



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE SERIGRAFIADO
EN CERÁMICA ESMALTADA PARA LA EMPRESA EDESA
S.A”**

AUTOR: ANCHALUISA SILVA, CHRISTIAN GUILLERMO

DIRECTOR: ING. ARLA ODIO, SANDRA

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "*DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE SERIGRAFIADO EN CERÁMICA ESMALTADA PARA LA EMPRESA EDESA S.A*" realizado por el señor *CHRISTIAN GUILLERMO ANCHALUISA SILVA*, 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 *CHRISTIAN GUILLERMO ANCHALUISA SILVA* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 18 de Julio del 2016

ING. SANDRA ARLA ODIO
DIRECTORA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CHRISTIAN GUILLERMO ANCHALUISA SILVA**, con cédula de identidad N° 171834420-1, declaro que este trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE SERIGRAFIADO EN CERÁMICA ESMALTADA PARA LA EMPRESA EDESA S.A**" 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 declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 18 de Julio del 2016

CHRISTIAN GUILLERMO ANCHALUISA SILVA
C.C 171834420-1



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **CHRISTIAN GUILLERMO ANCHALUISA SILVA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE SERIGRAFIADO EN CERÁMICA ESMALTADA PARA LA EMPRESA EDESA S.A" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 18 de Julio del 2016


CHRISTIAN GUILLERMO ANCHALUISA SILVA
C.C. 171834420-1

DEDICATORIA

El proyecto que se presenta a continuación se lo dedico a mi Dios, por haberme dado una vida tan bonita, por hacerme sentir amado cada día, por darme fortaleza, la familia que tengo y por ser el mejor de los psicólogos, el hacedor de milagros.

A mi madre, por su amor, apoyo y paciencia, por ser la motivación y ejemplo para vencer las dificultades, por ser, además de madre, mi mejor amiga.

A mi padre, por el ejemplo de trabajo que siempre me ha demostrado, por su apoyo en cualquier decisión que tome, y por el esfuerzo que hizo para darme esta educación, Dios te pague papi por ayudarme a lograr este sueño.

A mi hermana Darling, por ser mi luz, mi felicidad reunida en una sola persona, te amo hija.

A mi futura esposa, Michele, por haberme apoyado, amado, cuidado e impulsado a terminar este proyecto, esto recién empieza princesa, nos esperan muchos sueños por cumplir.

CHRISTIAN GUILLERMO ANCHALUISA SILVA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su gracia hacia mí, por enseñarme su palabra, y aprender a escucharla, por llenarme de tantas innumerables bendiciones en el transcurso de toda mi vida.

A mi familia, mi madre, padre, hermanas Darling y Kary, Iván, Marthina, Cesitar, por su apoyo e interés que le ponen a mi vida por cuidarme y brindarme tanto cariño, por ser la motivación por la que cumplo este sueño.

A mi futura esposa, Michele, este título también es tuyo corazón, de la mano de Dios llegaremos muy lejos.

A mis amigos, Carlos, Sebastián, Luis U, Leonardo, gracias por su apoyo a lo largo de esta hermosa experiencia, en especial a ti Marcela, eres una gran amiga, tu corazón es gigante, y a ti Lucho Marcillo, mi amigo incondicional.

A mi hermano de otros padres, Carlos Esteban, simplemente gracias, gente como tú, hay poca en este mundo.

A mi directora de tesis, Inge, gracias por la paciencia, el apoyo, y más que nada, por los conocimientos impartidos.

CHRISTIAN GUILLERMO ANCHALUISA SILVA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO I	1
PREÁMBULO	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.1 GENERALIDADES.....	2
1.1.2 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
1.2 DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	4
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO	5
1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	6
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	6
CAPÍTULO II	9
REQUISITOS Y RESTRICCIONES DE LA MÁQUINA.....	9
2.1 DETERMINACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE LA MÁQUINA	9
2.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	10
2.2.1 ANÁLISIS QFD	10
2.2.1.1 Introducción análisis QFD	10
2.2.1.2 Pasos para el análisis	10
2.2.2 DEFINICIÓN DE REQUISITOS DEL CLIENTE.....	11

2.2.3	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	12
2.2.4	MATRIZ QFD.....	13
2.3	CONCLUSIONES DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	17
2.3.1	BOSQUEJO INICIAL DE LA MÁQUINA DE SERIGRAFIADO	18
CAPÍTULO III		20
DISEÑO DE LOS SISTEMAS DEL EQUIPO.....		20
3.1	PARÁMETROS DE DISEÑO	20
3.2	TRANSMISIÓN DE POTENCIA	21
3.2.1	MOTOR PASO A PASO	21
3.3	MOVIMIENTO LINEAL EJE X, Y, Z.....	22
3.3.1	TORNILLO SIN FIN.....	22
3.4	MATRIZ MORFOLÓGICA	23
3.4.1	DISEÑO MECÁNICO	23
3.4.1.1	Selección Del Material Del Tornillo.....	23
3.4.2	CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO.....	23
3.4.3	ANÁLISIS DE COLUMNA DEL TORNILLO Y.....	25
3.4.4	CÁLCULO DE CARGAS ESTÁTICAS DEL TORNILLO Y	30
3.4.5	ANÁLISIS DE FUERZAS EN EL EJE Y	31
3.4.6	ANÁLISIS DE MOMENTOS A LO LARGO DEL EJE X.....	32
3.4.7	ANÁLISIS DE MOMENTOS A LO LARGO DEL EJE Z.....	33
3.4.8	ANÁLISIS DE ESFUERZOS GENERADOS POR LAS CARGAS ESTÁTICAS	33
3.4.8.1	Esfuerzo de compresión de la barra	33
3.4.8.2	Esfuerzo real	35
3.4.9	ANÁLISIS DE ESFUERZO DE FLEXIÓN DEL EJE ALREDEDOR DEL EJE DE COORDENADAS X.....	36
3.4.10	ANÁLISIS DE ESFUERZO DE TORSIÓN GENERADO EN LA BARRA DEBIDO AL TORQUE GENERADO POR EL MOTOR A LO LARGO DEL EJE Z.	36
3.4.11	ESFUERZOS PRINCIPALES	37
3.4.12	TEORÍA DEL ESFUERZO NORMAL MÁXIMO	39
3.4.13	TEORÍA DEL ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO.....	39
3.4.14	ANÁLISIS DE FATIGA PARA EL TORNILLO Y.....	40
3.4.15	CÁLCULO DE CARGAS ESTÁTICAS DEL TORNILLO X	43

3.4.15.1	Análisis de fuerzas en el eje X.....	43
3.4.15.2	Análisis de momentos a lo largo del eje X.....	43
3.4.16	ANÁLISIS A LO LARGO DEL EJE Z.....	47
3.4.16.1	Análisis de esfuerzos.....	47
CAPÍTULO 4	50
DISEÑO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO	50
4 CONTROL DE MOTORES	50
4.1.1	ARDUINO.....	51
4.1.1.1	Arduino Mega.....	52
4.1.2	SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.....	56
4.1.2.1	Comunicación Serial.....	56
4.1.3	MOTORES A PASOS.....	58
4.1.3.1	Datos del sistema de movimiento.....	59
4.1.4	CONTROLADOR PARA LOS TRES MOTORES A PASOS.....	59
4.1.5	IMPLEMENTACIÓN DE MOTORES A PASOS.....	63
4.1.5.1	Conexión del motor a pasos NEMA 23 a su controlador (driver).....	63
4.1.6	IMPLEMENTACIÓN DEL ACTUADOR PARA EL SISTEMA DE MARCACIÓN.....	64
4.1.7	IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE MARCACIÓN.....	65
4.1.7.1	Pantalla Serigráfica.....	65
4.1.7.2	Marco de Serigrafía.....	67
4.1.7.3	Tinta Serigráfica.....	67
4.1.7.4	Sistema de barrido.....	68
4.1.7.5	Sistema de Ingreso de tinta.....	69
4.1.8	MÉTODO DE CONTROL.....	69
4.1.9	PROGRAMA DE CONTROL.....	69
4.1.10	VISUALIZACIÓN EN LCD.....	72
4.1.11	CIRCUITO FINAL.....	78
4.1.12	CAJA ELECTRÓNICA DE CONTROL.....	84
4.1.12.1	Explicación de botones de control.....	84
CAPÍTULO 5	86

MONTAJE, PRUEBAS Y RESULTADOS	86
5.1 OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO	86
CAPÍTULO 6	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
6.1 CONCLUSIONES	94
6.2 RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	95

Índice de Figuras

Figura 1. Serigrafiado de tanques TOTO.....	1
Figura 2. Herramientas Serigráficas	2
Figura 3 Esquema básico de un robot cartesiano	8
Figura 4. Valoración.....	14
Figura 5. Matriz QFD del sistema modular Mecatrónico.....	15
Figura 6. Pre-diseño de máquina de serigrafiado automatizada.	18
Figura 7. Ejemplo de Motor Paso a Paso	21
Figura 8. Ejemplo de Tornillo sin Fin	22
Figura 9. Condiciones de los extremos de una columna	26
Figura 10. Cálculo de columna de Euler.....	28
Figura 11. Diagrama de cuerpo libre de los elementos del eje Z.....	30
Figura 12. Esfuerzos aplicados en eje Y	32
Figura 13. Fibra de estudio de carga estática para el tornillo Y	38
Figura 14 Círculo de Mohr	39
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre de los elementos del eje X	44
Figura 16. Diagrama de fuerzas de los elementos del eje X	45

Figura 17. Diagrama de momentos de los elementos del eje X	45
Figura 18 Diagramas en el punto final del eje X	47
Figura 19 Diagrama de cuerpo libre de los elementos del eje Z.....	48
Figura 20 Diagrama de fuerzas de los elementos del eje Z.....	48
Figura 21 Diagrama de momentos de los elementos del eje Z.....	48
Figura 22. Temperatura Ambiente de la máquina	50
Figura 23. Selección del arduino a utilizar	52
Figura 24. Ejemplo de arduino Mega.....	53
Figura 25. Pines ATmega 2560	55
Figura 26. Ejemplo de un conector BD9 para comunicación serial	57
Figura 27. Comunicación serial mediante el arduino	57
Figura 28 Motores a pasos	59
Figura 29. Controlador HY-DIV268N-5A.....	60
Figura 30. Seteo del Controlador.....	61
Figura 31 Configuración para conexión a los motores y placa	62
Figura 32 Motor NEMA 23 a su controlador (driver).	63
Figura 33. Motor DC con actuación lineal.....	64
Figura 34 Estructura de la malla Serigráfica.....	65
Figura 35 Malla serigráfica – Numeración	67
Figura 36 Sistema de Barrido	68
Figura 37 Cilindro de tinta.....	69
Figura 38 Esquema de Control del microprocesador.....	71
Figura 39. Esquema de Conexión Pantalla LCD	72
Figura 40 Pantalla de Bienvenida.....	74
Figura 41 Pantalla de Ubicación de los ejes.....	75
Figura 42 Pantalla de Selección de número de tanques	75
Figura 43 Pantalla de selección de altura.....	76
Figura 44 Pantalla de Información de altura	77
Figura 45 Pantalla Esperando	77
Figura 46 Pantalla de información de Marcado	78
Figura 47. Esquema Isis Conexión de Alimentación.....	79
Figura 48. Esquema Isis Puente H	79

Figura 49. Conexión entre arduino y motores a pasos	80
Figura 50. Conexión entre arduino y pulsadores	80
Figura 51. Conexión entre arduino y finales de carrera	81
Figura 52. Esquema Isis Total	81
Figura 53. Circuito Placa Total Ares	82
Figura 54. Circuito Placa Total Simulado.....	83
Figura 55. Circuito Placa Barnizada	83
Figura 56. Circuito Finalizado	84
Figura 57 Caja electrónica de control	85
Figura 58 Estructura empotrada al piso.....	86
Figura 59 sujeción de fines de carrera.....	87
Figura 60 Caja de control	88
Figura 61 Calibración de elementos de marcación.....	88
Figura 62 Altura de acuerdo a especificaciones de calidad.....	89
Figura 63 Operador cargando correctamente las piezas.....	90
Figura 64 Pieza de cerámica marca edesa	90
Figura 65 Tiempo disponible	91
Figura 66 Posición de marcación vs tiempo utilizado	92
Figura 67 Resultados.....	93

Índice de Tablas

Tabla 1. Requisitos de la empresa para la máquina	12
Tabla 2. Requerimientos generales de toda la máquina como sistema	13
Tabla 3. Requerimientos técnicos de la máquina en porcentajes	16
Tabla 4. Clasificación de requerimientos en orden de importancia	17
Tabla 5. Partes generales de pre-diseño de máquina automatizada	19
Tabla 6. Matriz del factor n_{xx} según sus características	24
Tabla 7. Matriz del factor n_{yy} según sus características	25
Tabla 8. Factores de concentración de esfuerzos	35
Tabla 9 Numeración de las mallas	66
Tabla 10. Pines Pantalla LCD	73

RESUMEN

El presente proyecto, denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE SERIGRAFIADO EN CERÁMICA ESMALTADA PARA LA EMPRESA EDESA S.A” comprende el diseño e implementación de una máquina automática, construida un 80% de aluminio, la cual es capaz de trabajar durante las 24 horas del día, durante los 365 días del año, se ejecuta un ciclo cada 8 minutos, y con capacidad de serigrafiar 3 tanques por ciclo, justo antes de que dichos tanques ingresen al horno 5 de la empresa Edesa S.A. Anteriormente, este trabajo lo realizaba una persona, con las complicaciones que implica no tener la precisión para que todos los tanques salgan iguales. Esta máquina permite mejorar la calidad de la serigrafía, así como el tiempo que se ocupa para realizarlo; se diseñó un sistema de posicionamiento variable, muy preciso, el cual, al encender la máquina se lo puede calibrar mediante un teclado, siguiendo las indicaciones mostradas en una pantalla LCD, la máquina trabaja automáticamente y una vez ubicado en la posición indicada, sobre la cerámica esmaltada, se realiza el serigrafiado, o comúnmente llamado marcación, el serigrafiado consiste en un sistema de barrido con tinta para cerámica, a través de una tela denominada “pantalla”, permitiendo el paso de únicamente la tinta necesaria, esta tela tiene la marca que se requiere colocar en la cerámica, debido al alcance que tiene la máquina, y la cantidad de clientes que tiene la empresa, es posible cambiar de pantalla y de color de tinta, inicialmente, se realiza con la marca TOTO.

Palabras Clave:

MÁQUINA AUTOMÁTICA

SERIGRAFIADO

CERÁMICA ESMALTADA

CICLO

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO VARIABLE

SISTEMA DE BARRIDO

ABSTRACT

The current project, named “DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN AUTOMATIC MACHINE FOR THE PROCESS OF SCREENPRINTING ON ENAMELED CERAMIC FOR THE COMPANY EDESA S.A.”, consists of the designing and implementation of an automatic machine which screen prints 3 tanks per cycle, completing a cycle every 8 minutes, directly before said tanks enter into oven 5 of the company Edesa S.A.. The machine is made 80% of aluminum and is capable of working 24 hours a day, 365 days of the year. Up to now, this work has been done by a person, which implies complications that result from the lack of precision necessary to have all of the tanks come out exactly the same. This machine allows for improvement in the quality of the screen printing, as well as the time that it takes to complete the task. A very precise variable positioning system has been designed which, when the machine is turned on, can be calibrated through the use of a keyboard, following the instructions shown on the LCD screen. The machine works automatically and once it is located in the indicated position, above the enameled ceramic piece, the screen printing is done, or as it is commonly called, the marking. The screen printing used here consists of a scanning system passing ink for ceramics through a fabric called a “screen”, which allows only the necessary amount of ink to pass through. This fabric shows the name of the brand to be located on the ceramic piece. Due to the reach of the machine and the quantity of clients that Edesa has, it is possible to change the screen and the color of the ink. However, it will initially be making tanks for the brand TOTO.

Keywords:

AUTOMATIC MACHINE

SCREENPRINTING

ENAMELED CERAMIC

CYCLE

VARIABLE POSITIONING SYSTEM

SCANNING SYSTEM

CAPÍTULO I

PREÁMBULO

1.1 Antecedentes

Edesa S.A cuenta con 36 años de liderazgo en el mercado ecuatoriano, en lo que gracias a la aceptación de sus consumidores, la compañía ha llegado a contar con más de 800 empleados, generando ingresos para alrededor de 2000 familias.

Gran parte de su producción se destina para mercados de exportación, donde ocupan posiciones de éxito y liderazgo.

Desde que EDESA S.A, realiza tanques de inodoros para la empresa TOTO, se ha utilizado un Serigrafiado manual o tradicional, es decir, un trabajador utiliza una malla serigráfica denominada “pantalla”, con una tinta especial y presionando en una parte específica del tanque de inodoro, la pantalla permite que la tinta pase únicamente en la parte en la que se necesita, es decir, en donde quedará escrito la palabra TOTO.

Se entiende entonces por pantalla, a la malla serigráfica; un tejido homogéneo, resistente y permeable por donde pasa la tinta de un lado al otro, de esta manera se logra realizar la impresión; más adelante se detallará claramente las especificaciones técnicas de esta malla serigráfica.



Figura 1. Serigrafiado de tanques TOTO

Para este proceso totalmente artesanal, se utilizan a dos personas, una en la mañana y otra en la tarde, y sin tener un control óptimo de que este trabajo se lo realice correctamente, ya que se puede ubicar mal la pantalla y provocar un serigrafiado en un lugar incorrecto, o peor aún, cualquier movimiento provoca que la tinta se corra y manche al tanque de inodoro; estos detalles muchas veces pasan desapercibidos y el tanque ingresa con estos problemas al horno, lo que genera producción defectuosa y por ende, mayor costo para la empresa.

Para un serigrafiado adecuado, los trabajadores que lo realizan deben tener en cuenta la cantidad de tinta aplicada a la pantalla, es decir a la tela que permite el paso de tinta, además utilizan una denominada “formaleta”, objeto que les ayuda a colocar el marcado a la altura correcta, así como centrada adecuadamente.



Figura 2. Herramientas Serigráficas

1.1.1 Generalidades

En este primer capítulo se describe de manera global el motivo del presente proyecto de grado. Inicialmente, se presentan antecedentes del método de serigrafía actual de la empresa EDESA S.A y lo que motivó a diseñar e implementar una máquina automatizada para este proceso. Se explica el

producto resultante de la investigación y finalmente se expone la hipótesis, el objetivo y la estructura del presente proyecto.

1.1.2 Introducción general

La empresa EDESA S.A, que ocupa un lugar importante en el mercado nacional e internacional, cuenta con una sola forma de serigrafado, el artesanal, para toda la cerámica que se fabrica, pero para actualizarse, de acuerdo con la demanda en el mercado, es necesario mejorar los procesos y controlarlos electrónicamente, con la finalidad de optimizar el tiempo y el trabajo del personal en el proceso de producción; este proyecto será hecho exclusivamente para los tanques de inodoro marca TOTO, pero se plantea como alcance la posibilidad de tener flexibilidad en el logo que se desee serigrafiar.

En la actualidad, se han ido desarrollando los sistemas de control para varios procesos con los que cuenta la empresa, razón por la que es necesario continuar con esta actualización.

Para que la empresa, siga manteniéndose como líder del mercado ecuatoriano, y exitosa a nivel internacional, con convenios con otras empresas, como es el caso de TOTO, es necesario que sus procesos industriales vayan actualizándose, y desarrollando controles cada vez más exactos, con la finalidad de optimizar tiempo y recursos.

La necesidad de la empresa surge en reducir los tiempos de trabajo actuales, utilizar de una manera más productiva al personal y tener una mayor eficacia en todos los procesos de producción, incluyendo la marcación controlada y eficiente de las piezas cerámicas que se realizan dentro de la empresa, tener la seguridad de que este trabajo esté bien realizado, así como también asegurar la integridad física de los operarios, por ello se ha visto la necesidad de controlar dicho proceso que ayudaría con el objetivo antes mencionado.

En el caso de no poder realizarse este proyecto, el proceso de marcación de las piezas cerámicas seguiría siendo manual, utilizado dos jornadas laborables para hacerlo, y sin la seguridad de que esté bien marcado, lo que también significaría pérdidas económicas debido a que una pieza sin la marcación

adecuada al salir del horno y pasar por el control de calidad, representa repetir el proceso de Serigrafiado y posteriormente realizar una requema.

1.2 Definición del proyecto

Entre los principales inconvenientes dentro de los procesos industriales en la empresa EDESA S.A está la pérdida de producción en buen estado debido al poco control que se puede tener sobre la marcación de las piezas esmaltadas ya que no se tiene maquinaria automatizada para poder realizar un proceso controlado, y, por ende, más preciso.

Actualmente, la producción de tanques TOTO que la empresa tiene diariamente es de entre 360 y 400, de las cuales el 7% es producto que se envía a la requema para recuperar el tanque por problemas de estética, y el 15% es producto en mala calidad no recuperable; de este porcentaje, el 2% se debe a problemas de serigrafiado. Además, se emplean 2 trabajadores para realizar dicho serigrafiado.

Es por esto que EDESA S.A líder a nivel nacional y con fuerte reconocimiento internacional, en la fabricación de cerámica para cuartos de baño, se ve en la obligación de automatizar sus procesos para tener el control de cada uno de ellos. En la siguiente propuesta de tesis se propone automatizar un proceso artesanal para utilizar de una manera más productiva al personal, esto se lo realizará con un diseño mecánico adecuado, además de los componentes electrónicos que garanticen una mayor eficiencia en el proceso de producción de tanques TOTO.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados hacen referencia a los parámetros necesarios para mejorar la producción de la empresa y el empleo del conocimiento adquirido durante la preparación universitaria.

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina automática para el proceso de Serigrafiado en tanques de inodoro marca TOTO, para reducir los tiempos de trabajo, incrementar el nivel de producción y obtener el control de este proceso.

1.3.2 Objetivos específicos

- Buscar la mejor alternativa de Serigrafiado, teniendo en cuenta el ambiente de trabajo con el fin de optimizar el proceso.
- Utilizar herramientas CAD/CAM para realizar un diseño mecánico adecuado.
- Realizar el diseño eléctrico y electrónico para que los diversos componentes cumplan una secuencia de trabajo establecida.
- Integrar los subsistemas: mecánico, eléctrico- electrónico y de control.
- Construir la máquina para ser capaz de trabajar continuamente, además de presentar flexibilidad para el serigrafiado de diferentes marcas.
- Realizar pruebas y análisis de resultados.

1.4 Alcance del proyecto

Diseñar e implementar una máquina que garantice tecnología y optimizar el serigrafiado para económicamente mejorar el nivel de producción en tanques TOTO producidos en la empresa EDESA S.A. con un control autónomo de ejecución del serigrafiado a través de un microcontrolador, para de esta manera cumplir con las políticas y parámetros de calidad que exige la marca TOTO para el producto terminado, además determinar los diferentes tipos de seguridades que se deberá tener en caso de necesitar manipular la máquina.

1.4.1 Descripción del proyecto

La máquina de serigrafiado comprende de un sistema autónomo capaz de movilizarse en 3 dimensiones para lograr la correcta colocación de la marca.

Se emplea un análisis QFD para la selección de alternativas con parámetros que se ajustan a las necesidades de la empresa, tratando de optimizar el proceso, pero teniendo en cuenta el factor económico que proporcione un equilibrio con el factor tecnología.

Se ha dividido el proceso de serigrafiado en dos etapas: la primera etapa es la de centrado, y se refiere al movimiento automático de los 3 ejes para lograr el lugar preciso del serigrafiado; la segunda etapa es la de serigrafiado, en la cual se emplea un mecanismo que permite inyectar la tinta en el lugar exacto.

En la segunda etapa se emplea además un conteo de número de tanques serigrafiados para que este número de tanques serigrafiados se proyecten en un display LCD.

Para el diseño de la máquina se emplearán programas complementarios para un correcto análisis teórico y que, en el momento de la implementación, los estudios realizados permitan un correcto funcionamiento.

Se realizarán pruebas de funcionamiento que aseguren una producción en serie, con las seguridades apropiadas.

Por último, se trabajará en un manual de mantenimiento de la máquina para el personal operativo y de mantenimiento de la empresa, con la finalidad de que la máquina trabaje sin inconvenientes.

1.5 Justificación del proyecto

Este proyecto es importante para la empresa EDESA S.A en su línea de producción debido a que actualmente existen dos personas trabajando en la serigrafía manual de los tanques, y cuando se cargan dichos tanques al horno, muchas veces accidentalmente se borra o se mancha la serigrafía, por lo que la máquina a realizarse hará este proceso justo antes del ingreso al túnel de precalentamiento de los tanques. Para la empresa representa pérdidas y costos sobre elevados del producto por la mala aplicación de la serigrafía, proceso que

se puede controlar, vale la pena mencionar que el personal que realizaba el serigrafiado manual, desempeñará otras actividades relacionadas con el mismo proceso de fabricación de los tanques.

La proyección al realizar la máquina automática es reducir el producto de baja calidad conocido como “rotura” por defectos de serigrafiado a valores menores al 0.02% y ya no emplear operadores adicionales para el proceso, sino únicamente a la misma persona del horno que se encarga de verificar los equipos constantemente, es decir, con esta persona se cierra el “lazo de control” del proceso.

Al construir esta máquina se eliminará el serigrafiado tradicional colocando elementos capaces de proporcionar precisión y a la vez se busca flexibilidad en la marca que se desea serigrafiar, es decir, se podrá cambiar de logotipo y reprogramar el lugar de aplicación en caso de ser necesario.

Es necesario recalcar que en el mercado no existen máquinas que realicen este tipo de serigrafía, es decir, que en las industrias filiales a Edesa en países como Chile (Fanaloza) y Venezuela (Vencerámica) también se lo realiza a mano.

Esto muestra la importancia de lograr una máquina prototipo para seguir avanzando en este campo; existen proyectos sobre serigrafía, pero en el área textil, lo cual no tiene nada que ver con el proyecto actual, y es la razón por la cual no se puede hablar de precios en el mercado; al no existir antecedentes de máquinas similares, se procede al diseño y construcción de una máquina completamente nueva, sin embargo la máquina se basa en un sistema de posicionamiento de 3 grados de libertad, es decir, en un robot cartesiano.

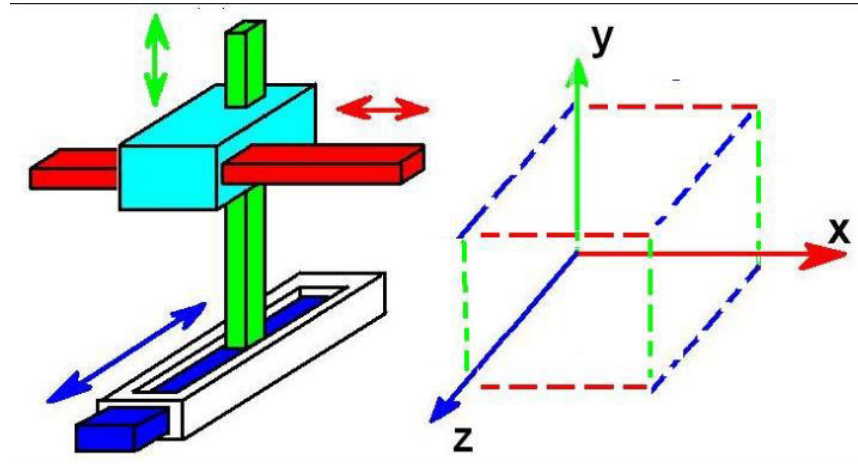


Figura 3 Esquema básico de un robot cartesiano

Fuente: (Coparoman, 2013)

CAPÍTULO II

REQUISITOS Y RESTRICCIONES DE LA MÁQUINA

En el presente capítulo se detallan las especificaciones técnicas y la selección del tipo de automatización que se realizará para la máquina; es decir este capítulo se refiere a la selección de alternativas (tipo de conexiones, alimentación eléctrica, etc.) para satisfacer la capacidad de producción requerida de la máquina para la marcación de tanques.

Después de saber los requerimientos del cliente, se podrá concluir sobre los detalles más importantes que debe tener la máquina.

2.1 Determinación de las capacidades de la máquina

Una vez que se conocen los requerimientos del cliente se pueden determinar las características que debe tener la máquina automática.

El parámetro más importante para el diseño es la producción continua, por lo que se busca primeramente lograr que la máquina trabaje durante todos los días del año.

El segundo parámetro importante es el tipo de mecanismo que se empleará para lograr los movimientos en las 3 direcciones, el primer paso es diseñar elementos capaces de soportar el peso de la máquina y que a la vez le dé la velocidad y precisión adecuada.

2.2 Selección de alternativas

2.2.1 Análisis QFD

2.2.1.1 Introducción análisis QFD

El QFD por sus siglas Quality Function Deployment es un análisis que se realiza para traducir los requerimientos de un cliente a un lenguaje más propio de la ingeniería que se requiere para el producto o servicio. Es un método de gestión de calidad basado en transformar las demandas del usuario en la calidad del diseño, implementar funciones que aporten métodos para lograr el mejor diseño en subsistemas y componentes, y finalmente a los elementos específicos del proceso de fabricación.

2.2.1.2 Pasos para el análisis

Para el análisis se utilizan una serie de matrices que relacionan los requerimientos del cliente, en este caso Edesa, con los requisitos técnicos del producto, de los componentes, planes para el control de procesos y las operaciones de manufactura. Los puntos que se abarcan en este proceso de identificación de parámetros son:

1. Identificar los requisitos del cliente.
2. Identificar los requisitos técnicos.
3. Relacionar los requisitos del cliente con los requisitos técnicos
4. Realizar una evaluación de los productos o servicios competitivos.
5. Evaluar los requisitos técnicos y desarrollar los objetivos.
6. Determinar qué requisitos técnicos se deben desplegar en el resto del proceso de producción/entrega

Para poder realizar un buen análisis QFD se deben seguir los siguientes pasos:

Paso1: Identificar los requisitos del cliente.

La voz del cliente es el principal insumo para el proceso QFD. Se pueden usar muchos métodos para re-copilar información válida del cliente. El paso más difícil y crítico del proceso consiste en captar la esencia de las necesidades y expectativas del cliente. Las palabras del cliente tienen importancia vital para evitar malas interpretaciones por parte de diseñadores e ingenieros.

Paso 2: Hacer un listado de los requisitos técnicos que proporcionan las bases para el diseño del producto o servicio.

Los requisitos técnicos son las características de diseño que describen los requisitos del cliente expresadas en el idioma del diseñador o ingeniero. En esencia, explican la "forma" en que la empresa va a responder a los requisitos del cliente. Deben ser medibles, porque los resultados están controlados y se comparan con los objetivos.

Paso 3: Desarrollar una matriz de relación entre los requisitos del cliente y los requisitos técnicos.

Los requisitos del cliente se presentan en la columna de la izquierda, los requisitos técnicos se representan en la parte superior. En la matriz misma, los símbolos indican el grado de la relación; se debe poner la puntuación que significa cada grado para así poder dar una puntuación a cada circunstancia.

Paso 4: Evaluar los requisitos técnicos del producto que salieron de la matriz QFD; es decir analizar los datos obtenidos en los resultados de la matriz para poder decidir cuáles son las especificaciones técnicas que más se necesitan para el producto.

2.2.2 Definición de requisitos del cliente

En el caso de la presente tesis el cliente es la empresa EDESA S.A que es la encargada de determinar los requerimientos de la máquina de serigrafiado. Los

responsables del proceso en la planta señalaron las características que debería tener la máquina; los parámetros son los siguientes:

Tabla 1.
Requisitos de la empresa para la máquina

1	Precisión en el serigrafiado
2	Fácil mantenimiento de la máquina
3	Contador de piezas
4	Alarmas de seguridad
5	Alarma de falta de tinta
6	Buen aspecto
7	Bajo costo
8	Flexibilidad para marcar otros logos.

Como se puede observar, los puntos señalados son claves para poder realizar la máquina. Con estos datos ya se puede pasar al siguiente punto del análisis QFD.

2.2.3 Requerimientos técnicos

En los requerimientos técnicos se debe plantear todas las alternativas que se tienen a la mano para poder solventar los requerimientos del cliente, para tal caso se tiene las siguientes alternativas:

Tabla 2.
Requerimientos generales de toda la máquina como sistema

	Variables del Sistema	Selección de alternativas
Sistema mecánico	Motores	Número de pasos por milímetro
Sistema mecánico	Definición de sujeciones de piezas	Análisis mecánico de elementos de máquina
Sistema mecánico	Robustez de bancada	Análisis mecánico de elementos de máquina
Sistema de control	Microcontroladores	Control de los motores y programación flexible
Interfaz	Pulsadores	Interfaz para comunicación
Medición de variables	Sensores de presencia	Variables a medir como posición de la máquina y detector de tanques.

2.2.4 Matriz QFD

Esta matriz abarca los puntos 2.4.2 - 2.4.3 y los relaciona entre sí a través de puntajes dados para poder determinar cuáles de los parámetros son importantes, para esto se da una puntuación a cada uno de los requisitos del cliente y se relaciona estos con los requerimientos técnicos a través de la simbología:

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD				
	Característica A	Característica B	Característica C	...	Característica M
Requerimiento A	●	●			
Requerimiento B	●		▽		○
Requerimiento C		●			
⋮			▽		○
Requerimiento N	○		●		

● Relación fuerte **(9)** ○ Relación Media **(3)** ▽ Relación débil **(1)**

Figura 4. Valoración

Fuente: (Turmero, 2013)

Esto determina el grado de la relación entre lo que quiere el cliente y la especificación técnica que solventa el requerimiento de la máquina. Por lo tanto, la matriz QFD es la siguiente.

COLUMNA #	PESO	PORCENTAJE/ IMPORTANCIA CLIENTE	IMPORTANCIA DEL CLIENTE	RELACIÓN MÁXIMA	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	Disponibilidad	Sistema de seguridad	Vida Útil	Fácil acceso a repuestos y accesorios	Detección de posición	Robustes de bancada	Microcontroladores	Motores	Pulsadores	Garantía
1		18%	10	10	Precisión en el serigrafiado		●	●	●	○	●	▽	○	○	▽	●
2		14%	8	10	Fácil mantenimiento de la máquina		▽	▽	○	●	▽	○	▽	●	▽	○
3		7%	4	10	Contador de piezas		▽	▽	○	▽	○	▽	●	▽	●	○
4		11%	6	10	Alarmas de seguridad		▽	●	●	○	●	▽	○	▽	○	▽
5		11%	6	10	Alarma de falta de tinta		▽	○	▽	▽	▽	▽	●	▽	●	▽
6		11%	6	10	Buen aspecto		○	○	▽	○	▽	●	▽	▽	●	▽
7		14%	8	10	Bajo costo		○	○	●	●	▽	●	○	●	●	●
8		16%	9	10	Flexibilidad para marcar otros logos		○	▽	▽	○	○	▽	●	○	▽	▽
SELECCIÓN						Disponibilidad	Sistema de seguridad	Vida Útil	Fácil acceso a repuestos y accesorios	Detección de posición	Robustes de bancada	Microcontroladores	Motores	HMI	Garantía	
IMPORTANCIA TÉCNICA						321.05	394.74	478.95	433.33	370.18	324.56	450.88	391.23	457.89	394.74	
PORCENTAJE						8%	10%	12%	11%	9%	8%	11%	10%	11%	10%	

Figura 5. Matriz QFD del sistema modular Mecatrónico

Tabulando los datos se tiene:

Tabla 3.

Requerimientos técnicos de la máquina en porcentajes

Requerimiento técnico	Porcentaje de importancia
Disponibilidad	7%
Sistema de seguridad	9%
Vida Útil	11%
Fácil acceso a repuestos y accesorios	10%
Detección de posición	8%
Robustez de bancada	7%
Microcontroladores	10%
Motores	9%
Pulsadores	10%
Garantía	9%

Para empezar con el análisis de estos datos es importante entender que este porcentaje representa la importancia que tiene cada requerimiento técnico con respecto a los requisitos planteados primeramente por el cliente.

Se clasifican a los requerimientos en importantes con porcentajes mayores a 9%; requerimientos de importancia media entre 8% y 9% y no importantes menores a 8%.

Tabla 4.
Clasificación de requerimientos en orden de importancia

Requerimiento técnico	IMPORTANTES	IMPORTANCIA MEDIA	NO IMPORTANTES
Disponibilidad			X
Sistema de seguridad		X	
Vida Útil	X		
Fácil acceso a repuestos y accesorios	X		
Detección de posición		X	
Robustez de bancada			X
Microcontroladores	X		
Motores		X	
Pulsadores	X		
Garantía		X	

2.3 Conclusiones de selección de alternativas

Como se puede observar los elementos de más importancia para la máquina de serigrafiado son cinco:

Vida útil: debe tener una buena vida útil ya que va a funcionar continuamente durante las 24 horas, todos los días del año, de hecho, es la principal razón por la que la empresa aprobó la construcción de este proyecto.

Fácil acceso a repuestos y accesorios: al ser una máquina con diseño propio, es importante tener repuestos y accesorios de fácil adquisición.

Microcontroladores y Pulsadores: El microcontrolador y los pulsadores van de la mano en lo que se refiere a programación y arranque de la máquina.

Son por estas razones que el análisis QFD ha dado una clara visión de las variables prioritarias en el diseño y construcción de la máquina.

El segundo parámetro importante por definir son los motores, pero esto se realizará en el capítulo de diseño mecánico, ya que en este capítulo abarca todo el dimensionamiento técnico, pero es importante mencionar que el análisis QFD indica que debemos tener muy en cuenta al momento de dimensionar los motores ya que son un parámetro importante.

El tercer parámetro importante es la detección de posición; es aquí cuando juegan mucho el diseño Mecatrónico, ya que todo depende de la precisión que se maneje en el movimiento de los ejes, el paso que deben tener los tornillos sin fin, la capacidad de los controladores, etc.

Los elementos de importancia secundaria necesitan un análisis mecánico que se realizará posteriormente en el capítulo de diseño mecánico.

2.3.1 Bosquejo inicial de la máquina de serigrafiado

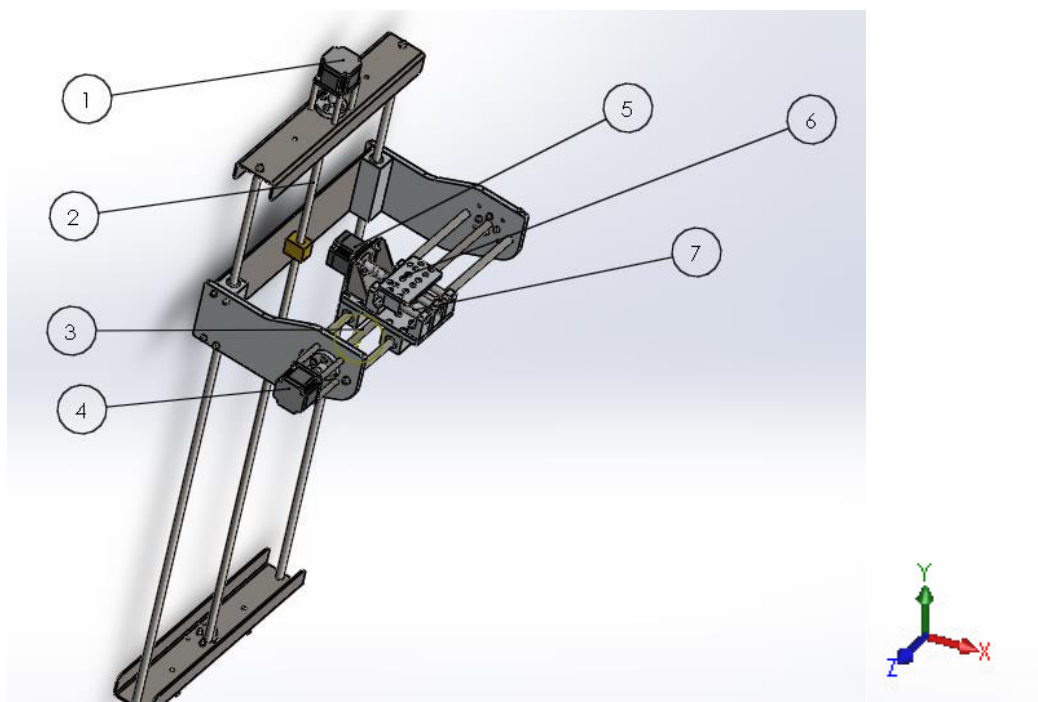


Figura 6. Pre-diseño de máquina de serigrafiado automatizada.

Para observar el movimiento cinemático de los 3 ejes de la máquina serigráfica, por favor dirigirse al anexo ESQUEMA CINEMÁTICO.

Tabla 5.**Partes generales de pre-diseño de máquina automatizada**

Nº	NOMBRE
1	Motor 1
2	Eje y
3	Eje z
4	Motor 2
5	Motor 3
6	Soporte para sistema de Serigrafiado
7	Eje x

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LOS SISTEMAS DEL EQUIPO

3.1 Parámetros de diseño

El diseño del equipo se basa en la capacidad de marcación con la precisión requerida, siendo las variables determinantes las siguientes:

- Tinta: especial para cerámica
- Dimensiones de la marcación: variable, depende de la marca que se desee colocar.

La capacidad de desplazamiento del brazo cartesiano será:

- Desplazamiento máximo en el eje Y: 300 mm.
- Desplazamiento máximo en el eje X: 850 mm.
- Desplazamiento mínimo en el eje Z: 200 mm.
- Velocidad mínima de desplazamiento: 5 cm/s.

Finalmente, la velocidad de desplazamiento depende de los elementos tanto mecánicos como electrónicos, y se lo diseña de acuerdo a los requerimientos del tiempo disponible para la marcación.

3.2 Transmisión de potencia

3.2.1 Motor Paso A Paso



Figura 7. Ejemplo de Motor Paso a Paso

Fuente: (Bricogeek, 2016)

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en movimientos angulares que dependen de sus entradas de control. Su funcionamiento consiste en la energización de bobinas que atraen magnéticamente a un rotor y le dan una ubicación (giro) en función de las bobinas activadas.

Ventajas:

- Precisión aceptable.
- Repetitividad.
- Control sencillo y realizable con circuitos lógicos.
- Bajas vibraciones.

Desventajas:

- Necesita demasiadas variables para su control.
- Alto consumo de energía.
- Sobrecalentamiento en las bobinas si se requiere mantener una posición.

3.3 Movimiento Lineal Eje X, Y, Z

3.3.1 Tornillo Sin Fin



Figura 8. Ejemplo de Tornillo sin Fin

Fuente: (DirectIndustry, 2016)

Un tornillo sin fin es un elemento mecánico que acoplado al módulo de transmisión de potencia transforma el movimiento rotario del motor en desplazamiento lineal.

Permite controlar la cantidad de movimiento lineal en función del paso de la rosca. Tiene una tuerca que se desplaza linealmente, la cual posee un agujero roscado donde se genera la fuerza para el desplazamiento por la fricción entre los dientes del elemento tuerca-tornillo.

Ventajas

- Disponibilidad en el mercado.
- Costo moderado.
- Fácil instalación.
- Movimiento uniforme.
- Repetitividad.
- Altas ventajas mecánicas y bajas vibraciones.
- Preciso.

Desventajas

- Necesidad de mantenimiento periódico.
- Basura y cuerpos extraños pueden reducir la vida útil del elemento.
- Requiere lubricación.

3.4 Matriz Morfológica

3.4.1 Diseño Mecánico

3.4.1.1 Selección Del Material Del Tornillo

En el mercado se puede encontrar tornillos sin fin de Acero Inoxidable, conocido también como AISI 4150.

Es un acero Martensítico que tiene una moderada resistencia a la corrosión, alta dureza, endurecible por tratamiento térmico y pobre soldabilidad.

Es empleado principalmente en partes críticas de maquinaria sometida a altos esfuerzos y donde se requiere, además buena resistencia al calor, corrosión, desgaste abrasivo o erosión.

Las principales propiedades mecánicas que se necesitan para el cálculo del diámetro requerido según las cargas expuestas del mismo son:

- Módulo de elasticidad: $E = 200 \text{ GPa}$.
- Resistencia a la fluencia: $S_y = 421 \text{ MPa}$.
- Resistencia última a la tensión: $S_{ut} = 655 \text{ MPa}$.

3.4.2 Cálculo Del Factor De Seguridad Del Diseño

La selección del factor de seguridad varía según la aplicación y la experiencia del diseñador, por lo que se ha decidido aplicar el método de Pugsley para determinar el factor de seguridad n_s :

$$n_s = n_{xx} \cdot n_{yy} \quad (\text{Universidad de Castilla, 2013, pág. 19})$$

Dónde:

n_{xx} es el factor dependiente de las características A, B y C.

- A: Calidad de los materiales.

- B: Control sobre la carga aplicada.
- C: Exactitud del análisis del esfuerzo e información experimental.

n_{yy} es el factor dependiente de las características D y E.

- D: Peligro para el personal.
- E: Impacto económico.

La Tabla 6 muestra el factor n_{xx} para cada una de las características, en donde el método de ponderación de cada una de ellas se realiza por las siguientes siglas: mb = muy bien, b = bien, r = regular y p = pobre.

Tabla 6.

Matriz del factor n_{xx} según sus características

Característica		B=			
		mb	b	R	p
A=mb	C=mb	1.1	1.3	1.5	1.7
	C=b	1.2	1.45	1.7	1.95
	C=r	1.3	1.6	1.9	2.2
	C=p	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=mb	1.3	1.55	1.8	2.05
	C=b	1.45	1.75	2.05	2.35
	C=r	1.6	1.95	2.3	2.65
	C=p	1.75	2.15	2.55	2.95
A=r	C=mb	1.5	1.8	2.1	2.4
	C=b	1.7	2.05	2.4	2.75
	C=r	1.9	2.3	2.7	3.1
	C=p	2.1	2.55	3.0	3.45
A=p	C=mb	1.7	2.15	2.4	2.75
	C=b	1.95	2.35	2.75	3.15
	C=r	2.2	2.65	3.1	3.55
	C=p	2.45	2.95	3.45	3.95

Fuente: (Universidad de Castilla, 2013, pág. 19)

Para el presente proyecto las características tendrán las siguientes ponderaciones: A = b, B = b y C = b, por lo que el factor n_{xx} será de 1,75.

La Tabla 7 muestra el factor n_{yy} para cada una de sus características, donde: ms = muy serio, s = serio y ns = no serio.

Tabla 7.

Matriz del factor n_{yy} según sus características

Caract.	D=		
	ns	s	ms
ns	1.0	1.2	1.4
s	1.0	1.3	1.5
ms	1.2	1.4	1.6

Fuente: (Universidad de Castilla, 2013)

Para este diseño $D = s$ y $E = ms$, por lo que el valor de n_{yy} será 1,4

Reemplazando los valores de n_{xx} y n_{yy} en la ecuación [3.6], se tiene:

$$n_s = 1,75 \cdot 1,4 = 2,45 \approx 2,5$$

De esta manera se encuentra un factor de seguridad de 2,5; valor conveniente para el diseño del tornillo sin fin.

3.4.3 Análisis De Columna Del Tornillo Y

El término columna se refiere a todo cuerpo largo expuesto a compresión. Este análisis busca la relación de esbeltez para que dicho cuerpo no sufra pandeo y finalmente llegue a fracturarse.

$$d = \left(\frac{64 \cdot P_{cr} \cdot l^2}{\pi^3 \cdot C \cdot E} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{Budynas \& J., 2008, pág. 176})$$

La ecuación muestra el diámetro necesario para que una columna de Euler soporte una carga determinada donde:

- P_{cr} = carga crítica, y está dada por: $P_{cr} = n_s \cdot F_1$
- F_1 = carga de compresión aplicada en la columna

- l = longitud de la columna
- C = constante de condiciones de los extremos, mostrada en la Figura 9.
- E = módulo de elasticidad del material

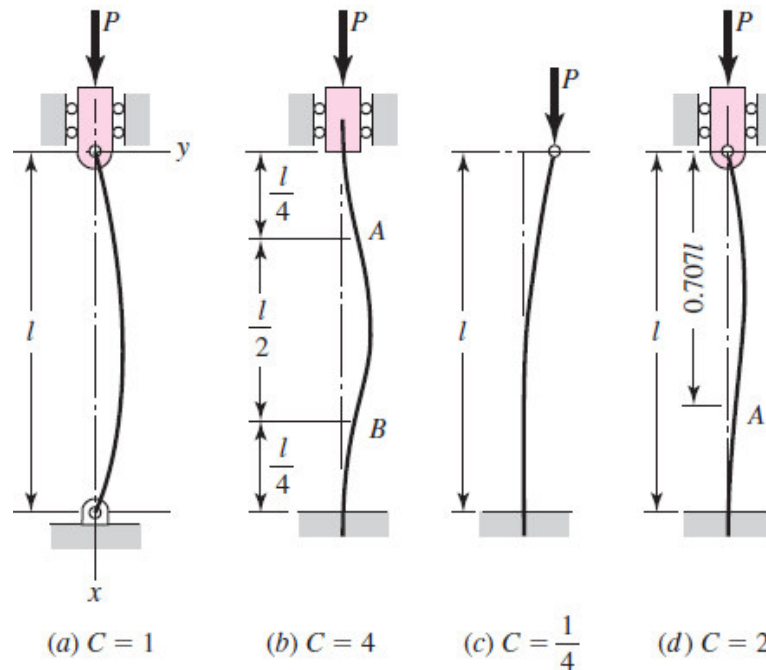


Figura 9. Condiciones de los extremos de una columna

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 178)

En este caso la carga de compresión aplicada en el eje Y que será considerada la columna es equivalente al peso que soporta al cargar los elementos del eje z y su acople respectivo, este peso es de 10 Kg. Adicionalmente el tornillo Y tiene una longitud aproximada de 300 mm y ambos extremos articulados por lo que la constante de condiciones de los extremos será igual a 1 como se muestra en la Figura 9, caso a.

Reemplazando dichas condiciones en la ecuación 2 se tiene:

$$d = \left(\frac{64 \cdot 2,5 \cdot (10 \cdot 9,81)[N] \cdot 0,30^2[m^2]}{\pi^3 \cdot 1 \cdot 210 \cdot 10^9 \left[\frac{N}{m^2}\right]} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$d_0 = 3,838 \cdot 10^{-3}[m] \approx 3,8 [mm]$$

De esta forma se demuestra que basta un tornillo de 3,8 mm de diámetro para soportar dicha carga; sin embargo, aún no se comprueba si este cuerpo debe ser considerado como columna o no según la siguiente relación de esbeltez “(l/k)”.

Donde:

- k = radio de giro.
- l = longitud de columna.

Para un cuerpo de sección transversal circular, se tiene que el radio de giro es:

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot d^4}{64}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}} = \frac{d}{4} \quad [3.3] \text{ (Budynas \& J., 2008, pág. 176)}$$

De esta forma reemplazando la ecuación 3.3 en la relación de esbeltez, se obtiene la relación para cuerpos de sección transversal circular:

$$\left(\frac{l}{k}\right) = \frac{4 \cdot l}{d} \quad [3.4]$$

Reemplazando el radio de giro en la relación de esbeltez para un diámetro de 3,8 mm y una longitud de 300 mm se tiene la siguiente relación:

$$\left(\frac{l}{k}\right) = \frac{300 \text{ [mm]}}{\frac{3,8 \text{ [mm]}}{4}} = 315.80$$

Finalmente se debe comprobar que dicha relación está dentro de la curva de Euler, en donde el umbral de la curva está dado por:

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \left(\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot c \cdot E}{s_y}\right)^{\frac{1}{2}} \quad [3.5] \text{ (Budynas \& J., 2008, pág. 176)}$$

Reemplazando los valores en la ecuación [3.10] se tiene:

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \left(\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 1.210 \cdot 10^9 [Pa]}{415 \cdot 10^6 [Pa]}\right)^{\frac{1}{2}} = 99,943$$

$$\left(\frac{l}{k}\right) > \left(\frac{l}{k}\right)_1$$

Estos valores encontrados mediante las ecuaciones conocidas, concuerdan con los obtenidos con la ayuda del software MDSolids, que además entrega una conclusión, indicando que “Se puede asumir razonablemente como columna de Euler la siguiente columna ya que la relación de los radios de esbeltez muestran que se deformará elásticamente”.

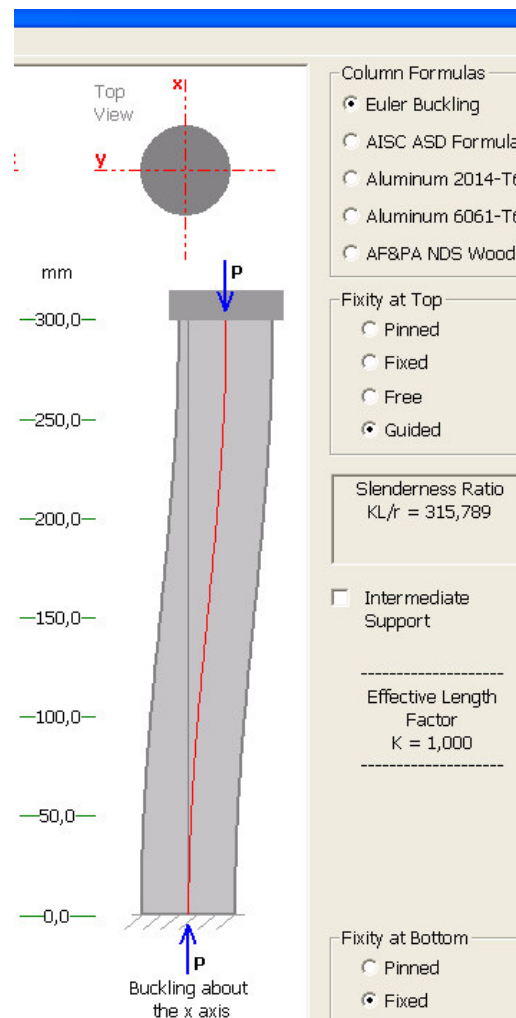


Figura 10. Cálculo de columna de Euler

Se puede considerar al cuerpo como una columna de Euler ya que la relación de esbeltez es mayor al límite propuesto para este material, el cual será capaz de soportar la compresión con un diámetro de 3,8 mm; sin embargo, el cuerpo también se encuentra sometido a un momento flector producido por la carga excéntrica en la dirección del eje Z y a un momento cortante producido por el torque del motor para levantar la carga.

Es por esto que se desea realizar un análisis estático para una columna corta, así que el diámetro deberá ser mayor, de forma que la relación de esbeltez sea menor o igual al límite de la curva de Euler para la columna, cumpliendo la siguiente relación:

$$\left(\frac{l}{k}\right) \leq \left(\frac{l}{k}\right)_1$$

El diámetro mínimo para ser considerado columna corta debe cumplir la ecuación [3.11].

$$\left(\frac{l}{k}\right) = \left(\frac{l}{k}\right)_1 \quad [3.6]$$

Reemplazando la ecuación [3.11] en la ecuación [3.9] se obtiene:

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \frac{4 \cdot l}{d} \quad [3.7]$$

Finalmente se despeja el diámetro:

$$d = \frac{4 \cdot l}{\left(\frac{l}{k}\right)_1} \quad [3.8]$$

$$d = \frac{4 \cdot 300 [mm]}{99,943} = 12,0068 \approx 12,1 [mm]$$

De esta forma se concluye que el diámetro mínimo para que el tornillo sin fin del eje Y sea considerado una columna corta será $d_1 = 12,1$ mm, el mismo que se utilizará para el cálculo de cargas estáticas.

3.4.4 Cálculo De Cargas Estáticas Del Tornillo Y

La Figura 11 muestra todas las fuerzas y momentos a los que se encuentra expuesto el eje Y debido a la carga estática que se produce por soportar los elementos del eje Z.

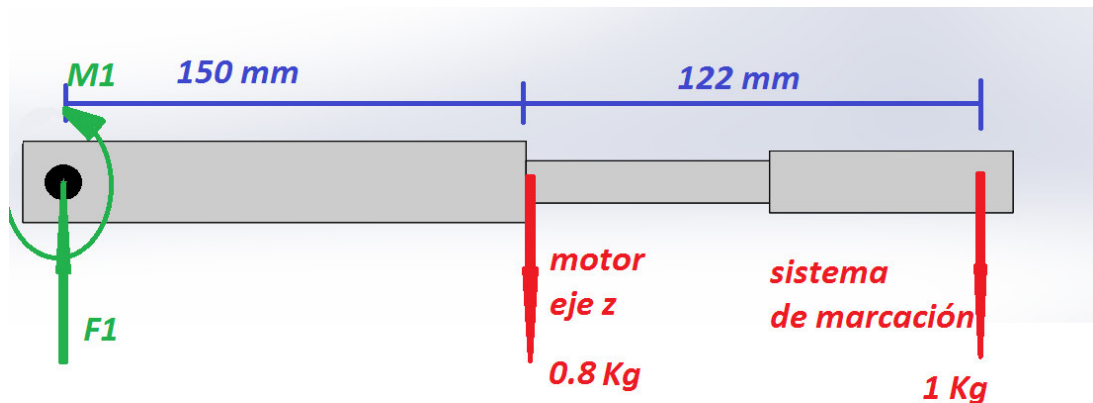


Figura 11. Diagrama de cuerpo libre de los elementos del eje Z

La barra que se diseñará tiene una longitud $l = 300$ [mm]. El diseño y análisis mecánico se realiza teniendo en cuenta que el eje se encuentra en una posición vertical y los elementos que soporta que son motor y sistema de marcación trabajan como una viga en voladizo.

La barra soporta cargas como las fuerzas causadas por el peso de los elementos y momentos generados por la distancia de los centros de gravedad a la barra.

Datos:

$$m_{\text{motorejez}} = 0.8 \text{ [kg]}$$

$$m_{\text{sistemamarcación}} = 1 \text{ [kg]}$$

$$g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Peso

El peso que debe soportar la barra será debido a la masa de los elementos que se acoplan a ella, los cuales son el motor del eje Z y el sistema de marcación, por efecto de la gravedad.

$$F_{\text{motorejeZ}} = m_{\text{motorejeZ}} * g$$

$$F_{\text{motorejeZ}} = 0.8 \text{ [kg]} * 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$F_{\text{motorejeZ}} = \mathbf{7.848 \text{ [N]}}$$

$$F_{\text{sistemamarca}c\acute{o}n} = m_{\text{sistemamarca}c\acute{o}n} * g$$

$$F_{\text{sistemamarca}c\acute{o}n} = 1 \text{ [kg]} * 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$F_{\text{sistemamarca}c\acute{o}n} = \mathbf{9.81 \text{ [N]}}$$

Además, se tomará en cuenta todo el peso de la estructura, el cual es de 8 kg

$$F_{\text{estructura}} = m_{\text{estructura}} * g$$

$$F_{\text{estructura}} = 8 \text{ [kg]} * 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$F_{\text{estructura}} = \mathbf{78.48 \text{ [N]}}$$

3.4.5 Análisis de fuerzas en el eje Y

El análisis que se realiza es un análisis estático, es decir que todas sus fuerzas estén en equilibrio estático con respecto al eje Y. El punto O trabaja como un único para sostener el motor del eje Z y el sistema de marcación.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{\text{sistemamarca}c\acute{o}n} + F_{\text{motorejeZ}} + F_{\text{estructura}} - F_1 = 0$$

$$9.81 \text{ [N]} + 7.848 \text{ [N]} + 78.48 \text{ [N]} - F_1 = 0$$

$$F_1 = 9.81 \text{ [N]} + 7.848 \text{ [N]} + 78.48 \text{ [N]}$$

$$F_1 = \mathbf{96.14 \text{ [N]}}$$

La fuerza de compresión que debe resistir el elemento es de 96.14 [N].

Se realiza en el programa de simulación de SolidWorks un estudio de cargas y se obtiene el siguiente resultado



Figura 12. Esfuerzos aplicados en eje Y

Como se puede apreciar en la figura 12, el esfuerzo máximo existente es de 2.8 [MPa], y el esfuerzo máximo que soporta el eje es de 206.8 [MPa]; por lo tanto, se puede concluir de que el eje seleccionado, si es capaz de soportar la carga aplicada.

3.4.6 Análisis de momentos a lo largo del eje X

Momento generado por el peso del motor

$$M_{motorejez} = 7.848 [N] * 150[mm]$$

$$M_{motorejez} = 1177.2[N mm]$$

Momento generado por el peso del sistema de marcación

$$M_{\text{sistemamarcación}} = 9.81[\text{Kg}] * 272[\text{mm}]$$

$$M_{\text{sistemamarcación}} = 2668.32 [\text{N mm}]$$

$$\sum M_x = M_{\text{motorejez}} + M_{\text{sistemamarcación}} - M_1$$

$$M_1 = M_{\text{motorejez}} + M_{\text{sistemamarcación}}$$

$$M_1 = 1177.2 [\text{N mm}] + 2668.32 [\text{N mm}]$$

$$M_1 = 3845.52 [\text{N mm}]$$

3.4.7 Análisis de momentos a lo largo del eje Z

Torque generado por el motor:

$$T_{\text{motor}} = 0.88 [\text{N m}]$$

$$T_{\text{motor}} = 880 [\text{N mm}]$$

3.4.8 Análisis de esfuerzos generados por las cargas estáticas

3.4.8.1 Esfuerzo de compresión de la barra

$$\sigma_y = \frac{F_1}{A} \text{ (Norton, 2011, p. 82)}$$

Donde:

F_1 : Es la Fuerza de compresión generada por los elementos que soporta el eje.

A : Es el área de la sección transversal del eje.

d : Es el diámetro de la sección transversal del eje.

$$A = \frac{\pi * 12.7^2}{4} \text{ (Norton, 2011, p. anexo 1)}$$

$$A = 126.67 \text{mm}^2$$

Cálculo del esfuerzo de compresión teórico

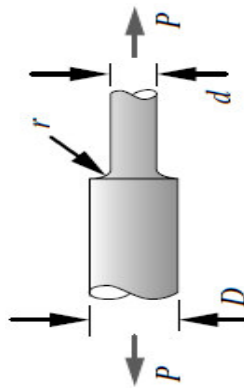
$$\sigma_y = \frac{F_1}{A}$$

$$\sigma_y = \frac{96.14[N]}{126.67[mm^2]}$$

$$\sigma_y = 0.76 [MPa]$$

Cálculo del esfuerzo de compresión real

Debido al maquinado de la barra que será utilizada como eje se generarán concentradores de esfuerzo, este factor:



Analizando con un destaje máximo de 2[mm] de destaje en el eje se tiene la siguiente fórmula:

$$\frac{D}{d} = \frac{12.7}{10}$$

$$\frac{D}{d} = 1.27 \approx 1.3$$

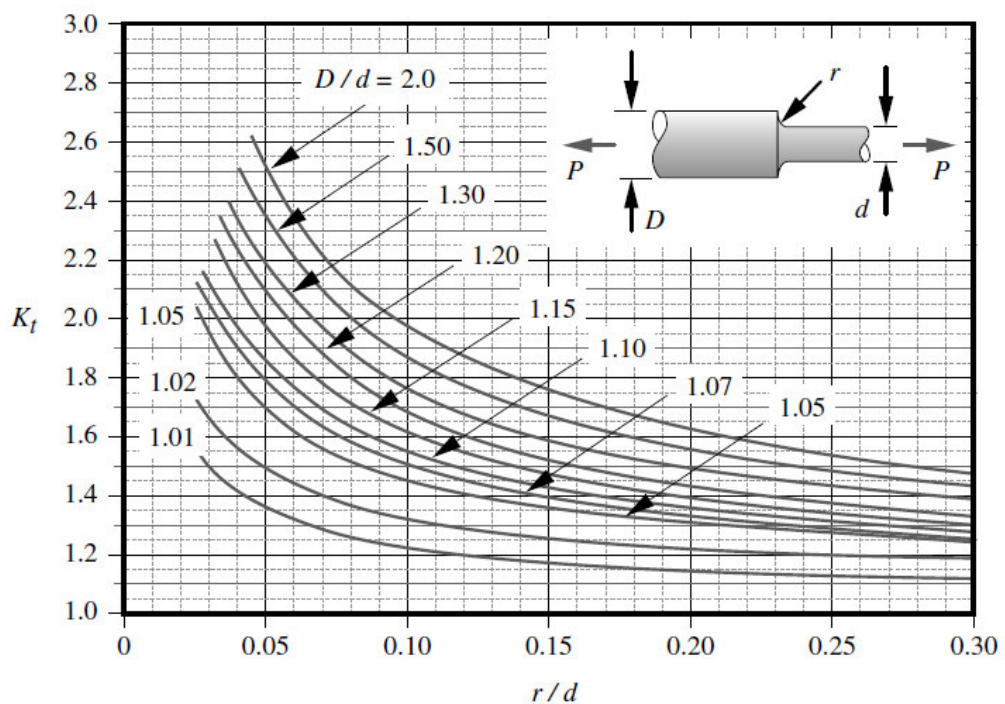
El radio mínimo r debido al maquinado será de 0.5 mm.

$$\frac{r}{d} = \frac{0.5}{10}$$

$$\frac{r}{d} = 0.05$$

Para sacar el factor hay que dirigirse a la tabla 8, que es de concentradores de esfuerzo y se obtiene lo siguiente:

Tabla 8.
Factores de concentración de esfuerzos



Fuente: (Norton, 2011)

Si se entrecorta los valores obtenidos se puede ver que el factor de concentración de esfuerzos es $k_t = 2,2$.

3.4.8.2 Esfuerzo real

$$\sigma_y = \frac{F_1 * k_t}{A} \text{ (Norton, 2011, p. 82)}$$

$$\sigma_y = 2.2 * \frac{96.14[N]}{126.67[mm^2]}$$

$$\sigma_y = 1.67[MPa]$$

3.4.9 Análisis de esfuerzo de flexión del eje alrededor del eje de coordenadas X

$$\sigma_x = \frac{M*c}{I} \text{ (Norton, 2011, p. 120)}$$

Donde:

$\frac{c}{I}$: Es el módulo de sección del eje. Depende del eje alrededor del cual se va a generar la flexión

Debido a que la sección a la cual va a estar sometida el esfuerzo es totalmente simétrica (sección circular), el momento de inercia será igual en cualquier parte del eje. (Tomado de Norton, esfuerzos debido a flexión).

Se han parametrizado estas ecuaciones mediante ensayos de laboratorio y se han obtenido las siguientes fórmulas para elementos cilíndricos macizos:

$$\sigma_x = \frac{32*M_1}{\pi*d^3} \text{ (Norton, 2011, p. 696)}$$

Datos:

$$M_1 = 3845.52 [N mm]$$

$$d = 12.7 [mm]$$

$$\sigma_x = \frac{32 * 3845.52 [N mm]}{\pi * 12.7 mm^3}$$

$$\sigma_x = 19.13 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_x = 19.13 [MPa]$$

3.4.10 Análisis de esfuerzo de torsión generado en la barra debido al torque generado por el motor a lo largo del eje Z.

El esfuerzo de torsión genera un esfuerzo cortante en esta barra. Se debe analizar en la sección, si soportará esfuerzos de tipo cortante en esta sección.

$$\tau_{xy} = \frac{T*\rho}{J} \text{ (Norton, 2011, p. 107)}$$

Donde:

T : Momento de torsión

ρ : Distancia desde el centro geométrico de la sección, hasta el punto donde se está generando la tensión cortante

J : Momento de inercia polar del área de la sección transversal.

En donde:

$$J = \frac{\pi * d^4}{32}$$

Se han parametrizado estas ecuaciones mediante ensayos de laboratorio y se han obtenido las siguientes fórmulas para elementos cilíndricos macizos:

$$\tau_{xy} = \frac{16 * T_{motor}}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 * 880[N mm]}{\pi * 12.7 mm^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 * 880[N mm]}{\pi * 12.7 mm^3}$$

$$\tau_{xy} = 2.19 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Luego de analizar los esfuerzos generados tanto de compresión, flexión y torsión en esta barra, se realizará el estudio de combinación de esfuerzos, para utilizar una teoría de fallas en la barra.

3.4.11 Esfuerzos principales

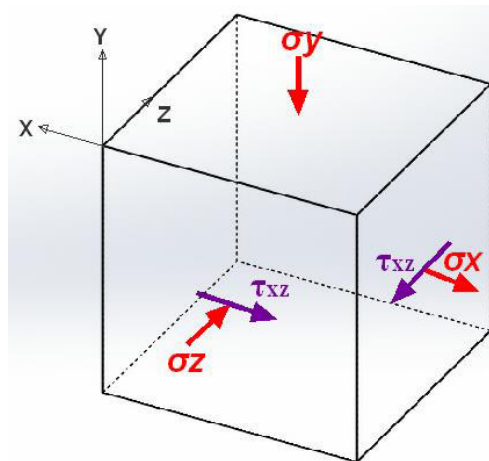


Figura 13. Fibra de estudio de carga estática para el tornillo Y

$$\sigma_1 = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right) + \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 \right) + \tau_{xy}^2} \text{ (Norton, 2011, p. 75)}$$

$$\sigma_1 = \left(\frac{19.13 [MPa] + 1.67 [MPa]}{2} \right)$$

$$+ \sqrt{\left(\left(\frac{19.13 [MPa] - 1.67 [MPa]}{2} \right)^2 \right) + (2.19 [MPa])^2}$$

$$\sigma_1 = (10.4 [MPa]) + \sqrt{(76.21 [MPa]) + 4.7961 [MPa]}$$

$$\sigma_1 = (10.4 [MPa]) + 9 [MPa]$$

$$\sigma_1 = 19.4 [MPa]$$

$$\sigma_2 = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right) - \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 \right) + \tau_{xy}^2} \text{ (Norton, 2011, p. 75)}$$

$$\sigma_2 = \left(\frac{19.13 [MPa] + 1.67 [MPa]}{2} \right)$$

$$- \sqrt{\left(\left(\frac{19.13 [MPa] - 1.67 [MPa]}{2} \right)^2 \right) + 2.19 [MPa]^2}$$

$$\sigma_2 = (10.4 [MPa]) - \sqrt{(76.21 [MPa]) + 4.7961 [MPa]}$$

$$\sigma_2 = (10.4 [MPa]) - 9 [MPa]$$

$$\sigma_2 = 1.4 [MPa]$$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \text{ (Norton, 2011, p. 75)}$$

$$\tau_{max} = \frac{19.4[MPa] - 1.4[MPa]}{2}$$

$$\tau_{max} = 9 [MPa]$$

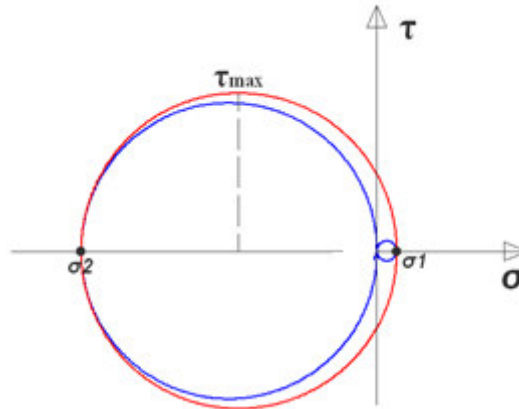


Figura 14 Círculo de Mohr

Luego de haber hallado los esfuerzos principales es necesario aplicar una teoría de falla. Existen dos teorías de falla:

- Teoría del esfuerzo normal máximo.
- Teoría de esfuerzo cortante máximo.

3.4.12 Teoría del esfuerzo normal máximo

Se produce la falla si el valor del esfuerzo normal máximo supera el valor del esfuerzo de la probeta en el ensayo de tracción. El elemento que poseemos para nuestro diseño es una barra roscada sometida a compresión y a esfuerzos de flexión y torsión, por lo que el uso de esta teoría no sería el adecuado ya que solo es útil si nuestro elemento está sometido a esfuerzos de tracción.

3.4.13 Teoría del esfuerzo cortante máximo

Se produce la falla si el mayor esfuerzo cortante inducido τ_{max} supera el valor del esfuerzo cortante que resistió la probeta en el momento del ensayo de tracción.

Es una teoría conservadora cuya condición es la siguiente:

$$S_y > 2 * \tau_{max} \text{ (Budynas \& Nisbett, 2008, p. 212)}$$

Donde:

S_y :Es el esfuerzo de fluencia del material a utilizar. Su valor es dado por las normas AISI.

τ_{max} :Es el esfuerzo cortante máximo inducido.

Para nuestro estudio utilizaremos un acero inoxidable cuyo valor de S_y es:

$$S_y = 421 [MPa]$$

Aplicamos la fórmula:

$$S_y > 2 * \tau_{max}$$

$$S_y > 2 * 9 [MPa]$$

$$S_y > 18[MPa]$$

$$421[MPa] \gg 18[MPa]$$

Se ha demostrado que el elemento a utilizar tanto en su geometría de sección como en su longitud y su material no fallarán dado que los esfuerzos a los que está sometido son mucho menores que el valor de esfuerzo de fluencia de este material.

3.4.14 Análisis De Fatiga Para El Tornillo Y

El límite de fatiga del tornillo Y está dado por la ecuación:

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S'_e \text{ (Budynas \& Nisbett, 2008, p. 279)}$$

Donde:

- K_a = Factor de superficie.
- K_b = Factor de tamaño.
- K_c = Factor de carga.
- K_d = Factor de temperatura.
- K_e = Factor de confiabilidad.
- K_f = Factor de efectos varios.

- S_e' = Límite de fatiga de una muestra de viga rotatoria del mismo material.

El factor de superficie es igual a:

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2008, p. 279})$$

Reemplazando en la ecuación [3.21] los valores de las constantes a y b para maquinado en frío se obtiene:

$$K_a = 4,51 \cdot (655)^{-0,265} = 0,809$$

El factor de superficie para diámetros entre 2,79 y 51 mm es:

$$K_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107} \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2008, p. 280})$$

Reemplazando un diámetro de 12,7 mm en la ecuación 3.22 se tiene:

$$K_b = \left(\frac{12,7}{7,62}\right)^{-0,107} = 0,9466$$

Para carga múltiple se elige el factor de carga por torsión, de modo que:

$$K_c = 0,59 \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2008, p. 282})$$

El factor K_e para una confiabilidad del 99% es:

$$K_e = 0,814 \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2008, p. 284})$$

El límite de fatiga para una viga rotatoria de acero está dado por:

$$S_e' = 0,5 \cdot S_{ut} \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2008, p. 274})$$

Reemplazando la resistencia última de la tensión del acero inoxidable escogido, en la ecuación [3.23] se obtiene:

$$S_e' = 0,5 \cdot 655 = 327,5 \text{ [MPa]}$$

El factor de temperatura no presenta variación porque se trabaja a temperatura ambiente, y el ambiente de la planta no representa cambios considerables, de esta manera se obtiene:

$$K_d = 1 \text{ (Budynas \& Nisbett, 2008, p. 282)}$$

El factor de efectos varios no presenta variación al considerar que es un cuerpo uniforme que no tiene esfuerzos residuales, obteniendo:

$$K_f = 1 \text{ (Budynas \& Nisbett, 2008, p. 285)}$$

Reemplazando el valor de cada factor y del límite de fatiga de la muestra de viga rotatoria en la ecuación [3.20] se tiene:

$$S_e = 0,809 \cdot 0,947 \cdot 0,59 \cdot 0,814 \cdot 327,5 \cdot 1,1 = 120,45 \text{ [MPa]}$$

$$421 \text{ [MPa]} \gg 120,45 \text{ [MPa]}$$

Por lo que se concluye que el tornillo sin fin de acero inoxidable, con una longitud de 300mm, de ½ pulgada de diámetro, no va a tener ninguna falla, y es la que será utilizada en la construcción de la máquina.

Ahora bien, debido a que es un tornillo sin fin, la carga está sobre los dientes; por lo que es necesario ver que los dientes sean capaces de sostener este peso.

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{F_1}{A_{\text{proy}}} \text{ (Norton, 2011, p. 82)}$$

En donde:

F_1 Es el peso de todo el sistema

A_{proy} Es la diferencia de áreas.

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{96.14 \text{ N}}{\pi * 25.4^2 - \pi * 22^2}$$

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = 0.027 \text{ Mpa}$$

Este valor se encuentra muy por debajo de la Resistencia a la fluencia: $S_y = 421 \text{ MPa}$; por lo que se puede concluir que no se va a tener problemas de diseño, debido al aplastamiento de los dientes.

3.4.15 Cálculo De Cargas Estáticas Del Tornillo X

3.4.15.1 Análisis de fuerzas en el eje X

El análisis que se realiza es un análisis estático, es decir que todas sus fuerzas estén en equilibrio estático con respecto al eje X. El punto O trabaja como un único para sostener el motor del eje Z y el sistema de marcación.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{\text{sistemamarcación}} + F_{\text{motorejeZ}} - F_1 = 0$$

$$9.81[N] + 7.848 [N] - F_1 = 0$$

$$F_1 = 9.81[N] + 7.848[N]$$

$$F_1 = 17.658[N]$$

La fuerza de compresión que debe resistir el elemento es de 17.685 [N].

El tornillo X no es considerado columna porque no se encuentra sometido a compresión como muestra la Figura 15; sin embargo, el análisis de cargas estáticas se realizará con un diámetro de 1/2 pulgada con el objetivo de uniformidad entre ambos tornillos.

3.4.15.2 Análisis de momentos a lo largo del eje X

Datos:

$$L = 850 [mm]$$

$$E = 200000 [MPa]$$

Momento generado por el peso del motor y el sistema de marcación

Por ser una estructura simétrica, la carga crítica ocurre en el centro del eje, es decir, a 425mm.

Torque generado por el motor:

$$T_{motor} = 0.88 [N m]$$

$$T_{motor} = 880 [N mm]$$

Fuerzas existentes en el eje:

$$F_{motorejez} = m_{motorejez} * g$$

$$F_{motorejez} = 0.8 [kg] * 9.81 [m/s^2]$$

$$F_{motorejez} = 7.848 [N]$$

$$F_{sistemamarcación} = m_{sistemamarcación} * g$$

$$F_{sistemamarcación} = 1 [kg] * 9.81 [m/s^2]$$

$$F_{sistemamarcación} = 9.81 [N]$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{sistemamarcación} + F_{motorejez} - F_1 = 0$$

$$9.81[N] + 7.848 [N] - F_1 = 0$$

$$F_1 = 9.81[N] + 7.848[N]$$

$$F_1 = 17.658[N]$$

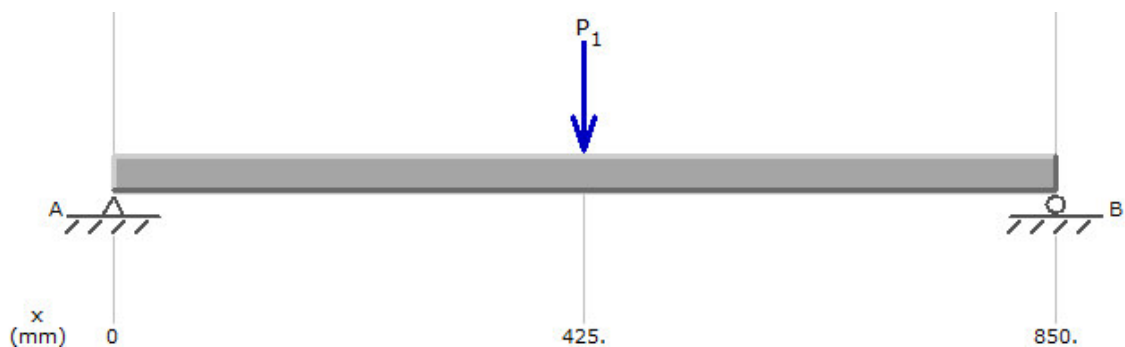


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre de los elementos del eje X



Figura 16. Diagrama de fuerzas de los elementos del eje X

Cálculo de momentos en el eje:

$$M_{\text{motorejez}} = 7.85 \text{ [N]} * 425 \text{ [mm]}$$

$$M_{\text{motorejez}} = 3336.25 \text{ [N mm]}$$

$$M_{\text{sistemamarcação}} = 9.81 \text{ [Kg]} * 425 \text{ [mm]}$$

$$M_{\text{sistemamarcação}} = 4169.25 \text{ [N mm]}$$

$$\sum M_x = M_{\text{motorejez}} + M_{\text{sistemamarcação}} - M_1$$

$$M_1 = M_{\text{motorejez}} + M_{\text{sistemamarcação}}$$

$$M_1 = 3336.25 \text{ [N mm]} + 4169.25 \text{ [N mm]}$$

$$M_1 = 7505.5 \text{ [N mm]}$$

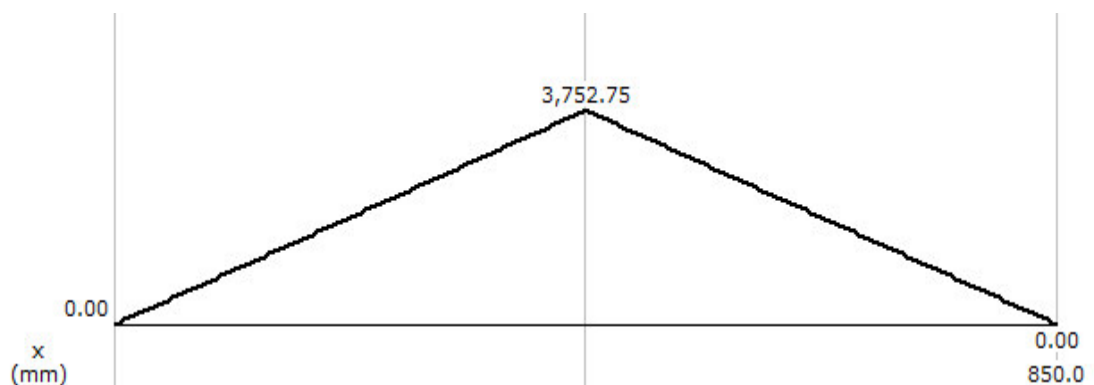


Figura 17. Diagrama de momentos de los elementos del eje X

$$\sigma_b = \frac{32 * M}{\pi * (D)^3} \text{ (Norton, 2011, p. 696)}$$

$$\sigma_b = \frac{32 * 7505.5}{\pi * (25.4)^3}$$

$$\sigma_b = 4.66 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_b = \frac{16 * T_{motor}}{\pi * (D)^3}$$

$$\tau_b = \frac{16 * 880}{\pi * (25.4)^3}$$

$$\tau_b = 0.27 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_b + 4 * \tau_b^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{4.66^2 + 4 * 0.27^2}$$

$$\sigma_{eq} = 4.69$$

$$S_y \gg \sigma_{eq}$$

$$421 \text{ [MPa]} \gg 4.69 \text{ [MPa]}$$

Como el valor de la resistencia a la fluencia es mucho mayor que el valor que se necesita, se puede asegurar que el diseño está correcto.

Adicionalmente, se verificará la deformación, que corresponde a la siguiente fórmula.

$$\varepsilon = \frac{F * L}{A * E} \text{ (Budynas \& Nisbett, 2008, p. 877)}$$

En donde F es la carga aplicada en cualquier instante, L es la longitud del tornillo, A es el área transversal y E es el módulo de elasticidad.

$$\varepsilon = \frac{17.66 * 850}{\pi * (12.7)^2 * 200000}$$

$$\varepsilon = \frac{17.66 * 850}{\pi * (12.7)^2 * 200000}$$

$$\varepsilon = 0.14 * 10^{-3} \text{ mm}$$

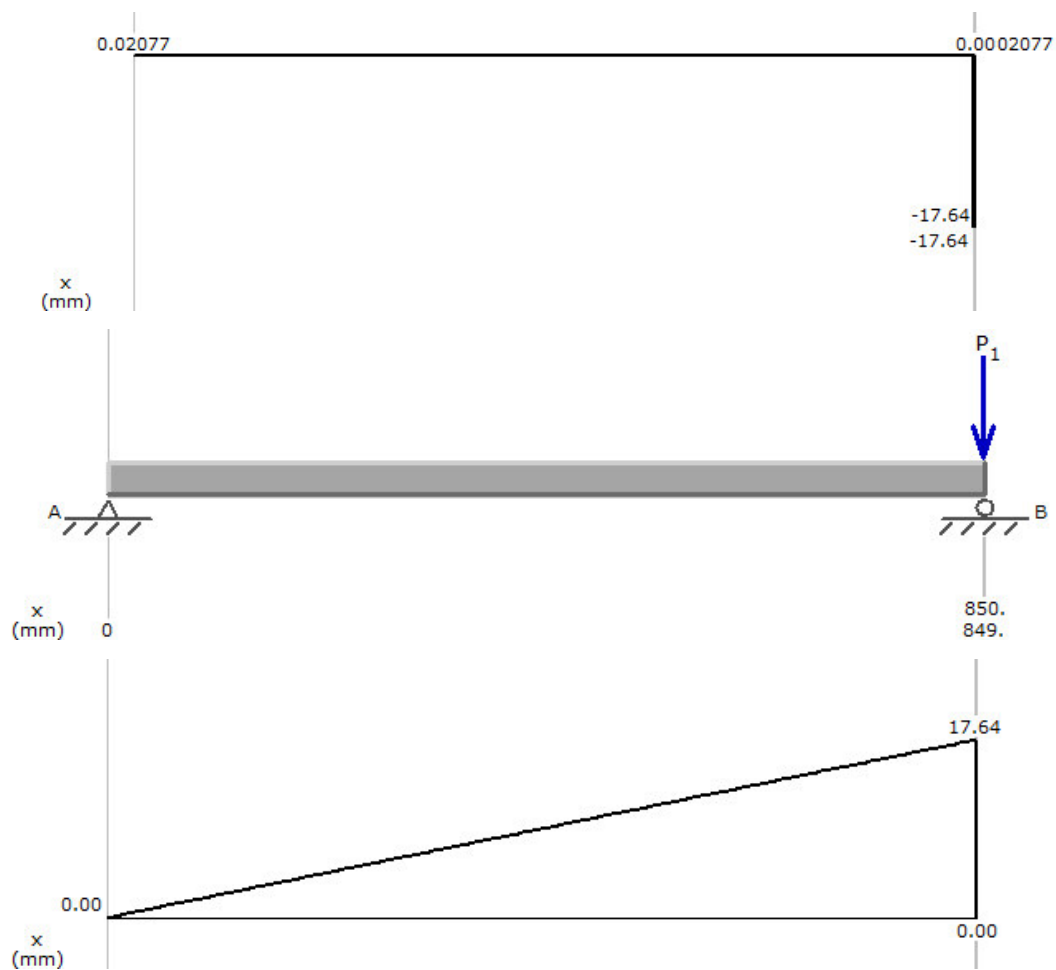


Figura 18 Diagramas en el punto final del eje X

Debido a que la deformación es muy pequeña, y no existen cargas externas, como viento o vibraciones, solo se analiza la viga longitudinal, que es donde se producen los mayores esfuerzos y deformaciones, y no los ejes guía verticales de la máquina.

3.4.16 Análisis a lo largo del eje Z

3.4.16.1 Análisis de esfuerzos

De acuerdo al diseño realizado para el eje X, utilizando el tornillo sin fin de $\frac{1}{2}$ pulgada, del mismo acero inoxidable, y a la vez sabiendo que el momento

para este tornillo es menor que para el anterior, y que el valor que cambia es la longitud del tornillo que no influye en el cálculo de resistencia a la fluencia; se puede afirmar que el diseño es el mismo, y el tornillo sin fin va a soportar sin problemas las cargas existentes, es por esta razón, que se omiten dichos cálculos, sin embargo, a continuación se muestran los diagramas obtenidos mediante el programa MDSolids.

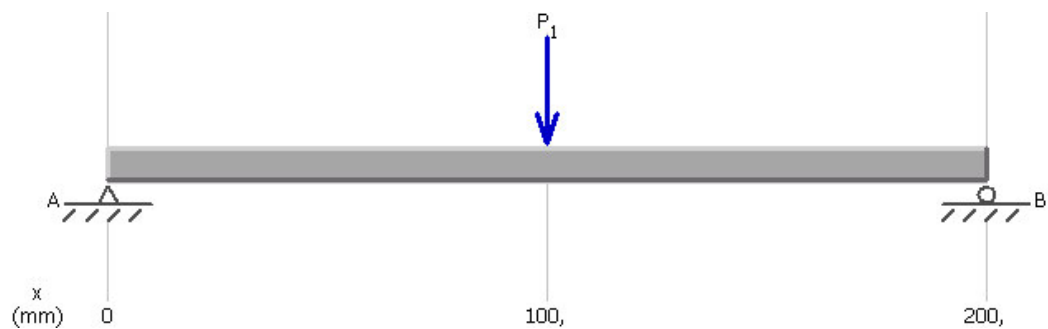


Figura 19 Diagrama de cuerpo libre de los elementos del eje Z

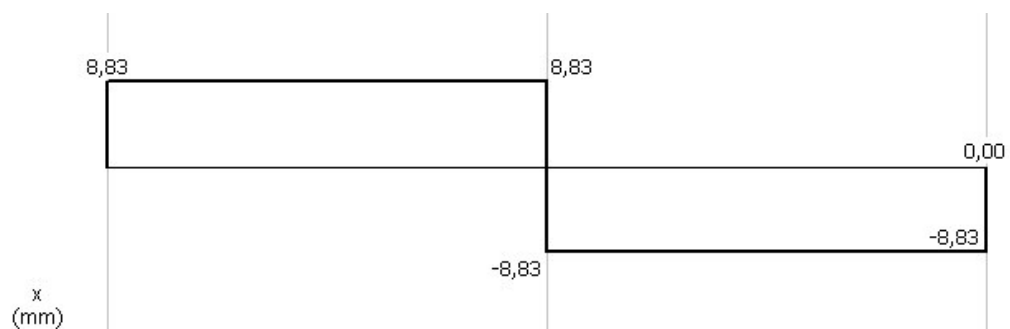


Figura 20 Diagrama de fuerzas de los elementos del eje Z

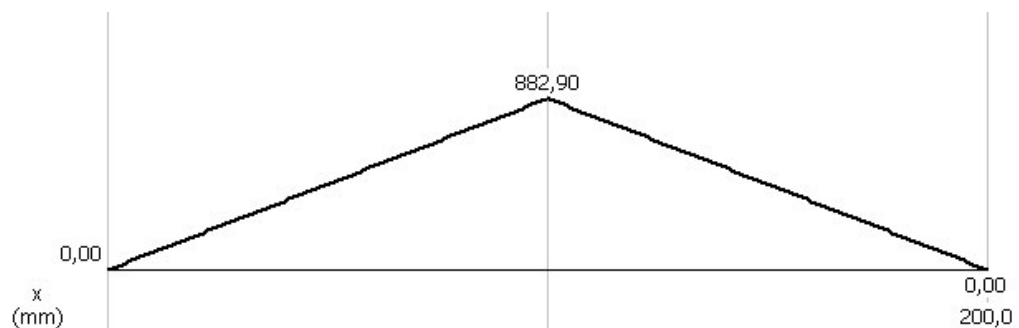


Figura 21 Diagrama de momentos de los elementos del eje Z

Para observar la parte mecánica de la máquina serigráfica, por favor dirigirse al anexo PLANO DE CONJUNTO MÁQUINA.

CAPÍTULO 4

DISEÑO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

Para este diseño se debe tener muy en cuenta que la temperatura ambiente de la máquina es de 35 °C, por lo que se debe colocar componentes que sean capaces de trabajar a esta temperatura, sin presentar problemas de funcionamiento, mucho más cuando se encuentre en el régimen de trabajo, y los componentes electrónicos aumenten su temperatura.

Cabe recalcar que la máquina realiza un proceso de 2 minutos cada 8 minutos, por lo que no se está exigiéndola a trabajar, y eso ayuda a que la vida útil de la máquina no se vea afectada.



Figura 22. Temperatura Ambiente de la máquina

4 Control De Motores

Para un control adecuado de los motores se requiere que un microprocesador que sea capaz de decidir sobre el momento en el que debe

entrar a funcionar cada motor, con qué sentido de giro, así como también sobre la velocidad a la que estos van a funcionar.

El circuito necesario para poder actuar sobre estas condiciones va a depender en gran parte del tipo de motor que se emplee, ya que existen diferentes circuitos electrónicos que actúan sobre estas condiciones. Para motores a pasos, existen controladores o también llamados “Drivers”, capaces de enviar los pulsos necesarios al motor para que este pueda dar los pasos precisos y en la dirección indicada.

4.1.1 Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre, que se basa en una placa con un microcontrolador Atmel AVR, esta placa permite realizar proyectos electrónicos de manera fácil y rápida, de esta manera ha permitido que Arduino sea usado tanto por personas con grandes conocimientos en la programación, así como por principiantes.

Dependiendo del modelo de arduino varían ciertas funcionalidades, tales como mayor o menor número de entradas/salidas, algunos con sensores integrados, botones, módulos de reconocimiento de voz, etc. El entorno de desarrollo de arduino se lo puede descargar gratuitamente, desde su página oficial; de acuerdo a la funcionalidad que se le vaya a dar se deberá elegir el tipo de arduino; la figura mostrada a continuación muestra algunos tipos de arduino según su modelo y características.

Modelo	Microcontrolador	Voltaje de entrada	Voltaje del sistema	Frecuencia de Reloj	Digital IO	Entradas Analógicas	PWM	UART	Memoria Flash	Cargador	Interfaz de Programación
Arduino Due	AT91SAM3X8E	5-12V	3.3V	84MHz	54	12	12	4	512kb	Due	Nativa USB
Arduino Leonardo	ATmega32U4	7-12V	5V	16MHz	20	12	7	1	32kb	Leonardo	Nativa USB
Arduino Uno - R3	ATmega328	7-12V	5V	16MHz	14	6	6	1	32kb	Optiboot	USB via ATmega16U2
RedBoard	ATmega328	7-15V	5V	16MHz	14	6	6	1	32kb	Optiboot	USB via FTDI
Arduino Uno SMD (descontinuado)	ATmega328	7-12V	5V	16MHz	14	6	6	1	32kb	Optiboot	USB via ATmega16U2
Arduino Uno (descontinuado)	ATmega328	7-12V	5V	16MHz	14	6	6	1	32kb	Optiboot	USB via ATmega16U2
Arduino Duemilanove (descontinuado)	ATmega328	7-12V	5V	16MHz	14	6	6	1	32kb	AtmegaBOOT	USB via FTDI
Arduino Bluetooth (descontinuado)	ATmega328	1,2-5,5V	5V	16MHz	14	6	6	1	32kb	AtmegaBOOT	Serial Bluetooth
Arduino Pro 3.3V 8MHz	ATmega328	3,35-12V	3,3V	8MHz	14	6	6	1	32kb	AtmegaBOOT	Cabecera compatible con FTDI
Arduino Pro 5V 16MHz	ATmega328	5-12V	5V	16MHz	14	6	6	1	32kb	AtmegaBOOT	Cabecera compatible con FTDI
Ethernet Pro (descontinuado)	ATmega328	7-12V	5V	16MHz	14	6	6	1	32kb	AtmegaBOOT	Cabecera compatible con FTDI
Arduino Mega 2560 R3	ATmega2560	7-12V	5V	16MHz	54	16	14	4	256kb	STK500v2	USB via ATmega16U2
Arduino Mega 2560 (descontinuado)	ATmega2560	7-12V	5V	16MHz	54	16	14	4	256kb	STK500v2	USB via ATmega16U2

Figura 23. Selección del arduino a utilizar

Fuente: (Filipeflop, 2015)

De esta tabla y de acuerdo a las necesidades de la máquina, será más útil el arduino mega 2560 R3 es el que se elegirá para realizar el control del sistema.

4.1.1.1 Arduino Mega

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega2560 (ficha técnica). Se lo puede observar en la figura 24. Tiene 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (hardware puertos serie), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP, y un botón de reinicio.

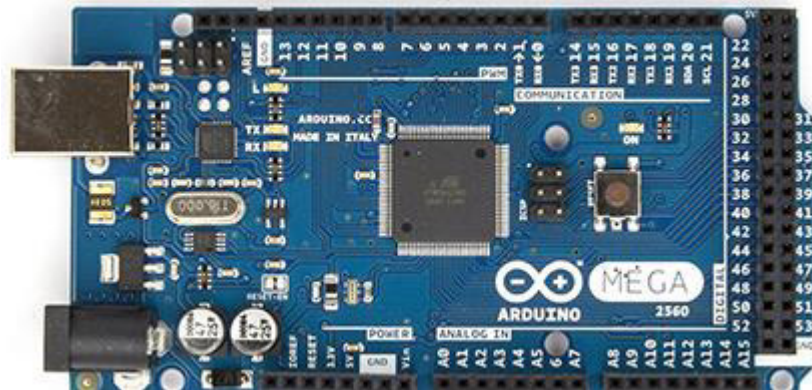


Figura 24. Ejemplo de arduino Mega

Fuente: (Hifiduino, 2012)

Entre las características principales de este modelo de arduino se tiene:

- *Microcontrolador* ATmega2560
- *Tensión de funcionamiento* 5V
- *Voltaje de entrada (recomendado)* 7-12V
- *Voltaje de entrada (límites)* 6-20V
- *Digital pines I/O* 54(de los cuales 15 proporcionan PWM)
- *Pines de entrada analógica* 16
- *Corriente DC por Pin I/O* 40 mA
- *Corriente DC de 3.3V Pin* 50 mA
- *Memoria Flash* 256KB ,8 KB gestor de arranque
- *RAM* 8 KB
- *EEPROM* 4 KB
- *Velocidad de reloj* 16 MHz

El Arduino Mega puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente. La tarjeta puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios; con menos de 7v la tarjeta puede ser inestable. Si se utiliza más de 12V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa.

Los pines de alimentación son como se indica a continuación:

- **VIN.** Voltaje de entrada a la placa Arduino cuando se utiliza una fuente de alimentación externa.
- **5V.** Este pin entrega una salida de 5V.

- **3.3v** Un suministro de 3,3 voltios generada por el regulador interno. La corriente máxima es de 50 mA.
- **GND.** conexión de tierra.
- **Instrucción IOREF.** Este pin de la placa Arduino proporciona la referencia de tensión con la que opera el microcontrolador en caso de que se necesite.

El Arduino Mega2560 tiene 16 entradas analógicas que proporcionan 10 bits de resolución cada uno. Así que utilizan como referencia 5v, pero pueden utilizar el pin AREF para un voltaje diferente. Se puede programar con el software de Arduino que tiene el mismo nombre y su programación es en C, el software es gratuito.

El Arduino Mega tiene un poli fusible reseteable que protege los puertos USB del ordenador de cortocircuitos y sobre corriente. Aunque la mayoría de los ordenadores proporcionan su protección interna, el fusible proporciona una capa adicional de protección. Si hay más de 500 mA que se aplica al puerto USB, el fusible romperá automáticamente la conexión hasta que se corte o se elimine la sobrecarga.

Las funciones que interesan se muestran en la hoja de datos del microcontrolador ATmega2560.

A continuación, se muestra las conexiones del arduino mega y sus funcionalidades.

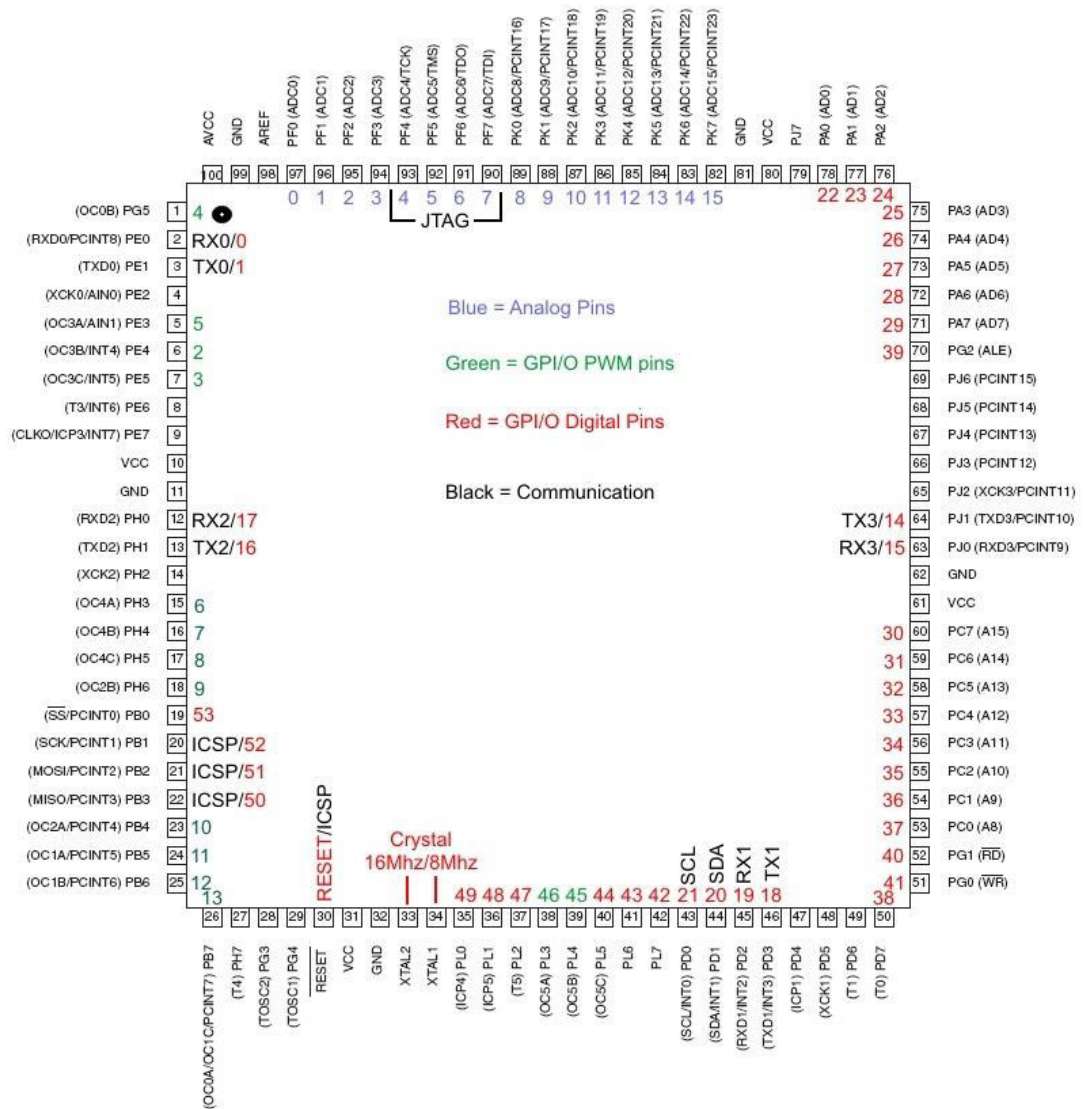


Figura 25. Pines ATmega 2560

Fuente: (Divilabs, 2015)

En cuanto a la temperatura de operación del arduino, no existe una especificación técnica de la tarjeta completa, lo que si se conoce es que el microcontrolador tiene un rango de -40 °C a 85 °C; además se sabe que la tarjeta funciona sin problema en ambientes calientes, como es Tailandia, en donde su temperatura rodea los 30 °C, sin embargo, se probó un arduino cargado con un programa dentro de la planta durante 15 días en el que no presentó problemas.

4.1.2 Sistemas de Comunicación

El Arduino Mega tiene integrado pines de comunicación para poder transmitir datos con otro microcontrolador, posee pines de Tx y Rx para comunicación serial, puede utilizar comunicación I2C y también comunicación SPI adicionalmente de otras como one wire, pero para estas se debe descargar las librerías adecuadas.

4.1.2.1 Comunicación Serial

Para la explicación se va a basar en el concepto dado por NATIONAL INSTRUMENTS (INSTRUMENTS, 2014) en el cual indica lo siguiente: La comunicación serial es un protocolo que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora, anteriormente la mayoría de computadores poseían puertos RS232, la comunicación serial es muy utilizada para la adquisición de datos y para equipos remotos de muestreo.

Dentro de la comunicación serial esta la comunicación RS-232, recibe este nombre debido a su conector de 25 y más comúnmente de 9 pines denominado DB-9.

El conector DB-9 mostrado en la figura 26 da un ejemplo de las conexiones usadas en el mismo.

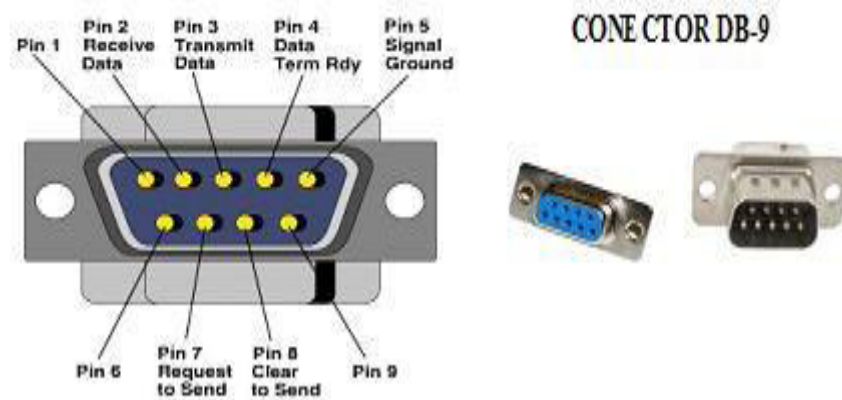


Figura 26. Ejemplo de un conector BD9 para comunicación serial

Fuente: (Fundamentos del Hardware , 2013)

El arduino Uno tiene un conversor serial a USB lo que permite evitar el uso del conector DB-9 como medio de comunicación entre el microcontrolador el computador, teniendo integrado lo que se muestra a continuación. Esto se observa en la figura 27

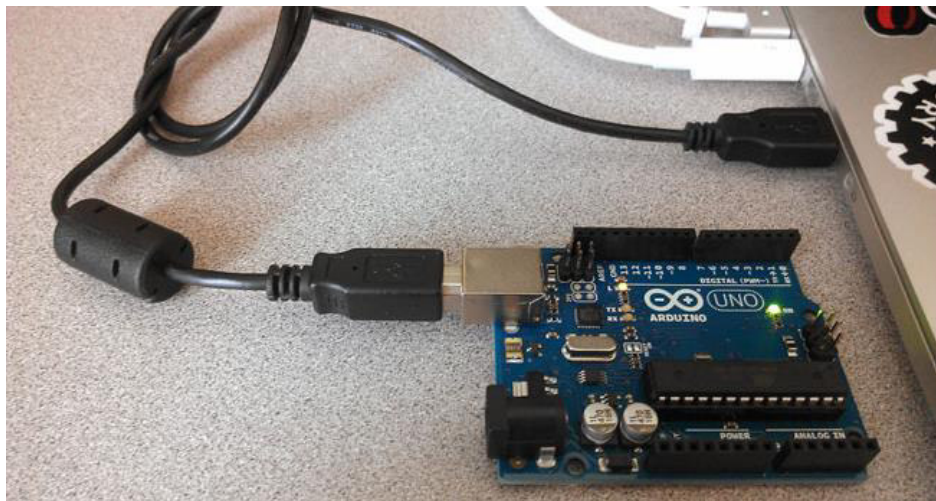


Figura 27. Comunicación serial mediante el arduino

4.1.3 Motores a pasos

Los motores paso a paso son ideales en todas aquellas aplicaciones donde se necesita de fuerza al mismo tiempo que precisión. Este motor tiene una fuerza de 190 oz/pulgada (14Kg/cm) con un diámetro de eje de 6.35mm (1/4") y en formato NEMA 23.

Es un motor unipolar por lo que para conectarlo a un controlador bipolar, se ha ignorado los cables amarillo y blanco sin tener problemas. La corriente que ocupa es de 2A por fase por lo tanto se necesita una fuente y un controlador potente, y a la vez una correcta ventilación

Características:

- Ángulo de paso: 1,8 grados
- Pasos: 200/vuelta
- Fases: 4
- Voltaje: 4.5V
- Corriente: 2A/fase
- Diámetro de eje: 6.35mm
- Holding Torque: 14Kb/cm
- Formato: NEMA 23

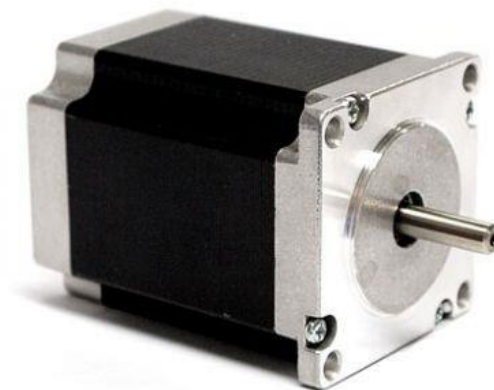


Figura 28 Motores a pasos

Fuente: (Rcscomponents, 2015)

4.1.3.1 Datos del sistema de movimiento

El movimiento lineal en los ejes se lo logra gracias a los tornillos sin fin o varillas roscadas que se encuentran acopladas a los ejes de cada motor.

El paso de este tornillo sinfín es de 1,75 mm, con este dato se realizan las relaciones para el movimiento lineal junto con la resolución del motor a pasos.

Al tener 1.8 μ paso sabemos que en 200 pasos habrá completado una revolución.

Con el dato anterior se obtiene que:

$$\frac{200 \text{ pasos}}{1,75 \text{ mm}} = 114,28 \frac{\text{pasos}}{\text{mm}}$$

La cual viene siendo la resolución de la máquina, lo que significa que para moverse 1mm longitudinalmente, el controlador envía la orden al motor que se mueva 114.28 pasos, este es uno de los parámetros que se toma en cuenta al momento de la programación.

4.1.4 Controlador para los tres motores a pasos.

El driver que se utiliza es el HY-DIV268N-5A, por ser 3 motores a pasos, necesitamos 3 de estos drivers, uno de ellos se muestra en la figura 29, debido a su gran versatilidad y resistencia, como la máquina requiere un trabajo continuo durante las 24 horas y 365 días del año, con lapsos de funcionamiento de 8 minutos, y detenciones únicamente para mantenimiento, o si el jefe de producción así lo requiera, es necesario garantizar este trabajo arduo, todas estas especificaciones del cliente hacen a este driver óptimo para este proyecto.



Figura 29. Controlador HY-DIV268N-5A

Fuente: (Rsccomponents, 2015)

Otras características del controlador se describen a continuación.

- Alto rendimiento, rentable.
- Reducción automática de inactividad de corriente.
- Tensión de alimentación de hasta 50 V DC
- Corriente de salida hasta 5.0 A.
- Adecuado para motores de 2 fases y también de 4 fases.
- Entrada de señal de aislamiento optoelectrónico de alta velocidad.
- Apto para usos con PWM que garantizan vibración baja y alta eficiencia.
- Temperatura de operación de -10 a 45 °C ; Temperatura de saturación -40 °C a 70 °C; por lo que es el componente más apto para este proyecto
- Control de micro pasos ajustable de 1, 1/2, 1/4, 1/8 y hasta 1/16, esto significa que funcionan con mayor precisión y sin problemas, los

ajustes se realizan mediante Dip switch como se muestra en la figura 30, y la maneja de hacerlo se muestra en la parte superior del controlador.



Figura 30. Seteo del Controlador

Fuente: (Thanksbuyer, 2014)

- Protección para Sobrecarga, sobrecorriente, sobrecalentamiento, sobretensión y de bajo voltaje para evitar daños en el ordenador y los dispositivos.
- Refrigeración de aluminio Caja diseñada para refrigeración, y para proteger la tarjeta controlador de un posible daño por la suciedad, el polvo u otros líquidos.
- Aplicaciones:
- Para tallar retratos, paisajes, escritura a mano, sellado, etc.
- Apto para cualquier equipo automático de pequeño y mediano con control CNC, tales como mesas de XYZ, máquinas etiquetadoras, cortadoras láser, máquinas de grabado, etc.

Para la conexión de este controlador a los motores a pasos, y a la tarjeta, se emplea la siguiente configuración mostrada en la figura 31.

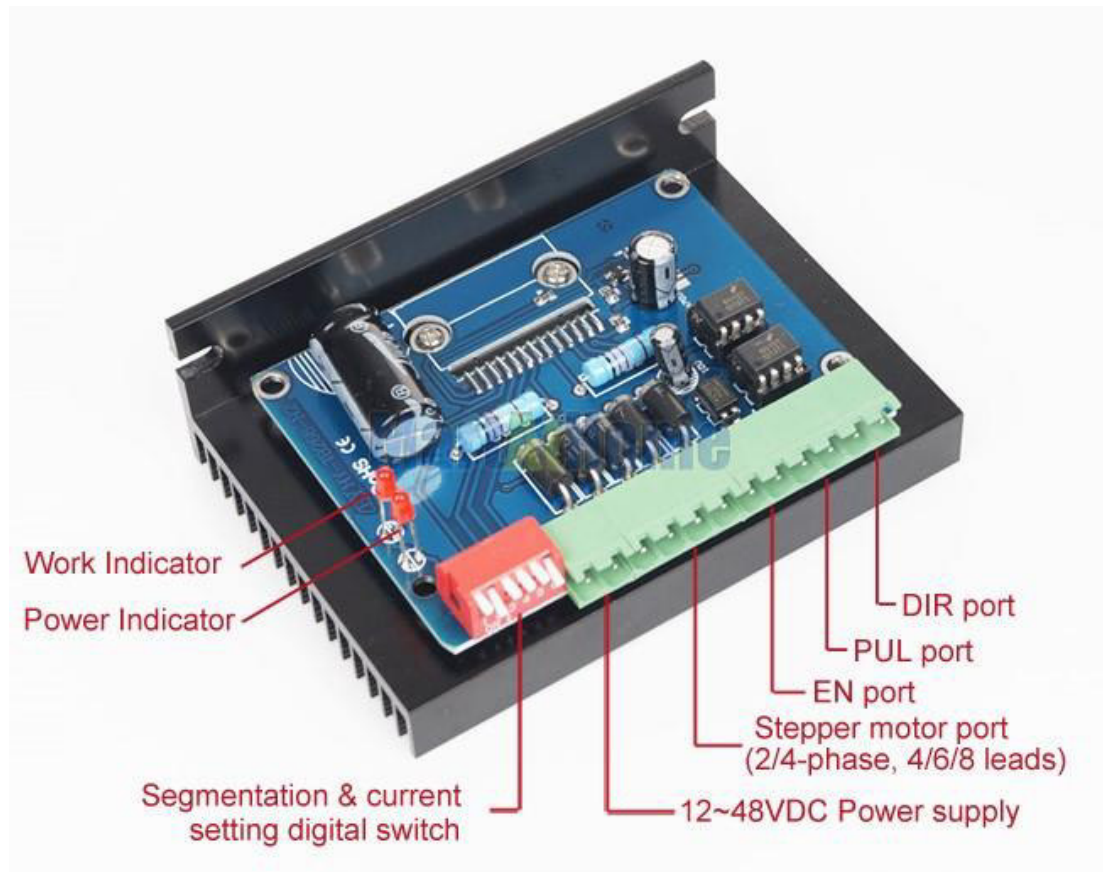


Figura 31 Configuración para conexión a los motores y placa

Fuente: (dhgate, 2014)

- *DIR port*: es el puerto en donde se especifica la dirección de giro del motor a pasos
- *PUL port*: es el puerto en donde se especifican los pulsos que da el motor a pasos
- *EN port*: es el puerto en donde se especifica en Enable del driver, es decir, el momento en el que va a estar habilitado.
- *Stepper motor port*: es el puerto en donde se conectan los cables del motor a pasos, en este caso se conectan 4 cables, por lo que se trabaja el motor como bipolar.

- *12-48VDC Power Supply*: es el puerto para energización del driver.

4.1.5 Implementación de motores a pasos.

4.1.5.1 Conexión del motor a pasos NEMA 23 a su controlador (driver).

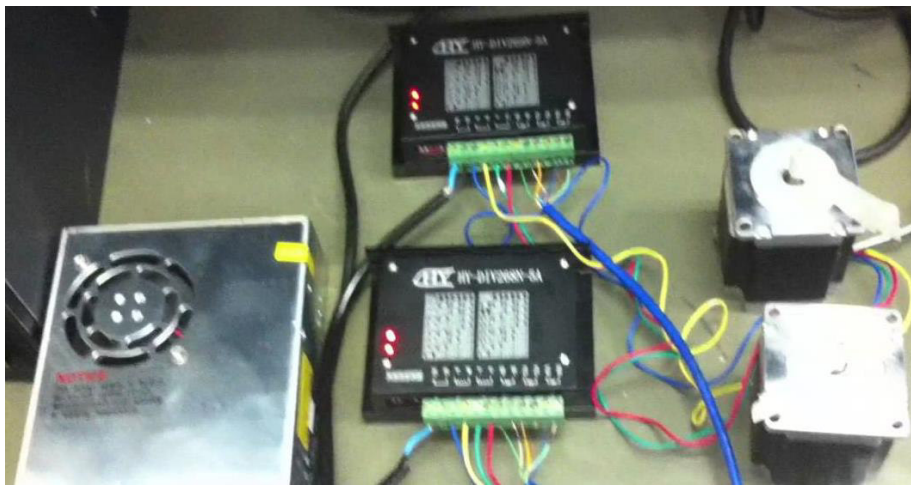


Figura 32 Motor NEMA 23 a su controlador (driver).

- *Terminal GND*: cátodo de alimentación de corriente continua.
- *Terminal +20 to 50 VDC*: alimentación de corriente continua polo positivo; $20 \leq VCC \leq 50V$.
- *Terminal U*: conexión a fase U del motor, cables de color blanco y amarillo.
- *Terminal V*: conexión a fase V del motor, cables de color negro y verde.
- *Terminal W*: conexión a fase W del motor, cables de color rojo y azul.
- *Terminal PUL+*: pulso de entrada 4V-5V, flanco ascendente.
- *Terminal PUL-*: pulso de entrada 0V-0.5V, flanco descendente.
- *Terminal DIR+*: entrada de dirección del motor a pasos, dirección en sentido horario.

- *Terminal DIR-*: entrada de dirección del motor a pasos, dirección en sentido anti horario.
- *Terminal ENA+*: habilita el motor con flanco ascendente.
- *Terminal ENA-*: deshabilita el motor con flanco descendente.

4.1.6 Implementación del actuador para el sistema de marcación

Para el sistema de marcación es necesario la conexión de un pequeño motor eléctrico DC de 5V que se conoce como "servo" o "actuador", que se utiliza comúnmente como actuador en los seguros eléctricos de cualquier auto.

El movimiento lineal que dicho actuador realiza es ideal para el proceso de marcación.

Este actuador se controla mediante PWM, para evitar la salida muy brusca o muy rápida del marcador.

Estos actuadores vienen con una "escalerilla" metálica, una varilla y un acoplador mecánico u "horcador", que son los accesorios del mismo para lograr la adaptación a seguros eléctricos. Se debe montar el "servo" o actuador de tal manera que el movimiento de su varilla quede alineado con el movimiento de la varilla del sistema de marcación.



Figura 33. Motor DC con actuación lineal.

Fuente: (pinoshop, 2015)

4.1.7 Implementación de sistema de marcación

Para la marcación de tinta se ha implementado un sistema capaz de montar y desmontar la pantalla, con esto se logra uno de los requerimientos de la empresa que es el de flexibilidad de intercambiar el logo, estas pantallas ya vienen siempre del mismo tamaño y con el logo en la misma posición, por lo que no es necesario calibrar la máquina en sí, sino más bien únicamente colocar la pantalla correctamente.

Debido a esta flexibilidad de cambiar de pantalla, es necesario que la máquina se adapte al tipo de tinta que se le va a colocar, estas tintas tienen colores y viscosidades variables, que muchas veces dependen de la materia prima con la que se realiza la tinta ya que es de producción local, también puede variar por temperatura o agitación; por estas razones se ha colocado un regulador de caudal para el ingreso de tinta a la pantalla y a su sistema de barrido.

4.1.7.1 Pantalla Serigráfica

La pantalla constituye la esencia de la impresión serigráfica, viene de dos términos que son: sericum (seda, en latín) graphe (escribir, en griego), serigrafía quiere decir, escritura mediante la seda, ya que como componente original únicamente se utilizaba seda, pero actualmente, se ha reemplazado por diversos tejidos sintéticos siendo el más utilizado el poliéster.

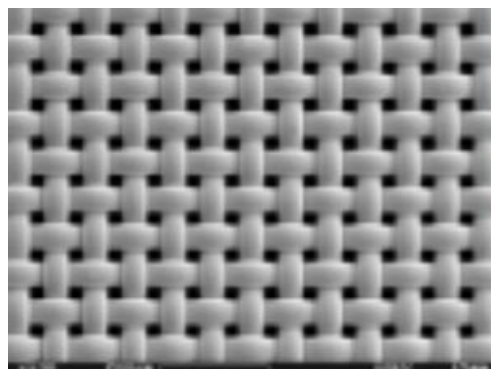


Figura 34 Estructura de la malla Serigráfica

Fuente: (ainos, 2011)

Dichas mallas tienen una numeración, la cual depende de la cantidad de hilos que hay en un centímetro lineal de malla.

La numeración de las mallas para uso serigráfico comprende entre 10 hilos/cm hasta 200 hilos/cm. A continuación se exponen en una tabla los hilados más frecuentes.

Tabla 9.
Numeración de las mallas

HILOS/CM	ABERTURA DE MALLA	DIAMETRO DEL HILO	SUPERFICIE LIBRE	ESPESOR DE LA TELA	PASO TEORICO DE TINTA
cm.	μm	μm	%	μm	cm^3/m^2
32	212	100	46	145-155	69
47	147	80	40.8	78-132	53
54	115	64	38.5	95-105	38.9
61	75	45	36	65-74	36.5
77	75	45	36	65-74	27.7
90	56	48	25	77-85	23.5
100	58	40	33	62-71	21.3
120	45	34	30.5	52-57	18.4
140Y	31	34	19.5	56-62	14.4

Fuente: (ainos, 2011)

En donde :

- Abertura de la malla: Distancia entre dos hilos.
- Diámetro del hilo: Distancia entre un extremo de la circunferencia del hilo hasta el otro, esta recta debe pasar por el centro de la circunferencia.
- Superficie libre: Porcentaje del área de la malla que NO está cubierta por la tela.
- Espesor de la tela: Distancia entre una cara de la malla a la otra.
- Paso teórico de tinta: Cantidad de tinta (en centímetros cúbicos; que pasa por la malla en un metro cuadrado de esta.

De acuerdo a las recomendaciones y usos de las mallas serigráficas, para cerámicas, se pueden utilizar mallas desde 80 hasta 140 hilos/cm; Edesa, ha encontrado excelentes resultados para la aplicación utilizando

mallas de 90 hilos/cm, razón por la que se utilizará la misma malla para las pruebas de funcionamiento.

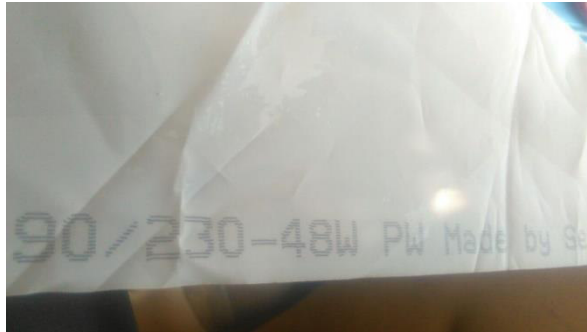


Figura 35 Malla serigráfica – Numeración

4.1.7.2 Marco de Serigrafía

En cuanto al marco de serigrafía, el cual corresponde a una estructura de cuatro lados cuya función es sostener la pantalla fuertemente tensada y resistir la deformación mecánica durante el proceso de impresión, se utilizan marcos de madera, los cuales son muy prácticos, económicos, fácil de tensar o elaborar y muy liviano con relación a cualquier metal; se tiene en cuenta que a pesar de ser muy económicos, son menos duraderos, pero también se conoce que por la naturaleza de las letras que no duran mucho tiempo con la calidad necesaria en la malla serigráfica debido al desgaste, es necesario cambiar la pantalla completa cada 30 días; tiempo en que se mantiene intacto el marco de serigrafía sin problemas.

4.1.7.3 Tinta Serigráfica

La tinta es de fabricación local (Edesa), que tiene una composición química que brinda excelente adherencia físico-química sobre materiales absorbentes y no absorbentes, de alta resistencia a choques térmicos, es decir que es resistente al calor del horno (1200 °C), en el cual se funde junto con el esmalte, y con un tiempo de secado de 10 segundos, lo cual es bastante corto en el proceso.

El laboratorio técnico de Edesa recibe la materia prima y se encarga de preparar la tinta después de realizar ensayos en los que control de calidad aprueba su utilización.

Entre los ensayos que realiza, se revisa que la tinta no sea muy difícil para trabajar, ya que una composición incorrecta produce que se tape rápidamente la pantalla, y con esto, aumentar los problemas de manipulación y control del flujo de tinta.

Datos técnicos o composición de la tinta, no fue posible obtener, debido a políticas de la empresa, pero se indicó que la viscosidad de la tinta depende de la cantidad de glicerina que se le pone al compuesto.

4.1.7.4 Sistema de barrido

Es un pequeño sistema para que la tinta recorra toda la pantalla y se produzca el serigrafiado, como se lo puede ver en la figura 34, cuenta con un caucho presionador que se encarga de recorrer la pantalla impregnando el logo al otro lado, la presión que emplea este caucho a la pantalla es regulable.

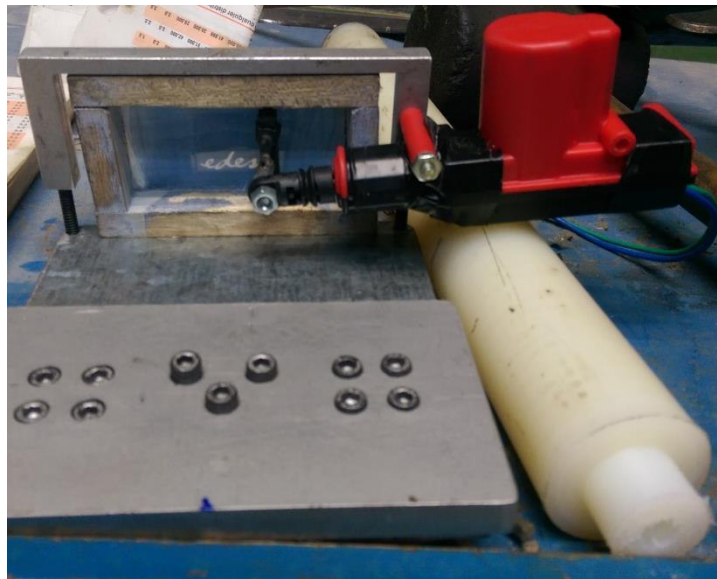


Figura 36 Sistema de Barrido

4.1.7.5 Sistema de Ingreso de tinta

Se ha implementado un sistema de agitado para que la tinta no tienda a secarse debido a la temperatura ambiente, la tinta ingresa por gravedad hacia la pantalla, y la dosificación de tinta es regulable manualmente, ya que no siempre se tiene la misma tinta, sino que puede variar su viscosidad, la variación de la viscosidad de la tinta puede depender de factores como temperatura, agitación, cambio de materia prima, o color a ser marcado.



Figura 37 Cilindro de tinta

4.1.8 Método de Control

La máquina es automática, por lo que no necesita ningún tipo de control externo, con excepción de la selección de modo para la puesta en marcha, además está diseñada para ser capaz de trabajar las 24 horas del día, durante los 365 días del año, con una gran precisión.

4.1.9 Programa de Control

De acuerdo al diagrama de flujo para el control del equipo se tienen los siguientes procesos:

1. Encendido del equipo, la pantalla muestra la bienvenida
2. Configuración de altura y número de tanques a marcar, mediante pulsadores.
3. Puesta en marcha modo automático.
4. Control de los motores, una vez inicia el ciclo, se generan los pulsos a cada motor, de acuerdo a la secuencia indicada.
5. Lectura de los diferentes sensores, para ubicación correcta de la marcación, y repeticiones de ciclo.

El esquema de control del microprocesador arduino mega, va a ser de la siguiente manera:

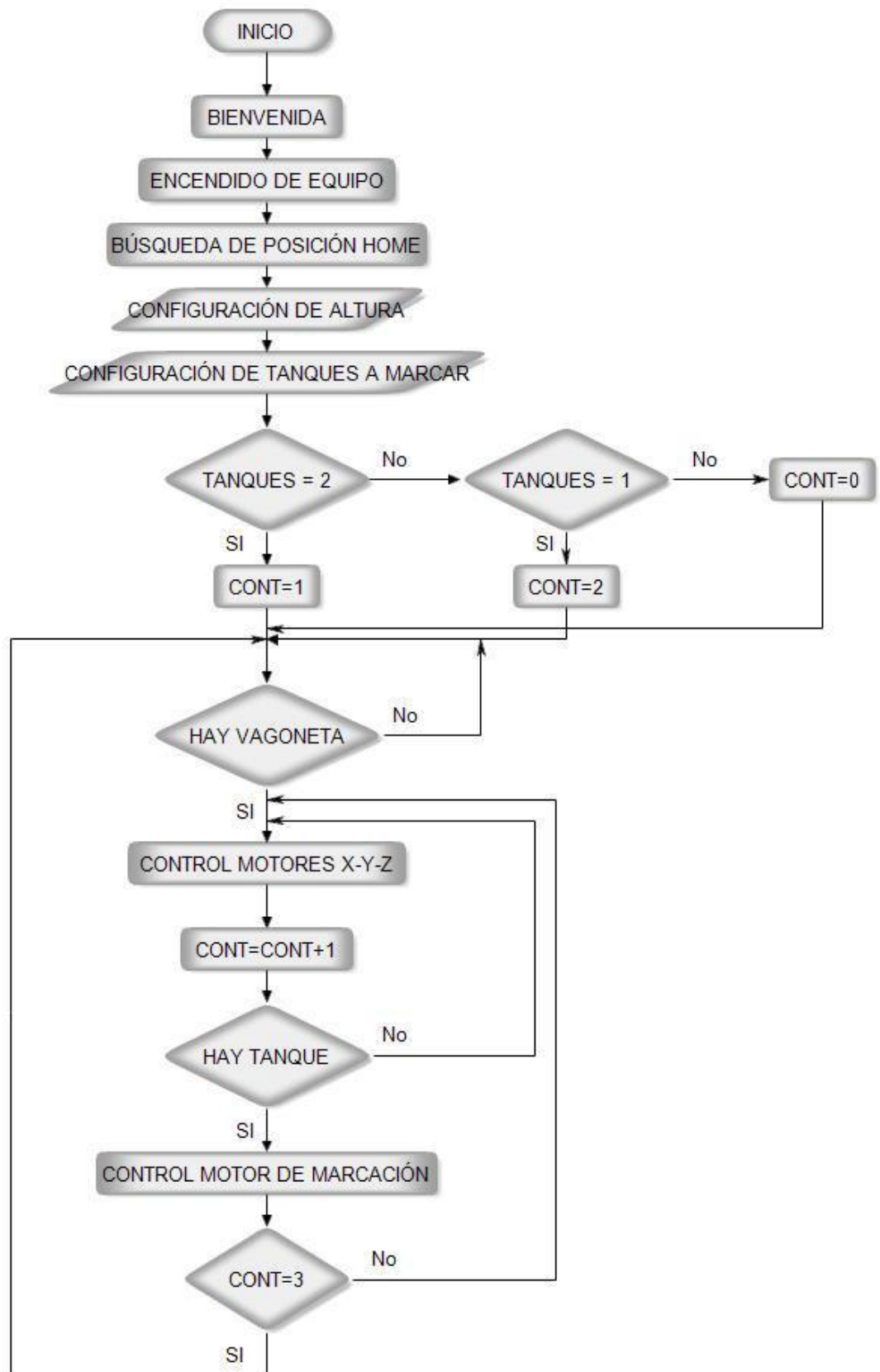


Figura 38 Esquema de Control del microprocesador

4.1.10 Visualización en LCD

"Una pantalla de cristal líquido o LCD (sigla del inglés liquid crystal display) es una pantalla delgada y plana formada por un número determinado de píxeles en color o monocromos, colocados delante de una fuente de luz o reflectora." (Wikipedia, 2015) En electrónica una pantalla muy comúnmente utilizada es la pantalla LCD 16X2, la cual como su nombre lo indica, posee 16 columnas y 2 filas. En cada celda de esta matriz se puede presentar un carácter de los establecidos en los Caracteres ASCII, debido a la aplicación, esta pantalla es suficiente para la máquina.

En la figura 37 se observa el número de pines que poseen este tipo de pantallas LCD, y cuáles son los pines que deben conectarse al microprocesador. La información de los pines de la pantalla LCD se resume en la tabla 9.

La temperatura de operación es de 0 a 40 °C y la de saturación es de -20°C a 60°C

El esquema de conexión para una pantalla LCD es la siguiente.

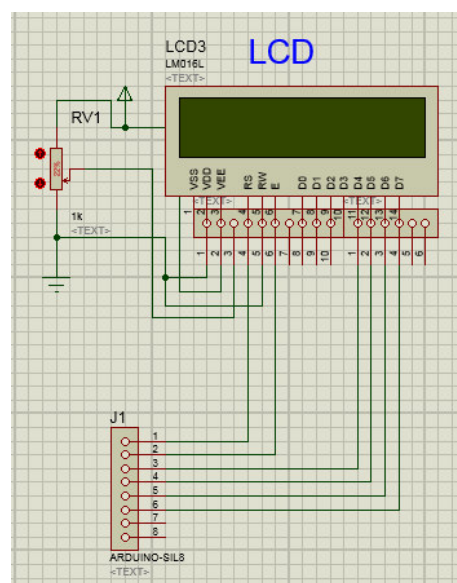


Figura 39. Esquema de Conexión Pantalla LCD

Tabla 10.
Pines Pantalla LCD

Pines	Nombre	Significado	Conexión
1	Vss	GND, Tierra	Se conecta a tierra GND
2	Vdd	V+ Voltaje de alimentación	Se conecta a Voltaje 5V
3	Vee	Determina el contraste de la pantalla	Se conecta a un voltaje 0-5 V
4	RS	Selección del Registro	Señal del microprocesador
5	RW	Permite la lectura o escritura de datos	Se conecta a tierra GND
6	En	Enable	Señal del microprocesador
7	D0	Data 0, Se utiliza solo en 16 bits	Se conecta a tierra GND
8	D1	Data 1, Se utiliza solo en 16 bits	Se conecta a tierra GND
9	D2	Data 2, Se utiliza solo en 16 bits	Se conecta a tierra GND
10	D3	Data 3, Se utiliza solo en 16 bits	Se conecta a tierra GND
11	D4	Data 4, Bus de datos	Señal del microprocesador
12	D5	Data 5, Bus de datos	Señal del microprocesador
13	D6	Data 6, Bus de datos	Señal del microprocesador
14	D7	Data 7, Bus de datos	Señal del microprocesador
15	Led +	Terminal Positivo Led de luz de fondo	Se conecta a Voltaje 5V
16	Led -	Terminal Negativo Led de luz de fondo	Se conecta tierra GND

Como se observa en la tabla 9, la pantalla LCD requiere la conexión de 6 de sus terminales a salidas digitales del microprocesador, para su funcionamiento adecuado. Mientras que las demás señales se pueden conectar desde una fuente externa.

La opción más eficiente para conocer el estado del equipo, es el empleo de una pantalla LCD, la cual muestre al usuario toda la información que necesita conocer al momento. Esta información se detalla a continuación.

1. Bienvenida

Muestra en la pantalla la empresa en la que va a trabajar la máquina y posteriormente, un mensaje de bienvenida



Figura 40 Pantalla de Bienvenida

2. Ubicación de los ejes en la posición inicial



Figura 41 Pantalla de Ubicación de los ejes

3. Selección de número de tanques a marcar

En este punto, se puede seleccionar mediante pulsadores, si se desea marcar 2 o 3 tanques, según requerimientos de producción.



Figura 42 Pantalla de Selección de número de tanques

4. Selección de nivel de altura

En este punto, se pueden seleccionar 5 diferentes alturas para realizar el marcado, esto es requerimiento del cliente, dependiendo del tipo de producción y modelo de tanque que está haciendo.



Figura 43 Pantalla de selección de altura

5. Subiendo a la altura indicada

Inicia el ciclo automático, empezando a ubicar el eje Y en la posición seleccionada.



Figura 44 Pantalla de Información de altura

6. Esperando vagoneta

Punto en el que espera la ubicación de la Vagoneta que transporta los tanques y los ubica en la posición correcta, esto se detecta mediante fines de carrera.



Figura 45 Pantalla Esperando

7. Marcando Tanques

Indica que los tanques ya se encuentran en proceso de marcación



Figura 46 Pantalla de información de Mercado

4.1.11 CIRCUITO FINAL

Una vez que se han establecido todos los elementos eléctricos, electrónicos y de control del equipo, teniendo en cuenta el ambiente de trabajo en donde se encuentra, es necesario que todos estos elementos se agrupen en un solo sistema completo para el equipo. El primer paso para esto consiste en realizar todas las conexiones necesarias para el funcionamiento del arduino, sensores, puente H para el sistema de marcado, etc.

Por este motivo se van a realizar todas las conexiones necesarias en el software Isis de Proteus 8, el cual permite realizar dichas conexiones de forma ordenada y comprobar que todas las conexiones se realicen correctamente.

La primera conexión a realizarse es la energización de todo el sistema, incluidos motores a paso y por supuesto el Arduino Mega, como se tiene una fuente propia que transforma 110v a.c en 24v d.c, partimos desde este punto.

Se tiene un puente de diodos, además de capacitores con la finalidad de eliminar ruido y evitar el daño de la tarjeta por una conexión equivocada.

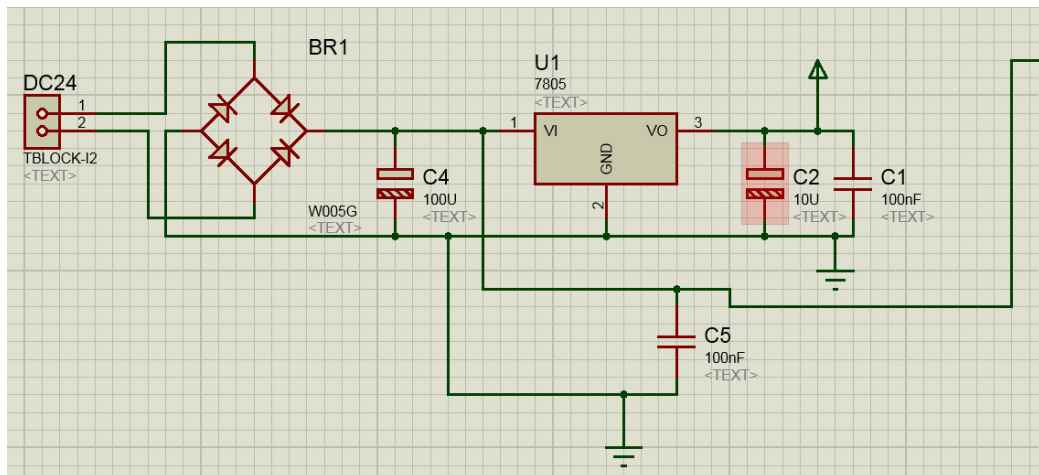


Figura 47. Esquema Isis Conexión de Alimentación

Luego se realiza la conexión del puente H para el control del motor Dc, que se utiliza para la marcación; Esto se ve en la figura 46.

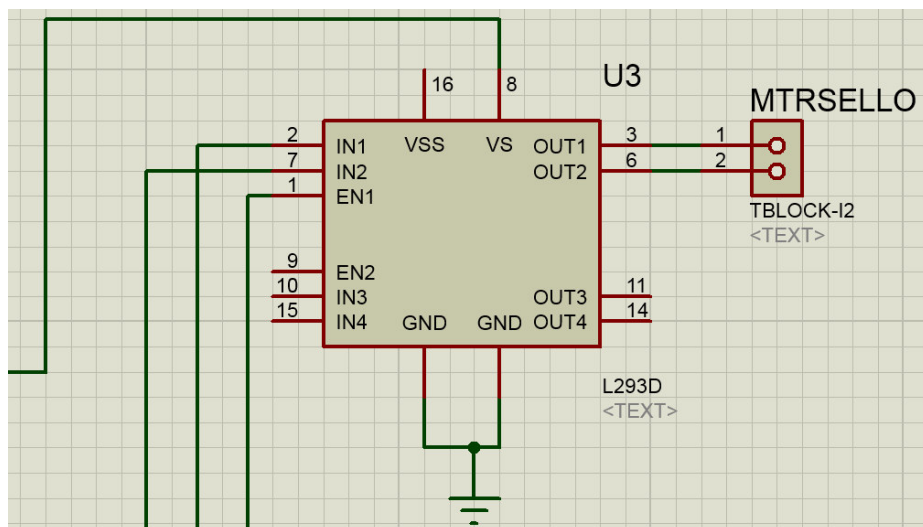


Figura 48. Esquema Isis Puente H

En la figura 47 se muestra la conexión entre el arduino y los motores a pasos

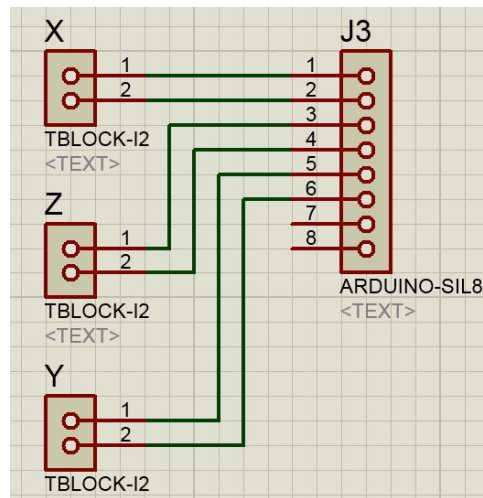


Figura 49. Conexión entre arduino y motores a pasos

El esquema de conexión entre los pulsadores y el Arduino, se muestra en la figura 48

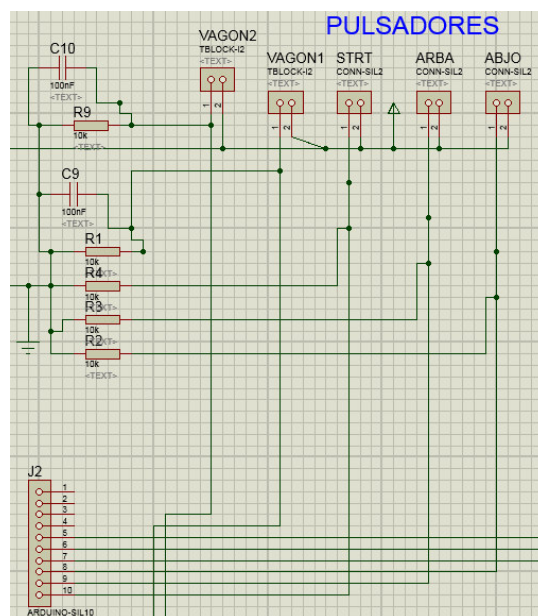


Figura 50. Conexión entre arduino y pulsadores

El esquema de conexión entre los finales de carrera y el Arduino, se muestra en la figura 49

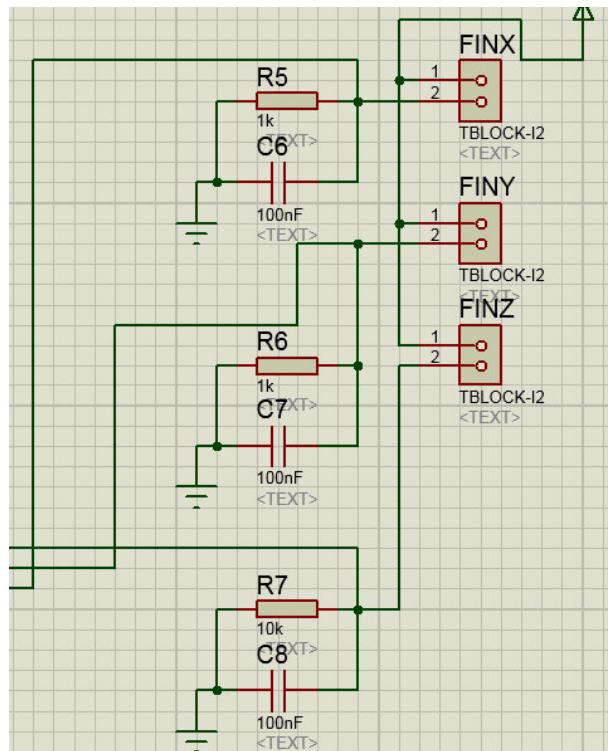


Figura 51. Conexión entre arduino y finales de carrera

Finalmente, en la figura 50 se muestra el esquema completo de la conexión necesaria para el funcionamiento de la máquina; todas las conexiones van a espadines, debido a que la placa que se hizo, se acopla al arduino mega, es decir, es un shield propio que se diseñó para la aplicación.

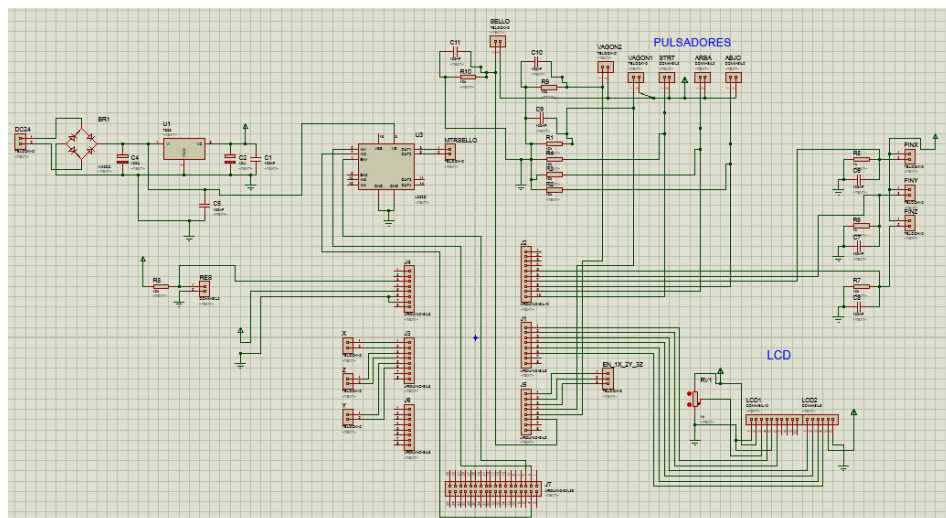


Figura 52. Esquema Isis Total

Una vez que todas las conexiones necesarias se han realizado y verificado, se procede a enviar este archivo al software ARES también de Proteus 8 el cual va a permitir realizar una placa PCB, con los elementos y conexiones que se enviaron. Después de haber posicionados los elementos de acuerdo a las normas técnicas y ruteado las pistas necesarias se obtiene el circuito final listo para ser impreso.

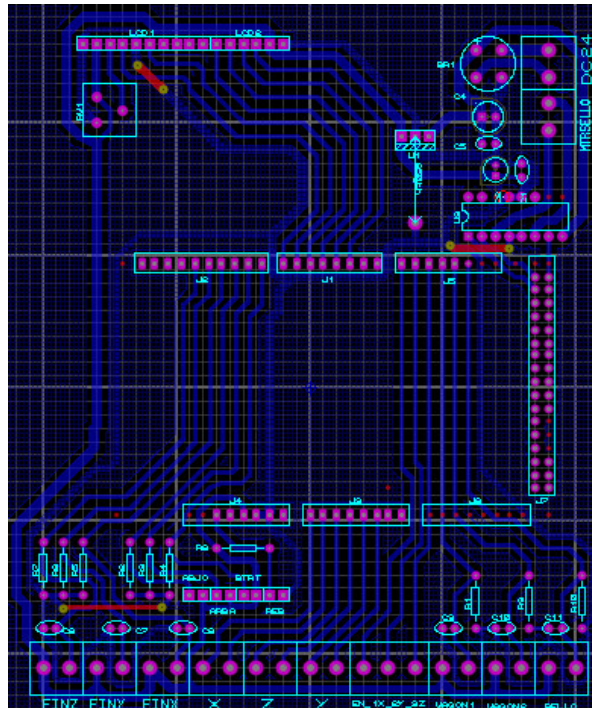


Figura 53. Circuito Placa Total Ares

La placa final diseñada se puede apreciar en la figura 51. Y su respectiva simulación en la figura 52.

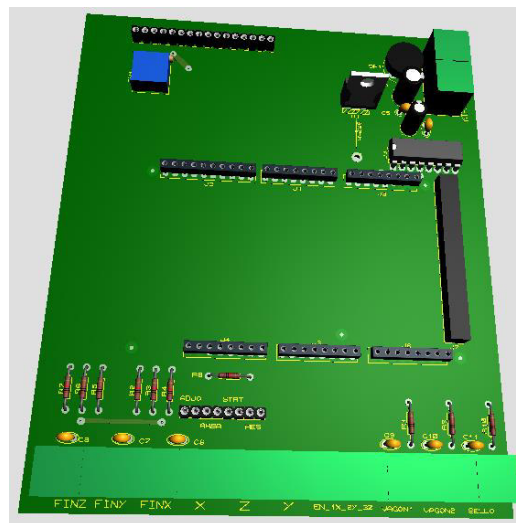


Figura 54. Circuito Placa Total Simulado

Después de enviar el diseño a un lugar especializado, se quema la placa, y se esmalta con un barniz especial para evitar daños a la misma. La placa se puede ver en la figura 53.

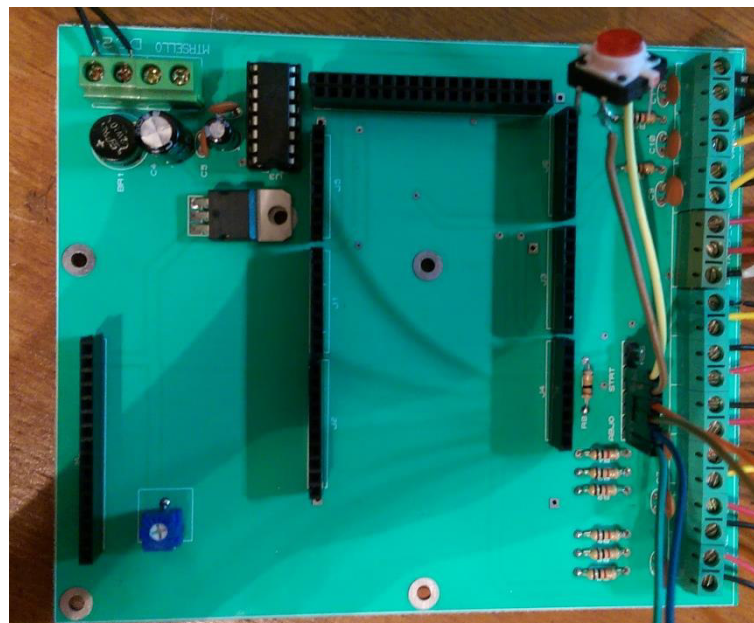


Figura 55. Circuito Placa Barnizada

Finalmente, encima de la placa shield, se coloca el arduino y la pantalla LCD, como se muestra en la figura 54.

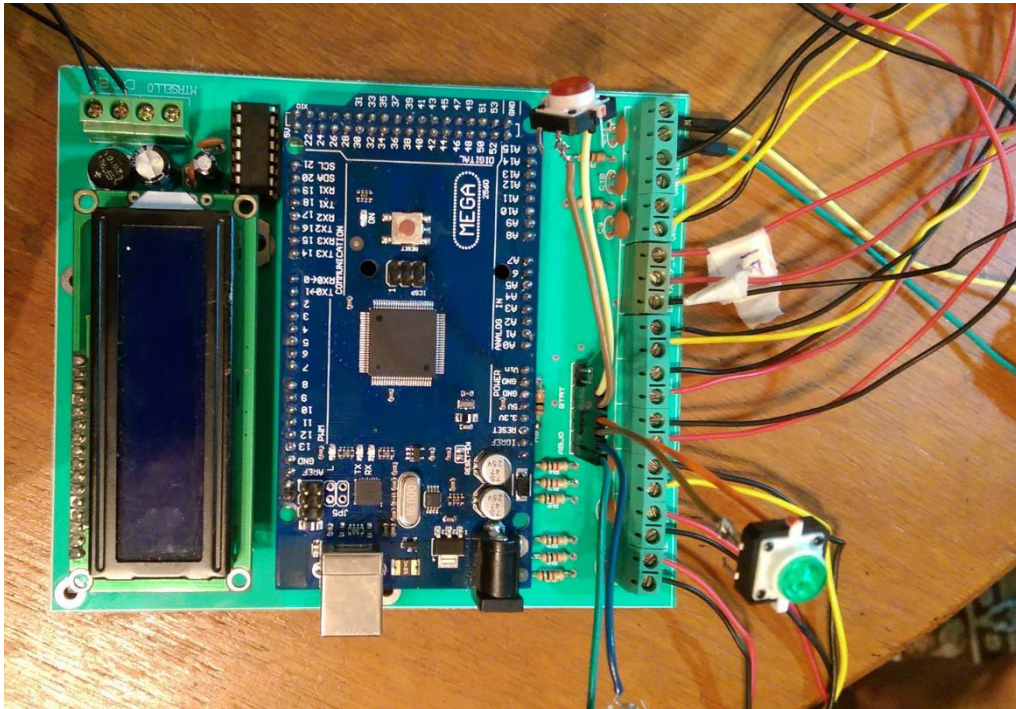


Figura 56. Circuito Finalizado

4.1.12 Caja Electrónica De Control

En la figura 54 se muestra la caja de elementos electrónicos, la cual contiene el shield fabricado para este proyecto, conectado a la pantalla LCD y al microcontrolador Arduino, a este shield llegan todas las conexiones de motores, drivers de los motores y fines de carrera, así como también la energización.

4.1.12.1 Explicación de botones de control

- Pulsador 1.

Contador que aumenta de valor cada vez que se pulsa en él. Este botón se lo utiliza para escoger la cantidad de tanques que se van a marcar, así como su altura.

- Pulsador 2.

Contador que disminuye el valor cada vez que se pulsa en él. Este botón se lo utiliza para escoger la cantidad de tanques que se van a marcar, así como su altura.

- Pulsador 3.

Botón de Pare. Sirve para detener el ciclo en cualquier momento.

- Pulsador 4.

Botón de Enter.

Acepta los parámetros de trabajo establecidos

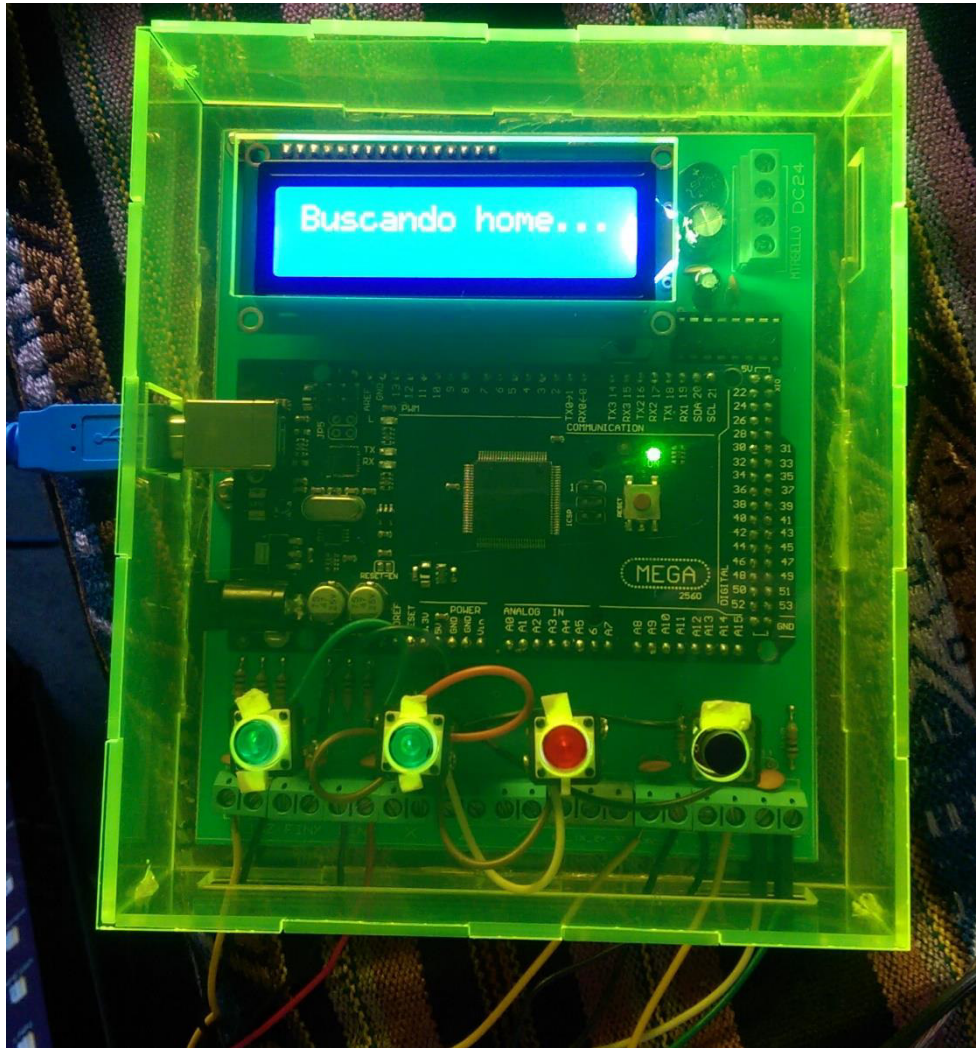


Figura 57 Caja electrónica de control

Para observar las conexiones eléctricas de la máquina serigráfica, por favor dirigirse al anexo PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS.

CAPÍTULO 5

MONTAJE, PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

El capítulo a continuación contiene el detalle de todo lo referente a los últimos ajustes y seguimiento de normas industriales que necesita la máquina para su correcto funcionamiento

Primeramente, para asegurar el proceso, se le ha colocado una estructura a la máquina para que llegue a estar a la altura de las vagonetas, y posteriormente, dicha estructura ha sido empotrada al piso, sujeta con pernos y nivelada.



Figura 58 Estructura empotrada al piso

Para observar la posición de la máquina serigráfica con respecto a su lugar de trabajo dentro de la empresa, por favor dirigirse al anexo ENSAMBLE TOTAL.

Una vez nivelada adecuadamente, se realiza la sujeción de los sensores de posición o fines de carrera, son dos sensores los cuales indican que la vagoneta ya se encuentra posicionada y lista para realizar un ciclo automático de marcación.



Figura 59 sujeción de fines de carrera

Para realizar el mantenimiento, por favor dirigirse a los anexos PLANO DE LUBRICACIÓN MÁQUINA y MANUAL DE MANTENIMIENTO EDESA1.

Se colocó una caja sujeta a la estructura, en donde se encuentra toda la parte de alimentación y control de la máquina, esta caja cuenta con pulsadores grandes y fáciles de utilizar en su exterior, esto con la finalidad de evitar que la parte interna ingresen contaminación de polvo o calor.

Debido a que la fuente de 12 voltios cuenta con ventilador propio, y su uso no es para nada exigido se aprovechó esto para que ayude a la ventilación interna de la caja.



Figura 60 Caja de control

Se colocó el pequeño sistema para que la tinta recorra toda la pantalla y se produzca el serigrafiado, se coloca la pantalla de prueba, y se va regulando el caucho presionador y la posición del sensor que reconoce que ya hay tanque. Después de varias pruebas, regulando la cantidad de tinta y las veces que el caucho presiona por el mismo ciclo se encontró la calibración exacta para trabajar sin dificultades (ver manual de mantenimiento).



Figura 61 Calibración de elementos de marcación

La calibración de altura está sujeta a los requerimientos de producción, por lo que se tiene 5 niveles de altura para la marcación.

Uno de los niveles de altura está dado por la solicitud indicada en la figura 62.

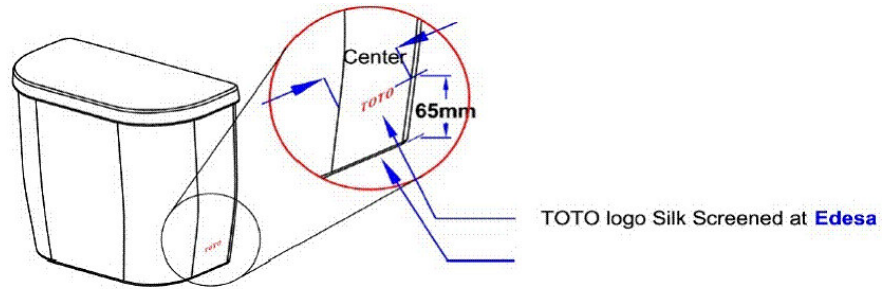


Figura 62 Altura de acuerdo a especificaciones de calidad

Para que la máquina no tenga problemas al trabajar, se ha indicado al personal operativo la manera de como se deben cargar los tanques, es decir, teniendo en cuenta la posición de las mismas en la vagoneta, obviamente, como parte del proceso de carga, los operadores siempre han tenido la obligación de verificar que los tanques hayan estado limpios y secos, además de que deben seguir los procedimientos de esmaltado, entre ellos que la capa de esmalte tenga un grosor de 30-32 micras, entre otras condiciones para el adecuado terminado de la pieza.



Figura 63 Operador cargando correctamente las piezas

Finalmente, se deja trabajando la máquina en modo automático, y se han encontrado excelentes resultados.

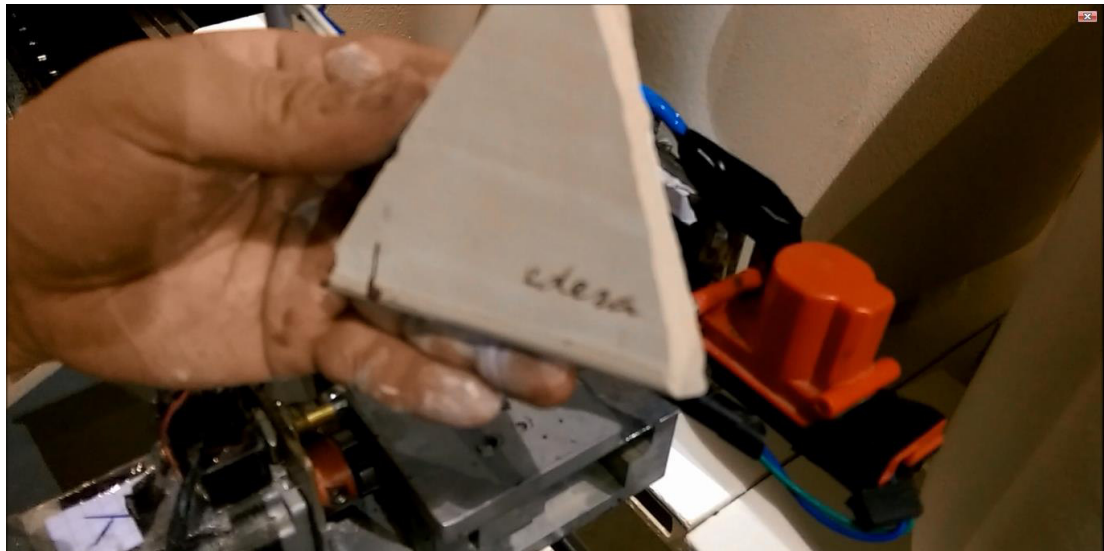


Figura 64 Pieza de cerámica marca edesa

En cuanto al tiempo de trabajo, comparado con el tiempo que tiene disponible la máquina para trabajar, es el suficiente para no encontrarse con problemas

de velocidad, ya que cuenta con 400 segundos libres para la marcación y tan solo utiliza 100, es decir, la cuarta parte; dichos datos se muestran en el siguiente gráfico.



Figura 65 Tiempo disponible

El gráfico siguiente muestra que el primer tanque se marca más rápido, ya que la máquina ya se encuentra en la posición correcta en el eje X, solo tiene que ingresar hacia el tanque (eje Z) y realizar la marcación, mientras que para los otros dos tanques, si tiene que posicionarse también en el eje X; para el posicionamiento del eje Y se realiza una sola vez, que es al momento del encendido de la máquina y es cuando se configura la cantidad de tanques a marcar, y la altura.

Además se muestra la ecuación de la línea de tendencia que se ajusta a la curva, la cual es polinómica de orden 2 y el valor de R cuadrado en el gráfico.



Figura 66 Posición de marcación vs tiempo utilizado

Según los datos obtenidos de control de calidad, la máquina muestra mejores resultados que trabajando de la manera tradicional, es decir, del 2% de rotura por problemas de marcado, ha disminuido a 1.3%, esto se debe al haber automatizado el proceso.

Anteriormente las piezas pasaban mucho tiempo ya marcadas, pero aún sin ser cargadas, esto provocaba que haya más posibilidad de contacto con el polvo, y de que el operador al momento de coger las piezas coloque sus manos en la parte marcada, provocando manchas en la tinta; el 0.7% de mejora en la producción se debe al haber eliminado el tiempo de espera para ser cargado y el marcar cuando el tanque ya no tenga contacto con ninguna persona.

Este 0.7% de mejora representan alrededor de 5 tanques diarios, lo que quiere decir 35 semanales, y 140 al mes, pero existe la posibilidad de mejorar estos datos realizando ensayos para volverle aún más eficiente a la máquina.

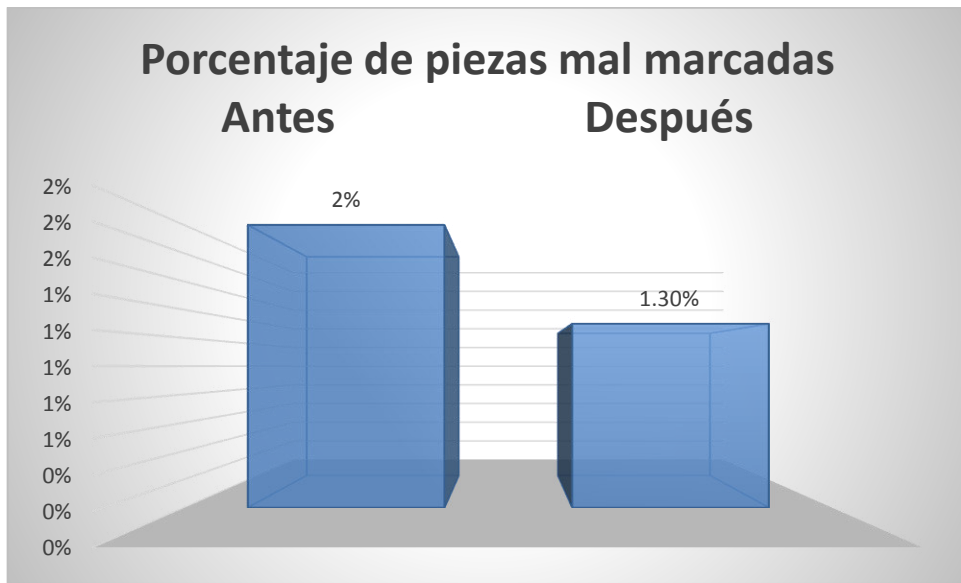


Figura 67 Resultados

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La implementación de un sistema serigráfico marca en la empresa un inicio ya que hasta la actualidad se realizaba esta actividad en forma manual y completamente artesanal, además presenta la posibilidad de aumentar este tipo de sistemas en todos sus hornos, y de esta manera optimizar tiempos y personal.
- Según los datos obtenidos de control de calidad, la máquina muestra mejores resultados que trabajando de la manera tradicional, es decir, se mejora 0.7% diario en el error de marcaje, esto se debe al haber automatizado el proceso.
- El Sistema tiene que garantizar un funcionamiento continuo, durante las 24 horas del día, los 365 días del año, con ciclos de funcionamiento de cada 8 minutos, en un ambiente medianamente caluroso y con polvo, esta es la razón por la que el proyecto presenta una estructura resistente y un esquema de control bastante robusto, de esta manera, se evita problemas de calentamiento de los componentes electrónicos.
- El mecanismo diseñado permite una calibración de velocidades de trabajo de los motores, además de variación en altura y número de tanques que se van a marcar.
- la flexibilidad de cambio de colores de tinta de la pantalla serigrafica permite a la empresa tener nuevas ideas en cuanto al lugar de marcación que se ha utilizado siempre.

- El diseño mecánico y electrónico permite una precisión bastante alta en posiciones de marcación, esto es vital para la empresa ya que tiene estándares de calidad que garantiza una marcación adecuada.
- Los componentes electrónicos seleccionados se encuentran dentro del margen de trabajo por temperatura dados por el fabricante.

6.2 RECOMENDACIONES

- Considerar una manera de verificar que la ubicación de los tanques que se van a marcar sea la correcta.
- Colocar la máquina en un lugar en donde no se comprometa su desempeño y la temperatura ambiente se encuentre entre los 20 a 35°C.
- Alinear correctamente la máquina al piso para asegurar la rectitud de la marcación.

Bibliografía

- Ainos. (2011). *Mallas Serigráficas*. Obtenido de <http://www.ainos.cl/>.
- Bricogeek. (04 de Enero de 2016). *BricoGeek*. Obtenido de <http://tienda.bricogeek.com/75-motor-paso-a-paso-24kg-cm.html>.
- Budynas, R., & J., N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Editorial , 8º Ed., pág. 178*. México: McGraw-Hill.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill, 8º Ed.
- Coparoman*. (2013).
- dhgate. (2014). *cnc-single-axis-two-phase-tb6600-hybrid-stepper*. Obtenido de <http://m.dhgate.com/product/cnc-single-axis-two-phase-tb6600-hybrid-stepper/188103980.html>
- DirectIndustry. (4 de Febrero de 2016). *DirectIndustry*. Obtenido de http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/39984-2303625.jpg
- Divilabs. (2015). *Digital Vision Labs*. Obtenido de <http://www.divilabs.com/2013/07/arduino-mega-2560-pin-mapping-for.html>
- Filipeflop. (2015). *Blog Filipeflop*. Obtenido de <http://blog.filipeflop.com/arduino/tipos-de-arduino-qual-comprar.html>
- Fundamentos del Hardware* . (Diciembre de 2013). Obtenido de <http://fh-asir-azarquiel.wikispaces.com/Conectores+y+ranuras+de+expansi%C3%B3n>
- Hifiduino. (13 de Abril de 2012). Obtenido de <https://hifiduino.wordpress.com/2012/04/13/iteadstudio-tft-display-for-arduino/>
- INSTRUMENTS, N. (03 de Octubre de 2014). *Comunicacion Serial : Conceptos*. Obtenido de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>
- Norton, R. L. (2011). México: Pearson.

- pinoshop. (17 de septiembre de 2015). *Como-Instalar-Seguros-Elctricos-Sin- Alarma-En-El-Auto*. Obtenido de <http://pinoshop.es.tl/Como-Instalar-Seguros-Elctricos-Sin-Alarm-En-El-Auto.htm>
- Rcscomponents. (2015). *HY-DIV268N-5A two phase hybrid stepper motor drive manual*. Obtenido de <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/div268n-5a-datasheet.pdf>
- Thanksbuyer. (2014). *CNC Single Axis TB6600 0.2 - 5A Two Phase Hybrid Stepper Motor Driver Controller*. Obtenido de <http://www.thanksbuyer.com/cnc-single-axis-tb6600-0-2-5a-two-phase-hybrid-stepper-motor-driver-controller-24891>
- Turmero, I. (12 de Diciembre de 2013). *Monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/herramientas-para-calidad/herramientas-para-calidad.shtml>
- Universidad de Castilla. (2013). Obtenido de http://www.uclm.es/area/aim/AsignaturasWEB/ElementosdeMaquinas/Materialdidactico/Transparencias/Tema1_2c.pdf
- Universidad de Castilla. (s.f.). *Elementos de Maquinas*. Obtenido de página 18:
http://www.uclm.es/area/aim/AsignaturasWEB/ElementosdeMaquinas/Materialdidactico/Transparencias/Tema1_2c.pdf
- Wikipedia. (18 de Noviembre de 2015). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla_de_cristal_I%C3%ADquido