

“ DISEÑO, CONTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA CLIMATIZADA PARA ACABADOS DE MODULARES DE MADERA PARA LA MUEBLERÍA EL PINO.”

Espin Aldaz Javier R.
Guanoluisa Bravo Wilson F.

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Resumen: El presente proyecto consiste en el DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA CLIMATIZADA PARA ACABADOS DE MODULARES DE MADERA PARA LA MUEBLERÍA EL PINO, la misma que tiene por finalidad pintar las puertas de manera automática y sin que el operario sufra lesiones y no este expuesto a gases tóxicos. En el sistema mecánico, el diseño de los componentes mecánicos se lo realizó de forma analítica y tecnológica utilizando el software SolidWorks 2013, de esta manera se verificó que estos elementos tengan un adecuado factor de seguridad y no fallen en el proceso. En el sistema neumático, el diseño se lo realizó considerando la presión, caudal para poder girar y pintar la puerta. En el sistema eléctrico, el diseño del circuito de control se lo realizará mediante componentes como finales de carrera, motores, etc. Para la programación del sistema automático se utiliza un PLC-HMI FP4030 que se lo hizo mediante programación Ladder. En el funcionamiento consiste en pintar las puertas con un sistema de pintado automático, se llena de pintura (laca) en el vaso de la pistola de pintura, para el pintado entra a funcionar un motor de A.C que mueve el carro de forma longitudinal y pinta el modular en el sentido que se mueve, después entra a funcionar un segundo un motor de D.C. para mover el carro de forma transversal y pinta el modular en el sentido que se mueve, cuando ya está pintado la primera cara de la puerta entra un cilindro neumático que hace girar la misma en 180° y así empezamos con el mismo ciclo hasta que este pintado en su totalidad.

Palabras Clave— Gases tóxicos, Presión, Caudal, PLC-HMI FP4030, Motor AC, Motor DC,

I. INTRODUCCION A LAS CABINAS DE PINTURA

Las cabinas de pintura, como buena parte de la maquinaria se encuentran actualmente en la industria, ofrecen diferentes configuraciones con múltiples accesorios de acuerdo al trabajo a realizar. (MONTALUISA MONTALUISA, 2010)

a. MODELO DE CABINAS DE PINTURA.

De acuerdo al funcionamiento y utilización se clasifican en:

- **CABINAS PARA AUTOMÓVILES.**

Se trata de recintos cerrados para el pintado de vehículos. Existen dos tipos fundamentales los sobres presionados, con un solo ventilador de impulsión y ninguno de extracción, las presurizadas. Ver figura 1.



Figura 1.: Cabina para automóviles.

- **CABINAS MURALES PRESURIZADAS.**

Sin lugar a dudas es la mejor cabina para el pintado de muebles y materiales de buenos acabados. Pueden llevar también incorporado sistemas de calor. Ver figura 2.



Figura 2.: Cabinas murales presurizadas.

- **CABINAS AUTOMATIZADAS.**

Son las últimas innovaciones en el campo de las cabinas de pintura ya que reducen tiempos tanto de pintado como de secado para aumentar la producción, así como a emplear sistemas que permitan cuidar al máximo la salud del operario. Ver figura 3.



Figura 3.: Cabinas Automatizadas

b. PROCESOS Y MÉTODOS DE ACABADOS DE PINTURA.

Básicamente se puede distinguir entre procesos que emplean sustancias pulverulentas (sólidas o líquidas) y procesos que emplean sustancias líquidas (por inmersión o por recubrimiento). (IEEE STD. 1410, 2004)

c. APLICACIONES.

Las aplicaciones de una cabina de pintura son muy diversas, pero a continuación se va a detallar las más importantes. (BOUTORA, BENTARZI, & OUADI, 2011)

- **APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA.**

Este es el proceso en el que las superficies de madera para arquitectura (y en algunos casos materiales sintéticos imprimados) se pueden hacer más valiosas al cambiar y mejorar su apariencia, por ende una cabina de pintura es muy valiosa por su excelente acabado.

- **APLICACIONES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.**

La pintura automotriz es un trabajo que se realiza en todo el mundo, tanto en las fábricas automotrices como en los talleres de reparación. Desde la creación del automóvil la pintura se usaba para decorar y embellecerlo, para darle un aspecto más atractivo.

II. DISEÑO MECÁNICO, NEUMÁTICO Y TÉRMICO DE LA CABINA.

Para la construcción de la misma es necesario describir los principales parámetros que influyen directamente en el diseño mecánico, térmico y neumático de la cabina:

- Velocidad recomendada de avance longitudinal (V_L) = 1,0 m/s
- Velocidad recomendada de avance transversal (V_T) = 0.15 m/s
- Peso máximo de cada pistola de pintar = 20 N
- Dimensiones de la puerta (alto x ancho x espesor) = (2.1 x 1.2 x 0.04) metros
- Peso máximo de las puertas = 450 N
- Presión máxima del sistema = 6.9 bar (690 kPa)
- Consumo de aire en la pulverización = 400 lt/min
- Ángulo de inclinación de las pistolas de pintar = 45°
- Ángulo de giro de la puerta = 180°
- Temperatura máxima de secado en la cabina = 30°C
- Expectativa de vida útil de la máquina = 10 años.
- Factor de seguridad mínimo requerido = 3.0

a. DISEÑO DEL BRAZO DE SUJECCIÓN.

Por disponibilidad en el mercado, facilidad de maquinado y costos, este elemento se fabricará con platinas de acero estructural ASTM A36.

• DETERMINACIÓN DE CARGAS.

Como se indica en la figura 4 la inclinación máxima del brazo será 45° con una extensión de 320 mm y deberá soportar el peso de las pistolas de pintar.

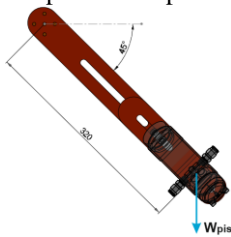


Figura 4.: Cargas sobre el brazo de sujeción de las pistolas.

Debido a que el sistema permite trabajar con dos pistolas simultáneamente, la carga máxima que debe soportar el brazo de sujeción es:

$$\begin{aligned} W_{pis} &= 2 \cdot 20 \text{ N} \\ W_{pis} &= 40 \text{ N} \end{aligned} \quad \text{Ec.1.}$$

b. DISEÑO DEL PIÑÓN PARA EL BRAZO DE SUJECCIÓN.

A fin de otorgarle el ángulo de inclinación adecuado a la pistola para facilitar el pintado de los filos de las puertas, se utilizará un sistema de piñón cremallera accionado mediante un pistón neumático como se muestra en la figura 5.

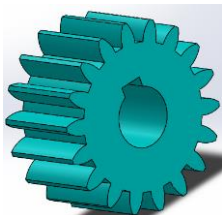


Figura 5.: Piñón.

El piñón se fabricará con un módulo de 2 y ángulo de presión (ϕ) de 20° y para que no genere interferencia con

los dientes de la cremallera el piñón tendrá 18 dientes; se fabricará con acero AISI 1020 (SOIBELZON, 2009).

$$\begin{aligned} D_{p1} &= m_p \cdot N_p \\ D_{p1} &= 2 \cdot 18 \\ D_{p1} &= 36 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{Ec.2.}$$

Donde:

$$D_{p1} = \text{Diámetro de paso.}$$

c. DISEÑO DE LA CREMALLERA PARA EL BRAZO DE SUJECCIÓN.

La cremallera tiene el mismo material, módulo y ángulo de presión que el piñón, por lo que la longitud mínima (L_{min}) que debe tener la cremallera para garantizar el ángulo de inclinación de 45° a ambos lados, viene dado por (PIANTINI, 2008):

Ec.3.

$$\begin{aligned} L_{min} &= 2 \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{D_{p1}}{2} \right) \\ L_{min} &= 2 \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{36}{2} \right) \\ L_{min} &= 56.55 \text{ mm} \end{aligned}$$

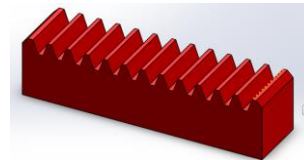


Figura 6.: Cremallera

Por seguridad se toma una longitud para la cremallera $L_{crem} = 80 \text{ mm}$, Ver figura 6.

d. DISEÑO DEL EJE DEL BRAZO DE SUJECCIÓN.

Este eje permite el giro del brazo de sujeción de las pistolas de pintar por acción del torque que transmite el piñón. Por disponibilidad en el mercado, facilidad de maquinado y costos, el eje se fabricará con acero estructural ASTM A36.

• DETERMINACIÓN DE CARGAS.

El eje debe soportar tanto el torque máximo (T_b) requerido para generar el movimiento de inclinación de las pistolas, así como la fuerza resultante que se transmite desde los dientes del piñón (F_{n1}), (PAOLONE, 2001) Ver figura 7.

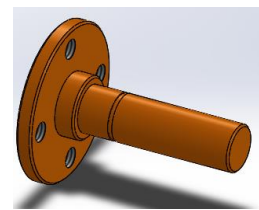


Figura 7.: Brazo de sujeción.

$$\begin{aligned} T_b &= W_{pis} \cdot x \\ T_b &= 40 \text{ N} \cdot 0.32 \text{ m} \cdot \cos 45^\circ \\ T_b &= 9.05 \text{ Nm} \end{aligned} \quad \text{Ec.4.}$$

Dónde:

x = Distancia perpendicular de la fuerza al centro de giro.

Por lo tanto la fuerza tangencial (F_{t1}) en el punto de contacto entre el diente del piñón y la cremallera es:

$$F_{t1} = \frac{T_b}{D_{p1/2}} \quad \text{Ec.5.}$$

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot 9.05 \text{ Nm}}{0.036}$$

$$F_{t1} = 502,8 \text{ N}$$

e. **SELECCIÓN DEL HUSILLO A BOLAS DEL MOVIMIENTO TRASVERSAL.**

La longitud del husillo de bolas tendrá una longitud de 1.35 metros y en función a su vida útil se selecciona un sistema estándar con tuerca única para su movimiento.

Considerando una expectativa de vida de la cabina de pintura de 10 años durante los cuales el mecanismo de movimiento trabajará 4 horas diarias por 5 días cada semana y asumiendo que se utilizará un motor eléctrico de 1800 rpm, se tiene que la vida nominal del husillo de bolas (L) en revoluciones es:

$$L = 10 \text{ años} \cdot \frac{52 \text{ semanas}}{1 \text{ año}} \cdot \frac{5 \text{ días}}{1 \text{ semana}} \cdot \frac{4 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \cdot \frac{1800 \text{ rev}}{1 \text{ min}}$$

$$L = 1123 \cdot 10^6 \text{ rev}$$

Por lo tanto, la vida en millones de revolución (L_{10}) es:

$$L_{10} = 1123$$

f. **DISEÑO DE LAS GUÍAS DEL MOVIMIENTO TRASVERSAL.**

Los ejes guías tienen la misma longitud que el husillo, es decir, 1.35 m y se fabricarán con eje de acero laminado ASTM A36 al que se le aplicará un tratamiento superficial de cromado para evitar la corrosión.

• **DETERMINACIÓN DE CARGAS.**

Las guías deben soportar el peso de todos los componentes del sistema para sujeción y movimiento transversal de las pistolas, es decir, 200 N, (Ver figura 8) pero debido a que el sistema cuenta con dos ejes guías, la fuerza que actúa en cada uno es:

Ec.6.

$$F_G = \frac{W_T}{2}$$

$$F_G = \frac{200 \text{ N}}{2} = 100 \text{ N}$$

Dónde:

F_G = Fuerza de la guía

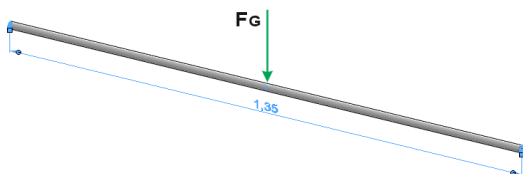


Figura 8.: Cargas que actúan en el eje guía.

g. **SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS LINEALES TRANSVERSALES.**

Los rodamientos lineales deben tener un diámetro interno (F_W) de 20 mm igual al diámetro de las guías. En base a los requerimientos funcionales de la máquina, se selecciona rodamientos del tipo Compact/eLine, Ver figura 9.

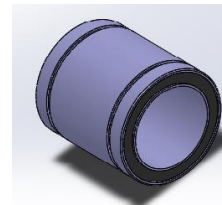


Figura 9.: Rodamiento lineal.

La carga que soporta el rodamiento es:

Ec.7.

$$F_G = \frac{W_T}{2}$$

$$F_G = \frac{200 \text{ N}}{2}$$

$$F_G = 100 \text{ N}$$

h. **DISEÑO DEL CARRO DE MOVIMIENTO TRASVERSAL**

Sobre este elemento se montan los diferentes componentes que sujetan y generan los movimientos de inclinación y transversal de las pistolas de pintar, por lo tanto debe ser capaz de soportar las cargas que cada uno de ellos genera. Por disponibilidad en el mercado, facilidad de maquinado y costos, este elemento se fabricará con planchas de acero estructural ASTM A36. Ver figura 10.

• **DETERMINACIÓN DE CARGAS.**

El carro transversal debe soportar las cargas que se indican a continuación y los puntos de aplicación de dichas cargas se encuentran en los puntos de apoyo o sujeción de cada componente:

- Fuerza tangencial requerida para girar el brazo de sujeción ($F_{t1} = 502,8 \text{ N}$) que actúa en dirección vertical en el buje de apoyo del eje de giro.
- Fuerza radial ($F_{r1} = 183,0 \text{ N}$) que actúa en dirección vertical en el buje de apoyo del eje de giro.
- Fuerza de empuje transmitida por el husillo de bolas ($F_{Ax} = 200 \text{ N}$) que actúa en dirección axial en los puntos de sujeción de la tuerca del husillo.

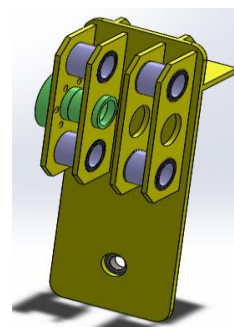


Figura 10.: Diseño del carro del movimiento transversal.

i. **DISEÑO DEL CARRO DE MOVIMIENTO LONGITUDINAL.**

Este carro a la vez que soporta todos los componentes del sistema para movimiento transversal, es el encargado de mover el sistema de pintado a lo largo de la estructura soporte. Al igual que el carro transversal, este elemento se fabricará con planchas de acero estructural ASTM A36. Ver figura 11.

• **DETERMINACIÓN DE CARGAS.**

El carro longitudinal debe soportar las cargas que se indican a continuación y los puntos de aplicación de dichas cargas se encuentran en los puntos de apoyo o sujeción de cada componente:

- Peso total de todos los elementos que forman parte del sistema para sujeción y movimiento transversal de las pistolas de pintar ($W_T \approx 200 \text{ N}$).
- Fuerza de tensión transmitida por la cadena (F_T), necesaria para mover el carro longitudinal a lo largo de las guías.

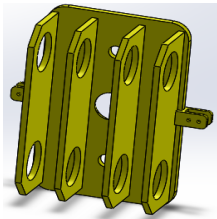


Figura 11.: Diseño del carro del movimiento longitudinal.

j. DISEÑO DE LAS GUÍAS LONGITUDINALES.

Para garantizar que se puede pintar completamente las puertas, las guías longitudinales tienen una longitud de 2.5 m y se fabricarán con eje de acero laminado ASTM A36 al que se le aplicará un tratamiento superficial de cromado para evitar la corrosión.

• DETERMINACIÓN DE CARGAS.

as guías deben soportar el peso de todos los componentes indicados en el acápite anterior, es decir, 370 N, (Ver figura 12) pero debido a que el sistema cuenta con dos guías a cada lado, la fuerza que actúa en cada una es:

Ec.8.

$$F_G = \frac{W_T}{4}$$

$$F_G = \frac{370 \text{ N}}{4} = 92.5 \text{ N}$$

Donde:

$F_G =$ Fuerza de la guía

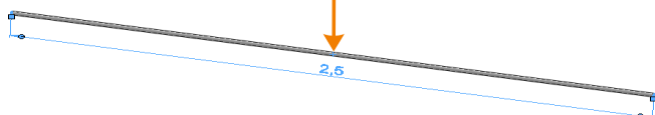


Figura 12.: Cargas que actúan en cada guía longitudinal.

k. SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN.

Con el fin de seleccionar el tamaño de cadena de rodillos más adecuada para la presente investigación es necesario determinar primero la potencia requerida (P_R) para mover el carro transversal a una velocidad de 1 m/s. (PATTANAPAKDEE & BANMONGKOL, 2006)

Ec.9.

$$P_R = F_T \cdot \vec{V}_L$$

$$P_R = 200 \text{ N} \cdot 1.0 \text{ m/s}$$

$$P_R = 200 \text{ W}$$

Para un sistema de transportador con poco impacto y activado mediante un motor eléctrico, el factor de servicio es de 1.3, por lo que la potencia de diseño (P_D) es (OBASE, y otros, 2009):

Ec.10.

$$P_D = 1.3 \cdot P_R$$

$$P_D = 1.3 \cdot 200 \text{ W}$$

$$P_D = 260 \text{ W} = 0.35 \text{ hp}$$

l. DISEÑO DE LA VIGA SOPORTE DE LA PUERTA.

Debido a que la viga soporta principalmente tensiones por esfuerzos normales por flexión y que para lograr un diseño eficiente es necesario diseñar un elemento que con el menor peso cumpla con el factor de seguridad mínimo recomendado, en el catálogo de aceros se seleccionará el perfil U que cumpla con estos requerimientos.

• DETERMINACIÓN DE CARGAS.

La carga máxima que debe resistir la viga soporte es igual a la mitad del peso de la puerta (225 N) como se muestra en la figura 13.

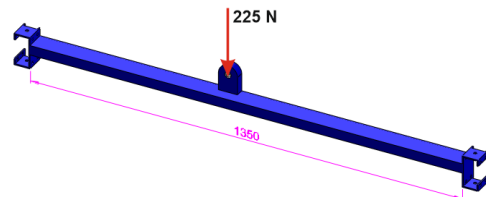


Figura 13.: Carga sobre la viga soporte de la puerta.

m. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE.

La estructura soporta todos los elementos tanto mecánicos como neumáticos del banco de pruebas, por lo que debe soportar tanto los pesos como las cargas que produce cada uno. La estructura base será fabricada con tubo cuadrado estructural de acero ASTM A36. Ver figura 14.

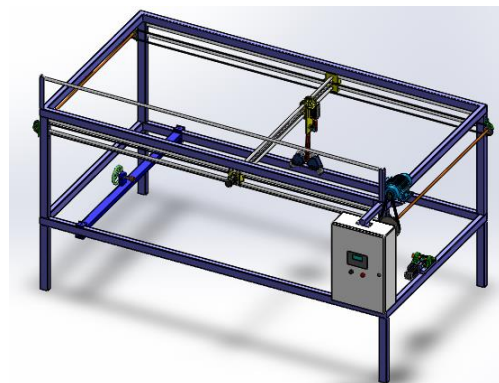


Figura 14.: Estructura base de la cabina.

n. DISEÑO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO.

El movimiento vertical de la cremallera será generado por la carrera del émbolo de un cilindro neumático que será alimentado por el sistema de aire comprimido utilizado para el pintado de las puertas, el mismo que entrega aire comprimido a una presión máxima de 6.9 Bar. El diámetro requerido en el émbolo del cilindro neumático (Φ_{emb}) viene dado por:

Ec.11.

$$p = \frac{F_{t1}}{A_{emb}} = \frac{4 \cdot F_{t1}}{\pi \cdot \Phi_{pist}^2}$$

De donde:

$$\Phi_{emb} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{t1}}{\pi \cdot p}}$$

$$\varnothing_{emb} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 502.8}{\pi \cdot 690 \cdot 10^3}}$$

$$\varnothing_{emb} = 0.031 \text{ m} = 31 \text{ mm}$$

En base al diámetro calculado y la longitud de la cremallera se selecciona del catálogo FESTO el cilindro neumático tipo básico que funciona en un rango de presiones de 0.6 a 12 bar, un diámetro de émbolo de 32 mm y 100 mm de carrera.

o. DISEÑO TÉRMICO DE LA CABINA DE PINTURA.

La cabina de pintura es un componente fundamental del proyecto no solo porque es la encargada de proporcionar un ambiente idóneo para el pintado de las puertas sino también desde el punto de vista medio ambiental, ya que se retienen la mayoría de partículas de pintura y compuestos orgánicos volátiles.

• PARÁMETROS DE DISEÑO.

Para que el proyecto pueda proporcionar todas las ventajas de calidad, funcionalidad y seguridad requeridas, es necesario que la cabina de pintura y secado cumpla con los siguientes parámetros de diseño.

➤ *Dimensiones:* Debido a que todo el sistema automático de pintado de puertas debe caber en el interior de la cabina, es necesario que la misma tenga las siguientes dimensiones principales:

$$\begin{aligned} \text{Largo} &= 3.45 \text{ m} \\ \text{Ancho} &= 2.40 \text{ m} \\ \text{Altura} &= 2.50 \text{ m} \end{aligned}$$

➤ *Tipo de cabina:* Debido a las ventajas que presentan las cabinas de flujo vertical, la cabina será de este tipo, por la que la corriente de aire bajará desde el techo hacia el suelo en sentido vertical.

➤ *Flujo de aire:* Según la norma NFPA-33 el caudal del aire que entra a la cabina debe ser lo suficiente para garantizar por lo menos 60 renovaciones completas de aire por hora.

➤ *Velocidad de aire:* Con el objeto de evacuar de forma adecuada las partículas de pintura, se recomienda que el aire en el interior de la cabina circule con velocidades medias de 0.2 a 0.4 m/s

➤ *Temperatura:* Durante la fase de pintado y secado la cabina debe mantenerse a una temperatura cercana a los 30°C (303°K).

➤ *Parámetros ambientales:* Antes de proceder con el diseño térmico de la cabina de pintura y secado, es necesario indicar los parámetros atmosféricos de la ciudad de Latacunga que influyen directamente en el diseño:

- ✓ Temperatura promedio del aire ambiente = 12°C
- ✓ Altitud promedio de la ciudad de Latacunga = 2750 m
- ✓ Presión atmosférica en Latacunga = 543 mm Hg = 72.4 kPa

• CÁLCULO DEL CAUDAL Y FLUJO MÁSIKO DE AIRE NECESARIO.

El caudal de aire (Q) que debe suministrar el ventilador se determina en función del volumen interior de la cabina y el número de renovaciones de aire por hora recomendado. El volumen interior (V) de la cabina es:

$$\begin{aligned} V &= 3.45 \cdot 2.40 \cdot 2.50 \\ V &= 20.70 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El caudal de aire (\dot{V}) requerido viene dado por (WEERAWARDENA & WIJEKON, 2009):

Ec.12.

$$\begin{aligned} \dot{V} &= V \cdot \#_{renovaciones} \\ \dot{V} &= 20.70 \frac{\text{m}^3}{renov} \cdot 60 \frac{renov}{hora} \\ \dot{V} &= 1242 \text{ m}^3/hora \\ \dot{V} &= 0.345 \text{ m}^3/s = 731.0 \text{ cfm} \end{aligned}$$

Para poder calcular el flujo másico del aire, es necesario determinar primero la densidad promedio (ρ) que tiene el aire ambiente en la ciudad de Latacunga a partir de la siguiente ecuación:

Ec.13.

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

Donde:

- p = Presión atmosférica = 72400 Pa
- R = Constante de los gases = 287 Nm/kg°K
- T = Temperatura ambiente = 12°C = 285 K

Reemplazando los valores se obtiene:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{72400 \frac{N}{m^2}}{287 \frac{Nm}{kg \cdot ^\circ K} \cdot 285 \text{ }^\circ K} \\ \rho &= 0.885 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Por lo tanto, el flujo másico de aire (\dot{m}) requerido en la cabina de pintura es:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad \text{Ec.14.}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 0.885 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.345 \text{ m}^3/s \\ \dot{m} &= 0.305 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

III. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE LA CABINA.

Para el diseño de control eléctrico y electrónico se debe tener en cuenta las condiciones exigidas por el personal que va a operar el sistema. Este sistema debe ser de fácil operación, garantizar un ambiente de trabajo seguro y confiable al operador para que este se familiarice rápidamente con la máquina.

a. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CABINA.

Para el diseño eléctrico se debe tomar en cuenta las siguientes condiciones de funcionamiento:

- La tensión general de alimentación del sistema será de 220 VAC y 110 VAC.
- La tensión de alimentación de los componentes electrónicos como el PLC-HMI será de 24 VDC, variador de frecuencia será de 220 VAC, PID de temperatura será de 110 VAC.
- El sistema será totalmente automático.

- El control de la pistola de pintura y giro de la puerta será neumático.
- El control de movimiento de la pistola será controlado por un motor de movimiento transversal (Motor DC) y un longitudinal (Motor AC) controlado por un variador de frecuencia.
- Los cambios de giro de los motores serán controlados por micro-switch.
- La alimentación de pintura a la pistola será por gravedad.
- La temperatura promedio interna de la cabina será de 25°C a 30°C, suministrada por un calefactor eléctrico.
- Se necesita de un encendido total general.
- Para apagar el sistema se podrá hacerlo de una forma total o parcial, se hará por medio del circuito de mando.
- El motor será controlado por medio de un contactor y protegido con un relé térmico y un breaker para brindar una protección contra cortocircuitos y sobre intensidad.
- Se debe tener un control continuo de la presión de aire de 6.9 Bar del sistema para garantizar el correcto funcionamiento.

Para cumplir con todas estas condiciones exigidas anteriormente para un perfecto funcionamiento del sistema se tomará las siguientes acciones que se detallan a continuación:

- La máquina se instalará en el sitio con una alimentación de 220 VAC más el neutro del cual se alimentará el variador que alimentara al motor AC, así como también el circuito de control de todo el sistema.
- El variador de frecuencia a utilizar tendrá una tensión de entrada bifásica a 220 VAC con la salida trifásica.
- El motor de AC será un motor trifásico controlado por el variador, para tener un mejor control de la velocidad y frenado a lo largo del desplazamiento longitudinal.
- El motor de DC, es para el desplazamiento transversal por ciclos de la pistola.
- Mediante un selector se podrá encender toda la máquina, pero no se podrá empezar el ciclo de pintado si no se digita con la tecla del panel, el operador podrá comenzar a poner en marcha la máquina.
- El tablero de control tendrá un solo pulsante (Paro total general de tipo hongo o paro de emergencia N.C), ya que el control general de la máquina se lo realizará mediante las teclas del PLC-HMI.
- En la pantalla HMI se podrá visualizar el funcionamiento de la máquina y las alarmas, sin la necesidad de tener luces pilotos externas.
- En el tablero de control habrá protección térmica y fusibles de corte rápido para la protección de todos los dispositivos eléctricos y electrónicos.

b. SELECCIÓN DE SELECTORES, PULSADORES Y FUSIBLES.

Existen varios fabricantes de elementos actuadores e indicadores los cuales realizan maniobras de activado y desactivado en un proceso de control que se detalla a continuación:

- *SELECCIÓN DEL SELECTOR.*

Se utilizará para la selección entre la operación de encendido y apagado de la máquina un Selector de dos posiciones con dos contactos NA - NC marca CAMSCO.

• PULSADOR TIPO HONGO.

En un caso emergente se utilizará un interruptor pulsar - tirar con contacto con retención CAMSCO la misma desconectará todo el circuito de mando y control.

• SELECCIÓN DE RELÉS AUXILIARES.

Se utilizará relés auxiliares para proteger las entradas y salidas del PLC, debido a que los contactos del autómatas únicamente soportan una cierta cantidad de corriente y si esa corriente es elevada producirá el deterioro y daño en los contactos, por lo tanto se utilizará relés auxiliares marca CAMSCO

c. FINALES DE CARRERA.

Se necesita utilizar 5 finales de carrera que serán colocados en puntos estratégicos para el correcto movimiento de la máquina, por lo tanto se utilizarán finales de carrera marca CAMSCO.

d. SELECCIÓN DE LA FUENTE DE CORRIENTE CONTINUA.

Para la selección de las dos fuentes de corriente continua se tomó en cuenta dos aspectos principales que son:

- El voltaje que se requiere para el funcionamiento del PLC y accionamiento de los relés es de 24 VDC, y la corriente total que consumirán las bobinas de todos los relés auxiliares será de 2A. Con estos parámetros se adquirió una fuente de ± 24 VDC.
- Para la alimentación del motor de movimiento transversal de 12 VDC, y una corriente de 1.7 A. Con estos parámetros se adquirió una fuente de ± 12 VDC / 3A.

e. RIEL DIN Y CANALETA.

El Riel Din se utilizará para la instalación de los elementos de forma distribuida en el tablero de control. La canaleta permitirá una mejor presentación del cableado dentro del tablero.

f. SELECCIÓN DEL PLC RENU FP-4030.

Dentro de los criterios para escoger el controlador adecuado para el proceso, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

1. Indagar que la marca del controlador sea una marca reconocida y que exista en el mercado para fácil adquisición.
2. En función de la cantidad de entradas - salidas digitales y entradas- salidas análogas.
3. De acuerdo al proceso a realizar, verificar las limitaciones en cuanto a la cantidad de variable internas con que cada PLC puede operar.
4. Capacidad de comunicación con otros dispositivos.
5. Software gratuito para la fácil instalación en cualquier sistema operativo.
6. Manuales con información y manual de programación (escrito o pdf) de simple lectura y con ejemplos de ayuda. Para esto se optó por seleccionar el PLC RENU FP4030, Ver figura 15.



Figura 15.: PLC- RENU FP4030

IV. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.

Después de haber concluido el diseño y selección de todos los elementos con los que va a funcionar la máquina que son mecánica, neumática, térmica y eléctrica, se continúa con la construcción y montaje de los mismos, para ello se utilizará como base los diferentes planos proyectados, obteniendo al final un correcto funcionamiento de la cabina de pintura.

a. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA ESTRUCTURA.

La estructura está constituida por varias vigas a soldar, que van a soportar las diferentes partes móviles de la máquina así como el respectivo peso de la puerta. Ver figura 16. La estructura se construyó con vigas de acero estructural ASTM A36 y van hacer soldadas con electrodos 6011, el tipo de unión utilizada se detalla en el WPS.



Figura 16.: Estructura de la máquina.

b. CONSTRUCCIÓN DE LOS CARROS LONGITUDINALES Y TRANSVERSAL.

Para la construcción de los mismos, se utilizó acero estructural ASTM A36 de 5 mm de espesor los cuales fueron medidos, cortados y soldados de acuerdo a las medidas especificadas. Ver figura 17.



Figura 17.: Carros transversales y longitudinales.

c. MONTAJE DEL CILINDRO DE GIRO DE LA PUERTA.

El cilindro será sujetado con pernos $\frac{1}{4}$ x 2 plg a la placa, al igual que el motor. Ver figura 18.



Figura 18.: Cilindro de giro de la puerta.

d. MONTAJE DE RODAMIENTOS LINEALES EN LOS CARROS.

Los rodamientos serán de 20 mm y serán montados cuatro por cada carro y sujetos por vichas de sujeción. Ver figura 19.



Figura 19.: Rodamientos lineales.

e. MONTAJE DE LOS RIELES DE SUJECIÓN DE CARROS LONGITUDINALES.

Para estos rieles se utilizarán ejes de acero AISI 4140 de 20 mm x 2500 mm y maquinados en los extremos para pernos. Ver figura 20.

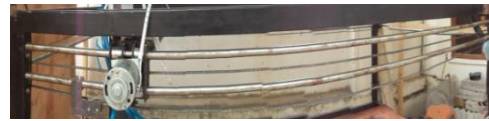


Figura 20.: Rieles longitudinales.

f. MONTAJE DE LOS RIELES DE SUJECIÓN DEL CARRO TRANSVERSAL.

Para estos rieles se utilizarán ejes de acero AISI 4140 de 20 mm x 1300 mm y maquinados en los extremos para pernos M10. Ver figura 21.



Figura 21.: Rieles transversales.

g. MONTAJE DEL HUSILLO A BOLAS.

Este husillo será de acero inoxidable de 15 mm x 1350 mm y un paso de 5 mm previamente calculado anteriormente, este será maquinado en sus extremos para facilitar la sujeción a los carros. Ver figura 22.



Figura 22.: Husillo a bolas.

h. MONTAJE DE CILINDRO NEUMÁTICO DE GIRO DE LA PISTOLA.

El cilindro será de carrera 100 mm que fue calculada anteriormente para poder girar el ángulo requerido. Este será sujetado al carro transversal con perno M5, el cual estará sujetando a la cremallera. Ver figura 23.



Figura 23.: Cilindro neumático-cremallera

i. MONTAJE DE LOS MOTORES DE MOVIMIENTO TRANVERSAL Y LONGITUDINAL.

El motor transversal estará sujeto a la base de carro longitudinal con base para motor con pernos de hexagonales de ¼ x ½ plg. Ver figura 24.



Figura 24.: Motor para el movimiento transversal.

El motor longitudinal estará ubicado en la base soldada en la estructura y sujeto con pernos M10. Ver figura 25.



Figura 25.: Motor para el movimiento longitudinal.

j. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SOPORTE PARA AJUSTE DEL TAMAÑO DE LA PUERTA.

En la construcción del soporte se usará acero estructural ASTM A36, para lo cual primero se procede a cortar el material con las dimensiones especificadas, posteriormente se soldara todas las piezas con electrodo 6011. Ver figura 26.



Figura 26.: Soporte para ajuste de la puerta.

i. MONTAJE DE LOS MICROS SWITCH.

Los micros switch longitudinales estarán ubicados al principio y final del eje como se muestra en la figura 27, estos micros switch permitirán sensar el movimiento longitudinal de la pistola.



Figura 27.: Micros switch ubicados longitudinales.

Los micros switch transversales estarán ubicados al principio y final del eje transversales como se muestra en la figura 28, estos micros permitirán sensar el movimiento transversal de la pistola.



Figura 28.: Micros switch ubicados transversales.

k. CONSTRUCCIÓN DE LA CABINA DE PINTURA.

Para la construcción de la cabina se utilizó planchas de madera de 10 mm de espesor para tener a una temperatura de secado de la puerta entre 25°C a 30°C. Ver figura 29.



Figura 29.: Construcción de la cabina.

V. CONCLUSIONES.

- Se diseñó, construyó y automatizó una cabina de pintura climatizada para acabados de modulares de madera obteniendo un mejoramiento notable en la aplicación de pintura.
- Se aumentó la velocidad de pintado y se mejoró los acabados superficiales debido a la optimización del proceso que se utiliza en la producción.
- Se realizó la selección y el dimensionamiento de los elementos que intervienen en la máquina, cuidadosa y correctamente, poniendo en óptimo funcionamiento la máquina.
- Los elementos del sistema mecánico fueron diseñados mediante los métodos analítico y tecnológico en el cual interviene el software SolidWorks 2013, con los cuales se estableció fundamentalmente parámetros como son: dimensión, tipo de sujeción, movimiento, esfuerzo máximo y factor de seguridad,
- Los elementos del sistema neumáticos fueron seleccionados y dimensionados de tal manera que exista la menor cantidad de pérdidas. Se tomaron en cuenta todas las caídas de presión que se perdían en las mangueras y accesorios lo que permitió seleccionar adecuadamente los elementos neumáticos del sistema.
- Se diseñó, seleccionó, programó e implementó el sistema eléctrico de control y potencia cumpliendo con todos los parámetros necesarios para el funcionamiento automático de la cabina de pintura.
- Con la automatización de la cabina se obtuvo un ahorro tanto en procesos de operación como de mantenimiento.
- Se obtuvo una distribución uniforme de temperaturas en todo el interior del horno permitiendo utilizar todo su volumen para un acabado de pintura excelente
- Las pruebas de funcionamiento fueron muy determinantes para establecer tiempos de activación de los elementos que intervienen en el movimiento transversal y vertical para regular el tamaño de la puerta a pintarse.

VI. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Ascio Technologies, Inc. (26 de Agosto de 2008). Obtenido de www.ascio.com: <http://www.arian.com>
Ascio Technologies, Inc. (26 de Agosto de 2008). Obtenido de www.ascio.com: <http://www.arian.com>
- [2] Deane, S. (18 de Enero de 2000). www.totalregistrations.com.
<http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/presentacionesneumatica1>.
- [3] Enom, Inc. (11 de Octubre de 2011). www.enom.com.
<http://www.monografias.com/trabajos13/actuneu/actuneu.shtml>
- [4] Beer, Ferdinand P. (1997). Fuerzas, Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática (4 ed.). México, D.F. Ms.Graw.HILL.
- [5] Mott. (2006). Diseño de Elementos de Máquinas (4 ed.). México: Pearson Education.
- [6] Shigley, J.E. y Mischke, C.R. (1985). Diseño en Ingeniería Mecánica (4 ed.). México Editorial MacGraw – Hill.
- [7] Shigley, J.E. y Mischke, C.R. (2006). Diseño en Ingeniería Mecánica (8 ed.). México Editorial MacGraw – Hill.
- [8] Beer, Ferdinand P. (1997). Fuerzas, Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática (4 ed.). México, D.F. Ms.Graw.HILL.
- [9] Faires. (1978). Termodinámica (6 ed.). México, D.F, Hispano Americana.

VII. BIOGRAFÍA



Javier Espin: Nació el 21 junio del 1986 en la ciudad de Baños, Ecuador, realizó sus estudios de Bachillerato en el Colegio "UE FAE # 5" graduado de Físico Matemático

Sus estudios superiores los realizó en la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, y obtuvo el título de Ingeniero Electromecánico en el 2014.

Email: javitosespin@yahoo.com



Fabián Guanoluisa: Nació el 7 Enero del 1985 en la ciudad de Latacunga, Ecuador, realizó sus estudios de Bachillerato en el Colegio Técnico Industrial "Dr. Trajano Naranjo Iturralde" graduado en Técnico en Electricidad

Sus estudios superiores los realizó en la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, y obtuvo el título de Ingeniero Electromecánico en el 2014.

Email: myx_fox@hotmail.com