



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA , ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

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

**TEMA:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE UNA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L SEDE LATACUNGA.

**AUTORES:** ÁLVAREZ CHÁVEZ, VICENTE LEONARDO Y GALLARDO CHERREZ, LUIS JAVIER

**DIRECTOR:** ING. JIMÉNEZ LEÓN, MARIO POLIBIO MSC.

**LATACUNGA**

**2023**



# AGENDA

- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Fundamentación teórica
- Diseño
- Pruebas de funcionamiento
- Conclusiones
- Recomendaciones



# ***Planteamiento del Problema***

En la actualidad, el laboratorio de energías renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas E.S.P.E sede Latacunga cuenta con equipos altamente competentes para el estudio de la energía solar y la energía eólica. Sin embargo, se ha identificado una necesidad importante en el campo de las energías renovables: la falta de un módulo didáctico que permita a los estudiantes adquirir conocimientos prácticos sobre el funcionamiento de una central hidroeléctrica.



# Objetivos

## Objetivo General

Diseñar y construir un módulo didáctico de una pico central hidroeléctrica con una potencia óptima para laboratorio, obteniendo el recurso hídrico de una bomba de agua para alimentar a la turbina; que permita realizar prácticas de operación para facilitar el aprendizaje



# Objetivos Específicos

- Dimensionar la potencia de salida que tendrá el módulo didáctico de una pico central hidroeléctrica.
- Diseñar el circuito hidráulico para el correcto dimensionamiento del sistema de una pico central hidroeléctrica mediante el uso de una bomba de agua.
- Construir el módulo e implementar medidores de variables mecánicas y eléctricas en el proceso de generación de electricidad.
- Realizar prácticas de operación, control de parámetros y regulación de variables que intervienen en el funcionamiento del sistema de una pico central hidroeléctrica.

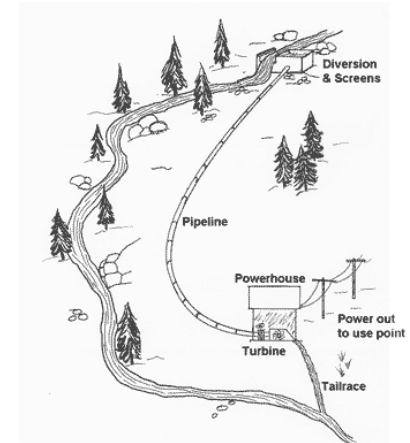


# Fundamentación teórica

Energía hidráulica

La energía hidráulica es una fuente de energía renovable.

La conversión de la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica y eléctrica.



# Fundamentación teórica

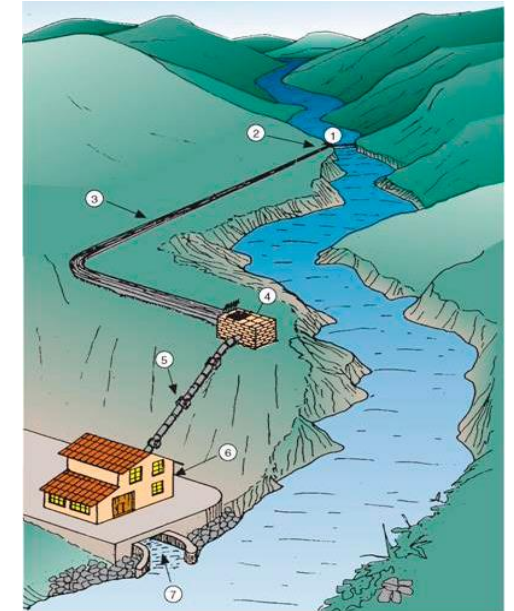
Recurso hídrico

En la generación de energía eléctrica en hidroeléctricas que son capaces de convertir la energía hidráulica en mecánica.

$$Q = v * A$$

$$P_h = \rho * g * h * Q$$

Caudal  
Altura



# Fundamentación teórica

Hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones diseñadas para aprovechar la energía potencial del agua en movimiento.

## Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia.

Denominación	Potencia
Pico central	$P < 10\text{kW}$
Micro central	$10\text{kW} < P < 50\text{kW}$
Minicentral	$50\text{kW} < P < 1000\text{kW}$
Pequeña central	$1\text{MW} < P < 5\text{MW}$
Mediana central	$5\text{MW} < P < 50\text{MW}$
Gran Central	$P > 50\text{MW}$

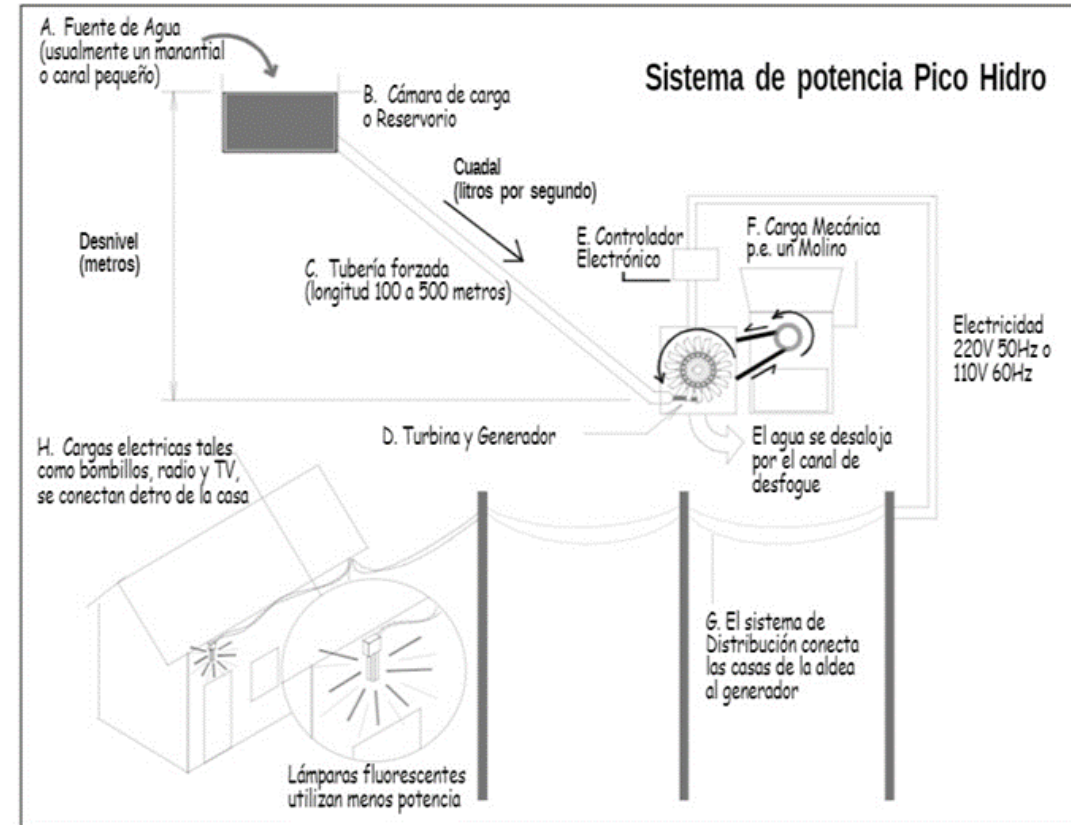




# Fundamentación teórica

## Pico central hidroeléctrica

Las pico hidroeléctricas se encuentran en mayor número en lugares donde el acceso de la electricidad por transmisión es muy complicado

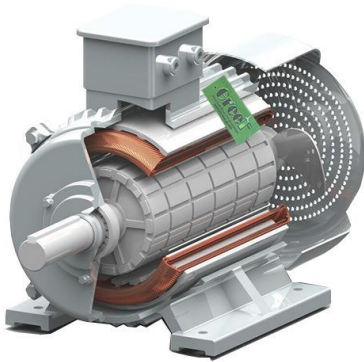


# Fundamentación teórica

## Generador de flujo radial

El campo magnético generado por los imanes permanentes es perpendicular al eje de giro.

GreeF



## Turbina turgo

La turbina turgo es del tipo de acción, debido a esto tiene características similares a la turbina Pelton.



## Bomba centrífuga

El principio de funcionamiento de una bomba centrífuga se basa en un rotor, rodete o impuso.



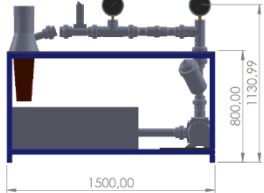
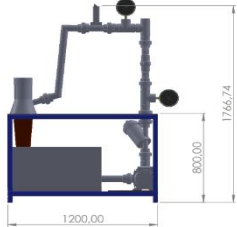
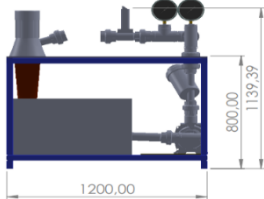
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Fundamentación teórica

Parámetro	Definición
Tipo de fluido	Se debe tomar en cuenta la naturaleza del fluido al cual se va a utilizar en el proceso para la selección de materiales.
Caudal	Se requiere la capacidad requerida en la velocidad del flujo.
Lado de succión	Las condiciones del lado de succión si es profundo o en la parte alta y a nivel.
Lado de descarga	Las condiciones que se encuentra el lado de descarga.
Altura	La carga total que se pondrá a la bomba $h_a$
Sistema	El tipo de sistema que la bomba entrega el fluido con los parámetros necesarios.
Fuente de energía eléctrica.	El tipo de fuente de energía que se tenga para poder mover la bomba de agua (energía eléctrica, motor, turbina)
Condiciones de instalación.	Las condiciones del lugar tamaño, lugar designado, problemas ambientales
Costos	Costos de la compra e instalación del sistema de la bomba. Costo de operación.



# Diseño

Parámetro General			
	ALT.1	ALT. 2	ALT. 3
<b>Estructura</b>			
<b>Material</b>	<b>ASTM A36</b>		
<b>Perfil</b>	<b>40x40x2</b>	50x50x2	50x50x3
<b>tubería</b>	<b>PVC</b>	Galvanizada	Flexible
<b>Bomba</b>	monofásica Centrifuga	Periferia	<b>trifásica Centrifuga</b>
<b>Turbina</b>	Pelton	<b>Turgo</b>	Francis
<b>Tanque</b>	Vidrio	<b>Fibra De Vidrio</b>	Acero Inoxidable
<b>Tolva</b>	<b>Fibra De Vidrio</b>	Acero Inoxidable	Impresión 3d



# Diseño

## Dimensionamiento Turbina-Generador

Modelo	Potencia	Altura	caudal	velocidad de rotación	Diámetro de tubo de instalación
	(W)	(m)	(m <sup>3</sup> /seg)	(rpm)	(mm)
CJ-300W	300	12-14	0.003-0.005	1500	50
CJ-500W	500	12-18	0.005-0.007	1500	50-75
CJ-750W	750	14-18	0.005-0.008	1500	75
CJ-1.5KW	1500	18-25	0.008-0.011	1500	125

$$P_{Moto-Bomba} = \frac{P_{Gen}}{746W * \eta_{Gen-tur} * \eta_{Bomba}}$$

$$P_{Moto-Bomba} = \frac{300}{0,6 * 0,4}$$

$$P_{Moto-Bomba} = 1250 W$$

$$P_{Moto-Bomba} = 1,675 Hp$$



# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

Rapidez del flujo de volumen		Línea de succión			Línea de descarga.		
		Tamaño de la tubería	Velocidad		Tamaño de la tubería	Velocidad	
gal/min	m <sup>3</sup> /h	in	ft/s	m/s	in	ft/s	m/s
10	2.3	1	3.7	1.1	¾	6.0	1.8
100	22.7	2 ½	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114	5	8.0	2.4	3 ½	16.2	4.9
2000	454	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

### Unidades del SI

Tubería clasificación de PVC a presión – Tamaños Seleccionados				
Diámetro exterior	Espesor de pared	Diámetro interior	Área de flujo A	Clasificación de presión
OD (mm)	t (mm)	ID (mm)	(m <sup>2</sup> )	p (bar)
32	2.4	27.2	5.811 * 10 <sup>-4</sup>	16
40	3.0	34.0	9.079 * 10 <sup>-4</sup>	16
50	2.4	45.2	1.605 * 10 <sup>-3</sup>	10
50	3.7	42.6	1.425 * 10 <sup>-3</sup>	16
<b>63</b>	<b>3.0</b>	<b>57.0</b>	<b>2.552 * 10<sup>-3</sup></b>	<b>10</b>
63	4.7	53.,6	2.256 * 10 <sup>-3</sup>	16
75	3.6	67.8	3.610 * 10 <sup>-3</sup>	10
75	5.6	63.8	3.197 * 10 <sup>-3</sup>	16

## Tubería de descarga

$$Q = v * A$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D_{Des} = \sqrt{4 * \frac{Q}{V\pi}}$$

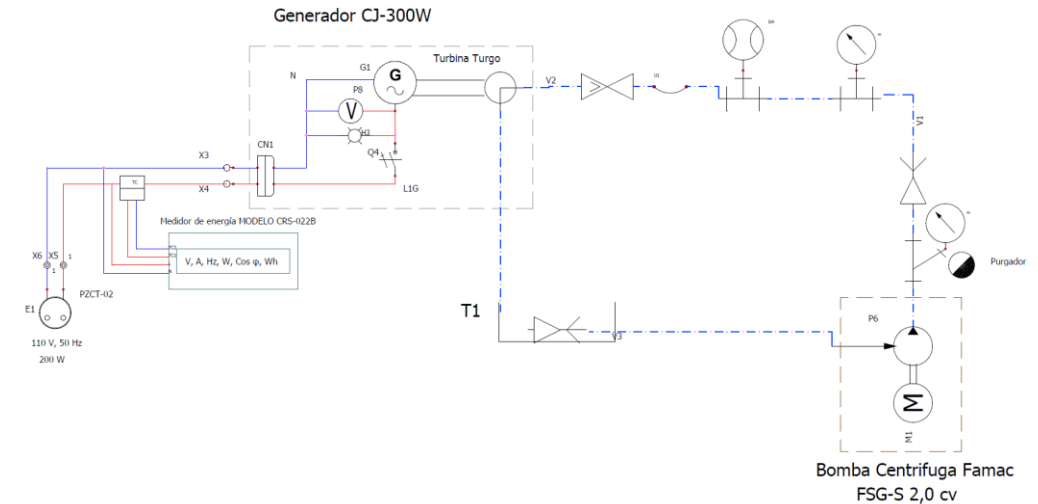
$$D_{Des} = \sqrt{4 * \frac{0,005 \text{ m}^3 \text{ seg}}{2,3 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * \pi}}$$

$$D_{Des} = 0,05261 \text{ m}$$

$$v_{corregida} = \frac{Q}{\pi * D^2} * 4$$

$$v_{corregida} = \frac{0,005 * 4}{\pi * 0,0536^2}$$

$$v_{corregida} = 2,21 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$



# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

Rapidez del flujo de volumen		Línea de succión			Línea de descarga.		
		Tamaño de la tubería	Velocidad		Tamaño de la tubería	Velocidad	
gal/min	m <sup>3</sup> /h	in	ft/s	m/s	in	ft/s	m/s
10	2.3	1	3.7	1.1	¾	6.0	1.8
100	22.7	2 ½	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114	5	8.0	2.4	3 ½	16.2	4.9
2000	454	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

### Unidades del SI

Tubería clasificación de PVC a presión – Tamaños Seleccionados				
Díámetro exterior	Espesor de pared	Díámetro interior	Área de flujo A (m <sup>2</sup> )	Clasificación de presión p (bar)
OD (mm)	t (mm)	ID (mm)		
32	2.4	27.2	5.811 * 10 <sup>-4</sup>	16
40	3.0	34.0	9.079 * 10 <sup>-4</sup>	16
50	2.4	45.2	1.605 * 10 <sup>-3</sup>	10
50	3.7	42.6	1.425 * 10 <sup>-3</sup>	16
<b>63</b>	<b>3.0</b>	<b>57.0</b>	<b>2.552 * 10<sup>-3</sup></b>	<b>10</b>
63	4.7	53.6	2.256 * 10 <sup>-3</sup>	16
75	3.6	67.8	3.610 * 10 <sup>-3</sup>	10
75	5.6	63.8	3.197 * 10 <sup>-3</sup>	16

## Tubería de succión

$$D_{suc} = \sqrt{4 * \frac{Q}{v\pi}}$$

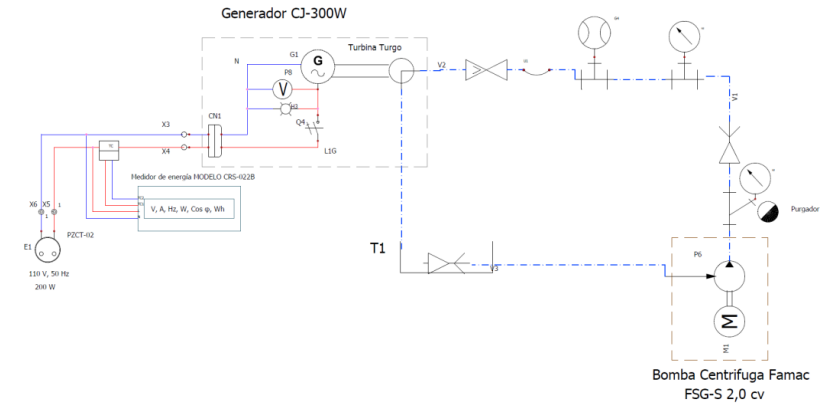
$$D_{suc} = \sqrt{4 * \frac{0,005}{1,8 * \pi}}$$

$$D_{suc} = 0,059 \text{ m}$$

$$V_{corregida-s} = \frac{Q}{\pi * D^2} * 4$$

$$V_{corregida-s} = \frac{0,005 * 4}{\pi * 0,057^2}$$

$$V_{corregida-s} = 1,95 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$



# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico Perdidas en el circuito.

$$f = f\left(Re, \frac{D}{E}\right)$$

Temperatura	Peso específico	Densidad $\rho$	Viscosidad dinámica $\mu$
15	9.81	1000	$1.15 * 10^{-3}$
20	9.81	998	$1.02 * 10^{-3}$

$$v_{tuberia-entrada} = 2,21 \text{ m/seg}$$

Rugosidad de la tubería - valores de diseño		
Material	Rugosidad $\varepsilon$ (m)	Rugosidad $\varepsilon$ (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 * 10^{-7}$	$1.0 * 10^{-6}$

$$Re = \rho * \frac{v * D}{\mu}$$
$$Re = \frac{998 \frac{kg}{m^3} * 1,175 \frac{m}{seg} * 0,057m}{1,02 * 10^{-3} \frac{kg}{m * seg}}$$

$$Re = 65530,044$$

$Re > 4000$  Flujo turbulento

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{0,057m}{3 * 10^{-7}m}$$

$$\frac{D}{\varepsilon} = 190000$$





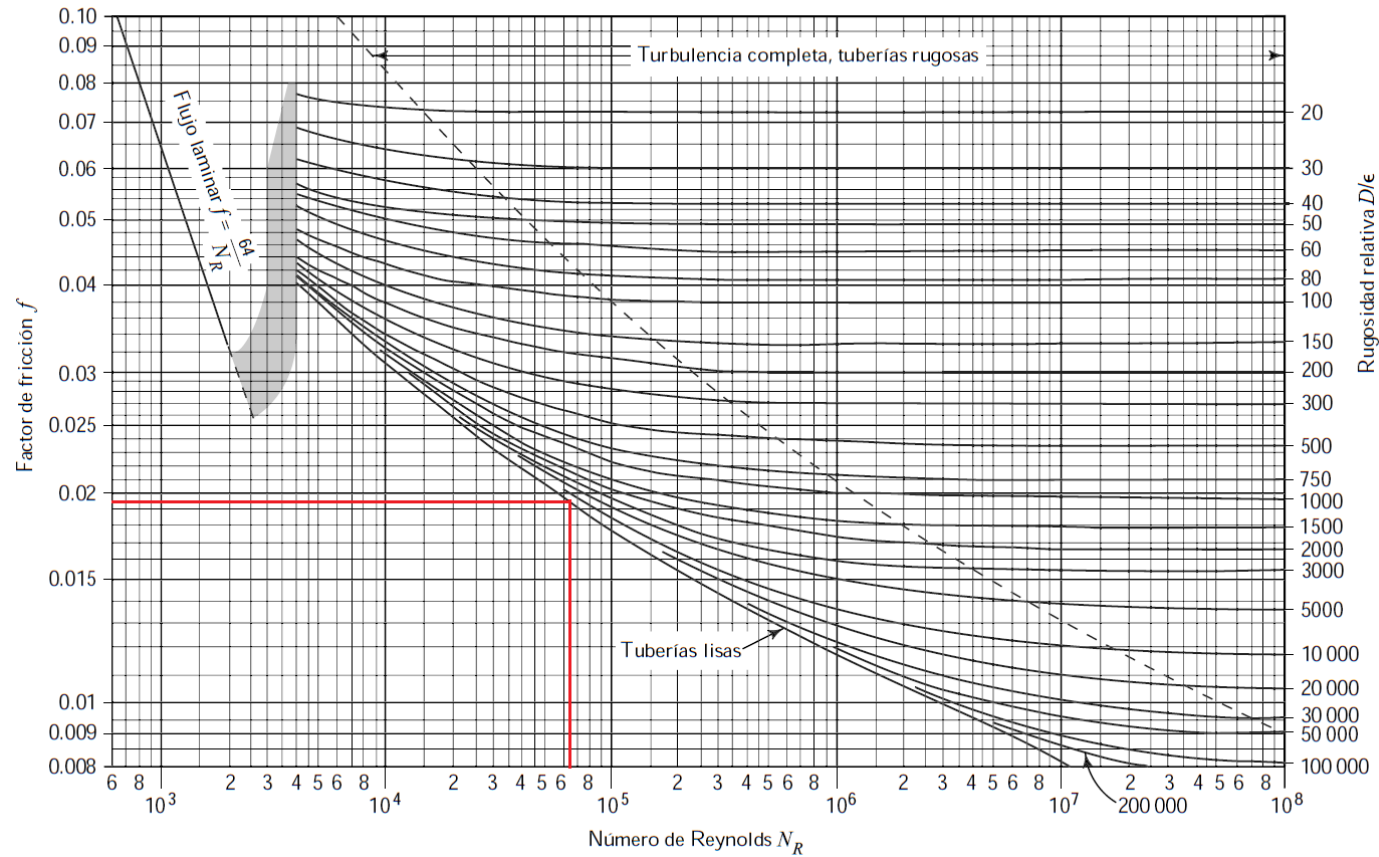
# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

### Perdidas en el circuito.

## Diagrama de Moody

$$f = f\left(Re, \frac{D}{E}\right)$$



$$f = 0,0195$$



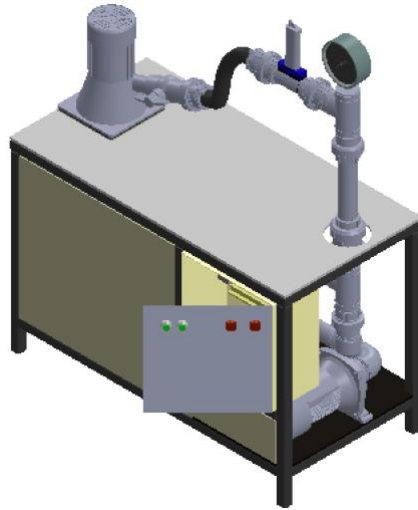
# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

### Perdidas en el circuito.

$$LT = 0,5 + 0,8$$

$$LT = 1,3 \text{ m}$$



### Perdidas en el trayecto

$$H_L = \frac{f * L * v^2}{2 * g * D}$$

$$H_L = \frac{0,0195 * 1,3 * 2,21^2}{2 * 9,81 \text{ m/seg}^2 * 0,0536 \text{ m}}$$

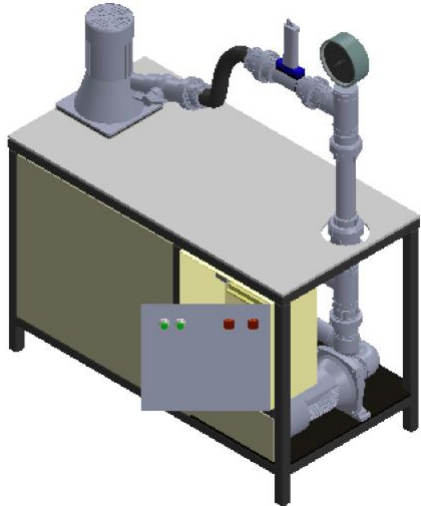
$$H_L = 0,117 \text{ m}$$



# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

### Perdidas en el circuito.



### Perdidas por componentes

$$h_L = \sum K \frac{v^2}{2g}$$

$$K = f * \frac{Le}{D}$$

$$h_L = (1,17 + 0,585 + 6,63 + 2,925) \left( \frac{2,21^2}{2 * (9,81)} \right)$$

$$h_L = 2,81 \text{ m}$$

#### Cálculo de parámetro K

Componentes	Le/D	Cantidad	f	KT
Tee	20	3	0,0195	1,17
Codo	30	1	0,0195	0,585
Válvula de Bola	340	1	0,0195	6,63
Válvula Check	150	1	0,0195	2,925

### Perdidas Totales

$$H_T = H_L + h_L$$

$$H_T = 0,117 + 2,81 \text{ m}$$

$$H_T = 2,927 \text{ m}$$



# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

## Cálculo de altura neta positiva de aspiración

$$NPSH_D = h_{sp} \pm h_s - h_L - h_{vp}$$

Presión de vapor y carga de la presión de vapor para el agua.

Temperatura °C	Presión de vapor KPa (ABS)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Carga de la presión de vapor (m)
0	0.6105	9.806	0.06226
5	0.8722	9.807	0.08894
10	1.228	9.804	0.1253
20	2.338	9.789	0.2388
30	4.243	9.765	0.4345

Carga de la presión estática

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma}$$

Carga de presión de vapor  
del fluido

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma}$$

$$PS = 10,48 \text{ Psi (latacunga)}$$

$$Ps = 72,257 \text{ kPa}$$

$$\text{Para Temperatura} = 13^\circ\text{C} \quad P_v = 0,178063 + \frac{(0,339 - 0,178062)}{20 - 10} * (13 - 10)$$

$$PV_{10^\circ} = 0,1781063 \text{ Psi} \quad P_v = 0,2263 \text{ Psi}$$

$$PV_{13^\circ} = ? \quad P_v = 1,5602 \text{ kPa}$$

$$PV_{20^\circ} = 0,3390 \text{ Psi}$$



# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

### Cálculo de altura neta positiva de aspiración

$$NPSH_D = h_{sp} \pm h_s - h_L - h_{vp}$$

$$h_L = f \sum \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = (válvula\ de\ pie) + (codo) + (Tuberia) + (Entrada)$$

$$h_L = \left( (0,0195) * (120) * \left( \frac{1,95^2}{2 * 9,81} \right) \right) + \left( (0,0195) * (30) * \left( \frac{1,95^2}{2 * 9,81} \right) \right) + \left( (0,0195) * \left( \frac{0,24}{0,057} \right) * \left( \frac{1,95^2}{2 * 9,81} \right) \right)$$

$$+ \left( 1 * \left( \frac{1,95^2}{2 * 9,81} \right) \right)$$

$$h_L = 0,776\ m$$



# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

## Cálculo de altura neta positiva de aspiración

Presión de vapor y carga de la presión de vapor para el agua.

Temperatura °C	Presión de vapor KPa (ABS)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Carga de la presión de vapor (m)
0	0.6105	9.806	0.06226
5	0.8722	9.807	0.08894
10	1.228	9.804	0.1253
20	2.338	9.789	0.2388
30	4.243	9.765	0.4345

$$h_s = 0,5 m$$

$$Y_{10^\circ} = 9,804 \frac{kN}{m^3}$$

$$Y_{13^\circ} = X$$

$$Y_{20^\circ} = 9,789 \frac{kN}{m^3}$$

$$Y_{13^\circ} = 9,804 + \left( \frac{9,789 - 9,804}{20 - 10} \right) * (13 - 10)$$

$$Y_{13^\circ} = 9,7995 \frac{kN}{m^3}$$

$$P_{sp} = P_{atmosferica\ latacunga} + P_{Tanque}$$

$$P_{sp} = 72,257 kPa + \left( 9,81 \frac{m}{seg^2} * 0,5m \right) kPa$$

$$P_{sp} = 77.162 kPa$$



# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

## Cálculo de altura neta positiva de aspiración

Carga de la presión estática

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma}$$

$$h_{sp} = \frac{77,162}{9,7995} \text{ kPa}$$

$$h_{sp} = 7,88 \text{ m}$$

Carga de presión de vapor del fluido

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma}$$

$$h_{vp} = \frac{1,5602}{9,7995}$$

$$h_{vp} = 0,1592 \text{ m}$$

$$NPSH_D = h_{sp} \pm h_s - h_L - h_{vp}$$



# Diseño

## Cálculo circuito hidráulico

### Cálculo de altura neta positiva de aspiración

Cálculo de altura neta positiva de aspiración disponible

$$NPSH_D = h_{sp} \pm h_s - h_L - h_{vp}$$

$$NPSH_D = 7,88 + 0,5 - 0,776 - 0,1592$$

$$NPSH_D = 7,448 \text{ m}$$

Cálculo de altura neta positiva de aspiración requerida

$$NPSH_D > 1.10 NPSH_R$$

$$NPSH_R < \frac{NPSH_D}{1.10}$$

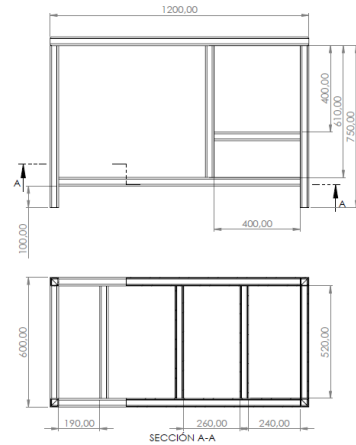
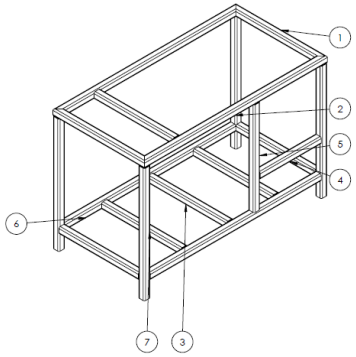
$$NPSH_R < 6.77 \text{ m}$$







## Diseño mecánico



### Dimensiones del tanque

*Largo interior = 63,8 cm*

*profundidad interior = 47,4 cm*

*altura = 40 cm*

$$m_{gen-tur} = 11 \text{ kg}$$

$$m_{Bomba} = 18,5 \text{ kg}$$

$$m_{tuberia} = 2 \text{ kg}$$

$$m_{accesorios} = 5,5 \text{ kg}$$

$$V = L * A * P$$

$$V = (0,638 * 0,4 * 0,474) m^3$$

$$V = 0,120 m^3$$

$$m = V * \rho$$

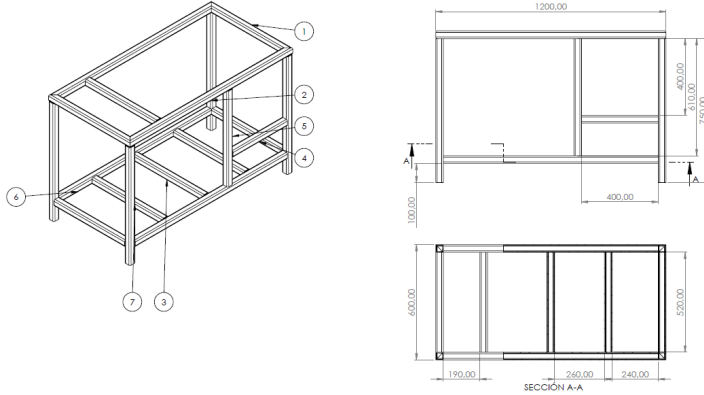
$$m = 0,1245 m^3 * 998 \text{ kg}/m^3$$

$$m = 119,76 \text{ kg}$$



# Diseño

## Diseño mecánico



$$m_{gen-tur} = 11 \text{ kg}$$

$$m_{Bomba} = 18,5 \text{ kg}$$

$$m_{tuberia} = 2 \text{ kg}$$

$$m_{accesorios} = 5,5 \text{ kg}$$

$$m = 119,76 \text{ kg}$$

$$W_T = \sum m_1 * g$$

$$W_T$$

$$= m_{gen-tur} * g + m_{Bomba} * g + m_{tuberia} * g + m_{accesorios}$$

$$* g + m_{tanque} * g$$

$$W_T = 9,81 * (11 + 18,5 + 2 + 5,5 + 119,76)$$

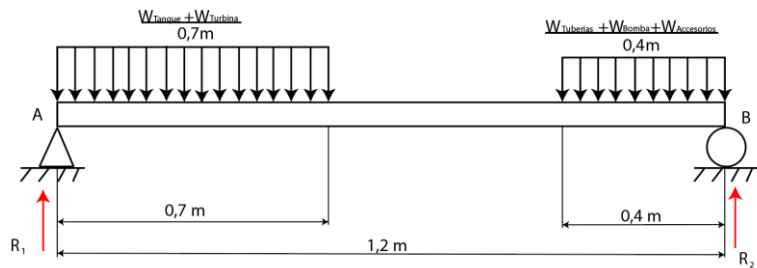
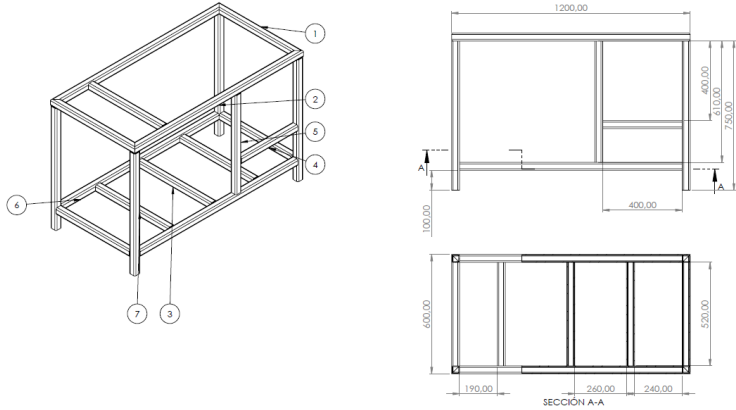
$$W_T = 1537,81 \text{ N}$$



# Diseño

## Diseño mecánico

### Cálculo del perfil estructural base



$$P_1 = \frac{W_{tanque} + W_{turbina}}{0,7 \text{ m}}$$

$$P_1 = \frac{119,76 * 9,81 + 11 * 9,81}{0,7 \text{ m}}$$

$$W_1 = 1832,5 \text{ N/m}$$

$$P_2 = \frac{W_{Bomba} + W_{Tuberia} + W_{accesorios}}{0,4 \text{ m}}$$

$$P_2 = \frac{18,5 * 9,81 + 2 * 9,81 + 5,5 * 9,81}{0,4}$$

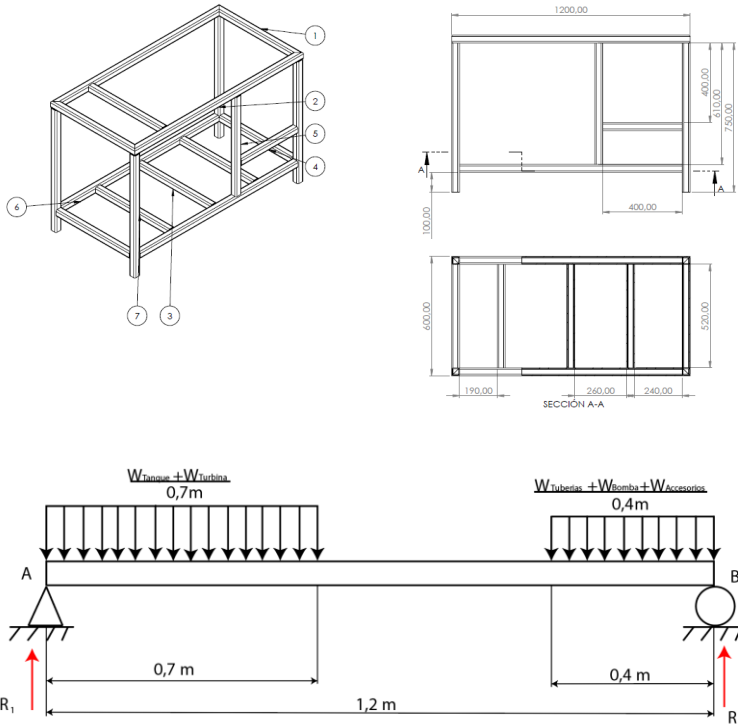
$$W_2 = 637,65 \text{ N/m}$$



# Diseño

## Diseño mecánico

### Cálculo del perfil estructural base



$$\sum M_A = 0$$

$$R_2 * 1,2 + P_1 * 0,35 + P_2 * 1 = 0$$

$$R_2 = \frac{P_1 * 0,35 + P_2 * 1}{1,2}$$

$$R_2 = \frac{P_1 * 0,35 + P_2 * 1}{1,2}$$

$$R_2 = \frac{1282,75 * 0,35 + 225,06 * 1}{1,2}$$

$$R_2 = 586,68 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 - P_1 - P_2 = 0$$

$$R_1 = P_1 + P_2 - R_2$$

$$R_1 = 1282,75 + 255,06 - 586,68$$

$$R_1 = 951,13 \text{ N}$$

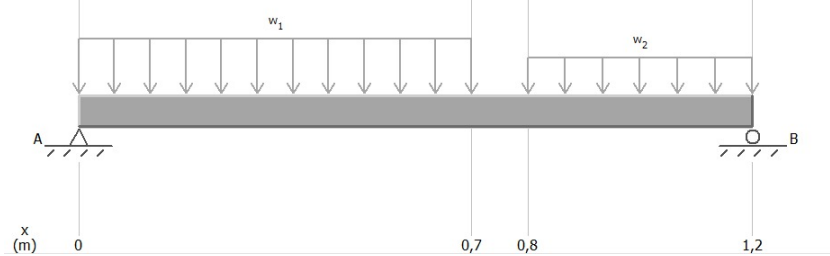


# Diseño

## Diseño mecánico

### Cálculo del perfil estructural base

Diagrama de cuerpo libre MDSolid



$$M_{max} = 246,83 \text{ Nm}$$

Material	Resistencia a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Elongación
ASTM A36	$S_{ut} = 400 \text{ min}$	$S_y = 250$	20%
	$S_{ut} = 500 \text{ max.}$		

Diagrama de esfuerzos cortantes

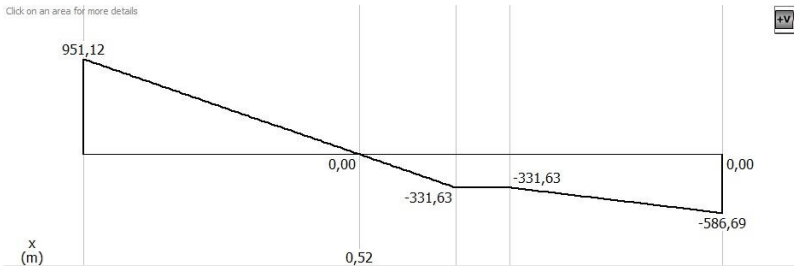
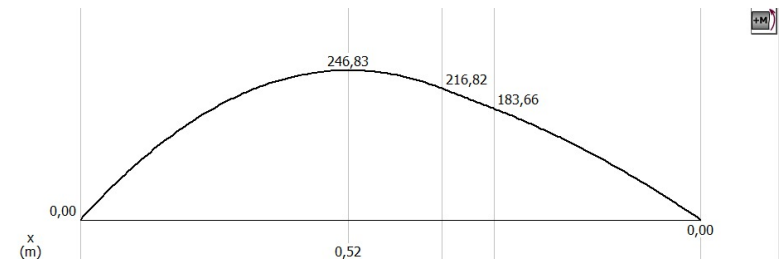


Diagrama de momento flector



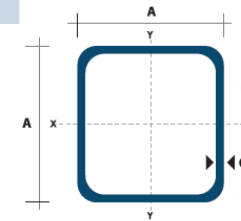
$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{f_s}$$

$$\sigma_{adm(t)} = \frac{250 \text{ Mpa}}{2} \rightarrow \sigma_{adm(t)} = 125 \text{ Mpa}$$

$$W_{Requerido} = \frac{M_{max}}{\sigma_{Trabajo}}$$

$$W_{Requerido} = \frac{246,83 \text{ Nm}}{125 * 10^6 \text{ Pa}}$$

$$W_{Requerido} = 1,97 * 10^{-6} \text{ m}^3 \approx 1,97 \text{ cm}^3$$



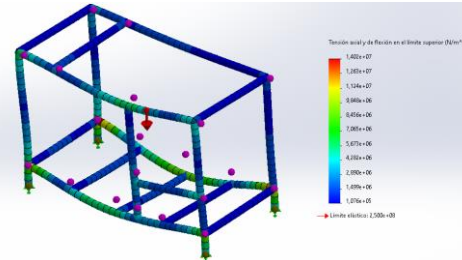
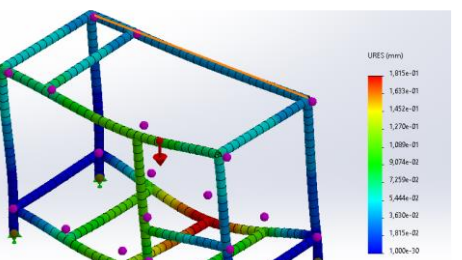
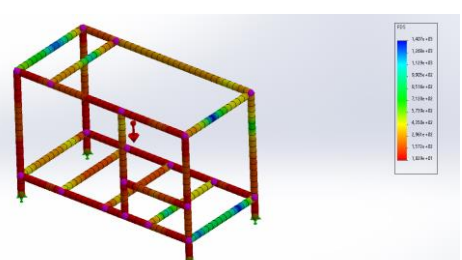
Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espeor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm <sup>3</sup>
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	4,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84

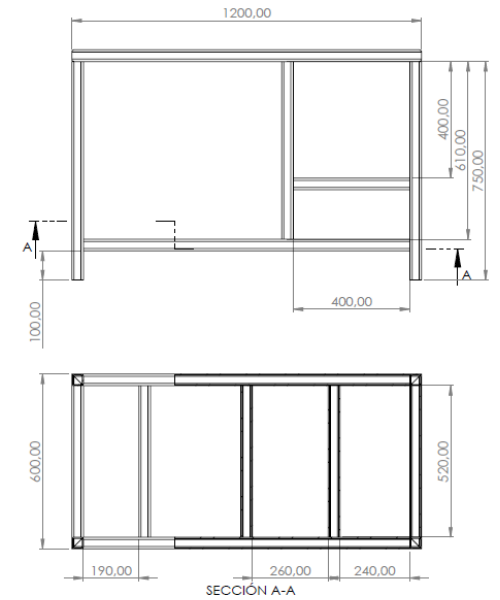
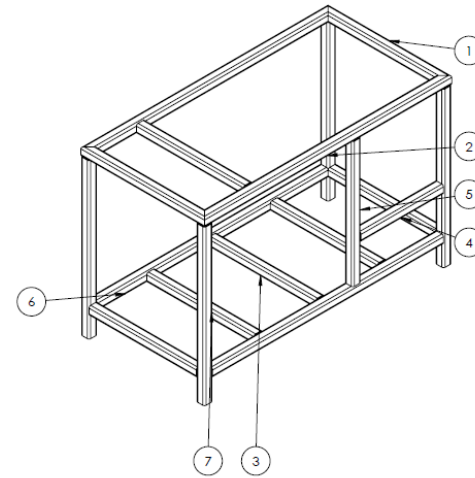


# Diseño

## Diseño mecánico

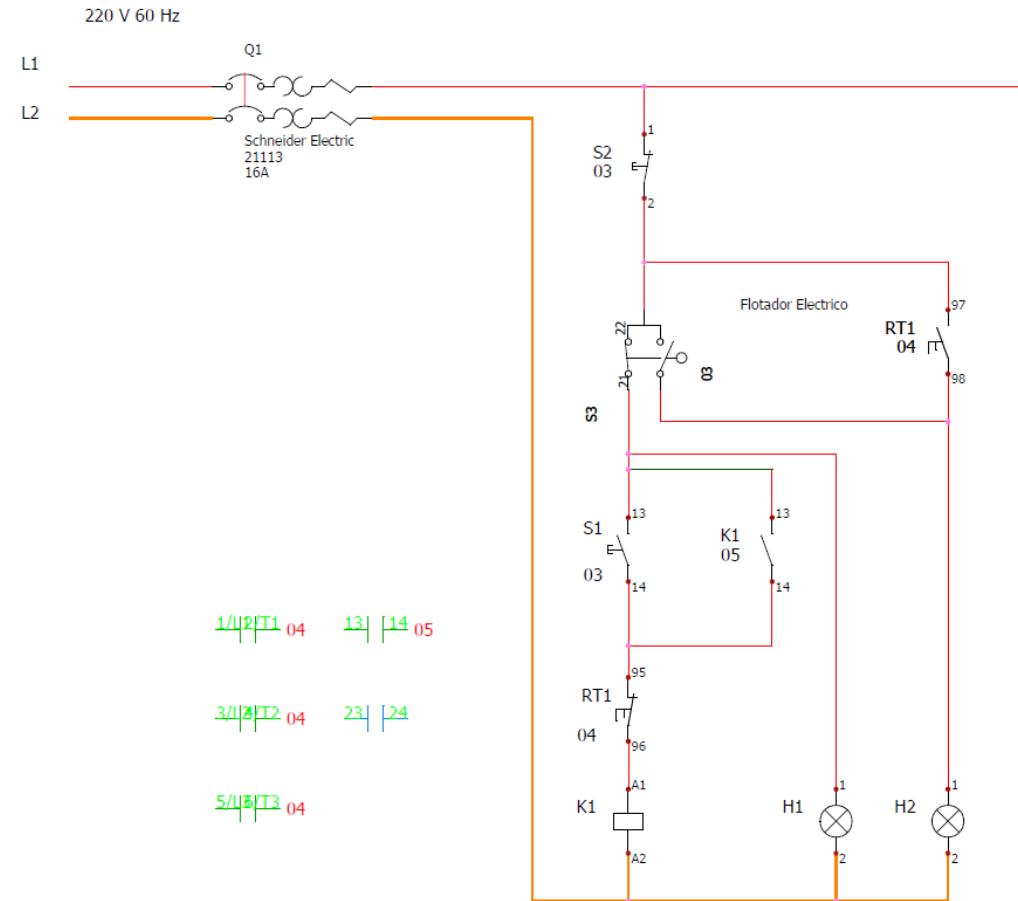
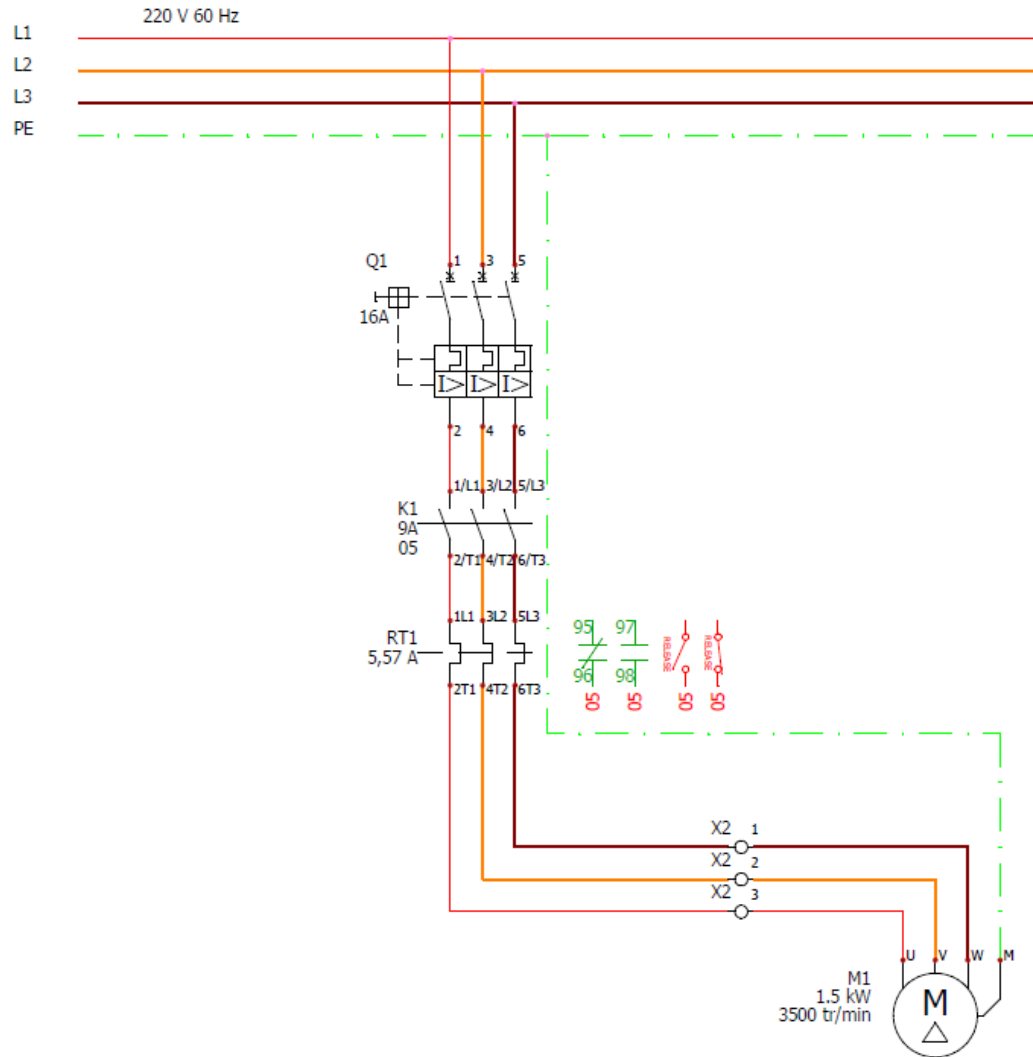
## Verificación en software

Figura	Análisis	Resultado
	Tensión de Von Mises	$\sigma_{max} = 14,02 \text{ MPa}$
	Desplazamiento	$y_{max} = 0,1815 \text{ mm}$
	Factor de seguridad	$FOS_{min} = 18.28$



# Diseño

## Diseño Eléctrico





# Diseño

## Diseño Eléctrico

### Contadores y relés bimetálicos para motores

Potencia nominal		Relé bimetálico	Interruptor Termomagnético	
HP	KW	Margen de Ajuste	A	A
1.20	0.90	3.50 – 5.00 A	10	10
2.00	1.50	5.50 – 8.00 A	16	16
3.00	2.20	9.00 – 12.50 A	20	20

### Rating

Contactor type			MC-9b		MC-12b	
			kW	A	kW	A
AC duty	AC3	200/240V	2.5	11	3.5	13
		380/440V	4	9	5.5	12
		500/550V	4	7	7.5	12
		690V	4	5	7.5	9
	AC4	200/240V	1.5	8	2.2	11
		380/440V	2.2	6	4	9
	AC1	-	25	-	25	



3P

Breakers	
Corriente (In)	Curva C
6 A	EZ9F56306
10 A	EZ9F56310
16 A	EZ9F56316
20 A	EZ9F56320

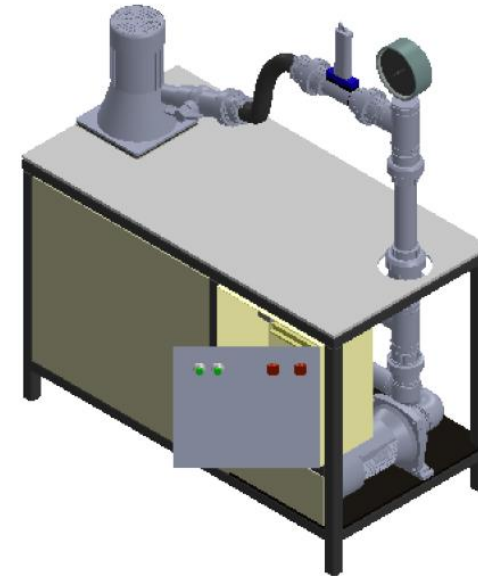
Setting range (A)	Ordering type			Contactor
	Non-differential (3P-2 heater)	Non-differential (3P-3 heater)	Differential	
0.1-0.16	MT-32/2H0.14	MT-32/3H0.14	MT-32/3K0.14	MC-9b
0.16-0.25	MT-32/2H0.21	MT-32/3H0.21	MT-32/3K0.21	
0.25-0.4	MT-32/2H0.33	MT-32/3H0.33	MT-32/3K0.33	
0.4-0.63	MT-32/2H0.52	MT-32/3H0.52	MT-32/3K0.52	
0.63-1	MT-32/2H0.82	MT-32/3H0.82	MT-32/3K0.82	
1-1.6	MT-32/2H1.3	MT-32/3H1.3	MT-32/3K1.3	
1.6-2.5	MT-32/2H2.1	MT-32/3H2.1	MT-32/3K2.1	
2.5-4	MT-32/2H3.3	MT-32/3H3.3	MT-32/3K3.3	
4-6	MT-32/2H5	MT-32/3H5	MT-32/3K5	
5-8	MT-32/2H6.5	MT-32/3H6.5	MT-32/3K6.5	
6-9	MT-32/2H7.5	MT-32/3H7.5	MT-32/3K7.5	MC-32a



# Diseño

## Elementos seleccionados

NÚM.	DETALLE	CARACTERÍSTICAS
1	Generador micro hidráulico	CJ-300, H (12-14) m, Q (3-5) lt/seg.
2	Bomba	FAMAC FSG, 220v, 3φ, 60 Hz.
3	Tubería	tubería PVC roscable tipo PN16.
4	Perfil Estructural	Acero ASTM A36 (40x40x2) mm.
5	Placa Soporte	Acero ASTM A36 (40x60x6) mm.
6	Flujómetro	Rola-Chem 5-8 litros/segundo.
7	Manómetros	Ginebre, (0-100) Psi/ Glicerina.
8	Multímetro Digital	Croc See AC (80-260)V, 100A.
9	Manguera Flexible	2 pulgadas flexible termoformada.
10	Tablero De Control	Beaucoup (40X40X20) mm
11	Mesón	Melamina de 30 mm
12	Cable De Poder	Calibre 14 tipo Sucre, 20A
13	Cable De Accesorios	Calibre 18 tipo flexible, 6A
14	Interruptor Termomagnético	Schneider, C10
15	Contactora	Ls Ccontactors, MC-9b TIPO aC3
16	Relé Térmico	Ls Ccontactors Ms-9b / MT-32/3K
17	Luces Piloto	220 V, verde, rojo.
18	Reservorio De Agua	Fibra de vidrio (65x50x50) cm capacidad nominal 120lts.
19	Rieles Din	DIN A-100 de acero laminado
20	Regulador De Nivel	Camsco flotador KF-06



# Pruebas de funcionamiento

Pruebas Modulo didáctico de una pico central hidroeléctrica

Resistencia [Ω]	Corriente [A]	Voltaje [V]	Frecuencia [Hz]	Potencia [W]	Caudal [L/min]	Presión [Psi]
∞	0	119	50	0	290	18
400,00	0,29947917	115,2	50,00	34,5	290	18,00
200,00	0,57958478	115,6	50,00	67	290	18,00
171,42	0,67214533	115,60	50,00	77,70	290	18,00
150,00	0,76770294	115,80	50,00	88,9	290	18,00
133,30	0,8605852	116,20	50,00	100	290	18,00
120,00	0,96054889	116,60	50,00	112	290	18,00
100,10	1,15089514	117,30	50,00	135	290	18,00
85,71	1,38047138	118,80	50,00	164	290	18,00
75,00	1,57627119	118,00	50,00	186,00	290	18,00
66,67	1,625	112,00	47,00	182,00	290	18,00
60,00	1,75238095	105,00	45,00	184,00	290	18,00
57,14	1,78431373	102,00	43,00	182,00	290	18,00

Datos módulo didáctico.



Datos módulo didáctico



# Conclusiones

Se realizó el diseño y construcción de un módulo didáctico de una pico central hidroeléctrica abastecida desde un reservorio de agua, el vector energético es impulsado por una bomba centrífuga trifásica, la cual permite operar el generador microhidráulico obteniendo una potencia adecuada para su uso en el laboratorio, para la obtención de las distintas variables que influyen en la generación de energía eléctrica, se incorporó instrumentos de medida como un caudalímetro, manómetro y dispositivos para la medida de magnitudes eléctricas.

Se diseñó el circuito hidráulico para el módulo didáctico de una pico central hidroeléctrica, con una potencia máxima de generación de 300 W para uso en laboratorios, se utiliza una bomba centrífuga de 2 Hp para la alimentación del recurso hidráulico al circuito, con tuberías de PVC de 2" en las secciones de succión y descarga. Se emplean accesorios PN10 y PN16, y el trayecto máximo es de 1,3 m con una fricción de 0,0195 y Perdidas en el circuito hidráulico de 2,92 m.

Se realizó el cálculo de la altura neta positiva de aspiración disponible en el circuito hidráulico considerando las condiciones de presión y temperatura de la ciudad de Latacunga, obteniendo una fricción en la tubería de succión de 0,776 m se tiene una carga positiva neta disponible de 7,448 m, con las curvas de funcionamiento de la bomba seleccionada se tiene que la altura neta positiva de aspiración requerida por la bomba es de 6.093 m, siendo menor al valor disponible en el circuito hidráulico, concluyendo que la bomba no cavita.

# Conclusiones

Se realizó los cálculos de diseño de la estructura principal, la cual soporta el módulo didáctico y a todos sus accesorios, dando como resultado un peso máximo de 1537,81 N, un momento máximo de 246,83 Nm y un módulo de sección de  $1,97 \text{ cm}^3$ . De la obtención de estos valores se llevó a cabo la selección del perfil de 40\*40\*2 mm estructural, dándonos como resultado un esfuerzo máximo sobre la estructura de 14,02 MPa y un desplazamiento de 0,1815 mm. La estructura tiene un factor de seguridad de 18,28 siendo seguro para el uso en los laboratorios.

Se implementó instrumentación para cuantificar las variables de caudal y de presión, para lo cual se utilizó un rotámetro adaptable a tubería de 2" que posee un rango desde 151 L/min hasta 530 L/min, se utilizó un manómetro de glicerina con rango máximo de 90 Psi para el módulo y considerando que la presión máxima que puede entregar la bomba es de 45 Psi.

Se implementó medidor de variables eléctricas para mostrar los datos del generador microhidráulico como voltaje, intensidad, frecuencia, potencia, factor de potencia y medidor de energía, este medidor facilita la obtención de los datos del generador microhidráulico.

# Conclusiones

Para la operación de módulo didáctico se implementó un sistema de mando a 3 hilos el cual consta de un interruptor termomagnético principal con capacidad de hasta 16 A, un contactor tipo AC3 de 9 A y una protección térmica con regulación de 5-8 A. Un sensor de nivel eléctrico permite el paso de energía al módulo evitando que este arranque en caso de no poseer nivel necesario de agua en el reservorio. Las luces piloto cumplen la función de indicar el estado en el que se encuentra el módulo para poder ponerlo en funcionamiento.

Se realizaron prácticas de operación en el módulo didáctico de una pico central hidroeléctrica, obteniendo una frecuencia constante de 50 Hz sin conectarlo a una carga externa, una vez colocado el módulo de cargas resistivas genera con normalidad, hasta llegar a su máxima potencia de 186 W y un caudal de 290 L/min a presión de 18 PSI o su equivalente a 12,65 mca. De esta manera se obtiene una potencia hidráulica de 599 W.

# Recomendaciones

Utilizar el manual de operación del módulo didáctico de una pico central hidroeléctrica que se encuentra en el Anexo P, donde se detalla la instalación, funcionamiento y operación correcta del módulo para que no exista inconvenientes en la operación o posibles accidentes dentro del laboratorio.

Se recomienda antes de utilizar el módulo didáctico de una pico central hidroeléctrica verificar que exista agua en el tanque reservorio de agua al nivel recomendado, de igual forma que esté purgada la bomba de agua, verificar que las uniones universales estén correctamente ajustadas a sus acoples porque al no existir esta revisión se puede generar fugas de agua por todo el sistema.

Al realizar el mantenimiento del módulo didáctico se debe tener las herramientas necesarias para tubería y accesorios PN16 de 2", el despiece del módulo didáctico, así como los planos respectivos para que no exista problemas en el funcionamiento.

# Recomendaciones

Verificar al momento de realizar una práctica que dentro del tanque del módulo didáctico no exista basuras o partículas debido a que pueden dañar la bomba centrífuga o romper los álabes de la turbina y el módulo se ve afectado.

Al terminar cada práctica de laboratorio se recomienda realizar una limpieza del tanque, extrayendo el agua por la tubería de descarga, tener cuidado al desmontar el tanque en la tubería de succión debido a que debe contener agua por la válvula de pie.

Para realizar las prácticas en el laboratorio debe seguir la guía de laboratorio del módulo didáctico de una pico central hidroeléctrica en el Anexo Q.

El sistema fue implementado con una bomba trifásica, para que a futuro se pueda realizar el estudio de variación de caudal empleando un variador de frecuencia, el cual brinda mayor flexibilidad y control en el funcionamiento del sistema



Muchas gracias



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA