
G03	Movimiento circular en el sentido contrario a las agujas del reloj
G04	Espera o retardo
G17	Selección del plano de trabajo XY
G20	Unidad en pulgadas
G21	Unidad en milímetros
G54	Selección de la coordenada de origen
G90	Posicionamiento en modo absoluto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 7

Código M

Código	Instrucciones
M00	Parada programada. La máquina se detiene y espera una acción del operador para continuar
M01	Detener la máquina. La máquina se detiene y espera una acción del operador para continuar
M03	Encender el husillo en sentido horario
M04	Encender el husillo en sentido antihorario
M05	Apagar el husillo
M06	Cambio de herramienta
M08	Encender el refrigerante
M09	Apagar el refrigerante
M30	Fin del programa. La máquina se detiene al final del programa y retrocede al inicio del programa

Nota. Elaboración propia.

Adicional a estos códigos para lograr obtener un programa que tenga lógica se debe agregar las coordenadas para el posicionamiento de la herramienta en los ejes X, Y y Z. También se debe indicar la velocidad de avance la cual se indica en el programa con la letra F proveniente de la palabra en inglés Avance (Feed). Además, para indicar la velocidad del husillo se utiliza la letra S proveniente de la palabra en inglés velocidad (Speed), la cual normalmente indica la velocidad de giro en revoluciones por minuto (rpm). Para la selección de la herramienta con la que se quiere trabajar en caso de ser una máquina que cuenta con más de una herramienta se selecciona por medio de letra T proveniente de la palabra en inglés herramienta (Tool), seguido del número de la herramienta que se quiere seleccionar.

Existen más comandos sin embargo los mencionados anteriormente son los principales que se utilizan. Cabe mencionar que este es un lenguaje universal, pero algunos fabricantes de máquinas CNC tienen algunos códigos propios.

A continuación, la tabla muestra un ejemplo de cómo se ve un programa de código-G para realizar un cuadrado de 20mm x 20mm con una profundidad de 1mm ya con todos sus comandos.

Tabla 8

Ejemplo de programa Código-G

Código	Instrucción
G21 G90 G54 G17	Seleccionar unidades en milímetros, posicionamiento absoluto, selección de coordenada de origen, selección de plano de trabajo XY
T01 M06	Selección de la herramienta 1, cambio de herramienta
S5000 M03	Velocidad del husillo en 5000 rpm, enciende husillo en sentido horario
G0 X0 Y0 Z1	Posicionamiento rápido a las coordenadas X0 y Y0
G01 Z-1 F500	Movimiento con avance en eje Z

G01 X20 F1000	Movimiento con avance en eje X
G01 Y20 F1000	Movimiento con avance en eje Y
G01 X0 F1000	Movimiento con avance en eje X
G01 Y0 F1000	Movimiento con avance en eje Y
G01 Z0 F500	Movimiento con avance en eje Z
M30	Fin del programa

Nota. Elaboración propia

Tiempos de producción

Fresadora Convencional

En una fresadora convencional como la que se encuentra actualmente en el taller, para realizar el proceso de mecanizado se debe realizar de forma manual, es decir un operario debe mover la herramienta de corte, ajustar la velocidad de corte y el avance de la herramienta, todo manualmente. Lo que se vuelve un proceso lento y tedioso, especialmente cuando se requiere mecanizar piezas complejas.

Otro punto importante, es que depende de la operación que se requiera realizar el operario debe cambiar de herramientas para conseguir los perfiles, ranurados, agujeros entre otras operaciones que la pieza requiera.

Durante el proceso de mecanizado el operario es quien debe realizar las pasadas de desbaste y acabado que se requieran para obtener el resultado final, todo de forma manual.

En resumen, las profundidades de corte y movimientos de los ejes X, Y y Z se deben realizar manualmente por el operario, lo que influye considerablemente en los tiempos de producción.

Fresadora convencional convertida a CNC

Con la conversión de una fresadora convencional a CNC, se pueden automatizar muchas operaciones de mecanizado, lo que reduce el tiempo total de los ciclos de maquinado. Mediante la programación de la máquina, el operario solo debe ingresar los parámetros de corte una única vez en el sistema del control numérico por computadora. Lo que elimina la necesidad de estar ajustando manualmente la velocidad de corte y el avance de la herramienta en cada pasada.

Otra importante mejora es poder trabajar a velocidades más altas debido a la precisión que tiene el sistema del control numérico por computadora.

En este caso no se requiere que el operario tenga habilidades manuales altamente especializadas para la operación de la máquina. Lo que se requiere principalmente es que tenga conocimientos de programación y operación de controles numéricos computarizados.

En general la conversión de una fresadora convencional a CNC puede producir más piezas de manera más rápida y eficiente que una fresadora convencional. Gracias a que el sistema de control numérico computarizado permite una mayor precisión en el posicionamiento de la herramienta de corte, permitiendo cortes más precisos. Adicionalmente, un programa de código G puede utilizarse para automatizar una serie de operaciones de mecanizado, lo que reduce significativamente el tiempo total del ciclo.

Simulación de las placas de acero inoxidable

Como se mencionó, actualmente el taller subcontrata el mecanizado de unas placas en acero inoxidable debido a la complejidad y el tiempo que se tardaría en fabricar una de estas placas en la fresadora convencional. Para lograr mecanizar estas placas se requeriría de diferentes montajes y herramientas para lograr mecanizar una pieza.

Con la conversión del equipo la empresa sería capaz de manufacturar las piezas en el taller sin incurrir en el gasto actual de subcontratación.

Como parte del estudio de tiempos se realizó la simulación del mecanizado de la pieza en una fresadora CNC. Para ello se utilizó el programa Mastercam con los datos reales de las medidas de la placa de acero inoxidable. También, para la simulación se utilizó una fresa de carburo de tungsteno de 4 filos en un diámetro de 4mm, la cual es capaz de realizar tanto las operaciones de contorno como los agujeros que se requieren. Las condiciones de corte las calcula el programa de manera automatizada acorde a la herramienta y material seleccionados, sin embargo, se le indicó al programa que la velocidad máxima a la que puede trabajar nuestra fresadora es de 2720 rpm, con base en este dato el programa calcula los avances y velocidades de corte.

También se realizó la verificación de las condiciones de corte mediante una aplicación para dispositivos móviles FSWizard.

Los tiempos que muestra la simulación, son exactos como si el programa estuviera ejecutándose de manera real en la máquina. Para el caso de esta simulación se obtuvo un tiempo de maquinado por pieza de 1 un minuto con 29 segundos.

Las siguientes imágenes muestran las condiciones de corte tanto en el programa en que se realizó

la simulación como en la aplicación para dispositivos móviles. También, se muestra el resultado de la simulación con su respectivo tiempo del ciclo de maquinado.

Figura 50

Parámetros de maquinado Programa Mastercam

2D Toolpaths - Contour

Toolpath Type
 Tool
 Holder

Cut Parameters
 Depth Cuts
 Lead In/Out
 Break Through
 Multi Passes
 Tabs

Linking Parameters
 Home / Ref. Points

Arc Filter / Tolerance
 Planes
 Coolant
 Canned Text
 Misc Values

Axis Control
 Axis Combination
 Rotary Axis Control

Quick View Settings

Tool	END MILL WIT...
Tool Diameter	4
Corner Radius	0
Feed Rate	355.49
Spindle Speed	2720
Coolant	Off
Tool Length	57
Length Offset	1
Diameter Of...	1
Cplane / Tpl...	Top
Axis Combin...	Default (1)

= edited
 = disabled

Status	Tool Nu...	Assembly ...	Tool Name	Holder Na...	Diame...	Cor
<input checked="" type="checkbox"/>	1		END MILL WITH RADIUS - 4 / R0.2	B2C3-0020	4.0	0.0

Filter active
 Select library tool... Filter...

Tool diameter: Corner radius: Spindle direction:

Tool name: Feed rate: Spindle speed:

Tool #: Length offset: FPT: CS:

Head #: Diameter offset: Plunge rate: Retract rate:

Force tool change Rapid retract

Comment

To batch

Generate toolpath

Nota. Elaboración propia

Figura 51*Parámetros de maquinado FSWizard***FSWIZARD CALCULATION REPORT**

Date Monday, June 19, 2023 4:10 PM

TOOL

Tool Type	Solid End Mill
Tool Material	Carbide None
Tip Diameter	4.000 mm
Corner Radius	0.000 mm
Flutes	4
Flute Length	8.000 mm
Shank Dia	4.000 mm

MATERIAL

Material	Free-cutting stainless steels. (135-300 HB)
Hardness	300 Brinell

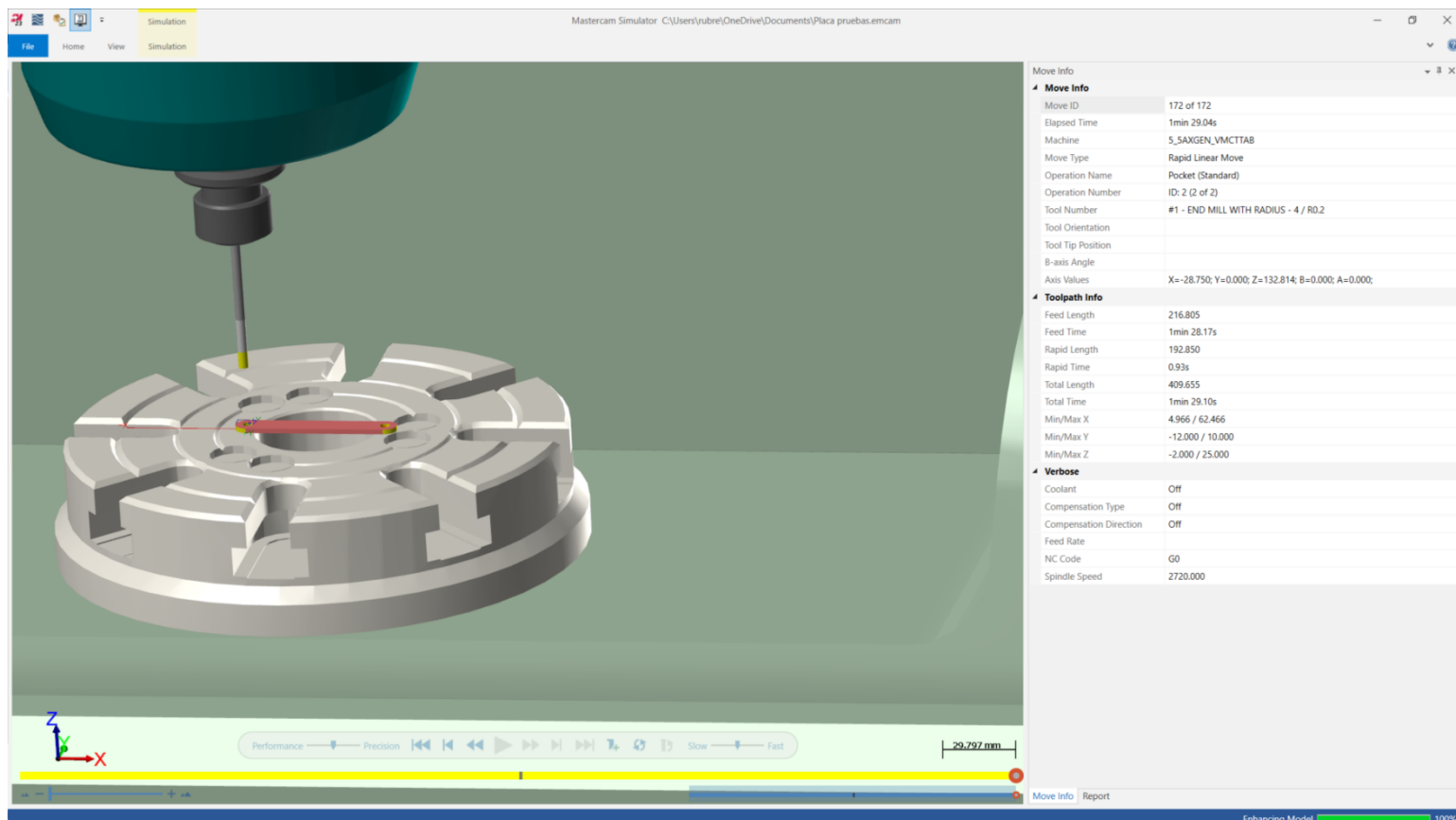
CUT PARAMETERS

Tool Stickout	10.000 mm
Depth of Cut	7.000 mm (%)
Width of Cut	0.649 mm (16.2%)
Overrides	S: 100% F: 200%

SPEEDS & FEEDS

Cutting Speed	34 M/MIN
Chip Load	0.033 mm/tooth
RPM	2720
Feed Rate	355.49 mm/min
Chip Thickness	0.024 mm
MRR	1.62 cm ³
Cutting Power	0.11 kW

Nota. Elaboración propia.

Figura 52*Simulación con tiempo de ciclo de mecanizado*

Nota. Elaboración propia.

Productividad

La conversión de la fresadora convencional a CNC puede mejorar significativamente la productividad en términos de eficiencia, precisión, capacidad de producción, repetibilidad y flexibilidad. Una fresadora CNC es más eficiente que una fresadora convencional ya que el operario no tiene que realizar todas las operaciones de forma manual. Adicionalmente, la fresadora CNC puede ser más precisa ya que utiliza un sistema de control numérico lo que reduce significativamente la cantidad de errores.

Con el cambio de la fresadora, se aumenta la capacidad de producción, se puede trabajar en múltiples piezas a la vez, los periodos en los que la máquina puede trabajar de

forma continua son más largos sin el desgaste o cansancio de un operario, lo que aumenta la cantidad de trabajo que se puede realizar en un periodo determinado.

Reducción de piezas no conformes

La reducción de errores en el mecanizado puede disminuir significativamente con la conversión de la fresadora convencional. Gracias a que los movimientos de una máquina CNC utiliza el sistema de control numérico para mover la herramienta de corte con una precisión extrema, se reducen los errores y repetir los trabajos. Una de las ventajas más significativas del uso de máquinas herramienta CNC (Control Numérico por Computadora) es la disminución casi total del error humano durante el proceso de maquinado. Al automatizar el proceso y programar los comandos, se reduce significativamente la probabilidad de errores humanos durante la ejecución del proceso de maquinado. Esto se debe a que el programa de control se encarga de la ejecución precisa y repetitiva de las tareas, lo que garantiza la calidad y precisión de las piezas producidas.

En el proceso de maquinado con fresadoras CNC, la intervención del operario se limita a cargar el programa, montar las herramientas, colocar el material y, en caso necesario, realizar la compensación por desgaste de la herramienta. Esto se debe a que, una vez se ha programado el proceso, la máquina se encarga de ejecutarlo con precisión y repetitividad, garantizando la calidad y exactitud en la producción de las piezas. La intervención del operario se reduce significativamente, lo que permite una mayor eficiencia y productividad en el proceso de producción en comparación con los procesos manuales.

En este caso el operario tiene más tiempo para verificar que las dimensiones de las piezas que se están maquinando, se encuentran dentro de los valores dimensionales requeridos. Esto se convierte en un mejor control de calidad, ya que la máquina mientras está mecanizando, el operario puede detectar alguna variación mediante la verificación de las piezas que van saliendo con los instrumentos de medición necesarios, como por ejemplo calibradores, micrómetros, medidores de profundidad, entre otros y realizar los ajustes sin necesidad de detener la máquina siempre y cuando los valores estén dentro de tolerancia. O bien si se detecta una pieza no conforme detener la máquina y corregir.

Este tipo de controles son los que se realizan en el mecanizado de dispositivos médicos donde se completa una hoja con las dimensiones críticas de la pieza y se especifica una frecuencia de inspección. De esta forma se mantiene un proceso controlado y con un porcentaje bajo de producto no conforme.

En la mayoría de los casos el aumento de producto no conforme se debe a que los operarios no realizan las inspecciones de las piezas cuando corresponde, de manera que los ajustes en la máquina no se realizaron de forma oportuna. En otros casos una herramienta se quiebra y es un factor para producir piezas fuera de especificaciones o con características faltantes.

Mencionado lo anterior es evidente que el error humano sería la causa de producir piezas no conformes en la mayoría de los casos. Y por problemas de la fresadora CNC sería un porcentaje muy bajo.

Con las placas de acero inoxidable que se mencionan en este trabajo que se están subcontratando, no es posible realizar una comparación en la cantidad de piezas malas mecanizadas con una fresadora convencional, contra una fresadora CNC, sin embargo, se realizó la consulta a la empresa a la cual se subcontrata e indican que durante el mecanizado no tienen unidades malas, que las unidades no conformes se dan por un mal montaje del material o de la herramienta por parte del operario. Pero es detectado en la primera unidad ya que se debe verificar siempre esa primera unidad al cien por ciento dimensionalmente.

A continuación, se puede ver un ejemplo de un reporte inspección para el control de las dimensiones durante el proceso de mecanizado.

complejas, luego el programa del CNC convierte estos diseños en instrucciones que se utilizan para controlar la máquina.

Otra ventaja es poder producir piezas que en una fresadora convencional se tardaba más debido a los montajes y diferentes operaciones que requiere. De manera que se puede trabajar de forma más eficiente y rápida, todo esto se transforma en reducción de tiempos de producción y costos asociados a la mano de obra.

Recientemente en el taller se realizó el trabajo de una pieza la cual requirió el montaje en un aparato divisor (figura 53), el centrado de agujeros (figura 54) y posteriormente montar la pieza en un torno (figura 55) para lograr el acabado final. Si se hubiese contado con una fresadora CNC todas estas operaciones se hubieran podido realizar con un solo montaje y sin el uso de un torno. Reduciendo los tiempos de producción e incrementando la productividad, gracias a la flexibilidad que presenta una fresadora CNC.

El mecanizado de la pieza que se mencionó anteriormente se tardó dos días de trabajo. Para poder hacer una comparación, se realizó el modelado en tres dimensiones de la pieza (figura 56) y la simulación de maquinado en una fresadora CNC (figura 57).

Utilizando las máquinas convencionales, para realizar el vaciado principal de la pieza se tardó un día completo. Para dicha operación utilizó la fresadora convencional para realizar la apertura de la cavidad y el acabado se hizo en el torno. Esta misma operación en la simulación con la fresadora CNC, con la misma herramienta que se utilizó en la fresadora convencional y la misma velocidad del husillo, dio como resultado un tiempo de 1 hora y 37 minutos. Lo que indica que la fresadora CNC tardaría aproximadamente solo un 20% del tiempo que se duró en la fresadora convencional para realizar esa operación.

Figura 54

Montaje en aparato divisor



Nota. Elaboración propia

Figura 55

Centrado de agujeros



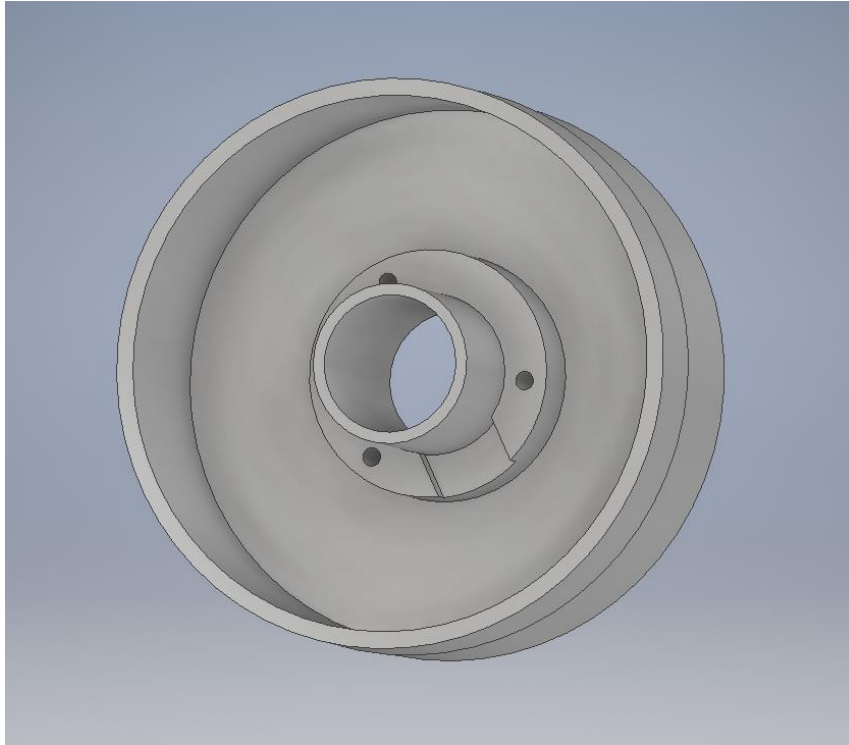
Nota. Elaboración propia

Figura 56

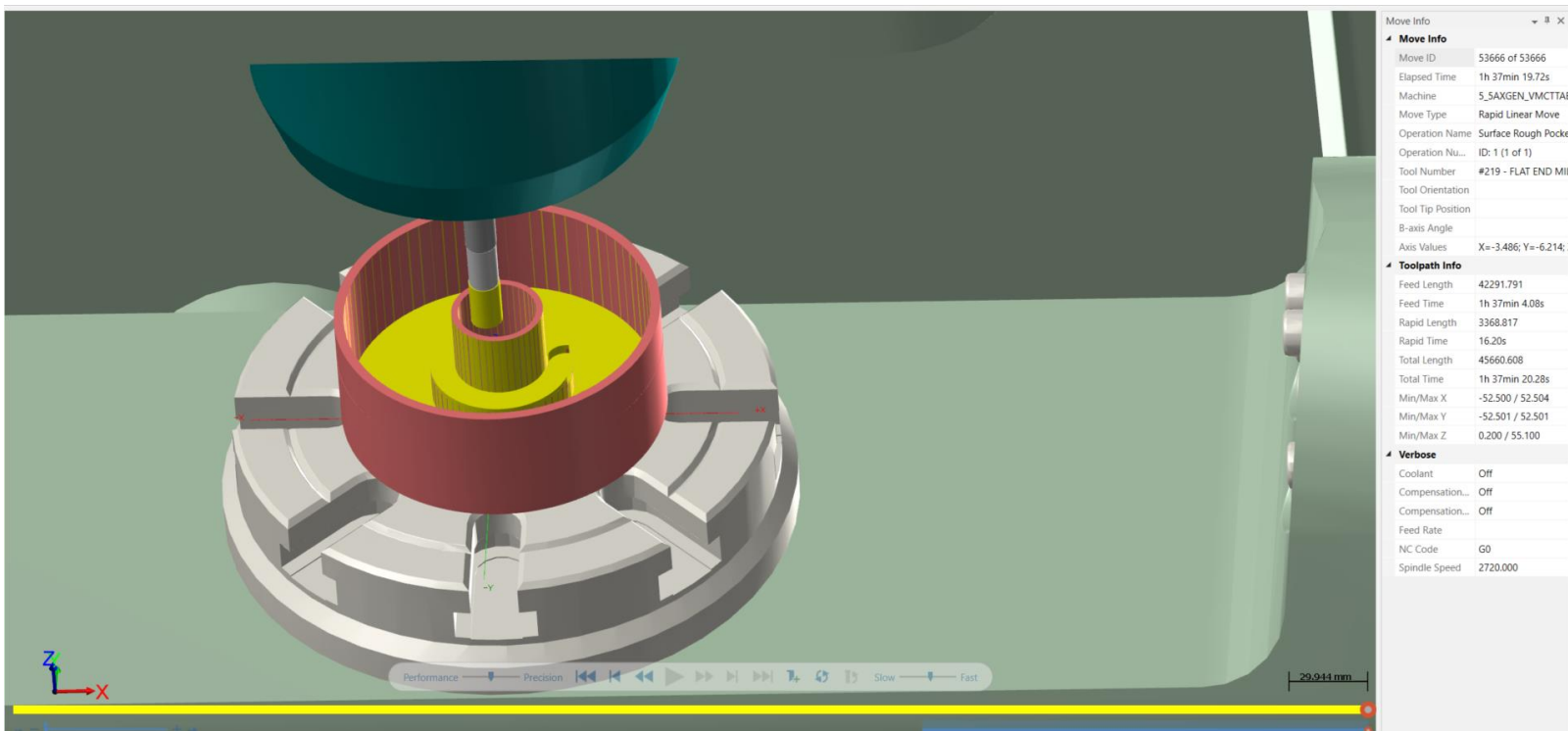
Montaje en torno



Nota. Elaboración propia

Figura 57*Modelado 3D*

Nota. Elaboración propia.

Figura 58*Simulación de mecanizado*

Nota. Elaboración propia.

Rendimiento de herramientas de corte

Las herramientas de corte son elementos fundamentales en el proceso de mecanizado, ya que son las encargadas de remover material de la pieza y darle la forma y acabado deseado. Tanto en una fresadora convencional como en una fresadora convertida a CNC, las

herramientas de corte se utilizan para realizar operaciones de fresado, taladrado, roscado, entre otras.

En ambos tipos de fresadoras se pueden utilizar diferentes tipos de herramientas de corte, tales como fresas, brocas, machos, avellanadores, entre otros. Sin embargo, el rendimiento de estas herramientas puede variar según el tipo de fresadora que se utilice.

A continuación, se muestra una imagen con diferentes tipos de herramientas de corte para fresadora.

Figura 59

Herramientas de corte para fresadora



Nota. Adaptado de Premier India Enterprise. (s. f.). [Photograph of industrial cutting tools].

(<https://www.premierindiaenterprise.com/industrial-cutting-tools.html>).

Como se ha mencionada anteriormente en reiteradas ocasiones, en una fresadora convencional, el operario es el encargado de realizar los movimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de mecanizado. Esto implica que el operario debe tener habilidades y

destrezas para realizar los movimientos necesarios con la herramienta de corte y la pieza a mecanizar, lo que puede ser un factor limitante en términos de velocidad y precisión del proceso.

Por otro lado, en una fresadora convencional convertida a CNC, el proceso de mecanizado se controla mediante un programa que envía órdenes precisas a los motores que mueven la herramienta y la pieza a mecanizar. Esto permite una mayor precisión en el proceso de mecanizado y la posibilidad de realizar operaciones más complejas con mayor velocidad y precisión.

Tomemos de ejemplo la fresa que se utilizó para el mecanizado de la pieza mencionada en el punto de “mecanizado de nuevas piezas” de la sección anterior. Durante el proceso, en varias ocasiones se tuvo que parar para remover material que se quedaba adherido a la fresa, a esto se le conoce popularmente en la mecánica de precisión como embotamiento de la herramienta (figura 59). Cada vez que eso sucede la herramienta sufre un desgaste o puede desafilarse uno de sus dientes o filos. Debido a varios factores como el avance, profundidades de corte y movimientos los cuales son controlados por el operario, se da este tipo de embotamientos.

Figura 60

Fresa embotada



Nota. Adaptado de Model Engineer. (s. f.). [Photograph of a metalworking lathe].

(<https://www.model-engineer.co.uk/forums/postings.asp?th=179930>).

Teniendo un proceso automatizado se pueden programar múltiples pasadas a altas velocidades, con menos profundidad de corte, lo cual evita que la herramienta sufra de esta manera. Todo esto permitiendo que la herramienta llegue a su vida útil.

Es importante mencionar que para ambos tipos de fresadoras (convencional o CNC), se debe seguir las recomendaciones por parte del fabricante, sobre las condiciones de corte de la herramienta. Siempre hay una tabla que indica las velocidades y avance según el tipo de material que se va a trabajar. Cada herramienta cuenta con su ficha técnica, donde indica de que está hecha la herramienta, si tiene algún recubrimiento y datos relevantes para un óptimo desempeño. En los anexos número 2 y número 3 se adjuntan las características y ficha con las velocidades y avance recomendados para la fresa de 4mm que se utilizaría para el maquinado de las placas si se realiza la conversión de la fresadora convencional a CNC. En el anexo número 4 se muestra una cotización con el precio de 10 unidades de la fresa de 4mm.

Recordemos que cuando se trabaja con un programa de simulación, como en el caso de las fresadoras CNC, el programa realiza estos cálculos de forma automática, optimizando el proceso. Hay que mencionar que, dentro de la información brindada en la ficha técnica, el fabricante sugiere que tipo de refrigeración utilizar durante el proceso. Dependiendo del material puede o no requerir refrigeración. Este punto es vital para que la herramienta no se quiebre o desafilé por altas temperaturas.

Análisis financiero

Con el fin de comprobar si el proyecto que se presenta en esta tesis tendrá un impacto positivo para la empresa, se realizarán los cálculos anuales tanto en la parte de ahorros como gastos.

Se calculará el valor presente de los flujos de efectivos futuros del proyecto, utilizando el VAN (Valor actual neto), con el objetivo de determinar si el proyecto generará un rendimiento financiero positivo y si es rentable.

Además, se determinará la tasa de descuento que iguala el VAN a cero, lo que se conoce como TIR (Tasa Interna de Retorno), la cual se utiliza para medir la rentabilidad de un proyecto y se expresa en forma porcentual.

Las siguientes imágenes muestran las fórmulas para realizar el cálculo del VAN y del TIR. En el análisis de este proyecto, los cálculos se llevaron a cabo utilizando una hoja electrónica de Excel con las fórmulas respectivas para el VAN y el TIR.

Figura 61

Fórmula para cálculo del VAN

$$VAN = -A + \frac{Q1}{(1+k)^1} + \frac{Q2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Qn}{(1+k)^n}$$

Donde:

- **A:** Es la inversión inicial. Va con signo negativo al ser un desembolso de dinero.
- **Q:** Son los flujos de caja. Es decir los cobros menos los pagos de cada período.
- **k:** Es la tasa de descuento que se le aplica. Si para realizar el desembolso inicial se precisa de financiación exterior se suele utilizar el tipo de interés aplicado como valor de k. En caso de disponer de fondos para la inversión inicial se debe indicar la rentabilidad que le pediríamos a ese dinero para invertirlo en ese proyecto en lugar de utilizarlo en otro.

Nota. Adaptado de (Tutorial Excel. (s.f.). Cómo calcular el VAN de una inversión [Figura].

Recuperado de <https://tutorialexcel.com/calcular-el-van-de-una-inversion/>).

Figura 62

Formula cálculo del TIR

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0$$

I_0 = Inversión inicial.

C_n = Flujo de caja o de beneficios generados por la inversión en cada periodo.

N = Número total de periodos.

n = Año en el que se van obteniendo los beneficios de cada periodo.

r = TIR

Nota. Adaptado de Sage. (s.f.). Tasa interna de retorno (TIR): qué es y cómo se calcula [Figura]. (<https://www.sage.com/es-es/blog/tasa-interna-de-retorno-tir-que-es-y-como-se-calcula/>)

Con el objetivo de analizar posibles escenarios que permitan a la empresa dejar de subcontratar el mecanizado de piezas por falta de una fresadora CNC, se realizará un análisis financiero con tres opciones. La primera opción es la compra de un centro de mecanizado nuevo con la capacidad de producir las placas de acero inoxidable mencionadas previamente que se envían a subcontratar. La segunda opción es la conversión de la fresadora convencional a CNC que se encuentra en el taller, mediante un kit de instalación completo proporcionado por la empresa COPRE, quienes se encargarían de dejar la máquina en operación. La tercera opción es la propuesta en este proyecto, que consiste en realizar la conversión de la fresadora a CNC por parte del personal del taller, seleccionando los componentes y realizando las modificaciones necesarias en la máquina.

Estas tres opciones se han considerado para resaltar que la mejor opción desde el punto de vista financiero es la propuesta en este proyecto.

Cálculo de ahorros

Durante el año 2022, se subcontrataron un total de 20,000 placas de acero inoxidable, lo que resultó en un gasto de ₡ 6,870,400 para la empresa. En lo que va del año 2023, se han

subcontratado un total de 10,000 placas de acero inoxidable, con un costo de ₡ 3,435,200. La fabricación de estas placas es un promedio anual de 20,000 unidades por tiempo indefinido ya que son un producto que el cliente utiliza regularmente para el ensamblaje de su producto final.

Considerando que la subcontratación de estas placas de acero inoxidable implica un gasto significativo para la empresa, fabricarlas internamente generaría un ahorro anual de ₡ 6,870,400. Este dato será el utilizado como flujo de caja para los cálculos del VAN y TIR para todos los periodos que cada opción requiera para determinar su rentabilidad.

Tabla 9

Cálculo de ahorros

Cálculo de ahorros			
Detalle	Precio por unidad subcontratada	Cantidad de piezas anual	Total de ahorro Anual
Placa acero inoxidable	₡ 343.52	20000	₡ 6,870,400.00

Nota. Elaboración propia.

Cálculo de gastos.

Dentro del gasto que se van a evaluar, se encuentra el salario anual correspondiente para el mecanizado del volumen solicitado de las placas de acero inoxidable. También, se incluirá la capacitación para el uso de fresadoras CNC. El costo de herramientas que se utilizaran para el maquinado de las piezas se verá reflejado en los gastos. Y por último para el caso 1, el costo del centro de mecanizado, para el caso 2 el costo del kit para la conversión del equipo y para el caso 3 el costo de los componentes requeridos para la modificación de la fresadora convencional a CNC.

Salario del operario.

Se ha elegido al mecánico de precisión de la empresa como opción para realizar el mecanizado de las placas de acero inoxidable debido a su experiencia y habilidades técnicas, y porque con un entrenamiento adicional puede utilizar adecuadamente la fresadora

convertida a CNC. De esta manera, se pueda garantizar un mecanizado adecuado de las placas de acero inoxidable.

Dado que la cantidad de volumen requerido de piezas anualmente no requiere tiempo completo del operario, el salario se calcula en base a las horas requeridas para esta operación, ya que es la porción salarial que impacta directamente en el proyecto.

Para esto, primeramente, se realizó el cálculo de cantidad de horas requeridas anualmente para mecanizar el volumen de piezas solicitado por el cliente. El cual da como resultado un total de 494 horas basado en la simulación realizada en el programa Mastercam. A continuación, se muestra una tabla con el respectivo cálculo.

Tabla 10

Cálculo de horas anuales para mecanizado de las placas de acero inoxidable

Cálculo de horas anuales para mecanizado de las placas de acero inoxidable		
Cantidad de piezas Anuales	Tiempo de producción por pieza (segundos)	Tiempo anual de producción (horas)
20000	89	494

Nota. Elaboración propia.

Seguidamente en base al salario por hora del operario el cual es de ¢ 2500 por hora antes de los rebajos correspondientes al trabajador, se realizó el cálculo del salario anual correspondiente para el mecanizado de las piezas de acero inoxidable el cual es de ¢ 1,235,000.00. Seguidamente se calcularon las respectivas cargas patronales las cuales corresponden a un 26.67% según la página de la CCSS que dieron como resultado ¢ 329,374.50. Con lo que se obtuvo un salario anual de ¢ 1,564,374.50. Seguidamente se muestra el cálculo correspondiente.

Tabla 11*Salario anual para mecanizado de piezas de acero inoxidable*

Salario anual para mecanizado de placas de acero inoxidable	
Salario por hora	₡ 2,500.00
Horas requeridas	₡ 494.00
Salario anual sin cargas patronales	₡ 1,235,000.00
Porcentaje cargas patronales	26.67%
Total de Cargas patronales	₡ 329,374.50
Salario anual con cargas patronales	₡ 1,564,374.50

Nota. Elaboración propia.**Capacitación.**

Por parte de la empresa ROBOTICS AND CNC (CAPRIS S.A.) ubicada en Costa Rica se realizó la cotización (Anexo 5) de un curso que ellos imparten para configuración, programación y maquinado para centros de mecanizado. El cual indica que el estudiante aprenderá las habilidades necesarias para producir piezas en un centro de mecanizado CNC. Verificar que los montajes en máquina estén correctos, establecer las coordenadas de trabajo y los desplazamientos de herramienta, calcular los avances y las velocidades, escribir el programa de la pieza, mecanizar la pieza y luego optimizar el programa para el tiempo de ciclo más corto. También el uso de código-G estándar.

El costo del curso es de \$ 690 lo cual con un tipo de cambio de ₡ 549.48 según el Banco Central consultado el 30 de junio del 2023 en colones da un total de ₡ 379,134.39.

Tabla 12*Detalle costo capacitación centro de maquinado CNC*

Capacitación Programación CNC		
Descripción	Precio dólares	Precio colones
FANUC CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN MAQUINADO UF	\$ 690.00	₡ 379,141.20
LIBRO CNC MACHINING		

Nota. Elaboración propia.**Herramientas**

Para la manufactura de las placas de acero inoxidable como se mencionó previamente, se utilizará una fresa 4 mm × 4 mm × 14 mm × 50 mm AlTiN E14 4F RR Spector End Mill de la marca IMCO. Según la cotización mostrada en el anexo 4 el costo por herramienta ya con impuesto de ventas es de ₡ 17,198.6. Se estima que una fresa pueda mecanizar 1000 unidades aproximadamente, por lo tanto, para el volumen de 20000 unidades anuales el costo sería de ₡ 343,972.00.

Tabla 13*Calculo costo de herramientas anual*

Herramienta	Precio unitario	Cantidad estimada	Total
FRESA 4F CARB ALTIN 4MM IMCO	₡ 17,198.60	20	₡ 343,972.00

Nota. Elaboración propia.

Tasa de descuento.

Pero el cálculo del VAN y TIR se utilizará como referencia la tasa básica pasiva del Banco Central de Costa Rica que al día de consulta 30 de junio del año 2023 corresponde a 6,28%.

Calculo VAN y TIR para el caso 1.

Para este caso la propuesta es que el taller realice la compra de un centro de mecanizado el cual cumple con las características para poder mecanizar las placas de acero inoxidable que actualmente se subcontratan. En este caso la compra se realizaría a la empresa COPRE ubicada en San José, Costa Rica. Se cuenta con una cotización de la máquina y las especificaciones técnicas de la misma las cuales se adjuntan en el anexo número 6. El precio de la máquina es de ₡ 34,771,094.40. La máquina se entrega e instala por parte de COPRE. Para el cálculo del VAN y TIR de este caso se utilizó una inversión inicial de ₡ 37,058,582.10 la cual corresponde al costo de la máquina por ₡ 34,771,094.40, salario anual del operario ₡ 1,564,374.50, herramientas ₡ 343,972.00 y capacitación ₡ 379,141.20. En los periodos posteriores se incurre solamente en gastos de salario y herramientas iguales a los mencionados previamente. Para el flujo de caja y tasa de descuento se utilizaron los mencionados previamente. A continuación, se muestra una tabla con el detalle de la inversión inicial.

Tabla 14

Inversión inicial caso 1

Inversión inicial caso 1		
Detalle	Precio	Precio
CENTRO DE MECANIZADO 1100MX TORMACH	\$ 63,280.00	₡ 34,771,094.40
Salario		₡ 1,564,374.50
Herramientas		₡ 343,972.00
Capacitación	\$ 690.00	₡ 379,141.20
Total de Gastos		₡ 37,058,582.10

Nota. Elaboración propia.

El taller considera un tiempo de 3 años para la recuperación de la inversión como decisión estratégica acorde a sus objetivos y el nivel de riesgo del proyecto.

Los resultados para este análisis en el periodo establecido dieron como resultado un VAN de -₡ 23,875,521.39 y un porcentaje del TIR de -34.70%.

Este resultado de números negativos nos indica que el proyecto no es rentable en el periodo de 3 años establecido. Por lo tanto, según los cálculos realizados, la opción de compra del centro de mecanizado no es rentable en el periodo de 3 años, lo que la hace no viable para el proyecto.

Tabla 15

Cálculo del VAN y TIR para caso 1 con en un periodo de 3 años

Cálculo de VAN y TIR Caso 1			
Año	Ingresos	Egresos	Flujo de caja
0	₡ -	₡ 37,058,582.10	-₡ 37,058,582.10
1	₡ 6,870,400.00	₡ 1,908,346.50	₡ 4,962,053.50
2	₡ 6,870,400.00	₡ 1,908,346.50	₡ 4,962,053.50
3	₡ 6,870,400.00	₡ 1,908,346.50	₡ 4,962,053.50

Tasa de descuento	6.33%
Cálculo del VAN	-¢ 23,875,521.39
Cálculo del TIR	-34.70%

Nota. Elaboración propia

Calculo VAN y TIR para el caso 2

En este caso se evalúa el escenario de la conversión de la fresadora convencional a CNC por medio de la empresa COPRE, quienes venden un sistema Mill Power marca ACURITE que incluye todos los componentes y programas para la conversión de la máquina. Ellos se encargan de realizar la modificación de la máquina, así como brindar el soporte y capacitación requerida para el manejo del equipo. La inversión de este sistema es de \$30,510.00 lo que sería en colones ¢16,764,634.80 con un tipo de cambio de ¢549.48. En el anexo número 7 se adjuntan las especificaciones técnicas del sistema y la cotización.

A esta inversión se agregan los gastos de salario anuales de: operario ¢1,564,374.50, herramientas ¢343,972.00 y capacitación ¢379,141.20. Para los siguientes períodos solamente se toman en cuenta salario y herramientas. A continuación, una tabla con el resumen de la información mencionada.

Tabla 16

Inversión inicial caso 2

Inversión inicial Caso 2		
Detalle	Precio	Precio
SISTEMA MILL POWER DE 3 EJES G2 MARCA ACURITE USA – FABRICACIÓN USA	\$ 30,510.00	¢ 16,764,634.80
Salario		¢ 1,564,374.50
Herramientas		¢ 343,972.00
Capacitación	\$ 690.00	¢ 379,141.20
Total de Gastos		¢ 19,052,122.50

Nota. Elaboración propia.

La Tabla 16 muestra la inversión inicial del Caso 2, la cual asciende a ¢ 19,052,122.50. En la Tabla 17 se presentan los cálculos del VAN y TIR para el Caso 2. Los flujos de caja netos para los próximos tres años se muestran en la tabla, con un ingreso de ¢ 6,870,400.00 y un egreso de ¢ 1,908,346.50 en cada año. El VAN se ha calculado utilizando una tasa de descuento del 6.33%, y el resultado es de -¢ 5,869,061.79, lo que indica que la inversión no es rentable. El TIR es del -11.39%, lo que confirma que el Caso 2 no cumple con los requisitos del taller y debe ser descartado como una alternativa viable.

Tabla 17

Cálculo VAN y TIR Caso 2 con un período de 3 años

Cálculo de VAN y TIR Caso 2			
Año	Ingresos	Egresos	Flujo de caja
0		¢ 19,052,122.50	-¢ 19,052,122.50
1	¢ 6,870,400.00	¢ 1,908,346.50	¢ 4,962,053.50
2	¢ 6,870,400.00	¢ 1,908,346.50	¢ 4,962,053.50
3	¢ 6,870,400.00	¢ 1,908,346.50	¢ 4,962,053.50
Tasa de descuento	6.33%		
Cálculo del VAN	-¢ 5,869,061.79		
Cálculo del TIR	-11.39%		

Nota. Elaboración propia.

Cálculo del VAN y TIR para el Caso 3

En este caso, se evalúa el escenario de la conversión de una fresadora convencional a CNC en el taller de la empresa. Se ha considerado la opción de contratar un tercero para realizar la conversión, pero se ha decidido llevarla a cabo con recursos propios para reducir los costos.

Para esta propuesta, se han estudiado y seleccionado cuidadosamente cada uno de los componentes con un criterio técnico basado en las especificaciones de la máquina Bridgeport J Head Series 1. Además, se ha realizado una investigación exhaustiva de los proveedores de componentes y se ha seleccionado a los proveedores que ofrecen la mejor calidad y precio.

Se ha trabajado en colaboración con proveedores especializados, quienes han brindado asesoría técnica y soporte para la selección de los componentes adecuados para la conversión, y, además, se han llevado a cabo conversaciones con técnicos y asesores de ventas de las empresas CNC4PC y Rockfordballscrew para la selección de los componentes y para recibir capacitación en el manejo del equipo.

Esta propuesta se ha desarrollado con un enfoque técnico y se ha llevado a cabo una cuidadosa selección de componentes y proveedores para garantizar una conversión exitosa y eficiente de la fresadora convencional a CNC en el taller de la empresa.

Los componentes seleccionados fueron los siguientes:

- Tornillos de bolas: Rockford Ball Screw Preloaded Ball Screws for Bridgeport Mills para mesa de 9 pulgadas para el eje Y y de 42 pulgadas para el eje X. El anexo 8 muestra la conversación con el proveedor quien indica el precio del kit por un costo de \$ 2100, así como las especificaciones técnicas y catálogo de los modelos. Los modelos seleccionados fueron #BRP-2209 y #BRP-2242.

Figura 63

Tornillos de bolas Bridgeport Kit



Nota. Adaptado de Rockford Ball Screw. (s. f.). Bridgeport Kits.

(<https://rockfordballscrew.com/ballscrews/bridgeport-kits/>).

- Servomotores, controlador de servomotor y cables: Para estos componentes se seleccionó el NEMA34 AC Servo Kit por un costo de \$ 1966.75, el cual incluye el servo motor modelo 86M-DHT-A6MK - 86mm Frame, 0.75kW, medium inertia W/ 16bit Encoder.

Figura 64

Servomotor 86M-DHT-A6MK



Nota. Adaptado de CNC4PC. (s.f.). 86mm Frame 0.75kW Medium Inertia w/16bit Encoder.

(<https://cnc4pc.com/86mm-frame-0-75kw-medium-inertia-w-16bit-encoder.html>)

Controladores de servomotor modelo DYN4 AC Servo Drive - H01 Frame.

Figura 65

Controlador de servomotor DYN4



Nota. Adaptado de CNC4PC. (s.f.). DYN4 AC Servo Drive H01 Frame.

(<https://cnc4pc.com/dyn4-ac-servo-drive-h01-frame.html>).

Cables del motor modelo 5m Motor Cable - 40/60/80mm Frame Servo Motor for DYN4.

Figura 66

Cable de servomotor para DYN4



Nota. Adaptado de CNC4PC. (s.f.). 10M Encoder Cable 40/60/80mm Frame Servo Motor for Dyn4 (<https://cnc4pc.com/10m-encoder-cable-40-60-80mm-frame-servo-motor-for-dyn4.html>).

Cables del codificador modelo 5m Encoder Cable - 40/60/80mm Frame Servo Motor for DYN4.

Figura 67

Cable del codificador para DYN4



Nota: Adaptado de CNC4PC. (s.f.). 5M Motor Cable 40/60/80mm Frame Servo Motor for Dyn4 (<https://cnc4pc.com/5m-motor-cable-40-60-80mm-frame-servo-motor-for-dyn4.html>).

- Tarjeta de control de movimiento: Se seleccionó el Acorn CNC Control Kit con un precio de \$488.75. Con las siguientes características:
 - Acorn CNC control board.
 - Acorn Relay kit.
 - 24 VDC logic power supply (50/60 Hz 100-120 VAC OR 208-240 VAC input power).
 - Logic power supply hookup leads.
 - 110 VAC power cord.
 - Touch Screen Responsive Operator Controls.
 - 15' Shielded Ethernet cable.

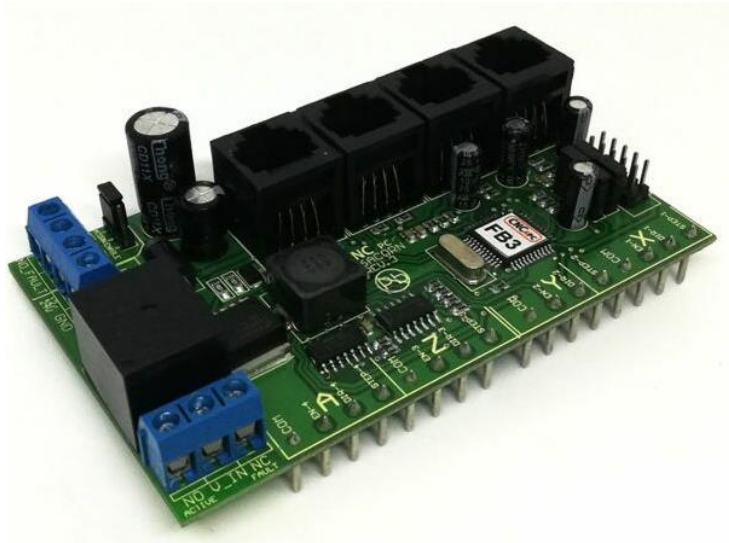
Figura 68*ACORN CNC Controller Kit*

Nota: Adaptado de Shop CentroidCNC. (s.f.). CNC Controllers. Adaptado de (<https://shopcentroidcnc.com/product-category/cnc-controllers/>).

- Conector del controlador: C86 Connector Board for the Acorn Controller por un precio de \$ 48.

Figura 69

Conector C86 para tarjeta controladora ACORNT



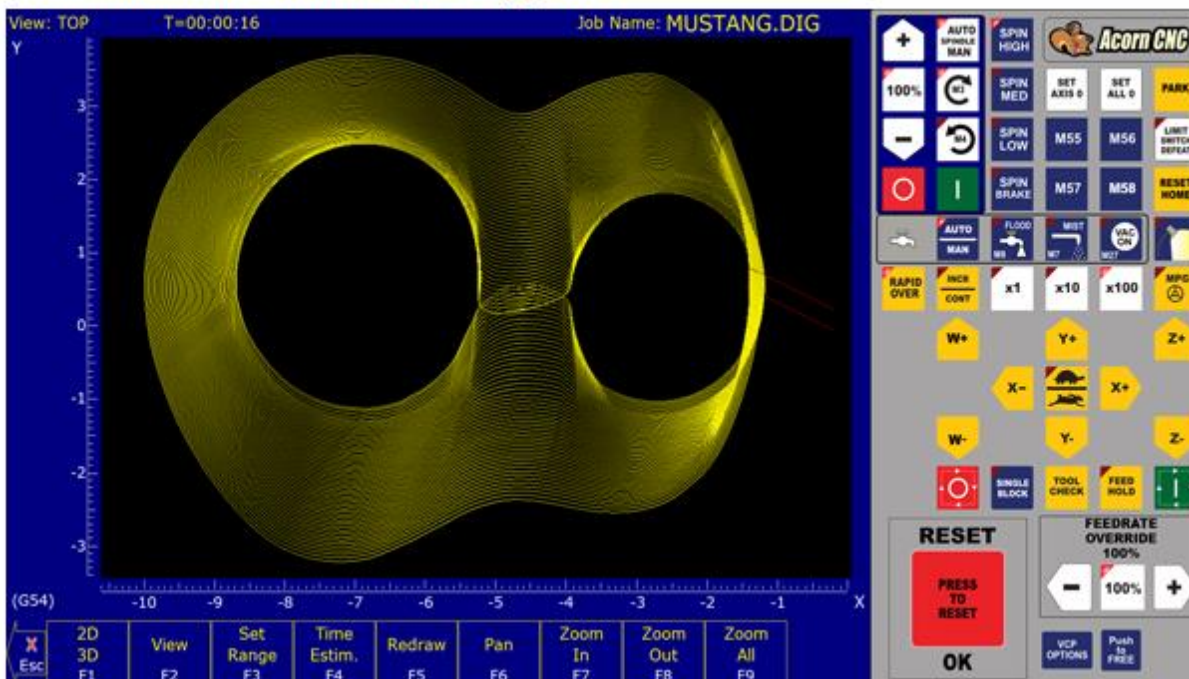
Nota: Adaptado de CNC4PC. (s.f.). C86 Connector - Acorn CNC. (<https://cnc4pc.com/c86-connector-acorn-cnc.html>).

- Programa de control CNC y licencia: Programa CNC12 y licencia Acorn Mill "Pro" CNC Software license por un precio de \$ 159.

Figura 70

Interface del Programa CNC12

Centroid Mill CNC Software License Upgrades



Nota: Adaptado de Centroid CNC. Captura de pantalla de Mill CNC12 Pro.

(https://www.centroidcnc.com/centroid_diy/images/mill_cnc12_pro_screen_1920.png).

- Computadora: All-in-one Touch Screen CNCPC con un precio de \$1350 con las siguientes características:
 - Precargado con Windows 10 y preconfigurado para servicio de PC CNC.
 - Programa Centroid CNC precargado con editor de código G, intercon, programas de PLC de stock, asistente de instalación de Acorn, panel de control del operador con pantalla táctil.
 - Pantalla táctil de 23 o 24", 8 GB de RAM, disco duro de estado sólido.
 - Un procesador que cumpla con los requisitos mínimos de Centroid
 - Wifi, Ethernet, cámara web con micrófono, lector de tarjetas, puertos USB
 - Cable de alimentación, teclado, mouse
 - Centroid probado y precalificado para trabajar con controladores Centroid CNC

En las especificaciones mínimas del fabricante recomienda un Intel NUC modelo #NUC10i3FNK / NUC10i3FNH cuyas características se adjuntan en el anexo 9.

Figura 71

All-in-one Touch Screen CNCPC



Nota: Adaptado de Centroid CNC. CNC Components

(https://www.centroidcnc.com/centroid_diy/cnc_components.html).

A continuación, se muestra una tabla con el detalle de los componentes seleccionados y sus respectivos precios.

Tabla 18*Componentes para conversión de la fresadora convencional a CNC*

Componentes para conversión de fresadora convencional a CNC		
Componentes	Detalle	Precio (dólares)
Tornillos de bolas	Rockford Ball Screw Preloaded Ball Screws for Bridgeport Mills	\$ 2,100.00
Servomotores	Servo motor: 3 x 86M-DHT-A6MK - 86mm Frame, 0.75kW, medium inertia W/ 16bit Encoder	\$ 741.00
Controlador del servomotor	Servo Drive: 3 x DYN4 AC Servo Drive - H01 Frame	\$ 810.00
Cables	Encoder Cable and Motor Cable: 3 x 5m Motor Cable - 40/60/80mm Frame Servo Motor for DYN4	\$ 198.00
	Encoder Cable: 3 x 5m Encoder Cable - 40/60/80mm Frame Servo Motor for DYN4	\$ 150.00
	RJ45 to Driver Board: 3 x RJ45 to Driver Board for DYN4	\$ 27.75
	Programming Cable: 1 x USB to Molex 7pin Dyn drive tune up cable	\$ 40.00
Tarjeta de Control de movimiento	Control Kits: 1 x Acorn CNC control kits	\$ 329.00
	Driver Connector: 1 x C86 Connector Board for the Acorn Controller	\$ 48.00
Programa de Control	Control software: 1 x Acorn Mill Pro CNC Software	\$ 159.00
Computadora	All-in-one Touch Screen CNCPC	\$ 1,350.00
Total		\$ 5,952.75

Nota. Elaboración propia

Para el análisis financiero de este caso se tiene el costo total de los componentes por \$ 5,952.75 lo que nos da en colones ₡ 3,270,917.07 con un tipo de cambio de ₡ 549.48. Adicionalmente se tienen los gastos de salario anual del operario por ₡ 1,564,374.50, costo de herramientas anual por ₡ 343,972.00 y capacitación para el uso de equipos CNC por ₡ 379,141.20. Lo que nos da una inversión inicial de ₡ 5,558,404.77. Seguidamente se puede ver un resumen de la inversión inicial.

Tabla 19*Inversión Inicial Caso 3*

Inversión inicial Caso 3		
Detalle	Precio (dólares)	Precio (colones)
Componentes	\$ 5,952.75	₡ 3,270,917.07
Salario		₡ 1,564,374.50
Herramientas		₡ 343,972.00
Capacitación	\$ 690.00	₡ 379,141.20
Total de gastos		₡ 5,558,404.77

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 20 se presentan los cálculos del VAN y TIR para el Caso 3. Los flujos de caja netos para los próximos tres años se muestran en la tabla, con un ingreso de ₡ 6,870,400.00 y un egreso de ₡ 1,908,346.50 en cada año. Utilizando una tasa de descuento del 6.33%, el cálculo del VAN es de ₡ 7,624,655.94, lo que indica que el proyecto es rentable y puede generar un retorno positivo para la empresa. Además, el cálculo del TIR es del 71.61%, lo que indica que la tasa de rendimiento del proyecto es mayor que la tasa de descuento utilizada. Esto indica que el caso 3 es viable para el taller ya que tiene un VAN positivo y un TIR alto.

Tabla 20*Calculo VAN y TIR para Caso 3*

Cálculo de VAN y TIR Caso 3			
Año	Ingresos	Egresos	Flujo de caja
0		₺ 5,558,404.77	-₺ 5,558,404.77
1	₺ 6,870,400.00	₺ 1,908,346.50	₺ 4,962,053.50
2	₺ 6,870,400.00	₺ 1,908,346.50	₺ 4,962,053.50
3	₺ 6,870,400.00	₺ 1,908,346.50	₺ 4,962,053.50
Tasa de descuento	6.33%		
Cálculo del VAN	₺ 7,624,655.94		
Cálculo del TIR	71.61%		

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Después de realizar un estudio detallado para convertir una fresadora convencional a una fresadora con control numérico computarizado (CNC) para una microempresa, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- En conclusión, el estudio realizado demuestra que la conversión de una fresadora convencional a una fresadora CNC puede ser una estrategia altamente rentable para la microempresa la cual generará un ahorro anual de ₡ 6,870,400.00.
- Se concluyó que para un óptimo rendimiento los componentes más indicados son: Para el remplazo de los tornillos de los ejes X y Y, instalar tornillos de bolas para mesa de 9 pulgadas por 42 pulgadas del fabricante Rockford Ball Screw para fresadoras Bridgeport, para el movimiento de los tornillos de bolas y husillo, un kit de servomotores con sus respectivos controladores y cables modelo NEMA34 AC Servo Kit, con tarjeta controladora de movimientos modelo Acorn CNC control kits, y el programa de control Acorn Mill Pro CNC Software del mismo fabricante, y una computadora marca Dell que la empresa ACORN vende con el programa de control instalado y su respectiva licencia.
- Mediante la simulación en un programa CAM del mecanizado de las piezas de acero inoxidable que actualmente se subcontrata. Se obtuvo como resultado un tiempo de 1 minuto con 29 segundos, como se puede observar en la figura 51 de la sección de simulación de las placas de acero inoxidable. Esto concluye que para el mecanizado de 20000 unidades requeridas anualmente la máquina se ocupa solamente 494 horas lo que equivale aproximadamente a 11 semanas de trabajo. Por lo tanto, se tiene la máquina disponible el resto de semanas para aumentar la productividad del taller.
- Se demostró con un análisis de tiempos que la productividad aumentó en un 80%, esto se determinó al comparar la manufactura de una pieza utilizando equipos

convencionales de fresado y torneado, contra la simulación de la misma pieza en un programa CAM y utilizando una fresadora CNC. En el primer escenario, se necesitó un día completo para la manufactura de la pieza, mientras que en la simulación se logró el maquinado en 1 hora y 37 minutos utilizando únicamente la fresadora CNC, lo cual deja disponible la máquina para el mecanizado de otras piezas y también contribuye a la reducción de piezas no conformes al disminuir la intervención humana en el proceso. Este resultado es acorde con lo analizado en el apartado de “productividad” donde se destaca el uso de la fresadora CNC y el programa CAM.

- En conclusión, se ha determinado que, el rendimiento de las herramientas de corte es más eficiente en fresadoras CNC. En el caso específico del mecanizado de las placas de acero inoxidable, se demostró mediante una simulación que solo se requiere el uso de una fresa de 4mm de 4 filos para mecanizar a la pieza, mientras que, en una fresadora convencional se necesitaría más de una herramienta para obtener el mismo resultado. Este demuestra que el uso de una fresadora CNC es más eficiente y rentable en términos de uso de herramientas de corte.
- Después de realizar el análisis financiero, se ha demostrado que el proyecto de conversión de la fresadora convencional a CNC es rentable, ya que se ha obtenido un TIR del 71.61% y un VAN de ¢ 7,624,655.94. Además, se ha logrado recuperar la inversión en el plazo establecido de 3 años.

Recomendaciones

Después de un estudio detallado para convertir una fresadora convencional a una fresadora con control numérico computarizado (CNC), se presentan las siguientes recomendaciones para aprovechar al máximo esta inversión para la microempresa.

- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo y programado regularmente para evitar fallas y prolongar la vida útil de la fresadora, así como monitorear y mantener adecuadamente la fresadora CNC después de la conversión, para asegurarse de que esté funcionando de manera óptima.
- Comunicar a los clientes las mejoras realizadas en el taller y la capacidad de producir nuevas piezas con la fresadora CNC, esto con la idea de lograr una mayor satisfacción del cliente y abrir nuevas oportunidades de negocio.
- Ofrecer capacitación continua a los operadores de la fresadora CNC para mantener sus habilidades y conocimientos actualizados, lo cual puede incluir la capacitación en nuevas técnicas de programación o en el uso de nuevos programas.
- Se recomienda adquirir un software especializado en programación CNC para la fresadora. Un software CAM permitiría diseñar y programar las piezas a mecanizar en la fresadora con mayor precisión y eficiencia.
- Se recomienda que la empresa realice una evaluación periódica de la rentabilidad del proyecto, con el fin de identificar posibles ajustes en los precios y ser más competitiva en el mercado. Al reducirse los tiempos y costos de producción gracias a la fresadora CNC, la empresa puede ofrecer precios más competitivos y atractivos para los clientes sin sacrificar su margen de ganancia.

- Se recomienda mantener actualizado el software de la fresadora CNC para asegurar su correcto funcionamiento y evitar problemas de compatibilidad, una actualización del software puede permitir la adopción de nuevas funcionalidades que mejoren la eficiencia y precisión del proceso de fresado.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

Descripción

La presente propuesta tiene como objetivo ofrecer una solución al problema de subcontratación de piezas que la microempresa enfrenta debido a las limitaciones de la fresadora convencional. Para solventar este problema, se propone la conversión de la fresadora convencional a una fresadora CNC, que permitirá la fabricación de piezas más complejas y precisas en la propia empresa.

La propuesta es el resultado de un proceso de investigación que se llevó a cabo con el fin de identificar las causas del problema de subcontratación y encontrar una solución viable y efectiva. En este documento, se abordaron varias temáticas relacionadas con la conversión de la fresadora convencional a CNC, incluyendo los beneficios de la conversión, los pasos necesarios para llevarla a cabo, los recursos requeridos y las recomendaciones para su implementación exitosa.

Objetivos

La propuesta de conversión de la fresadora convencional a una fresadora CNC tiene como objetivo principal incrementar las ganancias de la microempresa, al mejorar la capacidad de producción y reducir los costos asociados a la subcontratación de piezas. Para lograr este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un estudio detallado de los componentes mecánicos, electrónicos, eléctricos y programas requeridos para la conversión de la fresadora convencional a CNC, con el fin de establecer un plan de acción adecuado y eficiente.
- Identificar los componentes que deben ser reemplazados o modificados en la fresadora convencional para su conversión a CNC, y seleccionar los componentes adecuados teniendo en cuenta las necesidades específicas de la microempresa.

- Analizar la reducción de tiempos de producción y la mejora en la precisión de los mecanizados que se lograrán con la conversión de la fresadora, mediante una simulación por medio de un programa CAM (Computer Aided Manufacturing).
- Evaluar la productividad y determinar si se puede lograr una reducción de piezas no conformes debido a las mejoras en la precisión de los mecanizados y la versatilidad de la máquina, la cual al ser automatizada estará en capacidad de trabajar en 3 dimensiones mediante la programación de un diseño CAD (Computer Aided Design) y CAM.
- Comparar el rendimiento de las herramientas de corte de una fresadora convencional contra una fresadora CNC, con el fin de determinar cuál de las dos máquinas logra alcanzar su vida útil de manera más eficiente.
- Realizar un análisis financiero para determinar la rentabilidad de la inversión en la conversión de la fresadora convencional a CNC, incluyendo los costos de inversión, los ahorros en subcontratación de piezas, los tiempos de retorno de inversión y otros factores relevantes para la toma de decisiones.

Perspectiva teórica

La conversión de fresadoras convencionales a fresadoras CNC es un tema innovador que ha surgido en respuesta a la necesidad de mejorar la eficiencia y precisión en la producción de piezas mecánicas. La tecnología CNC (Control Numérico Computarizado) se ha convertido en una herramienta fundamental para la automatización de procesos en la industria mecánica, y su aplicación en la conversión de fresadoras convencionales ha sido objeto de estudio en los últimos años.

La tecnología CNC se basa en la programación de un conjunto de instrucciones que controlan los movimientos de la fresadora, permitiendo la ejecución de procesos de mecanizado automatizados y precisos. Los componentes mecánicos y electrónicos de una fresadora CNC incluyen motores, husillos, controladores de motores, sistemas de control y otros elementos que permiten la ejecución de los procesos de mecanizado.

La conversión de fresadoras convencionales a fresadoras CNC presenta ventajas como la mejora en la precisión y calidad de los mecanizados, la reducción de tiempos de producción y el aumento de la versatilidad de la máquina.

Glosario

A continuación, se presenta un glosario de términos técnicos relevantes para la comprensión de la propuesta de conversión de fresadoras convencionales a fresadoras CNC:

- CAD: Diseño Asistido por Computadora (Computer Aided Design). Programa que permite la creación y modificación de diseños en 2D y 3D.
- CAM: Manufactura Asistida por Computadora (Computer Aided Manufacturing). Programa que permite la programación y control de procesos de mecanizado automatizados.
- CNC: Control Numérico Computarizado (Computer Numerical Control). Tecnología que permite la automatización de procesos de mecanizado mediante una programación.
- Componentes mecánicos: Elementos que conforman la estructura mecánica de una fresadora CNC.
- Componentes electrónicos: Elementos que conforman el sistema de control de una fresadora CNC, como tarjetas electrónicas, sensores, codificadores, entre otros.
- Fresadora convencional: Máquina herramienta que se utiliza para realizar mecanizados mediante la rotación de una herramienta de corte.

- Fresadora CNC: Máquina herramienta que se utiliza para realizar mecanizados mediante la programación que controla los movimientos de la fresadora.
- Husillo: Componente mecánico que se utiliza para sostener y rotar la herramienta de corte.
- Motores: Componente mecánico que se utiliza para generar los movimientos de la fresadora, como la rotación del husillo y el desplazamiento en los ejes X, Y, Z.

Propuesta

La propuesta de este proyecto consiste en la conversión de una fresadora convencional a CNC en el taller de la empresa. Para lograr este objetivo, se ha realizado una cuidadosa selección de componentes y proveedores, basada en especificaciones técnicas y en una investigación exhaustiva del mercado.

Los componentes seleccionados incluyen tornillos de bolas precargados de Rockford Ball Screw, servomotores de NEMA34 AC Servo Kit, controladores de servomotor DYN4 AC Servo Drive, tarjeta de control de movimiento Acorn CNC Control Kit, conector del controlador C86 Connector Board para el Acorn Controller, programa de control CNC CNC12 y licencia Acorn Mill "Pro" CNC Software license, y una computadora All-in-one Touch Screen CNCPC. La inversión inicial para la conversión de la fresadora convencional a CNC en el taller de la empresa asciende a ₡ 5,558,404.77, y ya incluye los costos de capacitación, salario y herramientas necesarios para operar la fresadora CNC.

Adicionalmente, esta conversión permitirá a la empresa ahorrar en costos de subcontratación por la producción de piezas que actualmente son subcontratadas. Se estima que este ahorro anual será de ₡ 6,870,400.00, lo que contribuirá significativamente al retorno de inversión del proyecto.

Con base en los costos de inversión, los ahorros por subcontratación y los ingresos proyectados, se ha calculado un flujo de caja neto de ₡ 4,962,053.50 para los próximos tres

años, con un ingreso anual de ₡ 6,870,400.00 y un egreso anual de ₡ 1,908,346.50. La tasa de descuento utilizada es del 6.33%.

El cálculo del VAN es de ₡ 7,624,655.94 y el TIR es del 71.61%. Estos resultados indican que el proyecto es altamente rentable y puede generar un retorno positivo para la empresa en un corto plazo. Además, la conversión de la fresadora convencional a CNC permitirá mejorar la eficiencia y precisión del proceso de mecanizado en el taller, lo que contribuirá significativamente a la competitividad de la empresa en el mercado.

En conclusión, la propuesta de este proyecto se basa en una cuidadosa selección de componentes y proveedores, y en un análisis financiero que indica que es altamente rentable para la empresa. La conversión de la fresadora convencional a CNC permitirá mejorar la eficiencia y precisión del proceso de mecanizado en el taller, y el ahorro en costos de subcontratación contribuirá significativamente al retorno de inversión del proyecto.

REFERENCIAS

- Arduino: todo lo que necesitas saber.* (2022, 20 diciembre). aula21 | Formación para la Industria.
<https://www.cursosaula21.com/arduino-todo-lo-que-necesitas-saber/>
- CNC Controller: Software, Drivers, & Boards [Complete DIY Guide].* (2022, 26 octubre).
 CNCCookbook: Be A Better CNC'er. <https://www.cnccookbook.com/cnc-controller-software-drivers-boards/>
- Fomitchev, G. (2022, 20 julio). *GRBL firmware settings/parameters - hex files, download, update.*
 EnduranceLasers. <https://endurancelasers.com/an-important-things-you-need-to-know-about-grbl-firmware/>
- Fresadora CNC funcionamiento y características.* (12 enero de 2022). HELLER - Maquinaria.
<https://www.hellermaquinaria.com/fresadora-cnc-funcionamiento-y-caracteristicas/>
- Fresneda, I. (3 marzo de 20223). *¿Qué es el CNC? Descubre el control numérico computarizado.*
 Vurcon - Herramienta de futuro. <https://www.vurcon.com/es/en-que-consiste-el-control-numerico-computarizado/>
- GHARGE, P. (25 octubre de 2022). *The 10 Best CNC Controllers of 2022 (USB & Boards).*
<https://all3dp.com/>. <https://all3dp.com/2/cnc-controller-usb-board/#:~:text=A%20controller%20is%20an%20essential,routers%2C%20lasers%2C%20and%20more.>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación.* México: McGraw Hill.
- HERRAMIENTAS DE CORTE PARA LA FRESADORA.* (8 septiembre de 2011). arukasi.
<https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/herramientas-de-corte-para-la-fresadora/>
- Husillo de bolas con tuerca.* (s. f.). Thomson Industries, Inc. - de metal / de precisión / laminado.
<https://www.directindustry.es/prod/thomson-industries-inc/product-7040-2252635.html>
- Husillos de bolas de los fabricantes líderes Hiwin y SBC en España. Comprar husillos de bolas en España con entrega gratis.* (s. f.). FTL. <http://ftl-maquinas.es/index.php/accesorios-de-maquinas-ftl/husillos-de-bolas>

- Ingeniería Mecafenix. (2023, 26 enero). *Motor paso a paso ¿Qué es y cómo funciona?*
<https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>
- Introducción a la tecnología CNC.* (28 diciembre de 2015). De Máquinas y Herramientas.
<https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/introduccion-a-la-tecnologia-cnc>
- Metz Devan. (2020, 1 agosto). *Arduino CNC Shield: Guía del comprador.* <https://all3dp.com/>.
<https://all3dp.com/2/arduino-cnc-shield-buyers-guide/>
- Migmun. (2023, 19 abril). Calcular el VAN de una inversión - Tutorial Excel. *Tutorial Excel.*
<https://tutorialexcel.com/calcular-el-van-de-una-inversion/>
- MyContent. (9 de febrero de 2022). *HELLER - Maquinaria.* Obtenido de
<https://www.hellermaquinaria.com/cuales-son-los-ejes-de-trabajo-de-una-fresadora/>
- Planes, E. F. (11 diciembre de 2017). *El mecanizado CAM: qué es y qué ventajas aporta.* ferrosplanes. <https://ferrosplanes.com/mecanizado-cam/>
- Planes, E. F. (4 octubre de 2016). *¿Qué es el mecanizado? Origen y características.* ferrosplanes.
<https://ferrosplanes.com/que-es-mecanizado/>
- Programación de máquinas de CNC con códigos G&M.* (s. f.). TecnoEdu.com.
<https://tecnoedu.com/CNC/GM.php>
- ¿Qué es un servomotor? ¿Cómo funciona?* •. (25 enero de 2022). Electronic Board.
<https://www.electronicboard.es/que-es-un-servomotor-como-funciona/>
- ¿Qué es una fresadora y que tipos existen?* (29 octubre de 2018). Ingeniería Mecafenix.
<https://www.ingmecafenix.com/otros/maquinas-herramientas/la-fresadora/>
- ¿Qué es CAD, para qué sirve y qué ventajas tiene?* (20 agosto de 2019). Integral Innovation Experts.
<https://integralplm.com/blog/2019/08/20/que-es-cad/#:~:text=El%20software%20de%20dise%C3%B1o%20asistido,Computer%2DAided%20Design%20%26%20Drafting.>

¿Qué es un Autómata Programable o PLC y cómo funciona? (2022, 16 diciembre). aula21 | Formación para la Industria. <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-automata-programable-o-plc-y-como-funciona/>

¿Qué es un Servomotor y para qué sirve? (16 diciembre de 2022). aula21 | Formación para la Industria. <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-servomotor/>

reporte dimensional. (s. f.). Scribd. <https://es.scribd.com/document/550376681/report dimensional>

Sobre LinuxCNC. (s. f.). linuxcnc.org. http://linuxcnc.org/docs/2.5/html/common/Getting_EMG_es.html

Steve F. Krar, A. F. (2002). *Tecnología de las Máquinas Herramienta* (5 ed.). México: Alfaomega Grupo Editor S.A DE C.V.

Trapero, D. (16 de Mayo de 2020). *Bitfab*. Obtenido de Mega guía de fresadoras – Qué son, tipos y características: <https://bitfab.io/es/blog/fresadoras/>

Ugarte Burdindegia. (2023, 23 enero). *Herramientas de corte - Ugarte Burdindegia*. <https://ugarte-zestoa.com/herramientas-de-corte/>

User, S. (. (13 de Junio de 2022). Obtenido de <http://www.ctpherediacr.org/index.php/especialidades2023/mecanica-de-precision>

Zúñiga, J. A. (2003). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UN TORNO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA [Tesis de Bachillerato, Instituto Tecnológico de Costa Rica]*. Repositorio TEC. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5635>

ANEXOS

Anexo 1

Orden de subcontratación de las placas de acero inoxidable

[REDACTED]

[REDACTED]

Cédula No: [REDACTED]

Teléfono: [REDACTED]

Dirección: [REDACTED]

Email: [REDACTED]

Actividad: [REDACTED]



Doc. Interno: FAC-00000469

DATOS GENERALES

Clave Numérica:	50629032300310130911500100001010000001272102201501	Fecha (dd-mm-aaaa):	29-03-2023 16:15:46
Consecutivo:	00100001010000001272	Fecha de Vto:	01-04-2023
Tipo Documento:	Factura Electrónica	Medio de Pago:	Otro
Vendedor:	VENDEDOR GENERAL	Condición:	Crédito
Moneda:	CRC	Días Crédito:	3
Centro de Costo:	JESUS RETANA CORTE DE PIEZAS	Proyecto:	
Referencia Externa:			

DATOS RECEPTOR

Razón Social:	ANA LORENA CHAVES BONILLA
Nombre Comercial:	ANA LORENA CHAVES BONILLA
Cédula No.:	105950012
Teléfono:	(506) 06302353
Correo electrónico:	precisionretval@outlook.com
Dirección:	AVENIDA OCHENTA DESAMPARADOS SAN JOSE

#	CÓDIGO	CABYS	DESCRIPCIÓN	CANT.	UND	PRECIO UNIT.	% DTO	% IMP	TOTAL
1	SER0010000011	8715900000000	SERVICIO DE [REDACTED]	4,000.0	Os	304.00	0.00	13.00	1,374,080.00

Observacion 1:

Observacion 2:

Observacion 3:

IVA	CRC	158,080.00
Total Impuesto	CRC	158,080.00
Total Gravado	CRC	1,216,000.00
Total Venta	CRC	1,216,000.00
Total Venta Neta	CRC	1,216,000.00
Total Comprobante	CRC	1,374,080.00

Monto en letras: UN MILLON TRESCIENTOS SETENTA Y CUATRO MIL OCHENTA COLONES

Anexo 2

Características de la fresa de 4mm

4 mm × 4 mm × 14 mm × 50 mm AlTiN E14 4F RR Spector End Mill



ITEM # 01-290-0040 BRAND: Imco UNSPSC: 27112803 MANUFACTURERNO: 0332821 TRADENAME: truCore
ALTERNATE MFG #: 32218

Price: [Log in For Price](#)

Quantity Available

Detroit, MI	7
Vendor	52



Virtual Catalog

PRODUCT SPECIFICATIONS

PRODUCT FEATURES

SHIPPING INFO

RELATED DOCUMENTATION

RELATED ITEMS

Cutting Diameter (DC)	4 mm	Shank Type	Round
Connection Diameter Machine Side (DCONMS)	4 mm	End Shape	Square
Depth of Cut Maximum (APMX)	14 mm	Usable Length (LU)	14 mm
Overall Length (OAL)	50 mm	Tool Type	Center Cut Single-End
Cutting Edge Material	Carbide	Length Group	Standard
Coating	AlTiN	Decimal Equivalent	0.1575"
Flute Count (NOF)	4	Series/List #	E14-SQ

Anexo 3

Condiciones de corte para la fresa de 4mm

Application Guide • Speed & Feed

Work Material	Type of Cut	Axial DOC	Radial DOC	Speed (SFM)			Feed (Inches per Tooth)						Speed (m/min)				Feed (mm per Tooth)						
				MG	TiCN	AlTiN	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	MG	TiCN	AlTiN	3,0	6,0	9,0	12,0	16,0	19,0	25,0
Composites, Plastics	Slot	5 x D	1 x D	300	350	350	.0008	.0015	.0022	.0030	.0037	.0047	.0060	91	107	107	.0203	.0381	.0559	.0762	.0940	.1194	.1524
	Rough	1 x D	.5 x D	375	450	450	.0009	.0018	.0027	.0035	.0045	.0055	.0070	114	137	137	.0229	.0457	.0686	.0889	.1143	.1397	.1778
	Finish	1.5 x D	.01 x D	450	650	650	.0009	.0018	.0027	.0035	.0045	.0055	.0070	137	198	198	.0229	.0457	.0686	.0889	.1143	.1397	.1778
Graphite	Slot	5 x D	1 x D	350	400	450	.0008	.0015	.0023	.0030	.0037	.0045	.0060	107	122	137	.0203	.0381	.0584	.0762	.0940	.1143	.1524
	Rough	1 x D	.5 x D	425	475	525	.0009	.0017	.0026	.0035	.0043	.0053	.0070	130	145	160	.0229	.0432	.0660	.0889	.1092	.1346	.1778
	Finish	1.5 x D	.01 x D	500	550	600	.0010	.0019	.0028	.0038	.0047	.0057	.0076	152	168	183	.0254	.0483	.0711	.0965	.1194	.1448	.1930
Cast Iron - Gray	Slot	5 x D	1 x D	200	350	350	.0004	.0007	.0011	.0015	.0019	.0023	.0030	61	107	107	.0102	.0178	.0279	.0381	.0483	.0584	.0762
	Rough	1 x D	.5 x D	250	400	400	.0005	.0010	.0015	.0020	.0025	.0030	.0040	76	122	122	.0127	.0254	.0381	.0508	.0635	.0762	.1016
	Finish	1.5 x D	.01 x D	300	450	450	.0007	.0015	.0022	.0030	.0038	.0045	.0060	91	137	137	.0178	.0381	.0559	.0762	.0965	.1143	.1524
Cast Iron - Ductile	Slot	5 x D	1 x D	200	250	250	.0004	.0007	.0011	.0015	.0018	.0023	.0030	61	76	76	.0102	.0178	.0279	.0381	.0457	.0584	.0762
	Rough	1 x D	.5 x D	250	275	275	.0005	.0010	.0015	.0020	.0025	.0030	.0040	76	84	84	.0127	.0254	.0381	.0508	.0635	.0762	.1016
	Finish	1.5 x D	.01 x D	275	325	325	.0006	.0012	.0018	.0023	.0028	.0034	.0046	84	99	99	.0152	.0305	.0457	.0584	.0711	.0864	.1168
Low Carbon Steel ≤ 38 HRc 1018, 12L14, 8620	Slot	5 x D	1 x D	250	275	300	.0005	.0010	.0015	.0020	.0025	.0030	.0040	76	84	91	.0127	.0254	.0381	.0508	.0635	.0762	.1016
	Rough	1 x D	.5 x D	275	300	325	.0006	.0012	.0018	.0025	.0031	.0037	.0050	84	91	99	.0152	.0305	.0457	.0635	.0787	.0940	.1270
	Finish	1.5 x D	.01 x D	300	325	350	.0007	.0015	.0022	.0030	.0038	.0045	.0060	91	99	107	.0178	.0381	.0559	.0762	.0965	.1143	.1524
Medium Carbon Steels ≤ 38 HRc 4140, 4340	Slot	5 x D	1 x D	225	250	275	.0005	.0010	.0015	.0020	.0025	.0030	.0040	69	76	84	.0127	.0254	.0381	.0508	.0635	.0762	.1016
	Rough	1 x D	.5 x D	250	275	300	.0006	.0012	.0018	.0025	.0031	.0037	.0050	76	84	91	.0152	.0305	.0457	.0635	.0787	.0940	.1270
	Finish	1.5 x D	.01 x D	275	300	325	.0007	.0015	.0022	.0030	.0038	.0045	.0060	84	91	99	.0178	.0381	.0559	.0762	.0965	.1143	.1524
Tool & Die Steels ≤ 38 HRc A2, D2, H13, P20	Slot	5 x D	1 x D	225	250	275	.0005	.0010	.0015	.0020	.0025	.0030	.0040	69	76	84	.0127	.0254	.0381	.0508	.0635	.0762	.1016
	Rough	1 x D	.5 x D	250	275	300	.0006	.0012	.0018	.0025	.0031	.0037	.0050	76	84	91	.0152	.0305	.0457	.0635	.0787	.0940	.1270
	Finish	1.5 x D	.01 x D	275	300	325	.0007	.0015	.0022	.0030	.0038	.0045	.0060	84	91	99	.0178	.0381	.0559	.0762	.0965	.1143	.1524
Tool & Die Steels 39 - 48 HRc A2, D2, H13, P20	Slot	25 x D	1 x D	175	200	225	.0002	.0005	.0007	.0010	.0012	.0015	.0020	53	61	69	.0051	.0127	.0178	.0254	.0305	.0381	.0508
	Rough	1 x D	.25 x D	200	225	250	.0003	.0007	.0011	.0015	.0019	.0022	.0030	61	69	76	.0076	.0178	.0279	.0381	.0483	.0559	.0762
	Finish	1.5 x D	.01 x D	225	250	275	.0004	.0009	.0014	.0018	.0023	.0027	.0036	69	76	84	.0102	.0229	.0356	.0457	.0584	.0686	.0914
Easy to Machine Stainless Steel 416, 410, 302, 303	Slot	5 x D	1 x D	200	250	250	.0003	.0007	.0011	.0015	.0019	.0023	.0030	61	76	76	.0076	.0178	.0279	.0381	.0483	.0584	.0762
	Rough	1 x D	.5 x D	250	275	275	.0005	.0010	.0015	.0020	.0025	.0030	.0040	76	84	84	.0127	.0254	.0381	.0508	.0635	.0762	.1016
	Finish	1.5 x D	.01 x D	300	325	325	.0006	.0012	.0018	.0025	.0031	.0038	.0050	91	99	99	.0152	.0305	.0457	.0635	.0787	.0965	.1270
Moderate Machining Stainless Steels 304, 316, Invar, Kovar	Slot	5 x D	1 x D	200	225	250	.0003	.0005	.0008	.0010	.0012	.0015	.0020	61	69	76	.0064	.0127	.0191	.0254	.0305	.0381	.0508
	Rough	1 x D	.5 x D	250	275	300	.0003	.0007	.0011	.0015	.0019	.0022	.0030	76	84	91	.0076	.0178	.0279	.0381	.0483	.0559	.0762
	Finish	1.5 x D	.01 x D	300	325	350	.0004	.0009	.0014	.0018	.0023	.0027	.0036	91	99	107	.0102	.0229	.0356	.0457	.0584	.0686	.0914

D = tool diameter

Reduce feed rates by 20% when using long length tools

Starting parameters shown

Anexo 4

Cotización fresa de 4mm



CORTE Y PRECISIÓN DE METALES LTDA
 Cédula Jurídica 3102047872
 Costado Norte de Motores Británicos, Tibás, Cinco Esquin
 506 22561784
 info@copre.co.cr
 www.copreinternacional.net

COTIZACIÓN

Cotización N°	16,295
Fecha Emisión	22-junio-23
Válida Hasta	22-julio-23
Asesor Técnico	CINTHIA OROZCO
Condiciones Pago	CONTADO

CLIENTE

(C-C0000) RUBEN RETANA CHAVEZ

generico

506

L	CÓDIGO (CABYS)	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	DESC	PRECIO CON DESC	TOTAL LINEA	
1	01-290-0040 (4292201070000)	FRESA 4F CARB ALTIM 4MM IMCO	10	15,220.00	0%	15,220.00	152,200.00	COL
						SUBTOTAL	152,200.00	COL
						DESCUENTO	0.00	COL
						FLETE		COL
						IVA	19,786.00	COL
						TOTAL	171,986.00	COL

Anexo 5

Cotización capacitación para configuración y programación de centro de maquinado CNC



ROBOTICS AND CNC (CAPRIS S.A.)

Cédula Jurídica: 3-101-005113
 Teléfono: (506) 4002-1466
 Línea Gratuita: N/A
 Sitio Web: www.roboticsandcnccenter.com

PROFORMA

Fecha: 28-04-2023
 Válida hasta: 13-05-2023
 Número: A-181
 Moneda: DOLAR ESTADOUNIDENSE

ESTIMADO CLIENTE

Código: 4550028
 Razón Social: RETANA CHAVES RUBEN ANTONIO
 Cédula: 112400680
 Teléfono: 89069276

CONTACTO

YADIRA CERDAS HERNANDEZ (A03)

CONDICIONES

Forma de Entrega: A CONVENIR
 Forma de Pago: A CONVENIR

LIN	CÓDIGO/REF.	DESCRIPCIÓN	COMBO	COND.	CANT.	PRECIO UNITARIO	% DESC.	TOTAL LINEA	% I.V.A.	TOTAL LINEA I.V.I.	ENTREGA
1	685129	ROBOTICS . FANUC CONFIGURACION Y PROGRAMACION MAQUINADO UF .		5-A	1.00	679.60 625.83		625.80	2.00	638.40	Disponible
2	685194	- . LIBRO CNC MACHINING UF			1.00	45.70		45.70	13.00	51.60	1 En 1 Semanas

OBSERVACIONES

PRECIO EXCLUSIVO PARA USUARIO FINAL, SI MATRICULA EL DIA DE HOY SE APLICA SOBRE EL PRECIO UN 30% DE DESC

Cargo por Flete: Se cobrara un recargo de \$3.500 sin excepción, únicamente se exonerará del recargo por flete si se retira la mercadería en nuestras instalaciones.
 Gastos de Envío fuera del territorio de CR tendran que ser consultados según el caso.

Inventario: Todas las ventas están sujetas a la disponibilidad de inventario.

Subtotal: 671.50
 Descuento: 0.00
 I.V.A.: 18.50
TOTAL: USD 690.00

FINANCIAMIENTO TECNICREDITO

PLAZO	PRIMA (20%)	CUOTA
36 MESES	137.99	29.19
24 MESES	137.99	36.20
12 MESES	137.99	58.81

Planes sujetos a aprobación, aplican restricciones.

CONSIDERACIONES ESPECIALES

5-A

Nuestros objetivos son simples... le ayudamos a cumplir con los suyos
 Empresa Certificada ISO 9001

Anexo 6

Cotización y ficha técnica centro de máquina 1100MX TORMACH



Corte y Precisión de Metales Ltda.

Cédula Jurídica 3-103-047372
 Costado Norte de Motores Británicos, La Unión,
 Carretera a Cinco Esquinas de Tibás, Zona Industrial Copay
 San José, Costa Rica.
 Tel: (506) 2256-1784 | Fax: (506) 2256-1783
 P.O. Postal: 353-4050
 Email: info@copre.co.cr



www.copreinternacional.net

Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22-05-2023
Contacto		Cotización	22052023
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	

TORMACH® 1100MX®



Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22-05-2023
Contacto		Cotización	22052023
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	

TRAVELS

X-Axis -----18" (457 mm)
Y-Axis -----11" (279 mm)
Z-Axis -----16.25" (413 mm)

SPINDLE

Spindle Power -----2 hp (1.49 kW)
Maximum Speed -----10,000 RPM
Transmission -----Poly-V Belt
Spindle Taper -----BT30

Thread Machining

- Rigid Tapping
- Tension/Compression
- Thread Mill

MAXIMUM FEED RATE

X- and Y-Axis -----300 IPM (7.62 m/min)
Z-Axis -----230 IPM (5.84 m/min)

POWER

Power Required -----Single-Phase 230 Vac, 50/60 Hz, 20A breaker

MACHINE SPECIFICATIONS

Table Size -----34" x 9.5" (863 mm x 241 mm)
Table Slots -----5/8" (15.9 mm) (three slots)
Spindle Nose to Table Max Clearance -----17" (432 mm)
Spindle Centerline to Machine Column -----11" (279 mm)
Typical System Footprint -----69" x 56.5" (1753 mm x 1435 mm)
Overall System Height -----92" (2337 mm)
Typical System Weight -----1600 lb (726 kg)



Corte y Precisión de Metales Ltda.
 Cédula Jurídica 2-102-047872
 Costado Norte de Motores Británicos, La Uruca,
 Carretera a Cinco Esquinas de Tibola, Zona Industrial Copre,
 San José, Costa Rica.
 Tel: (506) 2256-1784 | Fax: (506) 2256-1781
 Código Postal: 353-4050
 Email: info@copre.co.cr



www.copreinternacional.net

Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22-05-2023
Contacto		Cotización	22052023
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	

ACCESSORIES

- 1 Machine Owner's Kit
- 2 Stand
- 3 Chip Tray required for 1100MX
- 4 Enclosure Kit
- 5 PathPilot Controller
- 6 Touch Screen Kit
- 7 Controller Arm
- 8 Lifting Bar Kit
- 9 Automatic Oiler Kit (230V) for 1100Mx
- 10 Flood Coolant Kit (1/8 HP) for 1100M/MX and
- 11 Haimer 3D Sensor Kit (BT30)
- 12 5 in. Machinist Vise - Precision Angle Lock
- 13 BT30 Operator's Kit (Inch)
- 14 Machine Way Oil (1 Gallon)
- 15 QualiChem XTREME CUT 251C
- 16 Automatic Tool Changer for the 1100MX (BT30)
- 17 Waterproof Mouse
- 18 Waterproof Mini-Keyboard
- 19 Jog Shuttle Controller
- 20 CRATE/COMB: Crating and combining

CONTROLLER

PathPilot® Controller
 Standard Features
 User-friendly design
 Intuitive conversational programming
 80 GB of system program memory
 Built-in Dropbox™
 support for seamlessly transferring programs



Corte y Precisión de Metales Ltda.
 Cédula Jurídica 3-103-047872
 Costado Norte de Motores Británicos, La Uruca,
 Carretera a Cinco Esquinas de Tibás, Zona Industrial Copey
 San José, Costa Rica.
 Tel: (506) 2258-1784 | Fax: (506) 2258-1781
 Ayuda Postal: 353-4050
 Email: info@copre.co.cr



www.copreinternacional.net

Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22-05-2023
Contacto		Cotización	22052023
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	

DETALLES DE LA INVERSION

CENTRO DE MECANIZADO 1100MX TORMACH ----- \$56,000 +iva

CONDICIONES GENERALES

Tiempo de entrega: 60 Días

Validez de la oferta: 30 días

Forma de pago: 50% junto con la Orden de compra // 50% contado contra entrega

Lugar de Entrega: En sus Instalaciones (no incluye montacargas para la descarga)

Soporte Técnico

Puesta en marcha: Por un técnico de nuestra compañía.

GARANTÍA

- ✓ Bienes nuevos: Libre de defectos y contruidos con materiales de primera calidad
- ✓ Funcionamiento: 12 meses contra defectos de fabricación a partir de la instalación del equipo ofrecido.

Vendedor: Cristian Artavia	P/Corte y Precisión de Metales Ltda. _____
----------------------------	--

GRACIAS POR DARNOS LA OPORTUNIDAD DE COTIZARLES

Anexo 7

Especificaciones técnicas y cotización del sistema Mill Power G2



Corte y Precisión de Metales Ltda.
 Cédula Jurídica 3-102-047872
 Costado Norte de Motores Armónicos, La Unión,
 Carretera a Cinco Esquinas de Tibás, Zona Industrial Coopy
 San José, Costa Rica.
 Tel: (506) 2256-1784 | Fax: (506) 2256-1783
 Apdo Postal: 353-4050
 Email: info@copre.co.cr



www.copreinternacional.net

Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22/5/2023
Contacto		Cotización	2252023-01
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	

**SISTEMA MILL POWER DE 3 EJES G2
 MARCA ACURITE USA – FABRICACION USA**



– CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS –

1. *Restablece a cero la pieza de trabajo después de pérdida de potencia en forma fácil y de forma precisa.*
2. *Da una representación inmediata de gráficos para verificación de programas y durante el maquinado, para reducir errores y desperdicios.*
3. *Cuenta con capacidad de usar zoom (ampliaciones) para observar detalles.*
4. *Permite localizar aplicaciones para funciones específicas, ajustar avances, arranques y paros de forma rápida y fácil.*



Corte y Precisión de Metales Ltda.
 Cédula Jurídica 5-102-047872
 Costado Norte de Motores Británicos, La Uruca,
 Carretera a Cinco Esquinas de Tibás, Zona Industrial Copey
 San José, Costa Rica.
 Tel: (506) 2256-1784 | Fax: (506) 2256-1780
 Apdo Postal: 353-4050
 Email: info@copre.co.cr



www.copreinternacional.net

Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22/5/2023
Contacto		Cotización	2252023-01
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	

5. *Límites de trayectoria: Se puede establecer límites máximos de trayectoria en el programa en lugar de costosos interruptores mecánicos que limitan el recorrido.*
6. *Teclas de funciones: Permite realizar arcos, círculos, rectángulos solo presionando un botón.*
7. *Librería de herramientas; Permite crear una librería de herramientas de uso frecuente para reducir tiempo durante la programación.*
8. *Permite realizar ajustes de avances sin salir de la función de fresado del programa*
9. *Se requiere fabricar piezas para ajustar el Millpower a su máquina que se realiza con material y máquinas de su empresa en el momento de instalar*
10. *Da una representación inmediata de gráficos para verificación de programas y durante el maquinado, para reducir errores y desperdicios.*

-SISTEMA AUTOMATIZACION-

1. *Capaz de correr Código G desde programas CAD /CAM, para tener opción de una máquina CNC de 3 ejes*
2. *Convierte archivos DXF en lenguaje de programación*
3. *Con 3 lenguajes de operación: Conversacional, archivos DXF, código G.*
4. *Compatible con todos los programas CAD más usadas en el mercado*

EL HARWARE INCLUYE

1. *Tornillos de Bola endurecidos y rectificadas*
2. *Servomotores y accesorios para instalación*
3. *Escalas de vidrios con una resolución de 2 µm (0.0001")*
4. *Visualizador de 10" a color, de pantalla LDC*
5. *Interruptor remoto de arranque y paro*
6. *Incluye sistema de cambio rápido*
7. *Software de G2*
8. *Se puede actualizar el software desde la página web*

Instalación:

1. *Serán instalados adecuadamente e indicaremos el plazo para esta labor 1 semanas*
2. *La instalación se coordinará con el encargado de área.*



Corte y Precisión de Metales Ltda.
 Cédula Jurídica 9-102-047872
 Costado Norte de Motores Británicos, La Unión,
 Carretera a Cinco Esquinas de Tibás, Zona Industrial Copey
 San José, Costa Rica.
 Tel: (506) 2256-1784 | Fax: (506) 2256-1783
 Apdo Postal: 353-4050
 Email: info@copre.co.cr



www.copreinternacional.net

Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22/5/2023
Contacto		Cotización	2252023-01
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	

3. *la instalación puede necesitar ayuda y fabricación de piezas para adaptar el sistema a su máquina algunas piezas deben adaptarse y los materiales, maquinado corre por cuenta del cliente.*

4. *Entregaremos plan de seguridad de instalación del equipo*

Capacitación

1. *Capacitación incluida en el precio en las instalaciones de su empresa. Se brinda capacitación en dos partes : una de 3 días hábiles y luego una semana o quince días después otros 3 días hábiles*

2. **Manuales:**

1. *Manuales de operación y mantenimiento*

Información Técnica de la oferta:

1. *Se entrega toda la información técnica complementaria necesaria con el fin de mostrar claramente las características del equipo ofrecido.*

2. *Garantía 12 meses: Componentes incluyendo el sistema de automatización*

INVERSIÓN

Inversión MILL POWER G2	\$ 27.000
Impuesto de Venta	\$ 3,510
INVERSIÓN TOTAL	\$ 30.510

CARACTERÍSTICAS DEL NUEVO CONTROL MILLPWR G2

MILLPWR^{G2}

Powerful yet easy to operate

CNC retrofit systems for knee mills and bed mills.

Faster set-ups, shorter run times and a major boost in productivity are just one "powerful easy" retrofit away. Our new MILLPWR^{G2} control and retrofit kits can turn just about any knee mill into a powerhouse money-maker.

USB and Ethernet compatible, it features a bright 12.1" high resolution display, 1 GHz processor and plenty of programming capabilities – estimated runtimes, expanded tool/datum offsets, enhanced tool paths, plus a dxf converter.

[MILLPWR^{G2} User's Manual](#)



Corte y Precisión de Metales Ltda.
 Cédula Jurídica 3-102-047872
 Costado Norte de Motores Británicos, La Uruca,
 Carretera a Cinco Esquinas de Tibás, Zona Industrial Copey
 San José, Costa Rica.
 Tel: (506) 2256-1784 | Fax: (506) 2256-1780
 Apdo Postal: 353-4050
 Email: info@copre.co.cr



www.copreinternacional.net

Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22/5/2023
Contacto		Cotización	2252023-01
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	



"The bright display and 3D graphics make it very easy to use. Production has increased due to the streamlined navigation and faster set-ups, thanks to user-friendly programming and expanded tool/datum offsets." – John Reynolds, Plant Manager



Check out the new features:

- USB + Ethernet compatible
- Simplified navigation that eliminates multiple menu screens
 - Upgrades available for all legacy MILLPWR models



Corte y Precisión de Metales Ltda.
 Cédula Jurídica 5-102-047872
 Costado Norte de Motores Británicos, La Uruca,
 Carretera a Cinco Esquinas de Tibás, Zona Industrial Copey
 San José, Costa Rica.
 Tel: (506) 2256-1764 | Fax: (506) 2256-1751
 Apdo Postal: 353-4060
 Email: info@copre.co.cr



www.copreinternacional.net

Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22/5/2023
Contacto		Cotización	2252023-01
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	

- 12.1" high resolution display with 3D graphics
 - 1 GHz processor
 - Available off- line software
 - Estimated runtime feature
 - Expanded tool / datum offsets

What's new and improved with the Acu-Rite MILLPWR^{G2}

¡NEW! MILLPWR^{G2}

External Storage	USB / Ethernet (RS-232)
Internal Storage	2.5 GB Flash (User)
Processor	1 GHz Celeron® M
Display	12.1" 1024 x 768
Windows Off-Line Programing Station	✓
Program Preview	✓ (Listed & Graphic)
Filename Filter Search	✓
File Manager Navigation	Tree
Estimated Machining Time	✓
Auto Save (Program)	✓
Program Size Limit	9,999 Steps
G Code Program	✓ Extended Support Plus G80 Series Drill Cycles
Block Form Solid Model 3D Graphics	✓ (w/ User Override)
Program Step Navigation	Hard Keys & Pop-up Menu
Custom Pocket & Islands	✓ (Ramp Feed & Optimized Path)



Corte y Precisión de Metales Ltda.
 Cédula Jurídica 5-102-047872
 Costado Norte de Motores Británicos, La Uruca,
 Carretera a Cinco Esquinas de Tibás, Zona Industrial Copey
 San José, Costa Rica.
 Tel: (506) 2250-1784 | Fax: (506) 2250-1785
 Apdo Postal: 353-4050
 Email: info@copre.co.cr



www.copreinternacional.net

Compañía	Sr Ruben Retana Chavez	Fecha	22/5/2023
Contacto		Cotización	2252023-01
Teléfono	+506 8906 9276	Vendedor	
Email		Christian Artavia	

Circle (Pocket, Frame, Ring, Helix)	✓ (Ramp Feed)
Tool Library	✓ (Specify by Tool Number)
Multiple Datum's (Fixture Offsets)	99
Graphic View	Line / 3D Shaded
Error Compensation	Linear & Bidirectional Non-linear

ACU-RITE

LE OFRECE

- Incrementar la productividad.
- Fácil utilización.
- Versatilidad.
- Flexibilidad.
- Reducción de los tiempos de "setup" de su máquina.
- Tecnología avanzada. Servicio y soporte técnico.
- Rentabilidad y precio accesible.
- Eficiencia y productividad.

Anexo 8

Cotización, catálogo de partes y especificaciones técnicas de los tornillos de bolas

JH

James Hunt <james.hunt@rockfordballscrew.com>

Para: Usted

page 112 about BRP.pdf
Descargadopage 113 BRP.pdf
Descargado

2 archivos adjuntos (181 KB) Guardar todo en OneDrive Descargar todo

Good morning,

Thank you for your Bridgeport inquiry. I have attached some literature and have referenced pricing below.

Rockford Ball Screw Preloaded Ball Screws for Bridgeport Mills

I have attached our catalog pages for the preloaded ball screws for Bridgeport mills. Please review the screw dimensions and compare with you existing screws. Feel free to send photos of your existing screws, nut and housing, we are glad to review.

Upon catalog review you will find dimensions and part numbers.

#BRP-xxxx

#BRP-xxxx

#B2350 Housing (part number not shown in catalog)

Bridgeport Kit Includes:

- X,Y axis screw
- Preloaded ball nuts
- Housing

Lead Time: 8-10 Weeks

Price: \$2100.00 Net Each Kit



CLONE MILL RETROFIT KITS

available for following mills*:

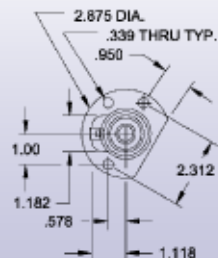
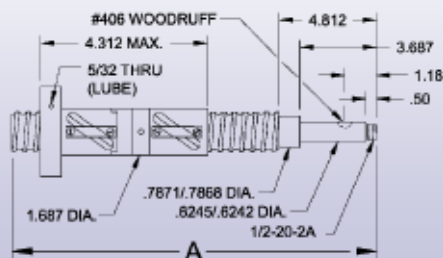
- ACER MILL
- ALLIANT MILL
- ATRUMP MILL
- CLAUSING KONDIA MILL
- CLEVELAND MILL
- ENCO MILL
- INDEX MILL
- KENT MILL
- LAGUN FTV 1,2,3
- MILLPORT MILL
- PARTNER O MILL
- PRATT & WHITNEY MILL
- SHARP MILL
- SIEBER HEGNER
- SOUTH BEND MILL
- SUPERMAX MILL
- VICTOR MILL
- WEBB MILL

**Consult factory on other mills not listed.*

These Tough, Bridgeport Retrofit Kits Offer Many Convenient Features:

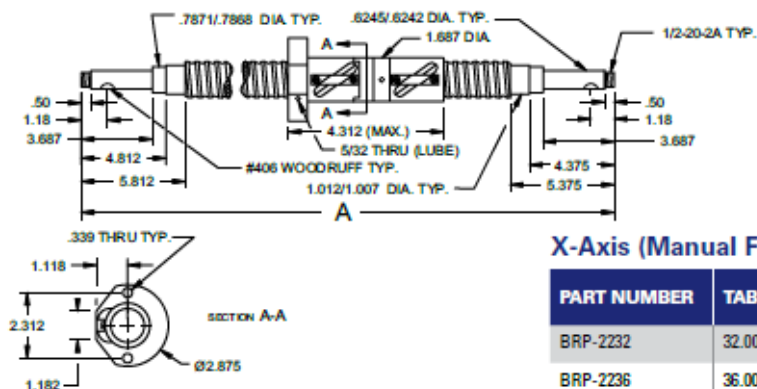
- **High-Capacity, Long-Life:** Each ball nut assembly of the Rockford preloaded unit has one circuit of 3 1/2 turns of ball bearings. It will provide a load life expectancy of 50 million inches of travel at an operating load of 400 pounds. The screw and nut assemblies are made of hardened steel.
- **Precision-Rolled Ball Screws:** Lead accuracy is guaranteed to be within .003 inches per foot accumulative. Lead charts for programming lead error on n/c applications are available.
- **Preloaded Ball Nuts:** Each ball nut is preloaded to eliminate lost motion. This system stiffness provides faster response from a control command. This added stiffness also allows heavier cuts and climb milling thus increasing productivity. The Rockford preload is adjustable. This feature permits readjustment for wear and reduces the need for repair or replacement at some time in the future.
- **Brush-Type Wipers:** Brush-type wipers, at the ends of each preloaded ball nut assembly prevents entry of dirt and metal chips.
- **Easy-Access Lubrication:** Lubrication of ball nuts made easy through 5/32" holes in the flanges. These holes provide for attachment of existing lube tubing.
- **High-Strength Housing:** The high-strength support housing reduces lost motion. The ductile iron housing reduces cross-slide deflection to less than 50% of the original installation. The housing is fully machined and ready to bolt in.
- **Easy Installation:** Installation procedure is simple and typical installation time is 1-2 hours.
- **Kits in Stock:** for any Table Size (Manual or Power Feed). Clone Mill Kits are made to order.
- **Angular Contact Bearings:** Angular contact bearings and spacer sets for replacement of original radial bearings (reduce backlash and increase rigity). PART NUMBER BRP-7204

PRELOADED BRIDGEPORT RETROFIT KITS



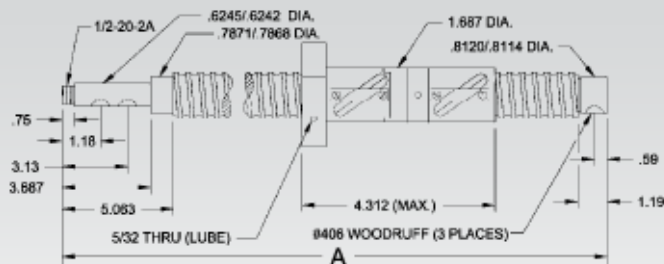
PART NUMBER	TABLE STROKE	A DIM.	LEAD
BRP-2209	9.000	21.00	.200 LH

PART NUMBER	TABLE STROKE	A DIM.	LEAD
BRP-2212	12.00	24.00	.200 LH



X-Axis (Manual Feed)

PART NUMBER	TABLE SIZE	A DIM.	LEAD
BRP-2232	32.00	42.00	.200 RH
BRP-2236	36.00	46.00	.200 RH
BRP-2242	42.00	52.00	.200 RH
BRP-2248	48.00	58.00	.200 RH



PART NUMBER	TABLE SIZE	A DIM.	LEAD
BRP-2232PF	32.00	36.25	.200 RH
BRP-2236PF	36.00	40.25	.200 RH

PART NUMBER	TABLE SIZE	A DIM.	LEAD
BRP-2242PF	42.00	46.25	.200 RH
BRP-2248PF	48.00	52.25	.200 RH

Note: Most makes of power feed units are made to fit on a standard manual feed screw (see above). Ball Nut Dimension same as x-axis above.
Gear Box Power Feed Screws also available (not shown).

Anexo 9

Especificaciones técnicas del Intel NUC10i3FNH

Especificaciones técnicas

[^ Contraer todo](#)

^ Resumen

Procesador	2.1 GHz core_i3
RAM	64 GB DDR4
Disco Duro	512 GB HDD
Coprocesador de gráficos	Intel Gráficos UHD
Marca Chipset	Intel
Descripción de la tarjeta	Gráficos UHD
Tipo de conexión inalámbrica	Bluetooth
Número de puertos USB 2.0	2

^ Otros Detalles Técnicos

Marca	Intel
Series	Rendimiento NUC 10
Número de modelo del producto	NUC10i3FNHN
Plataforma de hardware	PC
Sistema operativo	Windows 10
Dimensiones del producto	6,1 x 5 x 4,8 pulgadas
Dimensiones del artículo Largo x Ancho x Altura	6.1 x 5 x 4.8 pulgadas
Color	Negro -
Marca del procesador	Intel
Número de procesadores	1
Tipo de memoria del equipo	DDR4 SDRAM
Interfaz de la unidad de disco duro	Solid State