



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL REDUNDANTE PARA LA MÁQUINA PUNZONADORA
CNC BESCO DE LA EMPRESA SICAL INGENIERÍA”**

AUTORES:

**ESPINOZA PACHECO, EDWIN GARETH
ORTIZ ACOSTA, CARLOS IVÁN**

DIRECTOR: ING. ORTIZ TULCÁN, HUGO RAMIRO

SANGOLQUÍ

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL REDUNDANTE PARA LA MÁQUINA PUNZONADORA CNC BESCO DE LA EMPRESA SICAL INGENIERÍA”*, realizado por los señores Edwin Gareth Espinoza Pacheco y Carlos Iván Ortiz Acosta, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor Edwin Gareth Espinoza Pacheco y al señor Carlos Iván Ortiz Acosta para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, marzo 2018

Atentamente:

Ing. Hugo Ortiz Mgs.

DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Espinoza Pacheco Edwin Gareth, con cédula de identidad N°171998123-3 y Ortiz Acosta Carlos Iván, con cédula de identidad N°180479815-3, declaramos que este trabajo de titulación *"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL REDUNDANTE PARA LA MÁQUINA PUNZONADORA CNC BESCO DE LA EMPRESA SICAL INGENIERÍA"*, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, marzo 2018

Edwin Gareth Espinoza Pacheco

C.C 171998123-3

Carlos Iván Ortiz Acosta

C.C. 180479815-3



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Espinoza Pacheco Edwin Gareth y Ortiz Acosta Carlos Iván, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación *"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL REDUNDANTE PARA LA MÁQUINA PUNZONADORA CNC BESCO DE LA EMPRESA SICAL INGENIERÍA"* cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, marzo 2018

Edwin Gareth Espinoza Pacheco
C.C 171998123-3

Carlos Iván Ortiz Acosta
C.C. 180479815-3

DEDICATORIA

A mi madre Irma.

Por haberme apoyado a lo largo de esta etapa, por su preocupación constante, por sus bendiciones a diario, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona perseverante, lo más importante, por su amor.

A mi padre Edwin.

Por tu ejemplo de ver la vida siempre de forma positiva, por tus consejos en el momento preciso, tu confianza en el buen corazón de las personas, por creer en mí y porque siempre me apoyaste, tratando de romper esquemas siempre.

A mis hermanos.

Jaelly, por tu dedicación, tu seguridad y coherencia, por demostrar que la familia está por encima de todo, por tu cariño; Jordie, por tu serenidad, tu franqueza para decir las cosas, para que veas que con dedicación y compromiso todo es alcanzable.

A mis familiares.

A mis cinco abuelitos, a usted Marrí por su entrega constante, por llenarme el alma con una sonrisa, a mis padrinos, ustedes saben cuan importantes fueron para la culminación de este ciclo, y a todos aquellos que me han apoyado.

A mi enamorada.

Por haber sido parte de mi faceta universitaria, a ti Katherine, por tu paciencia, por los detalles a diario, las amanecidas, finalmente por tu amor.

Edwin Gareth Espinoza Pacheco

DEDICATORIA

A Dios

Por haberme permitido estar con mi familia en estos momentos, por la salud para lograr mis objetivos, además de su infinito amor, y ser el único ser en el que podemos confiar, y que por su infinito amor nunca me ha desamparado

A mis padres

Quienes han sido los pilares de mi vida, quienes nunca me faltaron en ningún momento y quienes siempre han estado al pendiente de mí y de mis hermanas, quienes con su esfuerzo han sabido salir a delante y edificar la familia que somos.

A mis abuelitas

Emy quien siempre está orgullosa y siempre ha estado al pendiente de mí, y a quien va dedicada todo el esfuerzo y dedicación en mi carrera universitaria. Mi abuelita Rosa quien desde pequeño me ha permitido ser una persona de bien.

A mis hermanas

Carolina por ser siempre la que me motivó a ser un profesional y quien siempre fue y será un ejemplo al cual debo seguir, a Karen quien siempre confió en mí y quien siempre está orgullosa de todo lo que estoy logrando en la vida

A mis amigos y compañeros quienes siempre sea en las buenas y en las malas estuvieron conmigo, en especial al grupo de “los fichas” quienes desde la primera sonrisa hasta al último logro estuvieron con su apoyo incondicional

Carlos I. Ortiz A.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen Dolorosa, que siempre guiaron mi camino, con sus lecciones de vida que me enseñaron que en la vida uno es más para servir mejor.

A mis padres, a ti pa y a ti ma por desde pequeño llenarme de cariño y de ganas por ser mejor, por darme las herramientas necesarias, por ser parte de cada momento de mi vida, gracias por la familia que formaron.

Gracias a mis hermanos por ser mi apoyo, estando en cada momento de debilidad, por sacarme una sonrisa cuando las cosas se tornaban difíciles, Jaelly y Jordie gracias por demostrar al mundo que no hay mejor amigo que un hermano.

A mi familia por estar siempre pendientes de mí, a Papiju, Mamiluz, Ñaté, Papalalo, Marrí, Carol, Kléber, Lili, Danny, Amparito, Roberth, Alex, Mauri, Kelly, gracias por el tiempo de calidad compartido.

A mis maestros, que me compartieron sus conocimientos para convertirme en un gran profesional, a mi director de tesis el Ingeniero Hugo Ortiz, por su tiempo, dedicación y por su pasión por transmitir sus conocimientos.

A mi compañero de tesis, por los momentos que compartimos a lo largo de nuestra carrera, por ser una persona incondicional, a “los fichas” que con su presencia han hecho que en esta etapa universitaria existan recuerdos inolvidables.

Un agradecimiento sincero a la Empresa Sical Ingeniería y a todos los que forman parte de esta, por abrir las puertas a dos jóvenes estudiantes con ganas de demostrar lo aprendido, gracias por ser parte de esta meta cumplida.

Edwin Gareth Espinoza Pacheco

AGRADECIMIENTOS

A dios por darme la capacidad y perseverancia durante mi vida universitaria y por permitirme alcanzar mis metas, por brindarme las oportunidades de ser una mejor persona y un profesional

A mis padres por el esfuerzo y brindarme la educación y formarme como persona con valores, costumbres y principios

A mis hermanas, por todos los momentos de felicidad, a pesar de la distancia y nuestras diferencias, y las metas que nos propusimos juntos

A mis compañeros y amigos de universidad, con quienes compartimos varios buenos y malos momentos a lo largo de mi carrera universitaria

A mis amigos y compañeros de entrenamiento en Community Box, en quienes encontré una segunda familia, con quienes compartimos logros, metas, y con quienes puedo contar en cualquier ocasión

A mi compañero de tesis, con quien juntos logramos varios logros a lo largo de nuestra vida y con quien quiero seguir logrando éxitos

A Sical ingeniería, quienes confiaron en nosotros y quienes nos abrieron sus puertas y nos apoyaron con sus conocimientos y experiencia en el ámbito laboral

A mi tutor institucional Ing. Hugo Ortiz y tutor empresarial Ing. Mauricio Iza; por compartir sus conocimientos, por su paciencia y orientación durante mi etapa estudiantil y durante la realización de este proyecto de

Carlos I. Ortiz A.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e importancia	3
1.3 Alcance de proyecto.....	5
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo General	7
1.4.2 Objetivos Específicos	7
1.5 Descripción del Proyecto.....	8

1.5.1	Capítulo I – Introducción.....	8
1.5.2	Capítulo II – Marco referencial	9
1.5.3	Capítulo III – Diseño del nuevo sistema de control.....	10
1.5.4	Capítulo IV – Implementación del nuevo sistema de control.....	10
1.5.5	Capítulo V – Pruebas y resultados	11
1.5.6	Capítulo VI – Conclusiones y recomendaciones.....	11
	CAPÍTULO II.....	12
	MARCO REFERENCIAL	12
2.1	Máquina CNC.....	12
2.1.1	Introducción.....	12
2.1.2	Control Numérico Computarizado (CNC)	14
2.1.3	Componentes.....	15
2.1.4	Ventajas / desventajas	18
2.1.5	Objetivos	20
2.2	Máquina punzonadora.....	21
2.2.1	Introducción.....	21
2.2.2	Punzonado	22
2.2.3	Ciclo de punzonado.....	23
2.2.4	Punzonadora.....	24
2.2.5	Punzonadora CNC	25
2.3	Lenguaje de programación.....	27
2.3.1	Código G.....	27
2.3.2	Aplicaciones	30
2.3.3	Sistema CAD.....	31

2.3.4	Sistema CAM	33
2.3.5	Sistema CAD/CAM.....	34
2.4	Sistemas electrónicos de una máquina CNC.....	35
2.4.1	Motores de desplazamiento	35
2.4.2	Elementos de campo.....	38
2.4.3	Fuentes de alimentación	39
2.5	Sistemas de control.....	41
2.5.1	Controlador para CNC.....	41
2.5.2	Controlador para motores paso a paso	43
CAPÍTULO III.....		44
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL		44
3.1	Identificación de componentes del antiguo tablero de control.....	44
3.1.1	Sistema hidráulico	47
3.1.2	Sistema neumático.....	49
3.2	Diseño del tablero de control distribución eléctrica.....	50
3.3	Diseño del sistema de control	55
3.3.1	Módulos del controlador	57
3.3.2	Configuración de parámetros	70
3.3.3	Controladores XINJE.....	75
3.4	Requerimientos para el montaje del controlador NCT-03.....	80
3.5	Diseño físico del tablero de control.....	81
3.3.4	Elementos internos.....	81
3.5.1	Elementos de mando	83

CAPÍTULO IV	86
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	86
4.1 Descripción e instalación de controladores	86
4.2 Selección e instalación de Elementos Eléctricos	90
4.2.1 Cableado y etiquetado	96
4.3 Configuración de dispositivos	98
4.4 Elementos de campo.....	101
4.5 Tablero de Control.....	104
4.6 Ajustes de Parámetros	107
CAPÍTULO V	108
PRUEBAS Y RESULTADOS	108
5.1 Pruebas de funcionamiento en maqueta	108
5.1.1 Controlador y servodrives.....	110
5.1.2 Controlador, servodrives y E/S digitales	113
5.1.3 Sistema de control.....	115
5.2 Pruebas de funcionamiento en la punzonadora CNC Besco	119
5.2.1 Repetibilidad	120
5.2.2 Exactitud	122
5.2.3 Velocidad	125
5.2.4 Eficacia	126
5.3 Resultados comparativos	128
5.3.1 Repetibilidad	128
5.3.2 Exactitud	130

5.3.3	Velocidad	132
5.3.4	Eficacia	133
CAPÍTULO VI	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Parámetros técnicos de la máquina punzonadora</i>	44
Tabla 2 <i>Partes del principio de conducción de la punzonadora</i>	45
Tabla 3 <i>Puntos de lubricación de la máquina</i>	49
Tabla 4 <i>Funciones de las salidas digitales</i>	59
Tabla 5 <i>Funciones de las entradas digitales</i>	62
Tabla 6 <i>Funciones de la interfaz xs1</i>	65
Tabla 7 <i>Funciones de la interfaz xs2</i>	67
Tabla 8 <i>Funciones de la interfaz xs3</i>	69
Tabla 9 <i>Encoder hacia el servomotor</i>	77
Tabla 10 <i>Descripción de conexión hacia el controlador</i>	78
Tabla 11 <i>Especificaciones de los servomotores</i>	91
Tabla 12 <i>Elementos eléctricos del nuevo tablero de control</i>	92
Tabla 13 <i>Parámetros básicos</i>	98
Tabla 14 <i>Parámetros adicionales</i>	99
Tabla 15 <i>Parámetro P0-01</i>	100
Tabla 16 <i>Parámetro P2-00</i>	100
Tabla 17 <i>Material para elaboración del nuevo tablero de control</i>	105
Tabla 18 <i>Entradas y salidas del controlador</i>	118
Tabla 19 <i>Prueba 1: Repetibilidad</i>	121
Tabla 20 <i>Prueba 1: Repetibilidad expresado en porcentajes</i>	122
Tabla 21 <i>Prueba 2: Exactitud</i>	124
Tabla 22 <i>Prueba 2: Exactitud expresado en porcentajes</i>	125
Tabla 23 <i>Prueba 4: Eficacia</i>	127

Tabla 24 <i>Prueba 1: Resultados porcentuales de S.C. antiguo/actual.....</i>	129
Tabla 25 <i>Prueba 2: Resultados porcentuales de S.C. antiguo/actual.....</i>	131
Tabla 26 <i>Prueba 3: Resultados de tiempos de S.C. antiguo/actual.....</i>	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama esquemático del punzón hidráulico.	45
Figura 2 Diagrama del área de protección de la abrazadera.	47
Figura 3 Puntos de lubricación del sistema.	48
Figura 4 Diagrama del sistema neumático.....	51
Figura 5 Diagrama SICAL CNC – Fuerza.	54
Figura 6 Diagrama de E/S externas del controlador.	58
Figura 7 Diagrama de pines de salidas digitales.....	59
Figura 8 Diagrama de pines de entradas digitales.....	61
Figura 9 Diagrama SICAL CNC – Servo drive Eje X.....	64
Figura 10 Diagrama SICAL CNC – Servo drive Eje Y.....	67
Figura 11 Diagrama SICAL CNC – Servo drive Eje Z.....	68
Figura 12 Dimensiones del servodrive (und: mm).....	76
Figura 13 Dimensiones de los servomotores (unidad: mm).	76
Figura 14 Diagrama de disposición del conector CN2.	77
Figura 15 Diagrama de disposición del conector CN1.	78
Figura 16 Cableado de los servodrive.	79
Figura 17 Dimensiones del nuevo tablero de control (unid: mm).	82
Figura 18 Ubicación de Servodrives.	82
Figura 19 Puerta del armario de control.....	84
Figura 20 Controlador NTC-03.	85
Figura 21 Controlador CNC NCT-03.....	86
Figura 22 Instalación del controlador CNC NCT-03.....	87
Figura 23 Partes del servomotor XINJE.....	89

Figura 24 Conexión entre el servomotor y la máquina.....	90
Figura 25 Servo-drives utilizados.....	94
Figura 26 Diagrama de comando por pulso.....	101
Figura 27 Sistema neumático de la punzonadora BESCO CNC.....	103
Figura 28 Motor y torreta de la máquina punzonadora.....	103
Figura 29 Construcción del nuevo tablero de control.....	104
Figura 30 Conexiones del nuevo panel de control.....	105
Figura 31 Puerta del panel de Control.....	106
Figura 32 Maqueta CNC.....	108
Figura 33 Vista lateral de la maqueta.....	109
Figura 34 Sensores finales de carrera en maqueta.....	110
Figura 35 Controlador Principal NCT-03.....	111
Figura 36 Vista Trasera del Controlador.....	111
Figura 37 Vista Frontal Controlador Xinje.....	112
Figura 38 Modulo de Adquisición de Datos NCT.....	113
Figura 39 Vista Interior del Nuevo Tablero de Control.....	115
Figura 40 Vista Frontal del Actual Tablero de Control.....	116
Figura 41 Vista Interior del Actual Tablero de Control.....	117
Figura 42 Elementos Eléctricos del Actual Tablero de Control.....	119
Figura 43 Vista Frontal Punzonadora CNC.....	120
Figura 44 Diseño de punzonado para evaluar repetibilidad.....	120
Figura 45 Mediciones tomadas para evaluar repetibilidad.....	121
Figura 46 Diseño de punzonado para evaluar exactitud.....	123
Figura 47 Mediciones tomadas para evaluar exactitud.....	123

Figura 48 Diseño de punzonado para evaluar velocidad	126
Figura 49 Diseño de punzonado para evaluar eficacia	128
Figura 50 Repetibilidad Comparativa.....	130
Figura 51 Porcentaje de error - Exactitud	132
Figura 52 Tiempo de ejecución	133
Figura 53 Porcentaje de eficacia	134
Figura 54 Plancha errónea (#10).....	134

RESUMEN

El presente trabajo de titulación plantea el diseño de un sistema de control redundante optimizado para la máquina Punzonadora CNC Besco, con la utilización de elementos disponibles en el mercado local, que permita prescindir del soporte de fabricante y de los distintos equipos y repuestos de difícil acceso en el país. La máquina Punzonadora CNC Besco, para la realización de diseños de perforaciones sobre planchas metálicas, consta de tres sistemas principales: 1) el sistema mecánico, el cual permite el movimiento en los ejes X y Y, así como el movimiento de la torreta, la cual nos permite seleccionar los tipos de herramienta para el punzonado; 2) el sistema de control, el cual está conformado por elementos de campo y maniobra, y controladores dedicados, y, 3) el sistema neumático, el cual permite la activación de todos los actuadores neumáticos como son pistones y embragues. El sistema funciona en conjunto con software CAD, que se pasa a lenguaje de máquina CAM, lenguaje que lee nuestro controlador principal, con el cual se realizan los diseños de perforaciones. Se detalla todo el sistema de control CNC basado en un controlador principal y controladores secundarios para los motores, en los cuales se realiza la configuración de cada controlador por separado y en conjunto para un correcto funcionamiento, así como también parámetros de configuración secundarios.

Palabras clave. -

- **PUNZONADORA**
- **CAD/CAM**
- **SERVODRIVES**

ABSTRACT

The present degree assignment proposes the design of a redundant control system optimized for the CNC Besco punching machine, with the use of elements available in the local market, which makes it possible to dispense with the manufacturer's support and equipment and parts that are difficult to access in the country. The Besco CNC punching machine, for the realization of designs of perforations on metal plates, consists of three main systems: 1) the mechanical system, which allows the movement in the X and Y axes, as well as the movement of the turret, which allows to select the types of tool for the punching; 2) the control system, which is made up of field and maneuver elements, and dedicated controllers, and, 3) the pneumatic system, which allows the activation of all the actuators such as pistons and clutches. The system works in conjunction with the CAD software, which is passed to a machine language CAM, language that our main controller reads, with which the drilling designs are made. The entire CNC control system based on a main and secondary controller for the motors is detailed, in which the option is made for each controller separately and together for correct operation, as well as parameter parameters.

Keywords. -

- **PUNCHING**
- **TURRET**
- **CAD/CAM**
- **SERVODRIVES**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El desarrollo socioeconómico del país depende en gran medida del grado de tecnificación industrial que se consiga a nivel empresarial, por ejemplo, mediante el desarrollo y avance del nivel de automatización. Esto se debe a que la eficiencia de las empresas se incrementa a medida que sus procesos son automatizados, y esto aporta a la productividad que logra un incremento en el ingreso disponible para los hogares, es decir, al crecimiento económico.

En la industria tanto a nivel nacional como internacional se tiene maquinarias con sistemas de control redundantes, para proteger el equipo, el personal y el proceso que se realiza, ya que por falta de disponibilidad de estos sistemas se puede provocar pérdidas económicas, debido a un paro de producción o daños de equipos. En el caso de poseer una maquinaria fabricada y ensamblada mediante proveedores extranjeros se tiene el riesgo de no contar con repuestos o herramientas disponibles en nuestro país, es por esto por lo que al contar con un sistema de control extra o redundante se lo puede diseñar con piezas y herramientas disponibles en el Ecuador, no necesariamente producidas en nuestro país, pero sí que se disponga en el mercado ecuatoriano.

Según la norma DIN 40.041, se define como redundancia la existencia de más medios en condiciones de funcionar en una unidad determinada, de los que serían necesarios para el cumplimiento de la función requerida. De esta forma se tiene la

duplicación, triplicación, etcétera, de uno o varios componentes la CPU, la fuente de alimentación, los buses de comunicaciones, las entradas/salidas. La palabra redundancia sin especificación de su nivel indica la duplicación del equipo en cuestión.

La redundancia en sistemas de control apunta a disponer elementos adicionales que garantizan su funcionamiento si uno de sus componentes falla, está relacionado con mantener la disponibilidad de la planta para evitar tanto las pérdidas que puede significar una parada de producción como las graves consecuencias de un evento no deseado en un proceso peligroso (Beas, 2017).

Si bien el elemento final de control es más susceptible de fallar, existen mecanismos para predecir el mal funcionamiento. Por otro lado, no se puede anticipar cuándo el sistema de control dejará de funcionar, por lo que se deben tomar los resguardos adecuados (Polo, 2017). Esto implica que la redundancia de sistemas apunta a mantener el proceso operativo en caso de que uno de sus elementos falle. En algunas ocasiones, este objetivo no se cumple, incluso con múltiples plataformas redundantes, por falta de un correcto plan de mantenimiento.

Se ha contactado a la empresa *SICAL Ingeniería* proponiendo este proyecto con los antecedentes mencionados, *SICAL Ingeniería* es una empresa que se encarga de cubrir las siguientes áreas:

- Automatización Industrial
- Instalaciones Eléctricas Industriales
- Telecomunicaciones (Telepuertos, Datacenters, subestaciones, etc.)
- Montajes Electromecánicos

Como respuesta a nuestra propuesta se ha manifestado que durante el tiempo de existencia de la empresa se ha adquirido varias máquinas que mejoran la productividad, entre ellas se tiene una maquinaria proveniente de China, una punzonadora CNC, la cual consta de varios equipos de marcas extranjeras chinas, la dificultad de uso hace referencia a que muchas de las veces no cuentan con servicio de asistencia, mantenimiento, o en ocasiones demora un largo tiempo en poder ser atendido.

Por estas razones *SICAL Ingeniería* ve la necesidad de realizar un plan de redundancia con nuevos equipos de fácil acceso en el país y los cuales se les pueda dar soporte, consiguiendo con este proyecto un entendimiento total del funcionamiento partiendo de una implementación y diseño nuevo.

Hoy en día, se está tendiendo hacia sistemas redundantes completos. En términos de control, el desarrollo partió con las fuentes de poder redundantes y, posteriormente, con los controladores Hot Back-up. Desde hace algunos años ya se habla de 'Network Redundancy' (redundancia de la red). Será así hasta cubrir todos los niveles, y falta poco para alcanzar la redundancia completa (De Mayo, 2017). Como se puede observar un sistema de redundancia es importante y trascendente en diferentes maquinarias industriales, permitiendo un mejor desarrollo en todo ámbito.

1.2 Justificación e importancia

La realización del presente proyecto se sustenta en solventar la necesidad de la empresa *SICAL INGENIERÍA* de incrementar el actual nivel de productividad de la máquina punzonadora CNC NCT-03, a través del diseño de hardware, desarrollo de

software, implementación y puesta en marcha de un nuevo sistema de control redundante, en base a componentes disponibles en el mercado local.

De esta forma, la creación del sistema de control dará lugar a que la máquina sea compatible con equipos y elementos de fácil acceso en la red de proveedores nacionales. Es decir, el sistema de control redundante permitirá reducir el nivel de dependencia de componentes provenientes del fabricante de la máquina.

Además, este sistema de control redundante mejorará la disponibilidad de la máquina, porque contará con dos tableros de control que trabajan de forma simultánea. Al igual que, en caso de falla de uno de los dos tableros existirá un controlador de respaldo, permitiendo así que la máquina incremente su disponibilidad. Es decir, será posible un aumento en el tiempo productivo de la máquina que genere un nivel más alto en producción de la empresa.

Un motivo adicional que sustenta la creación de un sistema de control redundante es la necesidad de mejorar el nivel de precisión de la máquina. Actualmente, la máquina no alcanza su nivel de precisión óptimo porque los equipos no están calibrados de forma adecuada.

Asimismo, el desarrollo del proyecto generará acceso al mantenimiento de la máquina punzonadora CNC NCT-03 a menores costos, debido a una menor dependencia a asistencia técnica. Actualmente, la asistencia técnica o mantenimiento de la máquina se dificulta por ser de fabricantes extranjeros. Así, el costo que representa un mantenimiento y una asistencia técnica es más elevado ya que se debe tomar en cuenta gastos administrativos adicionales correspondientes a la logística de importar repuestos y movilizar personal técnico desde el lugar de origen del fabricante

de la máquina. Este inconveniente se solventará al utilizar componentes disponibles en el mercado local, por lo que los costos de mantenimiento se reducirán significativamente.

Finalmente, la creación de un sistema de control redundante permitirá un incremento en el capital humano enfocado en conocer el funcionamiento de la máquina. Esto se torna relevante ya que conocer a profundidad el funcionamiento de la máquina da lugar a mejorar el sistema de información que permita solventar inconvenientes con la máquina. Esto a su vez, contribuye a mejorar la seguridad del equipo para evitar que el proceso alcance situaciones riesgosas debido a la falla de un componente.

1.3 Alcance de proyecto

El presente proyecto, plantea el diseño de un sistema de control redundante optimizado para la máquina punzonadora CNC NCT-03, logrando así prescindir del soporte de fabricante y de los distintos equipos y repuestos de difícil acceso en el país, ya que al tomar en cuenta estos factores los costos pueden tomar un valor más elevado, e incluso en ocasiones no se pueda conseguir o reemplazar.

En primer lugar, se pretende realizar el reconocimiento del estado actual de la máquina, con el fin de conocer a profundidad el funcionamiento de la punzonadora CNC NCT-03. El levantamiento de información técnica se centra en exploración de fuentes primarias a través de la observación directa del desempeño actual de la máquina, así como de fuentes secundarias por medio de la revisión de planos,

manuales de usuario, esquemas y diagramas eléctricos provistos por la empresa *SICAL INGENIERÍA*.

En segundo lugar, es necesario un diseño de hardware que permita controlar las funciones de la máquina punzonadora CNC NCT-03 de forma adecuada. Esto implica la elaboración de un tablero de control que permite la operabilidad de la máquina por medio de un módulo de control previamente configurado. Además, es preciso realizar el diseño de operación de los drivers de los motores con el fin de lograr una adecuada conexión con los motores. Para finalizar la etapa de diseño, es necesario realizar los diagramas que muestren el tipo de comunicación entre los equipos y elementos.

En tercer lugar, para el desarrollo de software se debe realizar la comunicación entre el módulo de control, los sensores y los actuadores. Esto basado en la investigación de los protocolos que deben utilizarse para esta comunicación.

Cuarto, se realizará la implementación del sistema de control tomando en cuenta todos sus elementos: tablero de control, motores y módulos de control. Para la puesta en marcha se debe calibrar de forma adecuada los equipos y configurar los parámetros, con el fin de lograr precisión en la máquina. Esto se mide por el grado de movilidad de los actuadores en cuso, es así como se busca evitar una desviación de la plancha trabajada.

Quinto, se efectuarán pruebas de funcionamiento para determinar el avance que se ha logrado con el sistema de control optimizado. Estas pruebas se basan en la evaluación de parámetros de rendimiento: tiempo, piezas producidas, errores cometidos y disponibilidad.

Finalmente, se propone generar documentación detallada del proyecto que cuente con manuales de usuario, diagramas eléctricos y planos, que faciliten a la empresa la utilización y operabilidad de la máquina.

De esta forma, el proyecto plantea el diseño e implementación de un sistema de control redundante optimizado, el cual contará con un módulo controlador de la punzonadora CNC NCT-03. Mediante este proceso se pretende lograr un rango de error manejable en la industria, así como también reducirá los tiempos de corte, de tal manera que la configuración inicial permita imprimir diseños previamente elaborados en software, de esta manera evitar trabajo de programación en el lenguaje del equipo (Lenguaje G) y permitir una elevada precisión en cada modelado de pieza.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar, un sistema de control redundante optimizado para una máquina punzonadora CNC NCT-03 en la empresa *SICAL INGENIERÍA*, con el fin de mejorar la disponibilidad y reducir los costos de mantenimiento; para incrementar la productividad de la máquina, mediante el uso de elementos de fácil acceso en el mercado local.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Recolectar información de fuentes primarias y secundarias para comprender el funcionamiento de la máquina punzonadora CNC NCT-03.

- Diseñar el nuevo sistema de control utilizando elementos y equipos disponibles de proveedores dentro del país.
- Desarrollar la interconexión entre los elementos del tablero de control mediante protocolos adecuados.
- Implementar y realizar el montaje de los elementos adquiridos en base al diseño del tablero de control.
- Realizar las pruebas de funcionamiento con el sistema de control optimizado.
- Calibrar elementos y módulos para lograr un nivel de error que se considere aceptable dentro de la industria, en base a los índices permitidos de trabajo.
- Proveer documentación detallada basada en el conocimiento y dominio del funcionamiento del sistema de control, que permita solventar inconvenientes generados en la maquina punzadora CNC NCT-03.

1.5 Descripción del Proyecto

1.5.1 Capítulo I – Introducción

En la industria se tiene maquinarias con sistemas de control, los cuales protegen al equipo, personal y el proceso que realiza, sin embargo, por falta de disponibilidad de estos sistemas, es posible que se ocasionen pérdidas económicas, debido al paro de producción o daños que pueden presentarse en los equipos. En este contexto, se plantea el diseño de un sistema de control redundante optimizado para la máquina punzonadora CNC NCT-03, con la utilización de materiales disponibles en el mercado local, a través de lo cual se logre prescindir del soporte de fabricante, así como de los distintos equipos y repuestos de difícil acceso en el país. De esta forma, el acceso a

repuestos y soporte técnico para la maquinaria se facilita, y consecuentemente se logra una mayor eficiencia en costos.

1.5.2 Capítulo II – Marco referencial

El control numérico computarizado, conocido como CNC, es un proceso controlado mediante un programa formado por un conjunto de instrucciones que siguen estándares de Eia (Electronic Industries Association) e ISO (International Standards Organization). En el presente capítulo se detallan los siguientes componentes:

- Punzonado
- Ciclo de Punzonado
- Punzonadora CNC
- Lenguaje y Estructura G

Una Punzonadora CNC, se resume en una operación mecánica que de forma calculada y mediante accesorios especiales (punzones), se habilitan para el corte o realización de agujeros en planchas, separando una parte metálica de otra con el fin de obtener determinadas figuras. En este sentido, la Punzonadora CNC está conformada por los siguientes componentes:

- Sistema Eléctrico
- Sistema Hidráulico
- Tablero de Control
- Ejes Principales
- Sistema de Sujeción

1.5.3 Capítulo III – Diseño del nuevo sistema de control

Para el diseño del sistema de control, se propone la realización de un nuevo sistema a partir de un controlador de las mismas características que el anterior, es decir, a través de procesos de ingeniería inversa. De esta forma, a partir del anterior sistema de control se desarrolló el nuevo sistema de control, mismo que incorpora mejoras en el diseño y una optimización en cuanto al dimensionamiento de los elementos de control y maniobra, así como una configuración detallada de cada uno de los controladores, tanto principales como secundarios.

Adicionalmente, se realizó el diseño del tablero de control, el cual está distribuido de una mejor manera que el anterior tablero de control, ya que cuenta con cableado estructurado y marca en cada uno de sus conectores.

1.5.4 Capítulo IV – Implementación del nuevo sistema de control

Partiendo del diseño del sistema de control, se procedió a la adquisición de los elementos de control secundarios y de maniobra y mando, los cuales están disponibles en la red de proveedores locales (dentro del país), por son de fácil acceso, asimismo, la información de funcionamiento y mantenimiento de cada elemento se encuentra disponible. Al contar con todos los elementos, se realiza el diseño y construcción del tablero de control, el cual se optimizó en tamaño, en comparación al tablero anterior.

En el presente capítulo, se detalla la realización del montaje del nuevo sistema de control, en funcionamiento con todos los elementos en conjunto montados sobre la

máquina Punzonadora CNC Besco. Finalmente, se realizó un mejor manejo en la distribución de la llegada de cables al tablero de control.

1.5.5 Capítulo V – Pruebas y resultados

En este capítulo se expone el análisis y resultados de las pruebas realizadas, tanto en la maqueta como en la máquina. De esta forma, se compara de forma cuantitativa el comportamiento con el anterior y el actual tablero de control, para lo cual se realizaron diferentes tipos de diseños. Principalmente se midieron los siguientes parámetros:

- Exactitud
- Velocidad
- Repetibilidad

Es decir, se tomaron mediciones de exactitud, velocidad y repetibilidad tanto con el anterior como con el actual sistema de control, y los resultados se muestran en un análisis comparativo entre los dos sistemas de control.

1.5.6 Capítulo VI – Conclusiones y recomendaciones

En el presente capítulo se evalúa el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de la investigación, el alcance que ha tenido el proyecto y las recomendaciones que permitirán ampliar en este tema de investigación. De esta forma, se presentan argumentos en cuanto a las mejoras y las comparaciones realizadas en las diferentes pruebas. Finalmente, se presentan pautas que se deben considerar y tener en cuenta para un mejor funcionamiento y manejo del sistema.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Máquina CNC

2.1.1 Introducción

En palabras de Peters, J. (2013), las máquinas operacionalizadas a través de un sistema de Control Numérico Computarizado (CNC), se diferencian de las de tipo convencional por cuanto se controlan por medio de programas de maquinado que proveen bajo una secuencia lógica vectores de posición y velocidad a los motores que accionan los ejes de tales estructuras, logrando de ésta manera complejos trazados lineales, circulares y diagonales, así como trayectorias tridimensionales para la consecución de moldes, troqueles, entre otros que con dificultad serían obtenidos por medio de la manipulación manual.

El referido autor resume las potencialidades que ostenta una máquina CNC o el acto de maquinar con interface a la sistematización, desde forjar una simple ranura hasta lograr cavidades irregulares, rostros en autorelieve, moldes de inyección... lo que se requiera básicamente. Es por ello que estas versátiles herramientas han venido adquiriendo presencia dentro de las prácticas que se desarrollan en parques industriales, talleres y empresas dedicadas a la fabricación en general, por cuanto a tenor de las programaciones que le sean suministradas, quedarán en la capacidad de ejecutar todas sus operaciones por sí mismas, desestimando la presencia de operadores para efectos de manejo, lo que implica un mayor provecho y redireccionamiento de labores hacia otras prácticas vinculadas a la producción.

Y es que la revolución industrial a comienzos del siglo XX trajo consigo el empleo masivo de maquinaria dada la imperiosa necesidad de hacer cada vez más eficientes los procesos, pues en aquellos días la densidad de tales actividades industriales demandaba considerables dotaciones de mano de obra, colocaba en entredicho los términos de calidad, precisión y repetibilidad e implicaba elevados costes por menos volumen de fabricación (De Máquinas y Herramientas, 2015).

Sería precisamente el desafío que enfrentó la industria durante la primera mitad del siglo XX en revertir tiempo y expendio de recursos con una máxima en la calidad de producción, lo que conduciría los avances de la tecnología hacia las sendas de la automatización de los procesos de manufactura, traducido en el diseño de máquinas capaces de programarse para suplir las tareas manuales.

Ya para la década de los 50', se introduce formalmente el concepto Control Numérico (CN), siendo por primera vez instrumentado en fresadoras con tecnología de válvulas de vacío (posteriormente reemplazadas por transistores) y disponiendo para el manejo de datos tarjetas perforadas. Sin embargo, tendrían que transcurrir más de veinte años para la llegada de la computadora a este contexto, sentando las bases definitivas de lo que hasta hoy se conoce como tecnología del Control Numérico Computarizado.

El mundo del control numérico se vio entonces revolucionado con la aparición de los microprocesadores, aumentado e integrando las prestaciones en materia de programación, presentación gráfica de las trayectorias, ciclos fijos, comunicaciones y redes. A comienzo de los 90' el control numérico abierto auspiciaría las posibilidades de personalización e incorporación de conocimientos propios, programación gráfica interactiva, comunicación digital con accionamientos, entre un número nutrido de

ventajas que en tiempos modernos continúan presentes en el accionar de las máquinas CNC.

2.1.2 Control Numérico Computarizado (CNC)

Un sistema controlado numéricamente es definido por Díaz del Castillo, F. (2008), como “toda máquina o proceso controlado a través de un programa formado por un conjunto de números y letras que siguen los estándares de la EIA (*Electronic Industries Association*) ó la ISO (*International Standards Organization*)” (p. 2).

El máximo aprovechamiento de esta tecnología dependerá de la intervención necesaria de distintas áreas del conocimiento íntimamente relacionadas, que aborden desde la ingeniería de los procesos de manufactura, las interpretaciones del diseño de piezas y la elección de herramientas, hasta la generación del programa óptimo NC, su verificación y ajustes de cara a las corridas de producción.

Otro aporte señala que el Control Numérico por Computadora (CNC), consiste en un sistema que permite manipular en todo momento la ubicación de un elemento físico, normalmente alguna herramienta dispuesta en una máquina o dispositivo, lo que implica que, mediante un software y la inserción de un conjunto de órdenes, se podrá controlar las coordenadas de posición de un punto respecto a su origen, una analogía al GPS pero aplicado a la mecanización y considerablemente más preciso (Cosmocax, 2014).

En tal sentido, el CNC conforme el criterio común de los autores podrá conceptualizarse como un equipo integrado en máquinas que viene a controlar y monitorear todos los movimientos de una herramienta (de mecanizado, de corte, por láser, etc.) afín con determinados procesos de transformación, partiendo de órdenes

pertinentes programadas que proveen coordenadas propias y únicas, de velocidad de desplazamiento, de interacción entre ellas y algunos parámetros adicionales.

Conforme reseñan Ramos y Salinas (2007), el origen del CNC se remonta al año 1725 cuando máquinas de tejer de fabricación inglesa fueron controladas por medio de tarjetas perforadas. Durante la segunda mitad del siglo XIX, se desarrollarían nuevas plantillas y dispositivos, así como variedad de herramientas para el maquinado de metales, comenzando a enfatizarse en temas de producción a gran escala, pero sería a partir de 1940 cuando se concentran las investigaciones en torno a este sistema que durante décadas sucesivas tal y como fuese esbozado, vendrían a perfeccionar, diversificar e intensificar su presencia en las labores de maquinado.

En la actualidad se hace cada vez más recurrente el uso de programas computarizados que coadyuven, faciliten y simplifiquen el trabajo, por lo que el rol que asume el CNC como instrumento asistencial a las operaciones que realizan maquinarias estáticas y portátiles, tales como: fresadoras, tornos, punzonadoras, rectificadoras, cortadoras por láser, por chorro de agua o por electroerosión, estampadoras, prensas, brazos robotizados, entre otras, resulta invaluable hacia la satisfacción de requerimientos generados por los usuarios.

2.1.3 Componentes

Las máquinas de gran envergadura disponen de computadoras integradas al equipo, acompañadas de un sofisticado sistema de realimentación que monitorea y ajusta constantemente la velocidad y posición de la herramienta. Por su parte, las máquinas menos exigentes admiten el uso de ordenadores personales externos. En cualquier caso, el controlador CNC trabaja en conjunto con una serie de motores

(servomotores y/o motores paso a paso), y otros componentes de accionamiento para desplazar los ejes de la máquina de manera controlada y en función de los movimientos programados, que pudieran ser agrupados en seis elementos fundamentales conforme sugiere el Instituto Técnico Industrial Francisco José de Caldas (s.f).

2.1.3.1 Sistema eléctrico / electrónico

Este apartado de las máquinas CNC lo constituyen segmentos que transporta, transforman y controlan el ingreso y aplicación de la energía eléctrica desde las redes públicas hasta la alimentación de los motores que forman parte del artefacto. El cableado ingresa a un tablero de mando contentivo de interruptores que permiten encender o apagar el sistema, conduciendo la energía a través de un regulador de voltaje que funge de protector y retroalimentador del sistema eléctrico / electrónico de la máquina. También se ubican las tarjetas encargadas del control de movimiento de los carros en sentido longitudinal y transversal.

2.1.3.2 Sistema hidráulico

Es aquel conformado por una unidad a propulsión de agua encargada de suministrar movimiento a la copa de sujeción del material y al husillo del punto. Los manómetros serán los encargados de indicar la presión total y la que corresponda a cada accesorio citado.

2.1.3.3 Tablero de control

Integrado por monitor, teclado alfanumérico de programación y teclado alfanumérico de operación de la máquina.

Monitor

En el monitor se pueden visualizar menús, desplazamientos de los ejes, simulación del proceso de mecanizado, así como mensajes de alerta que se puedan presentar durante la ejecución del programa.

Teclado de programación

Permite el ingreso, edición y almacenamiento en la memoria de códigos.

Teclado de operación

Su función primaria es la ejecución de los programas en modo automático o manual y bloque a bloque o total, además permite los movimientos de las mordazas de la copa, el husillo del punto, el *magazine* de herramientas, encendido y apagado del sistema hidráulico y la lubricación.

2.1.3.4 Ejes principales

Los ejes tienen el quehacer de designar las direcciones de los desplazamientos esenciales de las partes móviles de la máquina, como lo son la mesa portapiezas, cabezal y torreta.

La estructura bajo sistemas CNC están provistas de un número de ejes principales característicos que hacen factible los trabajos de mecanizado sobre la pieza, estos ejes son convencionalmente designados como X, Y y Z.

2.1.3.5 Magazine de herramientas

En este dispositivo se alojan los instrumentos necesarios para la realización del proceso de maquinado. Los tipos de herramientas más comunes son las cuchillas y brocas utilizadas en diversas operaciones, la posición de éstas se podrá seleccionar de forma manual o mediante programación.

2.1.3.6 Sistema de sujeción

Para la viabilidad de todo proceso de mecanizado por medio de máquinas CNC, se deberá disponer de un sistema de sujeción para herramientas: portacuchillas, barras para brocas, conos, boquillas, portaboquillas, y/o de sujeción de materiales: prensas, bridas, arrastre, puntos, según sea el caso.

2.1.4 Ventajas / desventajas

A través de ensayo Jiménez (2003), señala que la tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) representa uno de los más importantes avances para el sector manufactura en los últimos cincuenta años, al suponer nuevas técnicas de producción, incremento en la calidad de los insumos logrados y una reducción sustancial de los costos.

En la continuación de sus consideraciones, se permite listar con mayor especificidad otras bondades vinculadas al sistema, por cuanto:

- Permite blindar los procesos de planeación sobre las operaciones.
- Incrementa la flexibilidad del maquinado.
- Reduce los tiempos de programación.

- Optima el control sobre los procesos y flujo de los materiales.
- Aumenta la precisión.
- Transfiere seguridad al usuario.
- Ofrece prototipos precisos que dan cumplimiento a ciertas especificaciones (diseño).

La Universidad del País Vasco (s.f) sitúa su propio enfoque respecto a los beneficios relativos al CNC, a considerar:

- Automatización de los movimientos de una máquina.
- Automatización flexible; por cuanto se basa en un programa de fácil alteración.
- Posibilidad de continuar trabajando a través del mecanismo desatendido.
- Reducción de la influencia o “habilidad del operario” en el manejo de la máquina.

Se podría afirmar entonces que la facilidad, sencillez, exactitud y adaptabilidad que promueve la asistencia sistematizada CNC en la prosecución de las actividades de fabricación a escala con la exigua participación del esfuerzo humano, constituyen ventajas primarias de su instrumentación. Sin embargo, escenarios adversos también influyen en las decisiones de automatización, tales como los elevados costos de adquisición y mantenimiento de los equipos, así como la escasez de mano de obra calificada para maniobra.

Por su parte Díaz del Castillo (2008), enumera otra serie de desventajas las cuales supone la tecnología CNC, aunados al alto valor de la inversión inicial.

- Limitante de opciones o alternativas ante eventuales fallas.

- Rigidez en la programación adecuada de las herramientas y secuencias de operación para un eficiente funcionamiento.
- Incremento de los costes de preservación, dada la dificultad presente en los sistemas de control y en consecuencia de capacitar personal de servicio y operación.
- Obliga a mantener grandes volúmenes de producción para lograr mayor eficiencia de la capacidad instalada.

2.1.5 Objetivos

Tal y como ya se ha comentado, el Control Numérico Computarizado (CNC) guarda por finalidad controlar los movimientos de los componentes de una máquina a partir de informaciones numéricas en tiempo real definidas por medio de un programa. Debido a su gran versatilidad permite el desarrollo de moldes que se requieran mecanizar, logrando recorridos complejos circulares, diagonales y tridimensionales con altos estándares de precisión que reducen los lapsos de obtención respecto a procesos de tipo manual.

No obstante, Vigliano (2005), refiere de forma pormenorizada algunas metas específicas que persigue esta tecnología de automatización.

- Integrar varios aspectos dentro de los procesos de fabricación para mejorar la calidad y uniformidad de los productos, minimizando tiempos del ciclo y costos de manufactura.
- Incrementar la productividad por lo que las partes son cargadas, alimentadas y descargadas en las máquinas más eficiente y organizadamente.
- Mejorar la eficacia empleando procesos repetibles.

- Abreviar inconvenientes relacionados con operarios y posibilidades de errores humanos.
- Reducir daños de piezas por medio de la instrumentación de los manuales de las partes.
- Aumentar los niveles de seguridad del personal, en especial de quienes son sometidos a condiciones peligrosas en su ámbito de trabajo.
- Economizar el espacio físico en planta por la redistribución de maquinarias, materiales y equipamientos.

2.2 Máquina punzonadora

2.2.1 Introducción

Históricamente el trabajo de la chapa, plancha o lámina dentro de la industria metalúrgica ocupa un lugar de amplia relevancia, así lo expone Esteves (2003), quien pondera el esfuerzo del hombre desde sus orígenes por desarrollar herramientas, utensilios y máquinas cada vez más sofisticadas para dar forma a los metales.

Pues bien, el trabajo de la chapa había sido realizado durante siglos por herreros y hojalateros valiéndose de sus aptitudes y asistidos por herramientas como la tajadera, el tranchete de yunque, los cortafríos o los punzones, que permitieron a los artesanos del metal el corte o deformación de la lámina, estos utensilios fueron evolucionando al incorporarse la cizalla de palanca o la prensa de balancín a finales de la edad media.

Pero no sería sino hasta las últimas décadas del siglo XVIII cuando irrumpe la máquina a vapor en la industria con especial asiduidad en la construcción naval y el transporte terrestre, el desarrollo de barcos de vapor con casco metálico o el

ferrocarril, por citar algunos, expandirían la visión de concebir estructuras para edificaciones, puentes o calderas, dando paso a una verdadera revolución en todos los procesos relacionados con el trabajo de la chapa: corte, punzonado, curvado, rebordeado, plegado, remachado, etc.

En definitiva, los avances de la civilización han impuesto nuevas necesidades en el ámbito de la calderería o de fabricación mecánica de depósitos para almacenaje, transportadoras y estructuras metálicas en general, planteando exigencias imprevistas en el conformado de planchas e impulsando un vuelco tecnológico hacia la mecanización eficaz de los procesos manuales.

2.2.2 Punzonado

Esteves (2003), define el punzonado como:

Una operación de corte de chapas o láminas, generalmente en frío, mediante un dispositivo mecánico formado por dos herramientas: el punzón y la matriz. La aplicación de una fuerza de compresión sobre el punzón obliga a éste a penetrar la chapa, creando una deformación inicial en régimen elastoplástico seguida de un cizallado y rotura del material por propagación rápida de fisuras entre las aristas del corte del punzón y la matriz (s.p).

En el proceso de punzonado, el primer componente que lo integra se posiciona en la parte inferior de la pieza a punzonar (matriz), mientras que la segunda se coloca en la parte superior (punzón). La compresión del material generará su alteración y a medida que avance la penetración se agrietarán los bordes del contacto punzón – pieza y matriz – pieza, acto seguido se produce rotura o fractura que separa la chapa

del material de recorte coincidiendo ambas aberturas, el punzón continúa su proceso hasta provocar la expulsión del segmento cortado.

Entre las prerrogativas de esta técnica se pueden mencionar el acceso a cortes y demás operaciones de conformado, la economía respecto a tecnologías láser para incisiones de golpes sueltos y, el rendimiento ligado a la gran velocidad que despliegan estas máquinas en la actualidad. Por el contrario, pudiesen considerarse adversos los requerimientos que se deriven de operaciones secundarias de acabado, la obtención de espesores muy elevados y, los costes de suministros y servicios de preservación.

2.2.3 Ciclo de punzonado

Para poder realizar orificios en formas y dimensiones específicas, el juego entre el punzón, la matriz y el pisador debe ser análogo al trazo requerido. En tal sentido, la premisa para el ciclo de punzonado será muy similar indistintamente de la tipología de punzonadora utilizada, entiéndase el posicionamiento de la chapa entre los referidos elementos de la máquina.

2.2.3.1 Ciclo punzonadora de torrente

1. La punzonadora hace girar la torreta y sitúa el utillaje justo debajo del martillo de la máquina.
2. El martillo desciende empujando el porta – punzón.
3. El pisador contacta la lámina presionando, sujetando y manteniéndola plana contra la matriz

4. El martillo prosigue su desplazamiento en caída, comprimiendo los muelles del porta – punzón y habilitando el descenso del punzón.
5. El punzón penetra ocasionando una ínfima curvatura en la plancha.
6. Se inicia la fase de corte que a posteriori se convertirá en fractura de la chapa por ambas caras debido al arranque del material.
7. Al coincidir las fracturas, el retal correspondiente al agujero quedará separado de la lámina.
8. Finalmente, el martillo se eleva y los muelles del contenedor extraen el punzón de la plancha mientras el pisador la mantiene completamente plana.

2.2.3.2 Ciclo punzonadora monopunzón

A diferencia de su antecesor, en el ciclo de punzonado el separador no presiona la chapa mientras el punzón perfora, manteniéndose a muy poca distancia de la superficie superior de ésta. Adicionalmente, el propio martillo estira el punzón para sacarlo de la plancha y el separador interviene reteniéndola cuando tiende a subir junto al cuchillo.

2.2.4 Punzonadora

Rememora Esteves (2003) en su obra, la incursión a mediados del siglo XIX de la máquina a vapor donde le califica como el detonante de un nuevo despegue tecnológico. Pues en ella se basaría la punzonadora, diseñada por el constructor de barcos francés François Cave (1794 – 1875) y patentada en 1836. Pocos años después se construyeron las primeras máquinas combinadas cizalla – punzonadora que han mantenido su vigencia durante muchas décadas.

El portal de la empresa Máquinas Industriales en un Click (2016) define las máquinas punzonadoras como “aquellas que cumplen con funciones de perforación y que son utilizadas en el mecanizado de diversos metales. En algunos casos, pueden realizar operaciones de corte y expulsión de las piezas en un solo paso.”

Dependiendo de sus características las punzonadoras son catalogadas como máquinas simples / pequeñas que pueden ser operadas manualmente, o, por el contrario, como mecanismos de gran envergadura y complejidad, que sugieren ser manejadas mediante Control Numérico Computarizado (CNC), en cuyo caso, un ordenador preconfigurado opera el dispositivo de acuerdo con el diseño final de la pieza que se desea.

Todas las máquinas punzonadoras parten del mismo principio, un conjunto de moles compuestos de punzones y matrices que se complementan entre sí. Cuando estos son presionados por la propia máquina, la pieza de metal se corta o moldea en la forma demandada. Los diseños dependerán entonces de un operador y de la preparación de la máquina para obtener resultados satisfactorios.

Las punzonadoras trabajan partiendo de formatos de chapa metálica o de bobinas, la primera concede mayor flexibilidad y la última brinda gran eficiencia por lo que se recomienda para grandes lotes o series de producción, donde se utilice siempre el mismo material y el ancho de la bobina coincida generalmente con el de la pieza.

2.2.5 Punzonadora CNC

Revisado con anterioridad, una máquina bajo Control Numérico Computarizado (CNC) a criterio de Sánchez – Valverde y Pérez (2012), consiste en un mando que permite la ejecución de trabajos en forma automatizada, mediante la incorporación de

un programa parametrizado a partir de combinaciones de letras y palabras alusivas a las operaciones para las cuales fue diseñada la máquina.

Y es que el punzonado en punzonadoras CNC, se resume en una operación mecánica que de forma calculada y mediante accesorios especiales (punzones), se habilitan para el corte o realización de agujeros en planchas separando una parte metálica de otra con el fin de obtener determinadas figuras.

Existen dos posibilidades para realizar la programación de una punzonadora, bien sea valiéndose del control de una máquina o a través del programa TOP's 300. En el primer caso, se pueden efectuar cualquier tipo de modificación a los paquetes o crear uno nuevo en su defecto, con frecuencia es utilizada esta opción para realizar funciones de poca complejidad, tales como elevar el cabezal o suprimir su utillaje.

Por su parte, la segunda vía permite elaborar representaciones gráficas de las partes que se mecanizarán posteriormente o importarlas desde un programa CAD para adjuntarle los modelados requeridos. Consecuencialmente, se perfecciona la ejecución de los mismos, para luego ser traducidos a código CN a través de un convertidor inserto en el programa y trasladados al ordenador central de la máquina. Una vez introducido el cifrado, se efectúan las sistematizaciones de ubicación del punto de referencia, se posicionan las garras de sujeción situadas en la chapa hacia las estaciones configuradas para insertar los utillajes requeridos para la realización de los mecanizados y, por último, se da puesta en marcha al programa.

2.3 Lenguaje de programación

2.3.1 Código G

El Código G o *G – Code* en anglosajón, también conocido como RS – 274, es el nombre que recibe el lenguaje de descripción de operaciones o instrucciones generales para máquinas que se manejan bajo control numérico por ordenador o CNC, el cual es también utilizado para controlar estos dispositivos simplificando así las tareas de sistematización (Ventura, 2014).

Desde la estandarización de instrucciones de programación (código) en los años 80' como ISO 6983, que permiten a la máquina – herramienta llevar a cabo ciertas operaciones en particular, el Código G, ha sido el lenguaje por excelencia en la fabricación por ordenador. Aunque existen ampliaciones e implementaciones de algunos fabricantes, así como estándares alternativos en algunos países (ej.: DIN 66025 para Alemania), es altamente probable que cualquier máquina CNC moderna interprete este lenguaje en su modalidad básica.

Y es que, para la segunda década del siglo XXI, todas esas diferencias e incompatibilidades ya no representan problema alguno para el lenguaje de programación G, puesto que el mismo es generado por aplicaciones CAD/CAM capaces de formular códigos adaptados a cada máquina específica. Su almacenamiento es posible en formato texto, pudiéndose leer y modificar con un editor de contenido plano, aunque lo más habitual es que se genere y visualice desde una aplicación de modelado y/o fabricación 3D u otra herramienta específica.

2.3.1.1 Estructura de lenguaje

Como se apuntó, el Código G describe las operaciones que una máquina debe realizar para la fabricación de un objeto o parte, este idioma de automatización controla entre otros la velocidad de avance, trayectorias, cambios de posición en coordenadas cartesianas o cambio de herramientas. Son conocidos como códigos preparatorios que se caracterizan por iniciar con la letra “G”, acompañado de un consecutivo numérico que indica a la máquina que maniobra debe efectuar.

Código M

En la continuación de la estructura de lenguaje bajo programación CNC, Ramos y Salinas (2007), define el Código M como “aquellas funciones misceláneas o varias que son requeridas en forma accesorio para la labor de forjado de piezas, y que son distintas al movimiento de la máquina las cuales ocupa su predecesor, específicamente cubre lo relativo a arranque y paro del husillo, cambio de herramienta, refrigerante, paro de programa, etc.”.

Ejes de coordenadas

Basado en la regla de la mano derecha, se contemplan las direcciones que corresponden a las cotas según los ejes X: mayor carrera, Y: adentro y fuera de la máquina, Z: ataque de la herramienta. Dichas medidas se pueden programar en forma absoluta o relativa, es decir, con respecto al cero de la pieza o a la última cota.

Entre otras nomenclaturas comunes que se utilizan dentro de la estructura de lenguaje que emplean los sistemas CNC y que se rigen bajo normas de DIN 66024 / 66025 se encuentran:

- N: dirección que indica número de bloque o secuencia, se acompañan normalmente de tres o cuatro cifras numéricas.
- F: dirección correspondiente a la velocidad de avance, va seguida de cuatro cifras numéricas medibles en mm/min.
- S: dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal. Se programa en revoluciones por minuto, empleando cuatro dígitos.
- I, J, K: son direcciones para programar arcos de circunferencia.

2.3.1.2 Estructura de bloque de programación

El modo básico de comunicarse con una máquina – herramienta es a través de los elementos que forman la estructura del bloque de programación o instrucciones, en donde cada uno de los caracteres alfanuméricos tienen un significado y una representación propia.

Los blocks o bloques de instrucciones según Petes (2013), son puntualizados como “el modo de dar órdenes a la máquina para que ésta los ejecute bajo ciertas características que se deban cumplir, es decir, de conformidad con los datos que se suministren para una operación, por lo que cada orden tendrá una estructura determinada”.

En términos generales, el referido autor secciona la estructura de un bloque de programación de la siguiente manera:

1. Número de bloque o de línea de programa.
2. Código de orden de configuración (función de maquinado).

3. Parámetros de la función de maquinado (coordenadas X, Y, Z y parámetros complementarios).
4. Comentarios.

Pues bien, esta información en conjunto se corresponderá con una misma fase del mecanizado a la que se denominará bloque o secuencia, que será descifrada por el intérprete de órdenes a los fines citados. Una secuencia o bloque de programa debe contener todas la funciones geométricas, operacionales y tecnológicas inherentes al mecanizado, de tal modo, que constará de varias instrucciones las cuales fuesen mencionadas.

2.3.1.3 Programación automática del Código G

También conocido como programación asistida por ordenador, la automatización de los comandos “G” tendrán a bien trabajar bajo los mismos parámetros, divergiendo en la realización de los cálculos a través de un computador, a partir de los datos suministrados por el programador, que traerán como resultado a su salida el programa de mecanizado de la pieza en un lenguaje de intercambio APT posteriormente traducido mediante un post – procesador al lenguaje máquina que mejor se adecúe a cada control por computadora (García, Lagos, Urrego y Delgado, 2009).

2.3.2 Aplicaciones

Retomando los estudios de Díaz del Castillo (2008), se tiene como proposición que la base de cualquier sistema CAD/CAM los cuales serán objeto de análisis a continuación, es la plataforma de software dispuesta para generar y documentar cualquier modelado de una parte. Es valiéndose de aplicaciones que se deja apreciar

el verdadero alcance de los sistemas CAD/CAM en términos de eficiencia, ahorro en producción y costes relacionados con el proceso.

Las aplicaciones bajo éste ambiente pueden clasificarse dependiendo de su función, diseño, análisis, documentación, planeación de la producción, manufactura, controles de calidad, simulación, soporte, etc. De cualquier forma, la mayor relevancia se centrará en su capacidad para generar datos, y su transmisión a cargo de la correcta implementación del CAM, que implica la estrechez diseño – manufactura.

Una lista parcial de aplicaciones de manufactura CAD/CAM se presentan a continuación: oxicorte, taladrado, perforado, soldado, colocación y ensamble de piezas, diseño de herramientas, diseño de moldes, doblado de tubos, extrusión, estampado y embutido, programación de robots, impresión de tableros de circuitos y recubrimiento de cables.

2.3.3 Sistema CAD

Comenta Zapata (2015), que ingenieros, dibujantes y diseñadores han utilizado computadoras por muchos años para realizar cálculos matemáticos requeridos en sus trabajos, sin embargo, el reconocimiento de éstos ordenadores como una herramienta necesaria es de reciente data. De tal manera que los diseños se han desplazado desde el uso tradicional de instrumentos de dibujo, así como de la aplicación de tintas o grafos sobre papel o películas cuya revisión y reproducción implicaba tiempo y dinero, hacia la digitalización, en donde se pueden producir, modificar, almacenar, enviar y transmitir trazos originales. Este último método de asistencia por computador recibe el nombre de CAD, refiriéndose a las siglas en inglés de *Computer Aided Design*.

Adicionalmente, la tecnología CAD permite realizar cálculos de estructuras y operaciones de torsión, inclinación y curvaturas de planos, así como la ejecución de composiciones volumétricas distorsionadas e imágenes alternativas que permiten calcular estructuras y jugar con la creatividad a la hora del diseño y su proceso, dando paso a la exploración de infinitas ideas.

Por su parte Peters (2013), se refiere al sistema CAD o diseño asistido por computadora como “el medio a través del cual la pieza que se desea maquinar es esbozada en un ordenador con herramientas de dibujo y modelado sólido”. Para la fabricación de archivos de diseño, por lo general se emplean las extensiones CAD DXF, DXF (acrónimo de *Drawing Exchange Format*) fue creado fundamentalmente para posibilitar la interoperabilidad entre los archivos DWG, usados por el programa AutoCAD y similares en el mercado. Asimismo, para fabricación aditiva se utiliza la extensión STL, STL (siglas provenientes del inglés “*STereo Lithography*”), el cual viene a definir geometrías de objetos 3D, excluyendo información asociada a color, texturas y físicas que si incluyen otros formatos CAD.

A juicio de Díaz del Castillo (2008), la principal característica de un sistema CAD, es la posibilidad de diseñar en forma interactiva, facilitando la definición y construcción de una base de datos que alimenta todo el sistema de información interno de una empresa, aboliendo el uso de papel para los bocetos realizados y sustituyéndole por medios ópticos y/o magnéticos de cara al almacenamiento.

Más allá de la operativa en cuanto a la fabricación de diversas piezas, se puede afirmar que el sistema o tecnología CAD está directamente relacionada con los influjos que la tecnología ha venido teniendo sobre el diseño, la optimización, la manufactura, la construcción y la producción en general.

2.3.4 Sistema CAM

También conocida por las siglas en inglés *Computer Aided Manufacturing (CAM)*, es un sistema que incorpora una o más computadoras para el despliegue de distintas tareas de organización, programación y control de las operaciones que necesita la manufactura de un producto, se encarga en esencia con el apoyo de la informática de automatizar y controlar los procesos de producción que van desde el manejo de la máquina – herramienta, hasta la gestión de los procesos logísticos: transformación, almacenamiento y transporte (Díaz del Castillo, 2008).

Este sistema incluye tecnologías que emplean Máquinas – Herramientas Controladas Numéricamente (MHNC), Sistemas Flexibles de Manufactura (FMS) e inspección asistida por computador para recopilar información asociada a control de calidad y aislar problemas que se puedan presentar en los procesos.

Sumado a la productividad de la fuerza de trabajo, una mejora sustancial en la calidad del producto y un menor tiempo de preparación, entre las bondades que exhibe la tecnología CAM se pueden listar:

- Extracción automática de la información de los diseños CAD para poder realizar las conversiones respectivas a programas de control numérico.
- Planeación mecánica de procesos.
- Diseño / operación de pruebas y medidas automatizadas a las piezas y ensambles.

Las aplicaciones CAM se utilizan con frecuencia para generar el Código G, materializándose en archivos TAP, NC o cualquier otra extensión que cumpla la

misma función que en definitiva serán de tipo TXT, es decir, que podrán ser ajustados en cualquier editor de texto: bloc de notas, wordpad, etc. (Peters, 2013).

2.3.5 Sistema CAD/CAM

La tecnología CAM funcionando conjuntamente con el diseño asistido por computadora CAD elimina la necesidad de redefinir la configuración de una pieza de trabajo por parte del primero. El programador CNC simplemente especifica las operaciones de mecanizado a realizar y el programa CAM crea automáticamente el programa para controlar los apartados de fabricación (De Máquinas y Herramientas, 2015).

Para Díaz del Castillo (2008), la implementación de un software CAD/CAM constituye una decisión fundamental que depende de la tecnología que necesitará una empresa o que se destine para la realización de algún trabajo en particular, a considerar del número de piezas, la envergadura de la modificación o la necesidad de intercambialidad. En este universo, el primer foco apunta a la geometría del diseño, al mismo tiempo, se abarca la herramienta con la que el sistema se construirá y la primera constante en cualquiera de sus aplicaciones. Muchos sistemas disponibles están confinados a crear diseños y dibujos por ordenador, otros proveen un juego más dinámico de herramientas y geometría (p. 5).

De igual manera, el autor refiere las múltiples prestaciones de la instrumentación de un sistema CAD/CAM:

- Disminución de ciclos de transformación.
- Integración de la ingeniería a las funciones del diseño, el análisis y la manufactura.

- Incremento de la productividad.
- Reducción de los tiempos de dirección de procesos.
- Planeación eficiente y control de la calidad.
- Mejora el control en los procesos operativos.
- Abarata los costos de producción.
- Optimiza la precisión y fluidez durante la creación de diseños.

Pues bien, se puede afirmar que los equipos CNC con la ayuda de lenguajes conversacionales y los referidos sistemas vienen a facilitar la faena de sus usuarios de cara a la producción de piezas en forma más expedita y con mayores estándares de calidad, sin que ello implique una alta especialización.

En el caso de los paquetes CAD/CAM para punzonadoras, éstos se constituyen como una poderosa herramienta que permite generar eficientes programas orientados al aprovechamiento de material y rendimiento de la máquina. Estos procesos con su simplicidad máxima de operación no son excluyentes ante el desconocimiento en materia de programación CNC, por cuanto la interfaz de usuario es intuitiva.

2.4 Sistemas electrónicos de una máquina CNC

2.4.1 Motores de desplazamiento

Se refiere a motores o actuadores de desplazamiento, a aquellos dispositivos con capacidad de generar una fuerza a partir de líquidos, energía eléctrica o gases, el motor receptor de una orden por medio de un regulador o controlador genera una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo pudiesen ser las válvulas. Los actuadores hidráulicos cubren requerimientos de potencia, y los

neumáticos trabajos de posicionamiento de tipo lineal o rotativo, por su parte los motores eléctricos son por excelencia los de mayor demanda para dinamizar aparatos mecatrónicos (Atlantic International University, s.f).

2.4.1.1 Motores paso a paso

Un motor paso a paso según la interpretación de Cruz, Guerra, Herrera y Meza (2014), es en esencia:

Un conversor electromecánico capaz de transformar energía eléctrica en mecánica. Mientras que un motor convencional gira libremente al aplicarle tensión, el motor paso a paso gira un determinado ángulo de forma incremental por lo que transforma impulsos eléctricos en movimientos de giro controlados que permiten realizar desplazamientos angulares fijos muy precisos.

Los autores distinguen desde la óptica de su construcción tres tipos de motores paso a paso: de reluctancia variable, de imán permanente y los híbridos.

Motores paso a paso de reluctancia variable

Su rotor se fabrica a partir de un cilindro de hierro dentado y el estator lo conforman bobinas, por lo que el motor trabajará a gran velocidad.

Motores paso a paso de imán permanente

El rotor es un imán que posee una ranura en toda su longitud y el estator lo conforman bobinas enrolladas alrededor de un núcleo o polo, siendo los de mayor sencillez en términos de manipulación.

Motores paso a paso híbridos

Siendo una combinación de los anteriores, alcanzan a lograr un alto rendimiento a una buena velocidad

Vista la clasificación desde una perspectiva física del motor, se puede admitir un segundo enfoque basado en la forma de conexión y excitación de las bobinas del estator, léase:

Motores paso a paso unipolares

Suelen tener cinco o seis cables de salida dependiendo de su conexión interna, de los que comúnmente cuatro reciben los pulsos que indican al motor la secuencia y duración de pasos, y los restantes sirven de alimentación.

Motores paso a paso bipolares

Tienen generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertas manipulaciones para ser controlados, debido a que requieren cambio de dirección en el flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar algún movimiento.

Los motores paso a paso permiten entonces realizar el desplazamiento de cada uno de los ejes de la máquina prescindiendo maniobras humanas directas. Proporcionan movimiento mecánico según la secuencia de la energización entregada por su correspondiente *driver* (Peters, 2013).

2.4.1.2 Sistemas de desplazamiento

Basándose en la opinión expresada por Santillán (2015), y debido a la precisión, facilidad de uso y control, así como la diversidad de las fuentes consultadas, se admite

la conceptualización propuesta en el apartado motores paso a paso para justificar el sistema de actuadores de desplazamiento.

2.4.2 Elementos de campo

A continuación, se describen los elementos de campo básicos para la puesta en funcionamiento de un sistema electrónico ideado para máquinas CNC.

2.4.2.1 Relés

Los reveladores, también conocidos como relés o *relays*, consisten en un interruptor cuyo control corre por cuenta de un circuito eléctrico. En el núcleo de su funcionamiento, la bobina crea un campo magnético que lleva a los contactos a establecer una conexión, mientras que un electroimán permitirá el cierre de dichos contactos, de tal manera que los relés pueden fomentar o impedir el paso de la corriente eléctrica.

Estos elementos, permiten desarrollar una conmutación a distancia, controlando altas tensiones con un bajo voltaje en retorno, suspendiendo la alimentación de corriente alterna. Dicho en otras palabras, el revelador controla una gran cantidad de electricidad operando con una cantidad muy pequeña, brindando mayor seguridad en distintos dispositivos que funcionan con el uso de energía eléctrica, ya que sus contactos permiten abrir o cerrar circuitos.

2.4.2.2 Contactores

Los contactores eléctricos son aquellos que funcionan básicamente como interruptores, ya que permiten o impiden el paso de la corriente, con la posibilidad de

poder ser activados a distancia, mediante un mecanismo electromagnético o electroimán.

2.4.2.3 Interruptores

Se denominan interruptores en el ámbito de la electrónica / electricidad, a aquellos mecanismos especialmente diseñados para abrir o cerrar un circuito eléctrico, es decir, al dispositivo que permite accionar o frenar la corriente eléctrica de un espacio o lugar.

2.4.3 Fuentes de alimentación

El portal de la empresa Ingeniería Mecafenix (2017), define en su artículo a las fuentes de alimentación como dispositivos con capacidad de convertir voltaje de corriente alterna (VCA) a voltaje de corriente directa (VCD). De acuerdo al uso final que van a tener, es decir, según requerimientos de estabilidad y rendimiento que tenga la carga a alimentar, pueden clasificarse de la siguiente manera:

2.4.3.1 Fuentes de alimentación lineales

Las fuentes lineales tienen un diseño relativamente simple y lo conforman en esencia cuatro componentes: transformador, rectificador, regulación y salida.

Transformador

A cargo de reducir el voltaje de entrada a un voltaje de salida diferente, puede ser mayor o menor dependiendo del caso y la necesidad. Los transformadores solo pueden trabajar con voltaje alterno.

Rectificador

Su misión es convertir la tensión alterna que emana el transformador en tensión continua, asistido por un puente rectificador o puente de diodos.

Filtro

Tiene a bien disminuir la variación de voltaje de corriente directa, a través de capacitadores, generando un efecto que se conoce como rizo.

Regulación

Recibe la señal proveniente del filtro para que a su salida se obtenga voltaje continuo indistinto de las variaciones que experimente.

2.4.3.2 Fuentes de alimentación conmutadas

También llamadas fuentes *switching*, cuyo principio de funcionamiento de basa en la conmutación de un transistor. Las fuentes conmutadas tienen circuitos complejos y variados que dificultan una explicación didáctica, sin embargo, para un mejor entendimiento se tomarán en cuenta los bloques esenciales de esta coacción: rectificación – filtrado primario, conmutación, rectificación – filtrado secundario y controlador.

Rectificación – filtrado primario

El primer bloque rectifica y filtra la tensión alterna de entrada para convertirla en una continua pulsante.

Conmutación

El segundo bloque se encarga de convertir la señal continua pulsante en una onda cuadrada de alta frecuencia, la cual es aplicada a una bobina o al primario de un transformador.

Rectificación – filtrado secundario

El tercer bloque rectifica y filtra la salida de alta frecuencia del bloque anterior, entregando así una continua pura.

Controlador

El cuarto bloque se ocupa de controlar la oscilación del segundo bloque. Consta de un oscilador de frecuencia fija, una tensión de referencia, un comparador de tensión y un modulador de ancho de pulso. El modulador recibe pulso del oscilador y modifico su ciclo de trabajo según la señal emitida por el comparador, que coteja la tensión continua de salida del tercer bloque con la referencial.

2.5 Sistemas de control

Los sistemas primarios de control son componentes claves para interpretar programas CNC y accionar una serie de comandos en orden secuencial, funciones apropiadas de la máquina, movimientos de ejes, editar errores, efectuar verificaciones, y en general, seguir las instrucciones que le fuesen viradas al programa (De Máquinas y Herramientas, 2015).

2.5.1 Controlador para CNC

Un controlador CNC en opinión de Peters, (2013), permite la calibración, configuración y control de una estructura procesando cada línea de proceso de un

programa de maquinado en Código G, a los fines que la máquina – herramienta ejecute todos los movimientos necesarios para realizar una rutina de fresado, torno, punzonado, etc., según sea el caso.

El software CNC *Controller* despliega cuatro unidades principales de procesamiento de control numérico:

Unidad de entrada – salida de datos

Apta para la introducción de los programas de mecanizado en el equipo de control numérico, utilizando para ello un lenguaje intangible. Las unidades más antiguas se valían de sistemas tipo ficha o preselectores, posteriormente se emplearon cintas perforadas de papel o aluminio, lectores de cintas fotoeléctricos y otros medios como el *cassette*, hasta la entrada en vigencia del teclado como órgano para el vaciado de datos, permitiendo la vertiginosa edición de programas, la cómoda inserción y borrado de bloques, búsquedas de dirección en memoria, entre otras.

Unidad de memoria interna e interpretación de órdenes

Tanto en equipos de programación manual como en los de programación mixta, la unidad de memoria interna almacena no solo la información necesaria para la ejecución de una operación de mecanizado, sino también datos de la máquina y sus compensaciones: aceleración y desaceleración, correcciones de la herramienta, entre otros.

Unidad de cálculo

Una vez interpretado un bloque de información, esta instancia será la encargada de crear el conjunto de órdenes que serán utilizadas para gobernar la máquina – herramienta. Los referidos bloques del programa son comprendidos por el control, que

identifica a su vez las nuevas cotas a alcanzar según los diversos ejes (X, Y, Z), velocidad de avance y forma del trayecto, entre otras informaciones como compensación de la herramienta, cambio de útil, sentido y refrigeración.

Unidad de enlace con la máquina – herramienta

Esta unidad se justifica en sí misma dada la función principal de un control numérico en gobernar los motores (servomotores) de una máquina – herramienta, los cuales provocan un desplazamiento relativo entre el útil y la pieza situada sobre la mesa.

2.5.2 Controlador para motores paso a paso

El driver para control de los motores paso a paso se limita en su definición como cualquier equipo electrónico inteligente que proporcione un control ajustable a la velocidad de un motor (Peters, 2013).

En tal sentido, este software o controlador de dispositivos corresponde a un circuito electrónico, el cual tiene la característica de conmutar cada una de las bobinas del *stepper* y a su vez, originar la secuencia en que debe alimentarse cada una de ellas. Permite además invertir el giro del motor alterando la secuencia en que las bobinas con compensadas

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

3.1 Identificación de componentes del antiguo tablero de control

La máquina punzonadora CNC BESCO es un equipo de control numérico de alta velocidad y precisión que cuenta con un conjunto de parámetros técnicos para controlar el funcionamiento de la máquina y configurar las herramientas de forma inmediata y precisa de acuerdo a la complejidad del trabajo a realizarse.

Tabla 1

Parámetros técnicos de la máquina punzonadora

Tipo:	ZH0825
Presión nominal:	250 KN
Diámetro máximo de perforación:	Ø88.9mm
Tamaño máximo de la pieza de trabajo:	1250×1300 mm
Espesor máximo de la pieza de trabajo:	4 mm
Precisión de perforación:	±0. 15 mm
Velocidad máxima de movimiento del eje X / Y:	30/40 m/min
Ejes controlados:	3 axes(X、 Y、 T)
Repetibilidad:	±0. 01 mm
Número máximo de golpes:	Golpe hidráulico 180 r.p.m
Velocidad de rotación de la torre giratoria:	30 r.p.m
Número del modo Torreta:	8 estaciones
Potencia del motor principal:	Golpe mecanico 4KW
Fuente de alimentación:	30 KVA (AC 3 phase 380V)
Fuente de gas	Presión: 0. 55Mpa
	Consumo: 0.1 m3 / min.
Tamaño (largo x ancho x alto):	(Ver Señal de la máquina).
Peso de la máquina:	6 Tons.

El antiguo tablero de control se compone básicamente de cuatro sistemas:

- Sistema de accionamiento principal: Este sistema se encarga de definir el punzonado el cual puede programarse de dos formas: estampado único y punzonado; el primero consiste en la perforación de la chapa metálica con un punzón el cual deja un agujero que puede tener diferentes formas y tamaños, la segunda es el troquelado de la placa de metal.
- Sistema automático de selección de cabezal de golpeo: El sistema automático de cabezal de golpeo se utiliza para seleccionar el molde, que se compone de un reductor, una rueda dentada y una ranura de tres partes. El servomotor establece una conexión directa a través del reductor de velocidad para controlar la rotación del eje.
- Este sistema tiene la opción de selección de modo automático, que permite que a través del sistema de accionamiento se controle la rotación de la rueda dentada, al trabajar mediante la programación (con código T), y así elegir cualquier conjunto de herramientas para el proceso de perforación.
- Sistema de alimentación: El sistema de alimentación del eje X y del eje Y, se conecta a través de una placa deslizante desde la tuerca para impulsar la sujeción de la abrazadera el panel en dirección de su eje, para su posicionamiento, la abrazadera realiza su movimiento de alimentación por rotación del tornillo a través de una placa deslizante de conexión dentro de su propio eje. Desde el panel de control se puede sujetar o aflojar la pieza de trabajo.

El área de protección de la abrazadera se configura ingresando manualmente el parámetro de abrazadera; por ejemplo, si el número de abrazaderas del sistema

es 2, la posición de la abrazadera #2 depende de [Fijar posición inicial #1] y [Distancia entre dos abrazaderas 1]; en este caso el parámetro [Posición de sujeción #2] no es válido. De manera similar, si el número de abrazaderas del sistema es 3, la posición de abrazadera #1 y #2 debe ingresarse manualmente, la posición de la abrazadera #3 depende de [posición de sujeción #2] y [Distancia entre dos abrazaderas 2]; El parámetro [posición de sujeción #3] no es válido.

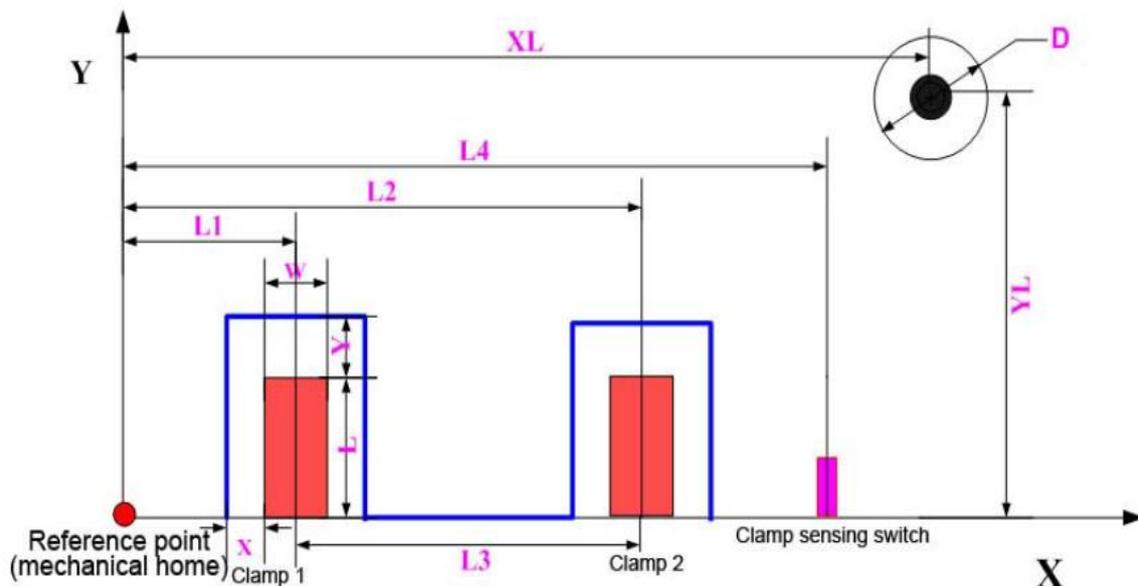


Figura 2 Diagrama del área de protección de la abrazadera

- Sistema de control eléctrico: todas las funciones y acciones de la máquina, son unificadas y completadas por el control del sistema CNC.

3.1.1 Sistema hidráulico

El sistema de lubricación hidráulica protege los elementos del sistema mecánico y transmite la potencia necesaria para que la máquina pueda realizar los trabajos de punzonado a las placas metálicas. Este sistema cuenta con dispositivos que regulan los diferentes factores que lo afectan, entre ellos está la temperatura; cuando el

sistema detecta que ha alcanzado sus niveles máximos de calor, activa una alarma, y entra en juego el sistema hidráulico a través de un flujo para disminuirla, y así evitar que la precisión del sistema pueda estropearse, ocasionando millonarias pérdidas de producción y reparaciones costosas.

Es importante configurar con exactitud los puntos para el sistema de lubricación de la máquina (Figura 3.3), existen 15 puntos claves para una correcta lubricación, detallados en la Tabla 3 donde se puede observar con precisión el lugar físico preciso, la posición a la que se hace referencia y el tipo de aceite lubricante apropiado para garantizar su correcto funcionamiento, así como el tiempo de intervalos para llevar a cabo la ejecución de esta tarea.

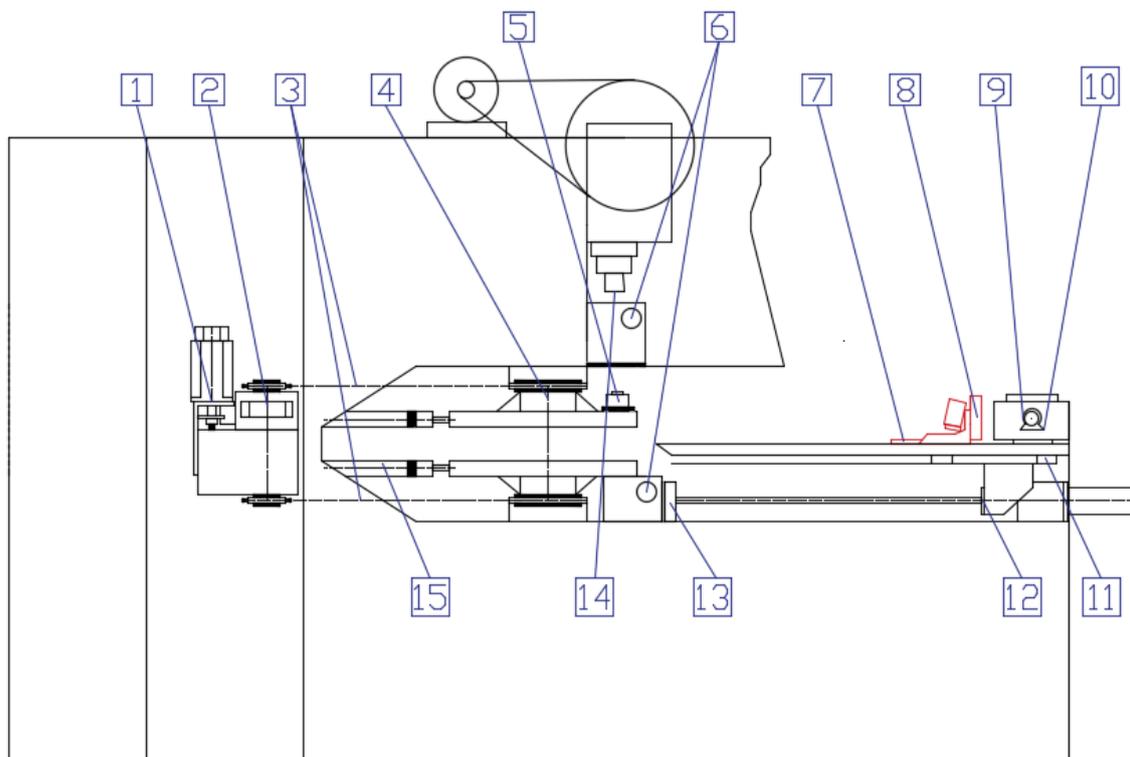


Figura 3 Puntos de lubricación del sistema

Tabla 3*Puntos de lubricación de la máquina*

NÚMERO DE SERIE	POSICIÓN	CICLO	ACEITE LUBRICANTE	PUNTO
1	Rodamiento caja de reducción	Por clase (concentración)	grasa	8
2	Pequeño rodamiento de rueda de cadena	mensual	grasa	2
3	Cadena	mensual	grasa	2
4	Anillo giratorio	Por clase (concentración)	grasa	2
5	Molde y soporte	Por clase	46 # aceite	Cada molde
6	Rotary morir	Por clase	grasa	8
7	Abrazadera del eje de la bisagra	Por clase	46 # aceite	2
8	Deslizador del eje X	Por clase	grasa	3
9	Tornillo del eje X	Por clase	grasa	1
10	Cojinete del eje X	Por clase	grasa	2
11	Control deslizante del eje Y	Por clase	grasa	4
12	Control deslizante del eje Y	Por clase	grasa	1
13	Rodamiento del eje Y	Por clase	grasa	2
14	Pin de posicionamiento de la placa giratoria	Por clase	grasa	2

3.1.2 Sistema neumático

El sistema neumático comprime el aire que, a través de la tubería, con el objetivo de activar las electroválvulas (actuadores), el embrague del volante, el cilindro de

posicionamiento y el cilindro de acción de sujeción. Este sistema es controlado a través de un relé que mantiene la estabilidad en la presión del aire de 0.4 MPa, ajusta la válvula manteniendo una presión constante de 0.5 MPa y mantiene un nivel de aceite de 4 gotas por minuto. Esta presión se monitorea constantemente y cuando disminuye el sistema emite una alarma para tomar las acciones necesarias para restablecerla. Cabe destacar que luego de que el aire es comprimido en un tanque pasa por dos filtros para su posterior envío a través de tuberías que conectan los reguladores al pin de salida de torreta para la reubicación del cilindro y la válvula de tenazas para el posicionamiento de bloqueo como se puede observar en la Figura 4.

3.2 Diseño del tablero de control distribución eléctrica

Para el diseño del nuevo tablero de control la empresa Sical Ingeniería realizó la adquisición de un controlador exclusivo para sistemas de Punzonado CNC, que se complementa con tres servomotores, cada uno con sus respectivos controladores integrados. Los servomotores y servodrives utilizados fueron adquiridos mediante proveedores nacionales, para garantizar un considerable ahorro económico, el stock de estos equipos y personal técnico especializado. Además, este cambio contribuyó al mejoramiento de la operatividad de la máquina reduciendo considerablemente la fuente de energía.

Estos equipos son activados cuando el sistema de control envía las señales de comando al servo-drive, el cual se encarga de amplificarla y emitirle al servomotor la corriente eléctrica necesaria para producir un movimiento proporcional al comando enviado por el sistema de control, esto ocurre alterando la frecuencia de voltaje del motor.

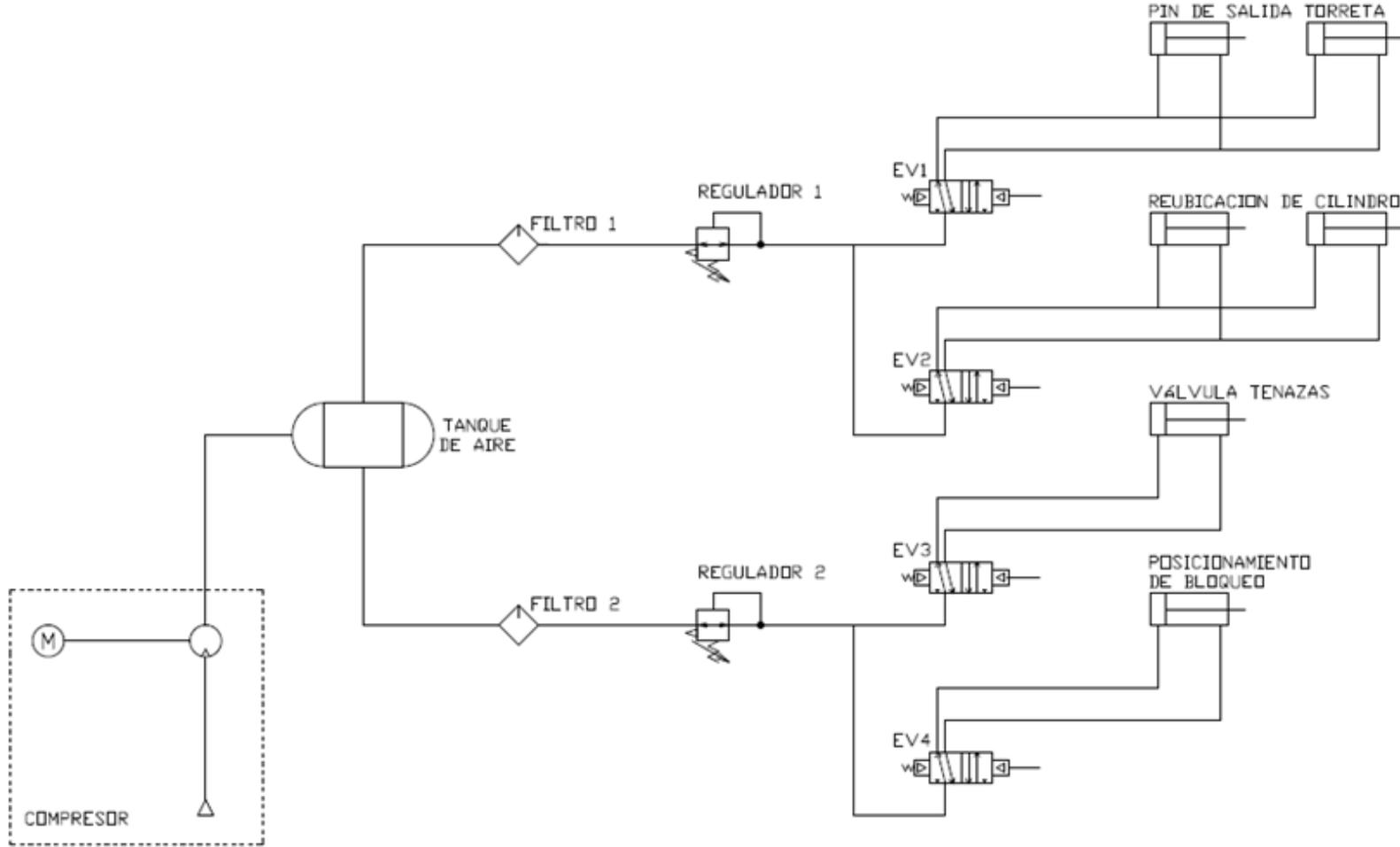


Figura 4 Diagrama del sistema neumático

En el diseño de reestructuración del sistema de control eléctrico, se reutilizaron los sensores y actuadores pertenecientes a la máquina CNC debido a que los mismos se encuentran en buen estado y no amerita una compra extra.

Cabe destacar que entre las características para la selección de los nuevos elementos eléctricos que conforman el diseño del sistema de control de la punzonadora está la reducción del consumo de energía, siendo:

- Motor de punzón: 18 amperios, con arranque directo y conexión tipo delta.
- Servomotor del eje X: 1,5KVA.
- Servomotor del eje Z: 1,5KVA.
- Servomotor del eje Y: 3KVA.

La alimentación eléctrica necesaria para poner en funcionamiento la máquina punzonadora, es suministrada mediante el tablero de distribución principal perteneciente a la empresa Sical, el cual tiene una capacidad de surtir 220 VAC contemplando tres fases y tierra; esta energía eléctrica es proveniente de la empresa eléctrica.

En la instalación del motor del punzón para el nuevo tablero de control, se utilizará un contactor de tres polos de 20 amperios para establecer o interrumpir el paso de corriente para la conexión y desconexión de circuitos de fuerza en el punzonado, un guardamotor de 20 amperios para dar mayor seguridad y un breaker de tres polos de 20 amperios.

Para determinar el consumo de la máquina se realizaron estudios puntualizados en las cargas de los actuadores y sensores sobre la máquina, arrojando como resultado un consumo cercano a los 4 amperios. Al realizar estos cálculos se tomó en

consideración que no todos los sensores y actuadores se activarán de forma simultánea, lo que trae como resultado un consumo aproximado del 80% del consumo como máximo.

Tomando en consideración lo antes expuesto, se utilizará una fuente AC-DC de 220VAC a 24VDC/5A para la respectiva alimentación de los sensores y actuadores los cuales funcionan con 24VDC, de igual manera se incorporó en la salida de la fuente DC un breaker de dos polos 10 amperios. Teniendo en cuenta que el controlador principal tiene un consumo eléctrico y una fuente de alimentación de 2 amperios, se dispondrá de un breaker de dos polos de 10 amperios, lo que ofrece holgura en la protección de estos equipos; así mismo para la bomba de lubricación manual se utilizará un breaker de dos polos de 10 amperios conectado al inicio y final de la instalación, es decir, al cable de entrada y al de salida.

En el caso de establecimiento del computador (CPU y pantalla) la mejor opción para protegerlo de posibles daños ocasionados por cortos circuitos o altos niveles de voltajes es la incorporación de un breaker de dos polos 10 amperios. Una vez determinado el diseño eléctrico a utilizarse en el nuevo tablero de control, se realizó un estudio de cargas de todos los elementos que lo integran se instauró utilizar un contactor de tres polos de 32 amperios, con la cualidad de ser accionado por enclavamiento mediante pulsadores y un breaker principal de tres polos 32 amperios.

Para suministrar la fuerza necesaria para las tareas de punzonado (Figura 5) se utiliza un sistema eléctrico con tres líneas de entrada de 220 VAC, que se ajustan a una bornera de distribución (XF01); lo cual cuenta con un breaker de tres polos, como medida de protección principal, que se conecta al contactor C1, a partir del cual se distribuirán todas las cargas para el diagrama de fuerza.

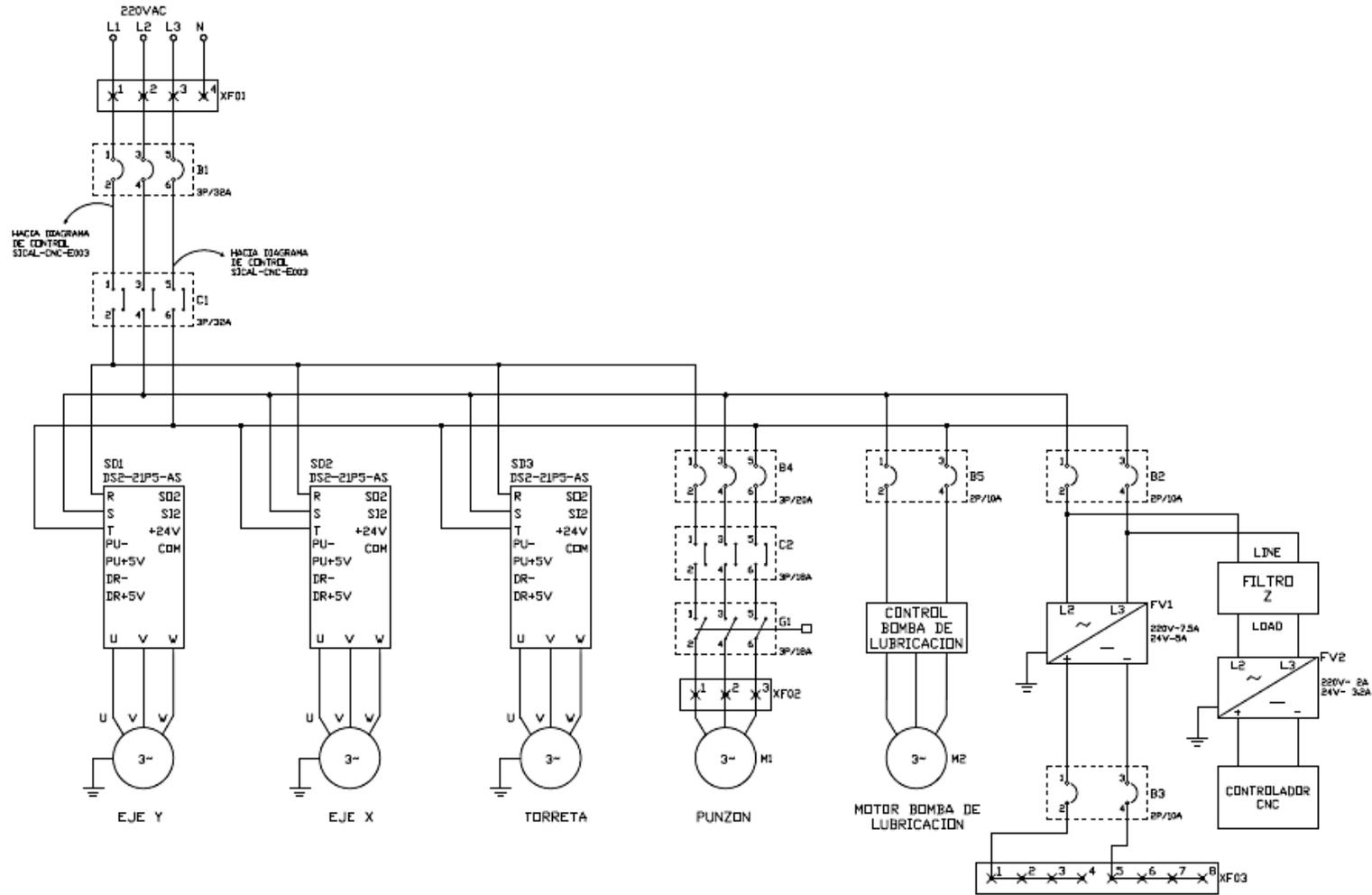


Figura 5 Diagrama SICAL CNC – Fuerza

- Las líneas de alimentación suministran a cada servodrive la energía necesaria para su funcionamiento a través de los puertos R, S y T pertinentes, los cuales a su vez son conectados a sus respectivos servomotores de sus ejes.
- Adicionalmente se cuenta con un motor trifásico para el punzón, el cual también cuenta con tres líneas de alimentación y un breaker de tres polos como medida de seguridad previa a conectarse con el contactor C2, adicionalmente para incrementar la protección se usa un guardamotor GM1, previo al motor del punzón. Este diseño cuenta con una bornera de distribución para facilitar la conexión (XF02).
- En el caso del controlador NCT-03 y la fuente AC/DC se utilizan dos líneas de alimentación, que se conectan a un breaker en la salida de la misma, para posteriormente acoplarse a la bornera que distribuye la energía hacia los sensores y actuadores. Es importante destacar que dentro de los componentes del controlador NCT-03 existe un filtro Z, que fue posicionado seguidamente al breaker de distribución B2. Como se puede observar en la Figura 5 el diseño consta una fuente que alimenta al controlador, la cual se encuentra adherido a su parte posterior.

3.3 Diseño del sistema de control

La finalidad del diseño de un Sistema de Control Redundante con la utilización de un controlador ADTECH NCT 03 para la maquina Punzonadora CNC BESCO de la empresa SICAL Ingeniería, es garantizar que en el caso de que ocurra una falla en el controlador principal de la máquina, ésta pueda seguir funcionando a través de un controlador auxiliar que se activa inmediatamente, así mismo permite que al momento de realizar trabajos de mantenimiento del sistema la Punzonadora siga en

funcionamiento evitando desgaste en la maquina por el proceso de apagado y encendido.

El CNC NTC-03 es un sistema de control numérico de tres ejes integrados a la función de control de molde, mediante el cual se emiten instrucciones programadas, a través de señales de pulsos eléctricos, las cuales son detectadas fielmente por el sistema.

Componentes del sistema CNC NTC-03:

- **CPU:** placa madre industrial ARM.
- **Comunicación:** interfaz USB.
- **Capacidad:** 64 MB de RAM, 60 MB de ROM de memoria flash.
- **Retroalimentación:** retroalimentación de pulso de fase AB.
- **Control:** controlador de movimiento FPGA.
- **Pulso de mano:** codificador de mano incremental.
- **Pantalla:** 800 × 480 píxeles 7 "LCD.
- Aislamiento de acoplamiento óptico completo de E / S.
- Panel de operación tipo Touch / película.
- Fuente de alimentación de conmutación altamente anti-interferente.
- Interfaz RS232.

El programa de procesamiento diagnostica en tiempo real durante el funcionamiento y de manera integral la CPU, la memoria, el LCD, la interface de E / S, el estado de los parámetros, las coordenadas, la fuente de alimentación, el eje principal, el límite y los puertos de E / S cada vez que se inicia o reinicia el sistema.

Instrucciones principales emitidas por el sistema:

- Instrucción de escala y de polarización de herramientas.
- Ciclo de programa, salto de programa, cambio de programa, transferencia de programa, diferentes modos de procesamiento final, definición de macro e instrucciones de gestión de programa.
- Instrucciones de punto fijo: punto de inicio, punto de ajuste, etc.
- Punzonado puntual, mordisqueo de arco, mordisqueo lineal, punzonado de rejilla, etc.
- Seis sistemas de coordenadas de pieza, nueve sistemas de coordenadas de extensión y un punto de referencia.

El controlador ADTECH NCT-03 implementado en la punzonadora CNC BESCO, utiliza una estructura de menú en cascada para garantizar una operación completa y simple en el sistema de control redundante. El procedimiento de intercambio de programas entre el sistema CNC y la PC inicia realizando la programación auxiliar CAD / CAM / CAPP con un software en la PC, el cual transmite el programa CNC al sistema a través de la interfaz de comunicación (disco USB, interfaz RS232), o transmita los programas desde el sistema a la PC.

3.3.1 Módulos del controlador

Los módulos del controlador están diseñados con una placa para el control de todos los elementos, donde se ubican los pines en el orden correcto para conectar los servomotores, las tarjetas de entrada y salida y USB. El Controlador NCT-03 permite controlar individualmente todas las terminales de salida.

Son seis los módulos principales del controlador (Figura 6):

- XS5: Salidas digitales.
- XS6: Entradas digitales.
- XS1: eje X.
- XS2: eje Y
- XS3: eje Z torreta.
- XS10: USB.

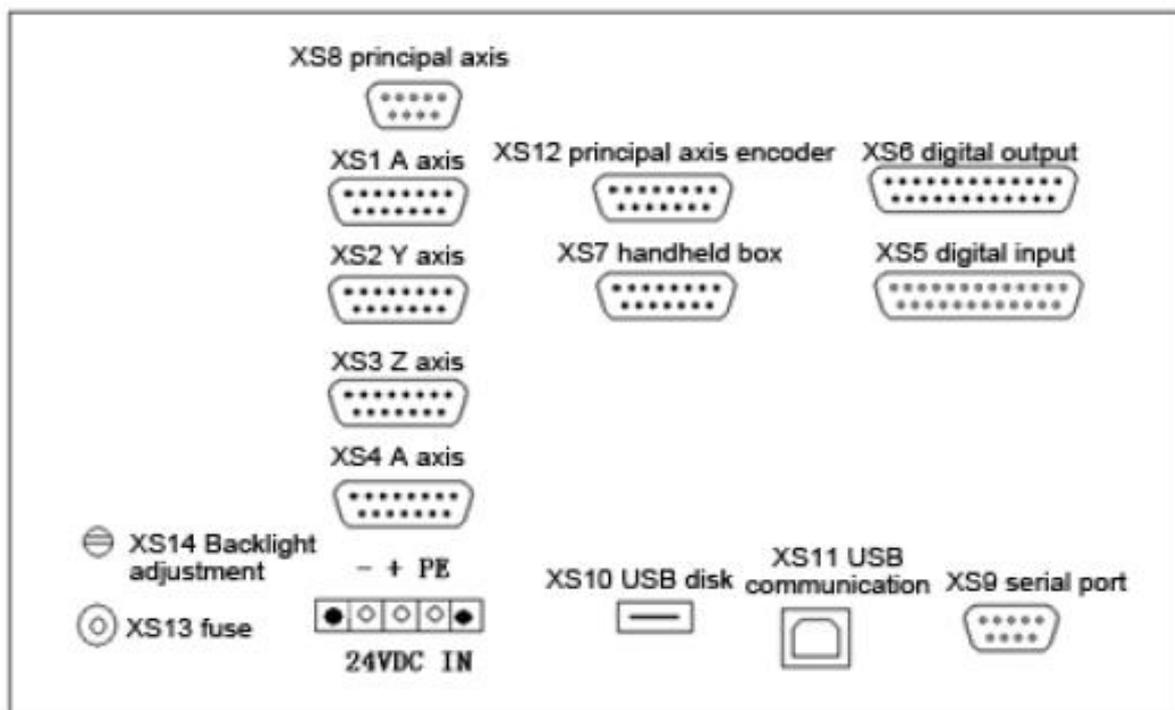


Figura 6 Diagrama de E/S externas del controlador

3.3.1.1 XS6 Salidas digitales

La interfaz de salida digital (XS6) se desarrolló de la forma más sencilla mediante las tarjetas de distribución que forman parte de los elementos adquiridos con el controlador NCT-03, para controlar los diferentes dispositivos electrónicos que conforman el nuevo tablero de control de la máquina punzonadora de la empresa Sical

Ingeniería. Para el diseño de control de las salidas digitales se declararon las variables a utilizarse al inicio del programa, luego se asignó el valor OUTPUT y se definió un total de 25 pines que se usarían como salidas, aprovechando las constantes internas ya definidas. Estas terminales entregan señales de voltaje con una programación específica desde el controlador para interactuar con los diferentes sistemas que conforman la máquina y transmitir las acciones necesarias para cumplir con las tareas establecidas.

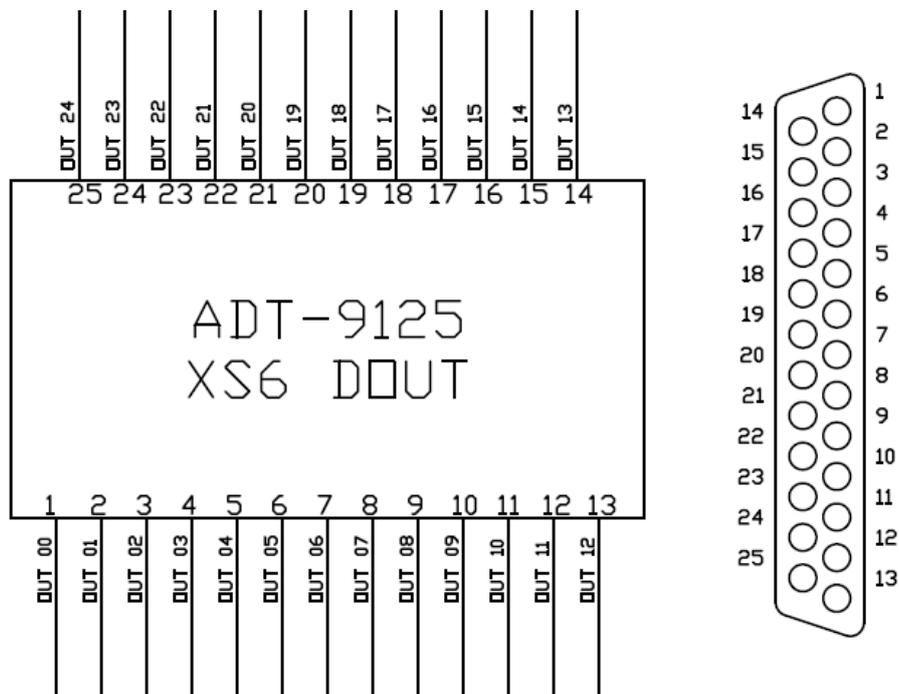


Figura 7 Diagrama de pines de salidas digitales

Se puede observar (Figura 7) las salidas digitales y el tipo de puerto utilizado para la conexión mediante cable con el controlador, por otro lado, en la Tabla 4 se tiene las funciones asignadas para cada pin de la tarjeta XS6.

Tabla 4

Funciones de las salidas digitales

Nº	DEFINICIÓN	FUNCIÓN
----	------------	---------

1	OUT0	Encender servo
2	OUT1	Reservado
3	OUT2	Válvula embrague punzón
4	OUT3	Válvula seguro torreta
5	OUT4	Salida del motor principal
6	OUT5	Reservado
7	OUT6	Válvula de tenazas
8	OUT7	Válvula soporte plancha
9	OUT8	Reservado
10	OUT9	Válvula de posicionamiento inicial
11	OUT10	Reservado
12	OUT11	Reservado
13	OUT12	Reservado
14	OUT13	Reservado
15	OUT14	Reservado
16	OUT15	Reservado
17	OUT16	Reservado
18	OUT17	Reservado
19	OUT18	Reservado
20	OUT19	Reservado
21	OUT20	Eje X servo habilitado
22	OUT21	Eje Y servo habilitado
23	OUT22	Eje T servo habilitado
24	OUT23	Eje C servo habilitado
25	OUTGND	GND Fuente de alimentación externa.

3.3.1.2 XS5 Entradas digitales

La interfaz de entrada digital (XS5) está diseñada con 25 pines, en su diseño al igual que en el de las salidas digitales, las terminales de entradas tienen la capacidad de permitir que se le apliquen señales de 24VDC, lo cual es descifrado por el microcontrolador por medio de la programación adecuada para ejecutar las acciones que se hayan establecido para cada pin. Otra de las funciones importantes que cumplen las entradas digitales es que a través de ellas se recibe información sobre las condiciones de trabajo que se presentan en todos los sistemas de la punzonadora; permitiendo tomar las acciones necesarias para corregir en tiempo oportuno cualquier error o falla que se presente.

Se puede observar (Figura 8) las entradas digitales pertenecientes a la tarjeta de distribución y el tipo de puerto utilizado para la conexión mediante cable con el controlador haciendo uso de los 25 pines, por otro lado, en la Tabla 5 se tiene las funciones asignadas para cada pin de la tarjeta XS5.

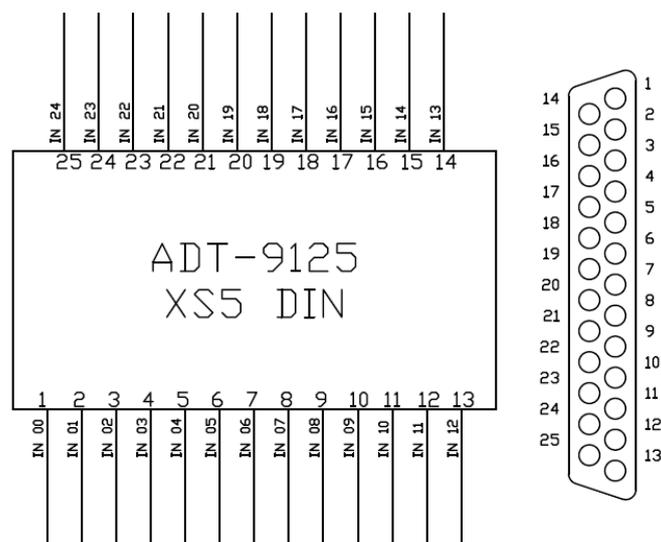


Figura 8 Diagrama de pines de entradas digitales

Tabla 5*Funciones de las entradas digitales*

Nº	DEFINICIÓN	FUNCIÓN
1	IN00	Eje X posición cero
2	IN01	Eje Y posición cero
3	IN02	Eje Z posición cero
4	IN03	Eje A posición cero
5	IN04	Detección torreta abierta
6	IN05	Detección torreta cerrada
7	IN06	Pulsador paro emergencia
8	IN07	Interruptor de pedal tenazas
9	IN08	Reservado
10	IN09	Interruptor de pedal posicionamiento inicial
11	IN10	Reservado
12	IN11	Pulsador inicio secuencia
13	IN12	Pulsador pausa secuencia
14	IN13	detección punzón levantado
15	IN14	Señal de alimentación de punzón
16	IN15	Reservado
17	IN16	Eje X limite -
18	IN17	Eje X limite +
19	IN18	Eje Y limite -
20	IN19	Eje X limite +
21	IN20	Eje Z limite -
22	IN21	Soporte plancha abierta
23	IN22	Soporte plancha cerrada
24	IN23	Eje A limite +
25	INCOM	24 V, 12V Entrada de alimentación externa

3.3.1.3 XS1 Eje X

La interfaz XS1 es una unidad de control de accionamiento del motor del eje X, la cual está diseñada para transmitir a la máquina los datos del sistema correspondientes a las acciones que se deben tomar para cumplir con las funciones en el eje X de acuerdo a la programación establecida inicialmente. El diseño de la interfaz XS1 está establecido por 15 terminales de entradas y salidas del servodrive del eje X, lo cual se aprecia de forma gráfica en la Figura 9; estas señales emitidas a través de pulsos eléctricos para transmitir y recibir información de este eje sobre la dirección, alarma, encoder y alimentación del sistema.

Las instrucciones que se envían al sistema que integra el eje X se consolidan en la máquina a través de engranajes que conectan el tornillo de paso con el motor y el servomotor, permitiendo mantener una distancia de movimiento real consistente, mediante el ajuste de la relación de transmisión electrónica del sistema.

$$\mathbf{CMR / CMD = P / (L \times 1000)}$$

CMR: numerador de relación de transmisión.

CMD: denominador de la relación de transmisión.

P: pulsos correspondientes a una rotación del motor.

L: movimiento de la máquina herramienta correspondiente a una rotación del motor (mm).

CMD / CMR es el equivalente de pulso en realidad, es decir, la distancia de movimiento correspondiente a cada pulso (unidad: 0.001mm).

Para el Cálculo del numerador y denominador del eje X se tiene, que para 1000 pulsos el desplazamiento es de 3,175 mm.

$$\frac{N}{D} = \frac{P}{L \times 1000}$$

Donde **P** es el número de pulsos en una rotación, y L el desplazamiento en mm.

$$\frac{N}{D} = \frac{1000}{3.175(1000)} = \frac{10}{3.175}$$

$$\frac{N}{D} = \frac{400}{127}$$

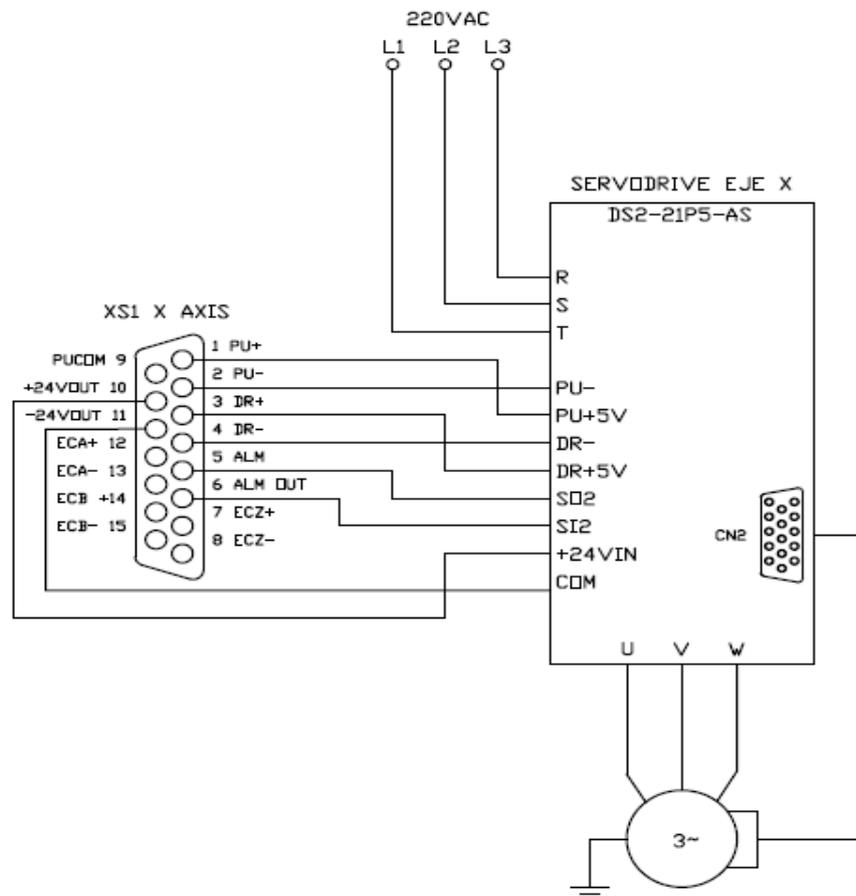


Figura 9 Diagrama SICAL CNC – Servo drive Eje X

Mediante la Figura 9 se muestra la conexión ideal para poner en marcha el servomotor del Eje X, por ende, la activación del servomotor con sus señales de control y de alimentación respectivamente. La conexión del puerto CN1 se realiza únicamente utilizando 8 pines del servodrive (Tabla 6) para un correcto funcionamiento del equipo.

Tabla 6

Funciones de la interfaz XS1

XS1 EJE X		
Nº	DEFINICIÓN	FUNCIÓN
1	PU+	Señal de pulso +
2	PU-	Señal de pulso -
3	DR+	Señal de dirección +
4	DR-	Señal de dirección -
5	ALM	Señal de entrada de alarma
6	OUT	Señal de salida de alarma
7	ECZ+	Encoder fase Z entrada positiva (NO USADO)
8	ECZ-	Encoder fase Z entrada negativa (NO USADO)
9	PUCOM	Entrada del controlador (NO USADO)
10	+24 VOUT	Fuente de alimentación de 24V interna, conectada directamente a la fuente de alimentación de 24V del controlador
11	-24 VOUT	
12	ECA+	Encoder fase A entrada positiva (NO USADO)
13	ECA-	Encoder fase A entrada negativa (NO USADO)
14	ECB+	Encoder fase B entrada positiva (NO USADO)
15	ECB-	Encoder fase B entrada negativa (NO USADO)

3.3.1.4 XS2 Eje Y

La unidad de control de accionamiento del motor del eje Y, está dada por la interfaz XS2, la cual al igual que la interfaz XS1 está diseñada para transmitir los datos del sistema correspondiente al eje Y para las acciones de punzonado según la programación establecida. De igual manera posee 15 pines de entradas y salidas del servodrive del eje Y, lo cual se puede apreciar en la Figura 10; estos pines, se comunican por medio de pulsos eléctricos para transmitir y recibir información de este eje sobre la dirección, alarma, encoder y alimentación del sistema.

Todo el sistema está integrado por medio de engranajes que se activan para transmitir la información entre el tornillo de paso con el motor y el servomotor. La configuración del desplazamiento del tornillo sin fin y de la banda se realizó configurando los Parámetro generales (P1.), tomando en cuenta las condiciones ideales para efectuar los cálculos. Cumpliendo con el mismo principio explicado para el XS1, para el cálculo del numerador y denominador del eje Y se tiene, que para 1000 pulsos el desplazamiento es de 3,175 mm.

$$\frac{N}{D} = \frac{P}{L \times 1000}$$

$$\frac{N}{D} = \frac{1000}{3.175(1000)} = \frac{10}{3.175}$$

$$\frac{N}{D} = \frac{400}{127}$$

Para la conexión y configuración del servodrive y servomotor del Eje Y se debe realizar la conexión de igual manera que para el Eje X, es decir se utiliza los pines de la fuente de alimentación de +24VDC/-24VDC interna, las señales de pulsos PU+/PU-

, los pines de la señal de dirección positiva y negativa DIR+/DIR-, la señal de alarma de entrada y salida, teniendo una conexión de 8 pines (Tabla 7).

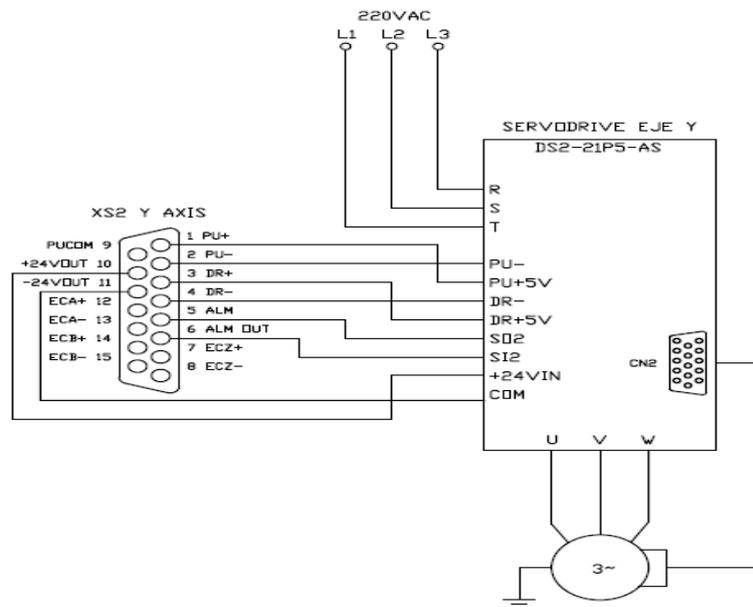


Figura 10 Diagrama SICAL CNC – Servo drive Eje Y

Tabla 7

Funciones de la interfaz XS2

XS2 EJE Y		
Nº	DEFINICIÓN	FUNCIÓN
1	PU+	Señal de pulso +
2	PU-	Señal de pulso -
3	DR+	Señal de dirección +
4	DR-	Señal de dirección -
5	ALM	Señal de entrada de alarma
6	OUT	Señal de salida de alarma
10	+24 VOUT	Fuente de alimentación de 24VDC interna, conectada directamente a la fuente de alimentación de 24VDC
11	-24 VOUT	

3.3.1.5 XS3 eje Z torreta

XS3 es la interfaz establecida en el diseño para controlar las acciones del motor del eje Z o torreta, que cumple el mismo principio de accionamiento que las interfaces XS1 y XS2, para transmitir la información a través de señales que se deben ejecutar en la torreta. Está constituida por 15 terminales de conexión que se comunican por medio de pulsos eléctricos para transmitir y recibir información sobre la dirección, alarma, encoder y alimentación del sistema, tal como se observa en la Figura 11. Los engranajes se encargan de transmitir la información entre el tornillo de paso con el motor y el servomotor.

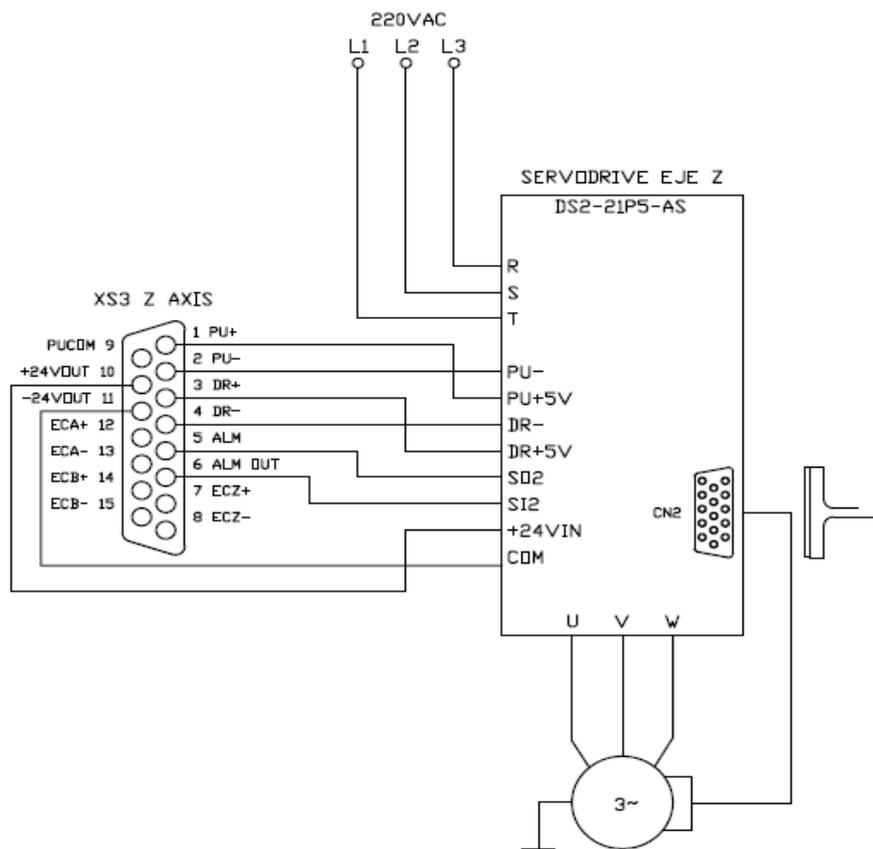


Figura 11 Diagrama SICAL CNC – Servo drive Eje Z

Tabla 8*Funciones de la interfaz XS3*

XS3 Z AXIS		
Nº	DEFINICIÓN	FUNCIÓN
1	PU+	Señal de pulso +
2	PU-	Señal de pulso -
3	DR+	Señal de dirección +
4	DR-	Señal de dirección -
5	ALM	Señal de entrada de alarma
6	OUT	Señal de salida de alarma
7	ECZ+	Encoder fase Z entrada positiva
8	ECZ-	Encoder fase Z entrada negativa
9	PUCOM	Entrada del controlador para terminal simple
10	+24 VOUT	Fuente de alimentación de 24V interna, conectada directamente a la fuente de alimentación de 24V del controlador
11	-24 VOUT	
12	ECA+	Encoder fase A entrada positiva
13	ECA-	Encoder fase A entrada negativa
14	ECB+	Encoder fase B entrada positiva
15	ECB-	Encoder fase B entrada negativa

3.3.1.6 USB

El diseño estándar de la interfaz de conexión de memoria USB (XS10) y la Interfaz de comunicación USB de la PC (XS11) permite el intercambio de programas entre el controlador del sistema CNC y la PC a través de una programación auxiliar CAD / CAM / CAPP instalado en el software de la PC, que luego se transmite al sistema a través de la interfaz de comunicación (disco USB, interfaz RS232), o se transmiten los programas desde el sistema a la PC. El intercambio de información entre el controlador y la PC se realiza a través de un cable USB, donde la PC es reconocida como un disco duro externo, que sirve para copiar y pegar los archivos de diseño que se van a ejecutar en el controlador:

Para transferir los archivos desde el PC al controlador:

1. Se selecciona el botón [Cargar archivo en NC] en el controlador NCT-03
2. Se Selecciona el archivo CNC en el cuadro de diálogo emergente y se presiona el botón [Abrir].

3.3.2 Configuración de parámetros

Para acceder a la configuración del controlador NCT-03 se utiliza un sistema de configuración de parámetros, los cuales se pueden modificar y configurar directamente desde el controlador mediante la pantalla HMI propia del mismo.

3.3.2.1 Parámetros generales (P1)

Existen 140 parámetros a configurar determinados como generales, hacen referencia a valores de frecuencia para definir el numerador y denominador de la relación de transmisión de cada eje (eje X, eje Y, eje Z torreta), se tiene también la configuración de la velocidad de desplazamiento y de inicio de cada eje medido en milímetros por minuto, los límites positivos y negativos de cada eje expresados en milímetros, la velocidad de alimentación y aceleración, niveles de voltaje para señales de inicio, pausa paro de emergencia, tiempos de lubricación, y varios parámetros más que están relacionados con la configuración general de los componentes de la máquina CNC Besco y la configuración de pulsos para la comunicación de los mismos.

Acerca de la velocidad de inicio, se recomienda 1-2 revoluciones de velocidad del motor de paso; para levantar el punzón, la herramienta se mueve 5 mm cuando el motor gira un ciclo, y la velocidad es de 5-10 mm / seg (300-600 mm / min). Para servomotor, el inicio y la parada no deben tener vibración. Si esta velocidad es demasiado alta, causará vibración durante el movimiento, y el motor paso a paso estará fuera de paso.

Los parámetros afectados por la aceleración y la velocidad de inicio incluyen:

034: velocidad manual.

048-051: velocidad de casa.

Código G relacionado.

G70: posicionamiento y velocidad de conversión de torreta.

G28: velocidad a posición cero.

Generalmente, la herramienta tiene una señal de límite. En este caso, para el software el límite no es requerido. El límite positivo se establece en +9999.999, y límite negativo a -9999.999. Si el interruptor de límite no está instalado, se utiliza el límite suave, que utiliza sistema de coordenadas de la herramienta como punto base. El límite positivo y el límite negativo están sujetos a la distancia real (unidad: mm).

Como el límite inicial desacelera y se detiene en el punto límite, puede exceder el establecer la distancia, que depende del tiempo y la velocidad de aceleración. Las instrucciones de alimentación de otros códigos, excepto G70 y G28, se mueven a la velocidad de instrucción F. Si la instrucción F no está especificada en el programa, las instrucciones anteriores se mueven a la velocidad establecida por este parámetro.

La velocidad máxima de alimentación restringe la instrucción F durante el procesamiento, es decir, sin importar a qué se haya configurado F, la velocidad real no puede exceder este valor de parámetro. Establecer este parámetro evitará el daño causado por error de programación de velocidad accidental al transferir procesamiento de archivos.

Establece el filtro constante si el entorno tiene demasiada interferencia, por lluvia y truenos, se ingresa un valor de filtro. Un valor más alto indica un tiempo de prueba más largo y alta fiabilidad; 0 indica que no hay filtro. En el anexo B1 (Parámetros generales P1) se encuentran detallados todos los parámetros configurados.

3.3.2.2 Parámetros de ejes (P2)

En la configuración de parámetros de ejes se tiene 102 apartados, los cuales fueron configurado para el funcionamiento correcto de la Punzonadora, dentro de estos

parámetros se tiene configuraciones de niveles efectivos de voltaje de cada eje para las alarmas, activación de límites positivos y negativos de hardware, dirección mediante un pulso lógico de cada eje, conexión del cable del encoder de los servomotores de los tres ejes, aceleraciones máximas y mínimas de cada eje; como se puede observar en este tipo de parámetros se realiza la configuración detallada de los ejes, configurando las alarmas, niveles de voltaje, activaciones y desactivaciones de control, en el anexo B2 (Parámetros de ejes P2) se encuentra de forma detallada todos los ítems configurados mediante una tabla con su respectiva descripción.

3.3.2.3 Parámetros de usuario (P3)

Para la configuración de estos parámetros en el modo "Editar", se presiona [EOB] para ingresar a la selección del modo de administración de interfaz; se selecciona el modo de administración, y se presiona [EOB] para guardar y salir, o [Cancelar] para cancelar.

- Súper usuario: modo Super admin.
- Operador: modo de operador.
- Invitado: modo de invitado.

La contraseña predeterminada de super administrador y operador es 0, el superusuario puede modificar todas las contraseñas, mientras que el operador solo puede modificar la contraseña del operador. Los parámetros se respaldan en el archivo sysconf.bak en el directorio raíz del controlador. Si esta carpeta ya tiene un archivo con el mismo nombre, la última la copia de seguridad sobrescribirá este archivo.

3.3.2.4 Parámetros de torreta (P4)

Para definir los parámetros de la torreta el usuario necesita configurar con la tecla P6 en el controlador, para mostrar los parámetros de la base de datos de molde:

- [Posición de la torreta]: el ángulo de cada herramienta de la torreta;
- [Diámetro]: tamaño máximo de la herramienta;
- [Forma]: 0: redondo; 1: cuadrado;
- [Si la herramienta de cambio]: 0: No 1: Sí;
- [Tamaño X]: longitud de la herramienta cuadrada;
- [Tamaño Y]: ancho de la herramienta cuadrada;
- [Ángulo de instalación]: el ángulo para instalar la herramienta;
- [Salida adicional]: puerto de salida correspondiente al tipo de cilindro reacondicionamiento;
- [Detección de desconexión]: número de puerto para tipo de cilindro detección de desconexión;
- [Detección de abrazadera]: Número de puerto para detección de abrazadera tipo cilindro

Estos parámetros se usan para configurar el nivel de salida predeterminado del puerto de salida mediante un sistema binario para la configuración de pin.

3.3.2.5 Parámetros de puertos (P5)

Antes de iniciar con la configuración de los parámetros de puertos P5, se debe deshabilitar el IO ingresando "8888" para evitar que la estabilidad se ve afectada por la influencia externa. Estos parámetros se usan para configurar el restablecimiento del

sistema usando el sistema binario para la configuración de los pines. Por ejemplo, la expresión binaria de 83: 65404 es 1,111,111,101,111,100; Representa que los puertos 0, 1 y 7 no se restablecerán por pausa del sistema o alarma.

3.3.3 Controladores XINJE

El controlador XINJE funciona monitoreando las entradas de información y luego las procesa a través de un programa interno para modificar las salidas, obteniendo un control total, para la interpolación lineal y circular de varios ejes de movimiento en los servodrives y servomotores. La finalidad de la aplicación de este sistema es el obtener un control total sobre todos los sistemas y mecanismos de la punzonadora, por lo que en el diseño del nuevo tablero de control se situó un servodrive con un servomotor para cada eje de la máquina (X, Y y Z), de dimensiones y características específicas para la Punzonadora CNC Besco (Figura 12 y Figura 13), y con esto tener mayor precisión en los trabajos de punzonado.

Los servodrive y servomotores XINJE trabajan en conjunto, mientras los primeros se encargan de mantener estable la posición y velocidad de trabajo de cada eje, de acuerdo a la programación del trabajo a realizarse; los segundos con un consumo de energía reducido, se encargan de proporcionar la potencia para las cargas mecánicas necesarias para cumplir con la programación de trabajos en cada eje.

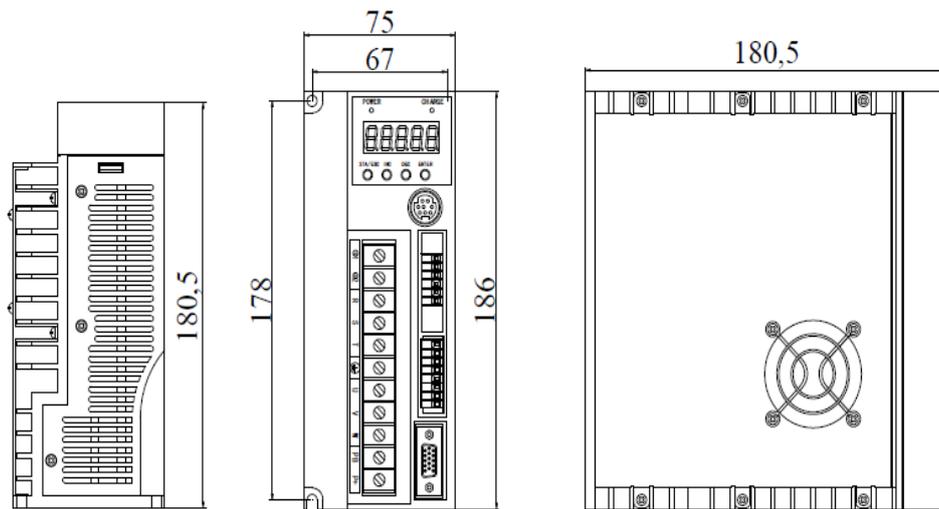


Figura 12 Dimensiones del servodrive (und: mm)

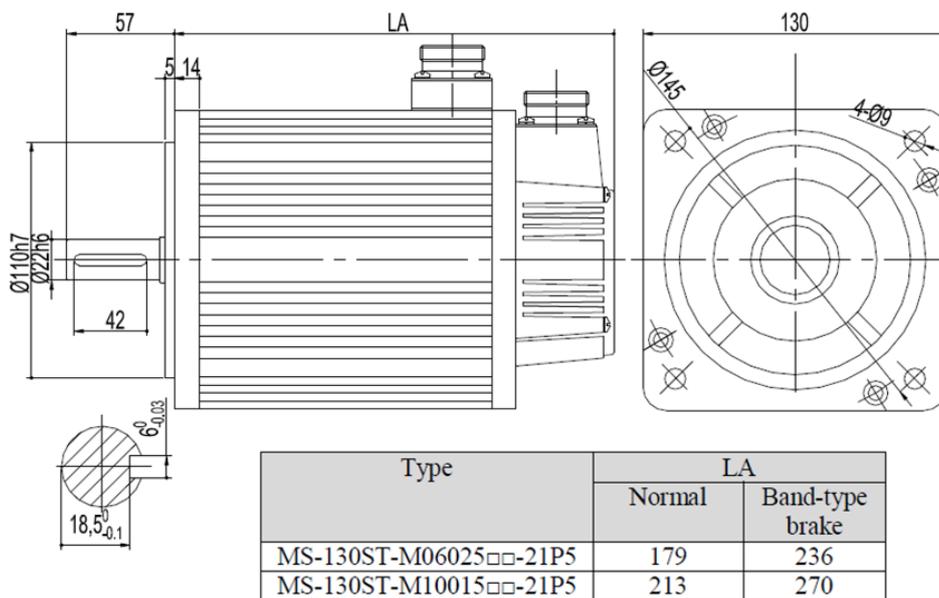


Figura 13 Dimensiones de los servomotores (unidad: mm)

3.3.3.1 CN2 (Encoder hacia el servomotor)

Los terminales CN2 son codificadores que se conectan directamente con los servomotores. Cada terminal consta de 15 pines de conexión (Figura 14).

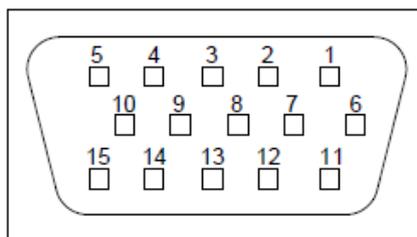


Figura 14 Diagrama de disposición del conector CN2

La conexión del servodrive hacia el servomotor, haciendo referencia únicamente al puerto CN2, se lo hace mediante un cable que llega al enconder del servomotor, en la Tabla 9 se detalla las características de cada pin del cable del encoder hacia el servomotor.

Tabla 9

Enconder hacia el servomotor

CONDUCTO	ENCODER DEL MOTOR	NOMBRE
1	4	A+
2	5	B+
3	6	Z+
4	10	U+
5	12	W+
6	7	A-
7	8	B-
8	9	Z-
9	13	U-
10	15	W-
11	1	Shield
12	3	GND
13	2	5V
14	11	V+
15	14	V-

3.3.3.2 CN1 (Conexión hacia el controlador)

Para la conexión con los controladores, los servomotores constan de 15 terminales codificadoras, donde cada uno cumple con una especificación determinada detallada en la Tabla 10

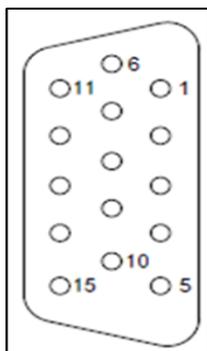


Figura 15 Diagrama de disposición del conector CN1

Tabla 10

Descripción de conexión hacia el controlador

Nº	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	SI3	Entrada al terminal 3
2	SI4	Entrada al terminal 4
3	SI5	Entrada al terminal 5
4	SI6	Entrada al terminal 6
5	+24V	Entrada de 24V
6	SO3	Salida del terminal 3
7	COM	Suelo para terminal de salida
8	AO	Encoder salida A
9	BO	Encoder salida B
10	ZO	Encoder salida Z
11	T-REF	Entrada analógica de torque
12	V-REF	Entrada analógica de velocidad
13	GND	Suelo para entrada analógica
14	A	RS485+

3.3.3.3 UVW (Alimentación hacia el servomotor)

El cableado de estos equipos se diseñó de forma sencilla usando las terminales del circuito principal para conectarse con los servomotores, como se puede observar en la Figura 16.

- Terminal P+, PB: Funciona para la conexión de la resistencia de frenado regenerativo.
- Terminales L1, L2, L3: Funcionan como entradas de energía al circuito principal.
- Terminal \ominus (PE): Funciona para conectarse a tierra.
- Terminales U, V, W: Funcionan para la conexión del motor.

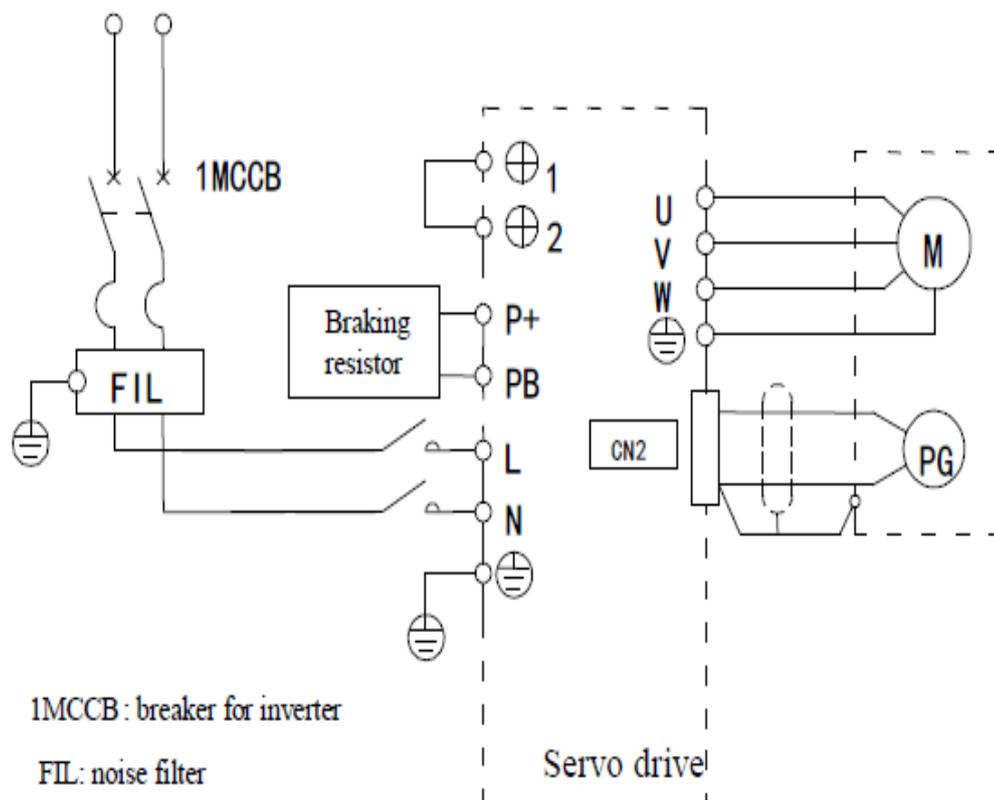


Figura 16 Cableado de los servodrive

3.4 Requerimientos para el montaje del controlador NCT-03

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema del controlador NCT-03 integrado al nuevo panel de control de la máquina punzonadora, se establecieron las condiciones mínimas necesarias del entorno operativo, para una actividad segura, y evitar daños o fallas en todo el sistema.

- Tensión de funcionamiento: 24v (con filtro).
- Temperatura de funcionamiento: 0 ° C - 45 ° C.
- Temperatura de funcionamiento óptima: 5 ° C - 40 ° C.
- Humedad de funcionamiento: 10% - 90% (sin condensación).
- Humedad de funcionamiento óptima: 20% - 85%.
- Temperatura de almacenamiento: 0 ° C - 50 ° C.
- Humedad de almacenamiento: 10% - 90%.
- Entorno operativo: Sin gases excesivos de polvo, ácido, alcalinos, corrosivos y explosivos, sin interfaz electromagnética fuerte.

En primer lugar se instaló un filtro eléctrico como medida de seguridad con la finalidad de mantener una tensión de funcionamiento constante de 24DC; luego se implantaron diversos mecanismos de circulación del aire para mantener óptimos niveles de temperatura y humedad, ya que el no controlar estos factores pudiese influir de forma negativa en el funcionamiento acortando su vida útil, para ello se ubicó un ventilador, salidas y entradas de aire estratégicas que no permiten ingreso de polvo y se ubicó el panel de control en un área alejada de gases y sustancias alcalinas y corrosivas, además de mantener una distancia prudencial de aparatos que pudiesen emitir fuertes señales electromagnéticas.

El sistema de tres ejes del NCT-03 controla a través de la programación de un hardware el sistema hidráulico de la punzonadora, para intervenir en el mecanismo de trabajo de la máquina, integrando los tres ejes para cumplir las funciones de control y rotación del molde. Por esta razón se debe tener especial cuidado de ajustar correctamente todos los componentes que lo integran, de lo contrario el sistema generara una alarma de error.

3.5 Diseño físico del tablero de control

En el diseño del nuevo tablero de control se estableció un armario metálico de 1900 mm de alto x 750 mm de ancho x 450 mm de profundidad (Figura 17), fabricado con planchas de acero de 1,9 mm de espesor de color negro, el cual para una distribución estratégica, cómoda y segura de todos los elementos que lo integran se dividió en dos secciones: en la primera se establecieron los equipos internos (Servodrives, breakers, relés, borneras, filtro eléctrico, entradas y salidas digitales) para lo cual se fraccionó el armario en cinco áreas.

La segunda sección es la parte frontal del armario, que funciona además como una puerta donde se instalaron los elementos externos del controlador NCT-03 y el CPU integrado al sistema de control. Está sujeta al armario por la articulación de un juego de bisagras que permite su giro para abrir y cerrar.

3.3.4 Elementos internos

La distribución de los elementos internos se desarrolló de forma organizada, ubicando en la parte superior (área de 507mm de alto x 750 mm de ancho) tres servodrives (uno para cada eje), dejando una distancia prudencial entre ellos de 10

mm y de 50 mm de las paredes del armario, para que el aire pueda circular alrededor de ellos evitando incrementos en la temperatura.

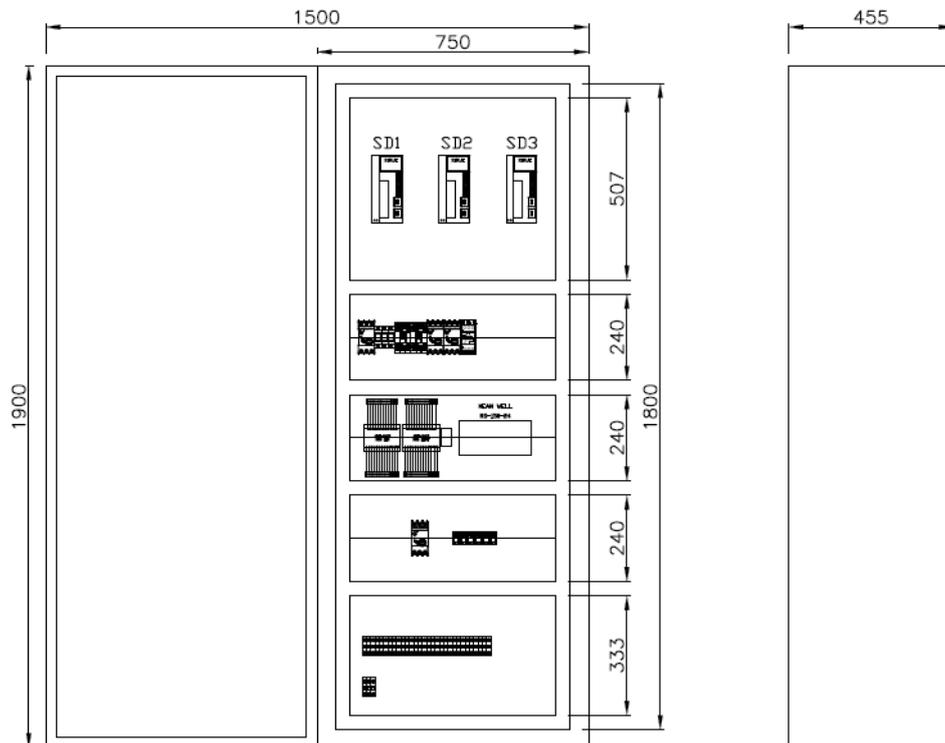


Figura 17 Dimensiones del nuevo tablero de control (unidad: mm)

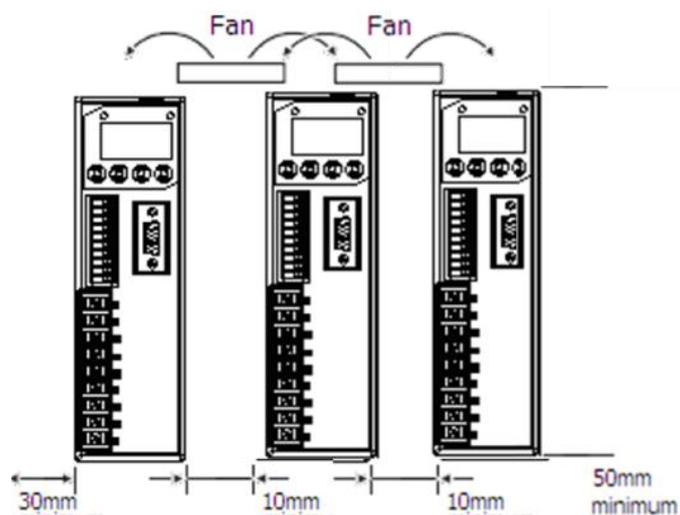


Figura 18 Ubicación de Servodrives

En un segundo espacio fueron incorporados un breaker principal de tres polos, dos contactores, un breaker de dos polos con fuente de entrada de 24VDC, un breaker de dos polos con fuente de salida de 24VDC y un guarda-motor con fuente de 24VDC. Para lo que se designó un espacio de 240 mm de alto por 750 mm de ancho.

En el tercer nivel se designó un área de 240 mm de alto x 750 mm de ancho en la cual se instalaron las tarjetas de entradas y salidas digitales para proporcionar el intercambio de información entre el controlador y la máquina, asimismo fue incorporado en esta sección un filtro eléctrico.

El área número cuatro mide 240 mm de alto x 750 mm de ancho donde se situaron seis relés que controlan los niveles de corriente eléctrica de bajo valor, como los circuitos de alarmas visuales o sonoras y alimentación de contactores, estos son accionados por el servomotor; de la misma manera se incorporó en este módulo el breaker de dos polos de la bomba de lubricación.

Y por último se ubicó de forma ordenada detallando con etiqueta cada sección, el sistema de borneras de entradas y salidas de corriente eléctrica, para lo que se permitió un área de 333 mm de alto x 750 mm de ancho.

3.5.1 Elementos de mando

Los elementos de control externo o de mando fueron ubicados en la puerta del armario de control (Figura 19) con la finalidad brindar un fácil acceso para ingresar las configuraciones de trabajo de la punzonadora y hacer seguimiento de todos los escenarios que se presentan durante el funcionamiento de la máquina.

En primer lugar, tenemos el panel del módulo de control principal ADTECH NCT-03, con su respectivo teclado alfanumérico mediante el cual se pueden instruir las acciones de encendido y apagado, iniciar y pausar la secuencia, seleccionar el eje del motor del punzón hacer un diagnóstico completo del sistema y programar el punzonado de forma automática o manual. La cubierta del controlador fue diseñada con medidas exactas para mantener el flujo de aire en su interior dejando un margen de separación de 20 cm.

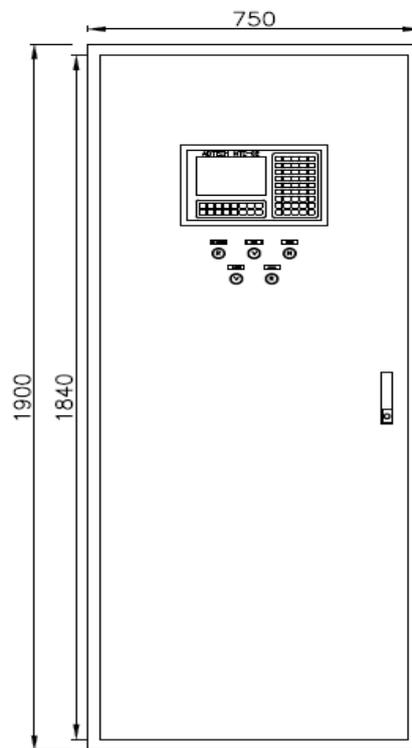


Figura 19 Puerta del armario de control.

Seguidamente se estableció un área necesaria en la puerta para la instalación de una computadora integrada, que permitirá la una interacción inmediata con el controlador, mediante la cual se ejecutaran los programas destinados al control de la punzonadora, acortando los tiempos de trabajo.

Las teclas de navegación del controlador NCT-03 se encuentran detalladas en la Figura 20, para un correcto desplazamiento en el menú de ejecución de los programas diseñados.

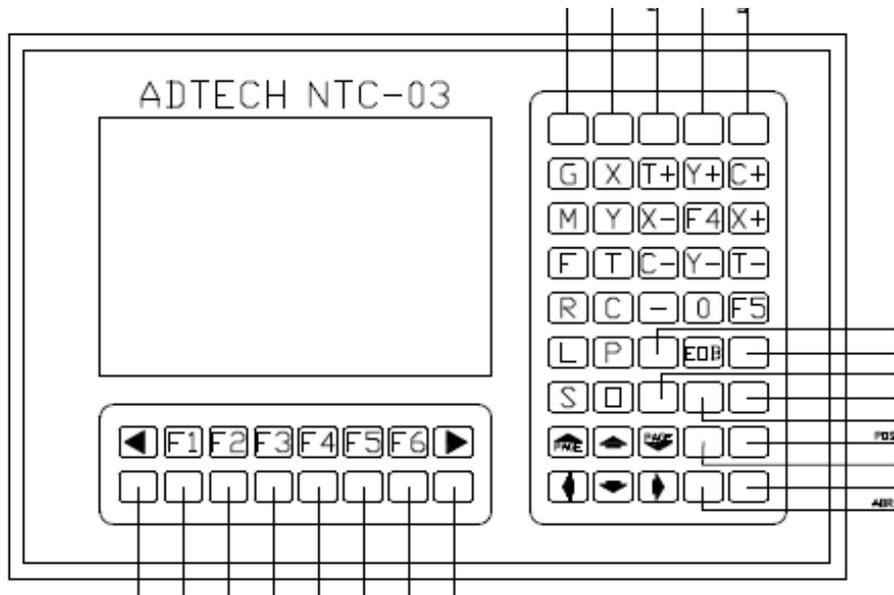


Figura 20 Controlador NTC-03.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

4.1 Descripción e instalación de controladores

Para la implementación del sistema de control redundante de la máquina Punzonadora CNC BESCO como se mencionó en el capítulo III, la empresa SICAL Ingeniería adquirió un controlador ADTECH NCT-03 (módulo de control principal) y tres servodrivs XINJE los cuales controlan el funcionamiento de los servomotores para los tres ejes que utiliza la punzonadora CNC:



Figura 21 Controlador CNC NCT-03

Para la instalación del controlador CNC NCT-03 en primer lugar se fortalecieron las condiciones para la instalación del gabinete eléctrico, garantizando que el mismo

fuese capaz de prevenir de manera efectiva la entrada de polvo, refrigerante o soluciones orgánicas.

Con el objetivo de evitar interferencias eléctricas se ubicó el armario de control en un lugar distante de dispositivos electromagnéticos; de igual forma la máquina se conectó a tierra con cables independientes del CNC.



Figura 22 Instalación del controlador CNC NCT-03

Es importante señalar que el sistema está diseñado con medidas adecuadas y de manera exacta para el espaciamiento entre elementos y dispositivos generadores de calor y el correcto uso de las canaletas por donde se transportan los cables de conexión. En la Figura 22 se observa el proceso de cableado tomando en cuenta los parámetros establecidos para un armado adecuado.

- DRIVES XINJE:

Se instaló un servodrive para cada eje de la máquina (X, Y y Z) de forma perpendicular al tablero, debido a que están diseñados para bajar la temperatura por convección natural o con la ayuda de un ventilador, por lo que se dejó suficiente espacio alrededor de cada servodrive para una buena circulación del aire.

Los servodrives se ubicaron uno al lado del otro, con una distancia prudencial entre ellos de 10 mm y 50 mm por encima y por debajo de cada servoconductor, para evitar el aumento excesivo de temperatura y mantener la temperatura uniforme dentro del panel de control.

En el panel de control se realizaron algunos ajustes para mantener las condiciones ambientales para el correcto funcionamiento de estos equipos.

- Temperatura ambiente: 0 ~ 50 °C.
- Humedad: 90% de HR o menos.
- Vibración: 4.9m / s².
- Condensación y congelación: ninguna.
- Temperatura ambiente para la fiabilidad a largo plazo: 50 ° C como máximo.

- MOTORES XINJE:

Se instaló un servomotor de la serie MS XINJE Para el eje X uno en el eje Y y uno para la torreta de herramientas, con las características respectivas de cada uno.

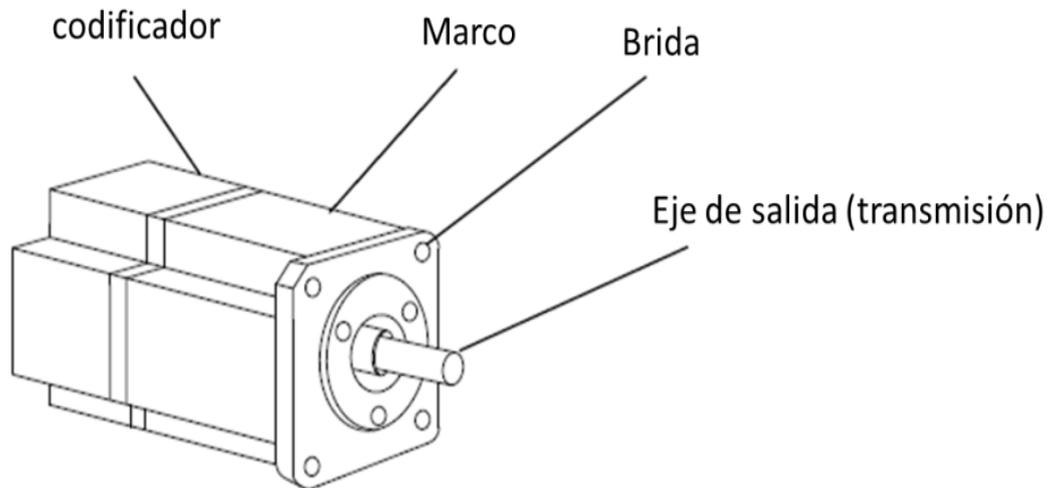


Figura 23 Partes del servomotor XINJE

Los motores de los ejes X y Y se instalaron de forma horizontal, mientras que el motor de la torreta se instaló de forma vertical, teniendo especial cuidado con las partes frágiles de cada servomotor (Figura 23) y posicionarlos correctamente para garantizar su tiempo de vida útil y evitar cualquier tipo de problemas inesperados; certificando que estuviesen ventilados, libres de polvo y humedad y con un fácil acceso para las tareas de mantenimiento, tomando en cuenta también la disponibilidad de ubicación y espacio con respecto a la máquina punzonadora.

Para conectarlos a la punzonadora se acoplaron manteniendo el centro del eje de la máquina y el servomotor en la misma línea (Figura 24), y de esta forma evitar posibles vibraciones; posteriormente a la conexión con la máquina se aplicó cubierta protectora sobre los servomotores para impermeabilizarlos.

Las características técnicas de los servomotores adquiridos por la empresa Sical Ingeniería se presentan en la Tabla 11 donde se observa las especificaciones que fueron tomadas en cuenta para un adecuado acoplamiento a la máquina Punzonadora CNC Besco.

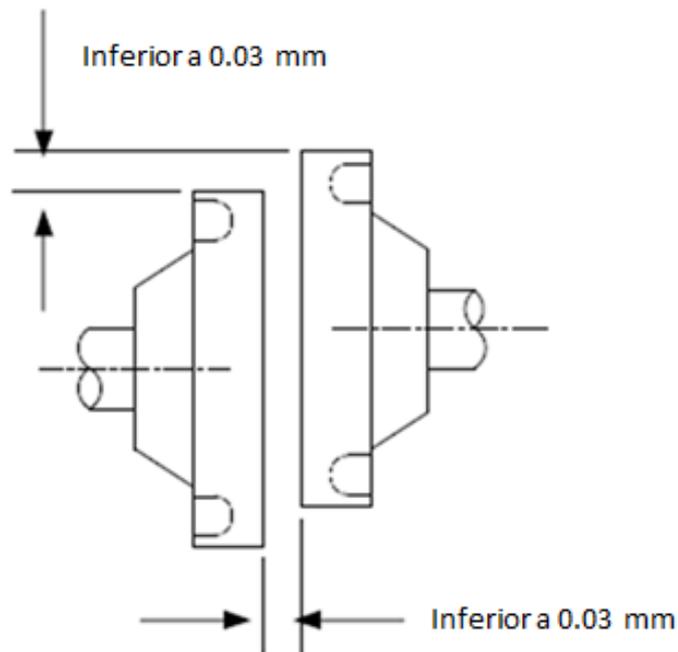


Figura 24 Conexión entre el servomotor y la máquina

Mediante las especificaciones técnicas brindadas por el fabricante de los equipos se logró realizar un montaje físico de manera precisa, con los parámetros eléctricos de los equipos utilizados se realizó el cálculo debido para que en la conexión establecida funcione correctamente y no presenté errores cuando la máquina se encuentre en uso.

4.2 Selección e instalación de Elementos Eléctricos

Partiendo del diseño realizado para el nuevo tablero de control de distribución eléctrica detallado en el capítulo III, se definió utilizar los elementos que mejor se adaptaran al sistema, y que cumplieran con los requisitos necesarios de capacidad, seguridad y calidad (Tabla 12).

Tabla 11
Especificaciones de los servomotores

Nivel de voltaje		220VAC
Tipo de motor MS-		110ST
		M05030
		21P5
Código del motor		0032
Potencia nominal (KW)		1.5
Corriente clasificada (A)		6.0
Velocidad nominal (rpm)		3000
Velocidad máxima (rpm)		3500
Par nominal (N · m)		5
Par máximo (N · m)		15
Atrás EMF constat (V / krpm)		62
Coeficiente de torque (N · m / A)		0,83
Inercia del rotor (Kg · m ²)		0.63×10 ⁻³
Resistencia de bobina (Ω)		1.03
Inductancia de bobinado (mH)		3.43
Constante de tiempo eléctrico (ms)		3.33
Peso (Kg)		6.7
Encoder ppr (PPR)		2500
Pares de polos		4
Nivel de aislamiento del motor		Class B (130°C)
Nivel de protección		IP65
Ambiente	Temperatura	,20°C ~ +50°C
	Humidad	humedad relativa <90%

Para la adquisición de estos elementos se consideró un factor muy importante, que es la existencia de estos en el mercado nacional, ya sea que se fabricaran localmente o que existieran empresas que garantizaran su stock en el país. Además, también se

utilizaron algunos elementos que fueron obtenidos de la bodega existente en la empresa Sical Ingeniería.

Tabla 12

Elementos eléctricos utilizados en el nuevo tablero de control

ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
Controlador NCT-03	1	Importado de China
Servodrives	3	Con sus respectivos servomotores
Breaker Principal tres polos	1	Marca Siemens
Breakers de dos polos	4	Tres marca siemens y uno marca WEQ C10
Breaker de tres polos	2	Marca ABB
Contactores	2	Marca Siemens de alta gama
Guardamotor	1	Marca ABB 18A
Fuente AC-DC	1	De 220V/5A a 24V/5A
Tomacorriente	1	220VAC
Relés	5	Marca ABB
Tarjeta de entrada	1	Parte del controlador principal
Tarjetas de salida	1	Parte del controlador principal
Filtro	1	Parte del controlador principal
Borneras	1	Obtenidas de la bodega de la empresa Sical ingeniería
CPU	1	Marca Intel nuc mini
Pantalla	1	Marca AOC

La empresa Sical Ingeniería con la idea de aplicar un sistema de control redundante a la máquina punzonadora, importó con anterioridad un controlador NCT-03 proveniente de China. Ante este escenario surgió la idea central y tema de este proyecto de desarrollar este sistema, para ello en primer lugar se estudió todas las

características y funcionamiento a partir de lo cual se detectó los elementos necesarios para implementarlo.

El primer escenario que se detectó es la necesidad de adquirir un servodrive con su respectivo servomotor para cada eje de la máquina (ejes X, Y y Z), con las mismas características de los que existían en el antiguo tablero de control para que fuesen compatibles con el mecanismo de la punzonadora. En el proceso de procura de los tres servodrives (Figura 25) se analizaron tres propuestas de empresas importadoras, llegando a la conclusión de comprarlos a la empresa TechDesign, debido a la disponibilidad en stock, facilidad de entrega y un aspecto importante fue que se brindó una pequeña capacitación sobre las funciones de los controladores.

La empresa Sical Ingeniería cuenta con un amplio sistema de stock de materiales y elementos para la elaboración de tableros de distribución eléctrica, por lo que antes de adquirir un elemento con un proveedor externo, se buscó en la bodega la existencia de estos, con las características más adecuadas para nuestras necesidades. De esta bodega obtuvimos el breaker principal marca Siemens C32 puesto que este modelo contaba con el amperaje necesario además de confiabilidad por ser una marca reconocida.

Para proteger la fuente de poder, los sensores, actuadores, y la computadora. Se adquirieron cuatro breakers de dos polos con amperaje menor a 10A, de gama media, suficiente para manejar corrientes de bajo amperaje de las entradas y salidas de la fuente AC-DC y el CPU; de los cuales tres fueron comprados marca siemens y uno se obtuvo de la bodega de la empresa Sical marca WEQ C10.

Adicionalmente se adquirió un breaker de tres polos, y un guardamotor para proteger el motor, ambos elementos se seleccionaron de marca ABB, puesto que el proveedor tiene excelentes relaciones comerciales con la empresa Sical Ingeniería, nos ofreció un descuento para estos equipos, y un corto tiempo de entrega; además de que cumplían con las características precisas para el proyecto. El guardamotor de 30A que poseía el antiguo tablero de control no era el adecuado, ya que se encontraba sobredimensionado, por lo tanto, se incorporó un guardamotor de 18A para dar mayor seguridad al sistema eléctrico sin caer en un uso inadecuado de equipos. Estos dispositivos protegen al motor contra sobrecarga, y contra cortocircuito y sobrecarga a la línea de alimentación y al motor; los mismos se conectaron al principio de la línea de alimentación del motor.

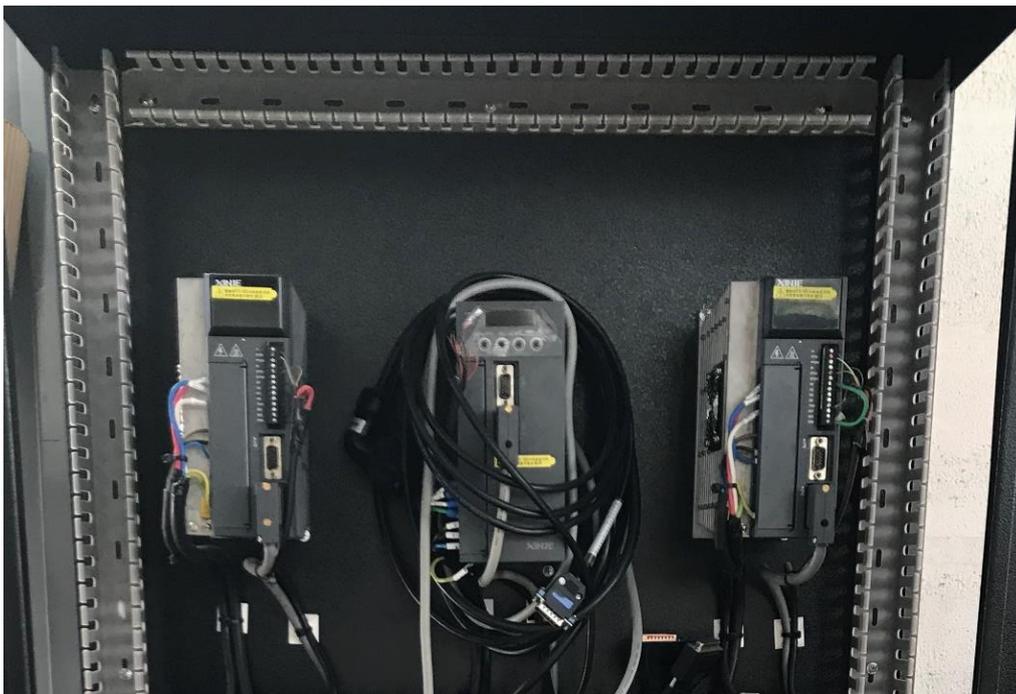


Figura 25 Servo-drives utilizados

Como se muestra en el diagrama de fuerza (Figura 5), en la implementación del nuevo tablero de control se incorporaron dos contactores; estos fueron elegidos de

alta gama de la marca Siemens, ya que ésta nos ofreció equipos con los valores más acertados y dimensiones perfectas para satisfacer nuestra necesidad, y con esto garantizar un eficiente enclavamiento del motor del punzón. El tiempo de entrega de esta adquisición fue de dos semanas, debido a que el proveedor que disponía de estos equipos se encontraba fuera de la ciudad. Estos contactores tienen por objetivo es establecer o interrumpir el paso de corriente en el circuito de mando, tan pronto se dé tensión a la bobina, estos pueden ser accionados de forma manual y a distancia; manteniendo la posición de encendido y apagado cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando.

Se realizó un estudio de cargas al tablero de control tomando en cuenta las electroválvulas, con el que se determinó que la fuente AC-DC que tenía el antiguo tablero de control estaba sobredimensionada, ya que esta tiene como función alimentar únicamente los sensores y actuadores de la punzonadora, y su capacidad era de 220V/ 7.5A de entrada y 24V/25A de salida de marca Mean Well, una marca reconocida, pero con precios muy elevados en el país. Ante esta situación para el nuevo tablero de control se consideró que para el amperaje teórico máximo que se tenía de 3,5A la mejor opción fue proceder a adquirir una fuente AC-DC de 220V/5A a 24V/5A con la que se obtendría el suficiente voltaje y amperaje para alimentar los elementos requeridos. Esta fuente es la encargada de alimentar los distintos actuadores que forman parte de la punzonadora CNC.

Con la instalación del CPU se adecuaron dos líneas de distribución para poder alimentarlo con una corriente eléctrica de 220V, con lo que se hizo necesario conseguir de la bodega de Sical un tomacorriente a 220VAC al igual que las borneras.

Los cinco relés utilizados para la activación del sistema fueron escogidos de la marca ABB, ya que contábamos con el beneficio de la experiencia de que eran de las mismas características de los utilizados en el antiguo tablero de control, además de ser una marca reconocida a nivel mundial con disponibilidad en el país.

En el caso de las Tarjetas de E/S y filtro, el controlador NCT-03 ya disponía de estas, por lo que no fue necesario adquirirlas con un proveedor. Es decir, al adquirir el controlador se obtuvieron dichas tarjetas y filtro. El CPU Intel nuc mini, con un procesador Intel celeron y la pantalla de marca AOC que se alimenta mediante un puerto USB, se obtuvieron mediante un proceso de procura internacional, con las características más idóneas para soportar los programas para el desarrollo de diseños de punzonados. De igual manera se agregó una bornera, para implementar un conjunto de bornes, cuya función es producir la conexión con el circuito eléctrico exterior al nuevo panel de control, estos se conectaron a través de terminales positivas (+) y negativas (-) a los cables de alimentación eléctrica.

Todos estos elementos fueron incorporados de forma ordenada y detallada en el armario de control, en la parte interna se ubicaron los breakers, servodrives, contactores, fuente, tarjetas E/S, filtros, relés y electroválvulas, y en la parte externa se instaló el controlador NCT-03 y la pantalla de la computadora. Cabe destacar que el tablero cuenta con un doble fondo, en el cual se ubican los rieles donde van los elementos.

4.2.1 Cableado y etiquetado

En las labores de instalación de los elementos del tablero uno de los aspectos más importantes que se corrigió del antiguo tablero de control es hecho de

desconocimiento del circuito que lo componía, ya que el mismo estaba en idioma Chino y no existía un manual detallado del mismo; ante este escenario se procedió a realizar una mejor distribución física, etiquetando cada cable que compone el sistema y la elaboración de un diagrama bien especificado para posteriores trabajos de actualizaciones, correcciones y mantenimiento.

Se utilizó cable número 12 para la parte de fuerza y número 18 para la parte de control, ambos de color negro. Existe también cable número 18 de color rojo y blanco, para 24 voltios y 0 voltios respectivamente, y cable verde para la tierra. El cableado se realizó con el tablero recostado horizontalmente y midiendo de manera precisa la distancia de cada circuito para luego proceder a cortar cada punta con terminales del tamaño adecuado.

La adquisición de los diferentes tipos de cable se obtuvo de la compra a proveedores externos y en algunos casos se contaba con cable de bodega. Las etiquetas elaboraron con una máquina inalámbrica especial, la cual consta de un rollo de cinta adhesiva flexible, en dicha máquina se debe ingresar el texto a imprimir escogiendo el tamaño, el tipo y estructura de etiquetado.

Al tener las etiquetas listas se adjuntaron en cada cable en ambos extremos, donde se indica el puerto de donde sale y el puerto a donde llega mencionando la nomenclatura de cada elemento. Estas se colocaron de manera que el texto se pueda leer de abajo hacia arriba, posterior al etiquetado se colocaron las conexiones entre los elementos que integran el tablero de control, transportando los cables por medio de canaletas colocadas de manera horizontal y vertical en el doble fondo del armario.

4.3 Configuración de dispositivos

Como hemos mencionado en el capítulo anterior, la información entre los controladores y el servidor se da por medio de pulsos, lo cual fue configurado de acuerdo a las especificaciones de cada controlador:

La configuración del controlador CNC NCT-03, se estableció utilizando pulsos eléctricos para establecer los parámetros de acciones para controlar todos los sistemas que integran la máquina punzonadora CNC Besco. Estos parámetros se encuentran detallados en el anexo B (Parámetros del controlador NCT-03)

El controlador XINJE, se configuró mediante los parámetros básicos disponibles a través de pulsos, los cuales detallamos en la Tabla 13 a continuación:

Tabla 13

Parámetros básicos

PARÁMETROS BÁSICOS		
PARÁMETRO	NOMBRE	REFERENCIA
P0-01	Selección del modo de control	,5-3-1
P2-00	Modo de comando de pulso	,5-3-2
P2-02	Relación de transmisión electrónica (numerador)	,5-3-3
P2-03	Relación de transmisión electrónica (denominador)	
P5-10	Servo ON señal / S-ON	,5-3-1

Para la configuración de parámetros adicionales, es decir, filtro de comando. Borrar pulso de error, posicionamiento final o cercanos y prohibir pulso se debe considerar la

Tabla 14 que cuenta con el indicador del parámetro que se debe ingresar, una definición concisa acerca del parámetro a configurar y la referencia que se puede configurar.

Tabla 14

Parámetros adicionales

OTROS PARÁMETROS DISPONIBLES			
Palabras clave	PARÁMETRO	NOMBRE	REFERENCIA
Filtro de comando	P2-01	Selección del filtro de comando de posición	5-3-4
Borrar el pulso de error	P5-24	Error de pulso claro	5-3-5
Posicionamiento final	P5-28	Salida de señal de finalización de posicionamiento / COIN	5-3-6
	P5-00	Ancho de posicionamiento final	
Posicionamiento cercano	P5-36	Posicionamiento cerca de la salida de señal / NEAR	5-3-7
	P5-04	Posicionamiento cerca del ancho de la señal	
Prohibir pulso	P5-22	Prohibición de impulso de comando / INHIBIR	5-3-8

De acuerdo a los parámetros establecidos por el sistema, en primer lugar, se seleccionó el modo de control reconociendo la posición con pulsos externos (parámetro P0-01), como se puede observar en la tabla 15:

Tabla 15*Parámetro P0-01*

PARÁMETRO	VALOR FIJADO	SENTIDO	MODIFICAR	EFICACIA
P0-01	6	control de posición (pulso externo)	servo off	inmediatamente
Función: controlar la posición mediante el comando de pulso externo				

Para seleccionar el modo de pulso se introdujo el parámetro P2-00 y una vez fijados sus respectivos valores y comandos se procedió a reiniciar el controlador, debido que para que se produzcan los cambios en el parámetro mostrado (Tabla 16) debe reiniciarse el sistema.

Tabla 16*Parámetro P2-00*

PARAMETRO	VALOR FIJADO	MODO DE COMANDO	MODO ADECUADO	MODIFICAR	EFICACIA
P2-00	0	CW, CCW mode	6,7	servo off	volver a encender
	2	pulse + dirección			

En el diagrama de comandos por pulso (Figura 26) podemos observar la explicación de los modos de comando con sus respectivas especificaciones eléctricas para las direcciones (adelante o reverso) y la frecuencia de los pulsos.

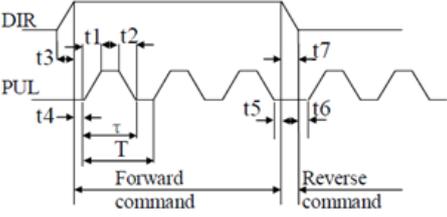
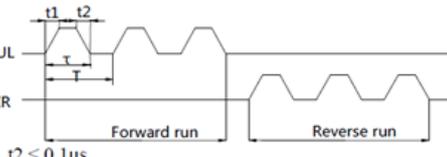
MODO DECOMANDO POR PULSO	ESPECIFICACIÓN ELÉCTRICA	OBSERVACIÓN
<p>Dirección + pulso (Señal DIR + PUL) Frecuencia máxima: La unidad de bus es de 500 kbps. El circuito abierto del transistor es 200 kbps.</p>	 <p>$t1, t2 \leq 0.1\mu s$ $t3, t7 \leq 0.1\mu s$ $t4, t5, t6 > 3\mu s$ $\tau \geq 2.5\mu s$ $(\tau/T) \times 100 = 40\% \sim 60\%$</p>	<p>Dirección (DIR) 1 = adelante mando 0 = reverso mando</p>
<p>CW, modo CCW Frecuencia máxima: La unidad de bus es de 500 kbps. El circuito abierto del transistor es 200 kbps.</p>	 <p>$t1, t2 \leq 0.1\mu s$ $\tau \geq 2.5\mu s$ $(\tau/T) \times 100 = 40\% \sim 60\%$</p>	<p>CW: PUL = pulsos DIR = 0 CCW: PUL = 0 DIR = pulsos</p>

Figura 26 Diagrama de comando por pulso

De acuerdo a los cálculos realizados en el capítulo anterior para la configuración del controlador XINJE se usaron los parámetros con el valor de:

$$\frac{N}{D} = \frac{400}{127}$$

4.4 Elementos de campo

Para la implementación de los instrumentos que forman parte de la máquina punzonadora se siguió un procedimiento que garantiza la seguridad del personal, de los equipos, facilidad para las tareas de mantenimiento y correcciones y ausencia de fallas. En primer lugar, se detuvo el paso de corriente eléctrica para realizar los trabajos de instalación de forma segura los siguientes instrumentos:

- Para controlar y modificar la programación de los circuitos de trabajo del sistema de control redundante de la punzonadora CNC Besco se verificó la

existencia y estado de cuatro fines de carrera eléctricos, los cuales se encuentran ubicados al final del recorrido de cada eje.

- Electroválvulas, la punzonadora cuenta con seis unidades controladas por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal, para controlar el paso de los fluidos por los conductos del sistema de lubricación y el sistema neumático de la máquina (Figura 27), para la activación de los actuadores pertenecientes a la punzonadora.
- Se posicionaron de mejor manera cuatro sensores inductivos con la finalidad de controlar el movimiento de la máquina punzonadora en todos sus ejes, de acuerdo a la información que emita el controlador para el trabajo requerido; además de facilitar la supervisión y control las condiciones que puedan afectar el trabajo de la máquina, tales como la temperatura.
- Se verificó el correcto funcionamiento de seis pistones que interactúan dentro del sistema del punzonado de la máquina cambiando el volumen y presión de los fluidos hidráulicos, para de esta forma convertir dichas modificaciones en el movimiento necesario para ejecutar el trabajo de punzonado.
- Para controlar la transmisión de la energía mecánica a su acción final de manera voluntaria se cuenta con un embrague de alta resistencia, rápido y seguro para transmitir la fuerza del motor a la máquina, produciendo el punzonado cada vez que el embrague entra en acción.
- Para hacer funcionar el sistema se dispuso de un motor (Figura 28) para transformar la cantidad de energía eléctrica necesaria en energía mecánica que le dé a la máquina la fuerza para ejecutar los trabajos de punzonado de forma eficiente.



Figura 27 Sistema neumático de la punzonadora BESCO CNC



Figura 28 Motor y torreta de la máquina punzonadora

4.5 Tablero de Control

El tablero de control es el corazón del sistema, ya que desde aquí se controlan todos los dispositivos de entrada y salida y se emiten todas las señales de mando. El nuevo tablero de control (Figura 29) para la máquina punzonadora CNC Besco fue construido para que su incorporación al sistema de la máquina fuera de una manera fácil y rápida.



Figura 29 Construcción del nuevo tablero de control

Para la elaboración del tablero de control se utilizaron planchas de acero de 1,9 mm de espesor, pintadas con pintura al horno cromada color negro.

Tabla 17

Material utilizado para la elaboración del nuevo tablero de control

Detalle	Material Utilizado	Cantidad (Und)	Dimensiones (Mts)	
			Alto	Ancho
Puerta y pared trasera	Plancha de acero de 1,9 mm de espesor	2	1,90	0,75
Paredes laterales	Plancha de acero de 1,9 mm de espesor	2	1,90	0,46
Pared superior e inferior	Plancha de acero de 1,9 mm de espesor	2	0,75	0,46

El tablero se alimenta con una corriente eléctrica de 220V, y brinda a la salida la alimentación necesaria para cada sistema de la máquina punzonadora. Se implementaron borneras desde las cuales se lleva el respectivo cableado para las correspondientes canaletas (Figura 30) y dispositivos de entrada y salida.



Figura 310 Conexiones del nuevo panel de control

La instalación del nuevo tablero de control se efectuó siguiendo el circuito eléctrico diseñado anteriormente en el capítulo III. Antes de realizar el ensamblado, se procedió a probar puntos de continuidad para determinar si el circuito se encontraba en correctas condiciones, pasando por todas las entradas analógicas de voltaje. Luego de tener el módulo central de control totalmente armado se procedió a comprobar cada una de las salidas, verificando niveles de voltaje (220VAC o 110VAC).

Una vez realizadas todas las pruebas respectivas se procedió a instalar el nuevo panel de control a la punzonadora. Es menester señalar que en la puerta del tablero será incorporada una computadora con su respectiva pantalla en la puerta del tablero para evitar pérdida de información y evitar el uso de dispositivos de almacenamiento externo para transportar los programas realizados en autocad; Esta computadora va a estar conectada directamente al controlador NCT-03 mediante un cable USB, lo cual permite el acceso directo a todos los archivos que se quieran ejecutar en la punzonadora, y de esta manera brindar mayor facilidad de uso, mejorar el funcionamiento y acortar tiempos. En la Figura 31 podemos observar el área de la puerta destinada para la instalación de la pantalla de la computadora.



Figura 11 Puerta del panel de Control

4.6 Ajustes de Parámetros

De acuerdo a las ocasiones cada función contiene los siguientes tipos de parámetros:

- Parámetros completos: contienen configuraciones básicas de operación y uso del controlador, que incluyen el eje principal, volante, home, revista de herramientas, entre otros.
- Parámetros de configuración IO: se utilizan principalmente para la instalación y prueba de la máquina, adaptándose a las características de interfaz de las herramientas y accionamiento del motor.
- Parámetros de configuración de coordenadas: son los encargados de la configuración de la herramienta en la interfaz [Coordenadas].
- Para ajustar la tabla de parámetros inicialmente se confirmó la identidad del usuario; ya que el controlador tiene dos niveles de autoridad de usuario, que son superusuario y operador; el superusuario puede modificar todos los parámetros y las contraseñas de los usuarios; mientras que el operador solo puede operar los parámetros que requieren modificación y modificar la contraseña del operador; el sistema ingresa al modo correspondiente automáticamente de acuerdo con la contraseña ingresada.

Luego se procedió a reiniciar los parámetros marcados e inmediatamente los parámetros empezaron a ejecutarse. Para los parámetros que establecen en el sistema binario (el descriptor de parámetro tiene un símbolo de bit)

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento fueron realizadas en dos etapas: pruebas en maqueta y pruebas en la Punzonadora CNC Besco. A continuación, se detallan estos procesos.

5.1 Pruebas de funcionamiento en maqueta

Antes de realizar todos los cambios propuestos para el diseño e implementación del control redundante a la máquina Punzonadora CNC BESCO, se realizó una maqueta mostrada en la Figura 32 Maqueta CNC para verificar el funcionamiento del nuevo sistema de control, a la cual se le realizaron diferentes pruebas, para posteriormente implementarlo en el nuevo.



Figura 32 Maqueta CNC

La maqueta utilizada para la primera fase de pruebas tiene las siguientes dimensiones: 2 metros por 1,60 metros (Figura 33) y consta de dos partes, el diseño

mecánico y el diseño eléctrico, para la parte mecánica fue desarrollado en conjunto con un tornero y la empresa Sical Ingeniería para que el error de rozamiento sea mínimo, por otro lado, el diseño eléctrico fue realizado por nosotros para la obtención de señales de los sensores incluyendo los motores para cada eje, se instalaron también fines de carrera (Figura 34) para cada eje y sensores inductivos para los límites de posicionamiento (posición cero).



Figura 33 Vista lateral de la maqueta

Las pruebas realizadas con la maqueta se dividen en tres fases con el objetivo de evaluar el funcionamiento de las distintas variables de interés.



Figura 34 Sensores finales de carrera en maqueta

5.1.1 Controlador y servodrives

La realización de la presente prueba responde a dos grandes objetivos. En primer lugar, se buscó verificar el adecuado funcionamiento de la conexión entre el controlador NCT-03 (Figura 35) y los servodrives, teniendo una conexión por cable desde la parte posterior del controlador (Figura 36) hacia el puerto Cn1 como se muestra en la Figura 37 (conexión detallada en el capítulo III, en configuración de parámetros del servodrive). Así como verificar la conexión entre los servodrives y servomotores, a través de la alimentación por las entradas U, V y W hacia el servomotor. El segundo objetivo fue comprobar el correcto funcionamiento mecánico de la maqueta, es decir, lograr un desplazamiento óptimo de los ejes X y Y, con la menor fricción posible para que la inercia obtenida no interfiera con el control eléctrico previamente realizado.

En esta prueba se usa el controlador NCT-03 en conjunto con los servodrives y servomotres montados sobre la maqueta. Adicionalmente, la prueba solo utiliza dos servodrives y sus respectivos servomotores, de los tres disponibles para la elaboración del tablero de control, lo cual se debe a que la maqueta únicamente contiene dos ejes (eje X y eje Y).



Figura 35 Controlador Principal NCT-03



Figura 36 Vista Trasera del Controlador

La conexión para esta prueba se realiza mediante los puertos Cn1 y Cn2 del servodrive a las respectivas entradas de los servomotores, donde se tiene el encoder y la alimentación 220V de la acometida eléctrica. Mientras que los puertos del controlador NCT-03 utilizados son XS1 (eje X), y SX2 (eje Y).



Figura 37 Vista Frontal Controlador Xinje

A través de esta prueba, se comprobó que la conexión funciona adecuadamente, ya que, al momento de manipular el controlador, los ejes en dirección X y Y, se movieron de forma correspondiente a los ordenado por el controlador. Es decir, cuando se envió la señal de pulsos en el controlador, mediante su teclado, los servodrives con sus respectivos servomotores respondieron satisfactoriamente a las indicaciones enviadas. Esto se comprueba cuando el desplazamiento en el eje X positivo fue el mismo que el indicado en la pantalla del controlador, obteniendo el mismo resultado con el eje X negativo, eje Y positivo y eje Y negativo. Adicionalmente, se comprobó que la conexión funciona adecuadamente al observar que el cambio de

dirección en que trabajan los servodrives y por ende los servomotores, respondió a los solicitado mediante los parámetros del controlador.

Adicional a la revisión del funcionamiento eléctrico de los elementos del sistema de control, se verificó el funcionamiento mecánico de la maqueta, a través de diferentes implementaciones, entre las cuales se pueden mencionar: a) lubricación adecuada del tornillo sinfín de cada eje y las varillas guía, para evitar que la viruta generada por la fricción producida por el desplazamiento altere la velocidad de trabajo, y b) acoples en los servomotores para que el giro producido por el servomotor logre el mismo efecto en el tornillo sinfín de cada eje, es decir, cuando el motor da dos vueltas en tornillo horario, el tornillo sinfín tendrá que realizar dos vueltas en este mismo sentido.

5.1.2 Controlador, servodrives y E/S digitales

Una vez verificada la parte mecánica, la conexión adecuada entre los servodrives, servomotores y controlador, se pasa a la etapa de verificación del funcionamiento de las entradas y salidas del controlador NCT-03, mediante el uso de las tarjetas XS5 y XS6, componentes que forman parte del controlador presentadas en la Figura 38



Figura 38 Modulo de Adquisición de Datos NCT

De esta forma, el objetivo de esta prueba responde a la necesidad de simular las entradas hacia el controlador, producidas por los sensores de la máquina Punzonadora CNC Besco. Esto con el fin de verificar que en el controlador se activen o desactiven las alertas y alarmas respectivas de cada señal simulada, mediante indicadores y alarmas.

Para las pruebas se utilizó la conexión eléctrica previamente descrita, además se incluyó la utilización de tarjetas E/S con su respectiva conexión al controlador. Cada una de las tarjetas E/S cuentan con un puerto DB25 (25 pines hembra), el cual se conecta con el controlador en el puerto XS5 o XS6 respectivamente, dependiendo si son entradas o salidas digitales. Es preciso mencionar que los pines de estas tarjetas se activan con una señal en bajo, es decir se usa lógica inversa, y la conexión se realizó mediante la fuente interna del controlador, misma que ofrece 24V y 0V, en función de si la necesidad de señal es en alto o en bajo. La conexión de los sensores de la maqueta (fines de carrera y sensor inductivo) se realizaron directamente a la bornera de distribución, ubicada en la parte inferior del tablero de control.

A través de la realización de estas pruebas se obtuvo señales alarma y alerta en el controlador únicamente con la activación o desactivación de las entradas y salidas digitales de las tarjetas. Además, mediante indicadores se pudo observar los sensores activados y desactivados en cada proceso, ya que el controlador cuenta con una HMI que muestra las señales que se encuentran activadas y desactivadas. Asimismo, mediante los diagramas de estos puertos realizados se pudo verificar que el funcionamiento de cada una de estas señales es el adecuado.

Un beneficio de estas pruebas es que mediante el uso de estas tarjetas no hizo falta la instalación física de los sensores como son fines de carrera o sensores inductivos para verificar el funcionamiento de los límites de cada eje.

5.1.3 Sistema de control

Una vez que el tablero de control estuvo equipado a su 95% (5% restante corresponde al CPU y pantalla) como se puede observar en la Figura 39, se realizaron pruebas para verificar el funcionamiento del sistema de control en su totalidad. Al contar con todos los elementos eléctricos (Figura 41) se realizó una prueba en tiempo real, al implementar fines de carrera y sensores inductivos en la maqueta, para determinar los límites positivos y negativos de cada eje y sus respectivas posiciones cero.



Figura 39 Vista Interior del Nuevo Tablero de Control



Figura 40 Vista Frontal del Actual Tablero de Control

En este sentido, las pruebas de esta etapa responden a la necesidad de simular el funcionamiento en conjunto de la máquina Punzonadora CNC Besco. Además, con estas pruebas se buscó importar el programa diseñado previamente en AutoCAD para ser ejecutado por el controlador, mediante la nueva computadora instalada en la puerta del tablero de control (Figura 40). En las etapas anteriores de pruebas, la verificación del desplazamiento y de las alarmas se realizaron manualmente, mientras que en esta etapa de pruebas se buscó realizar de manera automática, ya que al ejecutar el programa no hace falta dar pulsos de desplazamiento en el controlador, únicamente se simula el movimiento del eje Z (punzonado de la torreta) mediante un sensor inductivo.

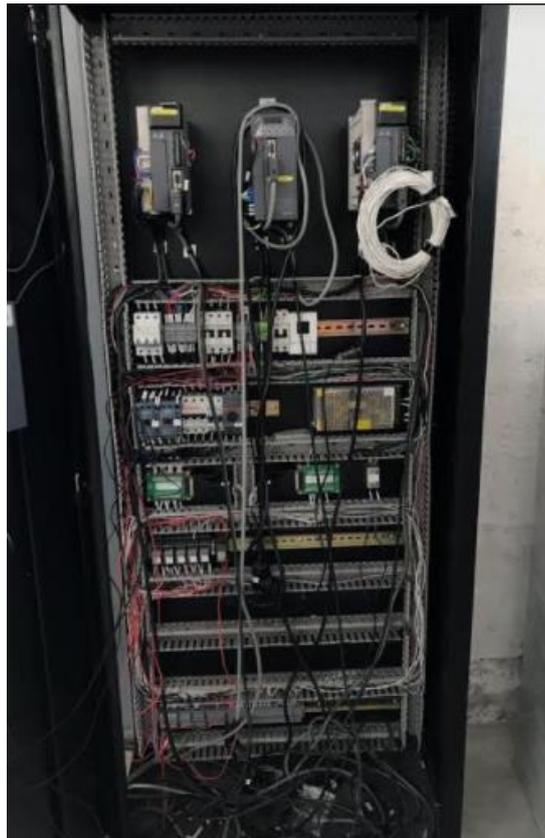


Figura 41 Vista Interior del Actual Tablero de Control

Adicionalmente, mediante los fines de carrera implementados en la maqueta se busca una activación y desactivación de forma autónoma, cuando la falla se produzca en la realidad.

Para estas pruebas se utilizó: el tablero de control que cuenta con el módulo de control NCT-03, la mini computadora (CPU y pantalla) empotrados en la puerta, todos los elementos eléctricos especificados en el diagrama eléctrico de fuerza, y los servomotores para cada eje, adecuados en la maqueta.

El tablero de control es alimentado con 220V mediante tres fases y tierra, lo cual es suministrado por el tablero de distribución principal de la empresa Sical Ingeniería. Todos los elementos eléctricos internos del tablero se encuentran conectados de la

forma que se detalla en el capítulo III tal como se evidencia en la Figura 42 (diseño del tablero de control). La conexión entre el controlador NCT-03 y el tablero de control se lo realiza mediante las entradas y salidas que se detallan a continuación en la Tabla 18:

Tabla 18

Entradas y Salidas del controlador

Entrada/Salida del controlador	Descripción
XS1	Eje X
XS2	Eje Y
XS5	Entradas digitales
XS6	Salidas digitales
USB	Conexión con CPU
Fuente DC	Alimentación del controlador

Adicionalmente se realizaron conexiones desde los servodrives hacia los servomotores en los puertos Cn1 y Cn 2 correspondientes. Las conexiones de los sensores se realizaron siguiendo el diagrama de distribución realizado en AutoCAD hacia la bornera de distribución del tablero de control.

Con el desarrollo de estas pruebas se evidenció que los programas realizados en AutoCAD para el diseño de punzonado se ejecutaron por el controlador de forma adecuada, sin la presentación de imprevistos, activándose las alarmas e indicadores en el momento preciso en que se presentaron inconvenientes en el programa.

Debido a la incorporación de pulsadores de control en la maqueta (marcha y paro) se logró realizar el control desde la botonera y mediante los indicadores (punzón

activado, programa en ejecución y fin de secuencia) se observó si el programa entraba en fallo o si la ejecución se daba de forma correcta.

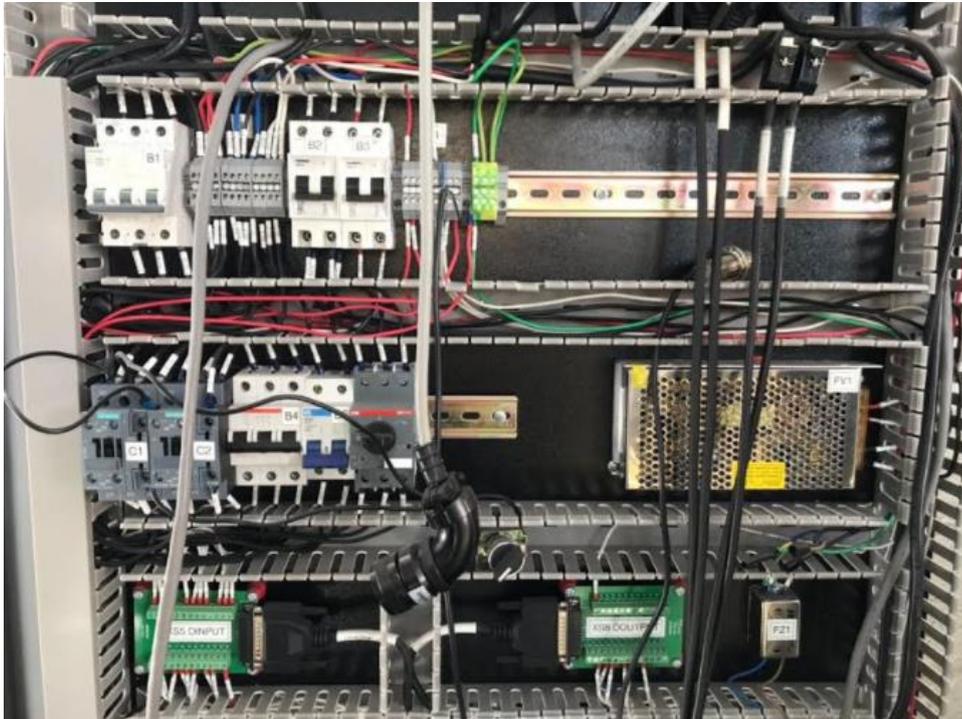


Figura 42 Elementos Eléctricos del Actual Tablero de Control

5.2 Pruebas de funcionamiento en la punzonadora CNC Besco

Una vez realizadas las pruebas en conjunto en el tablero de control y la maqueta, se procedió a realizar el montaje de los tres servomotores con sus respectivos cables de alimentación y encoder, mediante un cableado estructurado desde la bornera de distribución del tablero hacia los sensores y actuadores de la máquina Punzonadora CNC Besco (Figura 43).

Con todo el sistema de control montado y el nuevo tablero de control listo para el funcionamiento, se realizaron varias pruebas para verificar los parámetros de medición: repetibilidad, exactitud, velocidad, seguridad y manejo de desechos.

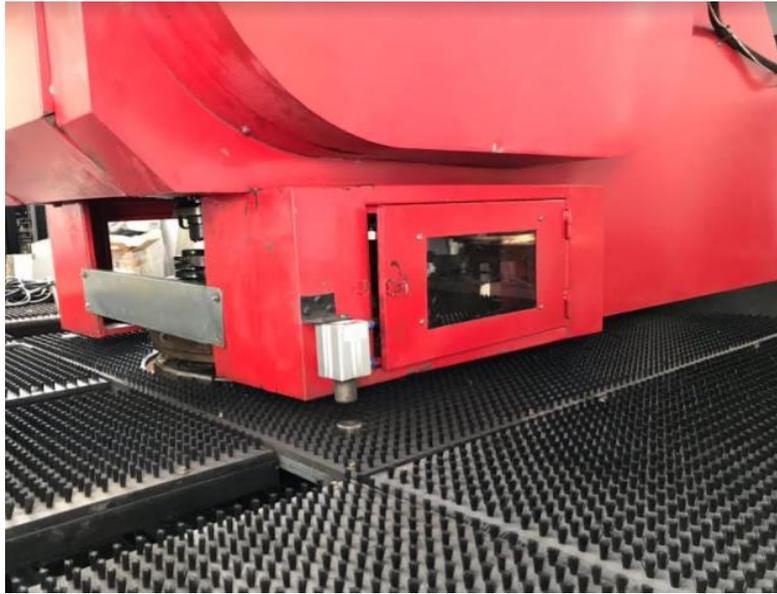


Figura 43 Vista Frontal Punzonadora CNC

5.2.1 Repetibilidad

Para evaluar este parámetro se realizó un diseño específico para una plancha metálica de 400mm de ancho, 600mm de largo y 0.7 mm de grosor, que constó de 60 punzonados para realizar la perforación de una circunferencia de diámetro 7cm. Esto se replicó de forma horizontal y vertical, obteniendo una malla de 2 por 3, como se indica en la Figura 44.

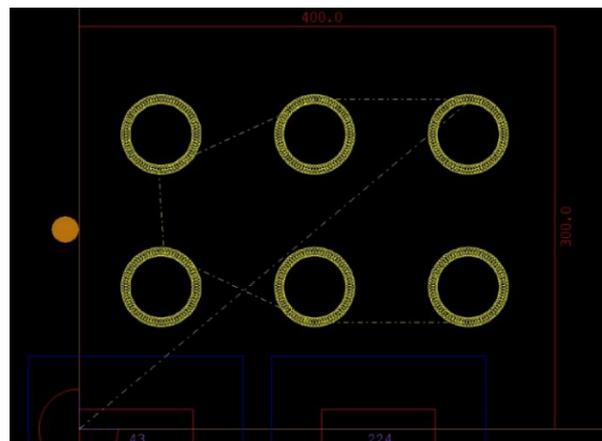


Figura 44 Diseño de punzonado para evaluar repetibilidad

Una vez realizadas las perforaciones, se obtuvieron las medidas desde el filo de cada lado de la plancha hacia una de las seis perforaciones. Se eligió la perforación número 6 de cada plancha para realizar las mediciones, ya que al ser la última perforación que realiza la máquina, es la más propensa a producir un desfase. En la Figura 45 se detalla la forma en que se realizaron las mediciones de cada plancha para cada prueba realizada.

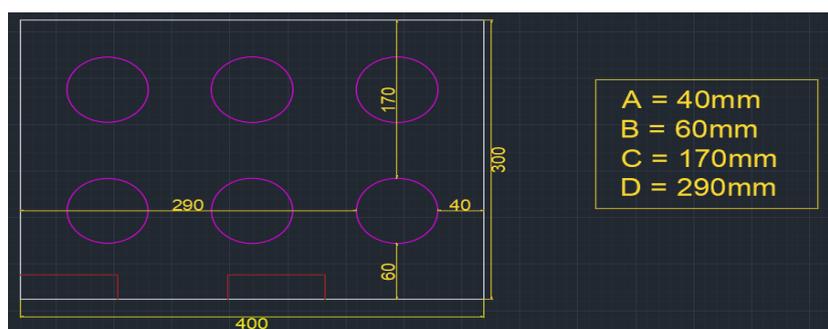


Figura 45 Mediciones tomadas para evaluar repetibilidad

Las medidas obtenidas (en centímetros) se detalla en la Tabla 19:

Tabla 19

Prueba 1: Repetibilidad

Plancha	Distancia A (cm)	Distancia B (cm)	Distancia C (cm)	Distancia D (cm)
1	4,10	5,90	17,15	29,10
2	4,10	5,90	17,10	29,20
3	4,10	5,91	17,12	29,10
4	4,08	5,85	17,16	29,15
5	4,11	5,90	17,15	29,00
6	4,10	5,88	17,15	29,12
7	4,11	5,90	17,20	29,15
8	4,10	5,91	17,10	29,10
9	4,13	5,90	17,15	29,20
10	4,10	5,91	17,10	29,10

A continuación, en la Tabla 20, se puede observar la variación porcentual de las medidas obtenidas en cada plancha, con respecto a la plancha número 1, que fue tomada como referencia.

Tabla 20

Prueba 1: Repetibilidad expresado en valores porcentuales

Porcentaje de error ¹				
Plancha	Distancia A	Distancia B	Distancia C	Distancia D
2	0,00%	0,00%	0,29%	-0,34%
3	0,00%	-0,17%	0,17%	0,00%
4	0,49%	0,85%	-0,06%	-0,17%
5	-0,24%	0,00%	0,00%	0,34%
6	0,00%	0,34%	0,00%	-0,07%
7	-0,24%	0,00%	-0,29%	-0,17%
8	0,00%	-0,17%	0,29%	0,00%
9	-0,73%	0,00%	0,00%	-0,34%
10	0,00%	-0,17%	0,29%	0,00%

De esta forma, se evidencia la repetibilidad, ya que el error máximo obtenido con respecto a la primera plancha fue de 0.49% en distancia A, 0.85% en distancia B, 0.29% en distancia C y 0.34% en distancia D.

5.2.2 Exactitud

Para medir la exactitud de la máquina se realizó el cálculo del error entre la orden solicitada desde software (diseño en AutoCAD) y la ejecución de la máquina por medio de los punzonados de la torreta.

¹ La tabla muestra porcentajes de error de cada plancha con respecto a las mediciones obtenidas en la plancha 1.

Se realizó un diseño para una plancha de 300mm de largo, por 200mm de ancho y 1.1mm de grosor, el cual incluyó dos perforaciones cuadrangulares de 80mm de lado (Figura 46).

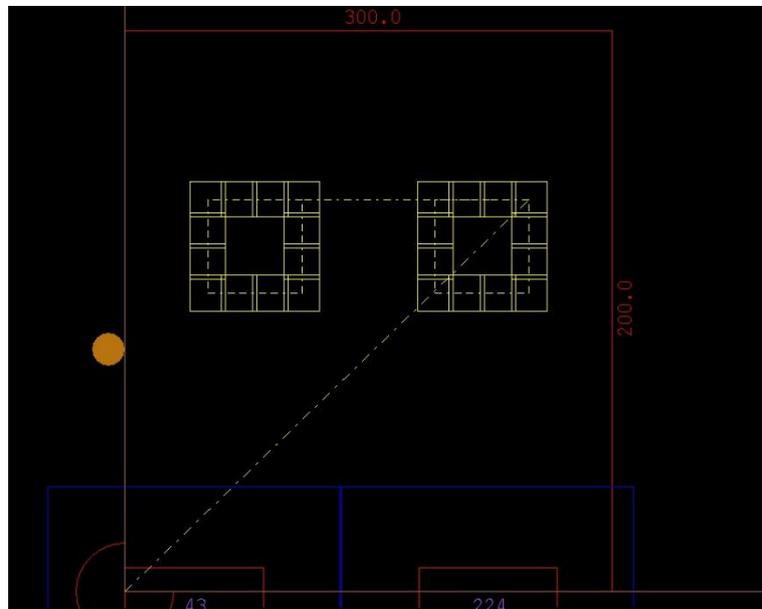


Figura 46 Diseño de punzonado para evaluar exactitud

Se tomaron tres medidas en cada plancha luego de las perforaciones realizadas, en la Figura 47 se detallan estas mediciones.

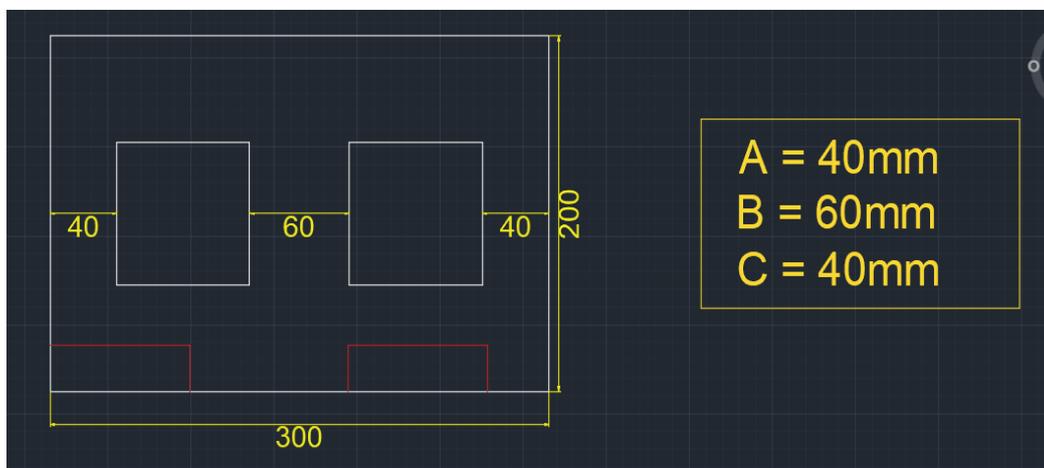


Figura 47 Mediciones tomadas para evaluar exactitud

Las medidas de referencia para evaluar este parámetro se definieron en el software de diseño, siendo los valores base: 4cm para la distancia A, 6cm para la distancia B y 4 cm para la distancia C. El diseño se ejecutó en la Punzonadora en una muestra de 10 planchas utilizadas en esta prueba. En la Tabla 21 se detalla las medidas obtenidas en cada una de las planchas:

Tabla 21
Prueba 2: Exactitud

Plancha	Distancia A (cm)	Distancia B (cm)	Distancia C (cm)
1	4,02	6,02	4,02
2	4,01	6,00	4,00
3	4,00	6,01	3,99
4	4,00	5,98	4,00
5	3,99	6,10	4,15
6	4,02	5,99	4,10
7	3,98	5,97	4,03
8	4,01	6,02	4,05
9	4,00	6,00	4,00
10	4,00	6,00	4,02

Para medir la exactitud de la máquina, se calculó el error producido en cada plancha con respecto a las medidas de referencia, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22*Prueba 2: Exactitud expresado en valores porcentuales*

Porcentaje de error			
Plancha	Distancia	Distancia	Distancia
	A	B	C
1	-0,50%	-0,33%	-0,50%
2	-0,25%	0,00%	0,00%
3	0,00%	-0,17%	0,25%
4	0,00%	0,33%	0,00%
5	0,25%	-1,67%	-3,75%
6	-0,50%	0,17%	-2,50%
7	0,50%	0,50%	-0,75%
8	-0,25%	-0,33%	-1,25%
9	0,00%	0,00%	0,00%
10	0,00%	0,00%	-0,50%

Se comprueba la exactitud de la máquina ya que el porcentaje de error obtenido fue mínimo, y la influencia de estas desviaciones a nivel industrial no es significativa, siendo el error máximo obtenido 0.50% en la distancia A, 0.50% en la distancia B y 0.25% en la distancia C.

5.2.3 Velocidad

Para desarrollar el parámetro de velocidad se realizó una prueba con todas las herramientas de la torreta y midiendo el tiempo que se demora en ejecutar todo el programa. Las mediciones de velocidad se realizaron en dos planchas de 900mm de

largo, por 400mm de ancho, 0.5mm y 0.9mm de grosor respectivamente. El diseño utilizado para evaluar este parámetro se muestra a continuación, en la Figura 48.

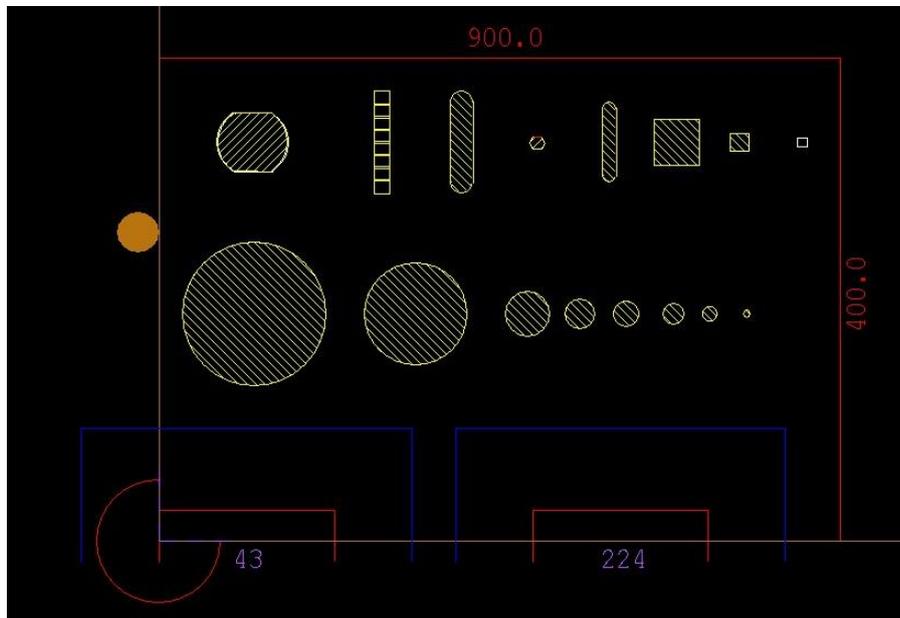


Figura 48 Diseño de punzonado para evaluar velocidad

La ejecución fue exitosa, ya que las planchas no se trabaron, no se presentaron errores, no se dieron dos punzones en el mismo sitio. La ejecución del programa tardó 42 segundos en la primera plancha y 46 segundos en la segunda plancha. Este corto tiempo de ejecución se debe a que mientras la torreta gira para cambiar de herramienta, la plancha es desplazada hacia la siguiente posición en la que se debe dar el punzón, razón por la cual el tiempo es optimizado, ya que los tiempos de desplazamiento de la plancha y cambio de herramienta trabajan de forma simultánea.

5.2.4 Eficacia

Este parámetro se midió a través de la evaluación de los resultados obtenidos, es decir, al verificar que la máquina cumpla con lo solicitado. Las pruebas para la medición de eficacia se realizaron ejecutando un diseño para 21 planchas metálicas

de 80cm de largo, 75cm de ancho y de tres diferentes grosores (Tabla 23): 0.5mm, 0.9mm y 1.4mm, esto con el objetivo de obtener resultados en diferentes escenarios.

Tabla 23

Prueba 4: Eficacia

Plancha	Grosor (mm)	Cumplimiento
1	0,5	100%
2	0,5	100%
3	0,5	100%
4	0,5	100%
5	0,5	100%
6	0,5	100%
7	0,5	100%
8	0,9	100%
9	0,9	100%
10	0,9	92.67%
11	0,9	100%
12	0,9	100%
13	0,9	100%
14	0,9	100%
15	1,4	100%
16	1,4	100%
17	1,4	100%
18	1,4	100%
19	1,4	100%
20	1,4	100%
21	1,4	100%

El diseño consistió en perforar toda la plancha con la misma herramienta obteniendo una estructura uniforme (Figura 49), a lo largo y ancho de la plancha.

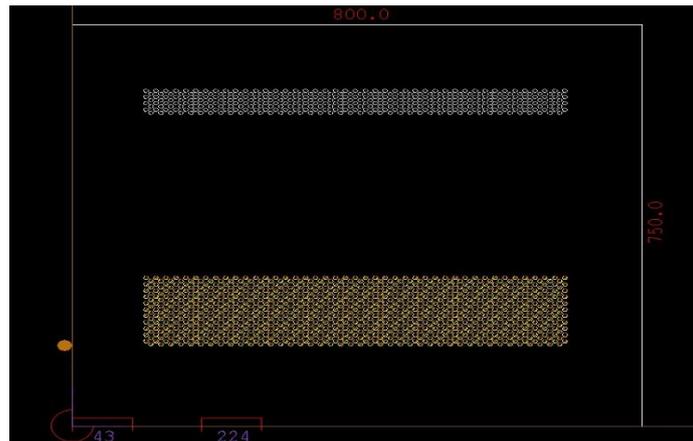


Figura 49 Diseño de punzonado para evaluar eficacia

5.3 Resultados comparativos

Cada una de las pruebas realizadas, descritas en la sección anterior, se realizaron tanto con el antiguo como con el nuevo sistema de control. De esta manera, se obtuvo mediciones que permiten realizar un análisis comparativo de las mejoras generadas en cada parámetro como consecuencia de la implementación del nuevo sistema de control. A continuación, se presenta este análisis de resultados a través de tablas y diagramas comparativos para cada parámetro evaluado en pruebas, en los cuales se hace referencia a las planchas metálicas con las que se trabajó con el antiguo y nuevo sistema de control.

5.3.1 Repetibilidad

En la primera prueba realizada se evaluó la repetibilidad que garantiza el sistema de control, para expresar este análisis en términos cuantitativos se realizó mediciones que permitieron calcular el error producido con el sistema de control antiguo y se los comparó con los datos del error producido con el sistema de control nuevo (Tabla 20).

Es decir, se realiza la comparación entre el porcentaje de error que se tuvo en la elaboración del diseño de cada plancha con el antiguo y actual sistema de control, a través del cálculo del promedio de error entre las cuatro distancias analizadas en estas pruebas. Estos resultados se muestran en la Tabla 24, en donde las columnas A y N hacen referencia a los resultados obtenidos con el sistema de control antiguo y actual respectivamente.

Tabla 24

Prueba 1: Resultados porcentuales de sistema de control antiguo y actual

Porcentaje de error ²		
Plancha	A	N
2	0,72%	0,16%
3	0,81%	0,09%
4	0,82%	0,39%
5	0,94%	0,15%
6	0,41%	0,10%
7	0,51%	0,18%
8	0,60%	0,12%
9	0,63%	0,27%
10	0,84%	0,12%

Los resultados presentados en la Tabla 24 evidencian que el porcentaje de error realizado con el actual sistema de control disminuye con relación al antiguo en todos los casos (desde la plancha 2 hasta la plancha 10). A continuación, se expresa gráficamente la mejora que se obtuvo con el diseño del nuevo sistema de control

² La tabla muestra porcentajes de error de cada plancha con respecto a las mediciones obtenidas en la plancha 1.

(Figura 50). Es preciso mencionar que los datos obtenidos para los dos sistemas de control (antiguo y actual) se los realizó en función de las medidas obtenidas en la plancha 1.

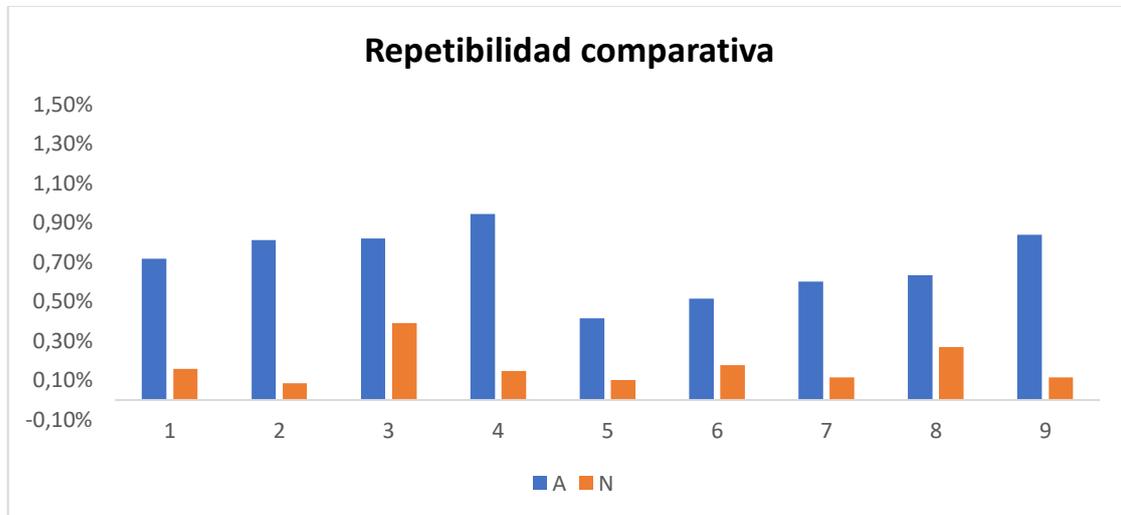


Figura 50 Repetibilidad Comparativa

5.3.2 Exactitud

En la segunda prueba, mediante una tabla comparativa del error porcentual entre el antiguo y actual sistema de control, se evaluó el porcentaje de exactitud que ofrece la máquina punzonadora CNC Besco. En base a las mediciones obtenidas con el nuevo sistema de control (datos adquiridos en la Tabla 21) se realizó una comparación con datos obtenidos bajo el mismo esquema con el sistema de control antiguo. El porcentaje de error se calculó como referencia de los valores solicitados por software en el diseño de la plancha, evaluando así el nivel de exactitud con cada sistema de control. A continuación, en la Tabla 25, se observa los resultados comparativos del porcentaje de error de cada plancha, tanto con el antiguo (A) como con el nuevo (N) sistema de control.

Tabla 25*Prueba 2: Resultados porcentuales de sistema de control antiguo y actual*

Porcentaje de error		
Plancha	A	N
1	1,45%	0,46%
2	1,75%	0,12%
3	1,31%	0,10%
4	1,55%	0,08%
5	2,08%	1,48%
6	2,29%	0,92%
7	1,25%	0,56%
8	1,95%	0,52%
9	0,22%	0,00%
10	1,17%	0,12%

Con los resultados porcentuales obtenidos se realizó el siguiente diagrama de barras, donde se compara el funcionamiento del antiguo sistema de control con el actual, se puede observar que el porcentaje de error baja considerablemente de un sistema a otro, llegando a valores del 0,12% de error en una plancha (Figura 51), lo que para un trabajo industrial es un porcentaje despreciable como error. Esto nos indica que la máquina trabaja con un alto nivel de exactitud teniendo como referencia la solicitud del diseño por medio de los programas realizados en Autocad y posteriormente convertidos en lenguaje G para la Punzonadora.

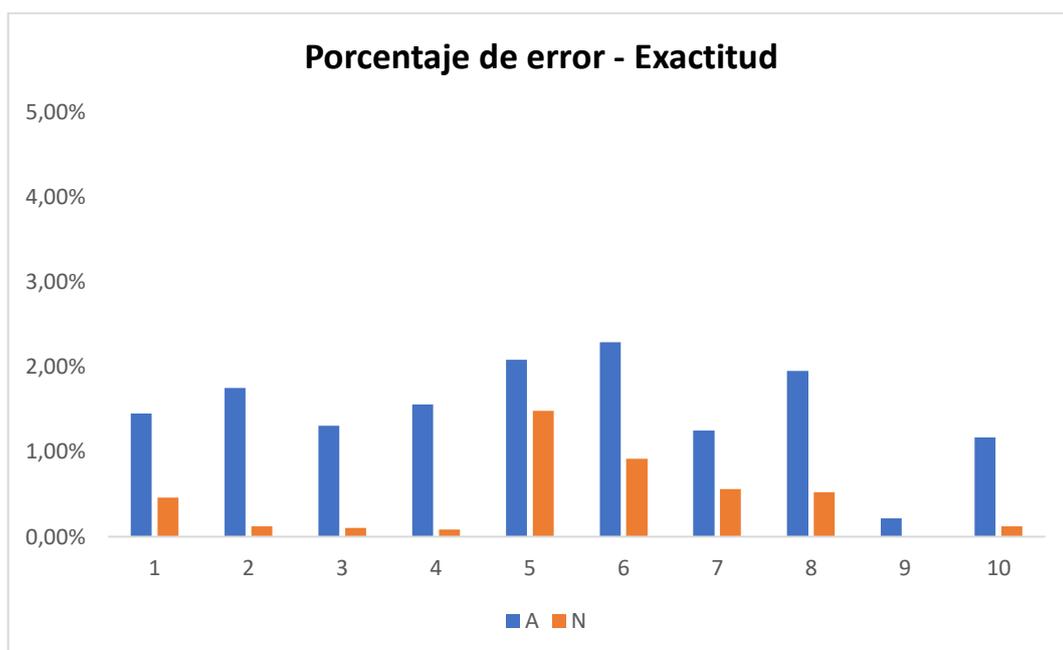


Figura 51 Porcentaje de error - Exactitud

5.3.3 Velocidad

Para determinar si existió una mejora de velocidad, o un recorte de tiempo en la ejecución de cada programa, se realizaron cuatro pruebas, dos con planchas de 0,5mm y dos con planchas de 0,9mm. Se evaluó el tiempo empleado con el antiguo (A) y nuevo (N) sistema de control que se toma en elaborar el mismo diseño para las cuatro planchas, los resultados se detallan en la Tabla 26, a continuación:

Tabla 26

Prueba 3: Resultados de tiempo de ejecución de sistema de control antiguo y actual

Tiempo empleado (segundos)		
Grosor plancha (mm)	A	N
0,5	73	42
0,9	59	46

En el siguiente diagrama lineal se observa el tiempo de ejecución de cada plancha, en color azul se observa el comportamiento de las planchas de 0,5mm de grosor, punzonadas con el antiguo y actual sistema de control, Mientras que en color naranja se observa el comportamiento de las planchas de 0,9mm de grosor. En los dos casos, se evidencia una disminución en el tiempo empleado al pasar del antiguo al nuevo sistema de control (Figura 52). Es decir, existe una disminución de 21 segundos en el tiempo de ejecución en las planchas de 0,5mm y una disminución de 13 segundos en el tiempo de ejecución de las planchas de 0,9mm.

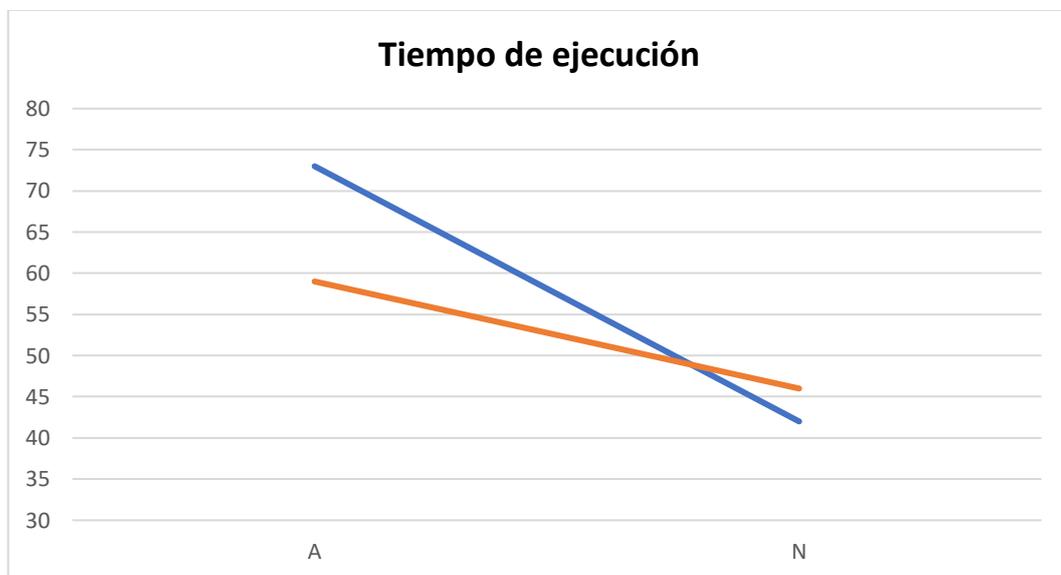


Figura 52 Tiempo de ejecución

5.3.4 Eficacia

En base al análisis de resultados con respecto a la eficacia que presenta la máquina Punzonadora CNC Besco, mediante la cuarta prueba, se pudo concluir que, de un total de 21 planchas metálicas trabajadas, únicamente una plancha (plancha 10) presentó defectos al no cumplir con los requerimientos establecidos en el diseño, es decir el 95,24% se ejecutó con éxito con el diseño requerido, y el 4,76% registró fallas

de diseño. En el siguiente gráfico (Figura 53) se puede observar la distribución porcentual de éxito versus el error.

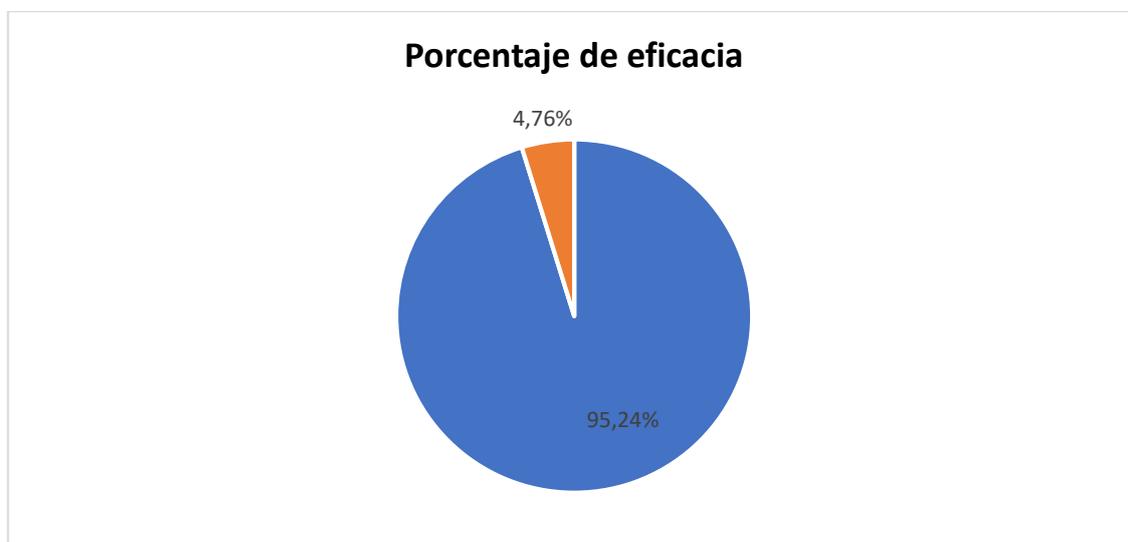


Figura 53 Porcentaje de eficacia

Sin embargo, es preciso señalar que la plancha que presentó falla alcanzó un 92.67% de eficacia (Figura 54), ya que, del total de 150 perforaciones solicitadas, se realizaron de manera adecuada 139, presentando falla las 11 perforaciones restantes debido a un desplazamiento involuntario de la plancha número 10.

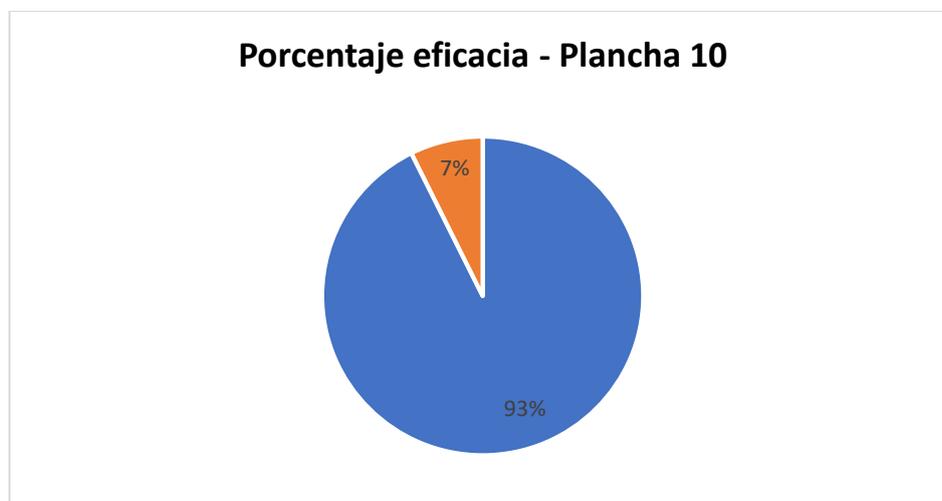


Figura 54 Plancha errónea (#10)

Al analizar la eficacia en función del grosor de la plancha, se obtuvo que el total de planchas de grosor 0.5mm mostraron una eficacia del 100%, asimismo, el total de planchas elaboradas con grosor 1.4 mm mostraron eficacia del 100%. Sin embargo, de las 7 planchas de grosor 0.9mm, una presentó falla, por lo que la eficacia del grupo correspondiente a este grosor alcanza el 85.71% de eficacia.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación de un nuevo sistema de control para la máquina Punzonadora CNC Besco con equipos disponibles en el mercado local fue posible. Es decir, los equipos utilizados son de fácil acceso en el país, a través de proveedores nacionales, lo cual permite tener información detallada de funcionamiento y configuraciones, este es el caso de los equipos Xinje distribuidos por TechDesign, de los cuales es posible encontrar información ampliada en la página oficial. Asimismo, existe respaldo en la cantidad de información disponible de los equipos utilizados para la parte eléctrica y de mando, al corresponder a marcas comerciales bien posicionadas en el mercado (Siemens, ABB y WEG). Adicionalmente, los equipos disponibles en el mercado ecuatoriano cuentan con dos ventajas importantes: (a) son de manejable configuración, y (b) pueden no requerir un software adicional para su configuración, este es el caso de la serie de ServoDrives DS2.

La comprobación del adecuado funcionamiento de todos los elementos instalados en el tablero de control se realizó en base a pruebas con la maqueta de la máquina. Proceso en el cual, la realización de configuraciones previas en los controladores fue clave, debido a la ayuda del mecanismo de desplazamiento de ejes sobre un tornillo sin fin para dar lugar a las pruebas realizadas sobre la maqueta. En este sentido, la realización del cálculo para el desplazamiento sobre el tornillo sin fin de la maqueta, y la comparación con el sistema de desplazamiento de los ejes de la punzonadora CNC permitió llegar a los valores requeridos para un desplazamiento exacto en la máquina.

Para la comunicación entre el controlador y el CPU, se desarrolló el protocolo de comunicación, el cual opera con el estándar USB, permite la ejecución de código G, y permite visualizar la posición de movimiento en tiempo real directamente en el MHI del controlador. Esta comunicación se la realiza mediante el almacenamiento interno del controlador NCT-03, al cual se accede desde el computador conectado mediante un cable USB 2.0 Tipo A – Tipo B.

Con el diseño y la implementación del nuevo tablero de control se logró mejorar la confiabilidad de los operadores, debido a dos factores: (a) poseer más información del funcionamiento detallado de los controladores y de todos los elementos eléctricos y de campo, y (b) contar con cableado estructurado que eliminó la presencia de cables y elementos sin nombres o etiquetas, permitiendo así, identificar directamente desde el tablero los terminales que están siendo conectados por cada cable.

Se determinó que la tolerancia de perforación es de hasta 1.4mm, ya que en la etapa de pruebas este fue el grosor máximo al que la máquina Punzonadora trabajó de forma eficiente. Esto se evidenció ya que las pruebas realizadas con planchas de mayor grosor presentaron problemas, en ocasiones produciendo daño tanto como para el material a perforar como para los sensores y actuadores de la máquina Punzonadora CNC Besco. De esta forma, se determinó que los punzones disponibles actualmente en Sical Ingeniería son útiles para planchas de hasta 1.4mm de espesor, por lo tanto, en caso de que se requiera realizar trabajos con planchas de mayor grosor será necesario adquirir punzones de mayor tolerancia al grosor.

Antes de realizar el nuevo diseño de sistema de control para la máquina Punzonadora CNC Besco, la Punzonadora no brindaba la confianza necesaria para realizar trabajos en serie industriales demandados por la empresa Sical Ingeniería, es por esto que, en el lapso de tiempo en el cual los trabajos se tenían que realizar mediante máquinas netamente mecánicas operadas manualmente, existían varios aspectos negativos que se logró corregir tras la implementación del actual sistema de control. Se identifican cinco variables que mostraron mejoría al dar lugar al uso frecuente de la máquina punzonadora: precisión, seguridad laboral, reducción de residuos, reducción de la intervención del trabajador y ejecución de procesos complejos.

En primer lugar, se produjo una mejora en la precisión debido a que la máquina Punzonadora CNC Besco funciona a partir de programas diseñados en un computador, mediante software y programas de ordenador integrado, ofrece mayor precisión en comparación con las máquinas mecánicas operadas manualmente por trabajadores de la empresa. Adicionalmente, los procesos se terminan en menor tiempo y se disminuye el número de errores, lo que resulta en una mejora global de la productividad. Esta mejoría se debe en gran medida a que el software que hace parte de la máquina Punzonadora CNC Besco integra CAD (Computer Aided Design) y las operaciones CAM (Computer Aided Manufacturing), que son capaces de realizar un mismo proceso miles de veces con el mismo nivel de perfección.

En segundo lugar, al permitir la disponibilidad de la máquina se logró mejorar en términos de seguridad laboral, ya que los programas en la Punzonadora CNC se ejecutan a través un diseño realizado en AutoCad, por lo que los trabajadores

u operarios técnicos de la empresa no están en contacto directo ni expuestos a las herramientas de corte, ya que la máquina tiene un sistema autónomo de ejecución, donde únicamente hace falta colocar las planchas metálicas en las distancias indicadas por el controlador e iniciar el proceso. Esto significa que los trabajadores están exentos de peligro y seguros en sus espacios de trabajo.

Tercero, la reducción de residuos es posible ya que la máquina CNC Besco permite reducir los desperdicios de metal de las planchas, ya que al ejecutar cada diseño el porcentaje de error es mínimo, como se pudo observar en las pruebas de funcionamiento realizadas, por ende, las planchas metálicas desechadas por errores producidos en ejecución responden a errores mecánicos o de un uso incorrecto de las herramientas y punzones.

Cuarto, se logra reducir la intervención del trabajador, ya que con el uso frecuente para trabajos en serie mediante la máquina Punzonadora CNC Besco, la empresa puede realizar las operaciones más complejas en pocos minutos sin la intervención constante de un operador de máquina o un ingeniero, ya que una vez que se inicia la secuencia del programa se la puede dejar trabajar de forma autónoma como norma general, siendo ocasional la necesidad de reemplazar las herramientas de punzonado y las planchas metálicas. Este aspecto es positivo desde el punto de vista de rentabilidad para la empresa, ya que se reduce considerablemente los costos de incorporación, capacitación y formación de operadores de máquinas, asimismo, se reduce los errores humanos y accidentes que ocurren en los procesos manuales.

Finalmente, se mejora en ejecución de procesos complejos ya que la máquina CNC puede ejecutar procesos complejos que requerirían grandes esfuerzos y

tiempo en el caso de realizarse a mano. Es decir, mediante la elaboración del diseño en software, únicamente se debe configurar la distancia a la cual se sujetará la plancha por medio de las dos tenazas disponibles de la punzonadora, permitiendo así una ejecución de procesos sin interrupciones o fallos.

Las cinco variables analizadas muestran la gama de ventajas de la disponibilidad de la máquina CNC, debido a la implementación del nuevo sistema de control, que dan lugar a que los trabajos que se realicen en la empresa Sical Ingeniería puedan ser más eficientes, obtener resultados en menor tiempo, con alta calidad, fiabilidad y garantía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atlantic International University. (s.f.). Actuadores. Obtenido de <http://cursos.aiu.edu/sistemas%20hidraulicas%20y%20neumaticos/pdf/tema%204.pdf>
- Cosmocax. (2014). ¿Qué es el CNC? o Control Numérico por Computadora. Obtenido de <https://cadcamcae.wordpress.com/el-autor/>
- Cruz, O., Guerra, E., Herrera, R., & Meza, N. (2014). *Diseño y Construcción de una Fresadora con Control Numérico por Computadora para Uso Didáctico*. Tesis de grado, Universidad de El Salvador, El Salvador.
- De Máquinas y Herramientas. (s.f.). *Introducción a la Tecnología CNC*.
- Díaz, F. (2008). *Programación automática de máquinas CNC*. Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, Laboratorio de Tecnología de Materiales, México D.F.
- Esteves, A. (2003). *Evolución de los procesos de corte y deformación de Chapa*. Interempresas. Obtenido de <http://www.interempresas.net/Deformacion-y-chapa/Articulos/8647-Evolucion-de-los-procesos-de-corte-y-deformacion-de-chapa.html>
- García, I., Lagos, J., Urrego, L., & Delgado, P. (2009). *Diseño e Implementación de un Control CNC para crear Modelos y Esculturas en Tercera Dimensión a partir de CAM*. Tesis de grado, Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería, Bogotá.

- Instituto Técnico Industrial Francisco José de Caldas. (s.f.). *OVA Partes de la Máquina CNC*. Recuperado el 10 de octubre de 2018, de <https://mecanitindustrial1.jimdo.com/partes-de-las-maquinas-cnc/>
- Jimenez, R. (2003). *Control numérico por computadora*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Recuperado el 15 de octubre de 2017, de <http://materias.fi.uba.ar/7565/U4-control-numerico-por-computadora.pdf>
- Maquiclick. (2016). *Las máquinas punzonadoras ¿Que són y cómo funcionan?* Recuperado el 8 de octubre de 2017, de <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/las-maquinas-punzonadoras-funcionan/>
- Mecafenix. (2017). *Fuentes de alimentación: tipos y partes*. Obtenido de <http://www.ingmecafenix.com/electronica/fuente-de-alimentacion/>
- Peters, J. (2013). *Introducción al control numérico computarizado (CNC)*. CASIOPEA, Colombia. Recuperado el 7 de octubre de 2017, de [http://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_\(CNC\)](http://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_(CNC))
- Ramos, M., & Salinas, D. (2007). *Computer Integrated Manufacturing (CIM)*. Universidad del Bío Bío, Facultad de Ingeniería, Santiago de Chile.
- Sánchez - Valverde, R., & Pérez, G. (2012). *Manual de uso de una Máquina Punzonadora*. Tesis de grado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Pamplona, España.
- Santillán, L. (2015). *Diseño de una máquina fresadora - barrenadora CNC*. Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Universidad del País Vasco. (s.f.). *Control numérico para Máquinas - Herramienta.*

Módulo III: Mecanizado por arranque de Viruta, Vizcaya, España. Recuperado

el 12 de octubre de 2017, de

http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/737_ca.pdf

Ventura, V. (2014). *Qué es G - Code.* Artículo de opinión, Polaridad.es. Recuperado

el 20 de octubre de 2017, de <https://polaridad.es/que-es-g-code/>

Vigliano, M. (2005). *Control numérico computarizado en Mecanizado.* Monografía tecnológica, Buenos Aires.

Zapata, C. (2015). *El Sistema CAD: Una herramienta fundamental en los procesos de diseño.* Tesis de grado, Universidad de Palermo, Facultad de Diseño y Comunicación, Buenos Aires.

Beas, J. P. (2017). Redundancia en Sistemas de Control. *Electro Industria*, 4.

De Mayo, F. (Marzo de 2017). Gerente General de Tecno Control. *Asociación Chilena de Control Automático*, 8.

Polo, J. (Mayo de 2017). *Gerente General de Yokogawa Chile.* Obtenido de Editora Microbyte Ltda: www.emb.cl