



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Análisis y Propuesta de Producción de  
Máquina Bomba Centrífuga para  
Embalsamiento de Cuerpos Humanos**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**P R E S E N T A**

Pablo Córdoba Nájera

**ASESOR DE INFORME**

Dr. José Melesio Sánchez Huerta



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y  
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL  
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado ANALISIS Y PROPUESTA DE PRODUCCION DE MAQUINA BOMBA CENTRIFUGA PARA EMBALSAMIENTO DE CUERPOS HUMANOS que presenté para obtener el titulo de INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

---

**PABLO CORDOBA NAJERA**  
Número de cuenta: 087557178

## **Índice General**

1. Introducción al embalsamamiento y tecnologías actuales
2. Fundamentos teóricos de dinámica de fluidos y bombas centrífugas
3. Aplicaciones médicas y funerarias de máquinas centrífugas
4. Análisis de requerimientos funcionales para la máquina
5. Diseño conceptual del sistema centrífugo
6. Selección y justificación de componentes con cálculos de ingeniería
7. Diseño de sistemas periféricos (alimentación, evacuación, control)
8. Análisis de eficiencia en el proceso de embalsamamiento
9. Cálculo del ciclo de trabajo: tiempo estimado, volumen desplazado, energía consumida
10. Factibilidad
11. Conclusiones
12. Referencias bibliográficas

---

### **1. Introducción al embalsamamiento y tecnologías actuales**

El embalsamamiento es el proceso de preservar temporalmente un cuerpo humano fallecido para retrasar su descomposición, generalmente con fines funerarios o de investigación médica. Consiste en la inyección de soluciones químicas preservantes (típicamente a base de formaldehído) en el sistema vascular del cadáver, reemplazando la sangre y logrando la fijación de tejidos. Históricamente, se practicó desde las civilizaciones antiguas (por ejemplo, embalsamamiento egipcio) mediante métodos rudimentarios, pero en la era moderna se consolidó con técnicas químicas desarrolladas en el siglo XIX. En la actualidad, el embalsamamiento es una parte esencial de la tanatopraxia, proporcionando a las familias la oportunidad de un velorio con apariencia tranquila del difunto, y con bioseguridad al inactivar patógenos en el cuerpo.

Existen varios métodos para inyectar el líquido arterial embalsamador en el cadáver. El método más básico y antiguo es por gravedad, usando un frasco elevado conectado por manguera al cuerpo; este método aprovecha una diferencia de altura para generar

presión hidrostática: 0.73 mmHg por cada cm de elevación (0.43 psi por pie). Aunque económico, el método de gravedad es lento y difícil de controlar. Posteriormente se introdujeron las jeringas de bulbo y bombas manuales (de mano o de pie) que permiten impulsar el fluido con más presión que la gravedad. En algunos países, por ejemplo, el Reino Unido, siguió siendo común la inyección manual con bulbo hasta mediados del siglo XX, debido a su simplicidad. En 1955, Jim Wilden diseñó la bomba neumática o de diafragma que utilizaba una doble membrana para bombear líquido. Estos equipos aliviaban el trabajo manual del embalsamador, pero debían usarse con mucha precaución ya que podían generar presiones elevadas; muchas de estas máquinas neumáticas se han considerado obsoletas o históricas por cuestiones de seguridad.

En la actualidad, el estándar de la industria funeraria es el uso de máquinas de embalsamar con bomba centrífuga eléctrica. Este tipo de aparato, introducido a mediados del siglo XX, se ha convertido en el método más ampliamente aceptado para la inyección arterial. Una máquina de embalsamamiento centrífuga típica es un dispositivo compacto y autocontenido que incluye un depósito para la solución preservante, una bomba centrífuga accionada por un motor eléctrico, válvulas de control de presión/flujo y manómetros indicadores. Estas máquinas permiten mantener una presión constante y un flujo regulable de la solución, logrando una distribución más uniforme y rápida del químico por el cuerpo en comparación con la simple gravedad. Por ejemplo, la máquina embalsamadora Jindal, fabricada en la India, puede inyectar formaldehído a una velocidad mucho mayor que el proceso normal por gravedad, gracias a su bomba centrífuga y controles incorporados. De hecho, con las máquinas modernas es posible inyectar y llenar todo el cuerpo en minutos, mientras que por gravedad podría tomar horas.



Otra ventaja clave de las bombas motorizadas es la posibilidad de pulso: algunos modelos simulan el latido cardíaco alternando presión y descanso, mejorando la

penetración en tejidos y evitando bloqueos vasculares. También suelen incorporar sistemas de seguridad, como válvulas antirretorno (para prevenir reflujo de líquidos al tanque) y apagado automático cuando se agota el líquido, protegiendo el equipo y al operador. Los equipos contemporáneos se fabrican en materiales resistentes a químicos (tanques y carcasas de acero inoxidable, mangueras de PVC reforzado) para soportar las soluciones embalsamadoras que suelen ser corrosivas.

En síntesis, la tecnología ha evolucionado desde métodos pasivos y manuales hacia sistemas mecánicos sofisticados centrífugos, logrando mayor rapidez, control y seguridad en el embalsamamiento. Este trabajo presenta el diseño conceptual de una máquina centrífuga de embalsamamiento fabricada en México, utilizando componentes de origen mexicano y extranjero (principalmente chino) para lograr la misma calidad que las máquinas actuales de fabricación extranjera, pero a menor costo y con ventajas de disponibilidad inmediata en el territorio mexicano. Se analizarán los fundamentos técnicos, las aplicaciones, los requerimientos de diseño, la selección de componentes, el diseño del sistema y periféricos, eficiencia del proceso, cálculos de operación, costos estimados y consideraciones de manufactura local. El objetivo es proponer un diseño viable de manufactura contextualizado al mercado mexicano de embalsamamiento, aprovechando la disponibilidad de componentes nacionales e internacionales de bajo costo pero con integración y ensamblaje nacional.

---

## **2. Fundamentos teóricos de dinámica de fluidos y bombas centrífugas**

### **2.1 Dinámica de fluidos aplicada al sistema vascular**

La inyección de líquido embalsamador en un cuerpo se rige por principios de hidráulica de flujo interno. Al tratarse de líquidos prácticamente incompresibles, se puede aplicar la ecuación de Bernoulli en flujo estacionario para relacionar la presión, la energía cinética y la altura en diferentes puntos. En el contexto de una bomba de embalsamar, la bomba proporciona una energía de presión al fluido para vencer la resistencia del sistema vascular del cuerpo (resistencia debida a fricción en vasos sanguíneos, estrechamientos, colapso de vasos, etc.). La presión requerida dependerá de factores como la viscosidad de la solución (similar al agua, aunque con aditivos), la temperatura, y el calibre de los vasos.

#### **Ecuación de Bernoulli generalizada:**

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_b = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H_f$$

Donde:

- $P$  = presión (Pa)
- $\rho$  = densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$  = aceleración gravitacional ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )
- $v$  = velocidad del fluido (m/s)
- $z$  = altura geométrica (m)
- $H_b$  = altura proporcionada por la bomba (m)
- $H_f$  = pérdidas por fricción (m)

### Número de Reynolds:

Para determinar el régimen de flujo en las tuberías y en el sistema vascular, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Donde:

- $v$  = velocidad del fluido (m/s)
- $D$  = diámetro del conducto (m)
- $\mu$  = viscosidad dinámica (Pa·s)

Para una solución de formaldehído al 5% a 20°C:

- $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$
- $\mu \approx 1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  (ligeramente mayor que el agua)

Con una manguera de 9.5 mm (3/8") de diámetro y un caudal de 0.5 L/min ( $8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ):

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{8.33 \times 10^{-6}}{\pi(0.0095)^2/4} = 0.117 \text{ m/s}$$
$$Re = \frac{1000 \times 0.117 \times 0.0095}{1.2 \times 10^{-3}} = 926$$

Este valor ( $Re < 2000$ ) indica flujo laminar, lo que simplifica el análisis mediante la Ley de Hagen-Poiseuille.

### **Ley de Hagen-Poiseuille:**

Para flujo laminar en un tubo cilíndrico de sección constante:

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\mu L}$$

O en términos de caída de presión:

$$\Delta P = \frac{8\mu L Q}{\pi R^4}$$

Esta ecuación muestra que el caudal es extremadamente sensible al radio del conducto (potencia cuarta), lo que explica por qué la obstrucción de vasos sanguíneos pequeños (arteriolas, capilares) puede reducir drásticamente el flujo.

## **2.2 Principio de funcionamiento de la bomba centrífuga**

Una bomba centrífuga es una máquina rotodinámica que convierte energía mecánica (de un motor) en energía hidráulica (presión y velocidad en un fluido). Consta de un impulsor rotatorio dentro de una carcasa espiral. El impulsor tiene álabes curvados que, al girar rápidamente, imprimen velocidad al fluido por fuerza centrífuga. El líquido entra axialmente por el centro del impulsor (el ojo de succión) y es acelerado radialmente hacia el borde externo por las paletas. En la periferia, la voluta de la carcasa recoge el fluido y convierte gran parte de esa energía cinética en energía de presión al disminuir gradualmente la velocidad. De este modo, la bomba entrega el líquido a la tubería de descarga con una presión más alta que a la entrada.

## **2.3 Curva característica de la bomba y curva del sistema**

El comportamiento de una bomba centrífuga se describe mediante su curva característica, que relaciona la altura manométrica (head) con el caudal. Esta curva típicamente tiene forma descendente: a mayor caudal, menor altura.

### **Altura manométrica (Head):**

$$H = \frac{P_{descarga} - P_{succión}}{\rho g} + \frac{v_{descarga}^2 - v_{succión}^2}{2g} + (z_{descarga} - z_{succión})$$

### Curva del sistema:

La resistencia del sistema vascular (y las tuberías) sigue una relación cuadrática con el caudal:

$$H_{sistema} = H_{estática} + kQ^2$$

Donde  $k$  es el coeficiente de pérdidas totales.

### Punto de operación:

El punto de operación es la intersección de la curva de la bomba  $H_b(Q)$  y la curva del sistema  $H_s(Q)$ . Este punto determina el caudal real que entregará la bomba.

### Ecuación de Euler para turbomáquinas:

La altura teórica generada por el impulsor está dada por:

$$H_{teórica} = \frac{u_2 V_{u2} - u_1 V_{u1}}{g}$$

Donde:

- $u$  = velocidad tangencial del impulsor (m/s)
- $V_u$  = componente tangencial de la velocidad absoluta del fluido (m/s)

## 2.4 Parámetros de diseño críticos

### NPSH (Net Positive Suction Head):

Para evitar cavitación, la presión en la succión debe ser suficiente:

$$NPSH_{disponible} = \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\rho g} + z_{succión} - h_{f,succión}$$
$$NPSH_{requerido} \leq NPSH_{disponible}$$

Para nuestra aplicación, la bomba se colocará por debajo del nivel del tanque (condición inundada), asegurando un NPSH disponible  $> 3$  m, suficiente para bombas centrífugas pequeñas.

### Potencia hidráulica y potencia al eje:

$$P_{hidráulica} = \rho g Q H$$

$$P_{eje} = \frac{P_{hidráulica}}{\eta_{bomba}}$$

Para nuestro diseño:

- $Q = 8.33 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  (5 L/min)
- $H = 50 \text{ m}$  (presión máxima ~ 5 bar)
- $\eta_{bomba} \approx 0.5$  (eficiencia típica para bombas pequeñas)

$$P_{hidráulica} = 1000 \times 9.81 \times 8.33 \times 10^{-5} \times 50 = 40.8 \text{ W}$$
$$P_{eje} = \frac{40.8}{0.5} = 81.6 \text{ W} \approx 0.11 \text{ HP}$$

Un motor de 1/4 HP (186 W) proporciona suficiente margen de seguridad (factor de servicio > 2).

## 2.5 Seguridad inherente de la bomba centrífuga

A diferencia de las bombas de desplazamiento positivo (ej. bombas de émbolo o peristálticas) que entregan un volumen fijo por ciclo independientemente de la presión, las bombas centrífugas no tienen válvulas internas y el flujo que entregan es continuo y se autorregula según la contrapresión del sistema. Esto significa que si la salida se obstruye, una bomba centrífuga alcanzará una presión máxima (cabeza de cierre) y simplemente recirculará el fluido en su interior sin aumentar más la presión, proporcionando una especie de "seguridad pasiva" contra sobrepresiones extremas. Este principio es sumamente útil en embalsamamiento, porque implica que es menos probable reventar un vaso sanguíneo: cuando la vasculatura está llena, el flujo prácticamente se detiene en lugar de seguir subiendo la presión indefinidamente.

---

## 3. Aplicaciones médicas y funerarias de máquinas centrífugas

### 3.1 Aplicación médica (perfusión e investigación)

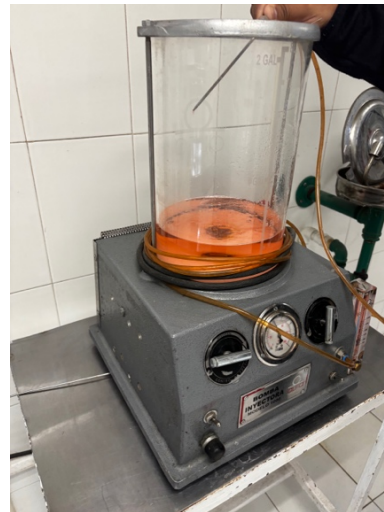
Si bien las máquinas de embalsamar están diseñadas para cadáveres, tecnologías análogas de bombeo centrífugo se utilizan en medicina viva para circulación extracorpórea. Por ejemplo, en máquinas corazón-pulmón durante cirugías cardíacas o en dispositivos de asistencia ventricular, se usan bombas centrífugas biomédicas para impulsar sangre. En estos casos, se valora que la bomba centrífuga proporcione flujo continuo sin pulsos bruscos (reduciendo daño a células sanguíneas) y que no

genere sobrepresiones que puedan lesionar vasos frágiles, principios similares a los valorados en embalsamamiento.

Otra aplicación médica es la perfusión de órganos para trasplante: pequeños equipos portátiles con bombas centrífugas mantienen circulación de solución preservante en órganos explantados (por ejemplo, bombear solución fría en un riñón para mantenerlo viable). Estas bombas comparten con las de embalsamar la necesidad de ser confiables, fáciles de usar y de materiales biocompatibles.

### **3.2 Aplicación funeraria (tanatopraxia)**

En funerarias, servicios forenses y morgues, las bombas centrífugas se emplean para la inyección arterial del líquido embalsamador en cadáveres. Su función es distribuir uniformemente la solución preservante (arterial) a través del sistema circulatorio, llegando a todos los tejidos. Esto incluye la inyección inicial por una arteria principal (usualmente la carótida o femoral) y el drenaje simultáneo de sangre por la vena acompañante.



Las máquinas centrífugas son ideales aquí por su control de presión y flujo: el embalsamador puede comenzar con presión baja hasta abrir circulación, luego aumentar presión para alcanzar áreas más resistentes, ajustando según la respuesta del cuerpo. Algunas marcas líderes en la industria de embalsamamiento (como Dodge, Porti-Boy, o Noayr) han perfeccionado estas máquinas para uso rutinario en funerarias, ofreciendo características como pulsación simulando latido, tanques de mayor capacidad, y compatibilidad con químicos especiales.

### **3.3 Contexto en México**

En el contexto específico de México, las máquinas de embalsamar centrífugas se utilizan en funerarias de mediano y gran tamaño, así como en las facultades de medicina (para preparación de cadáveres de estudio). Muchas de estas máquinas son importadas (marcas estadounidenses o europeas); sin embargo, en años recientes se han visto equipos de origen asiático (China, India) a menor costo, o incluso la manufactura local de unidades artesanales usando bombas centrífugas industriales adaptadas. Esto abre la oportunidad para un diseño conceptual mexicano que incorpore componentes disponibles local y globalmente, pero integrados nacionalmente, reduciendo costos y facilitando mantenimiento local.

---

## **4. Análisis de requerimientos funcionales para la máquina**

A partir del entendimiento de las necesidades prácticas en una morgue/funeraria y de los principios técnicos descritos, se definen los requerimientos funcionales clave que debe cumplir la máquina centrífuga de embalsamamiento propuesta:

### **4.1 Capacidad de inyección eficaz**

La máquina debe ser capaz de inyectar la solución arterial preservante en un cadáver de adulto con un volumen de sangre entre 4.5 y 6 L, en un tiempo razonable, preferiblemente < 30 minutos de perfusión activa. Esto implica manejar un volumen típico de ~9–12 litros de solución por procedimiento. El diseño debe incluir un tanque con capacidad suficiente: se estima mínimo 10 L, ideal 12 L, para contener todo el líquido de embalsamar requerido sin necesidad de recargas a mitad del proceso.

### **4.2 Rango adecuado de presión y flujo**

Debe generar una presión de inyección ajustable entre aproximadamente 5 psi (250 mmHg) hasta un máximo de al menos ~80–100 psi (5171 mmHg), para poder adaptarse a distintos escenarios: desde cadáveres frescos con buena permeabilidad vascular hasta casos de arterias escleróticas que requieren mayor presión. El caudal máximo

deseable es del orden de  $\sim 4$  L/min, aunque operará usualmente en rangos menores controlados. El sistema debe permitir modular el flujo independientemente de la presión, ya sea mediante válvula reguladora de flujo o control de velocidad de la bomba.

#### 4.3 Control de pulsación

El equipo ofrecerá dos modos de bombeo: flujo continuo y flujo pulsado. El modo pulsado simulará la acción de un corazón latiendo, generando ciclos de presión sistólica/diastólica alrededor de una frecuencia ajustable (por ejemplo, 16–30 pulsos por minuto). Esta característica ha demostrado utilidad para sortear bloqueos vasculares, ya que un pulso rítmico puede ayudar a disolver coágulos o abrir capilares colapsados sin forzar excesivamente el sistema.

#### 4.4 Seguridad hidráulica y de sobrepresión

Como requerimiento crítico, la máquina no debe reventar ni dañar tejidos por presión excesiva. Se implementará un sistema de alivio de presión o válvula de seguridad o bypass externo al tanque calibrado a un valor por encima del rango normal, ej.  $\sim 80$  psi para descargar automáticamente líquido de vuelta al depósito en caso de bloqueo total prolongado. También es importante un manómetro de fácil lectura en el panel, que indique al embalsamador la presión en tiempo real durante la inyección.

#### 4.5 Compatibilidad química y limpieza

Todos los componentes en contacto con el fluido deben ser resistentes a la corrosión y a químicos. Las soluciones de embalsamar contienen formaldehído, fenoles, metanol, y a veces compuestos clorados; por ello se prefiere aceros austeníticos como el 304 o el 316 para tanque y tuberías, plásticos como PVC o silicona de grado médico para mangueras, y sellos de viton o teflón en lugar de cauchos naturales. La máquina debe ser fácil de limpiar y desinfectar tras su uso, con drenajes que permitan vaciar completamente el tanque y purgar la bomba con agua limpia o solución neutralizante.

#### 4.6 Portabilidad y ergonomía

El equipo será concebido para uso en salas de embalsamamiento relativamente reducidas y a veces con necesidad de mover la unidad. Por tanto, se especifica un



diseño montado en un chasis con ruedas (bloqueables) para su traslado. Las dimensiones deben permitir pasar por puertas estándar (~70–80 cm de ancho). Además, se requiere que el panel de control (válvulas, medidores, interruptores) esté accesible y sencillo de operar incluso con guantes.

#### **4.7 Alimentación eléctrica y seguridad eléctrica**

La máquina debe poder funcionar con la red eléctrica local (en México, ~127 V 60 Hz monofásico; también contemplar versión 220 V si se planea exportar). Consumirá una potencia relativamente baja (<300 W), por lo que un tomacorriente estándar será suficiente. Incluirá un interruptor de encendido protegido, fusible o disyuntor de sobrecorriente, y aislamiento apropiado de conexiones eléctricas para evitar riesgo de choque en ambiente potencialmente húmedo.



#### **4.8 Durabilidad y mantenimiento**



La máquina debe estar diseñada para un uso frecuente y prolongado. En funerarias ocupadas, podría utilizarse varias veces al día; por ello se espera que los componentes (motor, bomba) tengan vida útil de miles de horas de operación. Se deben minimizar las piezas sujetas a desgaste, por ejemplo, acoplamiento magnético en la bomba para evitar sellos mecánicos que se desgasten y filtren. El mantenimiento rutinario debe ser sencillo: enjuague post-uso, lubricación mínima, reemplazo fácil de mangueras o sellos.

#### **4.9 Costo accesible**

La máquina debe ser económicamente viable para talleres de manufactura mexicanos y competitiva frente a importaciones. Esto implica un diseño que use componentes comercialmente disponibles en lugar de partes a medida costosas, y una integración eficiente. El objetivo orientativo es lograr un costo de producción al menos un 30–40% menor que el de máquinas importadas equivalentes que oscilan entre \$3,000 y \$4,000 USD, de modo que sea atractiva para funerarias locales.

### **5. Diseño conceptual del sistema centrífugo**

#### **5.1 Configuración general y subsistemas**

El sistema se concibe en una configuración vertical compacta montada sobre un bastidor con ruedas. En la parte inferior se situará el tanque de solución de ~10–12 L de capacidad, fabricado en acero inoxidable grado médico. Encima del tanque irá montada la bomba centrífuga con su motor eléctrico acoplado (motor sobre el tanque, bomba con succión directa desde el fondo del tanque para asegurar cebado).

En el panel frontal se colocarán los instrumentos de control:

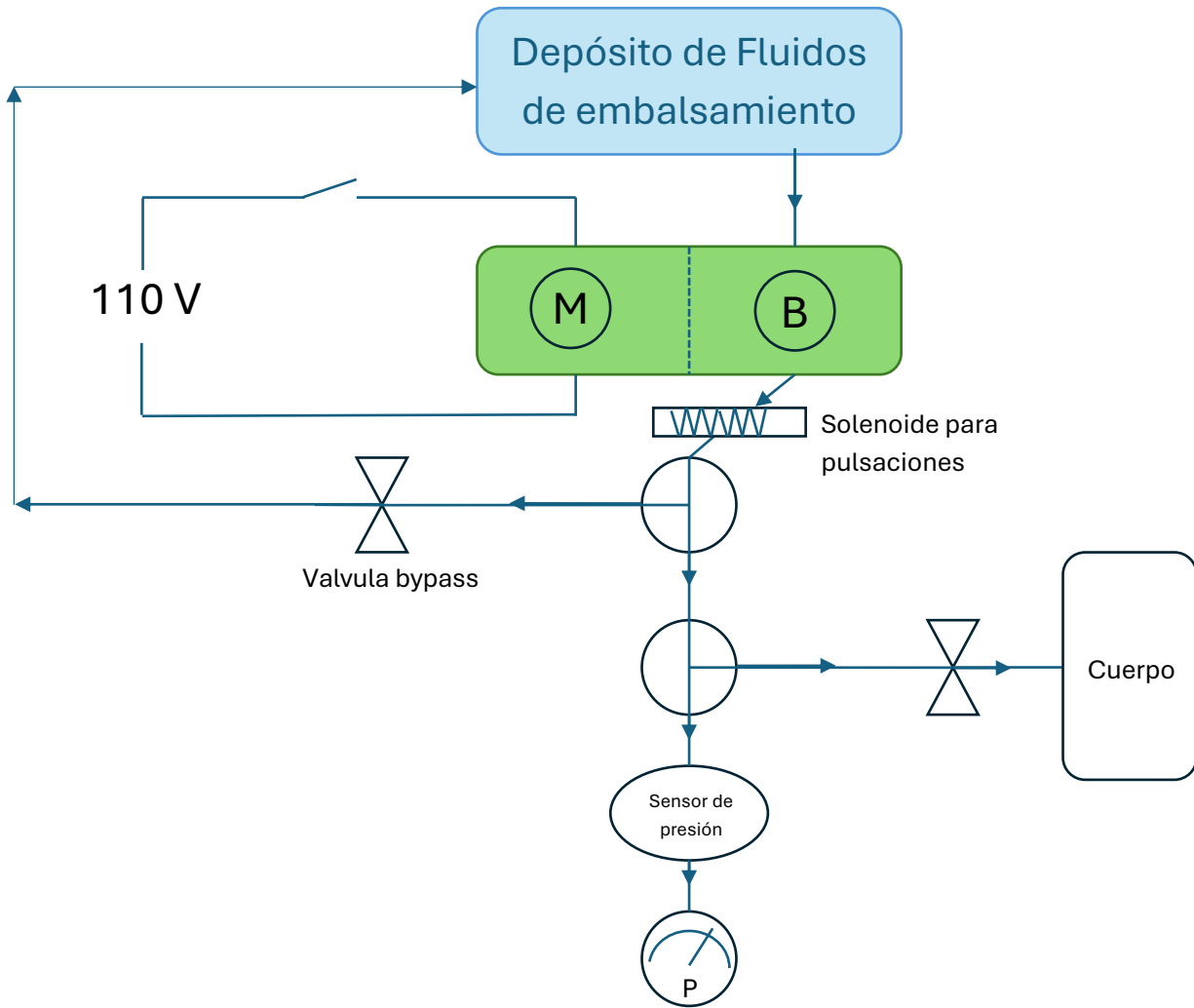
- Válvula de control de flujo (válvula de aguja o mariposa en la línea de salida)
- Válvula de control de presión/bypass para retorno del fluido al tanque
- Manómetro (0–100 psi)
- Caudalímetro tipo tubo transparente con flotador (opcional)
- Interruptores: encendido general, selector de modo continuo/pulsado, potenciómetro para frecuencia de pulsos
- Botón de paro de emergencia

## **5.2 Circuito hidráulico**

Internamente, el circuito hidráulico seguirá un esquema clásico de máquina de embalsamar:

Tanque → Filtro de succión → Bomba centrífuga → Válvula de presión/bypass → Manómetro → Válvula de flujo → Válvula antirretorno → Manguera arterial → Cánula → Cuerpo → (Retorno al tanque)

La válvula de presión (bypass) permite recircular parte del flujo al tanque, manteniendo la presión deseada en la línea de salida incluso cuando el flujo al cuerpo está restringido.



### 5.3 Selección de la bomba centrífuga

El corazón del diseño es la bomba. Se opta por una bomba centrífuga de acoplamiento magnético (mag-drive), que elimina la necesidad de un sello dinámico en el eje; el impulsor es accionado magnéticamente a través de una carcasa sellada. Esto previene fugas de líquido embalsamador por el eje y reduce mantenimiento.

#### Especificaciones técnicas de la bomba seleccionada:

| Parámetro             | Valor                                       |
|-----------------------|---|
| Tipo                  | Centrífuga magnética (mag-drive)            |
| Potencia              | 1/4 HP (186 W)                              |
| Caudal máximo         | 20 L/min (a 0 m de altura)                  |
| Altura máxima         | 50–60 m (~85 psi)                           |
| Material del cuerpo   | Polipropileno o PVDF                        |
| Material del impulsor | Polipropileno reforzado con fibra de vidrio |
| Sellos                | Sin sello mecánico (acople magnético)       |
| Temperatura máxima    | 80°C  |
| Conexiones            | 1/2" NPT                                    |

### 5.4 Motor eléctrico y control de velocidad

El motor eléctrico elegido será monofásico 127 V, 60 Hz, 1/4 HP, 3450 rpm (2 polos), con carcasa TEFC (Totally Enclosed Fan Cooled) para protección contra vapores, y aislamiento clase F.

Para implementar el modo pulsado, se utilizará un **Variador de Frecuencia (VFD)** monofásico a trifásico, que permita modular la velocidad del motor en un ciclo programable. El VFD seleccionado tendrá:

- Entrada: 1 fase, 127 V, 50/60 Hz
- Salida: 3 fases, 0–127 V, 0–400 Hz
- Potencia: 0.5 HP (margen de seguridad)
- Entrada digital para selección de perfil de velocidad
- Salida de relé para indicación de estado

El perfil de pulsación se programará con ciclos de aceleración/desaceleración para simular un latido cardíaco (por ejemplo, 2 segundos a 3450 rpm, 1 segundo a 1500 rpm, repetir).

## 5.5 Válvulas y tuberías

### **Válvula de presión/bypass:**

Válvula reguladora de aguja con muelle calibrado en acero inoxidable 316, rango 0–100 psi. Se ajusta manualmente para definir la presión máxima en la línea. Cuando la presión supera el punto de ajuste, la válvula abre y desvía líquido al tanque.

### **Válvula de flujo:**

Válvula de bola de 3/8", acero inoxidable 316, para apertura/cierre rápido del flujo hacia el cuerpo.

### **Válvula antirretorno:**

Válvula check de 3/8", acero inoxidable 316, con resorte ligero, instalada después de la válvula de flujo para evitar reflujos desde el cuerpo.

### **Válvula de seguridad (respaldo):**

Válvula de alivio tarada a 120 psi, que abrirá directamente al tanque si la presión excede este límite por cualquier fallo.

### **Tuberías internas:**

Acero inoxidable 316, diámetro 1/4" NPT, con conexiones roscadas selladas con cinta de PTFE.

### **Manguera arterial externa:**

PVC flexible trenzado, 3/8" de diámetro interno, longitud 2 m, presión de trabajo 150 psi, con conectores rápidos tipo Luer lock o adaptadores cónicos para cánulas.

## 5.6 Instrumentación

### **Manómetro:**

Analógico de bourbon, 0–100 psi, 2.5" de diámetro, lleno de glicerina para amortiguar vibraciones, conexión 1/4" NPT.

### **Caudalímetro**

**(opcional):**

Rotámetro de tubo de vidrio, rango 0–4 L/min, instalado en la línea de salida para visualización directa del caudal.

### **Sensor de nivel de líquido:**

Flotador magnético vertical con interruptor, instalado dentro del tanque. Activará una alarma y apagará el motor cuando el nivel baje por debajo de 0.5 L, evitando que la bomba funcione en seco.

### **Sensor de presión electrónico (para control avanzado):**

Transductor de presión 0–100 psi, salida 4–20 mA, conectado a un microcontrolador para monitoreo y registro de datos.

## 5.7 Carcasa y ergonomía

Todo el conjunto de bomba, válvulas y tanque estará contenido en una carcasa de lámina de acero inoxidable AISI 304, espesor 1.5 mm, con acabado pulido (grano 320) para facilitar limpieza. Dimensiones exteriores aproximadas: 50 cm de ancho × 40 cm de fondo × 70 cm de alto.

### **Elementos ergonómicos:**

- Panel de control inclinado a 15° para fácil lectura
- Manijas laterales para empuje y transporte
- Ruedas de 4" con freno en las dos delanteras
- Bandeja superior inclinada para reposo de manguera y cánula
- Gancho para enrollar cable de alimentación

---

## 6. Selección y justificación de componentes con cálculos de ingeniería

### 6.1 Bomba centrífuga magnética

**Selección:** Bomba centrífuga de acoplamiento magnético, marca March (o equivalente chino), modelo MDX-MT3, 1/4 HP.

### Justificación:

- Elimina sellos mecánicos → sin fugas, mínimo mantenimiento
- Materiales compatibles con formaldehído (PVDF, PTFE)
- Curva característica adecuada: altura máxima ~55 m, caudal máximo ~20 L/min
- NPSH requerido < 2 m, fácilmente alcanzable con tanque por encima

### Cálculo de verificación de NPSH:

$$NPSH_{disponible} = \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\rho g} + h_{tanque} - h_{f,succión}$$

### Datos:

- $P_{atm} = 101.3$  kPa (Ciudad de México, altitud 2240 m:  $P_{atm} \approx 78$  kPa)
- $P_{vapor}@20^{\circ}C = 2.34$  kPa
- $h_{tanque} = 0.3$  m (columna de líquido sobre la succión)
- $h_{f,succión} \approx 0.1$  m (pérdidas en filtro y tubería)

$$NPSH_{disponible} = \frac{(78 - 2.34) \times 10^3}{1000 \times 9.81} + 0.3 - 0.1 = 7.71 + 0.2 = 7.91 \text{ m}$$

$NPSH_{requerido} \approx 1.5$  m (de datos del fabricante).  
 $7.91 \text{ m} > 1.5 \text{ m} \rightarrow$  condición satisfecha.

### 6.2 Motor eléctrico

**Selección:** Motor monofásico, 127 V, 60 Hz, 1/4 HP, 3450 rpm, TEFC, clase F.

### Cálculo de potencia requerida:

Potencia hidráulica máxima ( $Q = 20$  L/min =  $3.33 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s,  $H = 55$  m):

$$P_{hid} = 1000 \times 9.81 \times 3.33 \times 10^{-4} \times 55 = 179.$$

Eficiencia de la bomba a punto de operación (estimada 45%):

$$P_{eje} = 179.7/0.45 = 399 \text{ W} \approx 0.54 \text{ HP}$$

Este valor supera 1/4 HP, pero es la potencia máxima teórica. En operación real ( $Q \approx 5$  L/min,  $H \approx 50$  m), la potencia requerida es mucho menor:

$$P_{hid,real} = 1000 \times 9.81 \times 8.33 \times 10^{-5} \times 50 = 40.8 \text{ W}$$
$$P_{eje,real} = 40.8/0.5 = 81.6 \text{ W} \approx 0.11 \text{ HP}$$

Se selecciona motor de 1/4 HP para tener factor de servicio adecuado (2.3) y manejar condiciones de máxima demanda (arranque, alta viscosidad, etc.).

### 6.3 Variador de frecuencia (VFD)

**Selección:** VFD monofásico a trifásico, 0.5 HP, marca Delta o WEG.

#### Características requeridas:

- Entrada: 127 V, 1 fase, 60 Hz
- Salida: 0–127 V, 3 fases, 0–400 Hz
- Control por panel local o entradas digitales
- Perfil de aceleración/desaceleración programable
- Protección contra sobrecarga y cortocircuito

#### Parámetros de pulsación programados:

| Ciclo    | Velocidad        | Tiempo |
|----------|------------------|--------|
| Sístole  | 3450 rpm (60 Hz) | 2 s    |
| Diástole | 1500 rpm (26 Hz) | 1 s    |
| Repetir  | —                | —      |

Frecuencia de pulsos: 20 pulsos/minuto.

### 6.4 Tanque de solución

**Selección:** Tanque cilíndrico vertical de acero inoxidable AISI 304, capacidad nominal 14.7 L.

**Cálculo de espesor por código ASME Sección VIII (para presión atmosférica, pero se calcula como recipiente a presión mínima):**

Diámetro interior  $D = 0.25$  m (25 cm), altura  $H = 0.30$  m (30 cm).

Presión máxima esperada por columna de líquido + presión de bomba en succión (despreciable):

$$P_{m\acute{a}x} = \rho gh = 1000 \times 9.81 \times 0.3 = 2943 \text{ Pa} \approx 0.43 \text{ psi}$$

Para seguridad, se dimensiona para 2 bar (29 psi) considerando posibles sobrepresiones transitorias.

Espesor mínimo requerido (cilindro delgado):

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Donde:

- $P = 2$  bar = 0.2 MPa
- $R = 125$  mm
- $S = 115$  MPa (esfuerzo admisible para AISI 304 a 20°C)
- $E = 0.7$  (eficiencia de junta soldada para soldadura a tope con inspección parcial)

$$t = \frac{0.2 \times 125}{115 \times 0.7 - 0.6 \times 0.2} = \frac{25}{80.5 - 0.12} \approx 0.31 \text{ mm}$$

Se utiliza espesor de 1.5 mm por consideraciones de rigidez, soldabilidad y corrosión.

### **6.5 Válvula de presión/bypass**

**Selección:** Válvula reguladora de presión con resorte, acero inoxidable 316, rango 0–100 psi.

#### **Cálculo de capacidad de bypass:**

Para presión de ajuste  $P_{set} = 80$  psi = 551.6 kPa, y diámetro de asiento  $d = 5$  mm:

Caudal de bypass cuando está abierta:

$$Q_{bypass} = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{SG}}$$

Para una válvula de aguja típica,  $C_v \approx 0.5$  en posición completamente abierta.

$$Q_{bypass} = 0.5 \sqrt{\frac{80}{1}} = 0.5 \times 8.94 = 4.47 \text{ gpm} \approx 16.9 \text{ L/min}$$

Este caudal es superior al máximo de la bomba, asegurando que la válvula puede desviar todo el flujo si es necesario.

## 6.6 Mangueras y conexiones

### Cálculo de pérdidas por fricción en manguera arterial:

Longitud  $L = 2$  m, diámetro interior  $D = 9.5$  mm (3/8"), caudal  $Q = 5$  L/min =  $8.33 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s.

Velocidad:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 8.33 \times 10^{-5}}{\pi \times 0.0095^2} = 1.17 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1000 \times 1.17 \times 0.0095}{1.2 \times 10^{-3}} = 9260 \text{ (flujo turbulento)}$$

Factor de fricción (Blasius para tubería lisa):

$$f = 0.316 Re^{-0.25} = 0.316 \times (9260)^{-0.25} = 0.316 \times 0.101 = 0.032$$

Pérdida por fricción:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = 0.032 \times \frac{2}{0.0095} \times \frac{1.17^2}{2 \times 9.81} = 0.032 \times 210.5 \times 0.0698 = 0.47 \text{ m}$$

Esta pérdida es insignificante frente a la presión total de la bomba.

---

## **7. Diseño de sistemas periféricos (alimentación, evacuación, control)**

### **7.1 Sistema de alimentación de fluido**

El tanque está montado por encima de la bomba, proporcionando cebado gravitatorio. La tapa del tanque incluye:

- Junta de vitón para sellado hermético
- Respirador con filtro de carbón activado para capturar vapores de formaldehído
- Apertura amplia (20 cm de diámetro) para fácil llenado y limpieza

**Filtro de succión:** Malla de acero inoxidable 316, tamaño 100 mesh, instalada en el fondo del tanque para evitar entrada de partículas a la bomba.

### **7.2 Sistema de evacuación y limpieza**

**Válvula de drenaje:** Válvula de bola de 1/2" en el fondo del tanque, con conexión para manguera de descarga.

**Circuito de limpieza:** Permite recircular agua con amoníaco (neutralizante de formaldehído) a través de todo el sistema antes de drenar.

## **8. Análisis de eficiencia en el proceso de embalsamamiento**

### **8.1 Eficiencia de distribución de la solución preservante**

Una máquina centrífuga bien regulada puede lograr una distribución más uniforme y completa del fluido de embalsamamiento en comparación con métodos por gravedad. El uso del modo pulsado agrega eficiencia fisiológica: al simular un bombeo cíclico, se puede mejorar la penetración en capilares y ayudar a sortear áreas de resistencia.

### **8.2 Eficiencia temporal**

Con un caudal sostenido de 0.5 L/min, es posible introducir 10 L de solución en ~20 minutos. Sumando el tiempo de configuración, inyecciones en múltiples puntos, y la aspiración de cavidad posterior, un embalsamamiento completo puede realizarse en 1 a 1.5 horas, frente a horas con gravedad.

### **8.3 Eficiencia energética**

Un motor de 0.2 kW operando por 30 minutos consume solo 0.1 kWh. A una tarifa industrial de \$2.5 MXN/kWh, el costo eléctrico por procedimiento es de aproximadamente \$0.25 MXN.

#### **8.4 Eficiencia del diseño hidráulico**

El sistema de bypass interno recircula el fluido excedente al tanque, evitando desperdicio de solución. La única pérdida de líquido embalsamador es la que efectivamente entra al cuerpo (y la fracción que sale por drenaje venoso).

---

### **9. Cálculo del ciclo de trabajo: tiempo estimado, volumen desplazado, energía consumida**

#### **9.1 Supuestos para el cálculo**

- Volumen de inyección arterial: 10 L (típico para cuerpo de 70 kg)
- Caudal promedio: 0.4 L/min
- Tiempo de inyección: 25 minutos
- Tiempo de preparación y limpieza: 15 minutos
- Ciclo total: 40 minutos por cuerpo

#### **9.2 Energía consumida por procedimiento**

Motor operativo durante 25 minutos de inyección + 5 minutos de limpieza = 30 minutos.

$$E = P \times t = 186 \text{ W} \times 0.5 \text{ h} = 93 \text{ Wh} = 0.093 \text{ kWh}$$

Costo eléctrico por procedimiento:

$$C = 0.093 \text{ kWh} \times 2.5 \text{ MXN/kWh} = 0.23 \text{ MXN}$$

#### **9.3 Ciclo de trabajo continuo**

Para 8 embalsamamientos en un día (4 horas de bombeo activo):

$$E_{diaria} = 186 \text{ W} \times 4 \text{ h} = 744 \text{ Wh} = 0.744 \text{ kWh}$$

Costo diario: \$1.86 MXN.

#### **9.4 Volumen total desplazado en ciclo de vida**

Suponiendo 500 procedimientos/año durante 5 años:

$$V_{total} = 500 \times 5 \times 10 \text{ L} = 25,000 \text{ L} = 25 \text{ m}^3$$

---

## 10. Factibilidad

El presente análisis evalúa la viabilidad económica, de manufactura y normativa para la producción de la máquina centrífuga de embalsamamiento en México.

### 10.1 Análisis de costos

| Grupo / Componentes   | Proveedor                  | Descripción clave  | Total (MXN)     |
|---|----------------------------|--|-----------------|
| Sistema motriz: bomba centrífuga magnética (1/4 HP, mag-drive, PVDF) + motor eléctrico (1/4 HP, 127V, 60Hz, TEFC) + variador de frecuencia VFD (0.5 HP, monofásico-trifásico) | China / WEG / Delta        | Flujo continuo y pulsado; 0–100 psi; factor de servicio 2.3×           | <b>\$11,500</b> |
| Estructura y contenedor: tanque AISI 304 (14 L, fabricado local) + carcasa y bastidor AISI 304 (1.5 mm, pulido, con ruedas)   | Taller local CDMX          | Resistente a formaldehído; capacidad para 1 procedimiento sin recarga  | <b>\$6,400</b>  |
| Sistema hidráulico: válvula reguladora bypass (aguja SS316, 0–100 psi) + 2 válvulas de bola (3/8", SS316) + válvula antirretorno + válvula de seguridad (tarada 120 psi)      | MercadoLibre / Importación | Control de presión, flujo, retorno y alivio de emergencia              | <b>\$2,123</b>  |
| Instrumentación: manómetro glicerina (0–100 psi) + sensor nivel flotador (SS) + transductor de presión (0–100 psi, 4–20 mA)   | MercadoLibre               | Lectura en panel; apagado automático por nivel bajo; monitoreo digital | <b>\$1,183</b>  |
| Control y conexiones: microcontrolador (Arduino Mega) + componentes eléctricos (interruptores, cable, botón emergencia) + manguera arterial (PVC trenzado 3/8", 2 m, 150 psi) | Local                      | Perfil de pulso programable; cableado certificado; conexión Luer lock  | <b>\$1,800</b>  |
| <b>Subtotal materiales</b>  |                            |  | <b>\$22,606</b> |
| Mano de obra ensamblaje (20 h × \$200/h) + Importación/fletes/aranceles   |                            |  | \$6,000         |
|   |                            |  |                 |

**Precio de venta sugerido (margen 40%):** \$40,000 MXN. Comparación con importados: Porti-Boy Mark IV \$59,960 MXN — Mark V \$68,791 MXN — máquina china básica \$17,662 MXN (menor calidad). El diseño propuesto representa un ahorro del 40% frente a la marca estadounidense con soporte local.

### 10.2 Manufactura y ensamblaje en México

El producto se divide en tres módulos ensamblados mediante conectores rápidos: (1) **Módulo hidráulico** (tanque, bomba, válvulas, tuberías); (2) **Módulo eléctrico** (VFD, microcontrolador, sensores, panel); (3) **Módulo estructural** (carcasa, ruedas, bastidor). Los componentes estructurales se fabrican localmente en talleres de metalmecánica de CDMX, Guadalajara o Monterrey (2–3 semanas). La bomba magnética y el VFD se importan de China (4–6 semanas marítimo; se recomienda importar lotes de 10–20 unidades). El motor WEG se obtiene de distribuidores nacionales en 1 semana. El ensamblaje requiere técnicos en soldadura TIG, ensamblaje eléctrico certificado y control de calidad hidro-eléctrico; se estiman 20 h de ensamblaje y 40 h de capacitación por lote.

### 10.3 Normatividad y certificación

| Norma             | Descripción   |
|-------------------|---|
| NOM-001-SCFI-2018 | Seguridad eléctrica de aparatos electrónicos                          |
| NOM-018-STPS-2015 | Comunicación de riesgos químicos (etiquetado de productos peligrosos) |
| NOM-019-STPS-2011 | Instalaciones eléctricas en centros de trabajo (seguridad)            |
| NOM-026-STPS-2008 | Colores y señales de seguridad e higiene                              |
| IEC 61010-1       | Equipos eléctricos para medición, control y laboratorio               |
| ISO 9001:2015     | Sistema de gestión de calidad para fabricación en serie               |
| ASME B31.3        | Tuberías de proceso (diseño y materiales)                             |

El proceso de certificación comprende tres pasos: (1) pruebas de laboratorio en NYCE o UL México para seguridad eléctrica; (2) registro COFEPRIS si el equipo se clasifica como dispositivo médico; (3) elaboración de manual de usuario con advertencias de seguridad, instrucciones de operación y mantenimiento preventivo.

### 11. Conclusiones

En este trabajo se desarrolló el proyecto de diseño conceptual de una máquina centrífuga de embalsamamiento adecuada para su fabricación en México con componentes nacionales e importados. A lo largo del documento se cubrieron los fundamentos teóricos, las aplicaciones prácticas, y todos los aspectos del diseño, desde requerimientos hasta costos y manufactura.



#### Conclusiones principales:

- 1. Viabilidad técnica del diseño:** Se comprobó que una bomba centrífuga de acoplamiento magnético de 1/4 HP es el núcleo ideal para un equipo de embalsamar moderno, gracias a su flujo continuo controlable y seguridad ante sobrepresión. Las especificaciones elegidas (presión 0–100 psi, caudal 0–4 L/min, tanque 14 L) están alineadas con los estándares de la industria.

2. **Innovación y adecuación a mejores prácticas:** El diseño incorpora características avanzadas: modo pulso mediante variador de frecuencia (VFD), control de presión por válvula bypass, apagado automático por nivel bajo, materiales en acero inoxidable AISI 304/316. Esto lo pone a la par de las mejores máquinas extranjeras.
3. **Beneficios operativos:** La máquina reduce significativamente los tiempos de inyección (de horas a ~20 minutos), permite control fino de presión, aumenta la seguridad del operador al ser un sistema cerrado con filtro de vapores, y mejora la calidad de preservación.
4. **Costo-beneficio:** El análisis de costos mostró un costo de producción de aproximadamente \$28,600 MXN por unidad, significativamente menor al precio de máquinas importadas equivalentes (\$59,000–\$68,000 MXN). El precio de venta sugerido de \$40,000 MXN ofrece un ahorro del 40% para el mercado nacional.
5. **Manufactura local viable:** La producción en México es factible combinando fabricación local de componentes estructurales (tanque, carcasa) con importación de componentes especializados (bomba magnética, VFD). Se requiere cumplimiento de normativas NOM e IEC para certificación.
6. **Sustento económico:** El consumo eléctrico por procedimiento es de menos de \$0.25 MXN, y el mantenimiento anual se estima en menos de \$1,000 MXN, lo que hace el equipo económico de operar.

#### **Sugerencias para desarrollo futuro:**

1. Construir un prototipo funcional para validar empíricamente el desempeño hidráulico y eléctrico.
2. Realizar pruebas de campo en colaboración con una funeraria o facultad de medicina.
3. Optimizar el diseño para producción seriada, buscando reducciones de costo por volumen.
4. Explorar el desarrollo de una versión portátil con batería para uso en campo (servicios forenses).
5. Realizar estudios de CFD (dinámica de fluidos computacional) para optimizar el perfil de pulsación.

En conclusión, este trabajo demuestra que el diseño conceptual de una máquina centrífuga de embalsamamiento es viable tanto técnicamente como en implementación práctica en México. La máquina propuesta aprovecharía componentes globales y mano de obra local para ofrecer a los embalsamadores mexicanos una herramienta moderna, eficiente y asequible, elevando los estándares de preservación cadavérica y reduciendo riesgos ocupacionales.

---

## 12. Referencias bibliográficas

1. Mayer, R. G., & Reed, J. D. (2012). *Embalming: History, Theory, and Practice* (5th ed.). McGraw-Hill Medical.
2. Noayr Funeral Supply. (2021). \*JW-50 Embalming Machine Specifications\*. MedicalExpo.
3. Pierce Chemical. (2023). *Duotronic III Embalming Machine Specifications*. [PierceDirect.com](https://www.piercedirect.com).
4. Mopec. (2025). *Porti-Boy Embalming Machines – Mark IV & V*. [Mopec.com](https://www.mopec.com).
5. Inoxmim. (2020). *Principio de funcionamiento de una bomba centrífuga*. Blog InoxMIM Bombas Industriales.
6. White, F. M. (2011). *Fluid Mechanics* (7th ed.). McGraw-Hill.
7. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1. (2023). American Society of Mechanical Engineers.
8. NOM-001-SCFI-2018. *Seguridad de aparatos eléctricos*. Diario Oficial de la Federación, México.
9. IEC 61010-1:2010. *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use*. International Electrotechnical Commission.
10. Alibaba. (2024). *Embalming Machine and Centrifugal Pump Listings*. [Alibaba.com](https://www.alibaba.com).