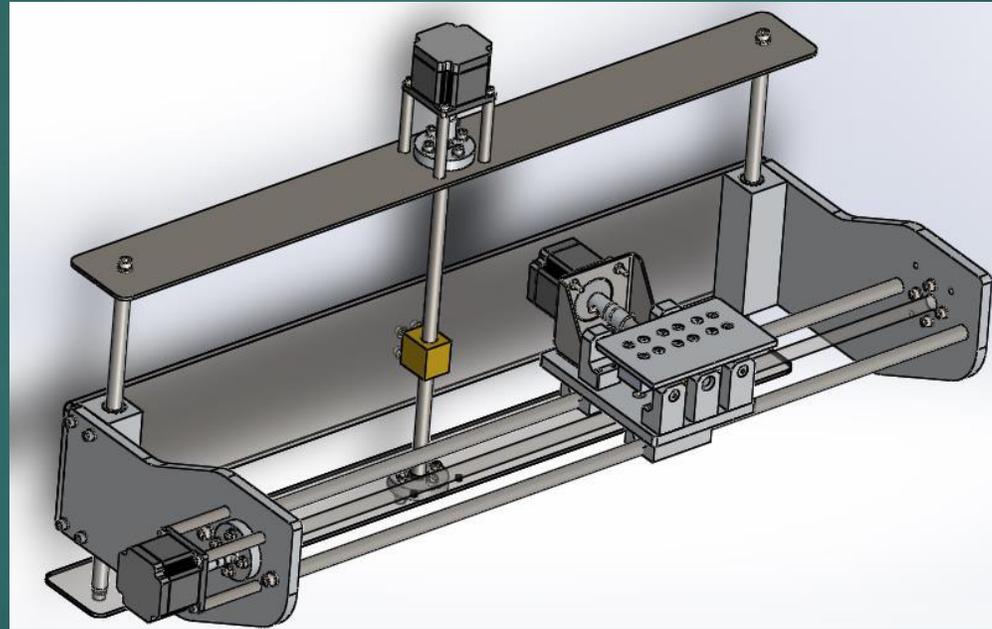


“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE SERIGRAFIADO EN CERÁMICA ESMALTADA PARA LA EMPRESA EDESA S.A”



ANCHALUISA SILVA, CHRISTIAN GUILLERMO

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 del proceso



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.

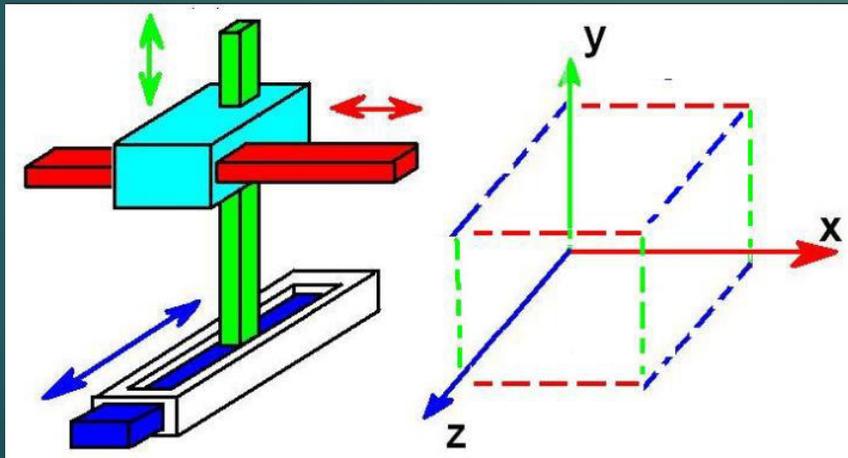
Terminología:

- ▶ Serigrafía: consiste en transferir una tinta a través de una malla tensada en un marco con la finalidad de imprimir un texto o imagen.
- ▶ Malla: Tejido homogéneo, resistente y permeable, por donde pasa la tinta.



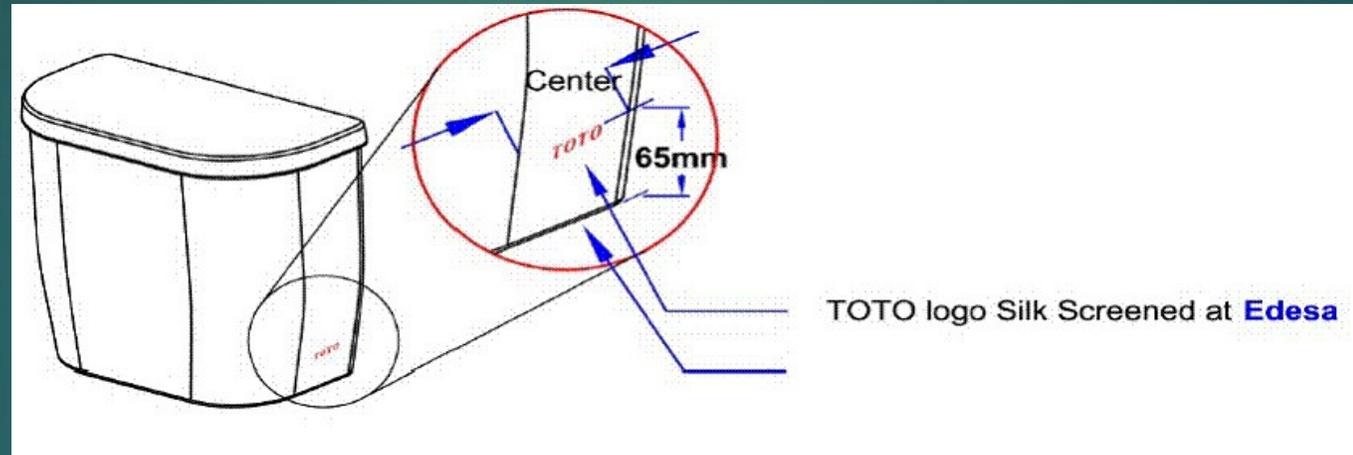
Descripción de la máquina:

- ▶ Sistema autónomo de 3 dimensiones
- ▶ Precisión en el serigrafiado
- ▶ Capaz de trabajar continuamente
- ▶ Capaz de trabajar en un ambiente medianamente caluroso (35° C)



Diseño Mecánico:

- ▶ El diseño se basa en la capacidad de marcación con la precisión requerida.



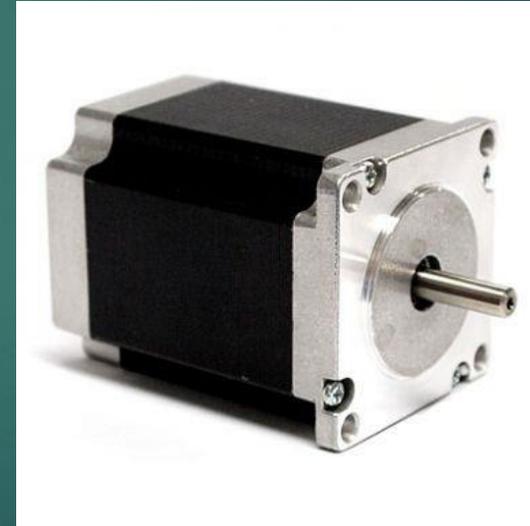
Diseño, Selección de elementos:

- ▶ Motor a pasos : Dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en movimientos angulares que dependen de sus entradas de control, ideales para aplicaciones tanto de fuerza como de precisión.

- ▶ Fueron seleccionados motores Nema 23

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: 14Kg/cm



Diseño, Selección de elementos:

- ▶ Tornillos de potencia: Utilizados para los 3 ejes, transforma el movimiento rotatorio del motor en desplazamiento lineal
- ▶ Fueron Seleccionados tornillos de Acero Inoxidable (AISI 4150)

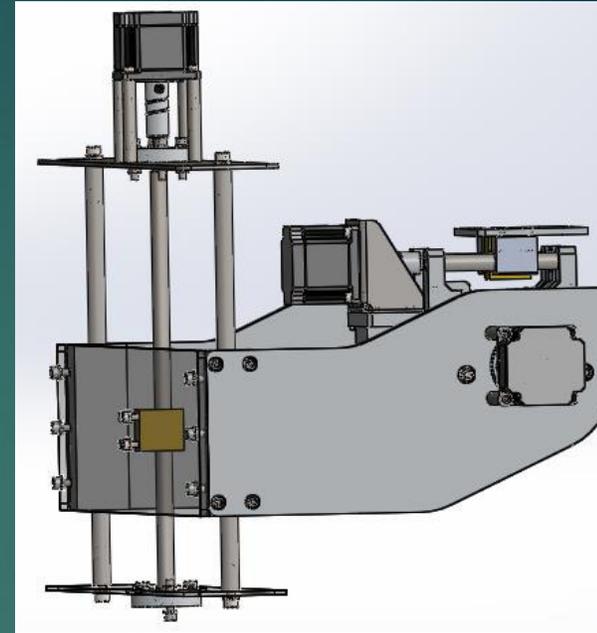
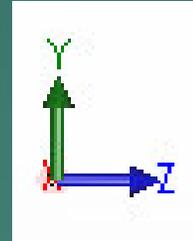
Características:

- ▶ Moderada Resistencia a la corrosión
- ▶ Alta Dureza
- ▶ Módulo de Elasticidad; $E=200$ Gpa.
- ▶ Resistencia a la fluencia; $S_y=421$ MPa
- ▶ Resistencia última a la tensión; $S_{ut}=655$ MPa



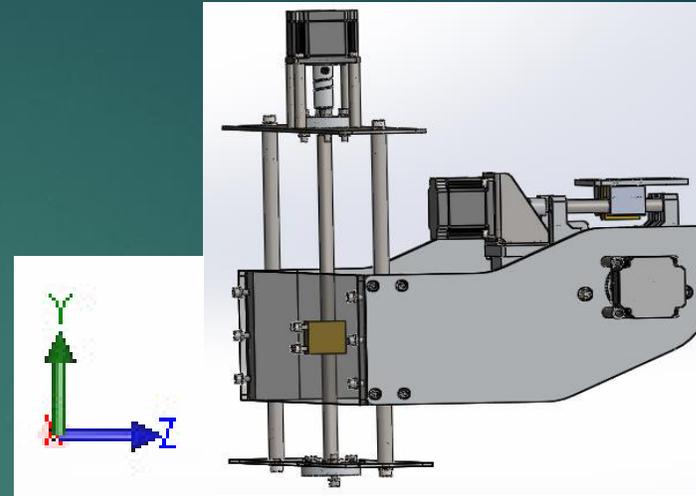
Diseño Mecánico, eje Y:

- ▶ Factor de seguridad adecuado
 - ▶ 2,5; se utiliza para todo el sistema
- ▶ Análisis de columna de Euler
 - ▶ Si se puede ser considerada columna de Euler con un diámetro mínimo de 12,1 mm
- ▶ Cálculo de cargas estáticas
 - ▶ Se toma en cuenta todos los elementos que debe soportar en el eje Z.



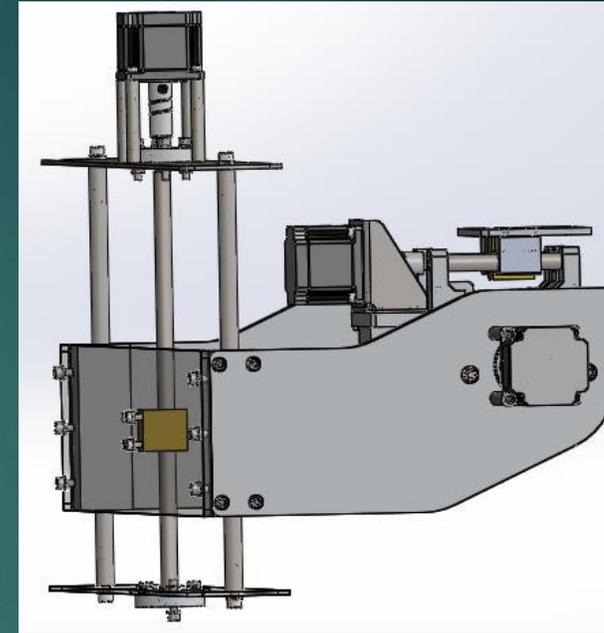
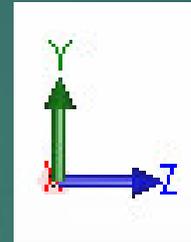
Diseño Mecánico, eje Y:

- ▶ Análisis de fuerzas
- ▶ Análisis de Momentos
- ▶ Esfuerzos de compresión de la barra, teniendo en cuenta los concentradores de esfuerzo debido al maquinado
- ▶ Análisis de esfuerzo de torsión debido al torque generado por el motor.



Diseño Mecánico, eje Y:

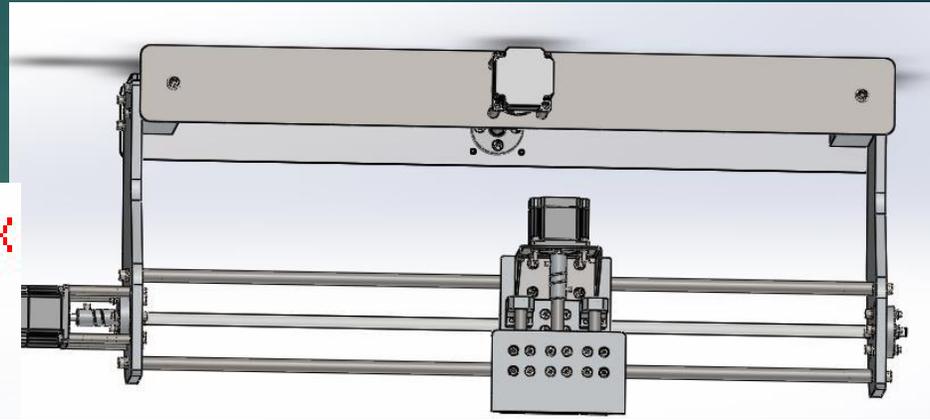
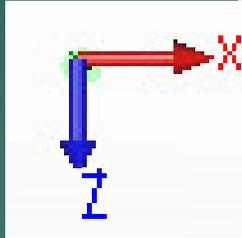
- ▶ Estudio de combinación de esfuerzos
 - ▶ Se aplica la teoría del esfuerzo cortante máximo
- ▶ Se produce la falla si el mayor esfuerzo cortante inducido τ_{max} supera el valor del esfuerzo cortante del material analizado.
- ▶ Análisis de fatiga
- ▶ Análisis por aplastamiento de los dientes



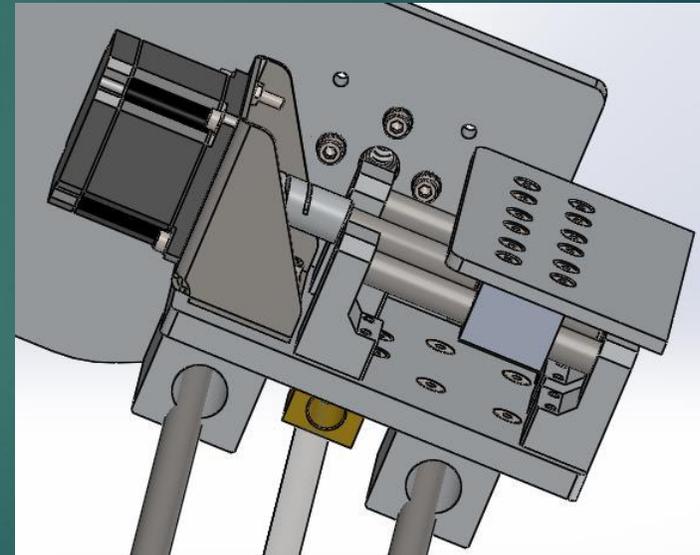
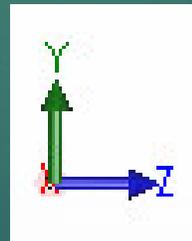
Conclusiones eje Y.

- ▶ 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.
- ▶ De acuerdo a los análisis de fatiga 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.
- ▶ De acuerdo al análisis por aplastamiento de los dientes, no existe problema ya que la Resistencia a la fluencia del material si es capaz de soportar el peso.

Diseño Mecánico, eje X, Z:



- ▶ Análisis de fuerzas
- ▶ Análisis de momentos
- ▶ Análisis de deformación

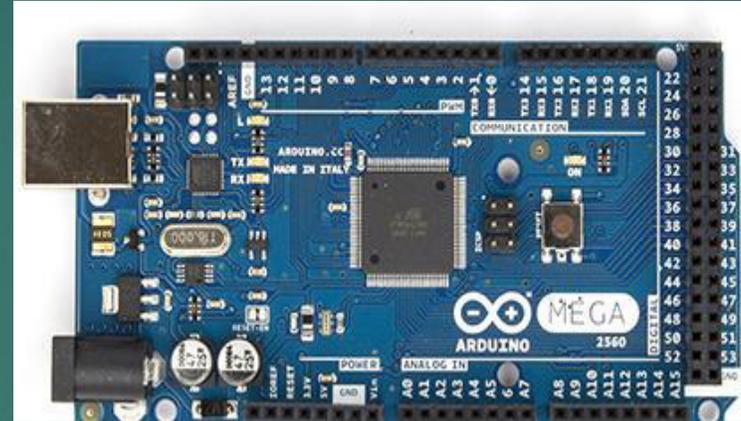


Conclusiones eje Z.

- ▶ 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.
- ▶ De acuerdo al diseño realizado para el eje X, utilizando el tornillo sin fin de $\frac{1}{2}$ pulgada, de acero inoxidable, y a la vez sabiendo que el momento para el tornillo Z es menor que para el Y, 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 del tornillo X y del tornillo Z es el mismo, y el tornillo sin fin va a soportar sin problemas las cargas existentes.

Diseño Eléctrico – Electrónico, selección de elementos:

- ▶ Arduino Mega: Placa electrónica, basada en un microcontrolador AVR, hardware y software libre.
- ▶ Características:
 - ▶ Tensión de funcionamiento: 5v
 - ▶ Voltaje de entrada: 7-12v (recomendado)
 - ▶ Pines Digitales: 54 (de las cuales 15 proporcionan PWM)
 - ▶ Pines de entrada analógica: 16
 - ▶ Corriente DC por pin I/O: 40 mA
 - ▶ Ram: 8 Kb



Diseño Eléctrico – Electrónico, selección de elementos:

- ▶ 3 Drivers HY-DIV268N-5A: Controlador para los tres motores a pasos

Características:

- ▶ Alto rendimiento, rentable.
- ▶ Reducción automática de inactividad de corriente.
- ▶ Tensión de alimentación de hasta 50 V DC
- ▶ Corriente de salida hasta 5.0 A.
- ▶ 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



Calibración del sistema de movimiento:

- ▶ Paso del tornillo sin fin: 1.75mm
- ▶ Ángulo de paso del motor: 1,8 grados por paso

$$1 \text{ rev} = 360^{\circ}; \frac{360^{\circ}}{1.8^{\circ}} = 200 \text{ pasos}$$

De acuerdo a esto, en 200 pasos habrá completado una revolución

Pero se desea conocer los pasos que debe dar la máquina para completar un avance de 1 mm linealmente

$$\frac{200 \text{ pasos}}{1.75 \text{ mm}} = 114,28 \frac{\text{pasos}}{\text{mm}}$$

- ▶ Así que en la programación, se debe dar la orden al driver para avanzar 114,28 pasos por cada milímetro lineal.

Implementación del actuador para el sistema de marcación

- ▶ El actuador consiste en un pequeño Motor eléctrico que se utiliza comúnmente en los seguros eléctricos de cualquier vehículo.
- ▶ El movimiento lineal es ideal para el proceso
- ▶ Se controla mediante PWM para salir la salida muy brusca del actuador.



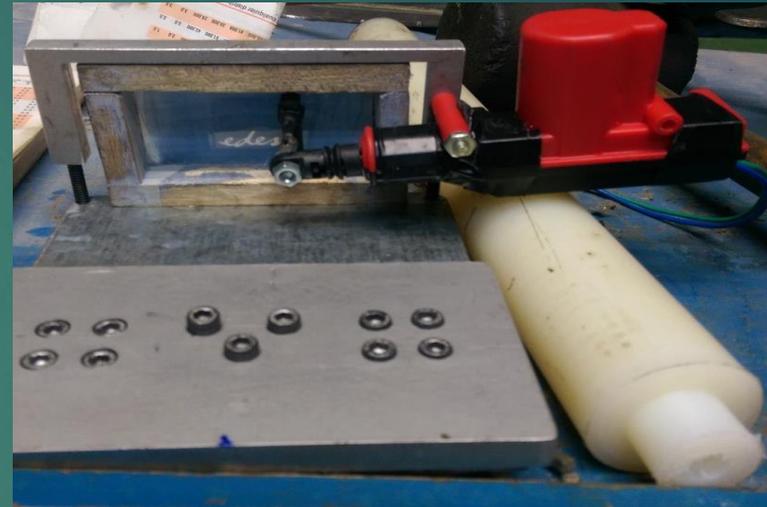
Implementación del actuador para el sistema de marcación

- ▶ Sistema de Barrido:

- ▶ Es un pequeño sistema para que la Tinta recorra toda la pantalla

- ▶ Cuenta con un caucho presionador instalado en el extremo

- ▶ Tanto el marco, como la pantalla serigráfica son adaptables, es decir que son capaces de ser removidos cuando su vida útil ha llegado a su fin.



Sistema de ingreso y almacenamiento de tinta:

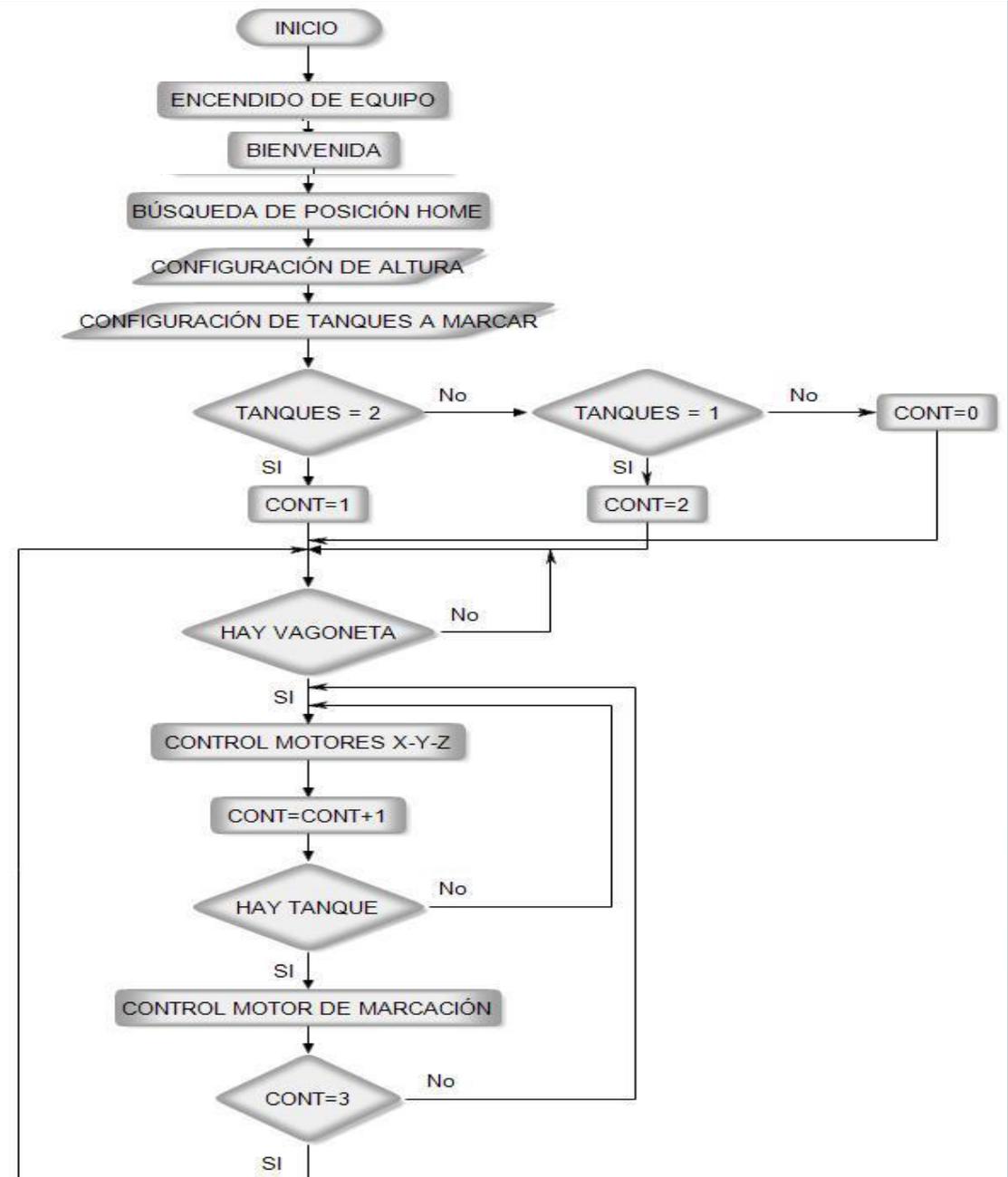
Componentes:

- ▶ Motor de agitado en la parte superior
- ▶ Cilindro de almacenamiento de tinta
- ▶ Válvula reguladora de caudal
 - ▶ La regulación es manual por requerimientos del cliente, ya que la tinta puede variar ligeramente la viscosidad por factores como temperatura, agitación, cambio de materia prima o color.



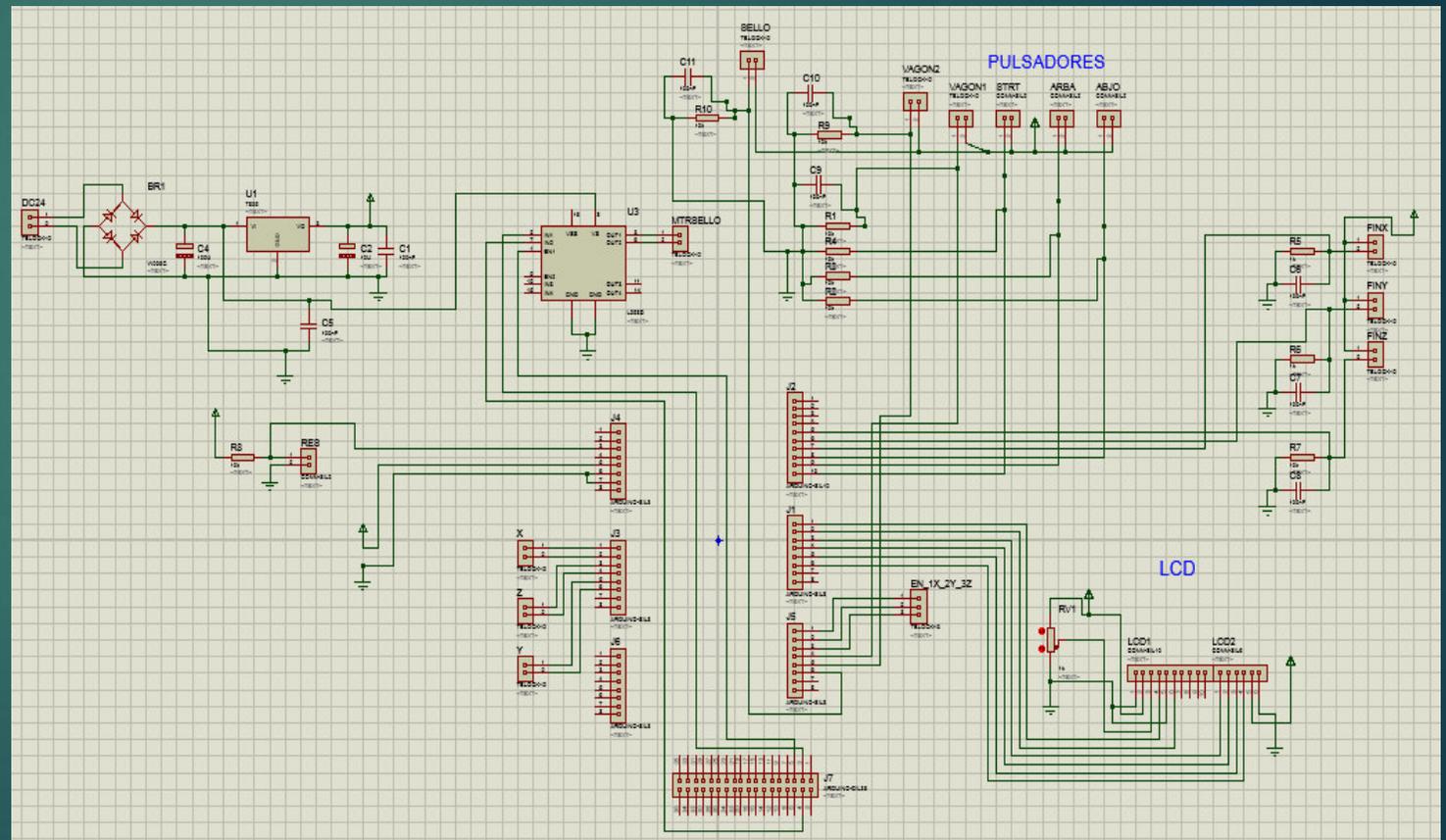
Programa de control:

- ▶ De acuerdo al diagrama de flujo para el control del equipo se tienen los siguientes procesos:
- ▶ Encendido del equipo, la pantalla muestra la bienvenida
- ▶ Configuración de altura y número de tanques a marcar, mediante pulsadores.
- ▶ Puesta en marcha modo automático.
- ▶ Control de los motores, una vez inicia el ciclo, se generan los pulsos a cada motor, de acuerdo a la secuencia indicada.
- ▶ Lectura de los diferentes sensores, para ubicación correcta de la marcación, y repeticiones de ciclo.

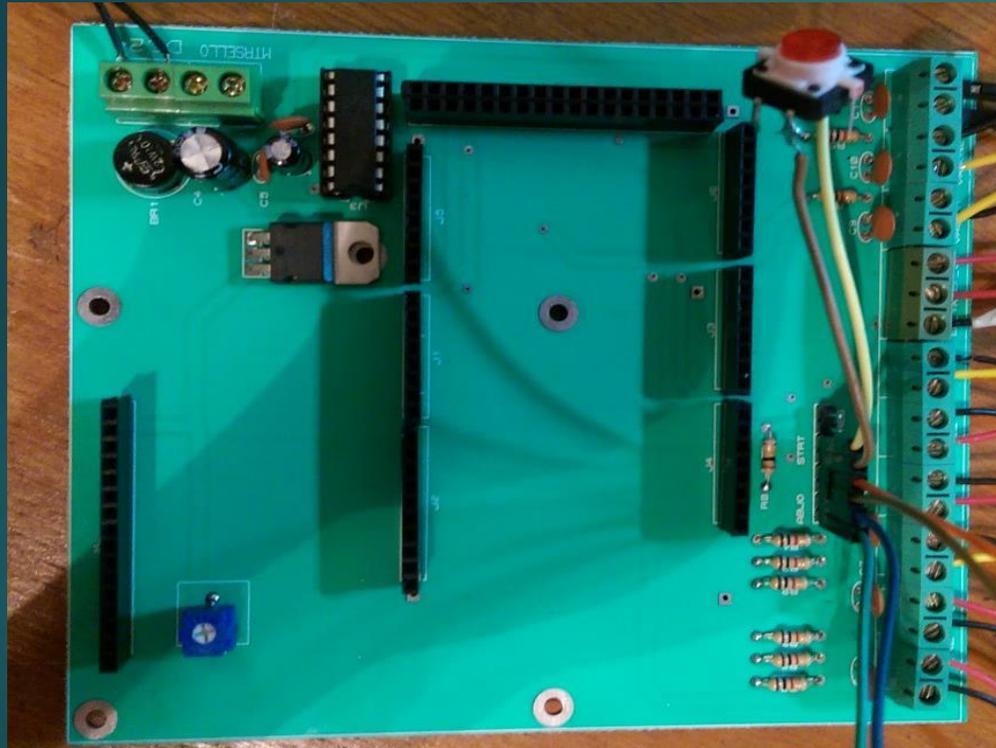


Circuitos para placa Base:

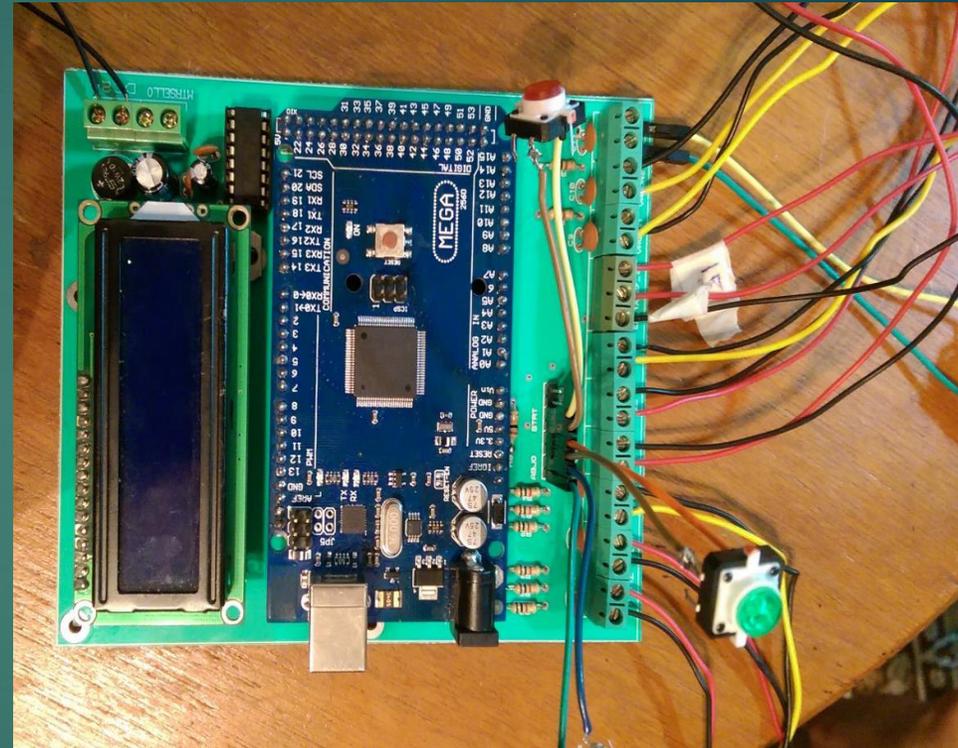
- ▶ Conexión de alimentación
- ▶ Puente H (Para cambio de giro)
- ▶ Conexión entre Arduino y motores a paso
- ▶ Conexión entre Arduino y pulsadores
- ▶ Conexión entre Arduino y finales de carrera
- ▶ Conexión de Pantalla LCD.



Circuito finalizado:



► Sin Arduino



Con Arduino

Caja electrónica de control:



Montaje:

- ▶ Montaje:
 - ▶ Se colocan los fines de carrera
 - ▶ Se monta al piso la máquina



Pruebas de Funcionamiento:

- ▶ Se indica al personal operativo la manera correcta de cargar los tanques



- ▶ Se imprimen muestras de piezas para corroborar la calidad de la serigrafía



Resultados:

- ▶ El tiempo de trabajo, comparado con el tiempo que tiene disponible la máquina para trabajar, es el suficiente, 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.



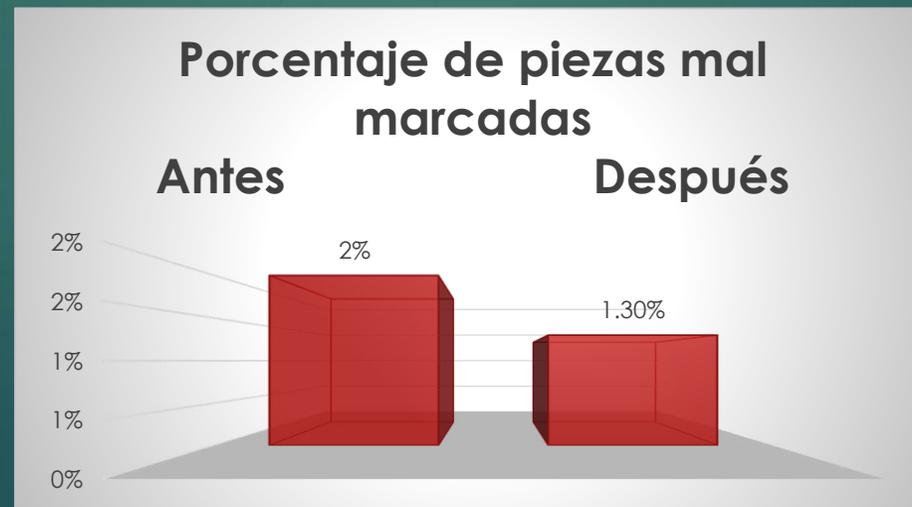
Resultados:

- ▶ 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.



Resultados:

- ▶ 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.
- ▶ 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.



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.

Conclusiones:

- ▶ 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 serigráfica 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.

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.

Gracias por su atención

