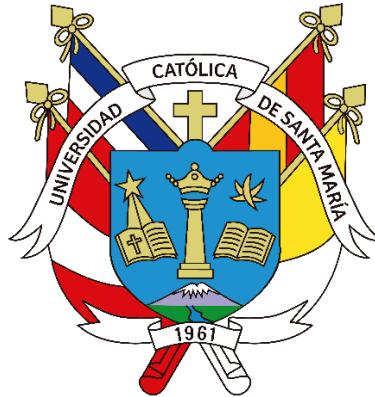


# Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y  
Mecatrónica



**“REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS DE  
TURBINAS PELTON Y FRANCIS DEL LABORATORIO DE  
TERMOFLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA  
MARÍA PARA EL MONITOREO DE FLUJO Y PRESIÓN EMPLEANDO  
UN SISTEMA SCADA”**

Tesis presentada por los Bachilleres:

**Chalco Mansilla, Alejandro Romel**

**Díaz Cuba, Yeremy Luisinio**

Para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero Mecánico Electricista**

Asesor:

**Dr. Valdez Loaiza, Juan Carlos**

**Arequipa - Perú**

**2023**

# DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 16 de Marzo del 2023

**Dictamen: 008172-C-EPIMMEM-2023**

Visto el borrador del expediente 008172, presentado por:

**2013600031 - CHALCO MANSILLA ALEJANDRO ROMEL**  
**2013110151 - DIAZ CUBA YEREMY LUISINIO**

Titulado:

**REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS DE TURBINAS PELTON Y FRANCIS DEL  
LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA PARA EL  
MONITOREO DE FLUJO Y PRESIÓN EMPLEANDO UN SISTEMA SCADA**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1828 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO**  
**DICTAMINADOR**



**1936 - MESTAS RAMOS SERGIO ORLANDO**  
**DICTAMINADOR**



**3244 - SILES NATES FERNANDO DAVID**  
**DICTAMINADOR**



## DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi hija Emilia Xialê, la que considero es mi bendición, motivación y fortaleza para mí y Ximena, la cual conformamos la familia ChaSan.

Agradecer a mis padres Joel y Ana quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades y nunca darme por vencido, también a mis hermanos Lardy, Darwin, Marni, Fernando y Diego por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso de mi vida, por estar conmigo en todo momento.

Finalmente, un agradecimiento a todos los que fueron parte de este proyecto, dando su apoyo incondicional.

Muchas gracias Dios por guiarme en todo este camino de superación y poner a las personas idóneas para cada proceso de mi vida.

Ni antes ni después, los tiempos de Dios son perfectos.

**Chalco Mansilla, Alejandro Romel**

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por guiarme y darme fortaleza para culminar mi carrera universitaria; a mis padres wilber y July y hermanos que me apoyaron, depositaron su confianza, paciencia y esfuerzo en mí. A Esteysi mi enamorada por brindarme su amor y apoyo incondicional en todo este proceso.

**Diaz Cuba, Yeremy Luisinio**

## RESUMEN

La energía eléctrica desempeña un papel importante en nuestras vidas y la forma de generarla varía en función de la tecnología empleada. Una de estas tecnologías son las centrales hidroeléctricas cuyo funcionamiento está basado en turbinas hidráulicas. Este proyecto pretende mostrar el funcionamiento de una turbina Pelton y Francis ampliamente empleadas en centrales hidroeléctricas, por lo cual se ha rediseñado y mejorado uno de los módulos ya existentes de la Universidad mediante la automatización empleando sensores, actuadores y un controlador lógico programable (PLC) para reforzar los conocimientos teóricos-prácticos de los futuros profesionales de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica.

En el capítulo I se presenta el marco metodológico, es decir, los objetivos del proyecto, justificaciones y alcances del mismo.

En el capítulo II se presenta el marco teórico necesario para el entendimiento del proyecto y los antecedentes.

En el capítulo III se desarrolla el proyecto, presentando así la selección de componentes, distribución de los mismos, programación del PLC e implementación del sistema SCADA.

En el capítulo IV se presentan las pruebas y resultados de cada una de las pruebas realizadas con el módulo. Se muestran gráficas y la respectiva interpretación de cada una de estas.

Finalmente, se acaba con las conclusiones y recomendaciones.

**Palabras Claves:** Turbinas hidráulicas, Pelton, Francis, Automatización, PLC.

## ABSTRACT

Electricity plays an important role in our lives and the way it is generated varies according to the technology that is used. One of these technologies are hydroelectric power stations which are based on hydraulic turbines such as Pelton and Francis. These turbines are widely used in hydroelectric power stations and the purpose of this project is to show how they work, redesigning and improving one the previous modules that already existed at University through automation, sensors, actuators and programmable logic controllers (PLC) to reinforce knowledge of future students who belong to the major “Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica”.

In chapter I, the methodological framework is presented, that is, the objectives, justifications and scope of the project.

Chapter II presents the theoretical framework necessary for understanding the project and its background.

In chapter III the project is developed, thus presenting the selection of components, their distribution, PLC programming and implementation of the SCADA system.

Chapter IV presents the tests and results of each of the tests carried out with the module. Graphs and the respective interpretation of each of these are shown.

Finally, conclusions and recommendations are presented.

**Keywords:** Hydraulic turbines, Pelton, Francis, Automation, PLC.

## ÍNDICE

<b>DICTAMEN APROBATORIO</b> .....	I
<b>DEDICATORIA</b> .....	II
<b>RESUMEN</b> .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	IV
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	IX
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	X
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	3
<b>1.1. Identificación del problema</b> .....	3
<b>1.2. Área de Conocimiento</b> .....	3
<b>1.3. Antecedentes</b> .....	4
<b>1.4. Objetivos</b> .....	5
<b>1.4.1. Objetivo general</b> .....	5
<b>1.4.2. Objetivos específicos</b> .....	5
<b>1.5. Variables</b> .....	7
<b>1.6. Justificación</b> .....	7
<b>1.6.1. Justificación Académica</b> .....	7
<b>1.6.2. Justificación del Proyecto</b> .....	7
<b>1.7. Alcances y limitaciones</b> .....	8
<b>1.7.1. Alcances</b> .....	8
<b>1.7.2. Limitaciones</b> .....	9
<b>1.7.3. Especificaciones</b> .....	9
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	14
<b>2.1. Turbina Pelton</b> .....	14
<b>2.2. Turbina Francis</b> .....	14
<b>2.3. Controlador Lógico Programable (PLC)</b> .....	15
<b>2.4. Sistema SCADA</b> .....	16
<b>2.5. Señales Analógicas</b> .....	17
<b>2.6. Electroválvulas</b> .....	18
<b>2.7. Transmisor de Presión</b> .....	18
<b>2.8. Transmisor de Flujo</b> .....	18
<b>2.9. Encoder Incremental</b> .....	18
<b>2.10. Sensores de proximidad</b> .....	19

2.11.	Herramientas computacionales para automatización.....	20
2.11.1.	TIA Portal .....	20
2.11.2.	SIMATIC WinCC .....	21
2.12.	La automatización en sistemas industriales .....	22
2.12.1.	La automatización .....	22
2.12.2.	Clasificación de los automatismos.....	23
2.12.3.	Características de los automatismos.....	24
2.13.	Variables físicas involucradas en el proceso .....	24
2.13.1.	Caudal y presión en sistemas hidráulicos.....	24
2.14.	Estándar IEC 61131-3.....	26
2.14.1.	Lenguaje de programación LADDER.....	27
3.	DESARROLLO DEL PROYECTO .....	31
3.1.	Estado Anterior de los Módulos.....	31
3.1.1.	Turbina Francis.....	31
3.1.2.	Turbina Pelton.....	32
3.2.	Selección de Componentes.....	33
3.2.1.	Sensores.....	34
3.2.1.1.	Flujómetro o Caudalímetro.....	34
3.2.1.2.	Manómetro.....	38
3.2.1.3.	Encoder .....	39
3.2.1.4.	Sensor Inductivo.....	41
3.2.2.	Actuadores .....	42
3.2.2.1.	Válvula Proporcional .....	42
3.2.3.	Controlador Lógico Programable (PLC) y Módulos .....	43
3.2.4.	Selección de Equipos para tablero eléctrico.....	49
3.2.4.1.	Guardamotores.....	49
3.2.4.2.	Contactores .....	50
3.2.4.3.	Fuente de 24 VDC .....	51
3.2.4.4.	Interruptores termomagnéticos .....	52
3.3.	Rediseño de la Estructura.....	53
3.4.	Conexión de sensores y actuadores.....	54
3.4.1.	Sensores con salida analógica en corriente 4-20mA.....	54
3.4.2.	Actuadores con entrada analógica en corriente 4-20mA.....	57
3.5.	Diseño y Ensamble de Tablero Eléctrico.....	57
3.6.	Agregar PLC y módulos a proyecto en TIA Portal.....	62
3.7.	Configuración Módulo SM 1234.....	71

3.8.	Implementación de Tags (Etiquetas) .....	72
3.9.	Lógica Ladder.....	75
3.9.1.	Marcha y parada de las electrobombas.....	77
3.9.2.	Lectura y escalamiento de los sensores de Presión.....	81
3.9.3.	Lectura y escalamiento de los sensores de flujo.....	86
3.9.4.	Configuración de contadores rápidos (HSC).....	88
3.9.5.	Lectura de pulsos empleando HSC.....	91
3.9.6.	Control de válvulas proporcionales .....	95
3.10.	Sistema SCADA.....	99
3.10.1.	Requisitos.....	99
3.10.2.	Implementación.....	100
3.11.	Ensamble Final del Módulo.....	110
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS .....	115
4.1.	Actuadores eléctricos con entrada en corriente.....	115
4.2.	Sensores con salida en corriente .....	116
4.3.	Curvas Características de las turbinas.....	119
4.4.	Turbina Francis.....	122
4.4.1.	Curva Característica con Q = 72 LPM con apertura de álabes al 50% .....	122
4.4.2.	Curva Característica con Q = 72 LPM con apertura de álabes al 75% .....	125
4.4.3.	Curva Característica con Q = 72 LPM con apertura de álabes al 100% .....	127
4.4.4.	Curva Característica con Q = 82 LPM con apertura de álabes al 50% .....	130
4.4.5.	Curva Característica con Q = 82 LPM con apertura de álabes al 75% .....	133
4.4.6.	Curva Característica con Q = 82 LPM con apertura de álabes al 100% .....	136
4.4.7.	Curva Característica con Q = 98 LPM con apertura de álabes al 50% .....	138
4.4.8.	Curva Característica con Q = 98 LPM con apertura de álabes al 75% .....	141
4.4.9.	Curva Característica con Q = 98 LPM con apertura de álabes al 100% .....	143
4.5.	Turbina Pelton.....	146
4.5.1.	Curvas con apertura de 50%, H = 8.2 m.....	146
4.5.2.	Curvas con apertura de 75%, H = 8.2 m.....	149
4.5.3.	Curvas con apertura de 100%, H = 8.2 m.....	152
4.5.4.	Curvas con apertura de 50%, H = 4.5 m.....	155
4.5.5.	Curvas con apertura de 75%, H = 4.5 m.....	158
4.5.6.	Curvas con apertura de 100%, H = 4.5 m.....	161
4.5.7.	Curvas con apertura de 50%, H = 1.4 m.....	164
4.5.8.	Curvas con apertura de 75%, H = 1.4 m.....	167
4.5.9.	Curvas con apertura de 100%, H = 1.4 m.....	170

4.5.10.	Curvas con apertura de 100% para 1200 RPM constantes.....	173
5.	CONCLUSIONES.....	176
6.	RECOMENDACIONES.....	177
7.	REFERENCIAS.....	178
8.	ANEXOS.....	179
8.1.	Transmisor de Flujo.....	179
8.2.	Transmisor de Presión.....	181
8.3.	Encoder Omron E6B2-CWZ6C.....	182
8.4.	Sensor Inductivo.....	184
8.5.	PLC S7-1200 1212C AC/DC/RLY.....	185
8.6.	Módulo SM1234.....	186
8.7.	Manual de Operación del sistema SCADA.....	187
8.8.	Guías de Laboratorio.....	196
8.8.1.	Laboratorio #1 (T. Francis).....	196
8.8.2.	Laboratorio #2 (T. Pelton).....	211
8.8.3.	Laboratorio #3 (T. Pelton).....	226
8.9.	Entradas y Salidas del PLC.....	234
8.10.	Planos estructurales.....	236
8.11.	Planos Eléctricos.....	241
8.11.1.	Tablero eléctrico (TE-PPT).....	241
8.11.2.	Distribución 220 VAC.....	246
8.11.3.	Multifilar CCM (Centro de Control de Motores).....	247
8.11.4.	Distribución 24 VDC.....	248
8.11.5.	Distribución de PLC y Módulos.....	249
8.11.6.	Alimentación PLC 1212C AC/DC/RLY.....	250
8.11.7.	Alimentación de Módulo SM 1234.....	251
8.11.8.	Entradas Digitales PLC.....	252
8.11.9.	Salidas Digitales PLC.....	253
8.11.10.	Entradas Analógica PLC.....	254
8.11.11.	Entradas Analógicas Módulo SM 1234.....	255
8.11.12.	Salidas Analógicas Módulo SM 1234.....	256

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables.....	7
<b>Tabla 2</b> Código de instrumentos de medición .....	11
<b>Tabla 3</b> Características de los automatismos.....	24
<b>Tabla 4</b> Magnitudes físicas de los sistemas hidráulicos .....	25
<b>Tabla 5</b> Códigos Flow sheet .....	44
<b>Tabla 6</b> Selección de PLCs y Módulos .....	48
<b>Tabla 7</b> Corrientes aproximadas en los equipos del proyecto .....	49
<b>Tabla 8</b> Consumo de corriente de los instrumentos.....	51
<b>Tabla 9</b> Calibre y color de conductores en el tablero eléctrico .....	61
<b>Tabla 10</b> Etiquetas del proyecto.....	73
<b>Tabla 11</b> Salida en corriente de sensor de flujo.....	118



## ÍNDICE DE FIGURAS

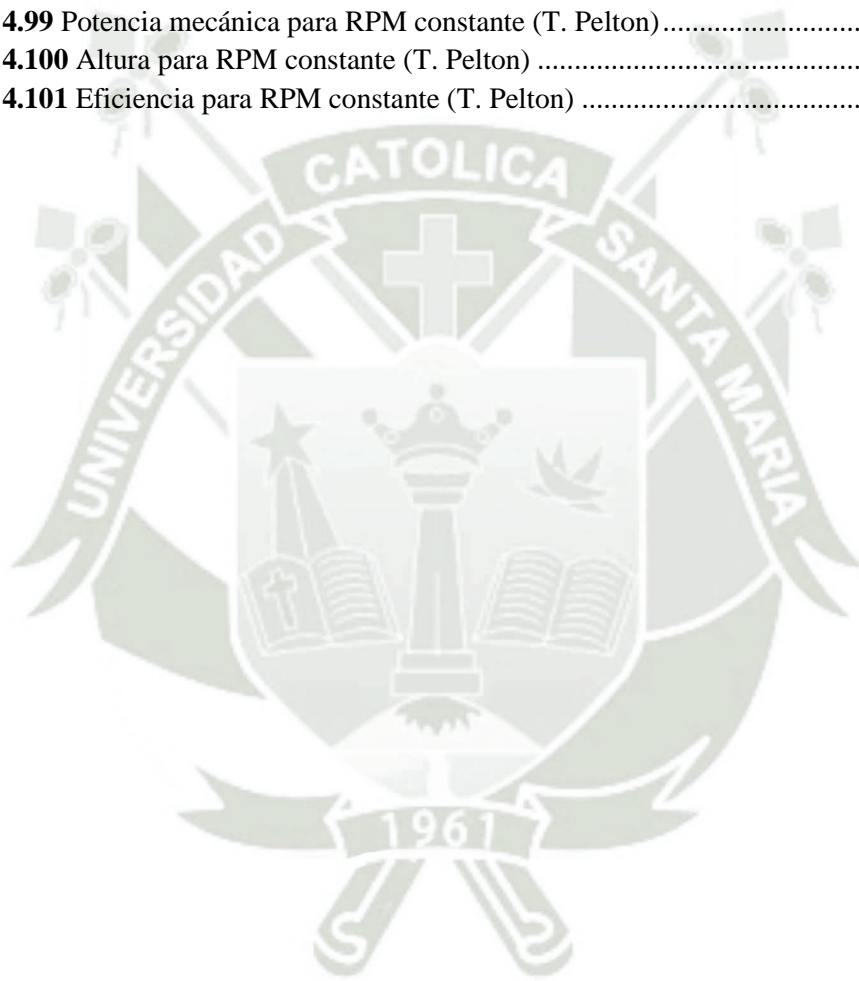
<b>Figura 1.1</b> Diagrama P&ID Turbina Francis.....	11
<b>Figura 1.2</b> Diagrama P&ID Turbina Pelton .....	12
<b>Figura 2.1</b> Esquema de funcionamiento de turbina Pelton.....	14
<b>Figura 2.2</b> Esquema de turbina Francis.....	15
<b>Figura 2.3</b> PLC CompactLogix 1769-L24ER .....	16
<b>Figura 2.4</b> Ejemplo de sistema SCADA .....	17
<b>Figura 2.5</b> Ejemplo de encoder incremental.....	19
<b>Figura 2.6</b> Sensores de proximidad .....	20
<b>Figura 2.7</b> Software Totally Integrated Automation Portal.....	21
<b>Figura 2.8</b> Sistema SCADA SIMATIC WinCC.....	22
<b>Figura 2.9</b> Automatización en la industria automotriz .....	22
<b>Figura 2.10</b> Clasificación de los automatismos.....	23
<b>Figura 2.11</b> Variables en la hidrodinámica dependientes entre sí.....	25
<b>Figura 2.12</b> Simbología básica de LADDER .....	28
<b>Figura 2.13</b> Ejemplo de Programación LADDER en sistema neumático .....	28
<b>Figura 2.14</b> Lenguaje LADDER en software de automatización.....	29
<b>Figura 3.1</b> Módulo de turbina Francis anterior .....	31
<b>Figura 3.2</b> Módulo de turbina Pelton anterior .....	32
<b>Figura 3.3</b> Transmisor indicador de flujo LWGB 25mm.....	36
<b>Figura 3.4</b> Distancias al montar el flujómetro LWGB .....	37
<b>Figura 3.5</b> Transmisor indicador de Presión SWK-PC300 .....	38
<b>Figura 3.6</b> Encoder Incremental Omron E6B2-CWZ6C.....	40
<b>Figura 3.7</b> Sensor inductivo PR18-8DN .....	42
<b>Figura 3.8</b> Válvula proporcional .....	43
<b>Figura 3.9</b> Base de datos del proyecto .....	45
<b>Figura 3.10</b> PLCs SIMATIC S7-1200 .....	46
<b>Figura 3.11</b> PLC S7-1200 1212C AC/DC/RLY.....	47
<b>Figura 3.12</b> Módulo SM 1234.....	48
<b>Figura 3.13</b> Guardamotor Chint 6-10 A.....	50
<b>Figura 3.14</b> Contactores empleados en el proyecto.....	51
<b>Figura 3.15</b> Fuente de alimentación MDR-100-24 .....	52
<b>Figura 3.16</b> Termomagnéticos seleccionados para el proyecto.....	53
<b>Figura 3.17</b> Conexión de sensor con salida en corriente al módulo SM 1234 .....	55
<b>Figura 3.18</b> Cambio de salida en corriente a tensión .....	56
<b>Figura 3.19</b> Conexión de válvula proporcional al módulo SM 1234.....	57
<b>Figura 3.20</b> Tablero Eléctrico del módulo .....	58
<b>Figura 3.21</b> Placa de montaje tablero eléctrico .....	59
<b>Figura 3.22</b> Distribución de canaletas y rieles DIN en placa de montaje .....	60
<b>Figura 3.23</b> Placa de montaje cableada .....	62
<b>Figura 3.24</b> Nuevo Proyecto Creado en TIA Portal .....	63
<b>Figura 3.25</b> Acceder a dispositivos disponibles .....	64
<b>Figura 3.26</b> Seleccionar PLC para mostrar la información .....	65
<b>Figura 3.27</b> PLC agregado a acceso online .....	65
<b>Figura 3.28</b> Información del PLC .....	66
<b>Figura 3.29</b> Agregar nuevo dispositivo .....	66
<b>Figura 3.30</b> Dispositivos disponibles en TIA Portal .....	67

<b>Figura 3.31</b>	Vista de Dispositivos PLC S7-1200 .....	68
<b>Figura 3.32</b>	SM 1234 en catálogo de hardware.....	69
<b>Figura 3.33</b>	Módulo de entradas y salidas analógicas agregado .....	69
<b>Figura 3.34</b>	Dirección IP del PLC en proyecto .....	70
<b>Figura 3.35</b>	Cargar al PLC la configuración de hardware.....	71
<b>Figura 3.36</b>	Camales disponibles SM 1234.....	71
<b>Figura 3.37</b>	Configuración de canales en corriente 4-20mA.....	72
<b>Figura 3.38</b>	Carpeta de Tags del proyecto.....	74
<b>Figura 3.39</b>	Tags del proyecto agregados en TIA Portal.....	75
<b>Figura 3.40</b>	Bloques de programas en las carpetas del proyecto.....	76
<b>Figura 3.41</b>	Diagrama ladder en blanco .....	77
<b>Figura 3.42</b>	Tags para el arranque y parada de bombas desde SCADA .....	78
<b>Figura 3.43</b>	Arranque y parada de bomba de turbina Francis .....	79
<b>Figura 3.44</b>	Arranque y parada de bomba de turbina Pelton.....	80
<b>Figura 3.45</b>	Tags adicionales para medir presión.....	81
<b>Figura 3.46</b>	Escalamiento de sensor de presión para turbina Pelton .....	82
<b>Figura 3.47</b>	Escalamiento para sensor de presión de turbina Francis .....	84
<b>Figura 3.48</b>	Cálculo de altura en Turbina Francis.....	86
<b>Figura 3.49</b>	Tags adicionales para la medición de flujo.....	86
<b>Figura 3.50</b>	Lectura de sensor de flujo Turbina Pelton .....	87
<b>Figura 3.51</b>	Lectura de sensor de flujo turbina Francis.....	88
<b>Figura 3.52</b>	HSC disponibles en PLC S7-1200 1212C .....	90
<b>Figura 3.53</b>	Configuración básica del HSC.....	91
<b>Figura 3.54</b>	Configuración de input filter de entrada digital encoder .....	91
<b>Figura 3.55</b>	Tags adicionales para la lectura de los encoders .....	92
<b>Figura 3.56</b>	Diagrama Ladder para determinación de RPM turbina Pelton (Encoder) .....	93
<b>Figura 3.57</b>	Diagrama Ladder para determinar las RPM de la turbina Francis (Encoder).....	93
<b>Figura 3.58</b>	Encoder instalado en turbina Pelton .....	94
<b>Figura 3.59</b>	Pieza para colocar tornillos para medir las RPM.....	95
<b>Figura 3.60</b>	Tags adicionales para el control de las válvulas proporcionales .....	96
<b>Figura 3.61</b>	Diagrama Ladder para válvula proporcional de turbina Francis .....	96
<b>Figura 3.62</b>	Diagrama Ladder de la válvula proporcional de la turbina Pelton .....	97
<b>Figura 3.63</b>	Diagrama Ladder para iniciar con las válvulas proporcionales abiertas.....	98
<b>Figura 3.64</b>	Habilitar bits de memoria para el primer Scan .....	98
<b>Figura 3.65</b>	Tags disponibles de los bits de memoria del sistema .....	99
<b>Figura 3.66</b>	Agregar nuevo dispositivo basado en PC WinCC RT Advanced.....	100
<b>Figura 3.67</b>	Vista de dispositivo de sistema PC WinCC RT Advanced.....	101
<b>Figura 3.68</b>	Módulos de comunicación Profinet .....	101
<b>Figura 3.69</b>	Configurando dirección IP de módulo de comunicación.....	102
<b>Figura 3.70</b>	Direcciones IP de cada dispositivo vinculado al proyecto.....	102
<b>Figura 3.71</b>	Conexión via profinet con sistema PC.....	103
<b>Figura 3.72</b>	Insertar nueva pantalla a SCADA.....	104
<b>Figura 3.73</b>	Pantalla SCADA por defecto.....	104
<b>Figura 3.74</b>	Runtime Settings SCADA .....	105
<b>Figura 3.75</b>	Sistema SCADA implementado .....	106
<b>Figura 3.76</b>	Script implementado para rotación de turbina .....	107
<b>Figura 3.77</b>	Lista de gráficos creada para el proyecto.....	108
<b>Figura 3.78</b>	Script implementado para cambiar color de tuberías.....	109

<b>Figura 3.79</b> Configuración de Data Logs.....	109
<b>Figura 3.80</b> Tags cuyos valores se guardarán cada segundo.....	110
<b>Figura 3.81</b> Vista lateral del módulo de Turbinas.....	111
<b>Figura 3.82</b> Flujómetro instalado en tubería del módulo.....	111
<b>Figura 3.83</b> Módulo de turbinas con vista al tablero.....	112
<b>Figura 3.84</b> Transmisor de presión instalado en el módulo.....	112
<b>Figura 3.85</b> Módulo de turbinas con puerta de tablero abierta.....	113
<b>Figura 3.86</b> Caja negra de módulo de turbinas.....	113
<b>Figura 4.1</b> Corriente de salida para actuadores (20mA).....	115
<b>Figura 4.2</b> Conexión de válvula proporcional a tablero.....	116
<b>Figura 4.3</b> Prueba de sensores y calibración empleando generador de señal.....	116
<b>Figura 4.4</b> Mínimo valor de tensión (2.10 voltios a 4mA).....	117
<b>Figura 4.5</b> Máximo valor de tensión (9.89 voltios a 20mA).....	117
<b>Figura 4.6</b> Sensor de flujo pruebas en tablero.....	118
<b>Figura 4.7</b> Flujo vs Corriente (Flujómetro).....	119
<b>Figura 4.8</b> Par mecánico con apertura de 50%, Q = 72.49 LPM (T. Francis).....	122
<b>Figura 4.9</b> Caudal con apertura de 50%, Q = 72.49 LPM (T. Francis).....	123
<b>Figura 4.10</b> Potencia hidráulica con apertura de 50%, Q = 72.49 LPM (T. Francis).....	123
<b>Figura 4.11</b> Potencia mecánica con apertura de 50%, Q = 72.49 LPM (T. Francis).....	124
<b>Figura 4.12</b> Eficiencia con apertura de 50%, Q = 72.49 LPM (T. Francis).....	124
<b>Figura 4.13</b> Par mecánico con apertura de 75%, Q = 70.45 LPM (T. Francis).....	125
<b>Figura 4.14</b> Caudal con apertura de 75%, Q = 70.45 LPM (T. Francis).....	125
<b>Figura 4.15</b> Potencia hidráulica con apertura de 75%, Q = 70.45 LPM (T. Francis).....	126
<b>Figura 4.16</b> Par mecánico con apertura de 75%, Q = 70.45 LPM (T. Francis).....	126
<b>Figura 4.17</b> Eficiencia con apertura de 75%, Q = 70.45 LPM (T. Francis).....	127
<b>Figura 4.18</b> Par mecánico con apertura de 100%, Q = 71.33 LPM (T. Francis).....	127
<b>Figura 4.19</b> Caudal con apertura de 100%, Q = 71.33 LPM (T. Francis).....	128
<b>Figura 4.20</b> Potencia hidráulica con apertura de 100%, Q = 71.33 LPM (T. Francis).....	128
<b>Figura 4.21</b> Potencia mecánica con apertura de 100%, Q = 71.33 LPM (T. Francis).....	129
<b>Figura 4.22</b> Eficiencia con apertura de 100%, Q = 71.33 LPM (T. Francis).....	130
<b>Figura 4.23</b> Par mecánico con apertura de 50%, Q = 86.99 LPM (T. Francis).....	130
<b>Figura 4.24</b> Caudal con apertura de 50%, Q = 86.99 LPM (T. Francis).....	131
<b>Figura 4.25</b> Potencia hidráulica con apertura de 50%, Q = 86.99 LPM (T. Francis).....	131
<b>Figura 4.26</b> Potencia mecánica con apertura de 50%, Q = 86.99 LPM (T. Francis).....	132
<b>Figura 4.27</b> Eficiencia con apertura de 50%, Q = 86.99 LPM (T. Francis).....	132
<b>Figura 4.28</b> Par mecánico con apertura de 75%, Q = 82.02 LPM (T. Francis).....	133
<b>Figura 4.29</b> Caudal con apertura de 75%, Q = 82.02 LPM (T. Francis).....	133
<b>Figura 4.30</b> Potencia hidráulica con apertura de 75%, Q = 82.02 LPM (T. Francis).....	134
<b>Figura 4.31</b> Potencia mecánica con apertura de 75%, Q = 82.02 LPM (T. Francis).....	134
<b>Figura 4.32</b> Eficiencia con apertura de 75%, Q = 82.02 LPM (T. Francis).....	135
<b>Figura 4.33</b> Par mecánico con apertura de 100%, Q = 80.84 LPM (T. Francis).....	136
<b>Figura 4.34</b> Caudal con apertura de 100%, Q = 80.84 LPM (T. Francis).....	136
<b>Figura 4.35</b> Potencia hidráulica con apertura de 100%, Q = 80.84 LPM (T. Francis).....	137
<b>Figura 4.36</b> Potencia mecánica con apertura de 100%, Q = 80.84 LPM (T. Francis).....	137
<b>Figura 4.37</b> Eficiencia con apertura de 100%, Q = 80.84 LPM (T. Francis).....	138
<b>Figura 4.38</b> Par mecánico con apertura de 50%, Q = 97.9 LPM (T. Francis).....	138
<b>Figura 4.39</b> Caudal con apertura de 50%, Q = 97.9 LPM (T. Francis).....	139
<b>Figura 4.40</b> Potencia hidráulica con apertura de 50%, Q = 97.9 LPM (T. Francis).....	139

<b>Figura 4.41</b> Potencia mecánica con apertura de 50%, $Q = 97.9$ LPM (T. Francis).....	140
<b>Figura 4.42</b> Eficiencia con apertura de 50%, $Q = 97.9$ LPM (T. Francis) .....	140
<b>Figura 4.43</b> Par mecánico con apertura de 75%, $Q = 84.3$ LPM (T. Francis).....	141
<b>Figura 4.44</b> Caudal con apertura de 75%, $Q = 84.3$ LPM (T. Francis).....	141
<b>Figura 4.45</b> Potencia hidráulica con apertura de 75%, $Q = 84.3$ LPM (T. Francis).....	142
<b>Figura 4.46</b> Potencia mecánica con apertura de 75%, $Q = 84.3$ LPM (T. Francis).....	142
<b>Figura 4.47</b> Eficiencia con apertura de 75%, $Q = 84.3$ LPM (T. Francis) .....	143
<b>Figura 4.48</b> Par mecánico con apertura de 100%, $Q = 83.8$ LPM (T. Francis).....	143
<b>Figura 4.49</b> Caudal con apertura de 100%, $Q = 83.8$ LPM (T. Francis) .....	144
<b>Figura 4.50</b> Potencia hidráulica con apertura de 100%, $Q = 83.8$ LPM (T. Francis).....	144
<b>Figura 4.51</b> Potencia mecánica con apertura de 100%, $Q = 83.8$ LPM (T. Francis).....	145
<b>Figura 4.52</b> Eficiencia con apertura de 100%, $Q = 83.8$ LPM (T. Francis) .....	145
<b>Figura 4.53</b> Par mecánico con apertura de 50%, $H = 8.2$ m (T. Pelton) .....	146
<b>Figura 4.54</b> Caudal con apertura de 50%, $H = 8.2$ m (T. Pelton).....	147
<b>Figura 4.55</b> Potencia hidráulica con apertura de 50%, $H = 8.2$ m (T. Pelton) .....	147
<b>Figura 4.56</b> Potencia mecánica con apertura de 50%, $H = 8.2$ m (T. Pelton) .....	148
<b>Figura 4.57</b> Eficiencia con apertura de 50%, $H = 8.2$ m (T. Pelton).....	148
<b>Figura 4.58</b> Par mecánico con apertura de 75%, $H = 8.3$ m (T. Pelton) .....	149
<b>Figura 4.59</b> Caudal con apertura de 75%, $H = 8.3$ m (T. Pelton).....	150
<b>Figura 4.60</b> Potencia hidráulica con apertura de 75%, $H = 8.3$ m (T. Pelton) .....	150
<b>Figura 4.61</b> Potencia mecánica con apertura de 75%, $H = 8.3$ m (T. Pelton) .....	151
<b>Figura 4.62</b> Eficiencia con apertura de 75%, $H = 8.3$ m (T. Pelton).....	151
<b>Figura 4.63</b> Par mecánico con apertura de 100%, $H = 8.1$ m (T. Pelton) .....	152
<b>Figura 4.64</b> Caudal con apertura de 100%, $H = 8.1$ m (T. Pelton).....	153
<b>Figura 4.65</b> Potencia hidráulica con apertura de 100%, $H = 8.1$ m (T. Pelton) .....	153
<b>Figura 4.66</b> Potencia mecánica con apertura de 100%, $H = 8.1$ m (T. Pelton) .....	154
<b>Figura 4.67</b> Eficiencia con apertura de 100%, $H = 8.1$ m (T. Pelton).....	154
<b>Figura 4.68</b> Par mecánico con apertura de 50%, $H = 4.5$ m (T. Pelton) .....	155
<b>Figura 4.69</b> Caudal con apertura de 50%, $H = 4.5$ m (T. Pelton).....	156
<b>Figura 4.70</b> Potencia hidráulica con apertura de 50%, $H = 4.5$ m (T. Pelton) .....	156
<b>Figura 4.71</b> Potencia mecánica con apertura de 50%, $H = 4.5$ m (T. Pelton) .....	157
<b>Figura 4.72</b> Eficiencia con apertura de 50%, $H = 4.5$ m (T. Pelton).....	157
<b>Figura 4.73</b> Par mecánico con apertura de 75%, $H = 4.4$ m (T. Pelton) .....	158
<b>Figura 4.74</b> Caudal con apertura de 75%, $H = 4.4$ m (T. Pelton).....	159
<b>Figura 4.75</b> Potencia hidráulica con apertura de 75%, $H = 4.4$ m (T. Pelton) .....	159
<b>Figura 4.76</b> Potencia mecánica con apertura de 75%, $H = 4.4$ m (T. Pelton) .....	160
<b>Figura 4.77</b> Eficiencia con apertura de 75%, $H = 4.4$ m (T. Pelton).....	160
<b>Figura 4.78</b> Par mecánico con apertura de 100%, $H = 4.5$ m (T. Pelton) .....	161
<b>Figura 4.79</b> Caudal con apertura de 100%, $H = 4.5$ m (T. Pelton).....	162
<b>Figura 4.80</b> Potencia hidráulica con apertura de 100%, $H = 4.5$ m (T. Pelton) .....	162
<b>Figura 4.81</b> Potencia mecánica con apertura de 100%, $H = 4.5$ m (T. Pelton) .....	163
<b>Figura 4.82</b> Eficiencia con apertura de 100%, $H = 4.5$ m (T. Pelton).....	163
<b>Figura 4.83</b> Par mecánico con apertura de 50%, $H = 1.4$ m (T. Pelton) .....	164
<b>Figura 4.84</b> Caudal con apertura de 50%, $H = 1.4$ m (T. Pelton).....	165
<b>Figura 4.85</b> Potencia hidráulica con apertura de 50%, $H = 1.4$ m (T. Pelton) .....	165
<b>Figura 4.86</b> Potencia mecánica con apertura de 50%, $H = 1.4$ m (T. Pelton) .....	166
<b>Figura 4.87</b> Eficiencia con apertura de 50%, $H = 1.4$ m (T. Pelton).....	166
<b>Figura 4.88</b> Par mecánico con apertura de 75%, $H = 1.4$ m (T. Pelton) .....	167

<b>Figura 4.89</b> Caudal con apertura de 75%, $H = 1.4$ m (T. Pelton).....	168
<b>Figura 4.90</b> Potencia hidráulica con apertura de 75%, $H = 1.4$ m (T. Pelton) .....	168
<b>Figura 4.91</b> Potencia mecánica con apertura de 75%, $H = 1.4$ m (T. Pelton) .....	169
<b>Figura 4.92</b> Eficiencia con apertura de 75%, $H = 1.4$ m (T. Pelton).....	169
<b>Figura 4.93</b> Par mecánico con apertura de 100%, $H = 1.4$ m (T. Pelton) .....	170
<b>Figura 4.94</b> Caudal con apertura de 100%, $H = 1.4$ m (T. Pelton).....	171
<b>Figura 4.95</b> Potencia hidráulica con apertura de 100%, $H = 1.4$ m (T. Pelton) .....	171
<b>Figura 4.96</b> Potencia mecánica con apertura de 100%, $H = 1.4$ m (T. Pelton) .....	172
<b>Figura 4.97</b> Eficiencia con apertura de 100%, $H = 1.4$ m (T. Pelton).....	172
<b>Figura 4.98</b> RPM constante vs caudal (T. Pelton).....	173
<b>Figura 4.99</b> Potencia mecánica para RPM constante (T. Pelton).....	174
<b>Figura 4.100</b> Altura para RPM constante (T. Pelton) .....	174
<b>Figura 4.101</b> Eficiencia para RPM constante (T. Pelton) .....	175



## INTRODUCCIÓN

Actualmente los módulos de Turbina Pelton y Turbina Francis que se emplean en los módulos de la Universidad Católica de Santa María funcionan con sensores analógicos no electrónicos. En el mercado se encuentra diversos sensores que nos permiten realizar la medición de caudal y presión, lo cual resulta útil para los módulos de Turbina Pelton y Francis. Contar con estos equipos de medición en los módulos ayuda a que los estudiantes adquieran conocimiento no solo relacionados con la parte mecánica y el funcionamiento de una Turbina, sino que también entiendan los procesos por los cuales se pueden adquirir valores de medición y ser mostrados en un sistema SCADA haciendo uso de la automatización.

La programación realizada se hace en base al estándar IEC 61131-3 y se emplean equipos de la marca SIEMENS para la parte de control. Se detalla la selección de componentes y se entrega un manual de operación del sistema SCADA, así como guías de laboratorio del módulo de turbinas y los planos estructurales y eléctricos respectivos.

Las señales de control de los sensores y actuadores que se emplean en el proyecto son en corriente con valores normalizados entre 4 a 20 mA.

En el presente proyecto se plantea el rediseño y automatización de los módulos de turbina Pelton y Francis para monitorear el flujo y presión y observar estos datos en un sistema SCADA.



# **CAPÍTULO I**

## **MARCO METODOLÓGICO**

## 1. MARCO METODOLÓGICO

### 1.1. Identificación del problema

Actualmente los módulos de turbina Pelton y Francis están operativos, pero se puede notar que el control de flujo en cada uno de los sistemas es de accionamiento manual por lo que el grado de apertura de la válvula (porcentaje de apertura) es aproximado ya que no existe un instrumento instalado en los sistemas que indique cual es el grado de apertura. Asimismo, también se identifica que los instrumentos instalados en los módulos son del tipo analógico lo cual no brinda precisión en la lectura de los parámetros y no permiten implementar un sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA) desde el cual se pueda controlar los módulos.

Con el desarrollo tecnológico y la creciente demanda de profesionales que conozcan del área de automatización se opta por automatizar los módulos de turbina Pelton y Francis esperando que los estudiantes de la escuela profesional de Ing. Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica se familiaricen con tecnologías y dispositivos electrónicos de medición.

Para la automatización de los módulos es necesario retirar los actuales de la universidad, implementar los sensores y/o actuadores, así como también el sistema SCADA y posteriormente devolverlos antes de marzo 2023.

Mediante la automatización se puede minimizar las fallas, controlar y visualizar los parámetros de los módulos en tiempo real.

### 1.2. Área de Conocimiento

El siguiente proyecto de acuerdo a los campos de Investigación y el Desarrollo OCDE se encuentra ubicado en el área de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la subárea de Sistemas de Automatización y Sistemas de control.

### 1.3. Antecedentes

Respecto al diseño e implementación de un módulo de turbina Pelton tenemos la tesis presentada por (Canaza Choqueluque & Chara Surco, 2018). En este proyecto se detalla la selección de componentes necesarios para la fabricación e implementación del módulo de turbina Pelton. Es mediante este módulo que se obtienen las curvas características de la turbina. El módulo implementado cuenta con sensores de tipo analógico y mediante estos sensores se determina la presión del fluido y el caudal. El control de flujo en el sistema se realiza mediante una válvula, la cual dependiendo del grado de apertura incrementa o disminuye el caudal en el sistema. La medición de la velocidad de rotación del eje de la turbina se realiza mediante un tacómetro y el torque es determinado empleando un freno Prony. El propósito del módulo es ayudar a los estudiantes de la escuela profesional de Ing. Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica entender los principios básicos del funcionamiento, así como también interpretar resultados y lectura de los sensores instalados en el sistema. Este módulo de turbina Pelton es el que se pretende automatizar.

Por otro lado, la tesis presentada por (Góngora Cruz & Rojas Macedo, 2019) describe el diseño e implementación de un módulo de turbina Francis. Detalla la selección de componentes y sensores analógicos necesarios para medir la presión y el caudal del sistema. El control de flujo en el módulo se realiza con una válvula de accionamiento manual que dependiendo del grado de apertura permite el paso de mayor o menor volumen de agua por la tubería. La velocidad de rotación del eje de la turbina se mide con un tacómetro y el torque es determinado mediante un freno Prony que se encuentra instalado en el eje. El módulo implementado ayuda a obtener las curvas características del sistema para distintos puntos de trabajo. Asimismo, junto con el documento de tesis presentado se cuenta con guías de laboratorio para ayudar a entender mejor el manejo del módulo. Este módulo de turbina Francis es el que se pretende automatizar.

Con la finalidad de entender la medición de caudal y visualización de parámetros en un sistema SCADA tenemos la tesis presentada por (Chacca Cuti & Siles Nates, 2012). En este proyecto se implementa un módulo para ayudar en la formación de los ingenieros mecatrónicos esperando incrementar sus habilidades, capacidades y conocimientos. Se describe los diferentes componentes necesarios para utilizar en el sistema destacando entre estos el uso de un PLC S7 1200 con el software TIA Portal Siemens v11, un módulo de entradas y salidas analógicas 1232 y un sensor de caudal (tipo turbina) Fotek KTM 15 Series. El sensor de flujo utilizado brinda una señal analógica en corriente con un valor normalizado entre 4-20 mA lo que permite tener lecturas del flujo en el PLC. El SCADA implementado se realiza empleando el software de TIA Portal para lo cual se selecciona un posible HMI y se implementa los gráficos necesarios. El programa del PLC ha sido realizado en Diagrama Ladder. El sistema cuenta también con control de caudal para esto se selecciona un set point y se verifica la variable del proceso, esto se puede comprobar en el apartado de resultados obteniendo así distintas gráficas.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- Resideñar y Automatizar los módulos de turbina Pelton y Francis del laboratorio de termofluidos de la Universidad Católica de Santa María empleando un PLC S7-1200 y un sistema SCADA para el monitoreo de flujo y presión.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar sensores que permitan monitorear el caudal y presión de los módulos de turbinas Pelton y Francis manteniendo a su vez los instrumentos de presión que ya estaban instalados anteriormente.

- Monitorear los parámetros de los sensores, así como también controlar los actuadores en los módulos de turbina Pelton y Francis empleando para ello un controlador lógico programable S7-1200.
- Diseñar un sistema SCADA empleando para ello el software de Siemens TIA Portal WinCC para tener los parámetros de presión y caudal en los módulos de Turbina Pelton y Francis.
- Mejorar los módulos de turbinas Pelton y Francis minimizando la posibilidad de fallas en las lecturas de los parámetros de caudal y presión al emplear sensores electrónicos.
- Evaluar los resultados que brindan los sensores comparando las distintas curvas de las turbinas Francis y Pelton obtenidas en sus respectivos trabajos de Tesis.
- Entregar los módulos de turbina Pelton y Francis automatizados a la universidad Católica de Santa María de manera que puedan ser empleados en el laboratorio de termofluidos.

## 1.5. Variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

Variables	Tipo de Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Porcentaje de apertura de la válvula proporcional	Independiente	Rango de apertura	Expresado en %	0 a 100%
		Velocidad de apertura	Expresado en %/seg	14% apertura /segundo
Parámetros del sistema	Dependiente	Flujo, Presión y Velocidad de Rotación	Expresado en LPM, Bar y RPM respectivamente	Análisis y determinación de mediciones mediante los sensores instalados en el sistema.

## 1.6. Justificación

### 1.6.1. Justificación Académica

El desarrollo del proyecto aporta a los estudiantes de la Universidad Católica de Santa María la posibilidad de desarrollar nuevas prácticas referidas a la parte de control y automatización. Los estudiantes podrían afianzar y/o aprender nuevos conocimientos acerca del manejo de señales analógicas y su respectivo escalamiento, procedimiento que está detallado en este documento el cual puede servir como referencia. Los instrumentos electrónicos ha emplear en los módulos son de uso industrial y con señales eléctricas normalizadas lo cual da la posibilidad de trabajar con equipos que podrían usarse en la industria.

### 1.6.2. Justificación del Proyecto

La implementación de sensores y/o actuadores se realizará a cada uno de los módulos. Actualmente cada uno de los módulos funcionan de forma independiente, pero la idea de este proyecto de tesis es juntar ambos módulos en uno solo.

Juntar los módulos requiere unir los módulos en una sola estructura metálica con un único tablero eléctrico. La unión de los módulos no indica que estos trabajarán en conjunto, sin embargo, los sensores estarán conectados a un solo controlador lógico programable (PLC) así como un único sistema SCADA. Considerando que al emplear sensores analógicos conectados a un controlador lógico programable se podrá seguir midiendo los datos en los módulos en tiempo real y con mayor exactitud con respecto a los instrumentos actuales. La mayor exactitud de las mediciones eleva el nivel de los módulos y los acerca a equipos industriales cubriendo las necesidades de Ing. Mecánicos, Mecánicos-Eléctricos y Mecatrónicos. Los instrumentos de medición a utilizar, así como la programación y calibración de estos equipos también son un punto de apoyo que justifican el trabajo de dos personas al ser necesario un trabajo bien detallado y con suficientes pruebas que demuestren que los parámetros obtenidos son los adecuados.

## **1.7. Alcances y limitaciones**

### **1.7.1. Alcances**

El alcance del proyecto involucra la automatización de los módulos de turbina Pelton y turbina Francis. Los sensores y actuadores que se emplearán para la automatización de los módulos son del tipo electrónico con salidas y/o entradas analógicas en corriente con valores normalizados entre 4-20 mA o voltaje entre 0-10v. La señal de los sensores se conectará a un PLC que controlará todo el proceso y al mismo tiempo gestionará la información que será enviada a un sistema SCADA para visualizar los datos en la computadora en tiempo real.

Los instrumentos que se tienen instalados actualmente en los módulos no serán reemplazados al realizar la automatización de los mismos, sino que trabajarán en conjunto a los instrumentos electrónicos con la finalidad de contrastar valores.

Se implementará a su vez un tablero eléctrico donde se coloque las protecciones respectivas del sistema, el PLC y sus módulos analógicos. La puesta en marcha del sistema y el arranque de las bombas estará controlada por un PLC S7-1200, para esto el PLC deberá leer la señal de los pulsadores para iniciar o parar el sistema.

Las mediciones de flujo y caudal se realizarán de 3 formas: lectura en el mismo módulo mediante las pantallas digitales con las que cuentan los sensores, en el sistema SCADA adquiriendo los datos de los sensores y mediante los instrumentos ya existentes en el módulo (manómetros de aguja en el caso de presión).

El PLC que se emplea para el desarrollo del proyecto solo cuenta con 2 entradas analógicas en tensión y no satisface la cantidad de instrumentos a utilizar (5 Sensores en total). Debido a la falta de entradas analógicas se opta por un módulo adicional que brinde más entradas analógicas a parte de las 2 con las que ya cuenta el PLC S7-1200. Este módulo SM 1234 de entradas y salidas analógicas a su vez también ayudará con el control respectivo de las válvulas proporcionales.

### **1.7.2. Limitaciones**

La medida del torque producida por las turbinas de los módulos se realizará empleando el freno Prony que actualmente está montado en cada uno de los módulos respectivamente. Dejando la automatización de este para futuros proyectos.

### **1.7.3. Especificaciones**

Los módulos cuentan con los siguientes instrumentos instalados a lo largo del sistema:

- Manómetros (Presión)
- Flujómetros (Caudal)

En el mercado para monitorear la presión de fluidos tenemos transmisores de presión, los cuales tienen salidas analógicas y algunos de ellos incluso tienen una pantalla para visualizar los parámetros en el mismo proceso. Estos sensores permitirán trabajar en conjunto con los manómetros ya instalados en los sistemas para monitorear la presión.

Por otro lado, para monitorear el caudal en las tuberías en el mercado existen diferentes tipos de sensores con sus propias tecnologías. Para la medición del flujo se requiere un transmisor de flujo con una salida analógica en corriente o voltaje.

El control del flujo actualmente en el sistema es de accionamiento manual, el cual es proporcionado de acuerdo a la apertura de una válvula. Con la finalidad de asegurar mejor control con respecto al grado de apertura de la válvula esta sería reemplazada por una electroválvula con una entrada analógica en corriente o voltaje para el control de la misma.

La medición de las RPM en los ejes de las turbinas actualmente se realiza de forma manual empleando para ello un tacómetro. La propuesta que se da para automatizar la medición de las RPM es considerar en el sistema un encoder de tipo incremental que irá conectado al eje de la turbina. Este encoder incremental permitirá mediante los pulsos generados determinar la velocidad a la que rota el eje.

Todas las señales eléctricas necesarias para los actuadores y sensores serán determinadas por el PLC en conjunto con sus módulos para el manejo de señales analógicas.

A continuación, se muestra el diagrama P&ID (Piping and instrumentation Diagram o Diagrama de tuberías e instrumentación) para cada uno de los módulos y en la

**Tabla 2** se presentan los códigos de cada uno de los instrumentos, variables y el tipo de señal para comprender mejor los diagramas P&ID.

**Tabla 2**

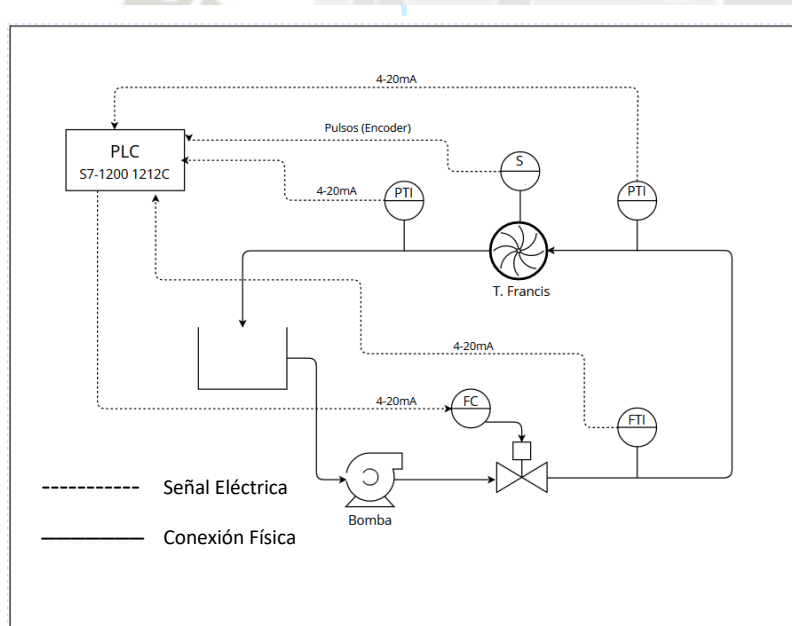
*Código de instrumentos de medición*

Código	Variable	Instrumento	Tipo	Señal	Valor de Señal
S	Velocidad	Medidor de Velocidad (RPM)	Salida	Digital	Pulsos
PTI	Presión	Transmisor indicador de Presión	Salida	Analógica	4-20mA
FC	Flujo	Control de Flujo	Entrada	Analógica	4-20mA
FTI	Flujo	Transmisor indicador de Flujo	Salida	Analógica	4-20mA

En base a la tabla anterior y conociendo los instrumentos posibles en el sistema se muestran las siguientes figuras donde se observa el diagrama P&ID de los módulos de turbina Francis y Pelton.

**Figura 1.1** Diagrama P&ID Turbina Francis

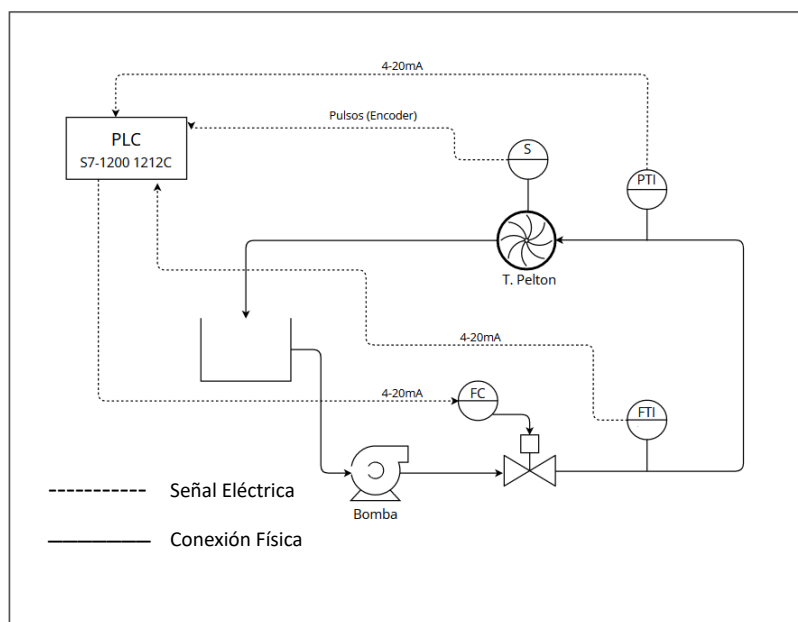
*Diagrama P&ID Turbina Francis*



En la **Figura 1.1** las líneas punteadas hacen referencia a las señales eléctricas y las líneas continuas a la conexión de las tuberías. A lo largo de todo el trayecto de las tuberías se encuentran los instrumentos a instalar como transmisores de presión, transmisores de flujo y un sensor inductivo para medir la velocidad de rotación del eje de la turbina. Las señales eléctricas de los instrumentos y actuadores se conectan hacia el PLC.

**Figura 1.2**

*Diagrama P&ID Turbina Pelton*



El diagrama P&ID de la turbina Pelton mostrado en la **Figura 1.2** es similar al de la turbina Francis en cuanto instrumentos y actuadores se refiere excepto por uno de los transmisores indicadores de presión (PTI) que van conectados a la salida de la turbina Francis y que en la turbina Pelton es inexistente.



# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

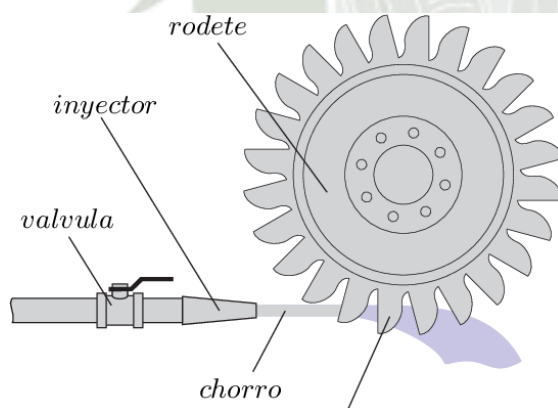
## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Turbina Pelton

A las turbinas Pelton también se les conoce como turbinas de presión y es importante ya que es ampliamente utilizada para producir energía eléctrica explotando grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. En las plantas hidroeléctricas con turbinas Pelton, la energía hidráulica existe como energía potencial. Esta energía potencial es convertida a energía cinética en forma de chorros de alta velocidad conseguidos por los inyectores. Los inyectores realizan dos tareas importantes: primero, son responsables de suministrar chorros a alta velocidad y segundo, los inyectores regulan el flujo que ingresa a la turbina. Las turbinas Pelton han sido categorizadas en base a la orientación del eje de la turbina, teniendo turbinas horizontales y turbinas verticales (Zhang, 2016).

**Figura 2.1** Esquema de funcionamiento de turbina Pelton

*Esquema de funcionamiento de turbina Pelton*



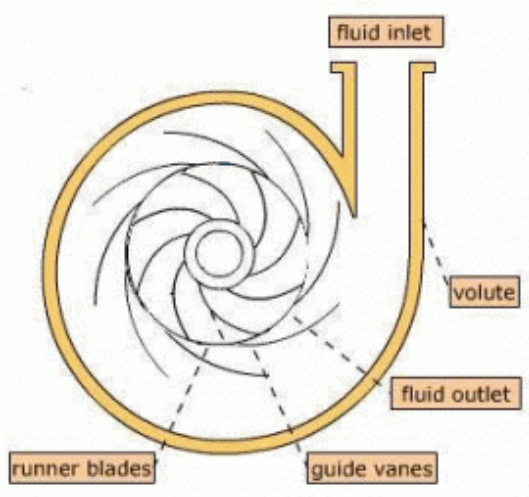
### 2.2. Turbina Francis

La turbina Francis es una turbomáquina a reacción y de flujo mixto que puede ser diseñada para distintos rangos de saltos y caudales. Este tipo de turbina es la más empleada debido a su alta eficiencia y se utiliza para la producción de energía eléctrica. Una turbina Francis es una máquina radial en la que el agua se suministra a una voluta o también llamada carcasa espiral.

La máxima eficiencia obtenida en turbinas Francis es de 93.8% (Itaipu). En una turbina Francis los fenómenos relevantes son la cavitación en la entrada al borde en el lado de succión o presión (Dick, 2022).

### Figura 2.2

*Esquema de turbina Francis*



### 2.3. Controlador Lógico Programable (PLC)

Un PLC o también conocido como controlador lógico programable es una computadora industrial que tiene la capacidad de ser programable para realizar funciones determinadas. Es ampliamente utilizado en la industria ya que permite automatizar y controlar distintos procesos. La aparición de los PLCs ha hecho posible reemplazar la lógica cableada que se empleaba antes reduciendo así el uso de relés en circuitos de control y el tiempo de mantenimiento de diferentes procesos. Inicialmente se creó con la finalidad de reemplazar la lógica cableada, pero hoy en día son distintas las funciones que poseen que ha sido posible adaptarlos a procesos más complejos. Estos dispositivos pueden manejar entradas y salidas tanto digitales como analógicas, también permiten a su vez conexión a sistemas SCADA y poseen varios lenguajes de programación de acuerdo a lo establecido en el estándar IEC 61131-3.

En el mercado encontramos distintos tipos de PLCs y la selección de uno u otro dependerá de los requerimientos del proyecto. Entre los beneficios que ofrece un PLC están: la confiabilidad y flexibilidad que pueden ofrecer para los distintos procesos (Petruzella, 2017).

### Figura 2.3 PLC

*PLC CompactLogix 1769-L24ER*

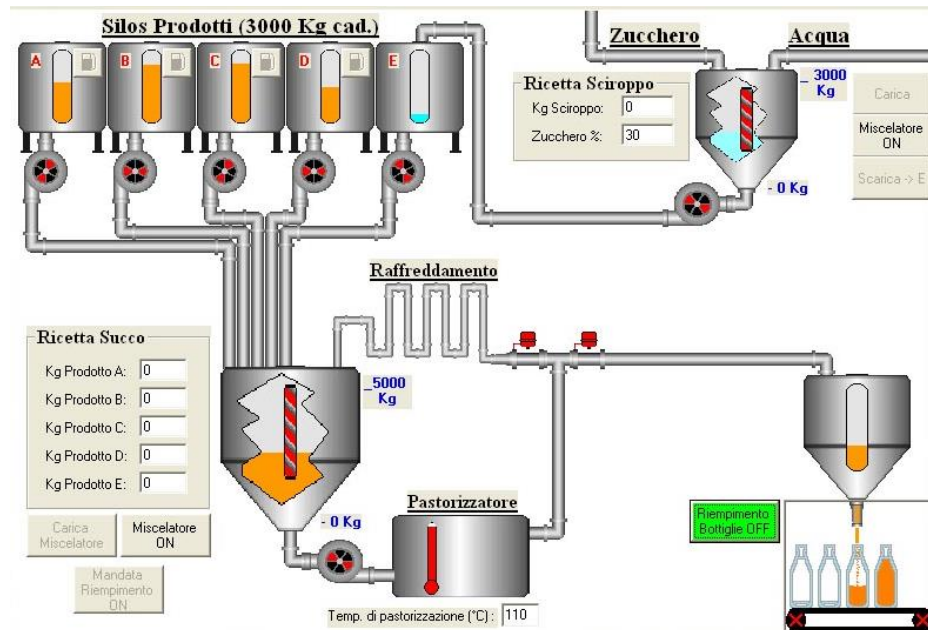


## 2.4. Sistema SCADA

Un sistema SCADA como sus siglas lo indican es un sistema de supervisión y adquisición de datos y es una herramienta de automatización y control industrial que se emplea en los procesos con la finalidad de controlar, supervisar, recopilar datos y generar informes de un determinado proceso. Una parte importante de un sistema SCADA es el manejo de Alarmas con las que se puede indicar a un operador el estado de una variable para su correcto monitoreo o control. Para el correcto funcionamiento de un sistema SCADA es necesario vincular los sensores y actuadores a un controlador o PLC, luego un software SCADA se encarga de generar la interfaz de interacción con el usuario. Un sistema SCADA se ejecuta en una computadora que está directamente conectada con el PLC (Petruzella, 2017).

**Figura 2.4**

*Ejemplo de sistema SCADA*



## 2.5. Señales Analógicas

Cuando se tienen variables que se desean medir que presentan variaciones más allá de un estado encendido o apagado hablamos de señales analógicas. En procesos industriales se tienen valores analógicos normalizados los cuales están entre 0-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA o 0.2-1 bar. La ventaja de trabajar con señales analógicas normalizadas es que diferentes vendedores pueden ofrecer varios equipos que sean compatibles con diferentes módulos o PLCs. Además, se tiene la ventaja de que los instrumentos sean de fácil calibración. Los instrumentos que emplean señales analógicas son convertidos por el PLC empleando un conversor analógico/digital cuya precisión dependerá de la resolución del convertidor ADC (Analog to Digital Converter) del PLC (Kamel & Kamel, 2013).

## 2.6. Electroválvulas

Una electroválvula es un dispositivo capaz de responder a una señal eléctrica con la finalidad de controlar el grado de apertura o cierre de la válvula para permitir el paso de fluidos. Encontramos en el mercado electroválvulas que solo tienen dos estados, es decir, abierto o cerrado, así como también tenemos electroválvulas que responden a una señal eléctrica en corriente o tensión (4-20 mA o 0-10 V) para abrir o cerrar la válvula a un grado determinado. Esta clase de válvulas son utilizadas en varios rubros industriales para controlar el flujo de agua, aire, vapor, aceite, etc.

## 2.7. Transmisor de Presión

Los transmisores de presión o sensores de presión convierten la presión en una señal eléctrica a valores generalmente en corriente que oscilan entre 4-20 mA. Existen varios tipos de transmisores de presión disponibles en el mercado.

## 2.8. Transmisor de Flujo

Un sensor de flujo es un instrumento capaz de medir el flujo de un fluido y tener como salida una señal eléctrica proporcional al flujo. Generalmente los transmisores de flujo tienen una salida en corriente con valores normalizados entre 4-20 mA. Existen varios tipos de transmisores de flujo disponibles en el mercado.

## 2.9. Encoder Incremental

Un encoder incremental genera pulsos por cada movimiento que haga el eje del encoder en base a la resolución del mismo. La función de estos encoders es convertir el movimiento mecánico del giro de su eje en pulsos digitales. Conforme el encoder gira un emisor de luz proyecta un haz que lo recibe un sensor óptico dependiendo de si las ranuras en el disco permiten o no el paso de luz (Narváez, 2019).

La recepción o bloqueo de luz genera los pulsos digitales. Estos encoders generan dos pulsos desfasados entre sí  $90^\circ$ , estas señales se conocen como A y B.

### Figura 2.5

*Ejemplo de encoder incremental*



### 2.10. Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad permiten detectar materiales sin contacto. La presencia de un determinado material u objeto genera una señal eléctrica que puede ser empleada por los controladores lógicos programables (PLCs). En el mercado generalmente se encuentran dos tipos de sensores de proximidad sin contacto: Sensores Inductivos y Sensores capacitivos. Los sensores inductivos permiten la detección de metales, ferrosos y no ferrosos y su principio de funcionamiento se basa en la inducción electromagnética para generar y detectar las corrientes de pérdidas que se generan. Los sensores inductivos se pueden emplear para medir la posición o velocidad. Por otro lado, los sensores capacitivos permiten detectar cualquier material. Su principio de funcionamiento se basa en los cambios de capacitancia eléctrica cuando se acerca un objeto (OMRON, n.d.).

Estos sensores de proximidad suelen ser de dos y 3 hilos (siendo estos los más populares). Por su tipo de salida se pueden clasificar en NPN y PNP. Los sensores del tipo NPN brindan una salida en estado bajo (0) cuando detectan un objeto mientras que el tipo PNP brindan una salida en alto (1) cuando se acerca un objeto.

### **Figura 2.6**

*Sensores de proximidad*



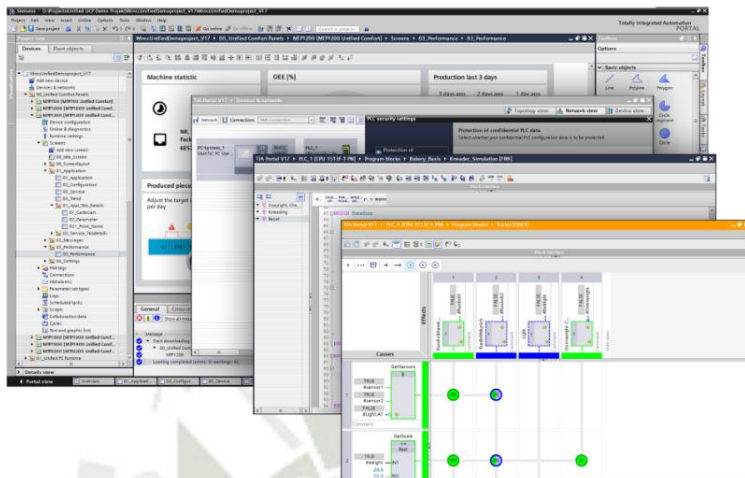
## **2.11. Herramientas computacionales para automatización**

### **2.11.1. TIA Portal**

En muchos procesos de ingeniería la automatización es fundamental para el éxito de un proyecto, TIA Portal es un software de automatización que permite automatizar y accionar rápidamente tareas de forma sencilla. Este software de automatización está enfocado en la digitalización, aplicación y eficiencia, asimismo, esta acompaña desde las etapas de planificación digital hasta la ingeniería integrada y la operación transparente, de modo que se reduzcan tiempos de comercialización y aumente la productividad (SIEMENS, 2022b).

**Figura 2.7**

*Software Totally Integrated Automation Portal*



**Nota de:** (SIEMENS, 2022b)

### 2.11.2. SIMATIC WinCC

Los sistemas SCADA son utilizados para el control y monitoreo de procesos físicos involucrados en la industria y la infraestructura a gran escala, SIMATIC WinCC es un sistema SCADA e interfaz hombre-máquina que trabaja junto con controladores de la empresa SIEMENS para asimismo desempeñar sus funciones de control y monitoreo (SIEMENS, 2022a).

**Figura 2.8**

*Sistema SCADA SIMATIC WinCC*



**Nota de:** (SIEMENS, 2022a)

## **2.12. La automatización en sistemas industriales**

### **2.12.1. La automatización**

La automatización está basada en implementar la tecnología para realizar tareas con muy poca intervención humana o nula. Se puede implementar en cualquier sector en el que se lleven a cabo tareas repetitivas. Sin embargo, es más común en aquellos relacionados con la fabricación, la robótica y los automóviles, así como en el mundo de la tecnología (RED HAT, 2022).

**Figura 2.9**

*Automatización en la industria automotriz*



La automatización industrial supone una herramienta indispensable a la hora de fabricar una cantidad de productos de alta calidad en un tiempo récord, pues su función principal radica en crear máquinas y sistemas tecnológicos capaces de realizar tareas repetitivas y mecánicas que puedan sustituir la intervención humana y aumentar la producción (edsrobotics, 2020).

Algunos beneficios de la automatización son:

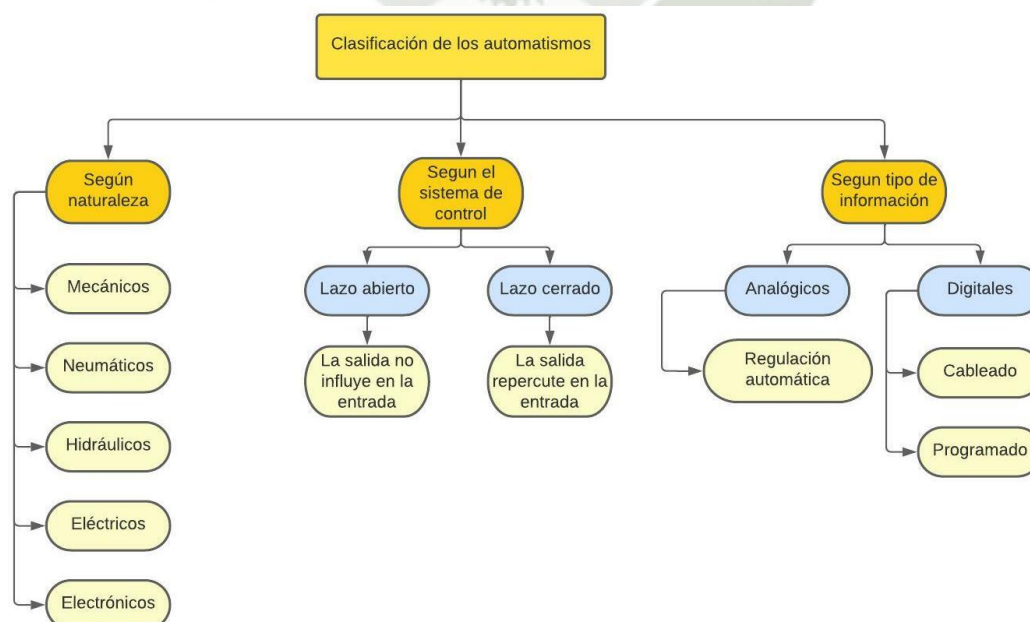
- Reducción de costos
- Aumento de productividad al existir poca o nula intervención humana
- Aumenta la confiabilidad, disponibilidad y rendimiento del sistema
- Mejora la capacidad humano (aumentado precisión y realizando tareas que sobrepasan las capacidades humanas)

### 2.12.2. Clasificación de los automatismos

Los automatismos pueden clasificarse como se muestra en la **Figura 2.10**.

**Figura 2.10** Clasificación de los automatismos

*Clasificación de los automatismos*



### 2.12.3. Características de los automatismos

Las características de los automatismos se muestran en la **Tabla 3**.

**Tabla 3**

*Características de los automatismos*

Criterio	Eléctrico	Neumático	Hidráulico
Fuerza lineal	Mal rendimiento	Máx. 4000 kp	Grandes fuerzas
Fuerza rotativa	Bajo par en reposo	Alto par en reposo, sin consumo	Alto par en reposo, con alto consumo
Movimiento lineal	Complicado y caro	Fácil generación. Difícil regulación	Fácil generación. Buena regulación
Movimiento rotativo	Buen rendimiento	Mal rendimiento	Buen rendimiento. Bajas revoluciones
Regulabilidad	Grandes limitaciones	Fácil regulación fuerza y velocidad	Fácil regulación incluso a velocidad lenta
Acumulación y transporte de energía	Muy fácil transporte Difícil acumulación	Fácil transporte Acumulación limitada	Muy limitado transporte y acumulación
Influencias ambientales	Insensible temperatura Peligro en ambientes explosivos	Insensible temperatura No peligro ambientes explosivos	Sensible temperatura Posibles fugas
Coste	Bajo coste energético	Alto coste energético	Alto coste energético
Manejo	Por personal técnico	Personal no calificado	Personal técnico por las altas presiones
Sobrecargas	No admite sobrecarga	Admite sobrecargas	Admite sobrecargas

**Fuente:** Adaptación propia en base a Automatismos eléctricos industriales

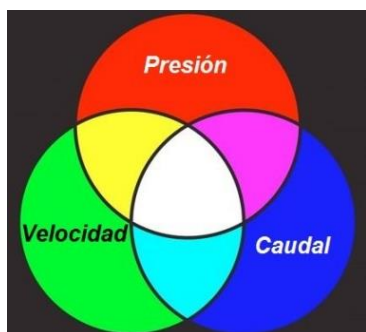
## 2.13. Variables físicas involucradas en el proceso

### 2.13.1. Caudal y presión en sistemas hidráulicos

Para conseguir una circulación de un fluido por una tubería, es necesaria la existencia de un caudal. Al producirse este movimiento del agua a través de una tubería, se origina un nuevo fenómeno denominado velocidad de circulación.

**Figura 2.11**

*Variables en la hidrodinámica dependientes entre sí*



**Nota de:** Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2022.

Las magnitudes físicas presentes en cualquier sistema hidráulico son las mostradas en la Tabla 4.

**Tabla 4** *Magnitudes físicas de los sistemas hidráulicos*

*Magnitudes físicas de los sistemas hidráulicos*

Magnitudes físicas	Descripción	Unidades
Caudal	Volumen de sustancia trasladado por unidad de tiempo.	m <sup>3</sup> /s, pie <sup>3</sup> /s
Presión	Es la presión termodinámica dependiente de la dirección considerada alrededor de un punto.	Pa, atm, mmHg, mmH <sub>2</sub> O, psi
Altura o carga piezométrica	Si en un tubo por el que circula agua a presión se aplican a las paredes tubos piezométricos verticales, el agua se eleva en cada uno de ellos a una altura piezométrica en metros igual a Presión/Peso específico de fluido.	m, pie, pulgada
Altura cinética	Se denomina a la expresión $V^2/2g$ ; siendo V la velocidad de circulación del agua en metros por segundo y g la aceleración de la gravedad.	m, pie, pulgada
Altura geométrica	Designada por la letra Z, es la altura en metros del punto considerado en el agua sobre un plano de comparación.	m, pie, pulgada
Pérdida de carga	Son esfuerzos tangenciales que influyen notablemente en los caracteres del movimiento debido a la viscosidad de los fluidos.	m, pie, pulgada

**Fuente:** Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2022.

#### 2.14. Estándar IEC 61131-3

Hoy en día aún siguen siendo usados los sistemas de control específicos del fabricante, con programación dependiente y conexión compleja entre distintos sistemas de control. Esto significa costos elevados, para el usuario, así como escasa flexibilidad y falta de normalización en las soluciones al control industrial (IEC 61131-3, 2013).

El estándar internacional IEC 61131 es una colección completa de estándares referentes a controladores lógicos programables y sus periféricos asociados, específicamente IEC 61131-3 es la tercera parte de un total de 8 partes del estándar internacional IEC 61131 para Controladores Lógicos Programables “PLC”, publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional (AUTRACEN, 2022).

Esta tercera parte del estándar significa el primer esfuerzo real para estandarizar los lenguajes de programación usados en la automatización industrial, asimismo contando con su soporte mundial, es independiente de una sola compañía (IEC 61131-3, 2013)

Los lenguajes de programación mencionados en el estándar IEC 61131-3 se dividen en 2 tipos: lenguajes de programación gráficos y lenguajes de programación textuales. En los lenguajes de programación gráficos se tienen:

- Lenguaje de contactos o también llamado Ladder
- Diagrama de bloques
- Grafcet (Gráfico)

Mientras que en los lenguajes de programación textuales se tiene:

- Lista de instrucciones
- Texto estructurado
- Grafcet (Textual)

Para cada uno de los lenguajes de programación nombrados en el estándar se detalla la forma y variables que deben tener cada instrucción en su lenguaje respectivo. Indicando así en el caso del diagrama Ladder que este está compuesto por un riel de energía izquierdo (positivo) y un riel de energía (negativo). Además, indica que existe una división con respecto al lazo izquierdo del diagrama Ladder, el cual hace referencia a todas las instrucciones de entrada y denomina Computing y el lado derecho donde se ubican todas las instrucciones de salida denominado Saving (John & Tiegelkamp, 2010).

Todos los lenguajes de programación descritos en el estándar se basan en POU (Unidades de organización de programa), los cuales son unidades básicas y fundamentales con las que debe contar un lenguaje de programación. Los POU se pueden dividir en 3 y son: Programa principal, funciones y bloque de funciones. Son en estas unidades sobre las que se soportan el resto de instrucciones que se implementan de forma más específica para un determinado lenguaje de programación (John & Tiegelkamp, 2010).

El estándar IEC 61131-3 también detalla los tipos de variables que se deben emplear tales como: int, bool, real, etc. Además, sugiere que cada una de las instrucciones físicas del PLC puedan ser reemplazadas por un tag o etiqueta que represente dicha dirección con la finalidad de facilitar la programación y hacerla más entendible.

El estándar no es un modelo obligatorio para los softwares de los PLCs sin embargo sirven como un punto de partida para establecer una única forma de implementar un software de manera que exista portabilidad, es decir, poder pasar de un software a otro.

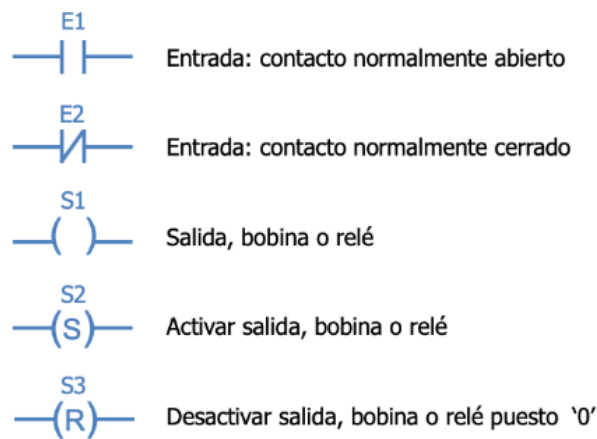
#### **2.14.1. Lenguaje de programación LADDER**

Uno de los muchos lenguajes de programación en la automatización es LADDER, este es un lenguaje gráfico muy popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos.

Este lenguaje es derivado del lenguaje de relés donde mediante símbolos se representa contactos, bobinas, etc. de modo que su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según el estándar IEC y son empleados por todos los fabricantes (UNLP, 2020).

**Figura 2.12**

*Simbología básica de LADDER*

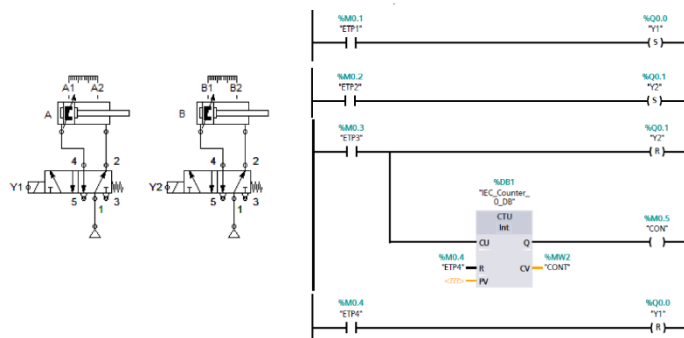


**Nota de:** Extraído de Instrumentación y comunicaciones industriales (UNLP, 2020)

Con este tipo de diagramas se describe normalmente la operación eléctrica de distintos tipos de máquinas, y puede utilizarse para sintetizar un sistema de control y, con las herramientas de software adecuadas, realizar la programación del PLC (UNLP, 2020).

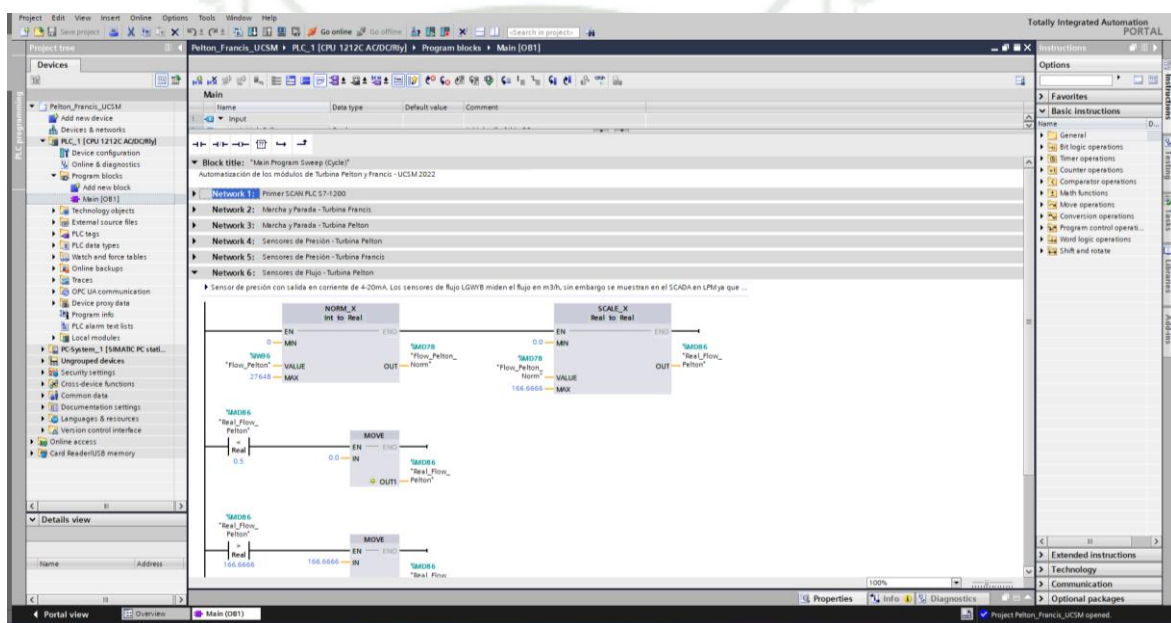
**Figura 2.13**

*Ejemplo de Programación LADDER en sistema neumático*



En el lenguaje de programación LADDER, los contactos son los elementos a evaluar para decidir si activar o no las salidas en determinado "escalón", estas son variables lógicas o binarias que pueden tomar solo el estado de 1 o 0, estos mismos provienen de entradas al PLC, asimismo estas variables se representan por contactos, que justamente pueden estar en el estado de abierto o cerrado (UNLP, 2020).

**Figura 2.14** lenguaje LADDER en software de automatización





### 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

#### 3.1. Estado Anterior de los Módulos

Con la finalidad de comparar al finalizar el proyecto las ventajas y mejoras implementadas en el proyecto se presenta este apartado para conocer el funcionamiento y equipos que tienen los módulos de turbinas Francis y Pelton antes de realizar la automatización de los mismos.

##### 3.1.1. Turbina Francis

**Figura 3.1** Módulo de turbina Francis anterior

*Módulo de turbina Francis anterior*



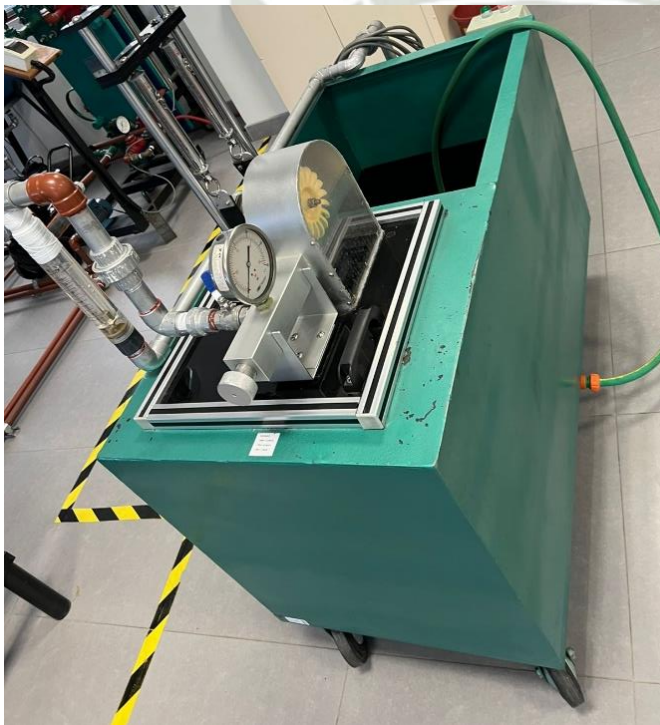
En la Figura 3.1 se observa el módulo de turbina Francis el cual contaba con un tablero eléctrico con un interruptor termomagnético y un contactor para el arranque directo de la electrobomba. Al mismo tiempo para el accionamiento del sistema se tenían 3 pulsadores de Start, Stop y Pulsador de Emergencia colocados en una botonera y cableado directamente al tablero eléctrico.

El circuito de control del módulo simplemente se hacía mediante lógica cableada sin incluir ningún controlador lógico programable. Los diferentes instrumentos con los que contaba el módulo no eran del tipo electrónico y requería que el usuario del módulo verifique las lecturas de los instrumentos directamente en el módulo.

### 3.1.2. Turbina Pelton

**Figura 3.2** Módulo de

*Módulo de turbina Pelton anterior*



El módulo de turbina Pelton no contaba con un tablero eléctrico, sin embargo, el contactor estaba colocado en una botonera que tenía dos pulsadores, uno de Start y otro de Stop. El circuito de control no emplea ningún PLC y se realiza mediante lógica cableada para enclavar la bobina del contactor para el arranque directo de la electrobomba.

Todos los instrumentos empleados en este módulo requieren de una directa visualización en el proceso. El control de flujo se realiza mediante la válvula de entrada permitiendo así pasar mayor o menor cantidad de agua para accionar la turbina.

Las fuerzas en los módulos se realizarán mediante el freno Prony en el caso de ambas turbinas ya que esto no se automatiza en el presente proyecto.

### 3.2. Selección de Componentes

Para automatizar los módulos de turbina Pelton y Francis es necesario seleccionar los componentes que se emplearán en el proyecto, es decir, sensores, actuadores, controladores, etc. El funcionamiento de las turbinas Pelton y Francis es similar con la única diferencia que la turbina Francis tiene un instrumento de presión adicional.

Los parámetros están dados por los siguientes equipos que estaban previamente instalados en los módulos:

#### **Turbina Francis**

- Válvula manual para el control de flujo x1
- Rotámetro con máxima medida de 130 LPM x1
- Manómetro de 0 a 2 bar x2
- Freno Prony x1

#### **Turbina Pelton**

- Válvula manual para el control de flujo x1
- Rotámetro con máxima medida de 70 LPM x1
- Manómetro de 0 a 2 bar x2
- Freno Prony x1

Uno de los parámetros importantes para determinar las curvas características de los sistemas es las revoluciones por minutos del eje asociado a cada una de las turbinas. Para realizar esta medición se emplea una cinta reflectiva y un tacómetro láser.

En base a los equipos previamente mencionados notamos que los sistemas requieren medir las siguientes variables: Flujo, RPM y Presión.

### 3.2.1. Sensores

Uno de los objetivos del proyecto es llevar las mediciones realizadas por los sensores a un sistema SCADA por lo que considerar sensores que solo realicen las medidas en el proceso sin una señal de salida sería un error. Dentro de la gama de sensores que se tienen disponible en el mercado podemos escoger sensores con salida en voltaje, corriente, ethernet, RS485, etc.

Los sensores que se escogen para el proyecto son con salida en corriente de 4 a 20 mA los mismos que requerirán un módulo para el PLC de forma que se pueda trabajar con esta clase de señal.

Una de las ventajas que supone el trabajar con señales en corriente es que no existe una pérdida a lo largo del cable a diferencia de la señal en voltaje.

#### 3.2.1.1. Flujómetro o Caudalímetro

Para la medición de caudal en los módulos se empleará un flujómetro electrónico. El caudal en el sistema se mostrará en la pantalla del instrumento y su salida en corriente permitirá usar un controlador lógico programable (PLC) para el sistema SCADA.

Para seleccionar el instrumento más adecuado para el proceso es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- Salida en corriente de 4 a 20 mA.
- El rango de medición del rotámetro escogido para la turbina Pelton en el proyecto anterior fue de 10 a 70 LPM.

- El rango de medición del rotámetro escogido para la turbina Francis en el proyecto anterior fue de 10 a 130 LPM.
- El diámetro de las tuberías instaladas en ambos sistemas es de 1 pulgada.

En base a los requerimientos previamente descritos encontramos en el mercado distintas tecnologías que pueden ser aplicadas para la medición de flujo teniendo entre estas: Flujómetros magnéticos, de turbina, de presión diferencial, de Coriolis, etc.

Se opta por escoger un flujómetro de tipo turbina ya que estos son los más empleados en los distintos procesos industriales. Al interior de un flujómetro de tipo turbina se tiene una turbina cuyas hélices giran debido al paso de agua siendo la velocidad de rotación de la hélice proporcional al caudal que atraviesa al instrumento.

Entre sus ventajas tenemos que son de coste reducido, alta precisión y repetibilidad, posibilidad de instalación en tubería horizontal y vertical y además posibilidad de diseño para diferentes tipos de conexión. Pese a las ventajas que presenta el uso de flujómetro de tipo turbina se tiene que tener cuidado especial al momento de la instalación ya que para asegurar un correcto funcionamiento se requieren tramos rectos a la entrada y salida del sensor. Esta distancia a la entrada y salida está dada por el fabricante. Es importante cuidar de que el fluido que atraviesa el sensor no contenga partículas que pueda dañar la hélice de la turbina.

El sensor escogido para ambas turbinas es el modelo LWGB el cual trabaja con una tensión de 24 voltios DC y tiene salida en corriente entre 4 y 20 mA. Este sensor se conoce como un transmisor indicador de flujo (FIT de acuerdo a las normas ISA).

Las características de este transmisor se presentan a continuación:

- **Rango de medición:** 1 a 10 m<sup>3</sup>/h o 16.7 a 166.7 LPM.

- **Rango de Temperatura:** -20 a 120 °C.
- **Diámetro de entrada y salida:** 1 Pulgada.
- **Voltaje de operación:** 24 VDC.
- **Señal de salida:** Corriente de 4 a 20 mA.
- Permite medir el caudal de fluidos como: agua pura, agua de refrigeración, agua caliente, aceite vegetal, alcohol, cerveza, metanol, diésel, gasolina, etc.
- Incluye una pantalla que muestra el flujo instantáneo en m<sup>3</sup>/h.

En cuanto el rango de medición del sensor se puede decir que este cubre las necesidades de los mínimos y máximos valores de caudal que podían medir los rotámetros ya instalados en el módulo. La única variación se presenta en el valor mínimo de medida del sensor ya que este garantiza las lecturas a partir de 16.7 LPM y no 10 LPM como en los módulos anteriores, esto se debe a que el tipo de sensor escogido para un diámetro de tubería de 1'' presenta ese rango de medición. A menos diámetro de tubería menor es el rango de medición de caudal y viceversa.

**Figura 3.3** Transmisor indicador de flujo LWGB 25mm

*Transmisor indicador de flujo LWGB 25mm*



El flujómetro mostrado en la *Figura 3.3* ([Ver Anexo](#)) se emplea tanto en la turbina Pelton como en la turbina Francis y se instalan luego de la válvula que controla el flujo (válvula de accionamiento manual y válvula proporcional).

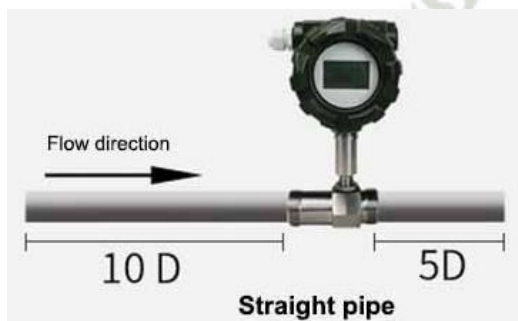
En cuanto a las características principales del sensor de acuerdo a los datos del fabricante se tiene:

- **Alcance:** 9 LPM.
- **Exactitud:**  $\pm 1\%$  o  $\pm 0.5\%$  del alcance del instrumento.
- **Precisión:**  $\pm 0.05\%$  a  $\pm 0.2\%$ .
- **Sensibilidad:**  $\pm 0.98$  mA/m<sup>3</sup>/h

El fabricante recomienda tener en cuenta las distancias mostradas en la *Figura 3.4* al momento de montar el flujómetro en la tubería. Las medidas del flujómetro están garantizadas para una medición de flujo mayor a 1 m<sup>3</sup>/h, los flujos menores a este no están garantizados pese a que el sensor también muestra valores para un rango de medición menor a 1. El flujo no puede exceder el rango máximo de medida y el flujo tampoco puede chocar violentamente con las hélices de la turbina ya que podría dañarlas o romperlas.

**Figura 3.4** Distancias al montar el flujómetro LWGB

*Distancias al montar el flujómetro LWGB*



**Nota de:** Fabricante

### 3.2.1.2. Manómetro

Para la medición del salto de las turbinas Pelton y Francis se emplea un manómetro electrónico cuya señal de salida es de 4 a 20 mA. Este transmisor indicador de presión es de la marca SOWAKAM y el modelo es SWK-PC300 ([Ver Anexo](#)). Este transmisor nos brinda una medida de presión y de forma indirecta se calculará la altura. A continuación, se detallan las características del transmisor de presión elegido para el proyecto:

- **Rango de medida:** 0 a 4 bar.
- **Rango de temperatura:** -40 a 60°C.
- **Precisión:**  $\pm 0.5\%$  del total de la escala.
- **Sensibilidad:**  $\pm 1$  mA/bar
- **Señal de salida:** Corriente de 4 a 20 mA.
- **Protección IP:** IP65.
- Permite medir la presión en fluidos como agua, gas y aceite.
- **Conexión:**  $\frac{3}{4}$ " NPT.

**Figura 3.5** Transmisor indicador de Presión SWK-PC300

*Transmisor indicador de Presión SWK-PC300*



**Nota de:** Fabricante

### 3.2.1.3. Encoder

Montar un encoder en el sistema implica acoplar el eje del encoder al eje de la turbina. Uno de los problemas que se puede presentar durante la instalación es el alineamiento de ambos ejes para evitar daños a los equipos.

En el mercado se tienen disponibles varios encoders y de distintas marcas, sin embargo, la elección de uno sobre otro depende de los Pulsos por revolución (P/R), tipo de encoder (absoluto o incremental), Salida NPN o PNP y rotación máxima permisible.

A continuación, se detalla los requerimientos:

- Al revisar los datos obtenidos en las tesis anteriores observamos que la máxima velocidad medida fue de 2136 RPM. Se considera un factor de seguridad de 1.2 para la selección del equipo teniendo así que cubrir una velocidad máxima de 2563 RPM aproximadamente.
- El tipo de salida ya sea NPN o PNP es indiferente en este proyecto, sin embargo, la conexión de los pulsadores o entradas digitales al sistema se verán afectados por esta elección y es algo que se debe tener en cuenta al realizar la instalación.
- Se requiere un encoder de tipo incremental ya que solo deseamos determinar la cantidad de pulsos que existen al dar una vuelta ya que al contrario del incremental el encoder absoluto nos brinda también la posibilidad de determinar la posición del eje al encender el sistema y eso no es requerido en este proyecto.
- Los pulsos por revolución van de la mano con las velocidades que se esperan medir en el sistema teniendo en cuenta que a un valor menor de P/R será ideal para medir grandes velocidades ya que no se requerirá una precisión mayor y los incrementos pueden ser grandes entre una medida y otra. Por otro lado, un valor de P/R grande permite tener mayor precisión que puede ser mejor aprovechada si se desean medir

RPM pequeñas ya que los cambios entre una medida y otra tienen una precisión mayor. En este proyecto se opta por escoger 400 P/R.

El encoder incremental escogido es de la marca Omron E6B2-CWZ6C ([Ver Anexo](#)) y a continuación, se detallan sus características:

- **Tipo de encoder:** Incremental.
- **Resolución del encoder:** 400 P/R (Pulsos por revolución), hace referencia a la cantidad de pulsos que se generan cuando el eje del encoder completa una vuelta
- **Salida:** 3 canales digitales A, B y Z.
- **Tipo de salida:** NPN.
- **Alimentación:** 24 VDC.
- **Consumo de corriente:** 80 mA aproximadamente.
- **Máxima rotación permisible:** 6000 RPM.
- **Grado de protección:** IP50.

**Figura 3.6** Incremental Omron E6B2-CWZ6C

*Encoder Incremental Omron E6B2-CWZ6C*



#### 3.2.1.4. Sensor Inductivo

Se contempla el uso de un sensor inductivo en el caso de que el montaje del encoder no sea posible debido al alineamiento del encoder con los ejes de las turbinas. Si bien es cierto el sensor inductivo permite la detección de metales a una distancia corta que varía entre 0.5 y 50 mm dependiendo del modelo se pueden emplear para determinar las RPM mediante el uso de algún objeto metálico acoplado a los ejes de las turbinas. Al detectar el objeto metálico se genera un pulso y conociendo la cantidad de pulsos que se pueden generar por revolución se procede a determinar las RPM. Ya que se ha considerado encoders de tipo NPN entonces es necesario seleccionar también un sensor inductivo de tipo NPN que funciona a una tensión de 24 VDC.

En el mercado se tienen disponibles varios sensores inductivos NPN, pero de acuerdo a las mediciones realizadas respecto a la ubicación de los ejes de las turbinas y posible ubicación de montaje del sensor se determina que la distancia óptima de detección sería por encima de los 8mm.

Se opta por escoger el sensor inductivo PR18-8DN de 3 hilos ([Ver Anexo](#)) debido a la distancia de detección y longitud del sensor. Las características de este sensor inductivo se presentan a continuación:

- **Alimentación:** 24 VDC.
- **Tipo de salida:** Digital NPN.
- **Distancia de detección:** 8 mm, hace referencia a la distancia entre la cara de sensor y una pieza metálica ferrosa.
- **Grado de protección IP:** IP67.
- **Consumo de corriente:** 10 mA.
- **Frecuencia de respuesta:** 350 Hz.

**Figura 3.7**

*Sensor inductivo PR18-8DN*



**Nota de:** Fabricante

### 3.2.2. Actuadores

El único actuador eléctrico que se ha seleccionado para el proyecto es la válvula proporcional. Esta válvula permite el control de flujo, cuando se tiende a cerrar la válvula se reduce la cantidad de flujo en el sistema y viceversa.

#### 3.2.2.1. Válvula Proporcional

La válvula proporcional como su mismo nombre lo indica permite el cierre o apertura de forma gradual proporcional a la cantidad de corriente o tensión que se le suministra por su cable de control. Ya que todos los equipos que se han seleccionado hasta el momento trabajan con una tensión de 24 VDC en la medida de lo posible se debe seleccionar una válvula proporcional que trabaje a dicha tensión. Además, el tipo de conexión debe ser NPT y de 1 pulgada a fin de evitar el uso de reducciones o acoples.

Las características de la válvula escogida se presentan a continuación:

- **Corriente de control:** 4 a 20 mA.
- **Alimentación:** 9 a 24 VDC.
- **Consumo de corriente:** 500 mA.
- **Rotación del actuador:** 90°.

- **Temperatura Media:** 2 a 90 °C.
- **Tiempo de apertura / cierre:** 7 segundos.
- **Presión máxima de funcionamiento:** 1 MPa.

**Figura 3.8**

*Válvula proporcional*



**Nota de:** Fabricante

La válvula proporcional escogida se utiliza en ambas turbinas para el control de flujo respectivo siempre y cuando el sistema trabaje en forma automática ya que de lo contrario el control de flujo se puede realizar también de forma manual empleando para ello las válvulas ya instaladas en las tuberías.

### **3.2.3. Controlador Lógico Programable (PLC) y Módulos**

Con la finalidad de dimensionar los componentes que se emplearán para la parte de control, así como la selección de equipos para el tablero es necesario partir de los diagramas presentados en la Figura 1.1 y

En *la Figura 1.1* las líneas punteadas hacen referencia a las señales eléctricas y las líneas continuas a la conexión de las tuberías. A lo largo de todo el trayecto de las tuberías se encuentran los instrumentos a instalar como transmisores de presión, transmisores de flujo y un sensor inductivo para medir la velocidad de rotación del eje de la turbina. Las señales eléctricas de los instrumentos y actuadores se conectan hacia el **PLC**.

**Figura 1.2.** De estos diagramas podemos ver los distintos equipos que se emplean para el proyecto y así poder asignar a cada uno de estos un código dentro de todo el proceso pudiendo así obtener la siguiente tabla:

**Tabla 5** *Códigos Flow sheet*

*Códigos Flow sheet*

CÓDIGO	LÍNEA	MÁQUINA	DESCRIPCIÓN #1
167-005	167	005	Depósito de agua
167-010	167	010	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)
167-015	167	015	Válvula proporcional #1 (T. Francis)
167-020	167	020	Turbina Francis
167-025	167	025	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)
167-030	167	030	Válvula proporcional #2 (T. Pelton)
167-035	167	035	Turbina Pelton

En la Tabla 5 tenemos la descripción de cada uno de los componentes del módulo y a estos se les ha asignado un código para poder identificarlos dentro del sistema. En base a esta tabla podemos crear nuestra base datos y así conocer cuantas entradas o salidas se requieren, así como también el tipo de señal para cada una de estas variables.

**Figura 3.9**

*Base de datos del proyecto*

CODIGO SEÑAL	ISA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN #1	DESCRIPCION #3	GABINETE	TIPO SEÑAL	DI	DO	AI	AO
<b>PROYECTO: MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS</b>							8	4	5	2
		<b>167-005</b>	<b>Depósito de agua</b>							
		<b>167-010</b>	<b>Motor #1 Electrobomba (T. Francis)</b>							
XS1_167-010	XS1	167-010	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Pulsador Start	TE-PTT	Discreta 24Vdc	1			
XS2_167-010	XS2	167-010	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Pulsador Stop	TE-PTT	Discreta 24Vdc	1			
HS1_167-010	HS1	167-010	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Comando Contactor	TE-PTT	Discreta 220Vac		1		
XI_167-010	XI	167-010	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Dentro Contactor K1	TE-PTT	Discreta 24Vdc	1			
HS2_167-010	HS2	167-010	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Comando Lámpara #1	TE-PTT	Discreta 220Vac		1		
HS3_167-010	HS3	167-010	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Comando Lámpara #2	TE-PTT	Discreta 220Vac		1		
		<b>167-015</b>	<b>Válvula proporcional #1 (T. Francis)</b>							
FCV_167-015	FCV	167-015	Válvula proporcional #1 (T. Francis)	Control de flujo		4...20mA				1
FIT_167-015	FIT	167-015	Válvula proporcional #1 (T. Francis)	Transmisor indicador de flujo		4...20mA			1	
		<b>167-020</b>	<b>Turbina Francis</b>							
PIT1_167-020	PIT1	167-020	Turbina Francis	Transmisor indicador de presión #1		4...20mA			1	
PIT2_167-020	PIT2	167-020	Turbina Francis	Transmisor indicador de presión #2 (Altura)		4...20mA			1	
SE_167-020	SE	167-020	Turbina Francis	Sensor de velocidad, frecuencia		Discreta 24Vdc	1			
		<b>167-025</b>	<b>Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)</b>							
XS1_167-025	XS1	167-025	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)	Pulsador Start	TE-PTT	Discreta 24Vdc	1			
XS2_167-025	XS2	167-025	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)	Pulsador Stop	TE-PTT	Discreta 24Vdc	1			
HS_167-025	HS	167-025	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)	Comando Contactor	TE-PTT	Discreta 220Vac		1		
XI_167-025	XI	167-025	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)	Dentro Contactor K2	TE-PTT	Discreta 24Vdc	1			
		<b>167-030</b>	<b>Válvula proporcional #2 (T. Pelton)</b>							
FCV_167-030	FCV	167-030	Válvula proporcional #2 (T. Pelton)	Control de flujo		4...20mA				1
FIT_167-030	FIT	167-030	Válvula proporcional #2 (T. Pelton)	Transmisor indicador de flujo		4...20mA			1	
		<b>167-035</b>	<b>Turbina Pelton</b>							
PIT_167-035	PIT	167-035	Turbina Pelton	Transmisor indicador de presión		0...10Vdc			1	
SE_167-035	SE	167-035	Turbina Pelton	Sensor de velocidad, frecuencia		Discreta 24Vdc	1			

La Figura 3.9 presenta la base de datos del proyecto en el que tenemos todas las variables que empleará el controlador lógico programable para el desarrollo del proyecto. Las variables están mostradas en la columna descripción #3 y están directamente asociados a cada uno de los equipos que ya se habían presentado en la Tabla 5 y se observan en la columna descripción #1. Para cada una de las variables se ha asignado un código respectivo de acuerdo a las normas ISA y así mismo también un tipo de señal (discreta, analógica en corriente, voltaje, etc.). De acuerdo al tipo de señal se puede determinar la cantidad de entradas y salidas que se requieren para la parte de control. En el lado derecho de la tabla se muestra DI (Entradas digitales), DO (Salidas digitales), AI (Entradas analógicas) y AO (Salidas analógicas). Cada una de estas siglas tiene asociado un valor mostrando la cantidad de entradas o salidas respectiva teniendo así 8 DI, 4 DO, 5 AI y 2 AO.

En base a la cantidad de entradas y salidas seleccionamos el PLC y los módulos que se requieren para satisfacer dicha cantidad. Dentro de la gama de PLCs que tiene la marca Siemens seleccionamos el controlador lógico programable SIMATIC S7-1200 teniendo disponibles todos los PLCs mostrados a continuación:

**Figura 3.10**

*PLCs SIMATIC S7-1200*

SIMATIC S7-1200 unidades centrales CPU's		
100286425	6ES7211-1BE40-0XB0	CPU 1211C AC/DC/RLY, 6 DI/4 DO/2 AI, 0-10 VDC. Alimentación: AC 85 - 264 VAC BEI 47 - 63 HZ, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286426	6ES7211-1AE40-0XB0	CPU 1211C DC/DC/DC, 6 DI/4 DO/2 AI, 0-10 VDC. Alimentación: DC 20,4 - 28,8 VDC, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286427	6ES7211-1HE40-0XB0	CPU 1211C DC/DC/RLY, 6 DI/4 DO/2 AI, 0-10 VDC. Alimentación: DC 20,4 - 28,8 VDC, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286428	6ES7212-1BE40-0XB0	CPU 1212C AC/DC/RLY, 8 DI/6 DO/2 AI, 0-10 VDC. Alimentación: AC 85 - 264 VAC BEI 47 - 63 HZ, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286429	6ES7212-1AE40-0XB0	CPU 1212C DC/DC/DC, 8 DI/6 DO/2 AI, 0-10 VDC. Alimentación: DC 20,4 - 28,8 VDC, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286430	6ES7212-1HE40-0XB0	CPU 1212C DC/DC/RLY, 8 DI/6 DO/2 AI, 0-10 VDC. Alimentación: DC 20,4 - 28,8 VDC, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286431	6ES7214-1BG40-0XB0	CPU 1214C AC/DC/RLY, 14 DI/10 DO/2 AI, 0-10 VDC. Alimentación: AC 85 - 264 VAC BEI 47 - 63 HZ, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286432	6ES7214-1AG40-0XB0	CPU 1214C DC/DC/DC, 14 DI/10 DO/2 AI, 0-10 VDC. Alimentación: DC 20,4 - 28,8 VDC, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286435	6ES7214-1HG40-0XB0	CPU 1214C DC/DC/RLY, 14 DI/10 DO/2 AI, 0-10 VDC. Alimentación: DC 20,4 - 28,8 VDC, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286436	6ES7215-1BG40-0XB0	CPU 1215C-2PN AC/DC/RLY, 14 DI/10 DO/2 AI, 0-10 VDC/2 AO, 0-20mA DC. Alimentación: AC 85 - 264 VAC BEI 47 - 63 HZ, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286437	6ES7215-1AG40-0XB0	CPU 1215C-2PN DC/DC/DC, 14 DI/10 DO/2 AI, 0-10 VDC/2 AO, 0-20mA DC. Alimentación: DC 20,4 - 28,8 VDC, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286438	6ES7215-1HG40-0XB0	CPU 1215C-2PN DC/DC/RLY, 14 DI/10 DO/2 AI, 0-10 VDC/2 AO, 0-20mA DC. Alimentación: DC 20,4 - 28,8 VDC, conexión Ethernet Industrial RJ45.
100286439	6ES7217-1AG40-0XB0	CPU 1217C-2PN DC/DC/DC, 14 DI (10 DI 24 VDC, 4 DI 1.5 VDC) /10 DO (6 DO 24 VDC, 4 DO 1.5 VDC) /2 AI, 0-10 VDC/2 AO, 0-20mA DC. Alimentación: DC 20,4 - 28,8 VDC, conexión Ethernet Industrial RJ45.

**Nota de:** Catálogo de productos Siemens

De la tabla mostrada anteriormente notamos que tenemos 3 opciones posibles para la selección del PLC siendo este el CPU 1212C y con sus respectivas variaciones AC/DC/RLY, DC/DC/DC y DC/DC/RLY. Esta CPU 1212C cuenta con 8 DI, 6 DO y 2 AI. Se opta por escoger el PLC 1212C AC/DC/RLY ([Ver Anexo](#)) con la finalidad de tener una alimentación

en alterna directamente de la red sin emplear ninguna fuente DC, además se escoge las salidas en relé para evitar usar relés aparte para protección.

El PLC escogido es de tipo AC/DC/RLY, código que podemos separar en tres partes siendo estas:

- **AC:** Referencia al tipo de alimentación el cual en el caso de la AC es una tensión de entrada entre 85 y 264 voltios en alterna.
- **DC:** Referente al tipo de entrada digital del PLC, en este caso DC para una entrada en 24 VDC.
- **RLY (Relay):** Referente al tipo de salida digital del PLC. Al ser de tipo relé admite tanto señales de tensión AC como DC, pero al estar compuesto de dos bloques la salida solo se puede escoger un tipo para cada bloque igual o diferente.

**Figura 3.11** PLC SIMATIC S7-1200 AC/DC/RLY

*PLC S7-1200 1212C AC/DC/RLY*



El PLC por sí solo no es suficiente para manejar todas las entradas y salidas que requiere el proyecto por lo que quedan pendientes 3 AI y 2 AO. Revisando el catálogo de los productos Siemens encontramos que existe un módulo que tiene tanto entradas como salidas analógicas

que pueden ser configurables en voltaje o corriente. Este módulo es el SM 1234 ([Ver Anexo](#)) y se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.12**

*Módulo SM 1234*



- **Resolución:** 13 bits para AI / 14 bits para AO.
- **Voltaje de alimentación:** 24 VDC.
- **Cantidad de I/O:** 4 AI / 2 AO  $\pm 10V$  o 0(4)  $-20mA$ .

Este módulo se conecta con facilidad al PLC empleando para ello el puerto de expansión que tiene el PLC en el lado derecho.

**Tabla 6**

*Selección de PLCs y Módulos*

Ítem	Código	Descripción	Cant.	DI	DO	AI	AO
1	6ES7212-1BE40-0XB0	CPU 1212C AC/DC/RLY, 8DI/6 DO/ 2 AI, 0-10 VDC	1	8	6	2	0
2	6ES7234-4HE32-0XB0	SM 1234, 4 AI / 2 AO, $\pm 10V$ o 0-20mA	1	0	0	4	2
<b>TOTAL</b>				8	6	6	2

En la Tabla 6 se muestran los equipos de control seleccionados para el manejo de entradas y salidas tanto digitales como analógicas.

### 3.2.4. Selección de Equipos para tablero eléctrico

La selección de los equipos principales para el tablero eléctrico involucra las protecciones necesarias para las electrobombas tales como guardamotores, dispositivos de arranque como contactores e interruptores termomagnéticos para la protección de cada uno de los circuitos que tiene el tablero y fuentes de alimentación.

Para dimensionar estos equipos se ha registrado en una tabla los valores de corriente que consumen aproximadamente los dispositivos en el proyecto. Tanto para la etapa de potencia y control se han agregado valores de corriente para determinar los contactores, guardamotores e interruptores termomagnéticos.

**Tabla 7** *Corrientes aproximadas en los equipos del proyecto*

N	EQUIPO	Etiqueta	Potencia [HP]	Potencia [W]	Tensión [V]	Factor de Potencia	Tipo de Carga	CÁLCULOS ELÉCTRICOS				
								I Nominal [A]	Corriente Conductor	Calibre Cable [AWG]	Corriente Interruptor	Corriente Contactor
				745.7				F.S. =	1.27		1.2	1.3
0	Interruptor General	Q1						23.90 A	30.35 A	12 AWG	30.35 A	
1	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	M1	1.5 HP	1118.55 W	220 V	0.86	AC3	13.00 A	16.51 A	14 AWG	15.60 A	16.90 A
2	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)	M2	1.0 HP	745.70 W	220 V	0.86	AC3	5.70 A	7.24 A	14 AWG	6.84 A	7.41 A
3	Interruptor PLC 1212C	Q2						0.60 A	0.76 A	16 AWG	0.72 A	
4	Interruptor PLC 1212C DO	Q3						0.60 A	0.762	16 AWG	0.72 A	
5	Interruptor Fuente 24VDC	Q4						4.00 A	5.08	16 AWG	4.80 A	

#### 3.2.4.1. Guardamotores

Es necesario conocer la corriente de cada una de las electrobombas siendo estas medidas con una pinza amperimétrica y obteniendo así 13 A para la electrobomba de la turbina Francis y 5.7 A en la electrobomba de la turbina Pelton.

Se aplica un factor de seguridad de 1.2 para cada una de las corrientes de operación de las bombas teniendo valores de 15.6 y 6.84 Amperios para las electrobombas de la turbina Francis y Pelton respectivamente.

Los guardamotores escogidos son de la marca Chint y su rango de protección abarca cada una de las corrientes con las que operan las bombas siendo estos rangos:

- De 13 a 18 Amperios para la electrobomba de 1.5 HP perteneciente a la turbina Francis.
- De 6 a 10 Amperios para la electrobomba de 1 HP perteneciente a la turbina Pelton.

### Figura 3.13

*Guardamotor Chint 6-10 A*



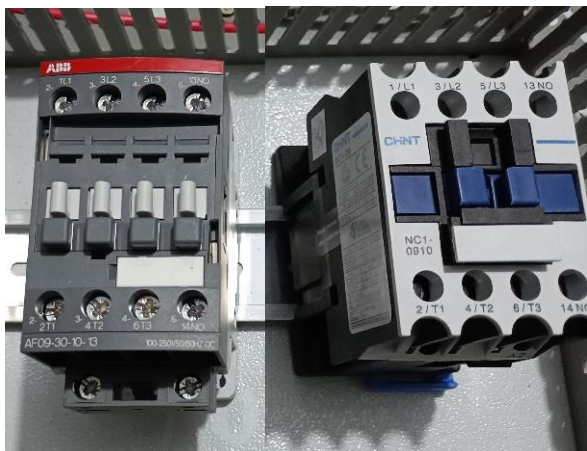
#### 3.2.4.2. Contactores

De la misma forma en base a la corriente de operación de las electrobombas se dimensionan los contactores aplicando un factor de seguridad de 1.3.

Del módulo anterior se ha reutilizado el contactor de la turbina Francis, el cual es de la marca ABB y se ha dimensionado solamente el contactor para la turbina Pelton en base a una corriente de 7.41 Amperios. Se ha optado por un contactor de 9 Amperios de la marca Chint. Los contactores que se emplean en el proyecto se muestran en la siguiente figura:

**Figura 3.14**

*Contactores empleados en el proyecto*



### 3.2.4.3. Fuente de 24 VDC

Los instrumentos previamente seleccionados requieren una alimentación de 24 VDC, la elección de una fuente u otra depende de la potencia de esta y por ende la cantidad de corriente que es capaz de suministrar. Se hace una lista con los instrumentos y el consumo aproximado de corriente aplicando un factor de seguridad de 1.5 obteniendo los resultados mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 8**

*Consumo de corriente de los instrumentos*

Instrumentos	I (A)	Cant.	1.5	
			FS	I Total (A)
Transmisor Indicador de Presión	0.2	3	0.3	0.9
Transmisor Indicador de Flujo	0.2	2	0.3	0.6
Válvula proporcional	0.5	2	0.75	1.5
Sensor Inductivo	0.01	2	0.015	0.03
Encoder	0.08	2	0.12	0.24
<b>TOTAL</b>				<b>3.27</b>

De acuerdo a la cantidad de sensores y actuadores que se utilizan en el proyecto se escoge una fuente de 24 VDC a 4 Amperios pese a solo necesitar alrededor de 3 Amperios al momento de realizar la suma de corrientes de cada dispositivo. En el mercado existen muchas fuentes de alimentación con estas características, sin embargo, se opta por una fuente de la marca Mean Well en lugar de una Siemens por un tema de costo, sin embargo, la calidad de la fuente de tensión no se ve reducida ya que la marca Mean well produce varias fuentes de tensión y también es competitiva en ese mercado. La fuente de alimentación seleccionada es Mean Well MDR-100-24.

**Figura 3.15** Fuente de alimentación MDR-100-24

*Fuente de alimentación MDR-100-24*



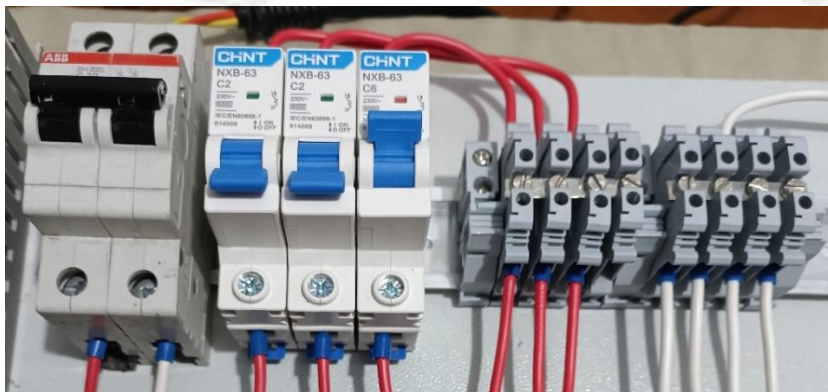
#### 3.2.4.4. Interruptores termomagnéticos

Finalmente, se debe dimensionar los interruptores de protección del tablero, circuito y derivados empleando para ello interruptores termomagnéticos.

En base a la corriente del interruptor se emplea en este proyecto 4 interruptores termomagnéticos de 32 A para la alimentación general, 2 A para el energizar el PLC, 2 A para energizar las bobinas de los contactores y lámparas indicadoras y 6 A para energizar la fuente de 24 VDC.

### Figura 3.16

*Termomagnéticos seleccionados para el proyecto*



### 3.3. Rediseño de la Estructura

Para el rediseño y automatización de los módulos es necesario considerar lo siguiente:

- Los módulos deben de trabajar de forma independiente pudiendo así energizar uno u otra cuando se requiera.
- Ambos módulos deben de poder ser controlados desde el mismo sistema SCADA.
- Los depósitos de agua de cada uno de los módulos deben también ser independientes.
- A fin de reducir costos se emplearán los componentes que aún se encuentren en buen estado al momento de desarmar los módulos.
- Los medidores de caudal (rotámetros) instalados en los módulos serán reemplazados por los flujómetros electrónicos escogidos.
- Ambos módulos se unirán en uno solo para emplear solamente un PLC.

- Los módulos deben poder trabajar tanto de forma manual como automática por lo que se deben de considerar todavía las llaves de accionamiento manual para el control de flujo en caso no se disponga del sistema SCADA o no se desee emplearlo.
- La ubicación de las turbinas en el nuevo módulo debe permitir la visualización de todos los equipos instalados en el módulo y no impedir el acceso a los ejes de las turbinas para emplear un tacómetro láser para determinar las RPM en caso sea necesario.
- La posición del tablero eléctrico debe permitir el fácil acceso a los dispositivos de protección, pulsadores y las rutas más cortas para el cableado de cada uno de los sensores y/o actuadores.

### **3.4. Conexión de sensores y actuadores**

Los sensores y actuadores adquiridos trabajan con una tensión de 24 VDC. En el caso de los sensores, estos entregan una corriente normalizada entre 4 y 20 mA que puede ser leída por el PLC y así escalar el valor respectivo dependiendo del sensor para tener el parámetro que se está midiendo. Por otro lado, los actuadores como las válvulas proporcionales requieren una señal entre 4 y 20 mA siendo la corriente directamente proporcional a la apertura de la válvula. A continuación, se detalla la conexión de este tipo de sensores y actuadores al PLC.

#### **3.4.1. Sensores con salida analógica en corriente 4-20mA**

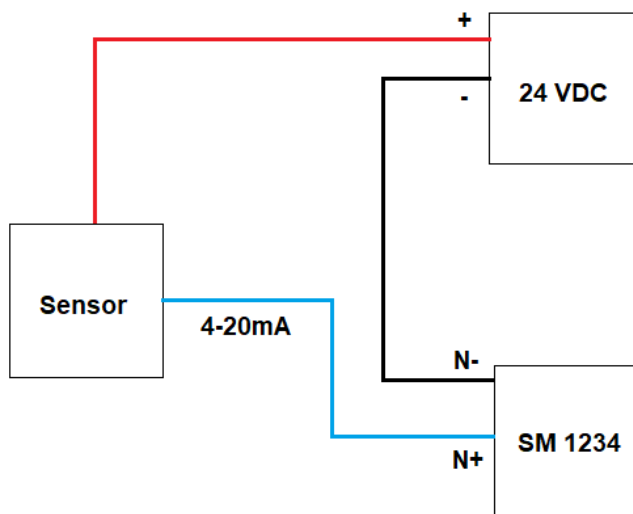
El proceso cuenta con 5 sensores de este tipo:

- 3 sensores de presión de 0 a 4 bares
- 2 sensores de flujo de 1 a 10 m<sup>3</sup>/h

Los sensores son solamente de dos hilos y se conectan de acuerdo a la *Figura 3.17*.

**Figura 3.17**

*Conexión de sensor con salida en corriente al módulo SM 1234*



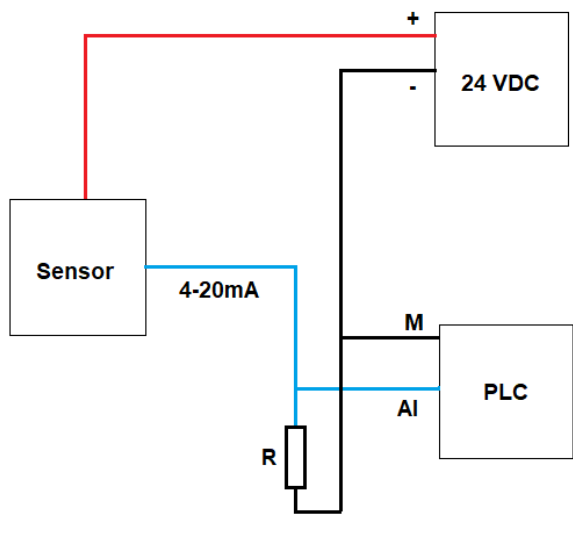
En la **Figura 3.17** notamos que uno de los cables del sensor va conectado directamente a la fuente de 24 VDC y el otro cable está conectado a una entrada analógica del módulo SM 1234 (definido por un número y el símbolo +). Finalmente se debe cerrar el circuito y para ello se debe conectar un cable del módulo SM 1234 (definido por un número y el símbolo -) al negativo de la fuente de 24 VDC.

Se está empleando en este proyecto un módulo de entradas y salidas analógicas SM 1234. De acuerdo a los datos del fabricante este módulo permite 4 entradas analógicas en corriente y en voltaje, la configuración de un modo u otro se realiza vía software. Solo es posible emplear la conexión mostrada en la **Figura 3.17** para 4 sensores de los 5 que se emplean en el proyecto ya que el módulo no dispone de más entradas analógicas.

El PLC S7-1200 1212C AC/DC/Relay cuenta con 2 entradas analógicas, pero solo en voltaje de 0 a 10 voltios por lo que se debe acondicionar la salida en corriente de uno de los sensores para trabajar en voltaje. En base a esto se escoge uno de los sensores de presión de la turbina Francis y se modifica la salida en corriente a un valor en tensión empleando una resistencia tal y como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.18**

*Cambio de salida en corriente a tensión*



La **Figura 3.18** a diferencia de la **Figura 3.17** emplea una resistencia en la cual se genera un voltaje debido al paso de corriente a través de esta. El valor de la resistencia a emplear está en función del voltaje que se desea generar en los bornes de la resistencia. Si la tensión que acepta el PLC en su entrada analógica está entre 0 y 10 voltios entonces se tiene:

$$V = R * I \quad (1)$$

$$V_{max} = 10 V \text{ a } 20mA \quad (2)$$

$$10V = R * (0.02 A) \quad (3)$$

$$R = 500 \text{ ohms} \quad (4)$$

De acuerdo al cálculo realizado se requiere una resistencia de 500 ohms. Notamos que cuando la corriente asuma un valor mínimo de 4 mA no tendremos un voltaje de 0 voltios sino será de 2 voltios por lo que podemos decir que la tensión fluctúa entre 2 y 10 voltios para la entrada analógica en voltaje conectada al PLC.

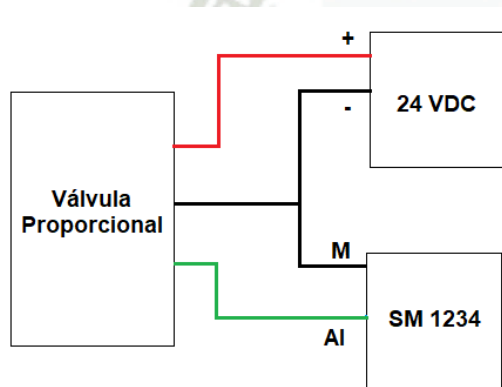
### 3.4.2. Actuadores con entrada analógica en corriente 4-20mA

Los únicos actuadores que cumplen con esta característica de entrada analógica en corriente de 4-20mA son las válvulas proporcionales que se tienen en el proceso para el control del flujo en función del porcentaje de apertura de la válvula.

De la válvula proporcional solamente se van a utilizar 3 cables: 1 cable rojo para la alimentación positiva de 24 VDC, 1 cable negro para negativo de fuente 0 VDC y un cable verde para entregar la señal de control de 4 a 20 mA. La conexión de la válvula proporcional al módulo SM 1234 se muestra en la **Figura 3.19**.

**Figura 3.19** Conexión de válvula proporcional al módulo SM 1234

*Conexión de válvula proporcional al módulo SM 1234*



Donde una señal de 4mA representa a una válvula completamente cerrada (apertura 0%) y una señal de 20mA representa una válvula completamente abierta (apertura 100%). El módulo SM 1234 cuenta con dos salidas analógicas, las cuales pueden ser configuradas tanto en tensión de 0 a 10 voltios o en corriente. Esta configuración de un modo u otro se realiza vía software.

### 3.5. Diseño y Ensamble de Tablero Eléctrico

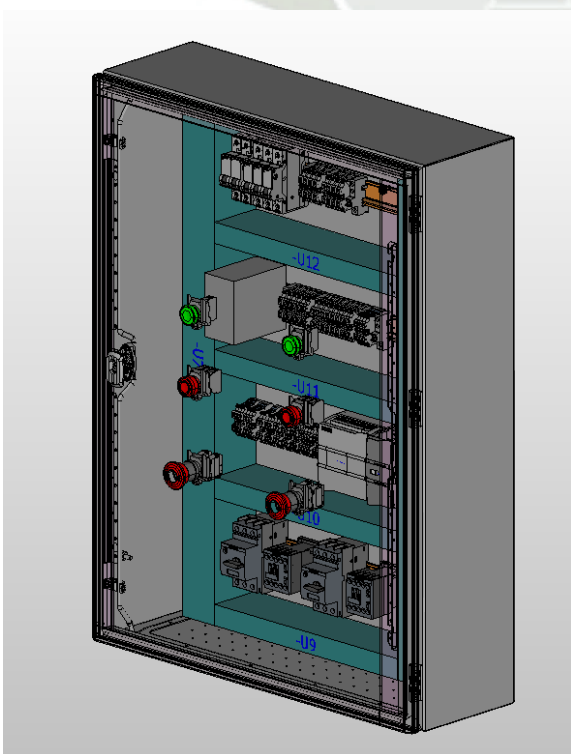
El diseño del tablero eléctrico es importante y este va de la mano con los esquemas de conexión de cada uno de los componentes involucrados en el proyecto.

Con la finalidad de hacer el diseño y dimensionar el tablero eléctrico se emplea el software EPLAN Pro Panel v8. En este software se diseñan los planos de conexión y se agregan los artículos correspondientes a cada uno de los componentes para su respectiva visualización 3D al momento de crear el tablero. Los planos de conexión realizados son 11 en total y describen a detalle las conexiones que existen en los componentes del tablero, así como también aquellos dispositivos que van instalados en el módulo. Se pueden revisar estos planos en el apartado anexos.

En la **Figura 3.20** se muestra el tablero eléctrico en una vista isométrica. Notamos que en la puerta del tablero se cuenta con 6 pulsadores. Los 3 pulsadores del lado izquierdo corresponden a la turbina Francis y los 3 del lado derecho corresponden a la turbina Pelton. Cada una de las turbinas tiene su pulsador de Start (Color Verde), pulsador Stop (color rojo) y un pulsador tipo hongo para la parada de emergencia en caso sea necesario.

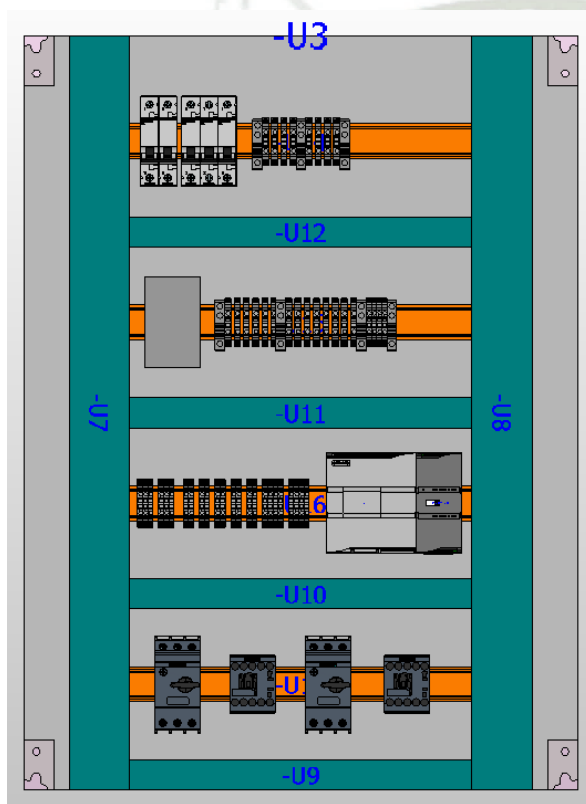
**Figura 3.20** Tablero Eléctrico del módulo

*Tablero Eléctrico del módulo*



La distribución de los componentes en la placa de montaje del tablero eléctrico se muestra en la **Figura 3.21**. Se ha optado por dividir el tablero eléctrico en 4 sectores: distribución de 220 VAC, distribución de 24 VDC, control e instrumentación y potencia (arranque de bombas). Estos sectores están dados por filas y corresponde a cada uno de los rieles DIN que se muestran en la siguiente figura.

**Figura 3.21** Placa de montaje del tablero eléctrico



En la primera fila se cuenta con interruptores termomagnéticos para hacer la distribución de 220 VAC empleando borneras. Estas borneras están unidas mediante un puente para facilitar la conexión. Se ha utilizado soportes finales para mantener fijas las borneras y crear separación entre la fase y neutro.

En la segunda fila se coloca la fuente de 24 VDC, así como borneras para la distribución de 24 voltios. Al final se agregan también 4 borneras para la conexión de los pulsadores de Start y Stop de cada una de las turbinas.

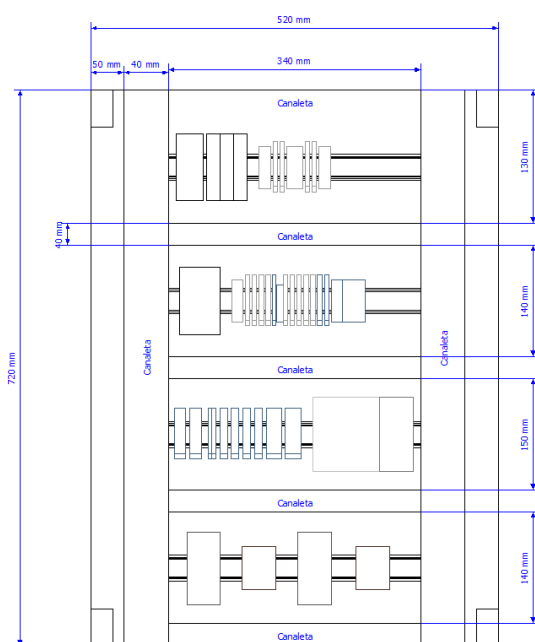
En la tercera fila se agregan borneras para conectar cada uno de los sensores y actuadores del sistema. Cada una de estas señales van cableadas a las entradas y salidas del PLC S7-1200 y al módulo SM 1234.

Finalmente, en la última fila se colocan los guardamotores y contactores para el arranque de las electrobombas correspondientes a la turbina Francis y Pelton. La selección de los guardamotores y contactores se realiza en base a la corriente nominal de los motores de las electrobombas.

El tamaño del gabinete es de 600 x 800 mm y la placa de montaje tiene 520 x 720 mm. Asimismo, las canaletas empleadas para el tablero son de 40 x 60 mm y la distribución de los rieles y canaletas se realiza en base a la **Figura 3.22**.

**Figura 3.22** Distribución de canaletas y rieles DIN en placa de montaje

*Distribución de canaletas y rieles DIN en placa de montaje*

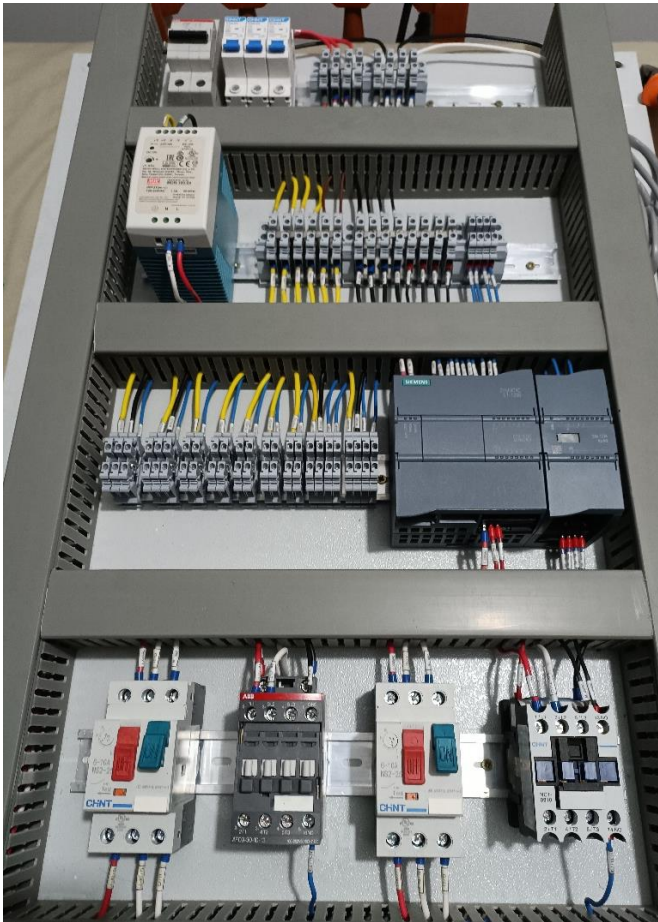


El armado del tablero se ha realizado en base a las medidas mostradas en la **Figura 3.22** respetando así la distribución. Se han empleado varios colores para los conductores con la finalidad de identificar con facilidad la función que cumple un conductor dentro del tablero. El calibre de los conductores escogidos, color y descripción se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 9**  
*Calibre y color de conductores en el tablero eléctrico*

Calibre	Color	Descripción
12 AWG	Rojo	Fase (Línea) 220 VAC a la entrada del tablero
12 AWG	Blanco	Neutro 220 VAC a la entrada del tablero
14 AWG	Rojo	Fase (Línea) 220 VAC – Distribución 220 VAC
14 AWG	Blanco	Neutro 220 VAC – Distribución 220 VAC
14 AWG	Amarillo	24 VDC (Positivo de fuente de 24 VDC) – Alimentación de sensores y actuadores
14 AWG	Negro	0 VDC (Negativo de fuente de 24 VDC) – Alimentación de sensores y actuadores
16 AWG	Marrón	24 VDC (Positivo de fuente de 24 VDC) – Alimentación de SM 1234 y común de entradas digitales PLC
16 AWG	Negro	0 VDC (Negativo de fuente de 24 VDC) – Alimentación y común (M) de SM 1234
16 AWG	Azul	Señales de entrada digital, entrada analógica y salida analógica del PLC

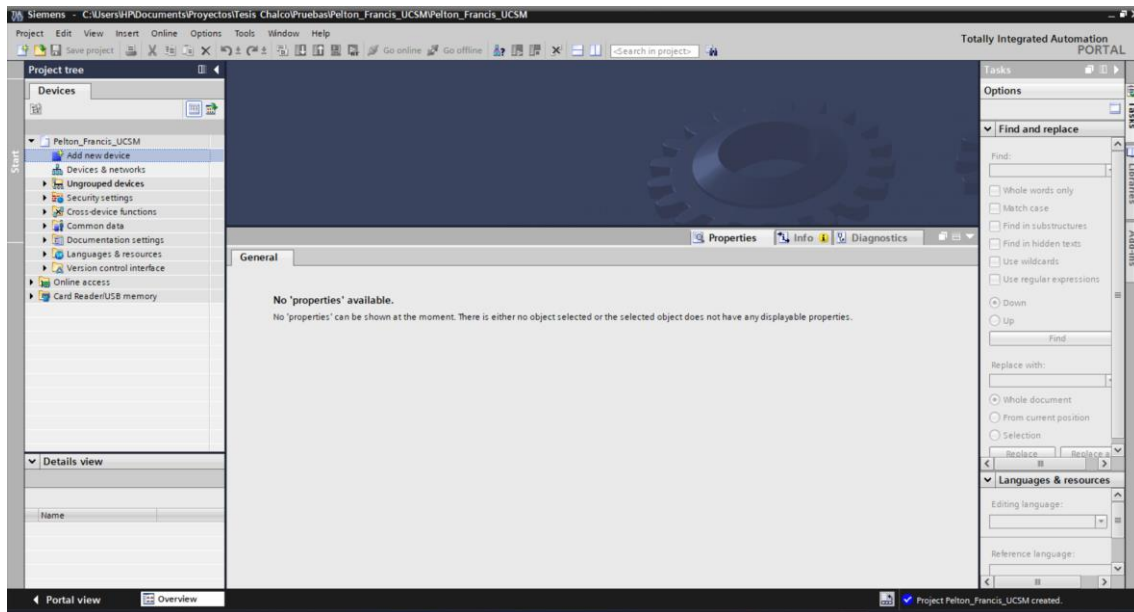
Los conductores empleados mostrados en la Tabla 9 mantienen su calibre y color a lo largo de todo el tablero eléctrico a excepción de la alimentación de las lámparas indicadoras de los pulsadores de la turbina Francis las cuales trabajan con una tensión de 220 VAC.

**Figura 3.23***Placa de montaje cableada*

La **Figura 3.23** muestra la placa de montaje con todos los componentes colocados y el cableado respectivo. Para poder probar el tablero y verificar su funcionamiento de acuerdo a los alcances del proyecto es necesario implementar el programa en el PLC.

### **3.6. Agregar PLC y módulos a proyecto en TIA Portal**

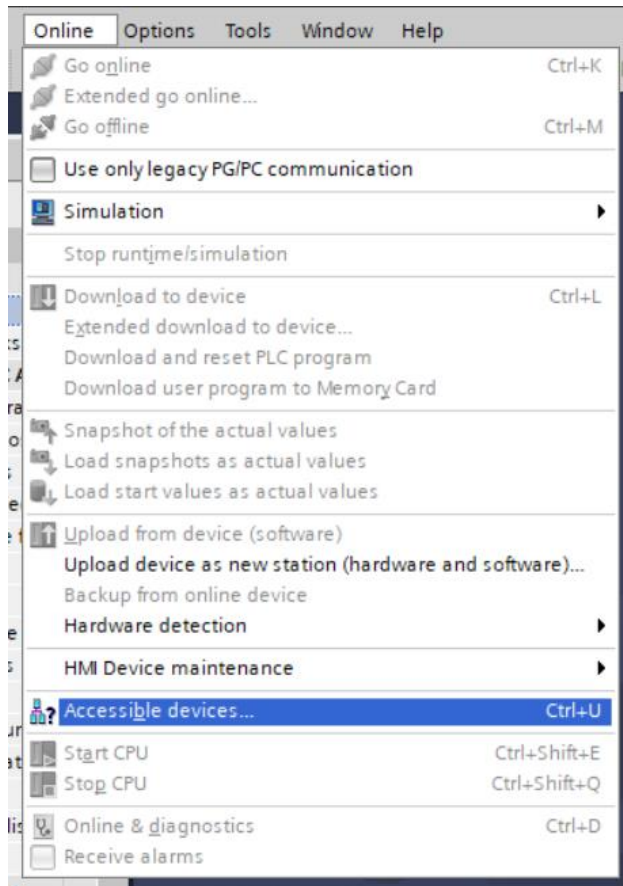
Para realizar la programación y automatización del módulo se empleará el software TIA Portal v17.0. El desarrollo de un proyecto en TIA Portal implica crear una carpeta con el nombre del proyecto, asimismo notamos también que existen diferentes carpetas que se generan dentro del proyecto para el manejo de tags, la rutina principal, etc. En la Figura 3.24 observamos la pantalla de TIA Portal tras crear un nuevo proyecto.

**Figura 3.24***Nuevo Proyecto Creado en TIA Portal*

El PLC empleado es un S7-1200 1212C ADC/DC/RLY que debe ser agregado de forma que pueda ser reconocido por el software. Para hacer esto es necesario conocer la información de nuestro dispositivo. TIA Portal permite acceder a la información de los dispositivos que se encuentren en línea (conectado a la PC) y para hacerlo es necesario ir a la opción Online (en las opciones de la parte superior del software) y luego hacer click en Accessible Devices o usar el shortcut Ctrl+U tal como se muestra en la Figura 3.25.

**Figura 3.25**

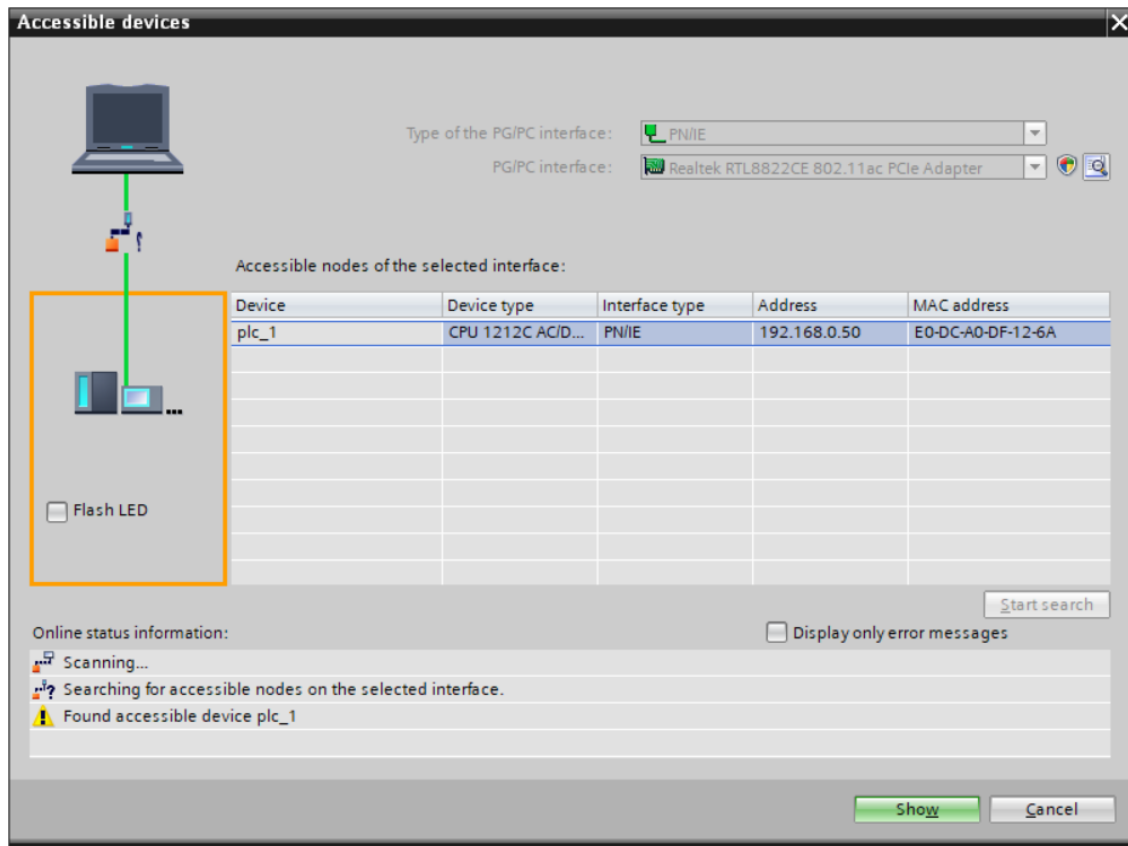
*Acceder a dispositivos disponibles*



Esto abrirá una ventana en la que podemos buscar todos los dispositivos que estén conectados a la red. Seleccionamos nuestro PLC y le damos click a mostrar para ver la información del PLC.

**Figura 3.26**

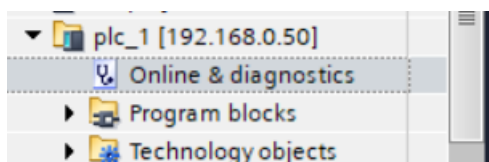
*Seleccionar PLC para mostrar la información*



El PLC conectado a la red se mostrará en el lado izquierdo debajo de la opción Online Access, con el nombre y dirección IP que tiene el dispositivo tal como se muestra en la Figura 3.27.

**Figura 3.27**

*PLC agregado a acceso online*

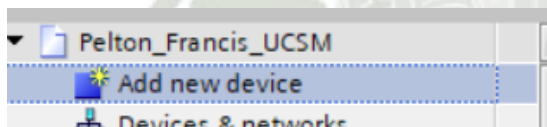


Hacemos doble click en Online & diagnostics para observar la información del PLC, esta información es necesaria para poder agregar el CPU del PLC a nuestro proyecto para implementar nuestra lógica Ladder.

**Figura 3.28***Información del PLC*

Module	
Short designation:	CPU 1212C AC/DC/Rly
Article number:	6ES7 212-1BE40-0XB0
Hardware:	11
Firmware:	V 4.4.1
Version of the TIA Portal project:	V17

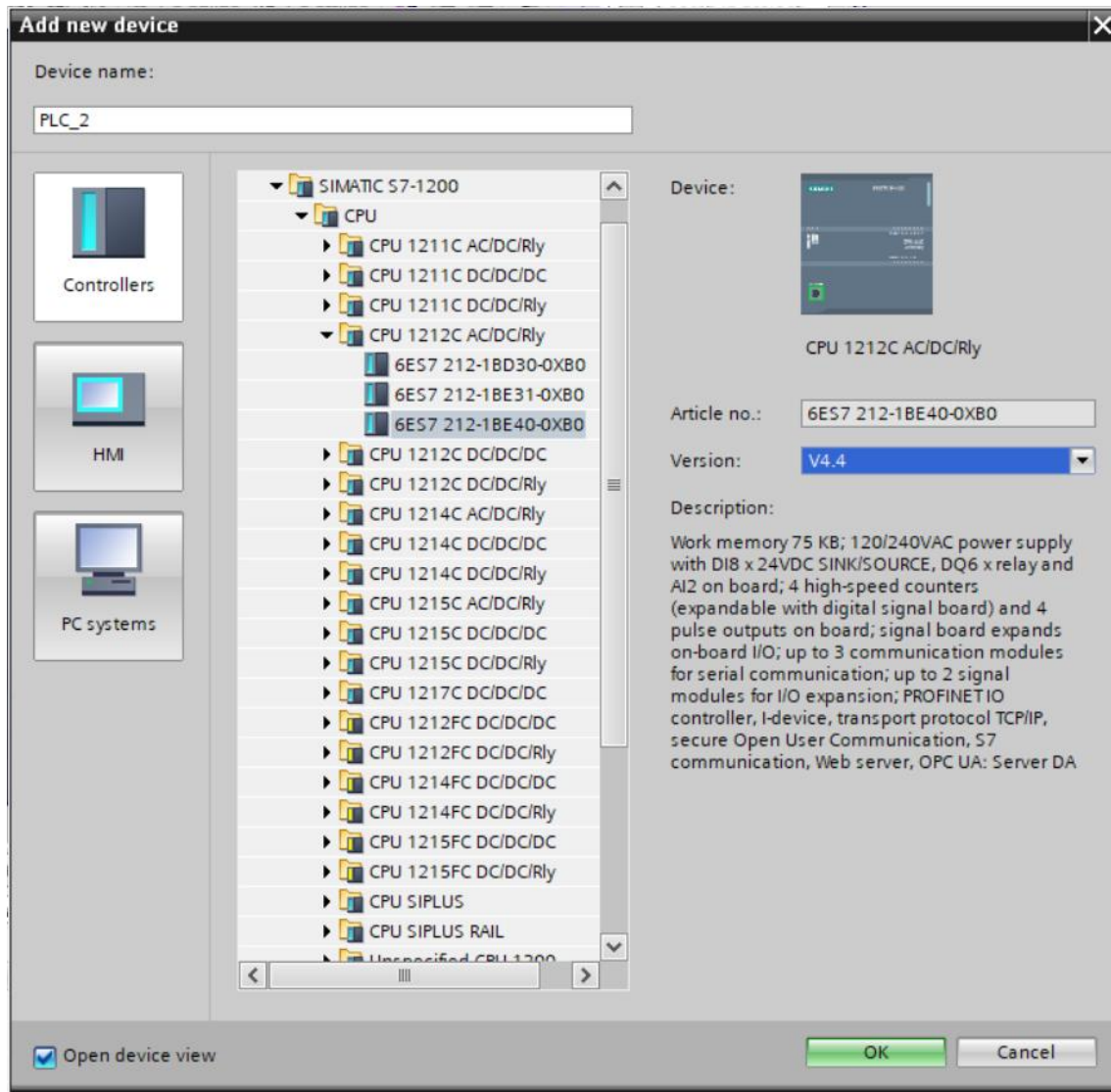
Una vez que tenemos la información mostrada en la Figura 3.28 procedemos a agregar el dispositivo PLC a nuestro proyecto. Para agregar un nuevo dispositivo seleccionamos la opción “Add new device” que se encuentra en las opciones del lado izquierdo debajo del nombre de nuestro proyecto, esta opción se muestra en la Figura 3.29.

**Figura 3.29** Agregar nuevo dispositivo*Agregar nuevo dispositivo*

Al hacer doble click en la opción de agregar nuevo dispositivo nos aparecerá una ventana como la mostrada en la Figura 3.30. Es aquí donde seleccionamos el PLC que vamos a emplear en nuestro proyecto, pero notamos que no basta con solo conocer el tipo de CPU de nuestro PLC, sino que se requieren dos parámetros adicionales: el número de artículo (número de mercado) y la versión del firmware que tiene nuestro dispositivo. Esta información la conocemos ya que fue obtenida en la Figura 3.28. El número de artículo del PLC también se puede encontrar en el lateral del dispositivo y este es **6ES7 212-1BE40-0XB0**. Por otro lado, la versión del firmware es **V4.4.1** por lo que seleccionar V4.4 es la opción correcta.

**Figura 3.30**

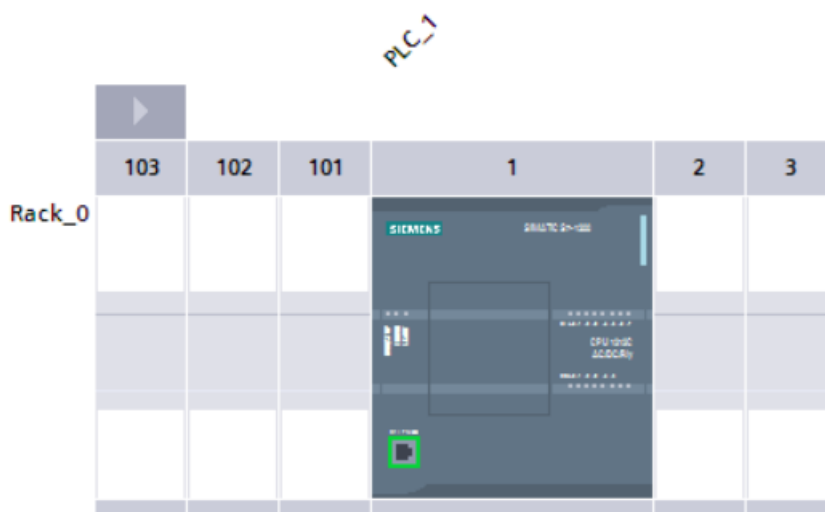
*Dispositivos disponibles en TIA Portal*



Cuando agregamos un controlador en TIA Portal este se muestra de forma gráfica en la vista de dispositivos, en caso no fuera así también podemos acceder a esta vista al hacer doble click en la opción Device Configuration (que se encuentra al lado izquierdo debajo de nuestro controlador agregado).

**Figura 3.31**

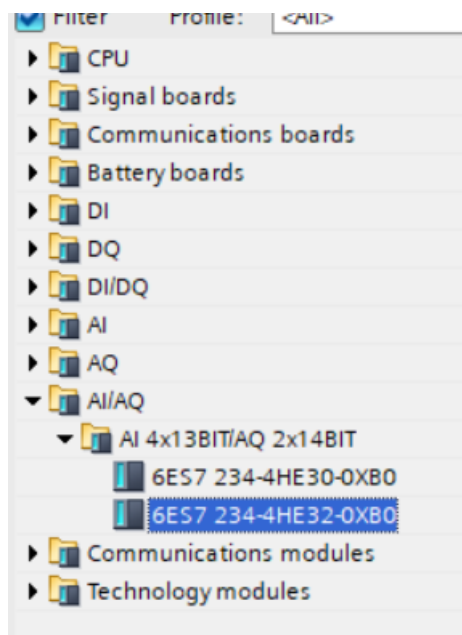
*Vista de Dispositivos PLC S7-1200 1*



El PLC agregado al proyecto no es el único dispositivo que tenemos que agregar ya que se requiere también el manejo de entradas y salidas analógicas que no incluye el controlador por defecto. Tenemos que buscar este dispositivo en el catálogo de Hardware que se encuentra en el lado derecho. El módulo de expansión que se está empleando es un **SM 1234 Analog Input/Analog Output 6ES7 234-4HE32-0XB0**.

**Figura 3.32**

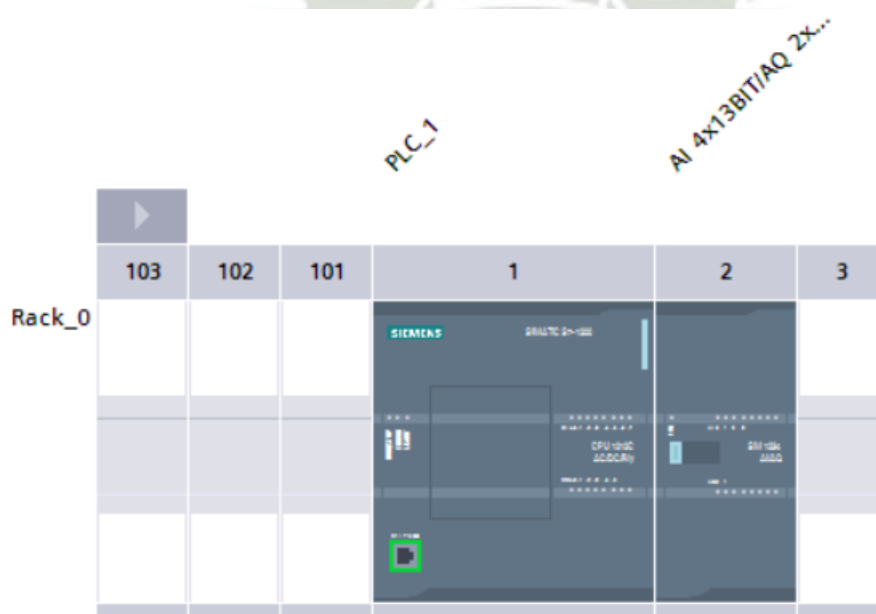
*SM 1234 en catálogo de hardware*



Una vez encontrado este módulo hacemos click y sin soltarlo lo arrastramos a uno de los espacios disponibles en la vista de dispositivos, por lo general los módulos de expansión del PLC S7-1200 se colocan al lado derecho del CPU.

**Figura 3.33**

*Módulo de entradas y salidas analógicas agregado*

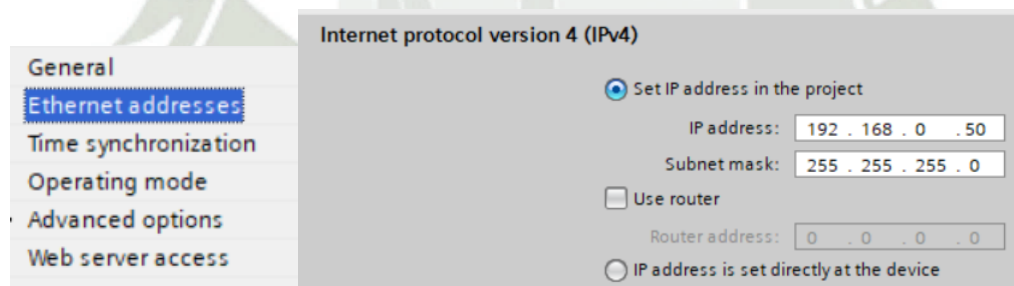


La dirección IP que tiene el dispositivo la observamos en el momento que lo vinculamos al software para observar la información del PLC. La dirección del dispositivo es **192.168.0.50**, pero esta dirección aún no ha sido especificada en el proyecto y es necesario hacerlo para evitar posteriores conflictos. Para configurar la dirección IP del dispositivo en nuestro proyecto tenemos que ir a la vista de dispositivos y hacer doble click en el puerto profinet el cual se observa con un contorno de color verde en la Figura 3.33.

Al hacer esto nos permitirá acceder a la configuración de la interfaz profinet. Seleccionamos la opción Ethernet addresses (dirección ethernet) y en el apartado Versión de protocolo de Internet 4 (IPv4) colocamos la IP de nuestro dispositivo tal y como se muestra en la Figura 3.34.

**Figura 3.34** Dirección IP del PLC en proyecto

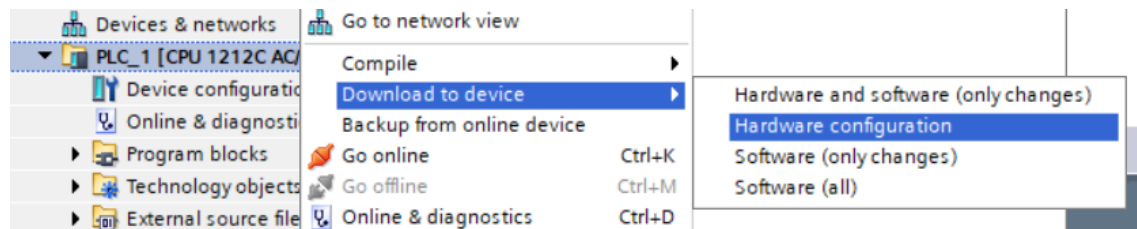
*Dirección IP del PLC en proyecto*



Luego de haber realizado la configuración principal del dispositivo procedemos a cargar en el PLC la información del hardware agregado y/o modificado. Para hacer esto seleccionamos el PLC en el lado izquierdo en la vista del proyecto y hacemos click derecho, seleccionamos la opción Download to device y finalmente Hardware configuration tal y como se muestra en la Figura 3.35.

**Figura 3.35**

*Cargar al PLC la configuración de hardware*



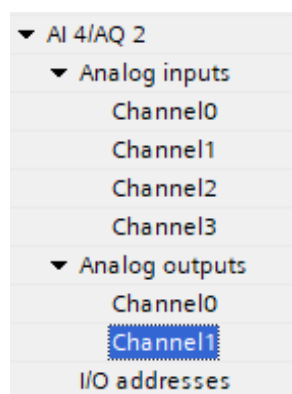
Se nos abre una ventana en la cual debemos de buscar nuestro PLC seleccionando para ello la interfaz de red que estemos empleando para la conexión con nuestro controlador (ethernet, wifi, etc). Una vez que se encuentra el PLC procedemos a cargar la configuración realizada. Es importante resaltar que cualquier cambio realizado en el hardware deberá ser cargado de nuevo en el controlador realizando el procedimiento previamente descrito.

### 3.7. Configuración Módulo SM 1234

Es necesario configurar el módulo SM 1234 agregado en el proyecto ya que se debe indicar al PLC que las entradas y salidas analógicas del módulo serán en corriente de 4 a 20 mA. Para esto tenemos que entrar en la configuración de los dispositivos agregados al proyecto, dar doble click en el módulo SM 1234 y luego seleccionar cada uno de los canales disponibles en el módulo para su respectiva configuración.

**Figura 3.36**

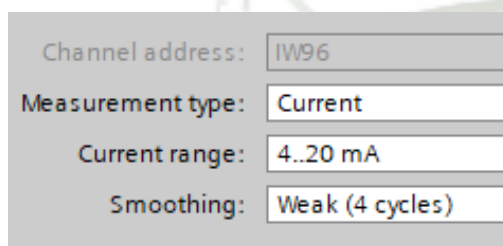
*Canales disponibles SM 1234*



Al seleccionar un canal podemos elegir el tipo de señal que queremos, es decir, voltaje o corriente. Asimismo, podemos ver la dirección que se ha asignado por defecto a cada uno de los canales tanto de entradas como de salidas analógicas. En este proyecto todos los canales de entradas y salidas se configuran en corriente de 4 a 20mA tal y como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.37** Configuración

*Configuración de canales en corriente 4-20mA*



Channel address:	IW96
Measurement type:	Current
Current range:	4..20 mA
Smoothing:	Weak (4 cycles)

En la **Figura 3.37** observamos que la dirección asignada al canal 0 de entrada analógica es IW96, cada uno de estos canales ocupa dos bytes y es del tipo Word por lo que el próximo canal será IW98 y así sucesivamente.

### 3.8. Implementación de Tags (Etiquetas)

De acuerdo a lo estipulado en el estándar IEC 61131-3 las etiquetas en un lenguaje de programación de PLCs facilitan el entendimiento y manejo del programa haciendo más fácil la implementación. Las etiquetas o también conocidas como variables en un lenguaje de programación de PLCs están diseñados para reemplazar las direcciones físicas que tiene el PLC o sus módulos por nombres más representativos o referentes a un proyecto.

Toda instrucción en un lenguaje de programación de PLCs tiene que tener una dirección con la finalidad de indicarle al PLC si se trata de una salida o entrada digital o analógica física o si es una variable de tipo memoria.

La automatización de los módulos de turbina Pelton y Francis involucra variables de tipo digital y analógico y en total referentes directamente al proceso se pueden crear 15 etiquetas como las presentadas en la **Tabla 10**. Pueda que la implementación final del proyecto requiera más etiquetas con variables de tipo memoria para mantener un orden secuencial y además facilitar la lectura de la programación e interacción con las instrucciones Ladder.

**Tabla 10**

*Etiquetas del proyecto*

N	Dirección	Tag	Tipo	Señal
1	%I0.0	Start_Francis	Entrada	Digital
2	%I0.1	Stop_Francis	Entrada	Digital
3	%I0.2	Start_Pelton	Entrada	Digital
4	%I0.3	Stop_Pelton	Entrada	Digital
5	%I0.4	Enc_Francis	Entrada	Digital
6	%I0.5	Enc_Pelton	Entrada	Digital
7	%Q0.0	Pump_Francis	Salida	Digital
8	%Q0.1	Pump_Pelton	Salida	Digital
9	%IW64	Pressure_Pelton	Entrada	Analógica Voltaje (0-10V)
10	%IW96	Flow_Pelton	Entrada	Analógica Corriente (4-20mA)
11	%IW98	Flow_Francis	Entrada	Analógica Corriente (4-20mA)
12	%IW100	Pressure_Francis	Entrada	Analógica Corriente (4-20mA)
13	%IW102	Height_Francis	Entrada	Analógica Corriente (4-20mA)
14	%QW96	Valve_Francis	Salida	Analógica Corriente (4-20mA)
15	%QW98	Valve_Pelton	Salida	Analógica Corriente (4-20mA)

De la **Tabla 10** podemos notar que existen 4 tipos de datos diferentes:

- **Entradas digitales:** Estas variables solo pueden tomar dos estados y son del tipo booleano, es decir, solo pueden presentar un estado de verdadero o falso, 0 o 1, encendido o apagado, etc. En TIA Portal cuando se trata de direcciones físicas está representado por %I.
- **Salidas digitales:** Estas variables solo pueden tomar dos estados y son del tipo booleano, es decir, solo pueden presentar un estado de verdadero o falso, 0 o 1, encendido o apagado, etc. En TIA Portal cuando se trata de direcciones físicas estas se representan por %Q.

- **Entradas analógicas:** Las entradas analógicas que se encuentran por defecto en el PLC S7-1200 son de tensión y aceptan un rango de 0-10 voltios siendo %IW 64 y %IW66. Se requiere también un módulo adicional para trabajar con más señales analógicas de entrada que podrían ser en voltaje o corriente. En TIA Portal esto está representado por %IW y el tipo de dato es Word.
- **Salidas analógicas:** El PLC no trae salidas analógicas por defecto por lo que un módulo adicional es requerido. En TIA Portal esto está representado por %QW y el tipo de dato es Word.

El convertidor analógico digital presente en el PLC S7-1200 transforma la señal de entrada en un dato de 16 bits de los cuales 15 representan el dato y 1 un bit es para el signo haciendo posible tener variaciones entre 0 y 32768. Sin embargo, en la práctica se suele alcanzar un valor de 27648 aproximadamente para una entrada en tensión de 10 voltios o 20 mA.

Para agregar los tags mostrados en la **Tabla 10** es necesario ir a la carpeta de PLC tags en nuestras carpetas del proyecto (lado izquierdo). Ahí seleccionamos la tabla de etiquetas por defecto y le cambiamos el nombre a Tags Proyecto 2022.

**Figura 3.38** Carpeta de Tags del proyecto

*Carpeta de Tags del proyecto*



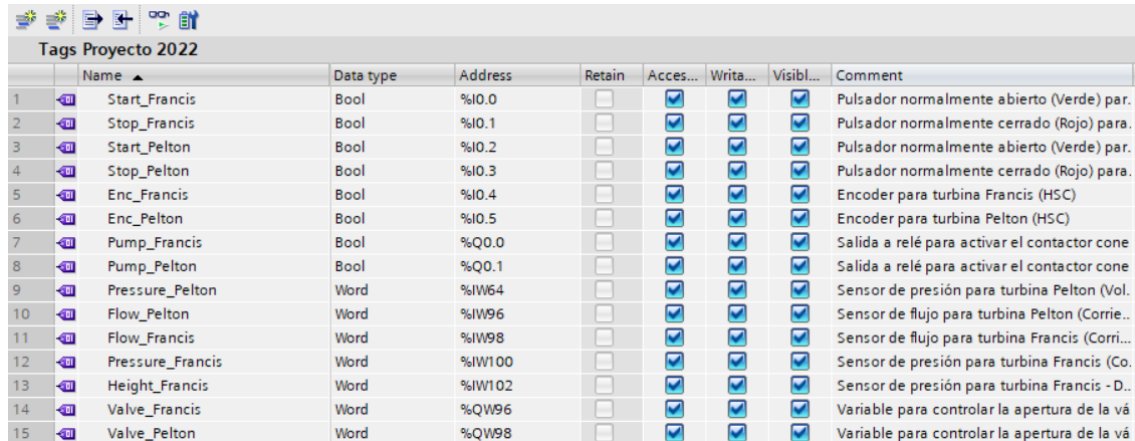
Al hacer doble click en los tags del proyecto nos abrirá una ventana con columnas y filas parecido a la interfaz de Excel. Es en esta tabla en donde agregaremos la información de los tags mostrados previamente. Para esto TIA Portal requiere un nombre, tipo de dato y dirección.

También es posible agregar comentarios a cada uno de los tags, pero esto ya es opcional.

Los tags agregados en TIA Portal se muestran en la figura presentada a continuación:

**Figura 3.39**

*Tags del proyecto agregados en TIA Portal*



	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	Start_Francis	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pulsador normalmente abierto (Verde) par.
2	Stop_Francis	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pulsador normalmente cerrado (Rojo) para.
3	Start_Pelton	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pulsador normalmente abierto (Verde) par.
4	Stop_Pelton	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pulsador normalmente cerrado (Rojo) para.
5	Enc_Francis	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Encoder para turbina Francis (HSC)
6	Enc_Pelton	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Encoder para turbina Pelton (HSC)
7	Pump_Francis	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Salida a relé para activar el contactor cone
8	Pump_Pelton	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Salida a relé para activar el contactor cone
9	Pressure_Pelton	Word	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensor de presión para turbina Pelton (Vol.
10	Flow_Pelton	Word	%IW96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensor de flujo para turbina Pelton (Corrie...
11	Flow_Francis	Word	%IW98	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensor de flujo para turbina Francis (Corri...
12	Pressure_Francis	Word	%IW100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensor de presión para turbina Francis (Co.
13	Height_Francis	Word	%IW102	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensor de presión para turbina Francis - D.
14	Valve_Francis	Word	%QW96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Variable para controlar la apertura de la vâ
15	Valve_Pelton	Word	%QW98	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Variable para controlar la apertura de la vâ

Como se mencionó anteriormente esta tabla de tags es posible que contenga más datos conforme se realiza o implementa la lógica del proyecto ya que los valores de presión o flujo real no pueden ser representados por los tags de los sensores ya que estos no dan los valores en las unidades requeridas y un escalamiento es necesario para ello.

### 3.9. Lógica Ladder

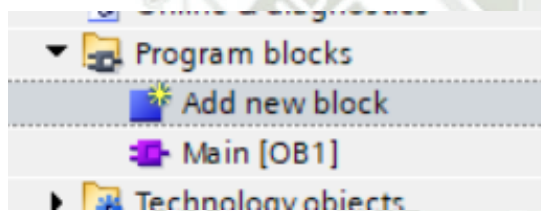
TIA portal para el PLC S7-1200 admite lenguajes de programación especificados en el estándar IEC 61131-3. De estos lenguajes de programación que se pueden escoger dos de ellos son de tipo gráfico y uno es de tipo textual. Entre los lenguajes gráficos de programación se tiene LAD (Diagrama Ladder) y FBD (Diagrama de bloque de funciones). Por otro lado, el lenguaje textual es SCL (Lenguaje Estructurado).

El lenguaje de programación que se va a utilizar en el proyecto es lenguaje Ladder. Por defecto en la carpeta de program blocks se tiene una rutina llamada Main la cual está en lenguaje Ladder. La programación se va a dividir en varias partes con la finalidad de explicar a detalle cada una de estas y facilitar el entendimiento posterior del programa en caso necesite una revisión o corrección.

Para iniciar con la programación Ladder le damos doble click a Main (se encuentra en la carpeta de program blocks en las carpetas del proyecto).

**Figura 3.40** Bloques de programas en las carpetas del proyecto

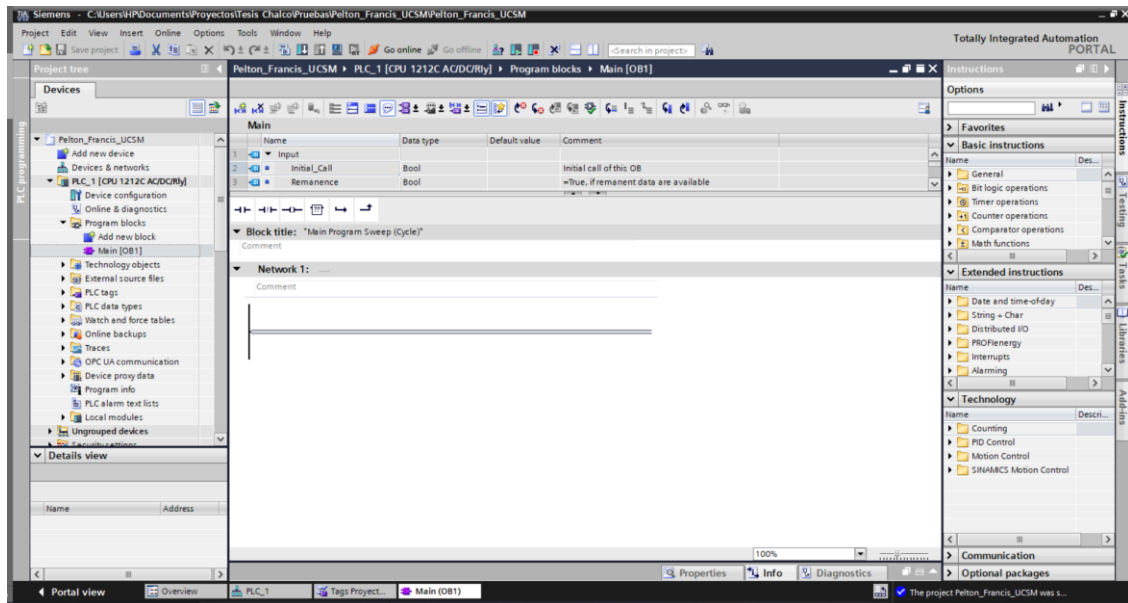
*Bloques de programas en las carpetas del proyecto*



Al hacer esto se genera una ventana en blanco en donde podemos empezar a construir la lógica Ladder para automatizar el módulo. En el lado derecho tenemos todas las instrucciones Ladder disponibles por categorías. Solo basta con arrastrar una de las instrucciones que se quieren utilizar y agregarlas al proyecto en el espacio de trabajo Ladder. Por defecto se muestra una línea en blanco denominada Network 1 tal y como se muestra en la Figura 3.41.

**Figura 3.41**

*Diagrama ladder en blanco*



### 3.9.1. Marcha y parada de las electrobombas

La marcha y parada de las bombas se va a realizar de dos maneras: de forma manual mediante el accionamiento de pulsadores en el tablero eléctrico y/o mediante pulsadores en el sistema SCADA. Esto implica tener 4 tags adicionales de tipo memoria que permitan el arranque y parada de las bombas tanto de la turbina Francis como de la turbina Pelton. Estos tags deben ser agregados a los tags del proyecto. La forma de agregar tags al proyecto ya se detalló en un apartado anterior. Al tratarse de tags tipo memoria estos estarán representados en TIA Portal por %M y el tipo de dato es booleano.

**Figura 3.42** Tags para el arranque y parada de bombas desde SCADA

*Tags para el arranque y parada de bombas desde SCADA*

	Start_Francis_SCADA	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Arranque de bomba turbina Francis desde.
	Stop_Francis_SCADA	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Parada de bomba turbina Francis desde SC
	Start_Pelton_SCADA	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Arranque de bomba turbina Pelton desde ..
	Stop_Pelton_SCADA	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Parada de bomba turbina Pelton desde SC.

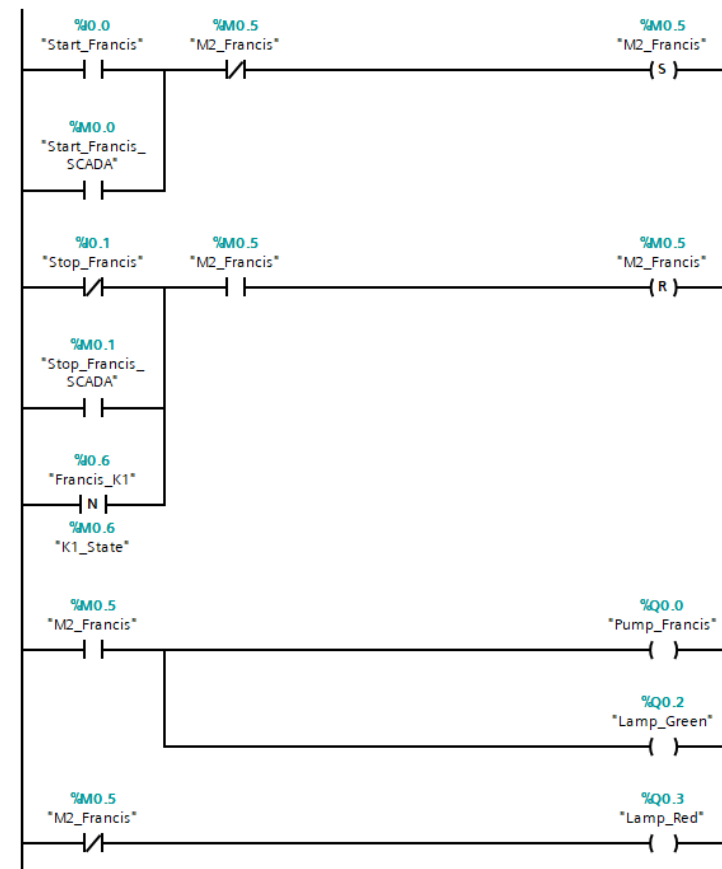
Los pulsadores físicos deben ser de dos tipos: normalmente abiertos y normalmente cerrados. Los pulsadores normalmente abiertos se suelen emplear para la marcha y además son de color verde. Por otro lado, los pulsadores normalmente cerrados se suelen emplear para las paradas y son de color rojo. Esto es importante mencionar ya que al momento de realizar la programación Ladder, los contactos que se escojan deben corresponder con estos tipos de configuración. El sistema también cuenta con una parada de emergencia independiente para cada turbina, este pulsador no está cableado al PLC por lo tanto la parada de emergencia no depende del funcionamiento del PLC y siempre desactivará al sistema en caso se presente una falla en el PLC.

Con la finalidad de evitar usar la salida para la activación de la bomba para hacer un auto enclavado en la lógica Ladder se implementa un tag de tipo memoria que se auto enclava y permita la activación de las salidas.

En la figura de abajo tenemos la lógica necesaria para arrancar y parar la bomba del módulo de la turbina Francis. En paralelo se tienen dos contactos normalmente abiertos correspondientes a los pulsadores start físico (%I0.00) y start SCADA (%M0.0). Asimismo, también se tiene un contacto normalmente cerrado físico (%I0.1) y SCADA(%M0.1) para detener la electrobomba. Al presionar cualquiera de los pulsadores start se enclava la marca %M0.5 (bobina set) activando asimismo las bobinas en la línea 3 arrancando la bomba. Al pulsar Stop ya sea de forma física o desde el SCADA se desenclava la marca %M0.5 (bobina reset) desactivando la bomba y encendiendo la lámpara de color rojo.

**Figura 3.43**

*Arranque y parada de bomba de turbina Francis*

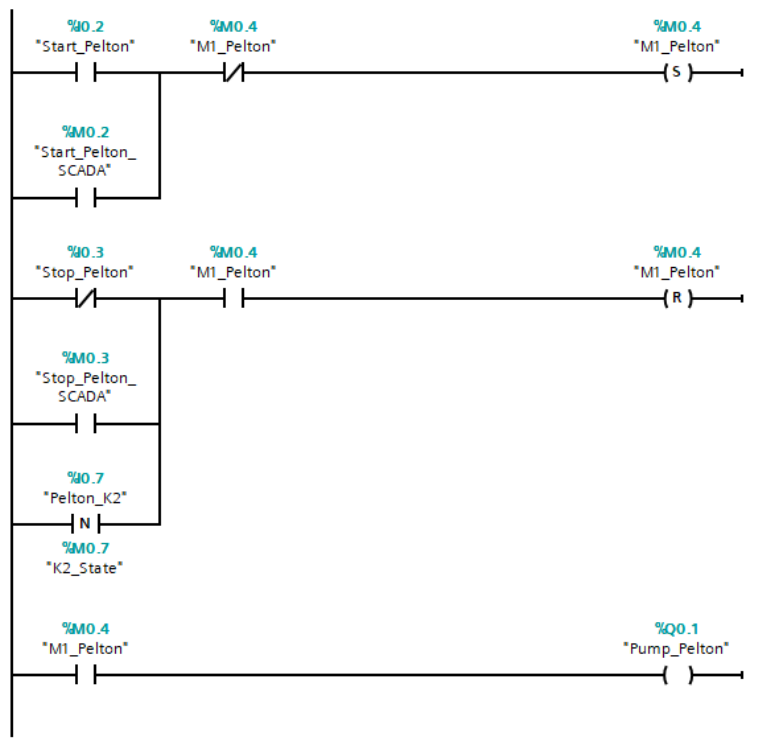


La parada de emergencia se conecta a la salida de la bobina de los contactores de manera que si se abren desactivan las electrobombas. Cuando ocurre un flanco de bajada de la señal auxiliar de los contactores 13 y 14 (%M0.6) se resetea la variable enclavada que acciona la electrobomba de forma que desactiva la salida del PLC. Asimismo, también en función de la variable que enclava la electrobomba se activan las lámparas de los pulsadores de la turbina Francis tal y como se observa en la línea 3.

En la **Figura 3.44** tenemos la lógica necesaria para arrancar y parar la bomba del módulo de la turbina Pelton. En paralelo se tienen dos contactos normalmente abiertos correspondientes a los pulsadores start físico (%I0.2) y start SCADA (%M0.2). Lo mismo ocurre para el pulsador de stop el cual tiene que ser un contacto normalmente cerrado (%I0.3) y en paralelo un contacto normalmente abierto para el pulsador correspondiente al SCADA (%M0.3).

**Figura 3.44**

*Arranque y parada de bomba de turbina Pelton*



La lógica presentada anteriormente para el arranque y parada de la turbina Francis se emplea en esta lógica Ladder teniendo la misma función cada uno de los pulsadores pero esto representa el funcionamiento siempre y cuando no se consideren medidas de protección del sistema. Con la finalidad de tener la posibilidad de una operación manual del módulo, las válvulas proporcionales ya inician abiertas pudiendo así arrancar las bombas teniendo ciertas consideraciones para evitar daños en el módulo:

- La válvula de derivación (válvula de desfogue) debe ser abierta por lo menos 1 minuto para que recircule el agua entre el tanque y la bomba con la finalidad de purgar el sistema.
- Al no tener un feedback de la posición de las válvulas se debe tener en cuenta la posición de estas antes de arrancar las bombas.








### 3.9.2. Lectura y escalamiento de los sensores de Presión

Las lecturas de los sensores de presión implican convertir los valores enteros dados por el ADC (Convertidor analógico digital) en valores conocidos de presión. Para esto se utilizarán dos instrucciones: normalizar y escalar. La instrucción normalizar permite cambiar el valor entero del ADC en una variable de tipo real y en un rango de 0 a 1 para un valor mínimo y máximo del ADC. Por otro lado, la instrucción escalar permite cambiar una variable de entrada a una variable con un rango de salida diferente el cual puede ser valores de presión, temperatura, voltaje, etc.

Los datos reales en TIA Portal están representados por direcciones del tipo %MD y es necesario agregar tags para estos tipos de datos. Los tags a agregar serán valores intermedios normalizados y valores reales de salida en bares para cada uno de los sensores de presión. Los tags adicionales agregados al proyecto se muestran a continuación:

**Figura 3.45** Tags adicionales para medir presión

#### Tags adicionales para medir presión

	Pressure_Pelton_Norm	Real	%MD50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presión normalizada de sensor de presión .
	Real_Pressure_Pelton	Real	%MD54	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presión real en bares de la turbina Pelton
	Pressure_Francis_Norm	Real	%MD58	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presión normalizada de sensor de presión .
	Real_Pressure_Francis	Real	%MD62	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presión real en bares de la turbina Francis
	Height_Francis_Norm	Real	%MD66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Altura normalizada de sensor de presión - .
	Real_Height_Francis	Real	%MD70	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Altura real expresada en metros calculada
	P_Height_Esc	Real	%MD74	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Altura real de turbina Pelton

Resulta importante resaltar que los dos últimos tags pese a obtener un dato de un sensor de presión en realidad lo que van a almacenar será una altura calculada en base a la ecuación de altura de presión, esto se detallará más adelante.

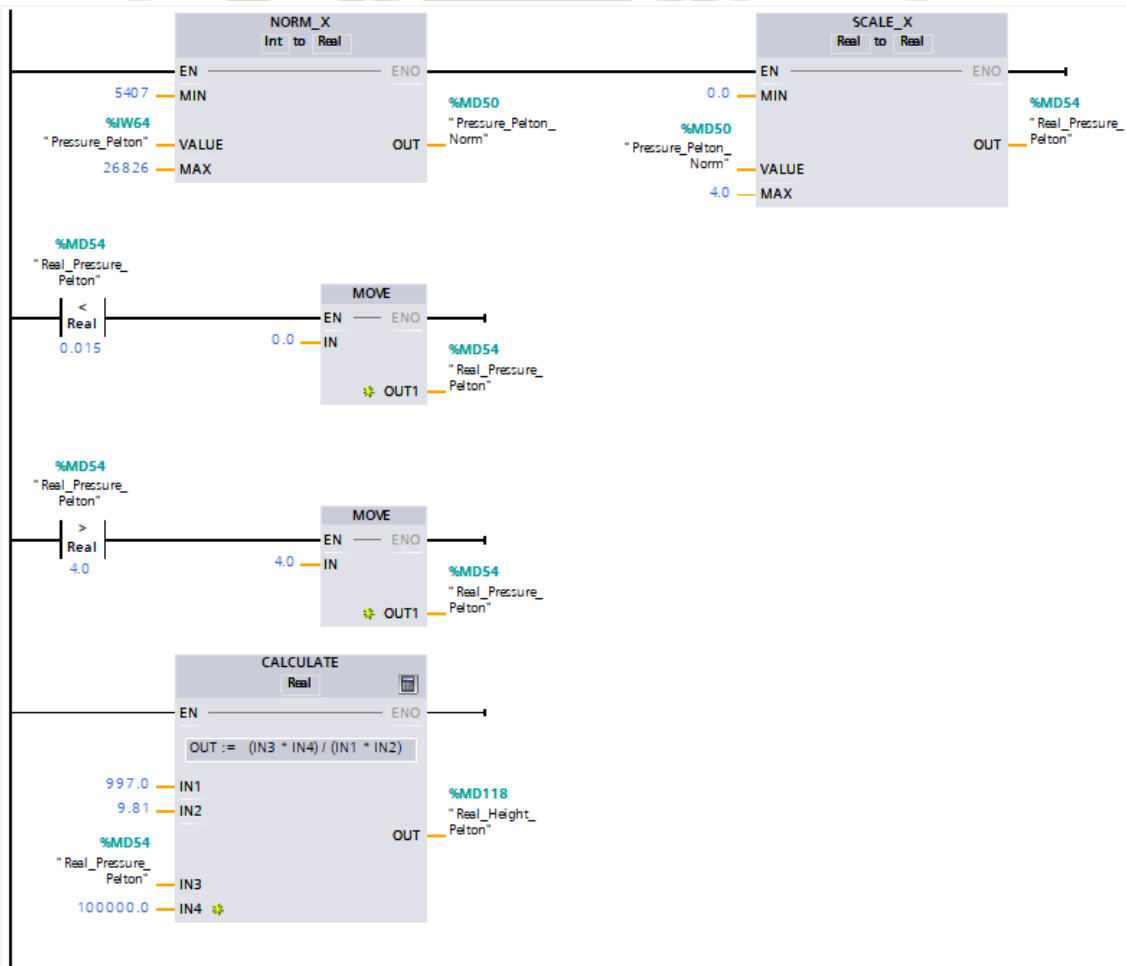
### Turbina Pelton

En el módulo de turbina Pelton solo se tiene un único sensor de presión. Este sensor de presión está conectado a una de las entradas analógicas del PLC S7-1200. Recordemos que por defecto las entradas analógicas en el PLC S7-1200 son de tensión, sin embargo, el sensor

de presión nos da una salida en corriente entre 4-20mA. Vimos en un apartado anterior que para poder conectar un sensor de corriente a una entrada en voltaje podemos emplear una resistencia, esto es lo que se hará para poder conectar el sensor de presión a la entrada en tensión. La tensión que nos da a la entrada del PLC debe ser una medida entre 2-10 voltios que representará el valor real de la presión entre el rango mínimo y máximo que puede medir el sensor, siendo este de 0 y 4 bares respectivamente.

**Figura 3.46**

*Escalamiento de sensor de presión para turbina Pelton*



Notamos en la Figura 3.46 que el valor mínimo en la instrucción normalizar es de 5407 debido a la entrada esperada de 2 voltios y un valor máximo de 27648 para 10 voltios. La instrucción normalizar se encarga de convertir cada uno de los valores del sensor en un valor entre 0 y 1. En la instrucción escalar se ha agregado el valor normalizado y se lo está escalando a valores entre 0 y 4 bares, obteniendo así la presión real en la variable `Real_Pressure_Pelton`.

Se agregan dos líneas más a este apartado con la finalidad de limitar las medidas del sensor de presión a un rango de 0 y 4 bares con lo que se evitan dos cosas:

- Primero, se elimina la posibilidad de tener valores negativos debido a la fluctuación de la entrada de tensión teniendo siempre un valor mínimo de 0 para mostrar en el sistema SCADA.
- Segundo, se limita el máximo valor que se puede mostrar en el SCADA siendo este de 4 bares.

En la práctica no se alcanzará una presión de 4 bares ya que revisando las tesis anteriores de las cuales se deriva este proyecto la presión máxima de los instrumentos es de 2 bares. Determinar la presión nos permite mediante una ecuación calcular el valor de la altura. La altura es importante para determinar las curvas características. Esta altura es calculada mediante las ecuaciones que se muestran a continuación y su valor además se almacena en el tag `Real_Height_Pelton`.

$$P = \rho gh \quad (5)$$

$$h = \frac{P}{\rho * g} \quad (6)$$

Donde:

$P$ : Presión [Pa]

$h$ : Altura [m]

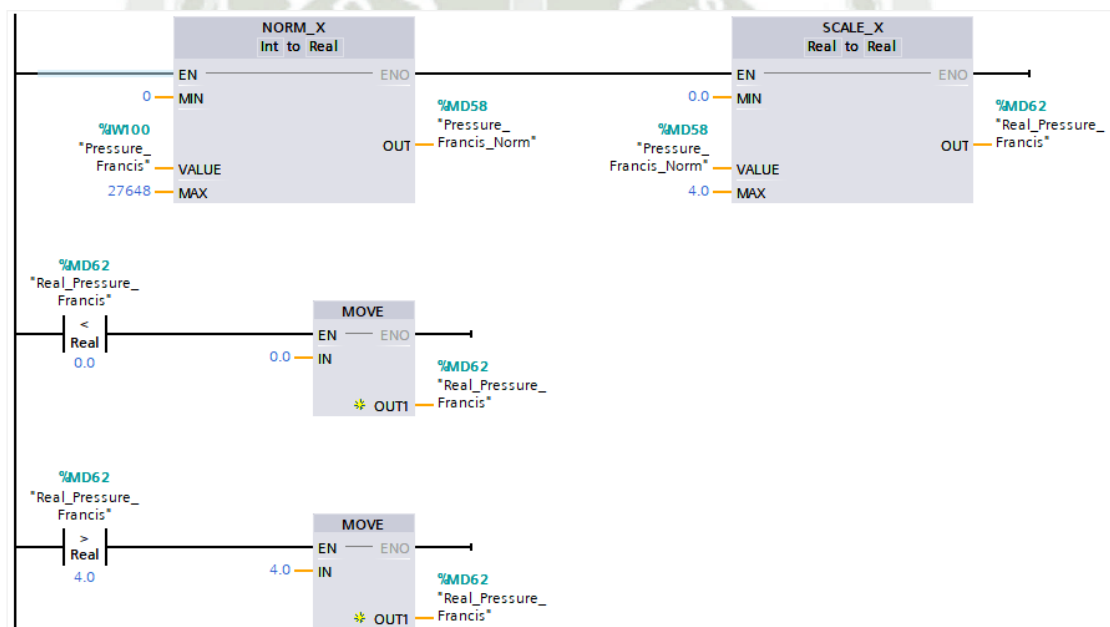
$g$ : Aceleración producto de gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$\rho$ : Densidad del fluido  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

### Turbina Francis

Figura 3.47

Escalamiento para sensor de presión de turbina Francis



Al igual que en la turbina Pelton la lógica de programación Ladder no cambia para obtener la lectura de la presión a la entrada de la turbina Francis. Sin embargo, debido a que el módulo SM 1234 acepta entradas en corriente de 4 a 20 mA no es necesario alterar el valor mínimo de la instrucción normalizar, la cual como observamos en la **Figura 3.47** puede ser 0. Asimismo, también se han colocado límites para no mostrar una presión debajo de 0 o por encima de 4 bares en la segunda y tercera línea de programación. La instrucción norm\_x (normalizar) permite cambiar el valor de entrada a un rango de 0 y 1, mientras que la instrucción escalar nos da el parámetro real del sistema.

La turbina Francis además cuenta con un segundo sensor de presión a la salida de la turbina la cual se emplea para determinar altura, las mediciones de este sensor se realizan de la misma forma que el otro sensor de presión solo que una vez que se tiene la presión entre 0 y 4 bares, este valor es convertido a una altura empleando la siguiente fórmula:

$$P = \rho gh \quad (7)$$

$$h = \frac{P}{\rho * g} \quad (8)$$

Donde:

**P:** Presión [Pa]

**h:** Altura [m]

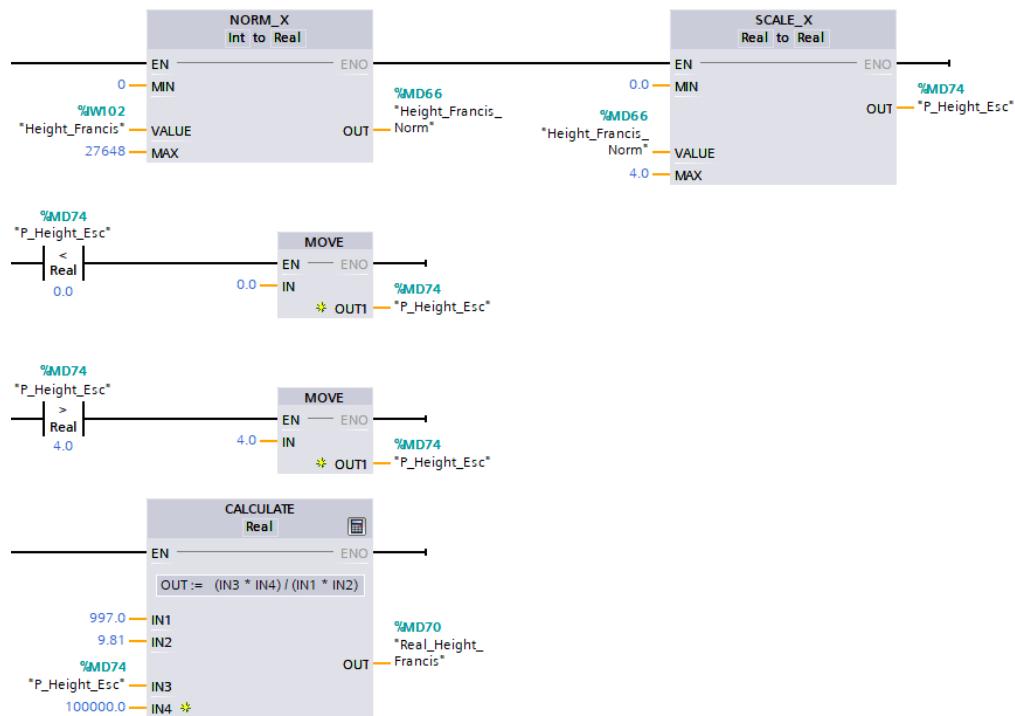
**g:** Aceleración producto de gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

**$\rho$ :** Densidad del fluido  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Lo primero que se necesita hacer es convertir la presión que está en bares a pascales y luego se puede calcular la altura mediante la instrucción Ladder Calculate. La densidad y la gravedad son constantes conocidas obteniendo así la altura tal y como se muestra en la **Figura 3.48**.

**Figura 3.48**

*Cálculo de altura en Turbina Francis*



### 3.9.3. Lectura y escalamiento de los sensores de flujo

Los datos reales en TIA Portal están representados por direcciones del tipo %MD y es necesario agregar tags para estos tipos de datos.

Los tags a agregar serán valores intermedios normalizados y valores reales de salida en LPM para cada uno de los sensores de flujo. Los tags adicionales agregados al proyecto se muestran a continuación:

**Figura 3.49**

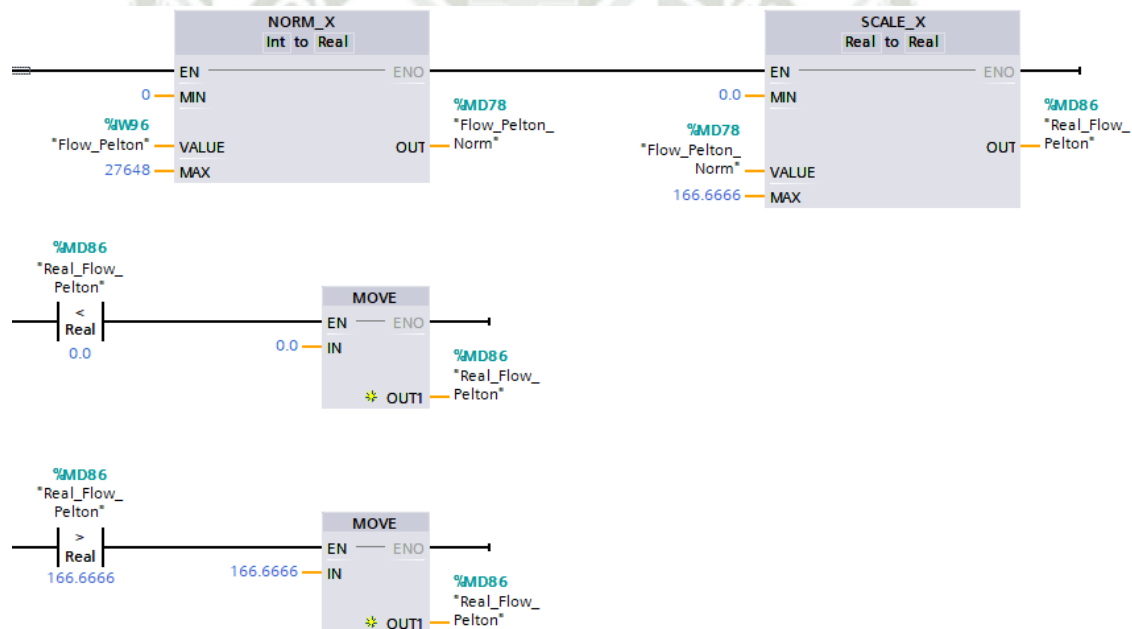
*Tags adicionales para la medición de flujo*

	Flow_Pelton_Norm	Real	%MD78	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Flow_Francis_Norm	Real	%MD82	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Flujo de turbina Pelton en LPM
	Real_Flow_Pelton	Real	%MD86	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Flujo de turbina Francis en LPM
	Real_Flow_Francis	Real	%MD90	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Porcentaje de apertura de válvula desde S.

La lógica para la lectura de los sensores de flujo es bastante similar a la realizada para los sensores de presión. Cada una de las turbinas cuenta con un sensor de flujo con un rango de medida entre 1 y 10 m<sup>3</sup>/h. Al convertir este rango en LPM se obtiene un rango de medida entre 16.666 y 166.666 LPM. La salida de los sensores de flujo es en corriente de 4 a 20mA, sin embargo, al realizar pruebas en la salida del sensor notamos que a 4 mA no indica el mínimo valor de medida siendo este 0 LPM y obteniendo así la medida mínima de 16.66 LPM a un valor aproximado de 6 mA.

**Figura 3.50** Lógica de lectura de sensor de flujo Turbina Pelton

*Lectura de sensor de flujo Turbina Pelton*

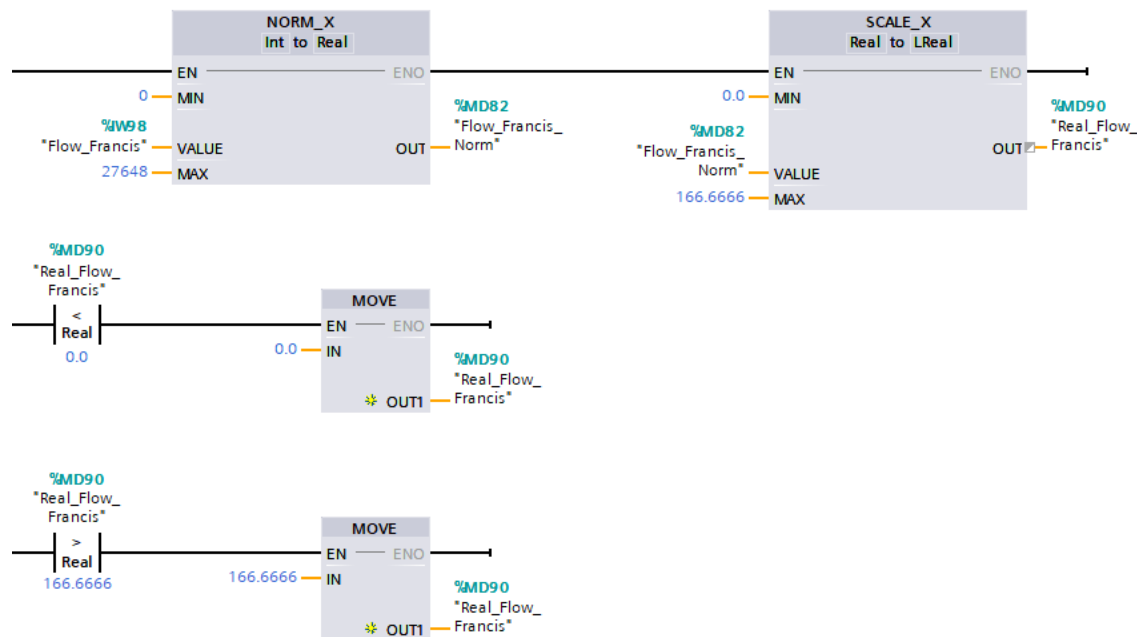


En la primera línea se usa la instrucción normalizar para cambiar los valores de entrada a un valor que fluctúe entre 0 y 1 para posteriormente escalarlo en función del rango de medida del instrumento (0 a 166.7 LPM).

Notamos que también se restringe el valor calculado en LPM entre el valor máximo y mínimo que puede entregar el instrumento en la segunda y tercera línea del programa..

**Figura 3.51**

*Lectura de sensor de flujo turbina Francis*



La programación Ladder empleada para el flujómetro de la turbina Francis es similar al de la turbina Pelton, teniendo en uso la instrucción normalizar y escalar y sus restricciones respectivas.

Las lecturas de los sensores de flujo están garantizadas para un rango de medida de 1 a 10 m<sup>3</sup>/h, los valores por debajo de 1 m<sup>3</sup>/h no están garantizados por lo que se debe tener cuidado en medir un flujo menor a este ya que podría haber un error en la medición. Para dar un margen de error en las medidas, las pruebas y curvas del sistema se obtendrán con valores de flujo por encima de 18 LPM.

### 3.9.4. Configuración de contadores rápidos (HSC)

El plan inicial contemplaba el uso de Encoders de tipo incremental para determinar las revoluciones por minuto de los ejes de las turbinas. El encoder que se empleó durante las pruebas fue un encoder OMRON E6B2-CWZ6C del tipo NPN con 400 P/R (Pulsos por revolución).

En el diseño final fueron cambiados por sensores inductivos ya que se presentó un problema con los ejes de las turbinas. Los ejes giraban de forma excéntrica lo cual podía dañar el encoder y se optó por una medición de RPMs sin contacto.

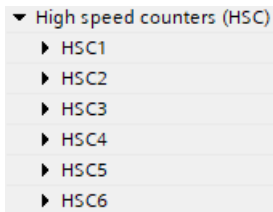
Tanto los sensores inductivos o los encoders escogidos son de tipo NPN y por esa razón es que usamos esa configuración para conectar incluso los pulsadores al PLC teniendo así el común de las entradas digitales colocadas en 24 VDC en vez de 0VDC como se suele emplear en una configuración NPN.

Puede entenderse el funcionamiento de un encoder como un switch el cual se presiona cada vez que el eje del encoder gira una determinada cantidad de grados. Estos pulsos que se generan son conectados a una entrada digital del PLC, sin embargo, la velocidad con la que se leen los pulsos puede ser muy lenta con la configuración que se tiene por defecto si solo se emplease alguna instrucción de contador. Es necesario configurar el PLC e indicarle que se requiere emplear contadores rápidos, así como también un input filter de valor pequeño para evitar perder pulsos.

Para realizar la configuración tenemos que ir a la configuración de dispositivos y elegir el PLC. Dentro de las opciones generales del PLC tenemos un apartado que indica High Speed Counters (HSC). Observamos en la **Figura 3.52** que el PLC S7-1200 tiene disponibles hasta 6 HSC. En el proyecto solamente se emplearán HSC1 y HSC2 para cada encoder.

**Figura 3.52**

*HSC disponibles en PLC S7-1200 1212C*



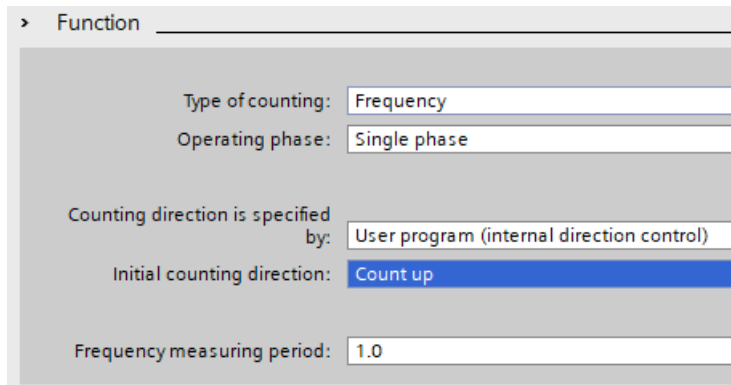
Elegimos un HSC a emplear, lo primero que encontramos es una casilla para habilitar el uso de ese contador rápido. Lo habilitamos y luego configuramos los siguientes parámetros:

- **Tipo de cuenta:** El tipo de cuenta puede ser conteo, periodo y frecuencia. En este caso ya que se requiere medir RPM es necesario configurar un tipo de cuenta frecuencia.
- **Fase a emplear:** El encoder posee 2 fases A y B, las cuales están desfasadas 90° entre sí. En este proyecto solo se empleará una de las fases del encoder y será la fase A.
- **Dirección de cuenta:** El conteo debe ser de tipo ascendente.
- **Periodo para medición de frecuencia:** Con la finalidad de obtener las RPM del encoder es necesario obtener la frecuencia en Hz, siendo el base de tiempo segundos. Por lo tanto, el periodo para medición de frecuencia debe estar en segundos.
- **Dirección de entrada asociada al encoder:** La dirección a emplear por la entrada digital para los pulsos del encoder está dada en función de cómo se han determinado los tags para cada valor. En el caso del encoder se empleará %I0.4 y %I0.5.

Los parámetros a ser configurados se muestran en la **Figura 3.53**.

**Figura 3.53**

*Configuración básica del HSC*



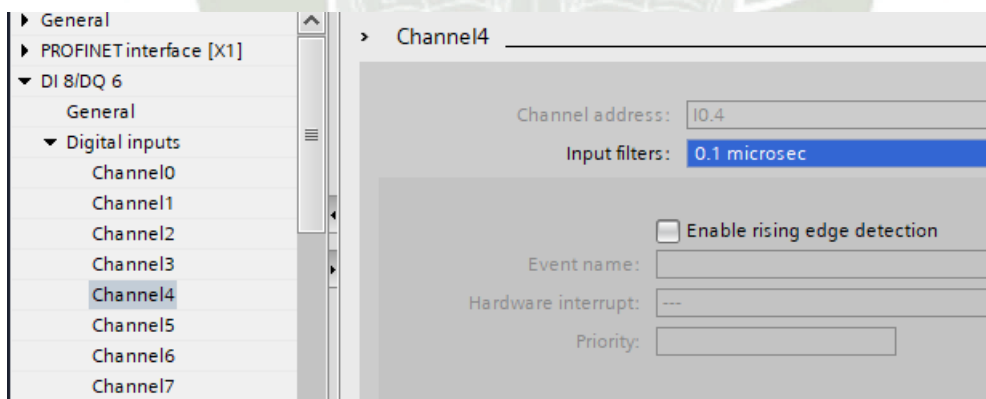
The screenshot shows a configuration window for a function. The settings are as follows:

- Type of counting: Frequency
- Operating phase: Single phase
- Counting direction is specified by: User program (internal direction control)
- Initial counting direction: Count up
- Frequency measuring period: 1.0

Con la finalidad de no perder pulsos en el encoder es necesario reajustar el input filter de la entrada digital correspondiente a las direcciones %I0.4 y %I0.5. Para esto se tiene que ir a la configuración de dispositivos y elegir las entradas digitales. Se debe colocar un input filter a la entrada digital de 0.1 microsegundos.

**Figura 3.54** Configuración de input filter de entrada digital encoder

*Configuración de input filter de entrada digital encoder*



The screenshot shows the configuration for Channel 4 in the digital inputs section. The settings are:

- Channel address: I0.4
- Input filters: 0.1 microsec
- Enable rising edge detection:
- Event name: (empty field)
- Hardware interrupt: ---
- Priority: (empty field)

### 3.9.5. Lectura de pulsos empleando HSC

Pese a haber utilizado los sensores inductivos para la lectura de RPMs se detallará primero las pruebas realizadas con los encoders puesto que la forma en la que se determina las RPMs no cambia excepto por los P/R.

Primero, se determina la frecuencia en Hz con la que gira el eje del encoder y la matemática que se aplica se hace en función de la frecuencia y los pulsos por revolución del encoder.

Todo esto se hace en base a la siguiente ecuación:



$$RPM = F * \frac{60}{400} \quad (9)$$

El factor de 60 permite convertir el valor expresado en segundos a minutos y al dividir entre los pulsos por revolución del encoder se puede determinar las RPM a la que gira el eje de la turbina.

Los tags adicionales que se emplean en la programación del PLC para la lectura de frecuencia de los encoders y determinación de las revoluciones por minuto se muestran en la siguiente figura:

**Figura 3.55** Tags adicionales para la lectura de los encoders

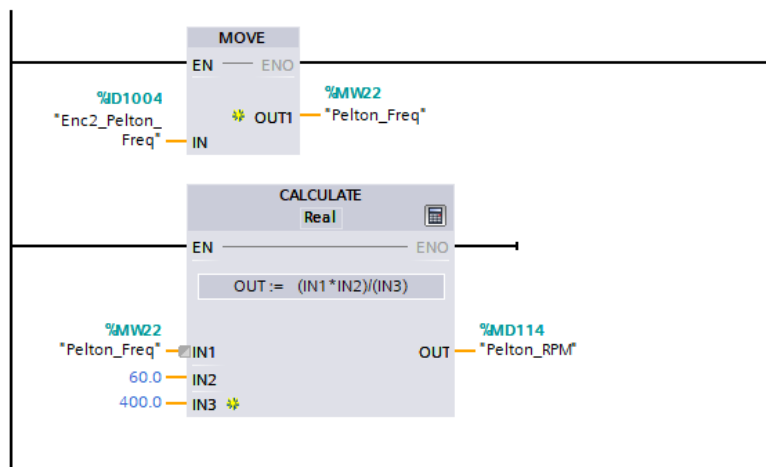
*Tags adicionales para la lectura de los encoders*

37		Enc1_Francis_Freq	DWord	%ID1000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
38		Enc2_Pelton_Freq	DWord	%ID1004	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
39		Francis_Freq	Int	%MW20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
40		Pelton_Freq	Int	%MW22	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
41		Francis_RPM	Real	%MD110	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RPMs de la turbina Francis
42		Pelton_RPM	Real	%MD114	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RPMs de la turbina Pelton

La programación Ladder implica leer la frecuencia dada por el encoder y convertir posteriormente ese valor a un valor expresado en RPM tal y como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.56**

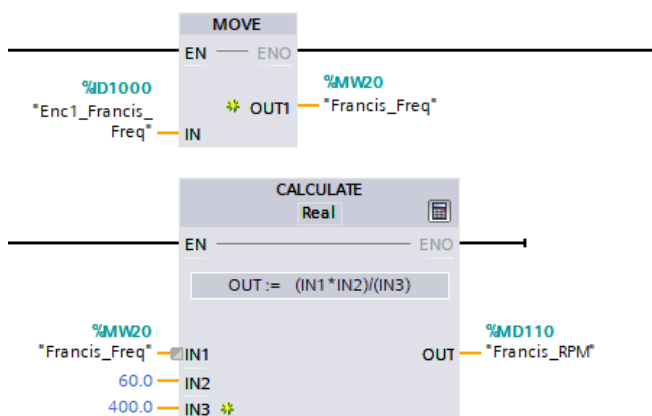
*Diagrama Ladder para determinación de RPM turbina Pelton (Encoder)*



Notamos que la frecuencia del encoder es almacenada en una variable cuya dirección es %ID1004 y su valor es asignado a un tag denominado Pelton\_Freq en la primera línea del programa mediante instrucción Move. La instrucción calculate empleada en la segunda línea determina las RPM de la turbina Pelton al ingresar los parámetros necesarios para el cálculo y colocar la expresión matemática que se debe de efectuar. Un procedimiento similar se sigue para calcular y determinar las RPM de la turbina Francis. La programación Ladder realizada para las RPM de la turbina Francis se muestra a continuación:

**Figura 3.57**

*Diagrama Ladder para determinar las RPM de la turbina Francis (Encoder)*



**Figura 3.58***Encoder instalado en turbina Pelton*

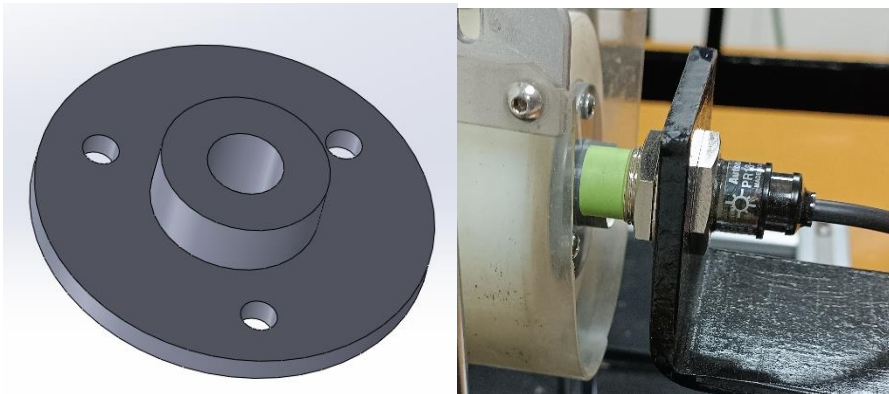
La ventaja de emplear el encoder es la resolución que este nos brinda ya que al tener 400 P/R la cantidad mínima de RPMs que se puede medir suponiendo que se tenga un pulso por segundo sería:

$$RPM = \frac{60(1)}{400} \rightarrow 0.15 \text{ RPM} \quad (10)$$

La conexión del sensor inductivo es la misma que la del encoder incremental y la programación no varía excepto por la cantidad de pulsos por revolución. Esta cantidad de P/R no depende directamente del sensor sino de las piezas metálicas que se disponen para que el sensor pueda medir. Para ello es necesario acoplar a cada una de las ruedas que están en los ejes de las turbinas una pieza con tornillos distanciados entre sí una cantidad determinada de grados. A mayor cantidad de tornillos se tendrá mayor cantidad de P/R. Para los módulos de las turbinas se opta por emplear 3 tornillos separados entre sí  $120^\circ$  teniendo así 3 Pulsos por cada vuelta de la rueda, es decir, 3 P/R. La pieza que contiene los tornillos y que se acopla en la rueda se muestra a continuación:

**Figura 3.59**

*Pieza para colocar tornillos para medir las RPM*



En la figura también podemos apreciar el montaje del sensor inductivo. Esta pieza ha sido impresa en 3D en material PETG. Al emplear un sensor inductivo y tener 3 P/R la resolución en la medición de las RPM ha cambiado según muestra la siguiente ecuación:

$$RPM = \frac{60(1)}{3} \rightarrow 20 \text{ RPM} \quad (11)$$

La ecuación indica que podemos tener lecturas de RPM con cambios de 20 unidades para cada medición que se realice no pudiendo obtener así lecturas inferiores a cambios de 20 RPM. En el diagrama Ladder será necesario modificar los pulsos por revolución para obtener las lecturas de RPM adecuadas.

Con el procedimiento mostrado previamente es posible determinar la velocidad a la que giran los ejes de las turbinas. Cabe mencionar que esta información de las RPM se mostrará también en el sistema SCADA. Los datos de las RPM de las turbinas es posible también contrastarlos con un tacómetro láser.

### **3.9.6. Control de válvulas proporcionales**

Las válvulas proporcionales que se instalan en el sistema permiten controlar el flujo que ingresa a cada una de las turbinas.

El control de estas se realiza mediante una señal en corriente de 4 a 20 mA. Una salida en corriente de 4 mA está representada por un valor entero de 0 y una salida de 20 mA está representada por un valor de 27648.

Se hace un control de la apertura de válvula mediante una variable que indica el porcentaje de apertura de esta y en función del porcentaje se escala el valor a un dato entre 0 y 27648 para mandar la señal en corriente. Los tags adicionales que se agregan al sistema se muestran en la siguiente figura:

**Figura 3.60** Tags adicionales para el control de las válvulas

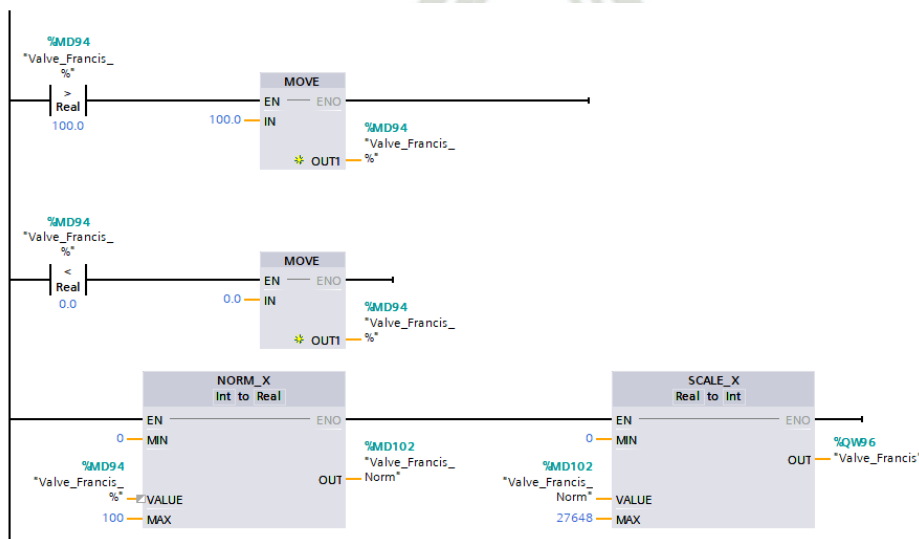
*Tags adicionales para el control de las válvulas proporcionales*

<input checked="" type="checkbox"/>	Valve_Francis_%	Real	%MD94	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Porcentaje de apertura de válvula desde S.
<input checked="" type="checkbox"/>	Valve_Pelton_%	Real	%MD98	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Porcentaje de apertura de válvula desde S.
<input checked="" type="checkbox"/>	Valve_Francis_Norm	Real	%MD102	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Valve_Pelton_Norm	Real	%MD106	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Se agregan límites a los valores de porcentajes que se ingresan al sistema con la finalidad de tener datos solamente entre 0% y 100%. Se emplea la instrucción normalizar para expresar el valor del porcentaje entre un dato que fluctúa entre 0 y 1 y finalmente la instrucción escalar para enviar el dato por la salida analógica del módulo SM 1234.

**Figura 3.61** Ladder para válvula proporcional de

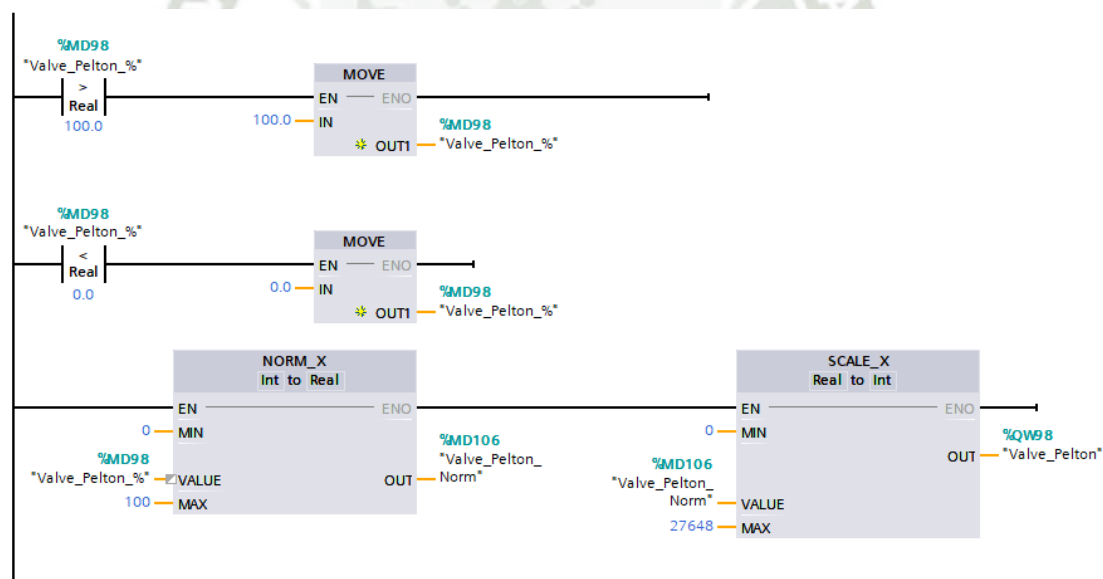
*Diagrama Ladder para válvula proporcional de turbina Francis*



En la **Figura 3.61** se observa el diagrama Ladder implementado para el control de la válvula proporcional instalada en el sistema de la turbina Francis. En la primera y segunda línea del programa se agregan las restricciones para que el % de apertura de la válvula proporcional no sea inferior a 0 y tampoco exceda de 100. El dato de apertura de la válvula está dado por el usuario desde el sistema SCADA. En la terca línea del programa se usa la instrucción normalizar para cambiar el parámetro de entrada de 0 a 100 a un valor de 0 a 1 para posteriormente escalarlo y enviarlo directamente por la salida analógica del módulo SM 1234 siendo un valor mínimo de 0 y un valor máximo de 27648. El diagrama Ladder para el caso de la turbina Pelton es similar y se presenta en la **Figura 3.62**.

**Figura 3.62** Diagrama Ladder de la válvula proporcional de la turbina Pelton

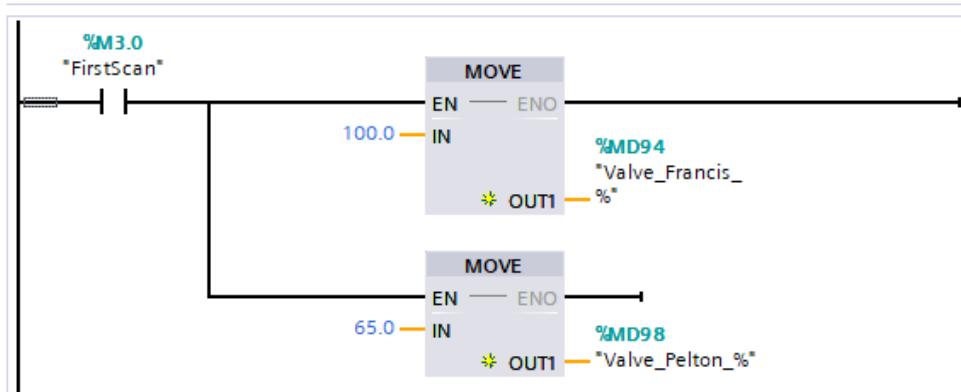
*Diagrama Ladder de la válvula proporcional de la turbina Pelton*



Con la finalidad de asegurar un funcionamiento manual al encender el sistema, las válvulas proporcionales se abrirán a un valor máximo establecido de acuerdo a pruebas para poder simplemente operar el control de flujo a través de las válvulas de forma manual. La orden de apertura de las válvulas se realiza durante el primer Scan del PLC S7-1200 y lo que se hace es enviar el porcentaje de apertura a cada una de estas. Al ejecutarse esto durante el primer Scan significa que solo se ejecutará una vez cada vez que arranque el sistema.

**Figura 3.63**

*Diagrama Ladder para iniciar con las válvulas proporcionales abiertas*

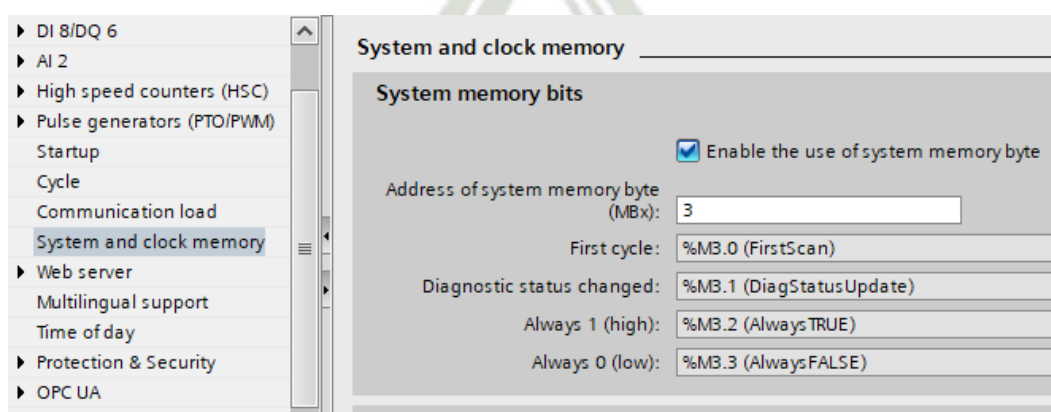


Este diagrama Ladder se ejecuta al energizar el módulo PLC y sobrescribe los valores de los % de apertura de cada una de las válvulas llevando la válvula de la turbina Francis a un grado de apertura total mientras que en el caso de la turbina Pelton la válvula se abre solamente al 65% la asignación de estos valores se realiza mediante la instrucción MOVE.

Para habilitar el uso del primer Scan del PLC es necesario habilitar los bits del primer Scan. Esto se realiza desde la configuración del PLC, seleccionando para ello System and Clock Memory y luego habilitando los System memory bits tal y como muestra la siguiente figura:

**Figura 3.64**

*Habilitar bits de memoria para el primer Scan*



Al habilitar los bits de memoria del sistema se puede escoger la dirección que tendrán dichos bits, en el caso de este proyecto se ha elegido el número 3 debido a que las primeras direcciones ya estaban siendo utilizadas. Podemos verificar también en los tags del proyecto que se han generado tags con las direcciones mostradas en la Figura 3.64.

**Figura 3.65**

*Tags disponibles de los bits de memoria del sistema*

 System_Byte	Byte	%MB3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
 FirstScan	Bool	%MB.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
 DiagStatusUpdate	Bool	%MB.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
 Always TRUE	Bool	%MB.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
 Always FALSE	Bool	%MB.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

### 3.10. Sistema SCADA

#### 3.10.1. Requisitos

El sistema SCADA a implementar debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Botones para el control del arranque y parada de cada una de las electrobombas.
- Indicadores luminosos para representar el estado actual de cada una de las electrobombas.
- Botones que permitan almacenar datos para cada una de las turbinas para procesamiento posterior.
- Dibujo representativo de cada una de las turbinas mostrando sensores, bombas, tuberías, etc.
- Los parámetros deben ser mostrados para cada uno de los sensores con sus unidades respectivas.
- Casillas de texto para cambiar el porcentaje de apertura de cada una de las válvulas proporcionales para el control de flujo.

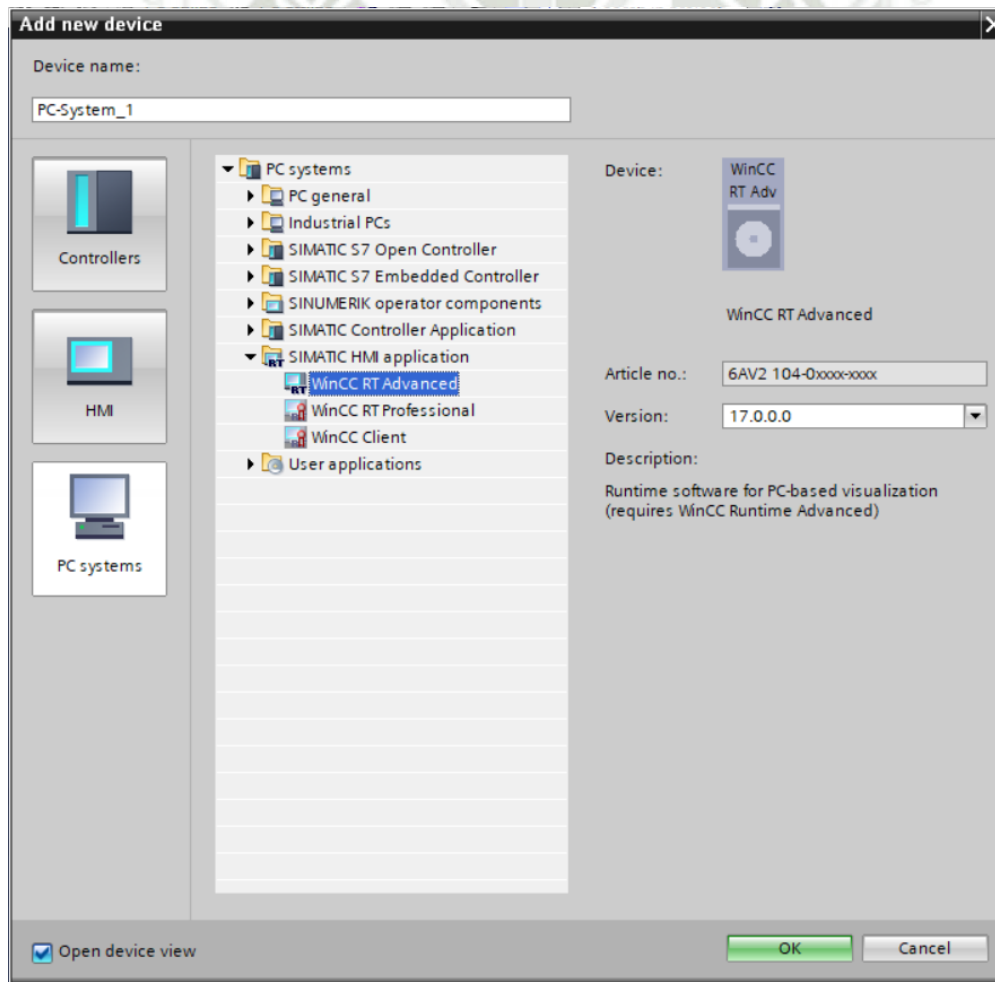
### 3.10.2. Implementación

Para trabajar con un sistema SCADA es necesario agregar esta clase de dispositivo. Para eso hacemos click en las opciones de agregar nuevo dispositivo (similar a lo que se realizó para agregar el PLC). A diferencia de cuando se agregó el PLC esta vez no elegimos las opciones de controlador sino será la opción de sistemas PC.

Entre las opciones de sistema PC se tiene WinCC RT Advanced, lo seleccionamos y agregamos este dispositivo tal y como se muestra en la **Figura 3.66**.

**Figura 3.66** Agregar nuevo dispositivo basado en PC WinCC RT Advanced

*Agregar nuevo dispositivo basado en PC WinCC RT Advanced*

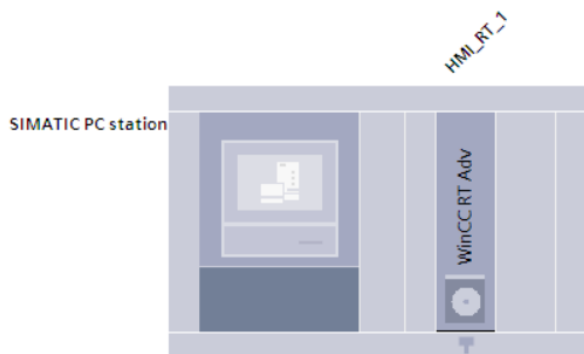


Una vez que se agrega el dispositivo podemos visualizarlo en la configuración del dispositivo, pero por si solo no podría funcionar como un Sistema SCADA vinculado al PLC

ya que es necesario especificar que la comunicación entre PLC y PC será de tipo Ethernet. Se muestra en la **Figura 3.67** el sistema PC agregado al proyecto, como observamos el único modo de comunicación que trae por defecto es de tipo serial.

**Figura 3.67**

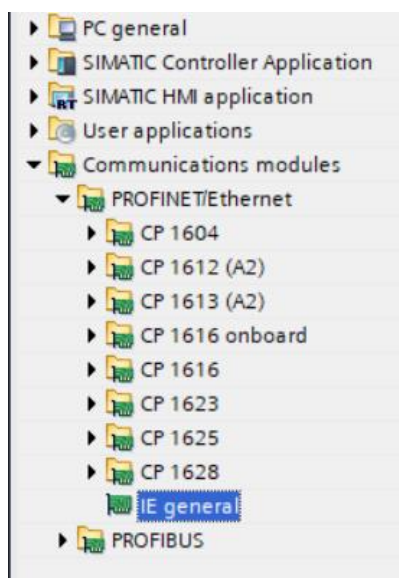
*Vista de dispositivo de sistema PC WinCC RT Advanced*



Es necesario agregar una tarjeta de comunicación Profinet IE general y agregarlo junto al dispositivo PC creado para establecer la comunicación con el PC. El módulo de comunicación IE general se encuentra en el lado derecho en la vista de dispositivos tal y como se observa en la **Figura 3.68**.

**Figura 3.68**

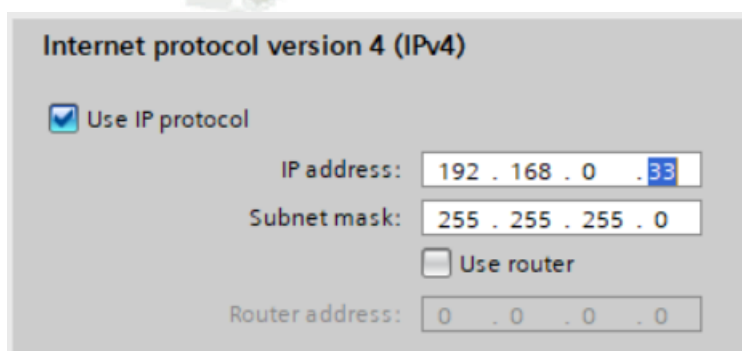
*Módulos de comunicación Profinet*



Tras agregar el módulo de comunicación a un slot junto al sistema PC creado se procede a escribir la dirección IP del módulo de comunicación, el cual debe de tener la IP donde se ejecuta el SCADA. Se hace doble click para acceder a los parámetros generales del módulo y luego se especifica la dirección IP tal y como se muestra en la **Figura 3.69**.

**Figura 3.69**

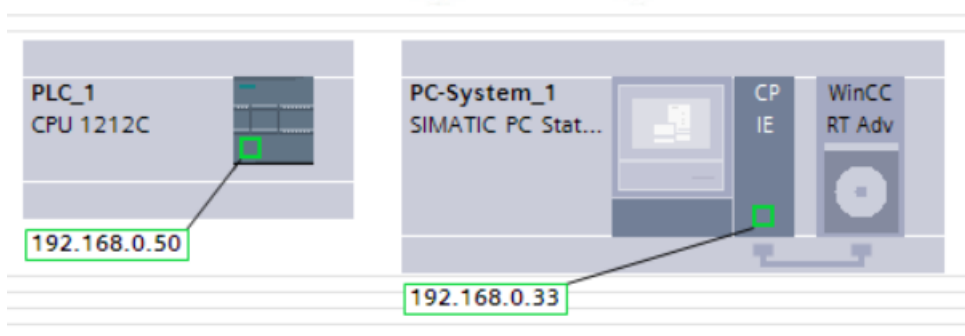
*Configurando dirección IP de módulo de comunicación*



Una vez que se ha configurado el sistema PC con la dirección IP adecuada se procede a la vista de redes en donde se puede observar la IP de cada uno de los dispositivos que se han agregado al proyecto. Se observa en la **Figura 3.70** que tanto el sistema PC como el PLC cuentan con un cuadrado de color verde, el cual hace referencia al puerto de comunicación Profinet. Mediante estos puertos se crea un enlace entre el sistema PC y el PLC.

**Figura 3.70**

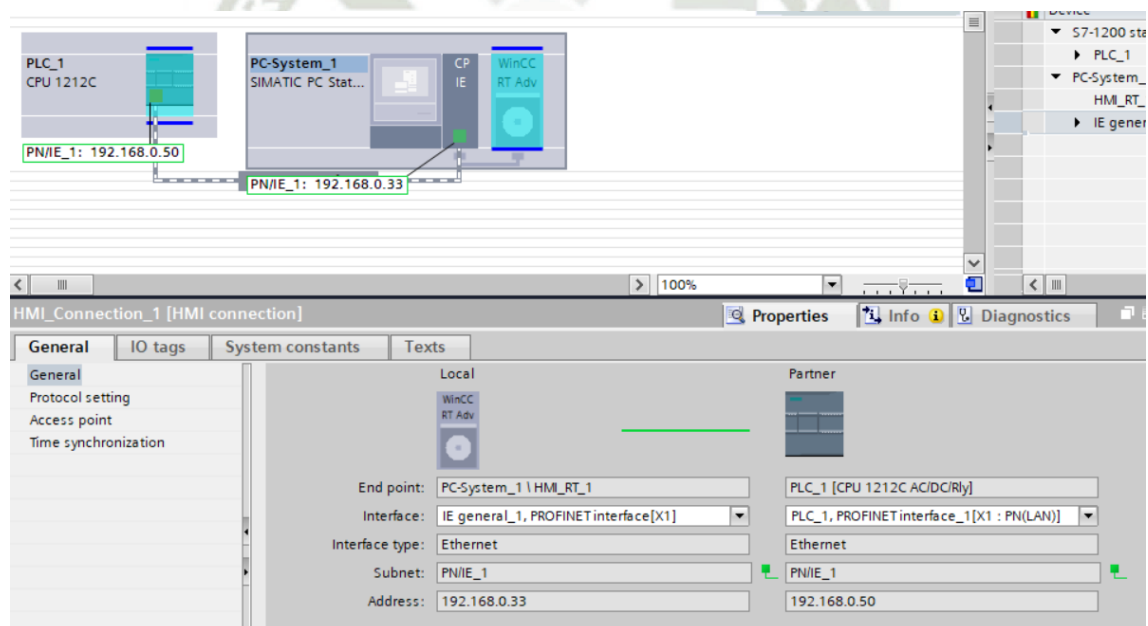
*Direcciones IP de cada dispositivo vinculado al proyecto*



Para realizar la conexión se arrastra desde un puerto y sin soltar se lo lleva al otro. Luego de hacer esta conexión ya se tendrá el sistema enlazado y lo único que quedaría hacer es sincronizar ambos sistemas al seleccionar el cable de comunicación entre los dos dispositivos y dar click en sincronizar. Se puede comprobar la comunicación de estos dispositivos ya que se genera una nueva conexión y en la parte inferior se observa que se ha establecido comunicación un sistema local. En esta parte se muestra la dirección IP, el tipo de comunicación y el nombre de cada uno de los dispositivos. Todo lo mencionado anteriormente se muestra en la **Figura 3.71**.

**Figura 3.71** Conexión via profinet con sistema PC

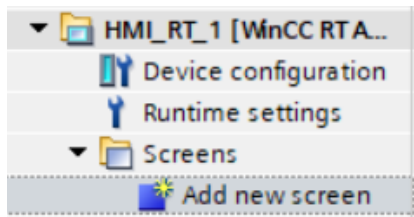
*Conexión via profinet con sistema PC*



Una vez que se ha establecido la comunicación y se han configurado los dispositivos se procede a crear una nueva pantalla para el sistema SCADA. Para esto hacemos click en el árbol de proyecto en la opción de pantallas (Screens) y luego en agregar nueva pantalla. Estas opciones descritas se muestran en la **Figura 3.72**.

**Figura 3.72**

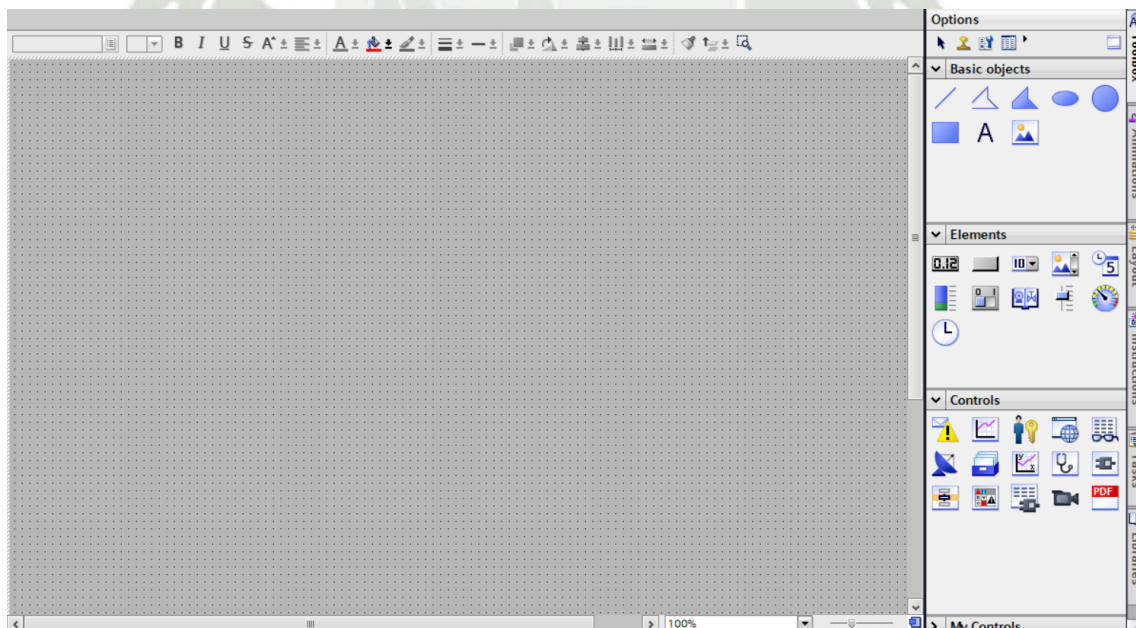
*Insertar nueva pantalla a SCADA*



Esta opción permitirá crear una nueva pantalla completamente en blanco en la cual podemos introducir todos los elementos que deseamos mostrar al usuario. Los elementos a agregar van de la mano con el tipo de variable que se tiene en el diagrama Ladder. Se pueden agregar también animaciones a cada uno de los elementos del tipo visibilidad y cambio de color. La pantalla que se crea por defecto se muestra en la **Figura 3.73**.

**Figura 3.73** Pantalla SCADA por defecto

*Pantalla SCADA por defecto*

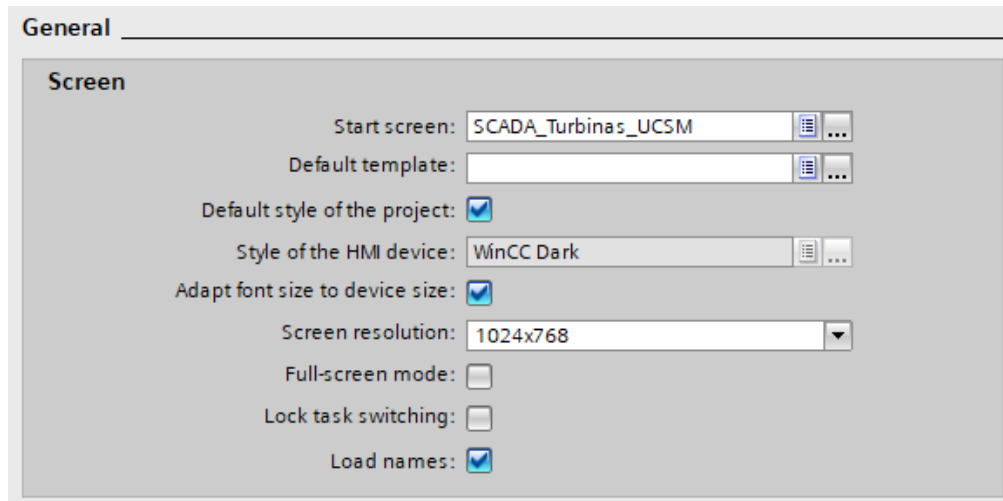


Cabe destacar que es importante también seleccionar la resolución a emplear en la pantalla. La resolución va a definir el área del espacio de trabajo y esto se escoge en base también a la resolución del monitor en donde se mostrará el sistema SCADA. Para cambiar la

resolución de la pantalla se tiene que seleccionar en el lado izquierdo la opción Runtime Settings. Esta opción abrirá una ventana como la mostrada en la **Figura 3.74**.

**Figura 3.74**

*Runtime Settings SCADA*



En la **Figura 3.74** observamos las diferentes opciones del SCADA referentes a nuestro proyecto. Lo que nos interesa de estas opciones es elegir la resolución de la pantalla y especificar también de que no se ejecute en pantalla completa. La resolución que se escoge para el sistema SCADA es de 1024 x 768 pixeles, teniendo un área de trabajo con espacio suficiente para mostrar los parámetros correspondientes al módulo.

Para la implementación del SCADA, WinCC RT Advanced nos brinda objetos básicos los cuales incluyen texto, líneas, figuras geométricas básicas y la posibilidad de agregar imágenes al proyecto. Los elementos en WinCC son aquellos que pueden vincularse a un tag del proceso para mostrar o ingresar información en casillas de texto, trabajar con sliders, mostrar imágenes en función de un tag determinado, etc.

Se usan estas herramientas del software para crear la interfaz presentada en la **Figura 3.75**.

En la interfaz observamos que se tienen dos circuitos diferentes para cada una de las turbinas Pelton y Francis respectivamente.

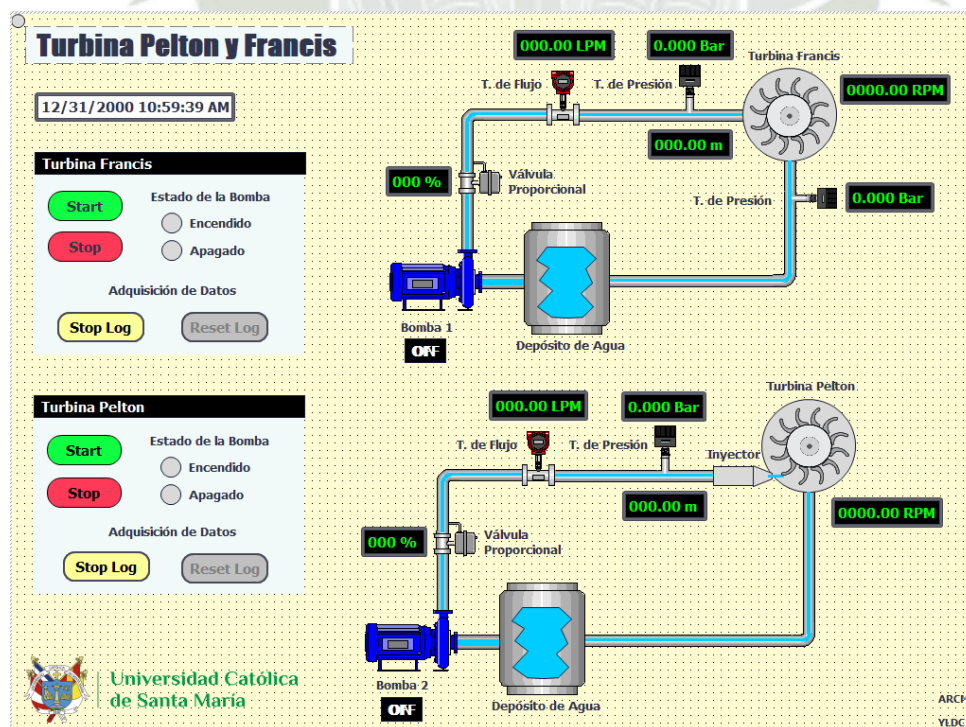
Los parámetros de cada uno de los sensores están presentados por casillas de texto con fondo negro y letras verdes, asimismo se han agregado las unidades de cada parámetro para facilitar su entendimiento.

Se han empleado también botones para encender y apagar cada una de las electrobombas. Estos botones se han ubicado al lado izquierdo del SCADA y se ha creado un panel de mando para cada una de las turbinas. De todo el SCADA presentado solamente la casilla de texto relacionada con la válvula proporcional permite ingresar datos para controlar el porcentaje de apertura de estas.

También se ha utilizado la animación de cambio de color para simular el paso de agua por las turbinas cuando estas se activan, así como también indicadores en el panel de mando haciendo referencia a luces piloto para indicar el estado de cada una de las turbinas.

**Figura 3.75** Sistema SCADA implementado

*Sistema SCADA implementado*



Para simular la rotación de la turbina se ha creado una lista de gráficos los cuales alternan las imágenes que se presentan al usuario en función del valor de cada uno de los tags que se les ha asignado. Esto se consigue implementando un script como el mostrado en la Figura 3.76.

En la primera parte del script se tiene una variable denominada TAG\_I la cual incrementa su valor de 1 en 1 cada 0.5 segundos hasta alcanzar un máximo valor de 3, momento en el cual la variable se resetea y empieza en 1.

**Figura 3.76** Script implementado para rotación de turbina

*Script implementado para rotación de turbina*

```

1 Sub VbFunction_1()
2 ' SCRIPT 1: CAMBIA EL VALOR DEL TAG_i - 1-2 Y LUEGO REPETIRLO CADA SEGUNDO
3
4 HmiRuntime.SmartTags("TAG_I") = HmiRuntime.SmartTags("TAG_I") + 1
5
6 If HmiRuntime.SmartTags("TAG_I") = 3 Then
7     HmiRuntime.SmartTags("TAG_I") = 1
8 End If
9
10 ' SCRIPT 2: CAMBIO DE IMAGEN EN FUNCIÓN DEL VALOR DEL TAG
11 If HmiRuntime.SmartTags("Francis_K1") = True Then
12     HmiRuntime.SmartTags("TAG_I1") = HmiRuntime.SmartTags("TAG_I")
13     HmiRuntime.SmartTags("TAG_I3") = HmiRuntime.SmartTags("TAG_I") - 1
14 Else HmiRuntime.SmartTags("TAG_I1") = 0
15 End If
16
17 If HmiRuntime.SmartTags("Pelton_K2") = True Then
18     HmiRuntime.SmartTags("TAG_I2") = HmiRuntime.SmartTags("TAG_I")
19 Else HmiRuntime.SmartTags("TAG_I2") = 0
20 End If
--
    
```








La segunda parte del script se tienen dos variables para cada una de las turbinas Francis y Pelton respectivamente. Estas variables toman el valor del contador de la primera parte del script siempre y cuando el valor del contacto auxiliar de los contactores sea verdadero. En el instante que ocurre esto la variable puede valer 1 o 2, en otras circunstancias en las cuales los contactores no se hayan activado entonces la variable toma el valor de 0.

Cada uno de estos valores 0, 1 o 2 representan a diferentes imágenes, las cuales como se mencionó antes fueron agregadas a una lista de gráficos. La lista de gráficos se puede crear en la opción Text and graphic lists.

Se agrega un nombre a la lista de gráficos y se asigna un valor y una imagen respectiva de manera que cuando se ejecuta el SCADA pueda mostrarse una imagen u otra. La lista de gráficos que se ha creado para el proyecto se presenta en la **Figura 3.77**.

**Figura 3.77**

*Lista de gráficos creada para el proyecto*

Graphic lists				
...	Name ▲	Selection	Comment	
	Turbina_GL	Value/Range ▼		
<Add new>				
Graphic list entries				
...	Default	Value ▲	Graphic na...	Graphic
	<input type="radio"/>	0	turbine_final	
	<input type="radio"/>	1	turbine_firs...	
	<input type="radio"/>	2	turbine_sec...	
<Add new>				

La turbina apagada se muestra con un color plomo y cuando se activan las electrobombas se muestra la turbina en color verde y alterna entre la imagen 1 y 2 con la finalidad de simular la rotación de las turbinas.

La tercera y última parte del script permite animar las tuberías con un color celeste simulando el paso del agua por estas solamente cuando se detecta un caudal superior a 0.5 LPM. Para ello se implementa una condición en la que se comprueba que exista un caudal superior a 0.5 y que además la bomba se encuentre encendida, en cualquier otro caso el color de las tuberías será plomo.

**Figura 3.78**

*Script implementado para cambiar color de tuberías*

```

21 ' SCRIPT 3: ANIMACIÓN DE MOSTRAR AGUA CUANDO SE DETECTA CAUDAL
22 If HmiRuntime.SmartTags("Francis_K1") = True And HmiRuntime.SmartTags("Real_Flow_Francis") > 0.5 Then
23     HmiRuntime.SmartTags("TAG_I3") = True
24 Else HmiRuntime.SmartTags("TAG_I3") = False
25 End If
26
27 If HmiRuntime.SmartTags("Pelton_K2") = True And HmiRuntime.SmartTags("Real_Flow_Pelton") > 0.5 Then
28     HmiRuntime.SmartTags("TAG_I4") = True
29 Else HmiRuntime.SmartTags("TAG_I4") = False
30 End If
31
32 End Sub
    
```

Para almacenar los datos del sistema es necesario configurar el apartado Historical data. En esta opción creamos 2 data logs con los nombres: Francis\_Data y Pelton\_Data. Se especifica también el tipo de archivo que se usará para el guardado de datos. En el proyecto se opta por archivo de texto cuya extensión es .txt. La frecuencia con la que se almacenan datos será de 1 segundo y en total se podrán almacenar 14400 datos lo cual nos brinda la posibilidad de registrar valores hasta un tiempo aproximado de 5 horas. La configuración mencionada se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.79** Configuración de Data Logs

Configuración de Data Logs

...	Name ^	Storage location	Data records ...	Path	Data source ...	Name of data source	Logging method
	Francis_Data	TXT file (Unicode)	14400	C:\Logs	User-defined ...		Circular log
	Pelton_Data	TXT file (Unicode)	14400	C:\Logs	User-defined ...		Circular log

Los data logs creados por si solos no guardarán ningún dato a menos que se agreguen las variables que se desean almacenar dentro de estos data logs. En la siguiente figura se muestran las variables escogidas para el data log de la turbina Francis:

**Figura 3.80**

*Tags cuyos valores se guardarán cada segundo*

Logging tags					
...	Name ▲	Process tag	Acquisition mode	Logging cycle	H
	Flow (LPM)	Real_Flow_Francis	Cyclic	1 s	
	Height (m)	Real_Height_Francis	Cyclic	1 s	
	Pressure1 (Bar)	Real_Pressure_Francis	Cyclic	1 s	
	Pressure2 (Bar)	P_Height_Esc	Cyclic	1 s	
	RPM	Francis_RPM	Cyclic	1 s	
	Valve (%)	Valve_Francis_%	Cyclic	1 s	
	<Add new>				

Para empezar a registrar estos valores se emplea el botón Start Log que se encuentra en el sistema SCADA. Estos botones de control para el log de los datos se gestionan a través de eventos que se han configurado en el sistema SCADA.

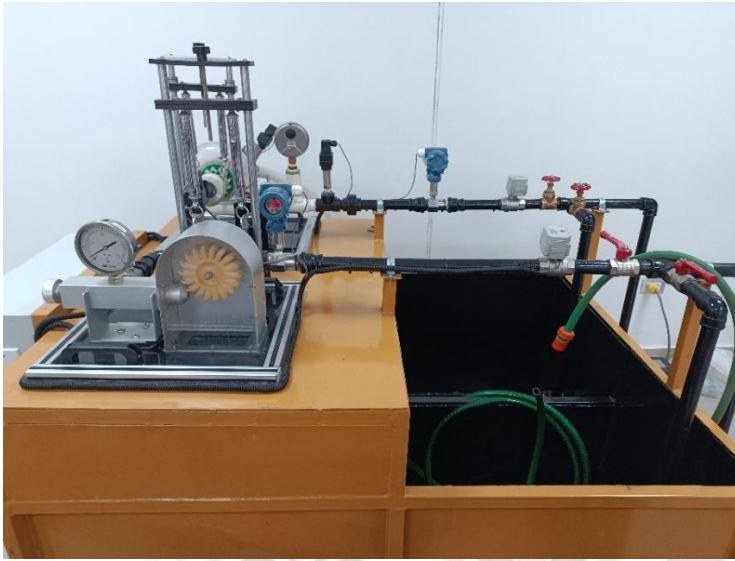
### 3.11. Ensamble Final del Módulo

Tras haber seleccionado los equipos necesarios para el proyecto y haber creado el programa necesario para el control mediante el PLC se procede a instalar el módulo.

Como ya se detalló antes los módulos de turbina Francis y Pelton se unen en uno solo para emplear un solo controlador lógico programable y así controlar ambas turbinas mediante el mismo sistema SCADA. A continuación, se presentan algunas fotos del módulo ensamblado:

**Figura 3.81**

*Vista lateral del módulo de Turbinas*



**Figura 3.82** Flujómetro instalado en tubería del módulo

*Flujómetro instalado en tubería del módulo*



Para facilitar la comunicación del módulo con el sistema SCADA se ha agregado un puerto ethernet hembra al costado derecho del tablero eléctrico tal y como se muestra en la **Figura 3.83**.

**Figura 3.83**

*Módulo de turbinas con vista al tablero*



**Figura 3.84** Transmisor de presión instalado en el módulo

*Transmisor de presión instalado en el módulo*



**Figura 3.85**

*Módulo de turbinas con puerta de tablero abierta*



El módulo ensamblado permite tener en el sistema SCADA los parámetros de flujo, presión, altura y RPM. Para entender el concepto de funcionamiento general del módulo y las variables o parámetros que intervienen en este se presenta el siguiente diagrama:

**Figura 3.86**

*Caja negra de módulo de turbinas*





## **CAPÍTULO IV**

# **PRUEBAS Y RESULTADOS**

## 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

### 4.1. Actuadores eléctricos con entrada en corriente

Una vez que se ha cableado todo el tablero eléctrico y se ha cargado el programa Ladder respectivo se prueba el sistema antes de montarlo directamente en el módulo. La prueba de los actuadores se realiza conectando un multímetro a la salida para medir y comprobar la existencia de una corriente entre 4 y 20 mA.

**Figura 4.1**

*Corriente de salida para actuadores (20mA)*



En la **Figura 4.1** se prueba la corriente de salida para las válvulas proporcionales, una vez que se verifica que la corriente sea la adecuada se procede a conectar la válvula proporcional. Este parámetro de corriente se cambia desde el Scada con el propósito de variar el grado de apertura de la válvula.

**Figura 4.2**

*Conexión de válvula proporcional a tablero*

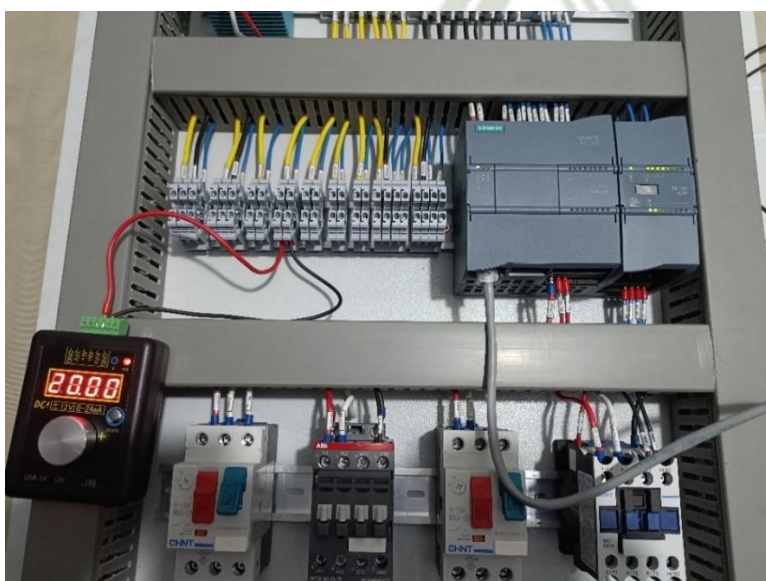


#### **4.2. Sensores con salida en corriente**

Para comprobar el funcionamiento de los sensores y realizar la calibración en software respectiva, se procede a emplear un generador de señal en corriente de 4 a 20 mA simulando así los sensores que se conectan en el proceso. Se conecta la salida del generador a cada una de las entradas disponibles para conectar los sensores y se verifica en el software los límites de medida de cada sensor.

**Figura 4.3** Prueba de sensores y calibración empleando generador de señal

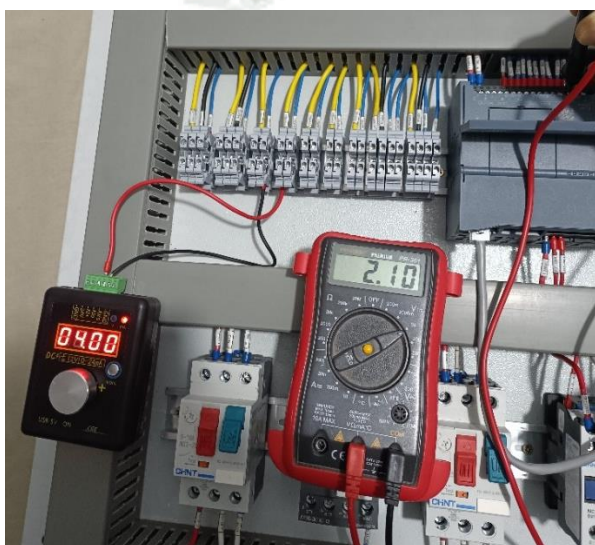
*Prueba de sensores y calibración empleando generador de señal*



Cuatro de las cinco entradas de los sensores son en corriente, en el caso de la entrada analógica en voltaje se comprueba el mínimo y máximo valor en tensión que se puede obtener con 4 y 20mA respectivamente al emplear la resistencia de 500 ohms. El resultado de las mediciones se muestra en las siguientes figuras:

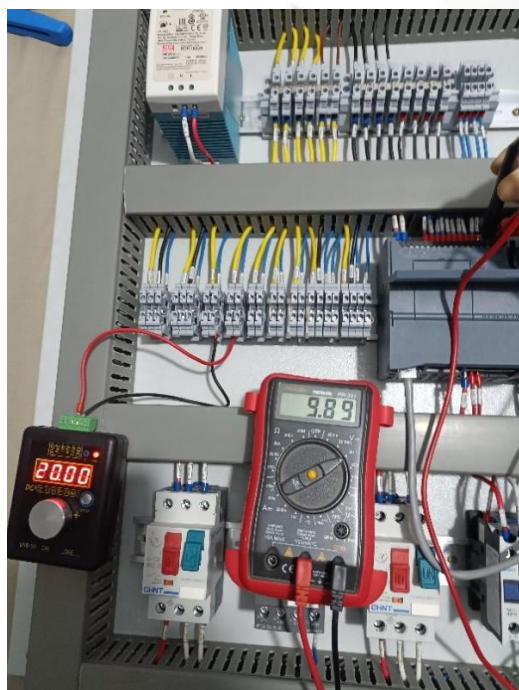
**Figura 4.4**

*Mínimo valor de tensión (2.10 voltios a 4mA)*



**Figura 4.5** Máximo valor de tensión (9.89 voltios a 20mA)

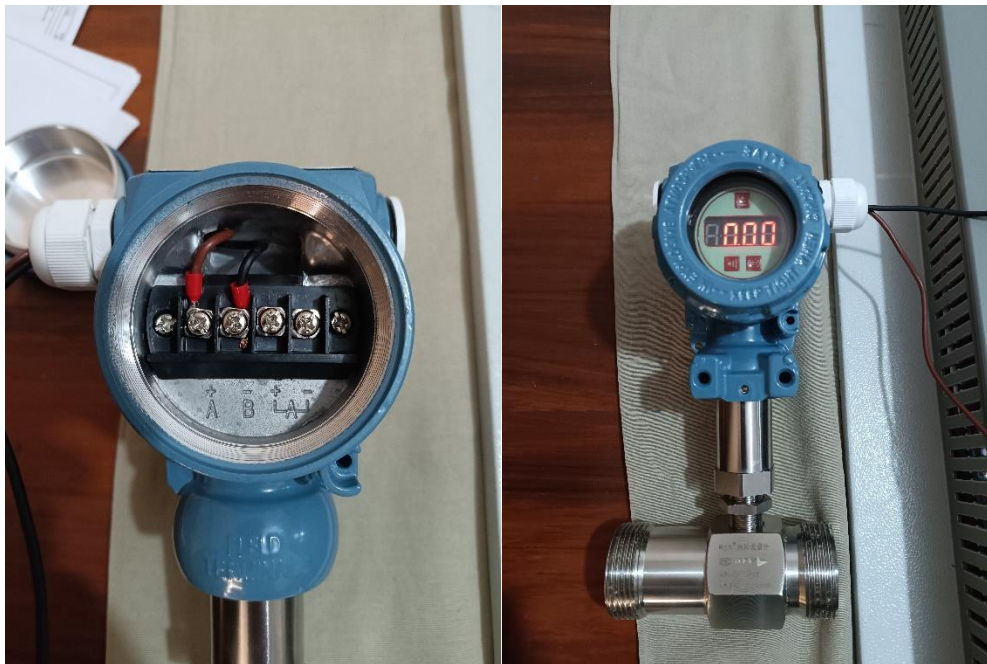
*Máximo valor de tensión (9.89 voltios a 20mA)*



En la siguiente figura se observa la conexión del sensor de flujo al tablero para verificar su funcionamiento y encendido:

**Figura 4.6**

*Sensor de flujo pruebas en tablero*

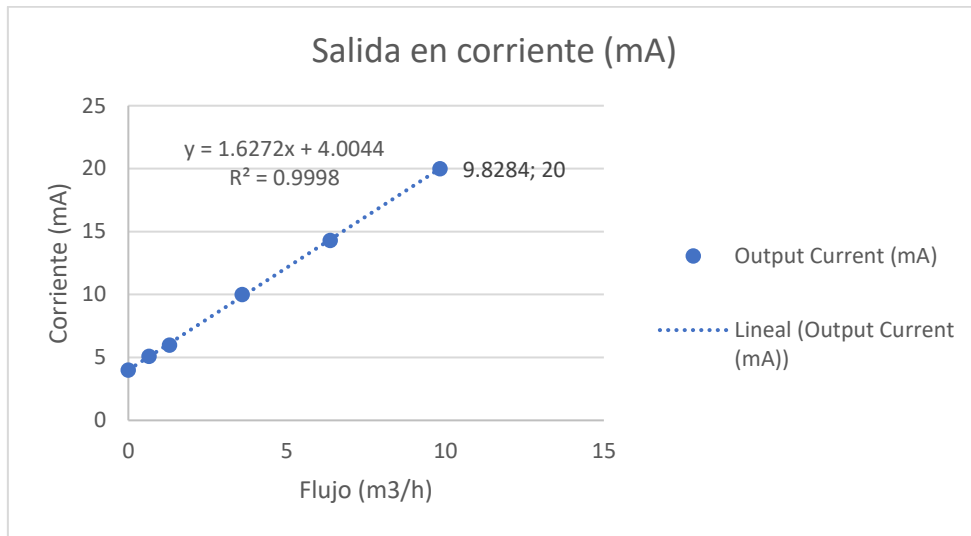


Con la finalidad de comprobar la característica lineal del sensor y su rango mínimo y máximo se realiza una prueba soplando directamente en el sensor respetando el sentido de flujo. Se obtiene el flujo, así como también la corriente de salida del sensor para cada uno de los valores de flujo.

**Tabla 11**

*Salida en corriente de sensor de flujo*

N	Q (m3/h)	Salida en corriente (mA)
1	0	4
2	0.65	5.1
3	1.3	6
4	3.59	10
5	6.37	14.3
6	9.8284	20

**Figura 4.7***Flujo vs Corriente (Flujómetro)*

Una vez que se termina de verificar el funcionamiento del tablero ya se puede montar en el módulo y colocar todos los instrumentos en el mismo. Esto con la finalidad de verificar el funcionamiento final del sistema tanto en la parte de instrumentación como en el arranque de cada una de las electrobombas.

#### 4.3. Curvas Características de las turbinas

Las curvas características de las turbinas se realizan para diferentes alturas y aperturas de los álabes. Se logra generar una base de datos mediante los instrumentos instalados en el módulo teniendo así los parámetros de Flujo, Presión, RPM y fuerzas dadas por el freno Prony. En base a estos parámetros se procede a calcular el par mecánico, potencia mecánica y eficiencia.

Para la obtención de los datos en el módulo se consideran las siguientes ecuaciones (información extraída de (Góngora Cruz & Rojas Macedo, 2019)):

**a) Par Mecánico**

El par mecánico está dado por el radio de la polea (5 cm) y multiplicado por la fuerza:

$$T = (F_1 - F_2) * R \quad (12)$$

Donde:

T: Par Mecánico (N \* m)

R: Radio de la polea (m)

F<sub>1</sub>: Fuerza de balanza lado izquierdo (N)

F<sub>2</sub>: Fuerza de balanza lado derecho (N)

**b) Potencia Hidráulica**

Representada por la siguiente ecuación:

$$P_h = \rho * g * Q * H \rightarrow P_h = \gamma * Q * H \quad (13)$$

Donde:

P<sub>h</sub>: Potencia hidráulica (W)

ρ: Densidad del fluido (1000  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  para agua)

g: Aceleración de la gravedad (9.81  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  para la tierra)

γ: Peso específico del fluido (9810  $\frac{\text{N}}{\text{m}^3}$  para agua)

Q: Caudal medido por el transmisor de flujo ( $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ )

H: Salto o altura disponible (m)

El salto o altura disponible es medida por el manómetro digital y calculado por el PLC empleando la siguiente ecuación:

$$H = \frac{P_{man}}{g * \rho} \quad (14)$$

Donde:

$P_{man}$ : Presión manométrica (Pa)

### c) **Potencia Mecánica**

Representada por la siguiente ecuación:

$$P = \omega * T \quad (15)$$

Donde:

P: Potencia Mecánica (W)

T: Par Mecánico (N \* m)

$\omega$ : Velocidad angular (rad/s)

El cálculo de la velocidad angular está dado por la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (16)$$

Donde:

N: Velocidad de Rotación (RPM)

### d) **Rendimiento**

Representada con la siguiente ecuación:

$$\eta = \rho \frac{P}{P_h} * 100 \quad (17)$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia

P: Potencia mecánica consumida por el freno Prony (W)

$P_h$ : Potencia hidráulica (W)

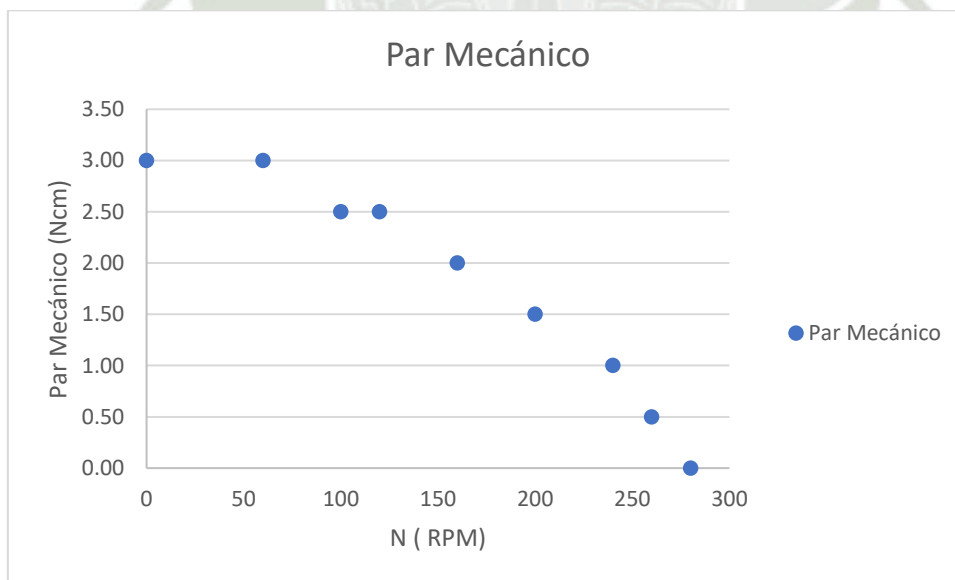
La velocidad de rotación (N) se mide mediante el uso de los sensores inductivos y su valor se puede observar directamente en el sistema SCADA. Debido a la posición de los sensores inductivos y el acceso a los ejes de las turbinas es posible emplear un tacómetro láser para determinar las RPM.

#### 4.4. Turbina Francis

##### 4.4.1. Curva Característica con $Q = 72$ LPM con apertura de álabes al 50%

**Figura 4.8** Par mecánico con apertura de 50%,  $Q = 72.49$  LPM (T. Francis)

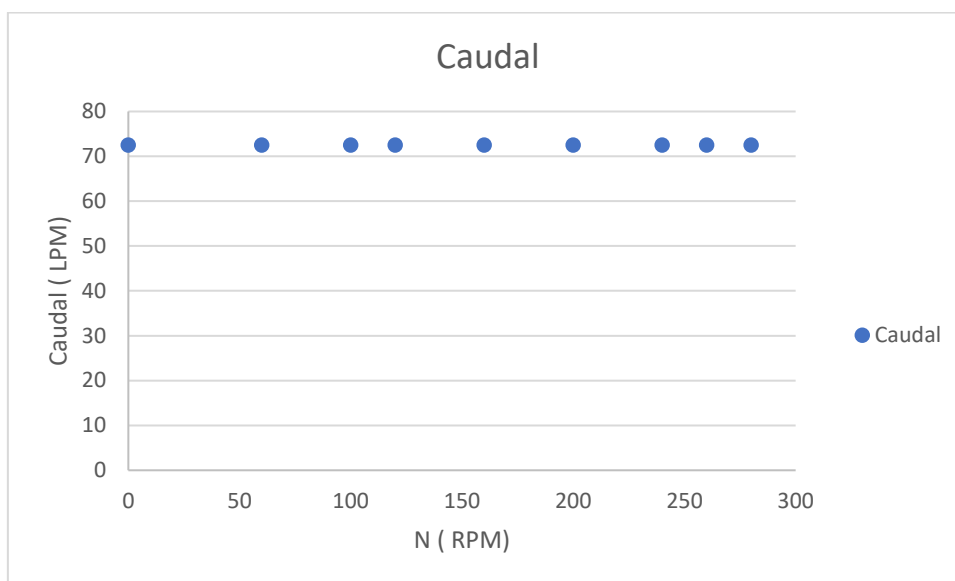
*Par mecánico con apertura de 50%,  $Q = 72.49$  LPM (T. Francis)*



En la **Figura 4.8** se muestra el par mecánico producido por un caudal de 72.49 LPM. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional lo cual sugiere que entre más rápido gira el eje de la turbina menos par mecánico se tiene.

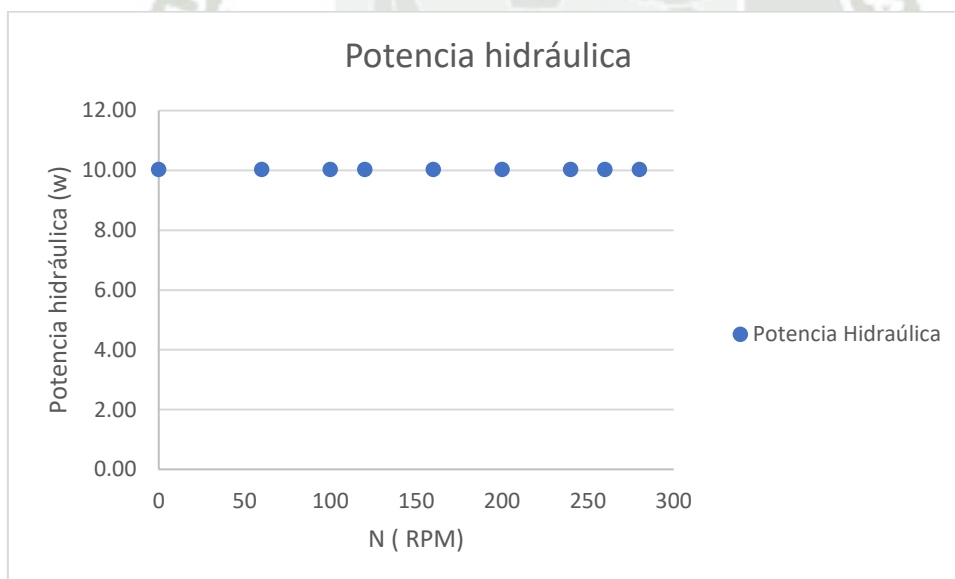
**Figura 4.9**

*Caudal con apertura de 50%,  $Q = 72.49$  LPM (T. Francis)*



**Figura 4.10** *Potencia hidráulica con apertura de 50%,  $Q = 72.49$  LPM (T. Francis)*

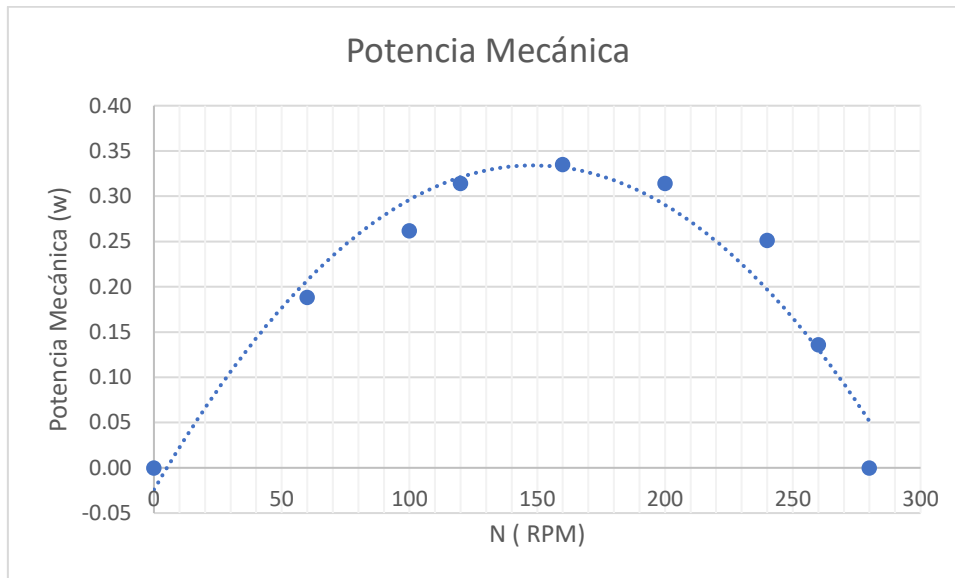
*Potencia hidráulica con apertura de 50%,  $Q = 72.49$  LPM (T. Francis)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.9** y **Figura 4.10**.

**Figura 4.11**

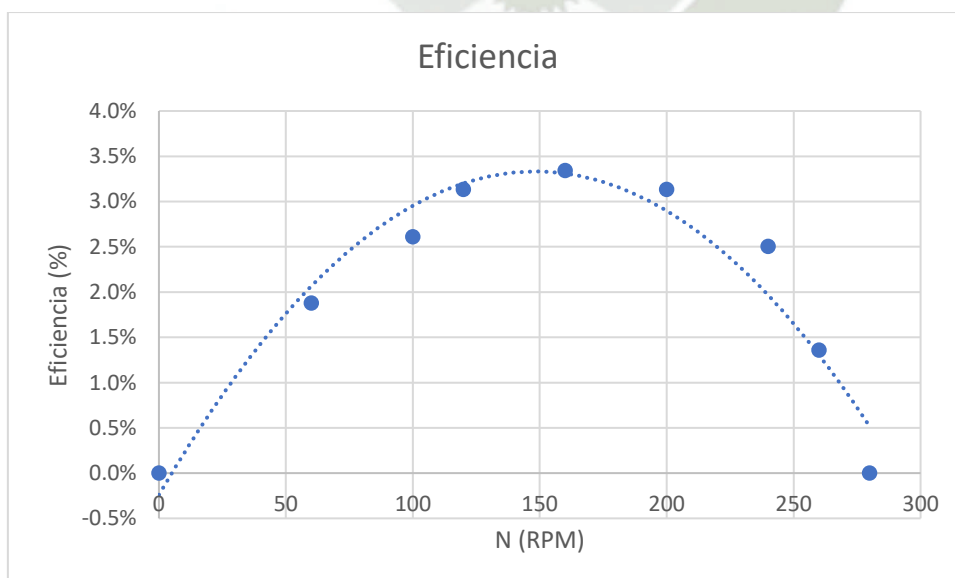
*Potencia mecánica con apertura de 50%,  $Q = 72.49$  LPM (T. Francis)*



La **Figura 4.11** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para un caudal de 72.49 LPM alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 0.35 W para 160 RPM.

**Figura 4.12** *eficiencia con apertura de 50%,  $Q = 72.49$  LPM (T. Francis)*

*Eficiencia con apertura de 50%,  $Q = 72.49$  LPM (T. Francis)*

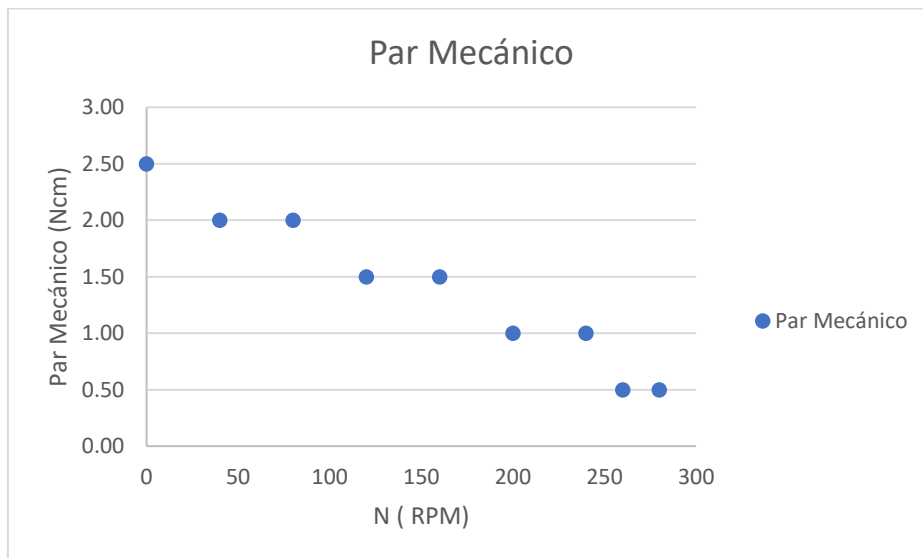


La eficiencia máxima obtenida en esta prueba es de aproximadamente 3.5% para un caudal de 72.49 LPM y una velocidad de rotación de 150 RPM tal y como muestra la **Figura 4.12**.

#### 4.4.2. Curva Característica con $Q = 72$ LPM con apertura de álabes al 75%

**Figura 4.13**

*Par mecánico con apertura de 75%,  $Q = 70.45$  LPM (T. Francis)*

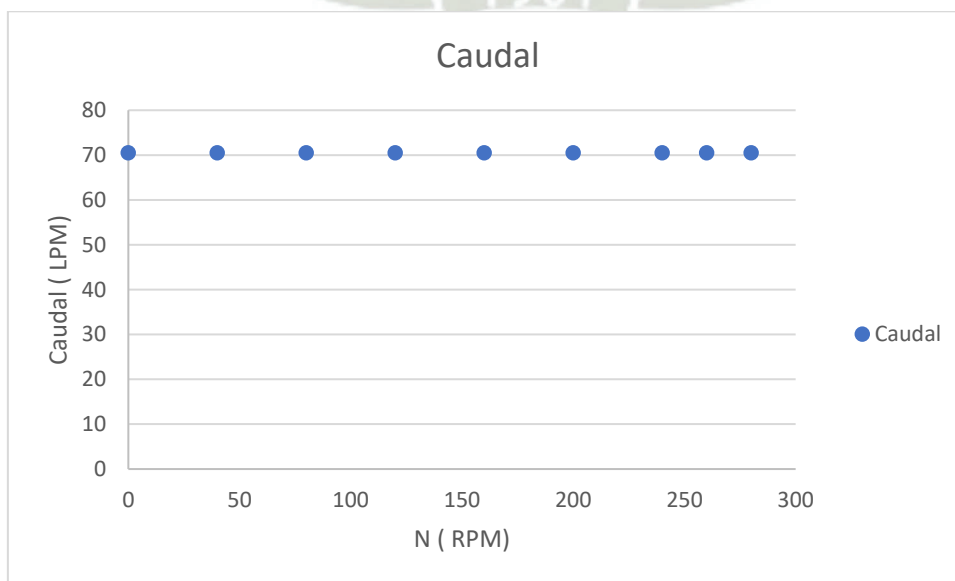


En la **Figura 4.13** se muestra el par mecánico producido por un caudal de 70.45 LPM con una apertura del 75% de los álabes de la turbina. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional, lo cual sugiere que entre más rápido gira el eje de la turbina menos par mecánico se tiene.

**Figura 4.14**

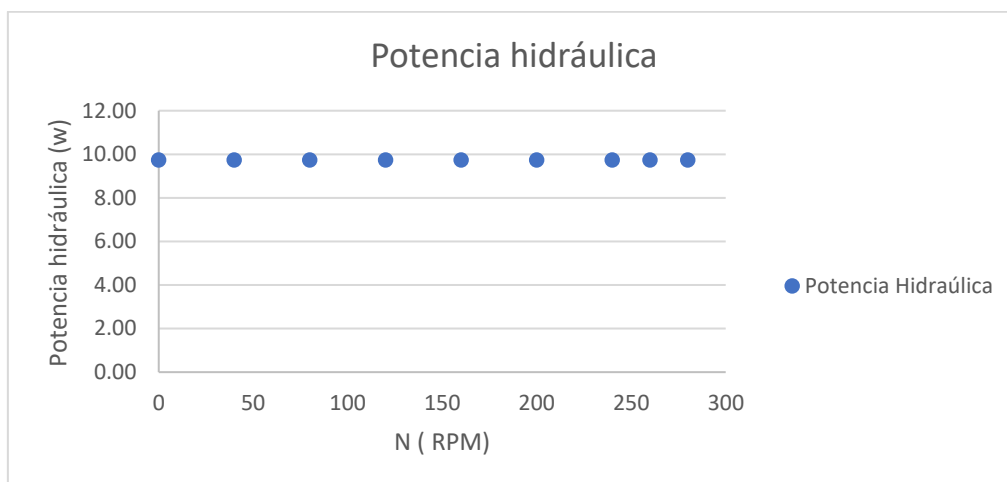
*Caudal con apertura de 75%,  $Q = 70.45$  LPM (T. Francis)*

*Caudal con apertura de 75%,  $Q = 70.45$  LPM (T. Francis)*



**Figura 4.15**

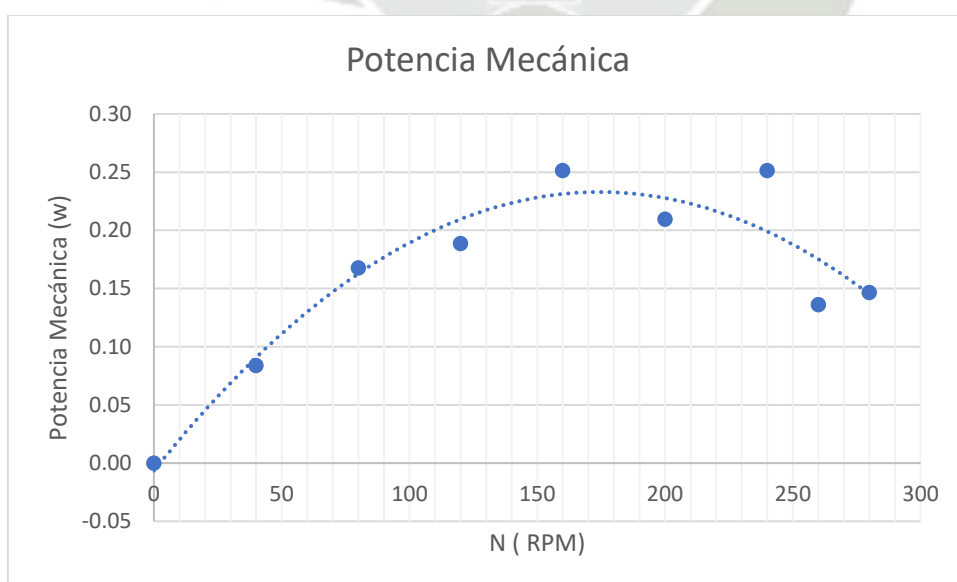
*Potencia hidráulica con apertura de 75%,  $Q = 70.45$  LPM (T. Francis)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.14** y **Figura 4.15**.

**Figura 4.16** Par mecánico con apertura de 75%,  $Q = 70.45$  LPM (T. Francis)

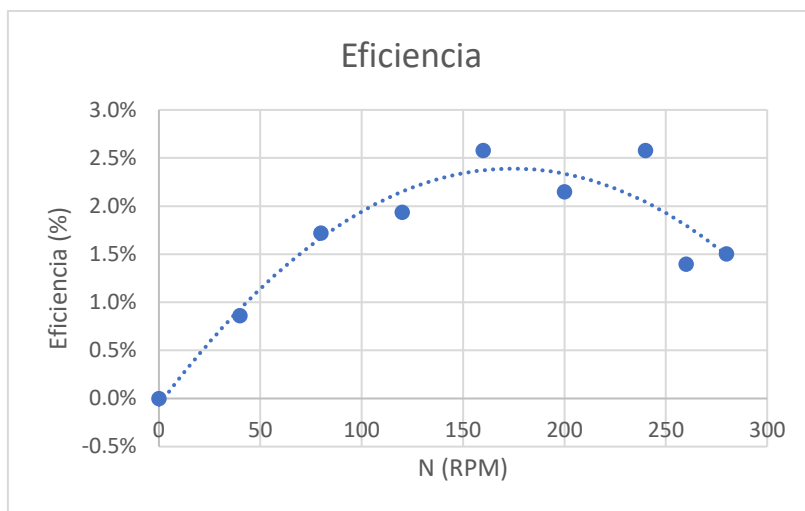
Par mecánico con apertura de 75%,  $Q = 70.45$  LPM (T. Francis)



La **Figura 4.16** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para un caudal de 70.45 LPM alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 0.25 W para 160 RPM.

**Figura 4.17**

*Eficiencia con apertura de 75%,  $Q = 70.45$  LPM (T. Francis)*

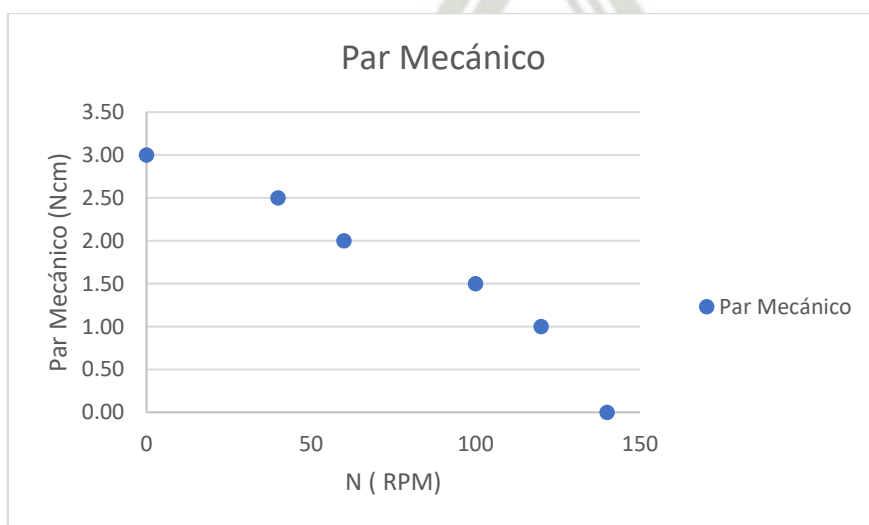


La eficiencia máxima obtenida en esta prueba es de aproximadamente 2.5% para un caudal de 70.45 LPM y una velocidad de rotación de 175 RPM tal y como muestra la **Figura 4.17**.

#### 4.4.3. Curva Característica con $Q = 72$ LPM con apertura de álabes al 100%

**Figura 4.18**

*Par mecánico con apertura de 100%,  $Q = 71.33$  LPM (T. Francis)*

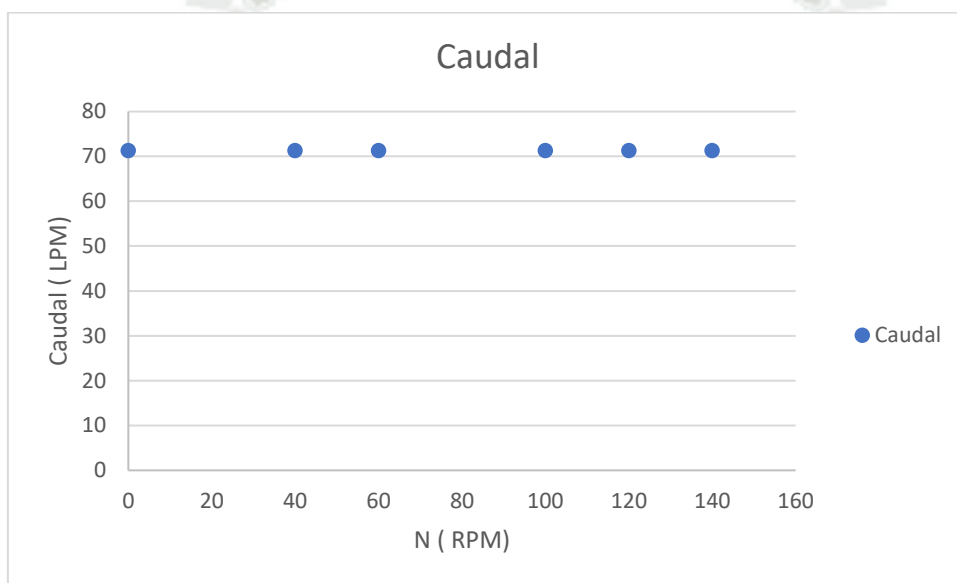


En la **Figura 4.18** ~~Figura 4.8~~ se tiene el par mecánico generado por un caudal de 71.33 LPM.

Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional, es decir, que cuando las revoluciones por minuto aumentan el par mecánico se reduce y viceversa.

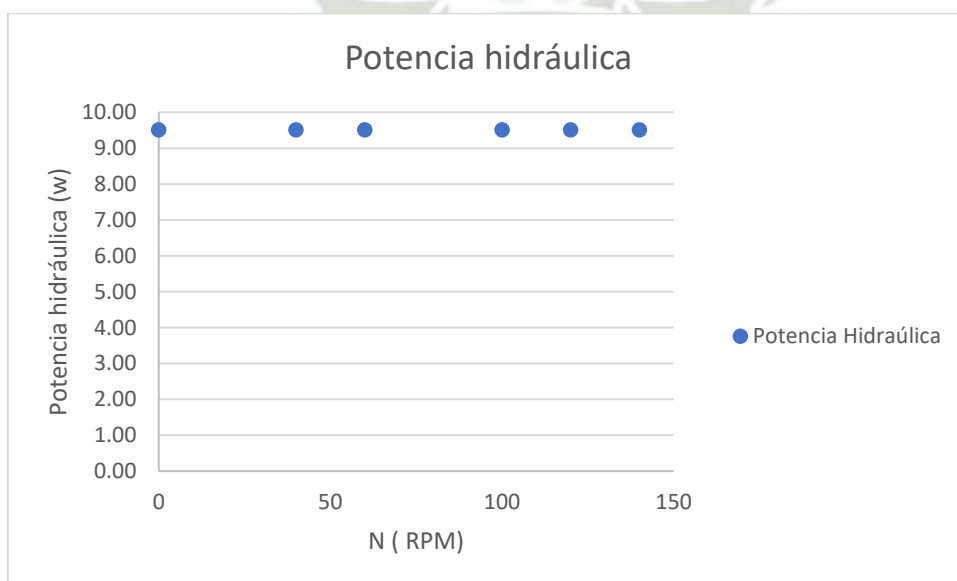
**Figura 4.19**

*Caudal con apertura de 100%,  $Q = 71.33$  LPM (T. Francis)*



**Figura 4.20**

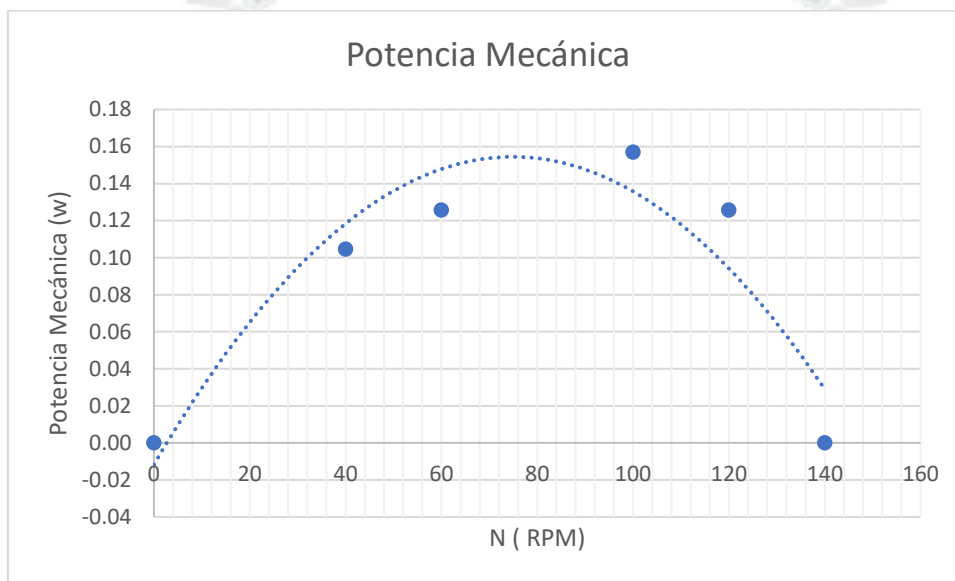
*Potencia hidráulica con apertura de 100%,  $Q = 71.33$  LPM (T. Francis)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.19** y **Figura 4.20**.

### Figura 4.21

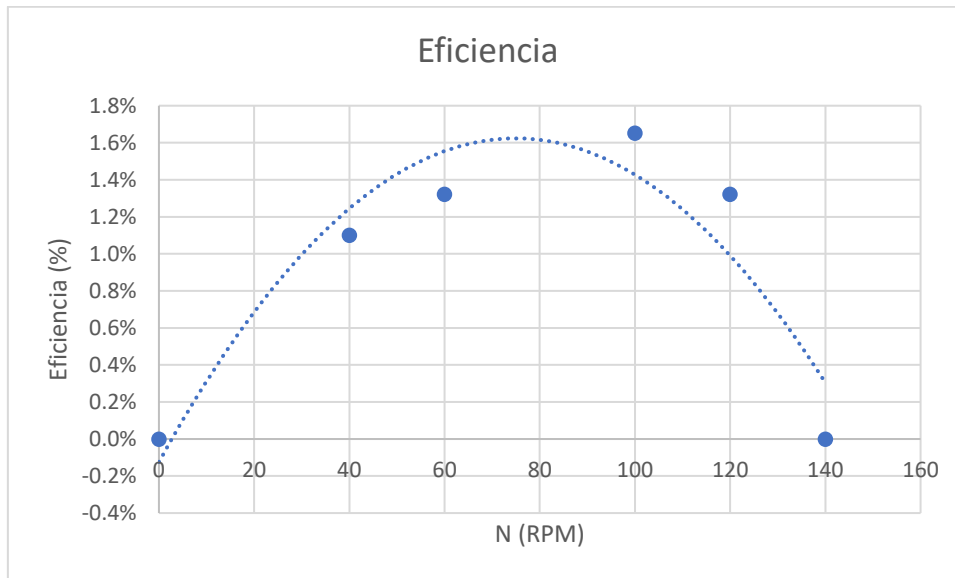
*Potencia mecánica con apertura de 100%,  $Q = 71.33$  LPM (T. Francis)*



La **Figura 4.21** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para un caudal de 71.33 LPM alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 0.16 W para 75 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.22**

*Eficiencia con apertura de 100%,  $Q = 71.33$  LPM (T. Francis)*

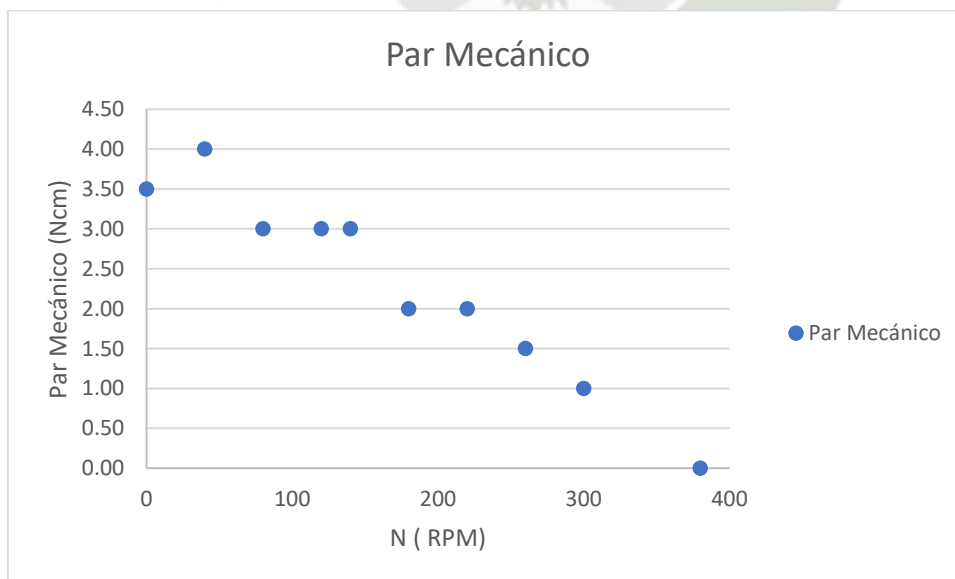


La eficiencia máxima obtenida en esta prueba es de aproximadamente 1.6% para un caudal de 71.33 LPM y una velocidad de rotación de 72 RPM tal y como muestra la **Figura 4.22**.

#### 4.4.4. Curva Característica con $Q = 82$ LPM con apertura de álabes al 50%

**Figura 4.23** Par mecánico con apertura de 50%,  $Q = 86.99$  LPM (T. Francis)

*Par mecánico con apertura de 50%,  $Q = 86.99$  LPM (T. Francis)*

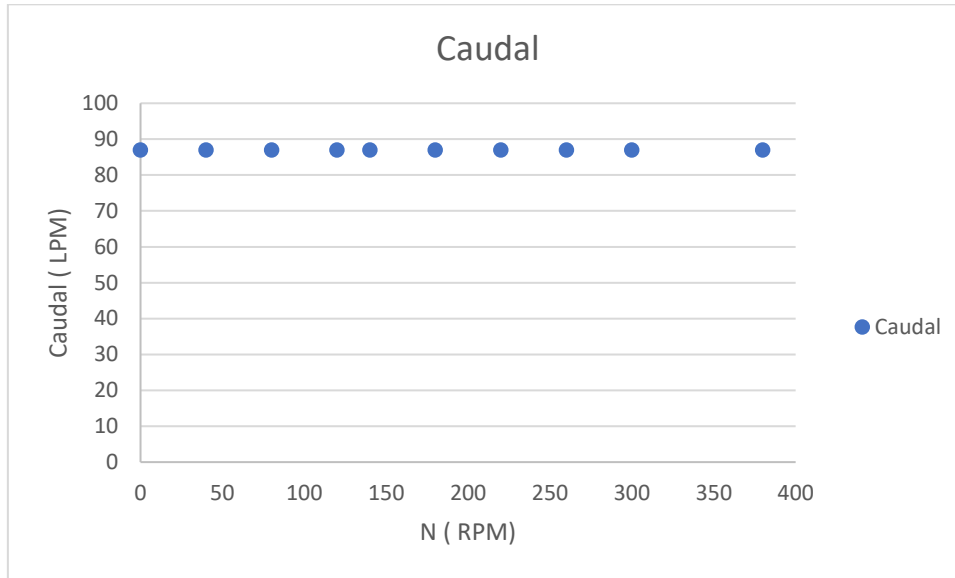


En la **Figura 4.23** se muestra el par mecánico producido por un caudal de 86.99 LPM. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente

proporcional lo cual sugiere que entre más rápido gira el eje de la turbina menos par mecánico se tiene.

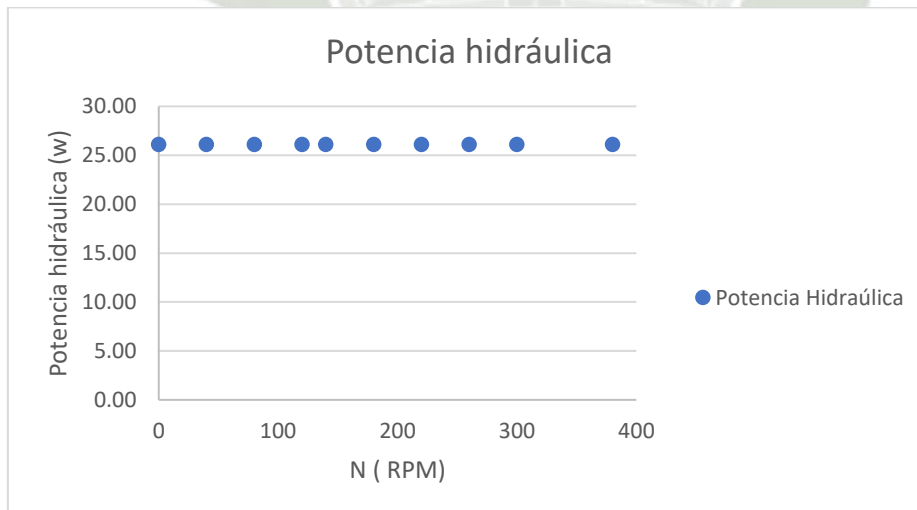
**Figura 4.24**

*Caudal con apertura de 50%,  $Q = 86.99$  LPM (T. Francis)*



**Figura 4.25** *Potencia hidráulica con apertura de 50%,  $Q = 86.99$  LPM (T. Francis)*

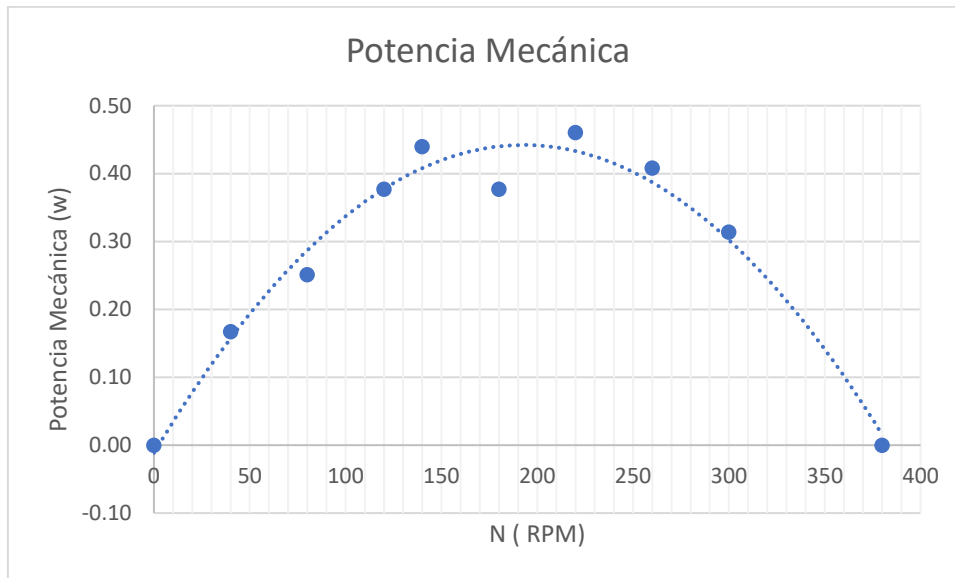
*Potencia hidráulica con apertura de 50%,  $Q = 86.99$  LPM (T. Francis)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.24** y **Figura 4.25**.

**Figura 4.26**

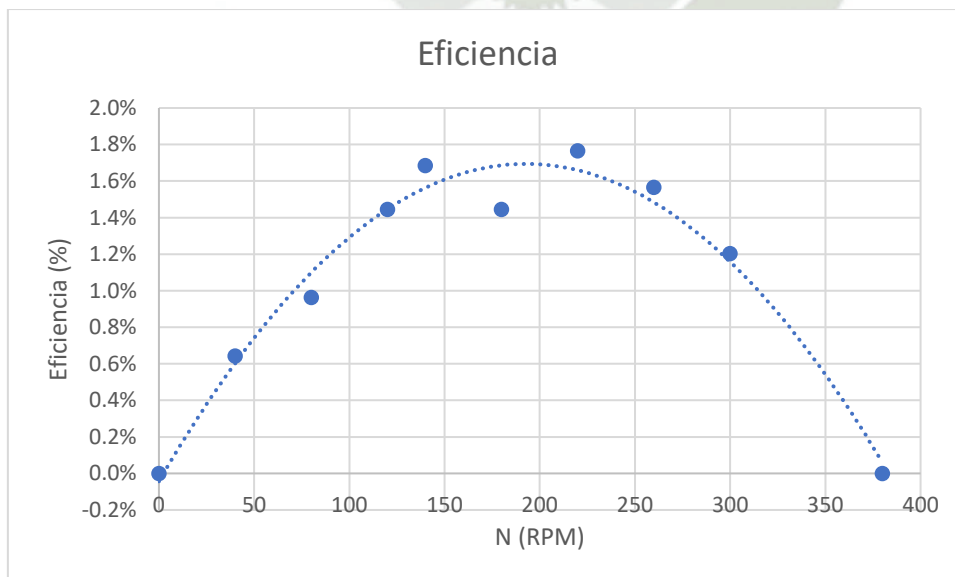
*Potencia mecánica con apertura de 50%,  $Q = 86.99$  LPM (T. Francis)*



La **Figura 4.26** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para un caudal de 86.99 LPM alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 0.45 W para 190 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.27** *eficiencia con apertura de 50%,  $Q = 86.99$  LPM (T. Francis)*

*Eficiencia con apertura de 50%,  $Q = 86.99$  LPM (T. Francis)*

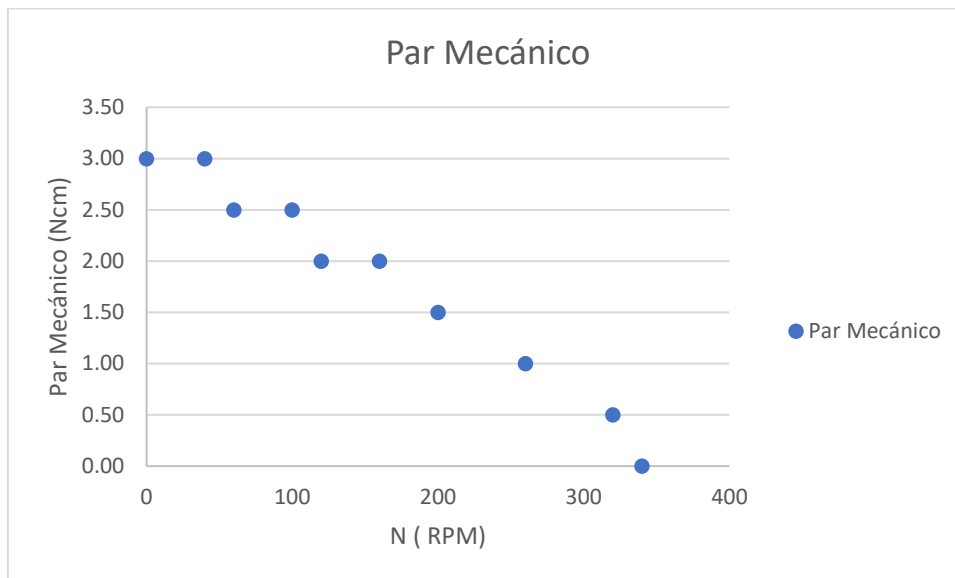


La eficiencia máxima obtenida en esta prueba es de aproximadamente 1.7% para un caudal de 86.99 LPM y una velocidad de rotación de 185 RPM tal y como muestra la **Figura 4.27**.

#### 4.4.5. Curva Característica con $Q = 82 \text{ LPM}$ con apertura de álabes al 75%

**Figura 4.28**

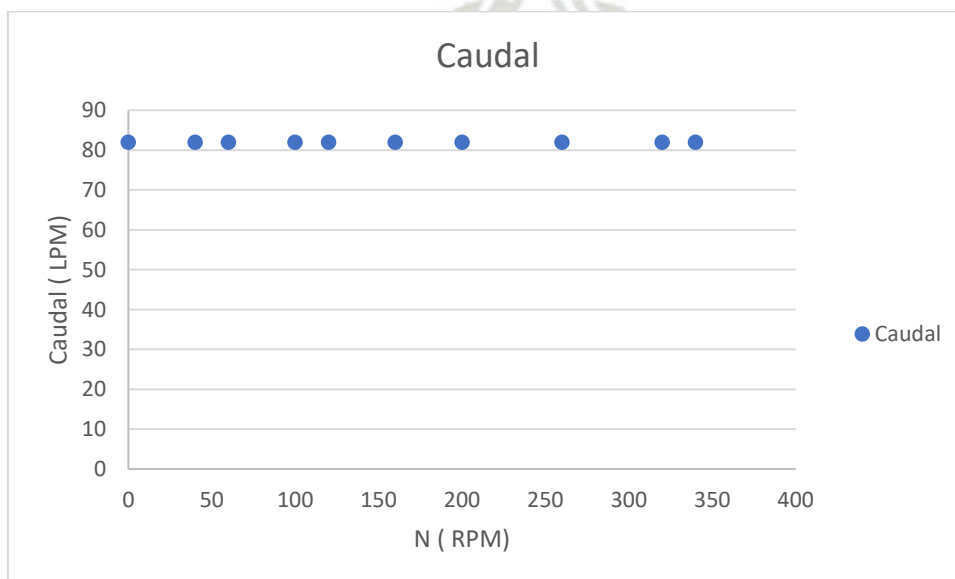
*Par mecánico con apertura de 75%,  $Q = 82.02 \text{ LPM}$  (T. Francis)*



La **Figura 4.28** muestra el par mecánico generado por un caudal de  $82.02 \text{ LPM}$  para distintos valores de RPM y una apertura de los álabes al 75%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional, es decir, que cuando uno aumenta el otro disminuye y viceversa.

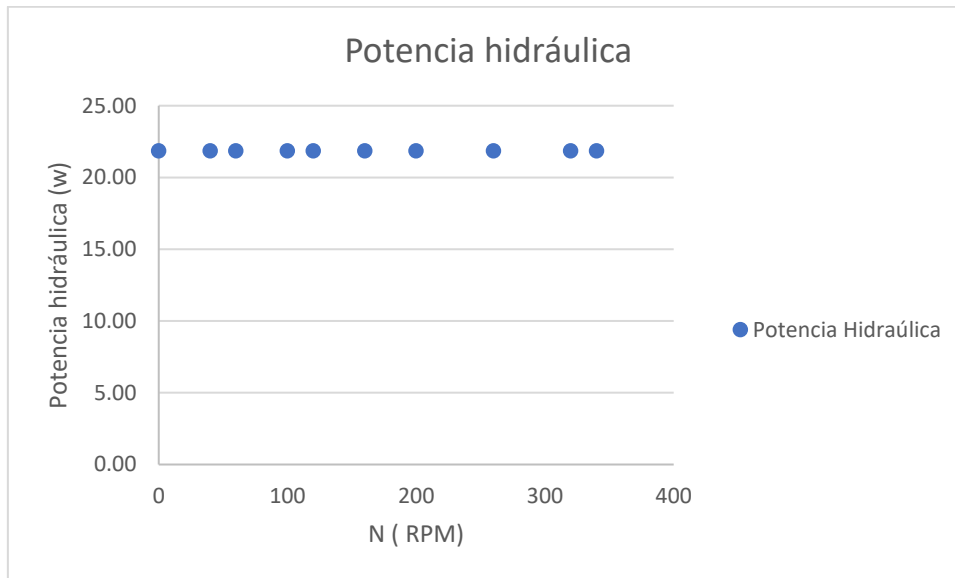
**Figura 4.29**

*Caudal con apertura de 75%,  $Q = 82.02 \text{ LPM}$  (T. Francis)*



**Figura 4.30**

*Potencia hidráulica con apertura de 75%,  $Q = 82.02$  LPM (T. Francis)*

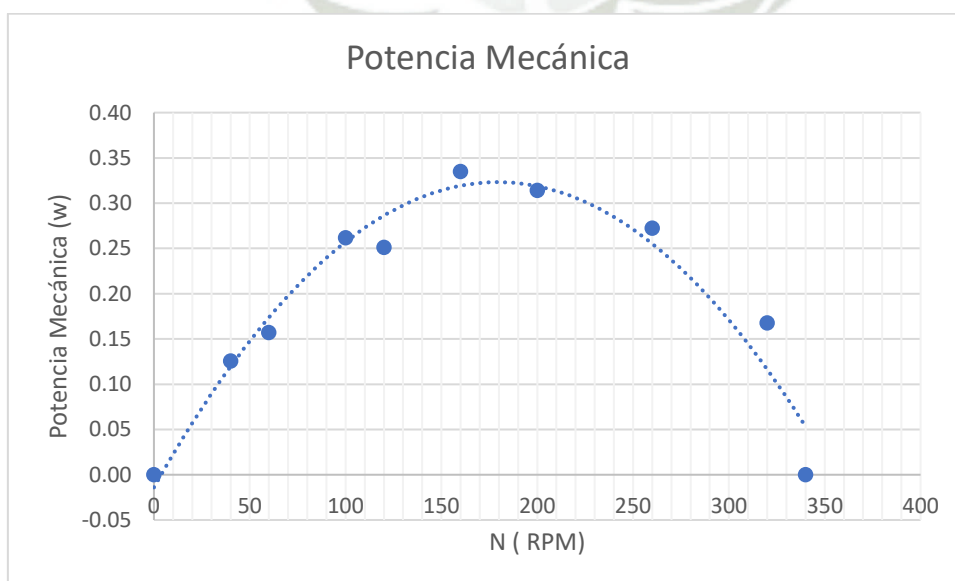


Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.29** y **Figura 4.30**.

**Figura 4.31**

*Potencia mecánica con apertura de 75%,  $Q = 82.02$  LPM (T. Francis)*

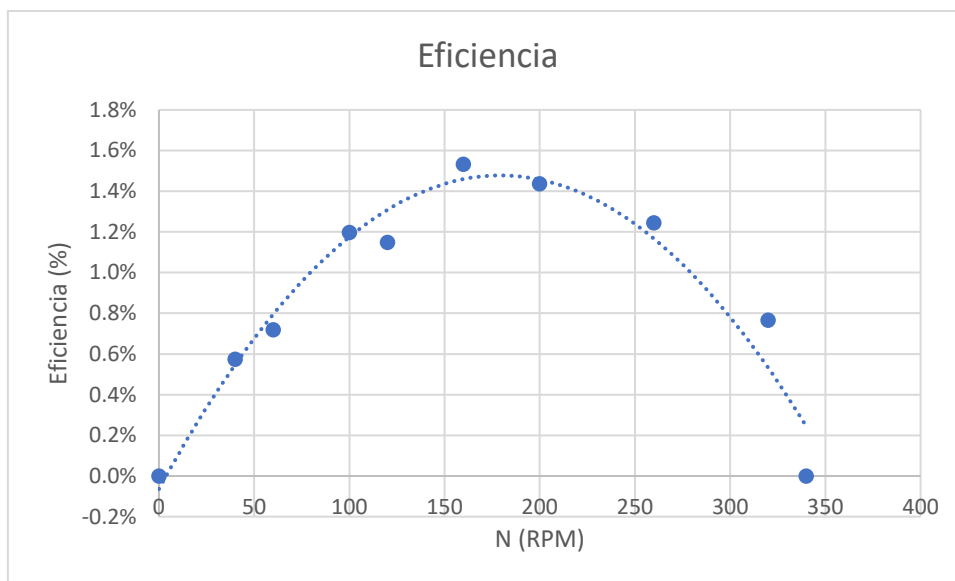
*Potencia mecánica con apertura de 75%,  $Q = 82.02$  LPM (T. Francis)*



La **Figura 4.31** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para un caudal de 82.02 LPM alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 0.33 W para 180 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

### Figura 4.32

*Eficiencia con apertura de 75%,  $Q = 82.02$  LPM (T. Francis)*

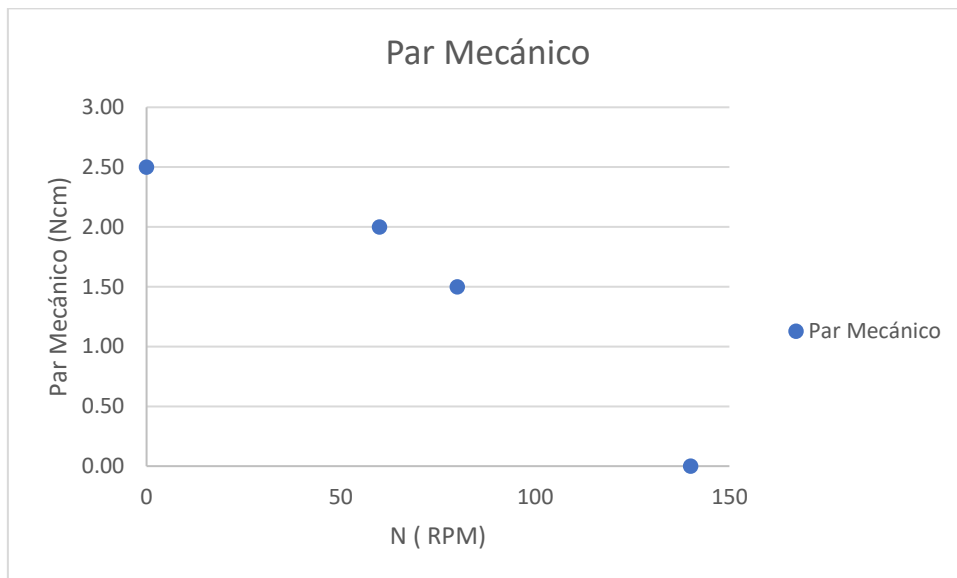


La eficiencia máxima obtenida en esta prueba es de aproximadamente 1.5% para un caudal de 82.02 LPM y una velocidad de rotación de 170 RPM tal y como muestra la **Figura 4.32**.

#### 4.4.6. Curva Característica con $Q = 82$ LPM con apertura de álabes al 100%

**Figura 4.33**

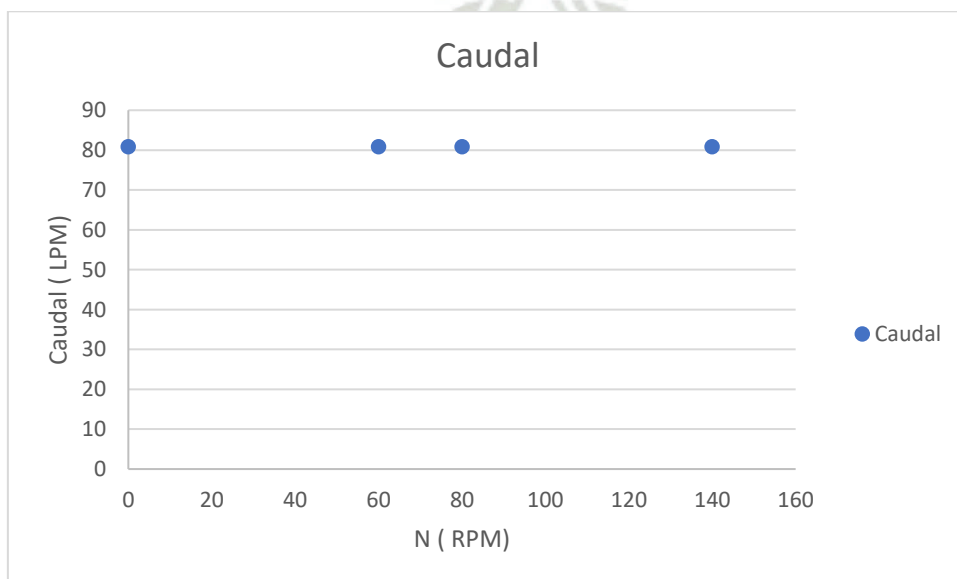
*Par mecánico con apertura de 100%,  $Q = 80.84$  LPM (T. Francis)*



La **Figura 4.33** muestra el par mecánico producido por un caudal de 80.84 LPM para una apertura de los álabes de la turbina al 100%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional, lo cual sugiere que entre más lento gire el eje de la turbina, mayor par mecánico se tendrá.

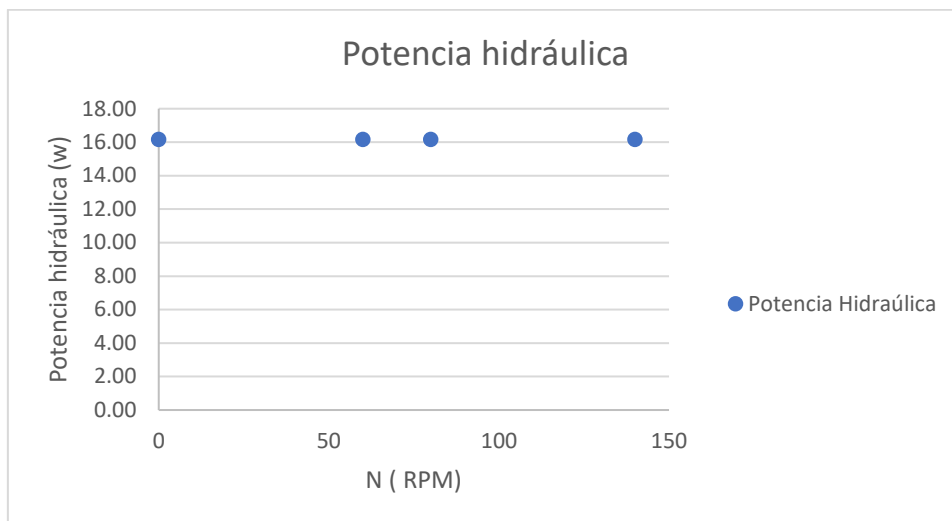
**Figura 4.34**

*Caudal con apertura de 100%,  $Q = 80.84$  LPM (T. Francis)*



**Figura 4.35**

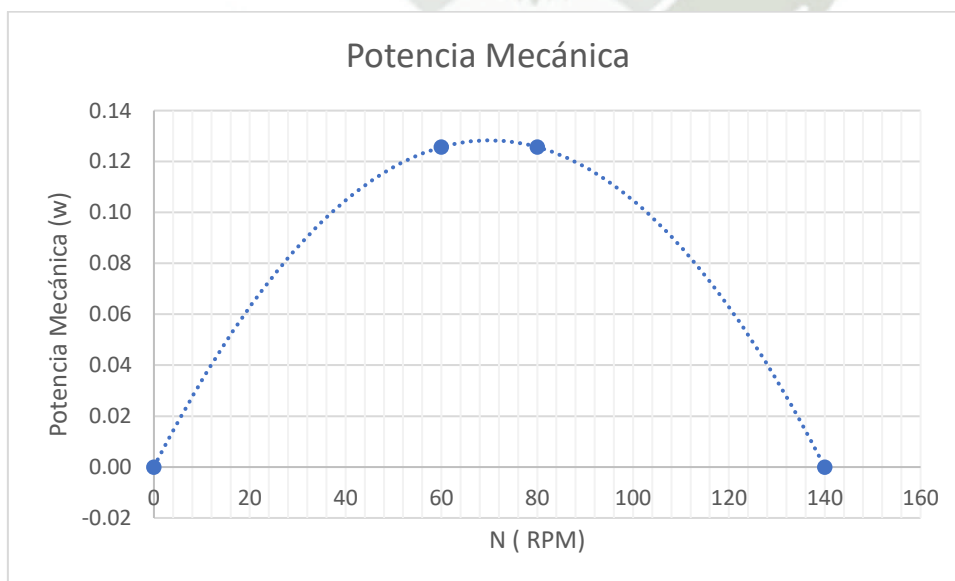
*Potencia hidráulica con apertura de 100%,  $Q = 80.84$  LPM (T. Francis)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.34** y **Figura 4.35**.

**Figura 4.36** *Potencia mecánica con apertura de 100%,  $Q = 80.84$  LPM*

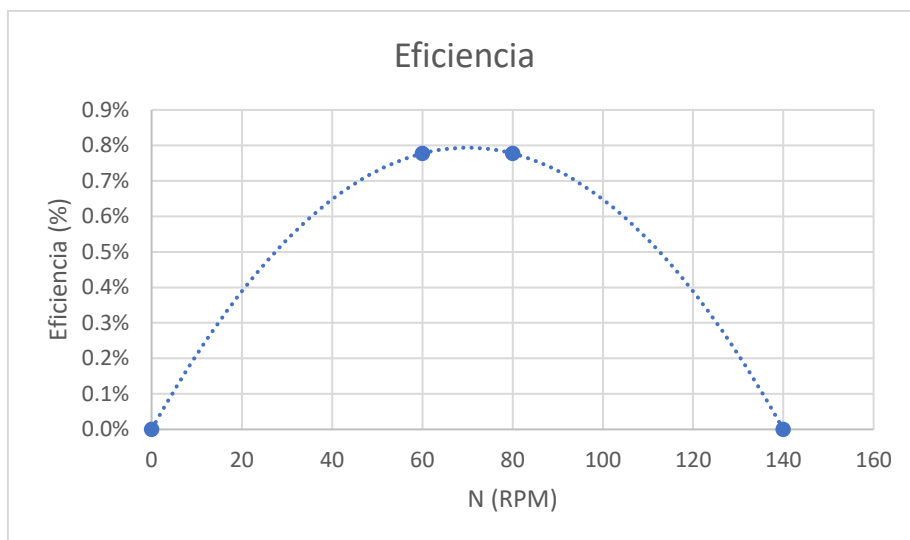
*Potencia mecánica con apertura de 100%,  $Q = 80.84$  LPM (T. Francis)*



La **Figura 4.36** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para un caudal de 80.84 LPM alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 0.13 W para 70 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.37**

*Eficiencia con apertura de 100%,  $Q = 80.84$  LPM (T. Francis)*

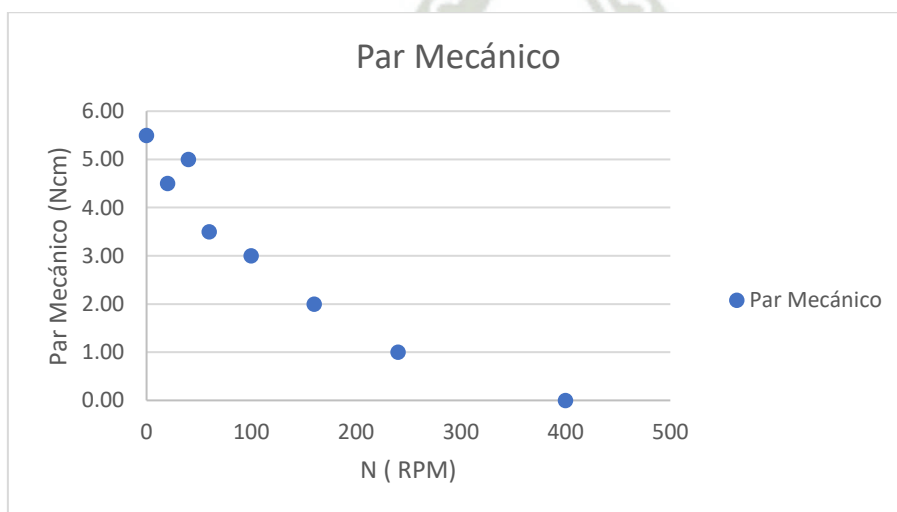


La eficiencia máxima obtenida en esta prueba es de aproximadamente 0.8% para un caudal de 80.84 LPM y una velocidad de rotación de 70 RPM tal y como muestra la **Figura 4.37**.

**4.4.7. Curva Característica con  $Q = 98$  LPM con apertura de álabes al 50%**

**Figura 4.38** *Característica mecánica con apertura de 50%,  $Q = 97.9$  LPM*

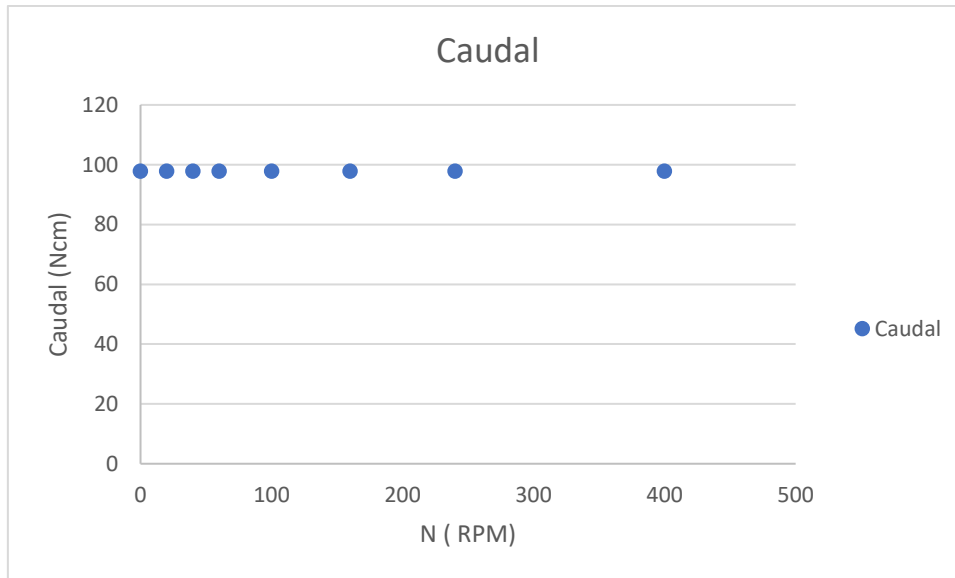
*Par mecánico con apertura de 50%,  $Q = 97.9$  LPM (T. Francis)*



La **Figura 4.38** presenta el par mecánico generado por un caudal de 97.9 LPM. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional lo cual sugiere que entre más rápido gira el eje de la turbina menos par mecánico se tiene.

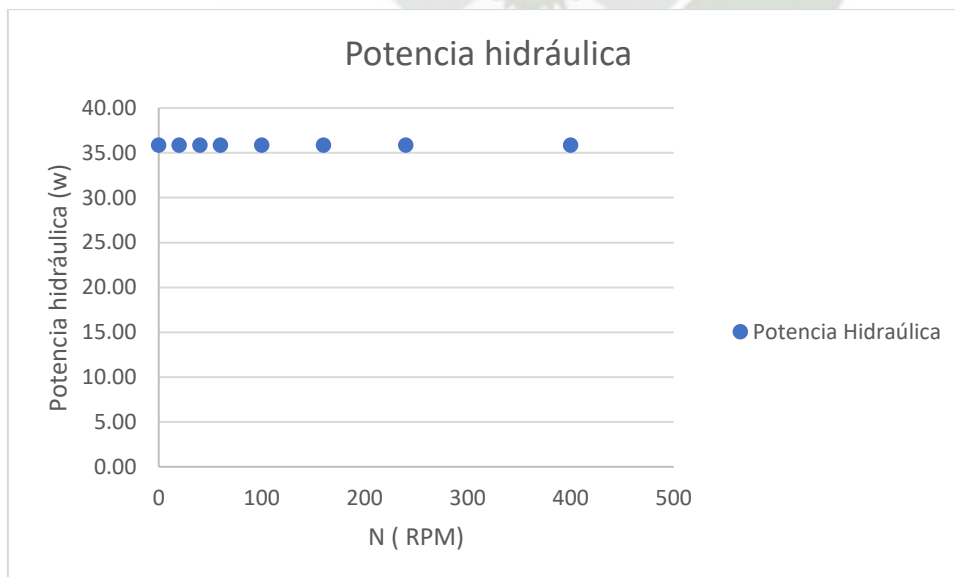
**Figura 4.39**

*Caudal con apertura de 50%,  $Q = 97.9$  LPM (T. Francis)*



**Figura 4.40** *Potencia hidráulica con apertura de 50%,  $Q = 97.9$  LPM (T. Francis)*

*Potencia hidráulica con apertura de 50%,  $Q = 97.9$  LPM (T. Francis)*

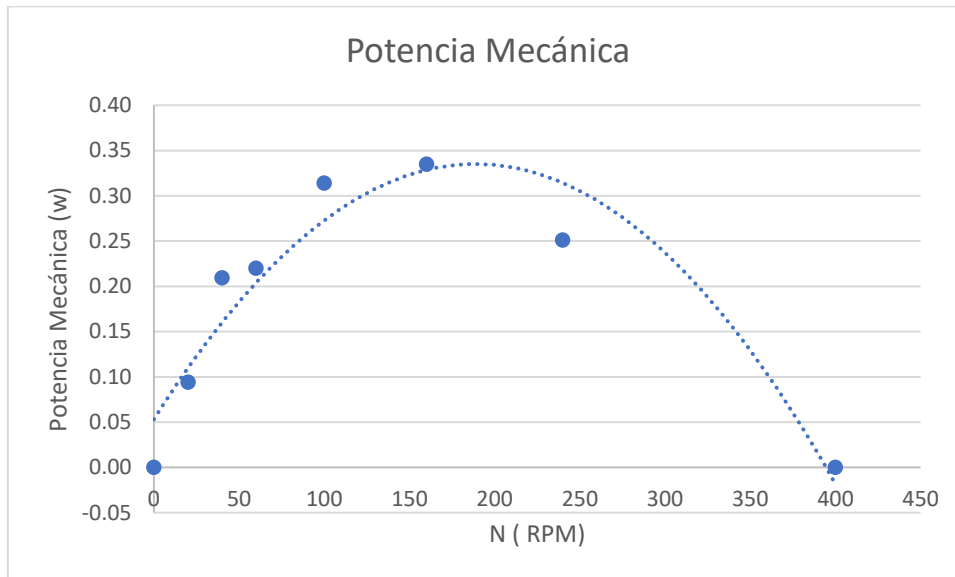


Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta

razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.39** y **Figura 4.40**.

**Figura 4.41**

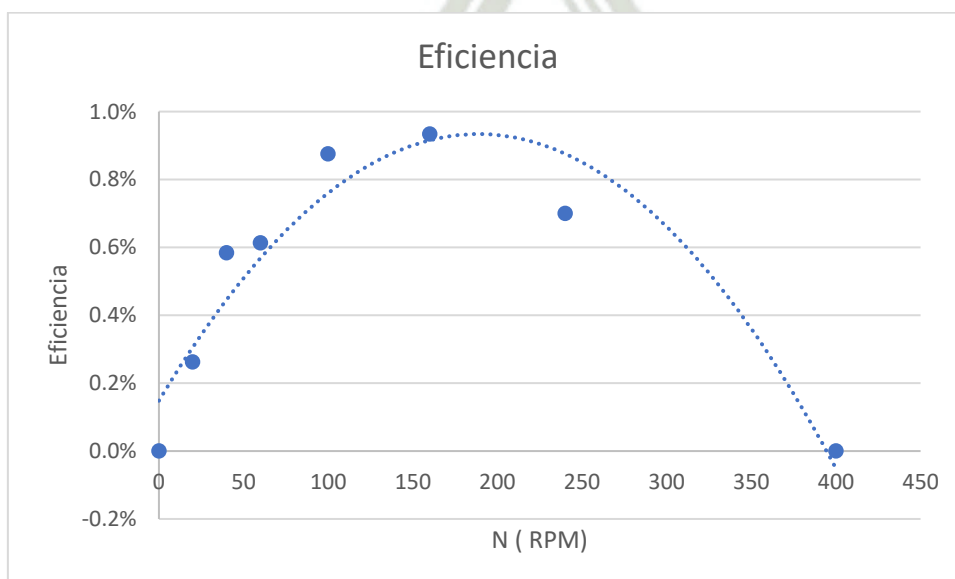
Potencia mecánica con apertura de 50%,  $Q = 97.9$  LPM (T. Francis)



La **Figura 4.41** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para un caudal de 97.9 LPM alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 0.34 W para 200 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.42**

Eficiencia con apertura de 50%,  $Q = 97.9$  LPM (T. Francis)

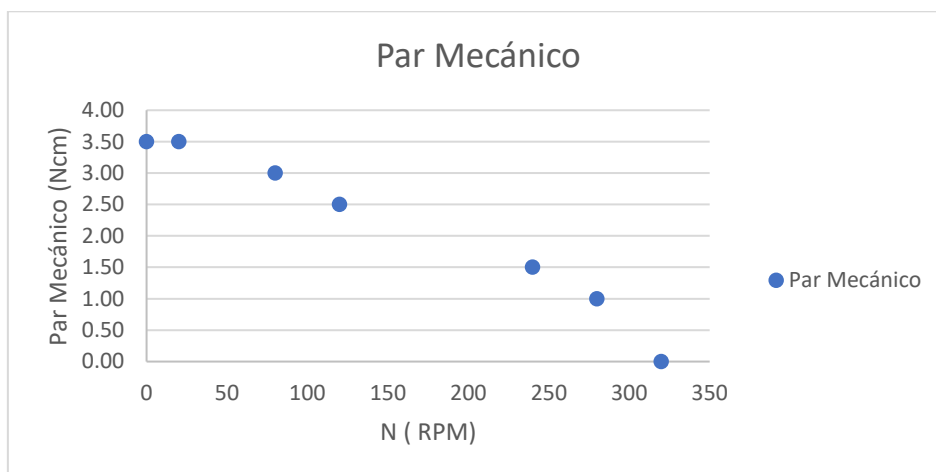


La eficiencia máxima obtenida en esta prueba es de aproximadamente 0.9% para un caudal de 97.9 LPM y una velocidad de rotación de 180 RPM tal y como muestra la **Figura 4.42**.

#### 4.4.8. Curva Característica con $Q = 98$ LPM con apertura de álabes al 75%

**Figura 4.43**

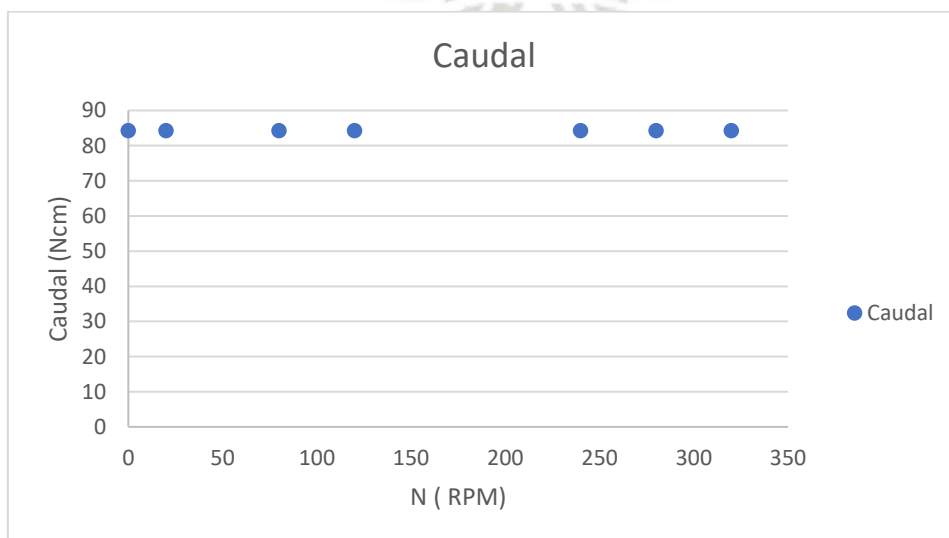
Par mecánico con apertura de 75%,  $Q = 84.3$  LPM (T. Francis)



La **Figura 4.43** se muestra el par mecánico producido por un caudal de 84.3 LPM. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional.

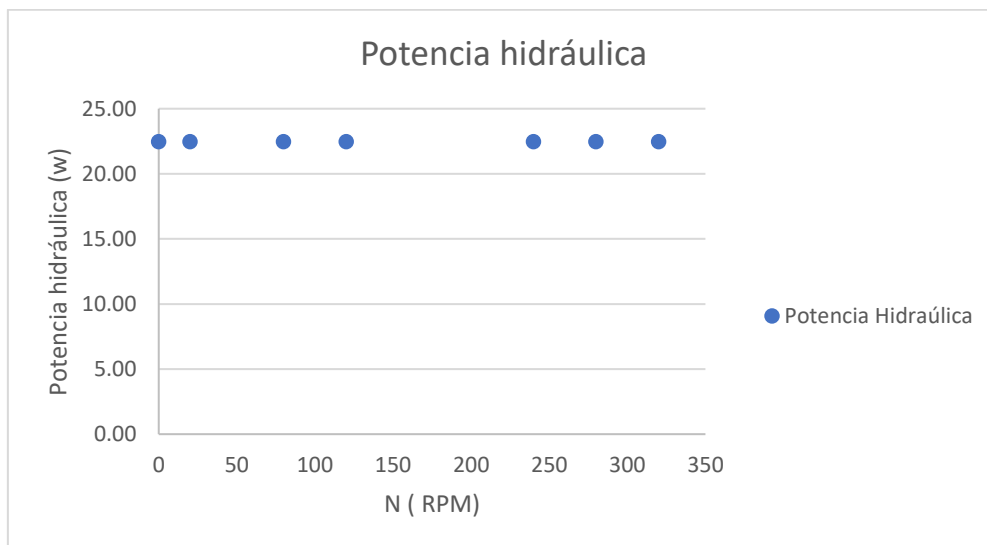
**Figura 4.44**

Caudal con apertura de 75%,  $Q = 84.3$  LPM (T. Francis)



**Figura 4.45**

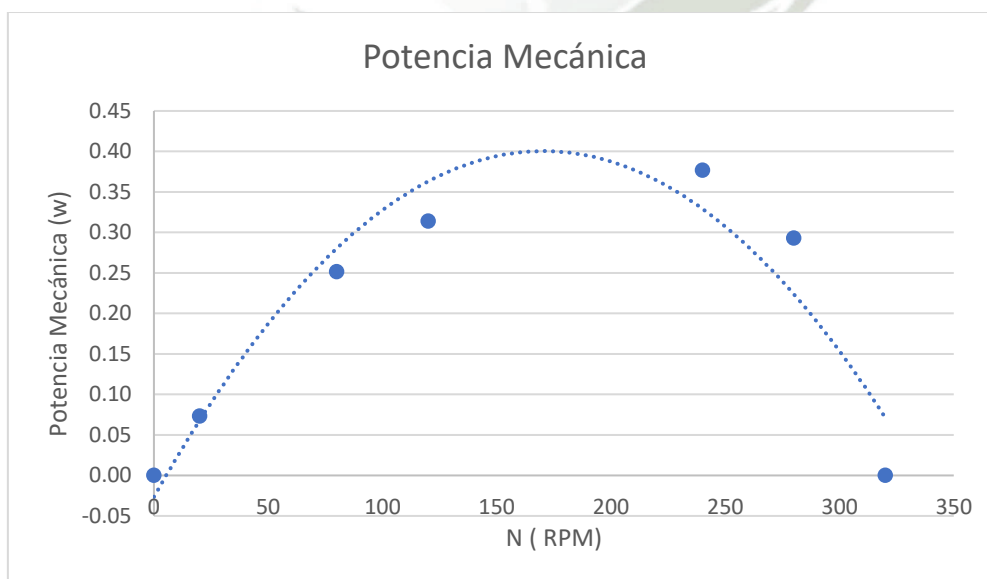
Potencia hidráulica con apertura de 75%,  $Q = 84.3$  LPM (T. Francis)



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.44** y **Figura 4.45**.

**Figura 4.46** Potencia mecánica con apertura de 75%,  $Q = 84.3$  LPM

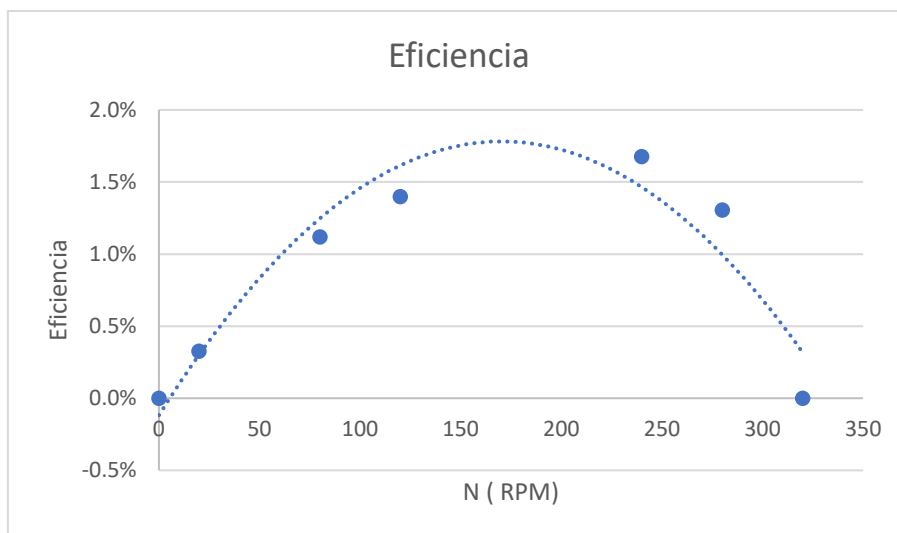
Potencia mecánica con apertura de 75%,  $Q = 84.3$  LPM (T. Francis)



La **Figura 4.46** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para un caudal de 84.3 LPM alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 0.40 W para 165 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.47**

Eficiencia con apertura de 75%,  $Q = 84.3$  LPM (T. Francis)

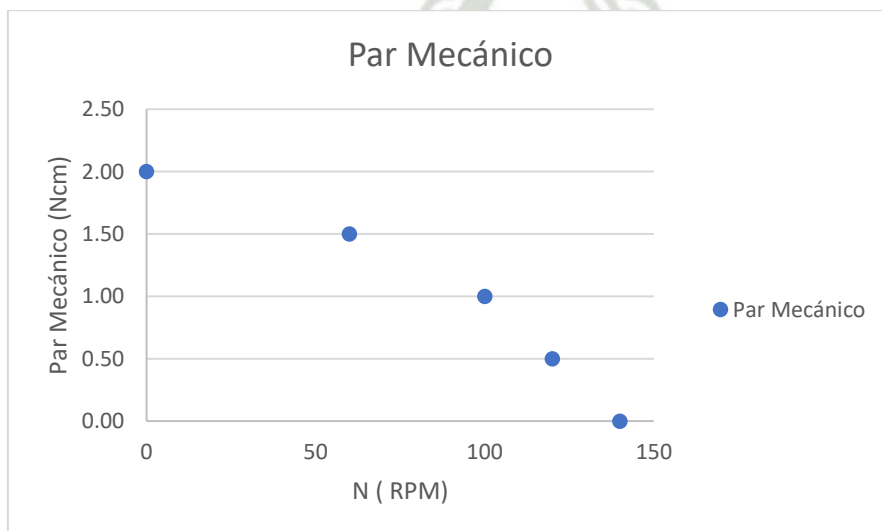


La eficiencia máxima obtenida en esta prueba es de aproximadamente 1.75% para un caudal de 84.3 LPM y una velocidad de rotación de 175 RPM tal y como muestra la **Figura 4.47**.

**4.4.9. Curva Característica con  $Q = 98$  LPM con apertura de álabes al 100%**

**Figura 4.48** Par mecánico con apertura de 100%,  $Q = 83.8$  LPM

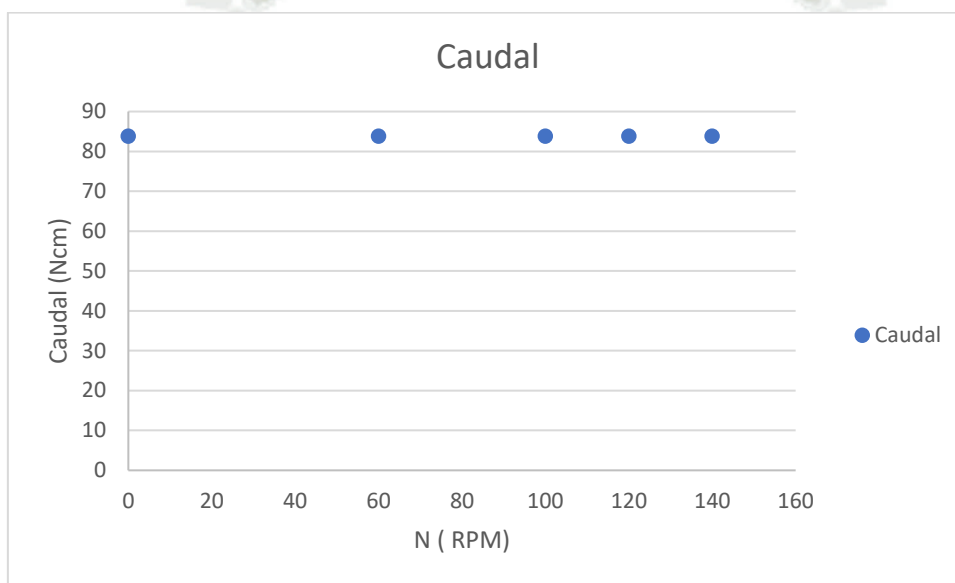
Par mecánico con apertura de 100%,  $Q = 83.8$  LPM (T. Francis)



En la **Figura 4.48** se muestra el par mecánico producido por un caudal de 83.8 LPM para una apertura de los álabes al 100%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional. Se consigue como máximo una velocidad de rotación de aproximadamente 150 RPM.

**Figura 4.49**

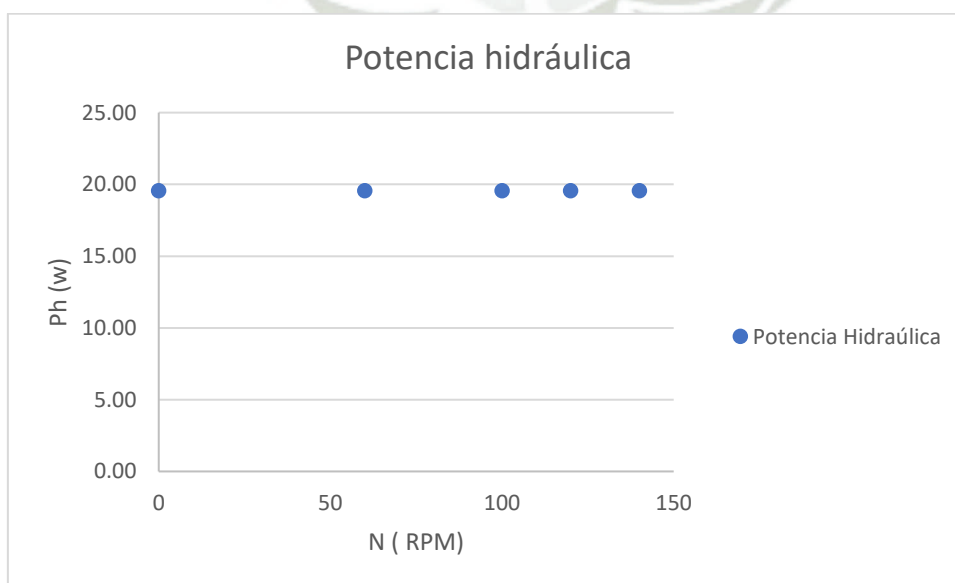
Caudal con apertura de 100%,  $Q = 83.8$  LPM (T. Francis)



**Figura 4.50**

Potencia hidráulica con apertura de 100%,  $Q = 83.8$  LPM

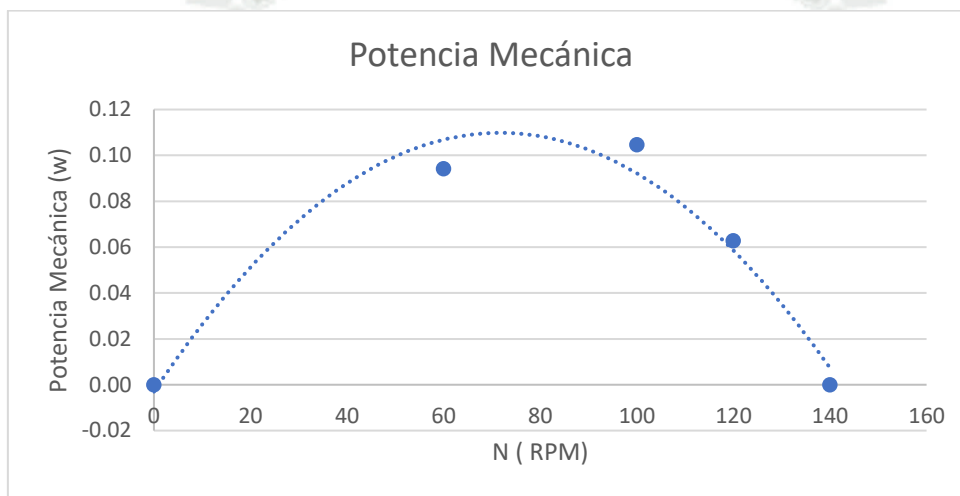
Potencia hidráulica con apertura de 100%,  $Q = 83.8$  LPM (T. Francis)



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.49** y **Figura 4.50**.

**Figura 4.51**

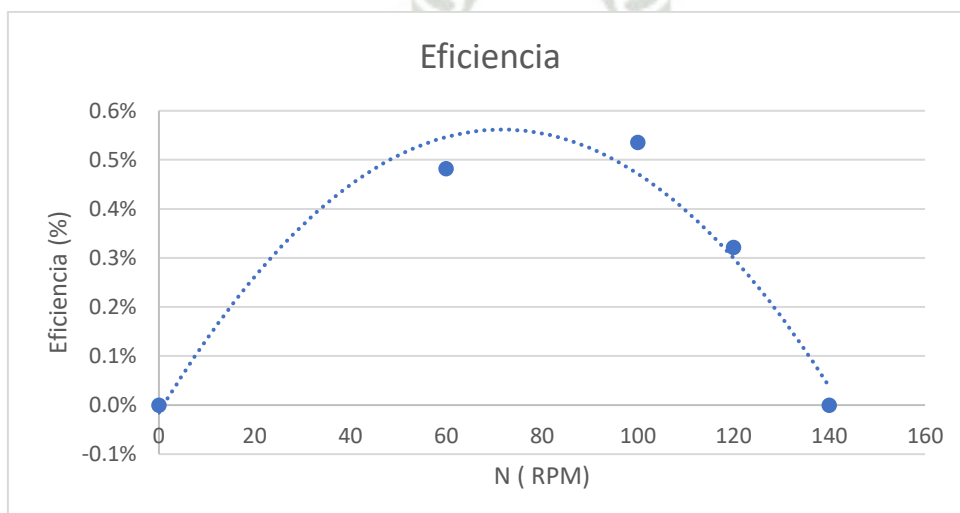
Potencia mecánica con apertura de 100%,  $Q = 83.8$  LPM (T. Francis)



La **Figura 4.51** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para un caudal de 83.8 LPM alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 0.11 W para 75 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.52**

Eficiencia con apertura de 100%,  $Q = 83.8$  LPM (T. Francis)



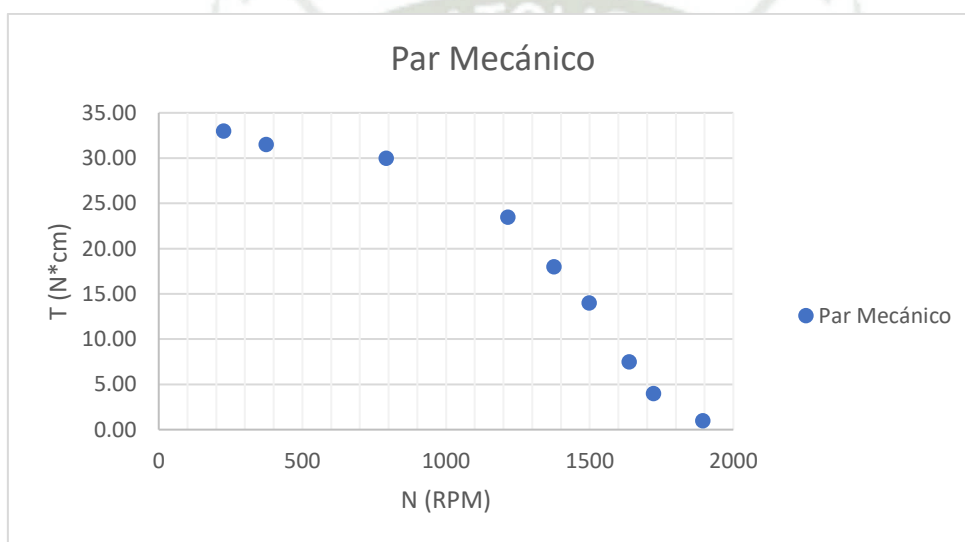
La eficiencia máxima obtenida en esta prueba es de aproximadamente 0.55% para un caudal de 83.8 LPM y una velocidad de rotación de 75 RPM tal y como muestra la **Figura 4.52** **Figura 4.12**.

#### 4.5. Turbina Pelton

##### 4.5.1. Curvas con apertura de 50%, H = 8.2 m

**Figura 4.53**

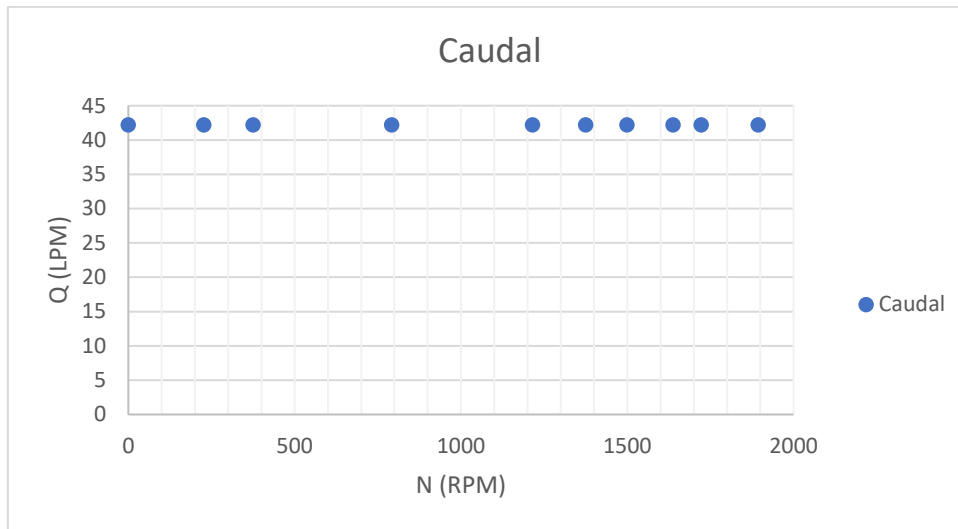
Par mecánico con apertura de 50%, H = 8.2 m (T. Pelton)



La **Figura 4.53** muestra el par mecánico en Ncm para una altura de 8.2m y una apertura de la válvula de entrada del inyector al 50%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional lo cual sugiere que entre más rápido gira el eje de la turbina menos par mecánico se tiene.

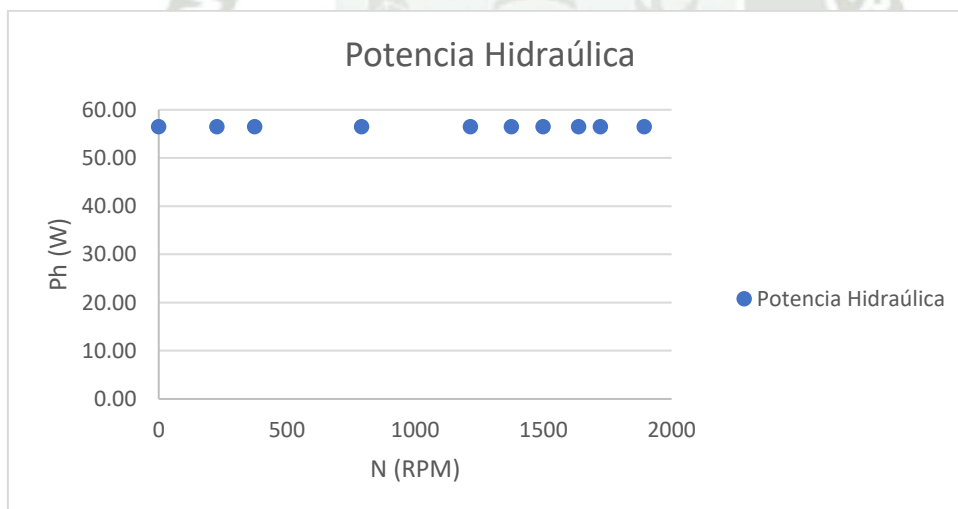
**Figura 4.54**

Caudal con apertura de 50%,  $H = 8.2$  m (T. Pelton)



**Figura 4.55** Potencia Hidráulica con apertura de 50%,  $H = 8.2$  m (T. Pelton)

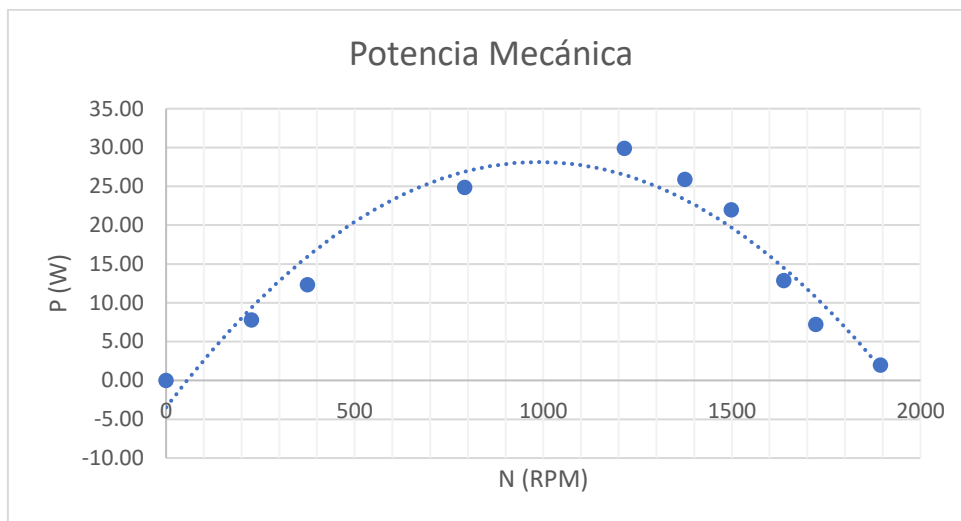
Potencia hidráulica con apertura de 50%,  $H = 8.2$  m (T. Pelton)



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.54** y **Figura 4.55**.

**Figura 4.56**

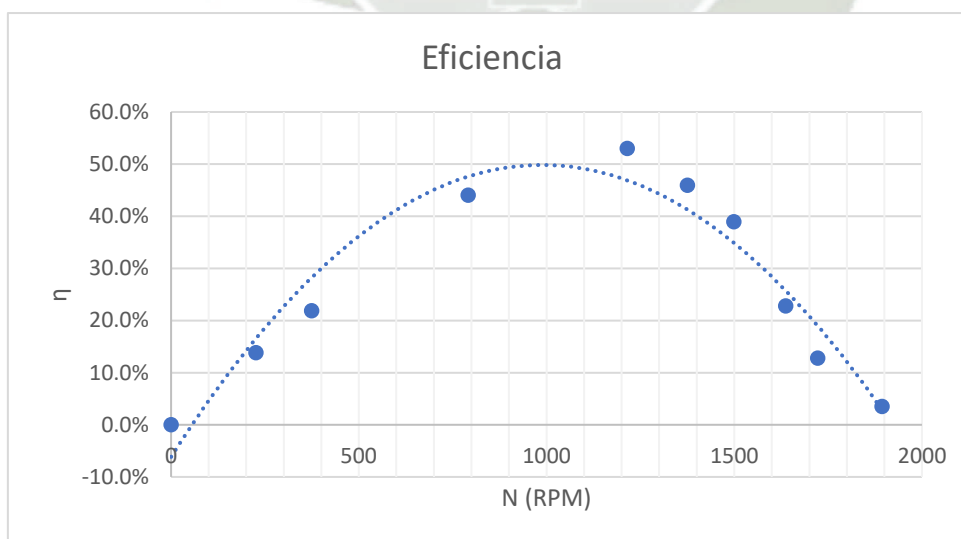
Potencia mecánica con apertura de 50%,  $H = 8.2$  m (T. Pelton)



La **Figura 4.56** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para una altura de 8.2m alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 28 W para 1000 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.57** Eficiencia con apertura de 50%,  $H = 8.2$  m (T. Pelton)

Eficiencia con apertura de 50%,  $H = 8.2$  m (T. Pelton)



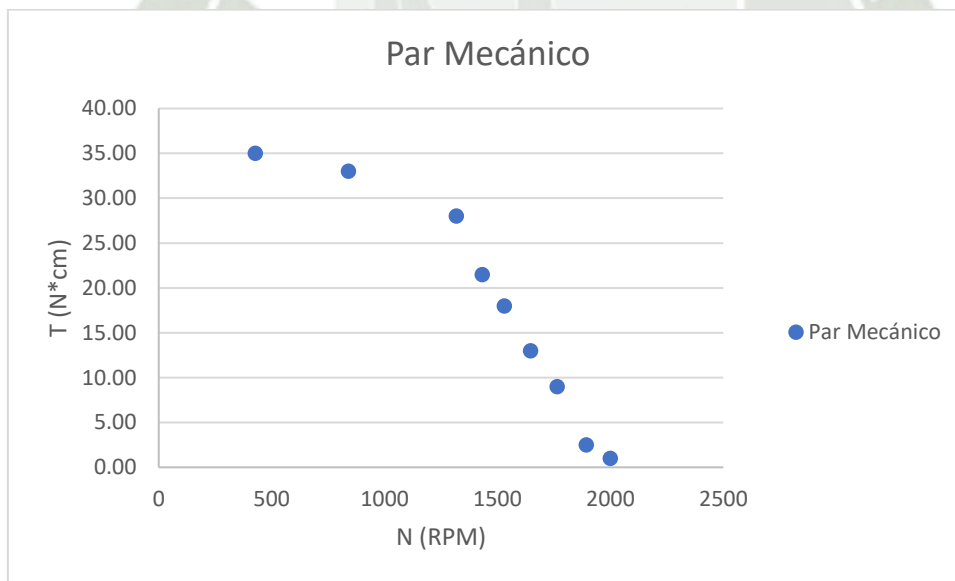
Según la representación gráfica de las curvas características se obtiene:

- La turbina alcanza un número de revoluciones en régimen de marcha en vacío de 1894 rpm (velocidad de giro de embalamiento).
- El par máximo obtenido fue de 33 Ncm a una velocidad de 226.5 rpm.
- La curva de potencia según el gráfico, alcanza un máximo de 28 W a 1000 rpm. A ese número de revoluciones se alcanza el grado máximo de eficiencia con un valor de 50% aproximadamente tal y como muestra la **Figura 4.57**, debido a que el agua sale prácticamente axial del rodete y la pérdida en la salida es mínima, esto se puede apreciar gracias a la caja transparente.

#### 4.5.2. Curvas con apertura de 75%, H = 8.2 m

**Figura 4.58** Par mecánico con apertura de 75%, H = 8.3 m (T. Pelton)

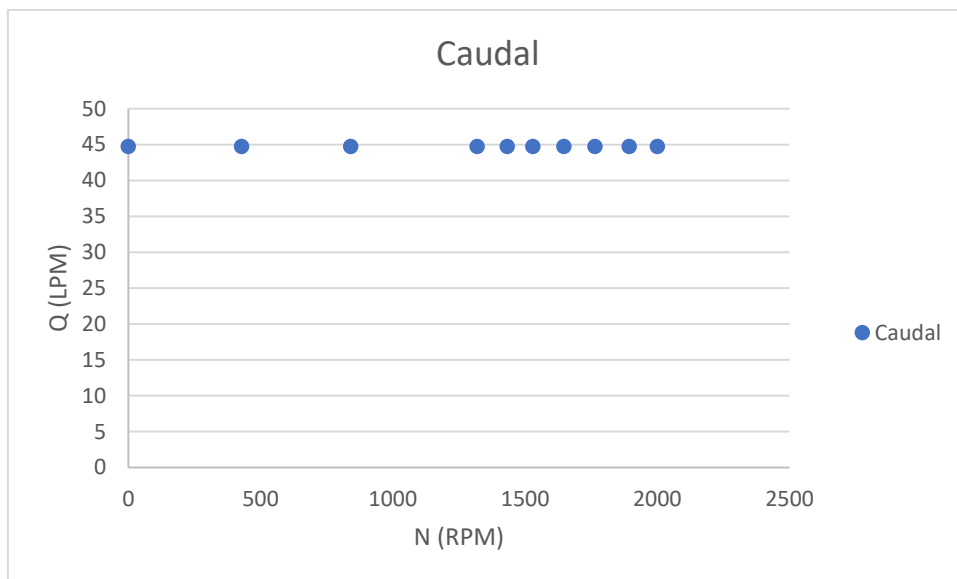
Par mecánico con apertura de 75%, H = 8.3 m (T. Pelton)



La **Figura 4.58** muestra el par mecánico en Ncm para una altura de 8.3m y una apertura de la válvula de entrada del inyector al 75%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional. Se alcanza como máximo un valor aproximado de 2000 RPM.

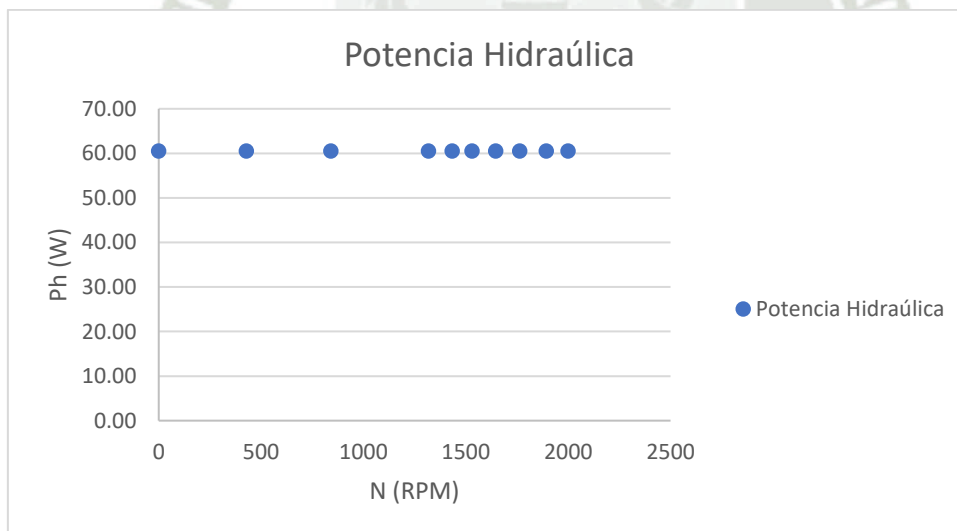
**Figura 4.59**

Caudal con apertura de 75%,  $H = 8.3$  m (T. Pelton)



**Figura 4.60** Potencia Hidráulica con apertura de 75%,  $H = 8.3$  m (T. Pelton)

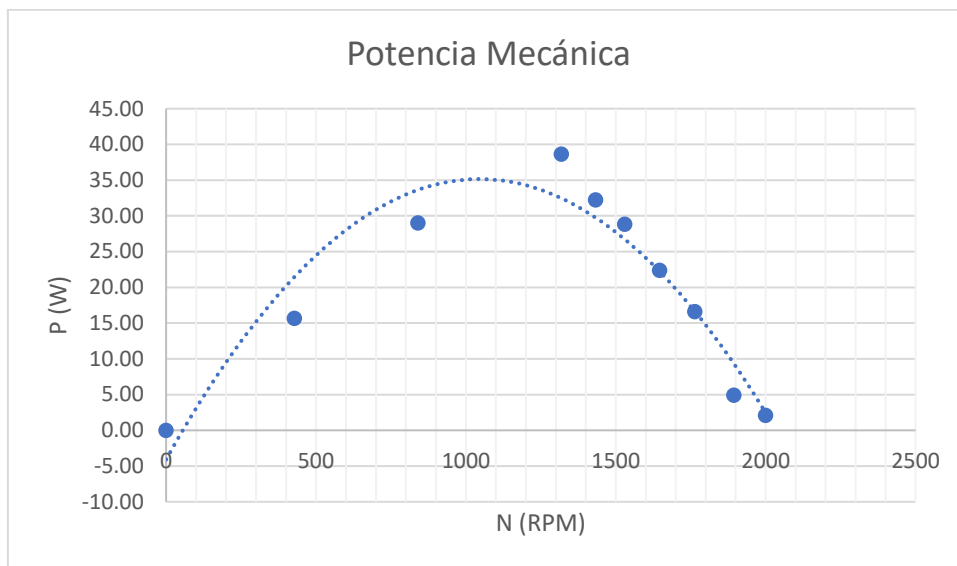
Potencia hidráulica con apertura de 75%,  $H = 8.3$  m (T. Pelton)



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.59** y **Figura 4.60**.

**Figura 4.61**

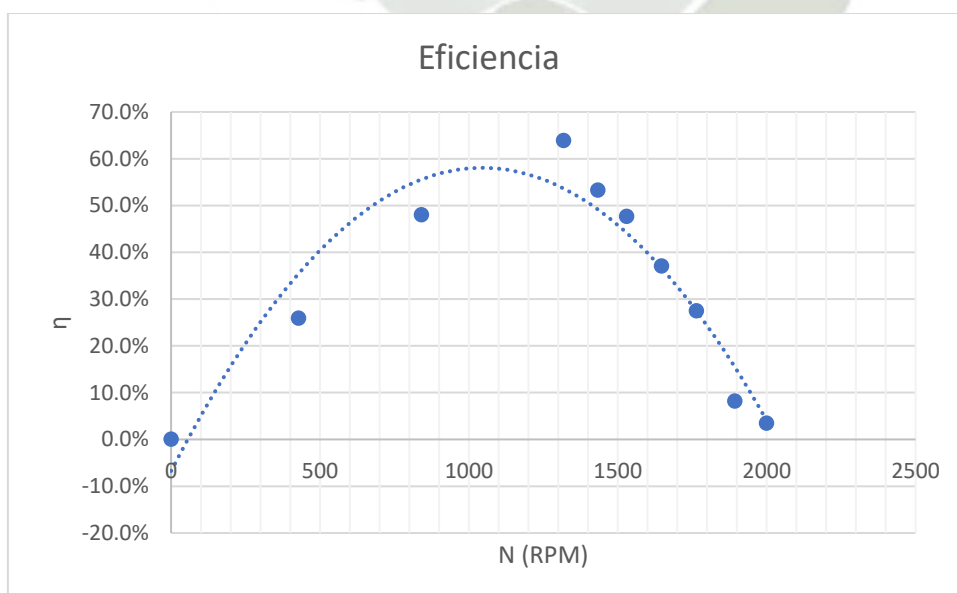
Potencia mecánica con apertura de 75%,  $H = 8.3$  m (T. Pelton)



La **Figura 4.61** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para una altura de 8.3m alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 35 W para 1050 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.62** Eficiencia con apertura de 75%,  $H = 8.3$  m (T. Pelton)

Eficiencia con apertura de 75%,  $H = 8.3$  m (T. Pelton)



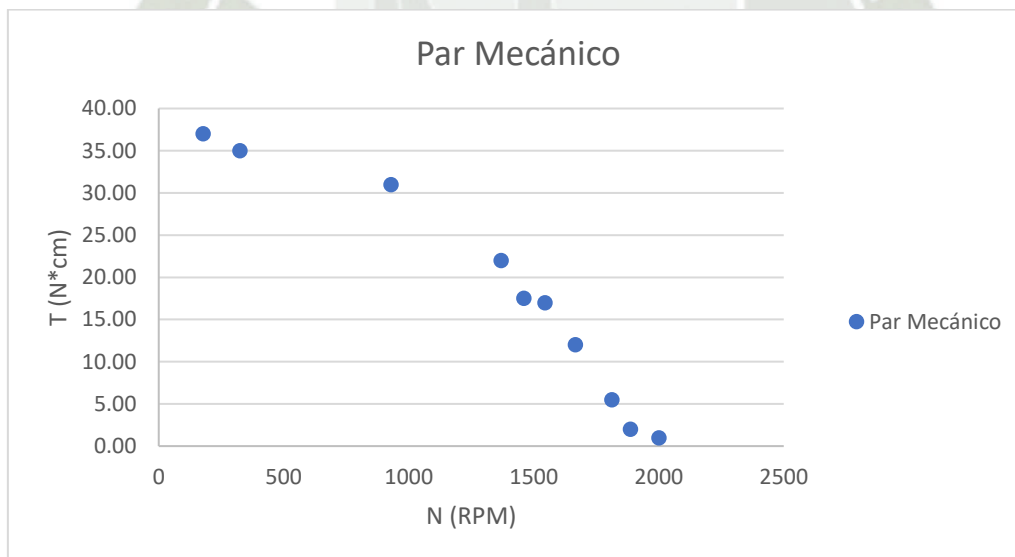
Según la representación gráfica de las curvas características se obtiene:

- La turbina alcanza un número de revoluciones en régimen de marcha en vacío de 2000 rpm (velocidad de giro de embalamiento).
- El par máximo obtenido fue de 35 Ncm a una velocidad de 428.25 rpm.
- La curva de potencia según el gráfico, alcanza un máximo de 35 W a 1050 rpm. A ese número de revoluciones se alcanza el grado máximo de eficiencia con un valor de 59% aproximadamente tal y como muestra la **Figura 4.62**, debido a que el agua sale prácticamente axial del rodete y la pérdida en la salida es mínima, esto se puede apreciar gracias a la caja transparente.

#### 4.5.3. Curvas con apertura de 100%, H = 8.2 m

**Figura 4.63** Par mecánico con apertura de 100%, H = 8.1 m (T. Pelton)

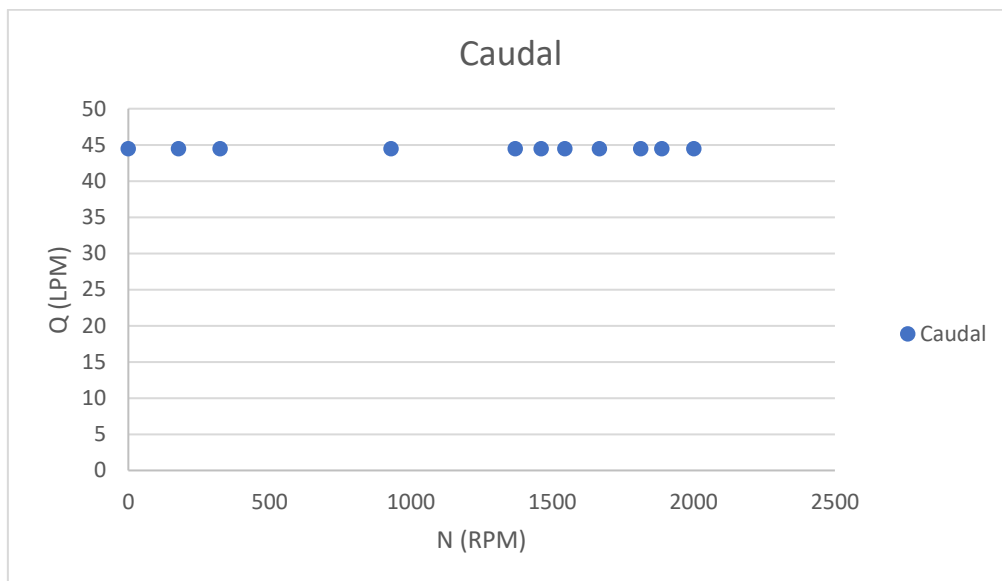
Par mecánico con apertura de 100%, H = 8.1 m (T. Pelton)



La **Figura 4.63** muestra el par mecánico en Ncm para una altura de 8.1m y una apertura de la válvula de entrada del inyector al 100%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional.

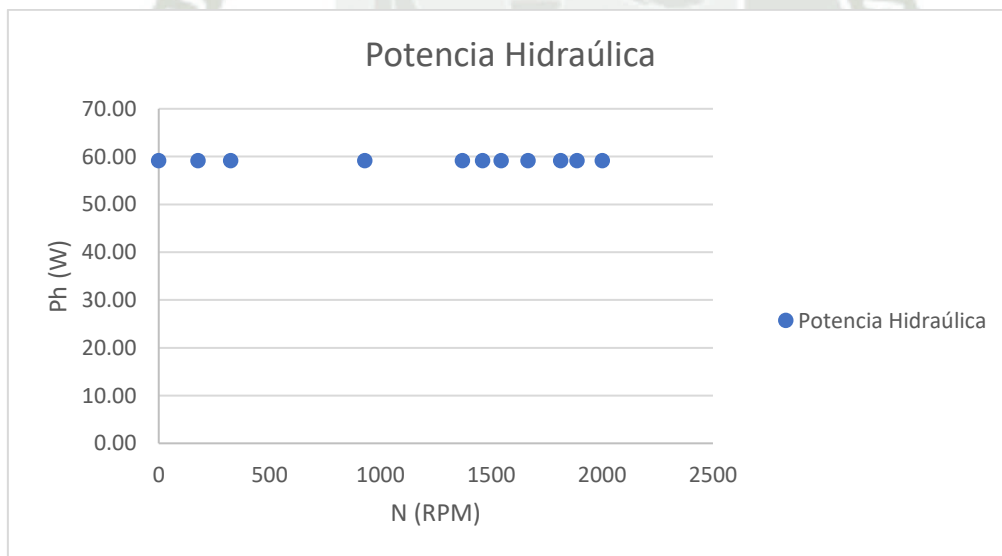
**Figura 4.64**

Caudal con apertura de 100%,  $H = 8.1$  m (T. Pelton)



**Figura 4.65** Potencia Hidráulica con apertura de 100%,  $H = 8.1$  m (T. Pelton)

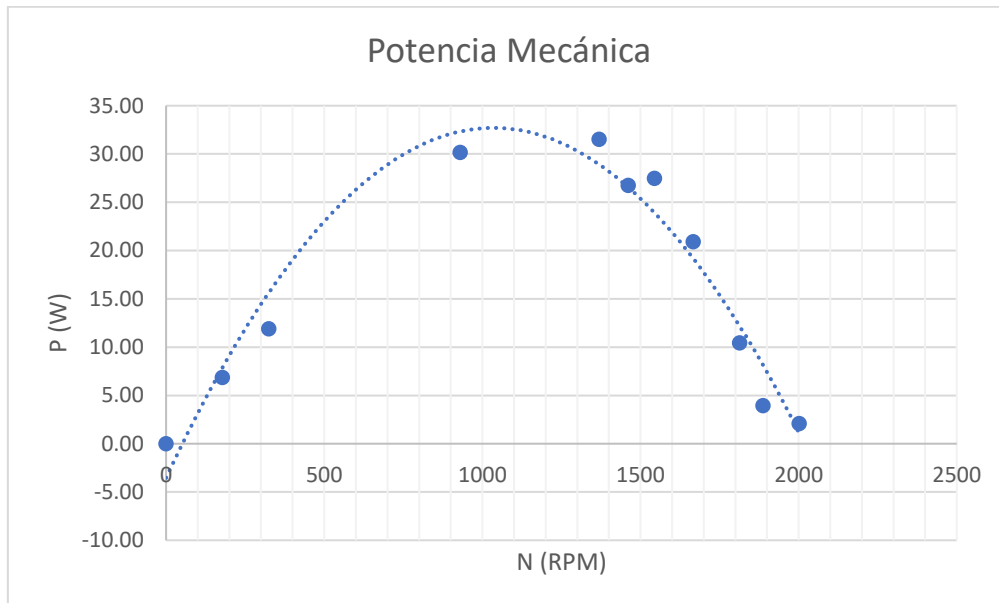
Potencia hidráulica con apertura de 100%,  $H = 8.1$  m (T. Pelton)



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.64** y **Figura 4.65**.

**Figura 4.66**

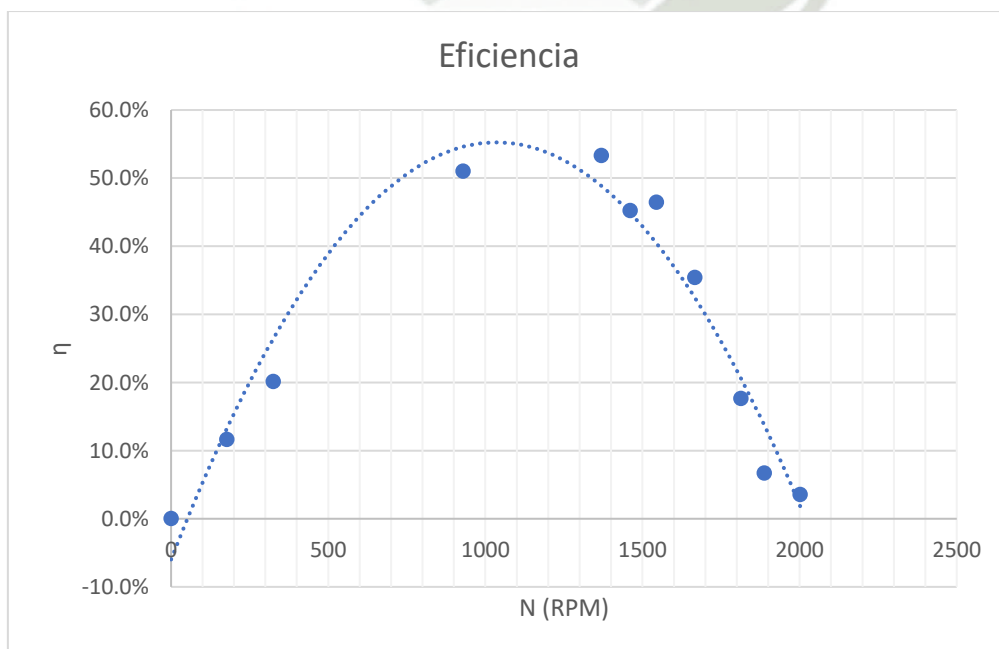
Potencia mecánica con apertura de 100%,  $H = 8.1$  m (T. Pelton)



La **Figura 4.66** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para una altura de 8.1 m alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 32.5 W para 1050 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.67** Eficiencia con apertura de 100%,  $H = 8.1$  m (T. Pelton)

Eficiencia con apertura de 100%,  $H = 8.1$  m (T. Pelton)



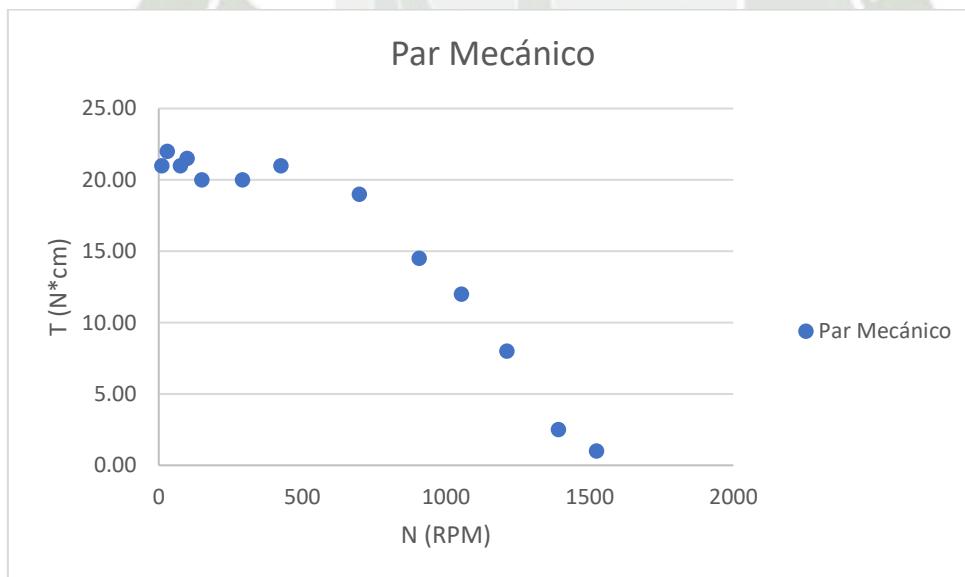
Según la representación gráfica de las curvas características se obtiene:

- La turbina alcanza un número de revoluciones en régimen de marcha en vacío de 2001.6 rpm (velocidad de giro de embalamiento).
- El par máximo obtenido fue de 37 Ncm a una velocidad de 177.75 rpm.
- La curva de potencia según el gráfico, alcanza un máximo de 32.5 W a 1050 rpm. A ese número de revoluciones se alcanza el grado máximo de eficiencia con un valor de 55% aproximadamente tal y como muestra la **Figura 4.67**, debido a que el agua sale prácticamente axial del rodete y la pérdida en la salida es mínima, esto se puede apreciar gracias a la caja transparente.

#### 4.5.4. Curvas con apertura de 50%, H = 4.5 m

**Figura 4.68** Par mecánico con apertura de 50%, H = 4.5 m (T. Pelton)

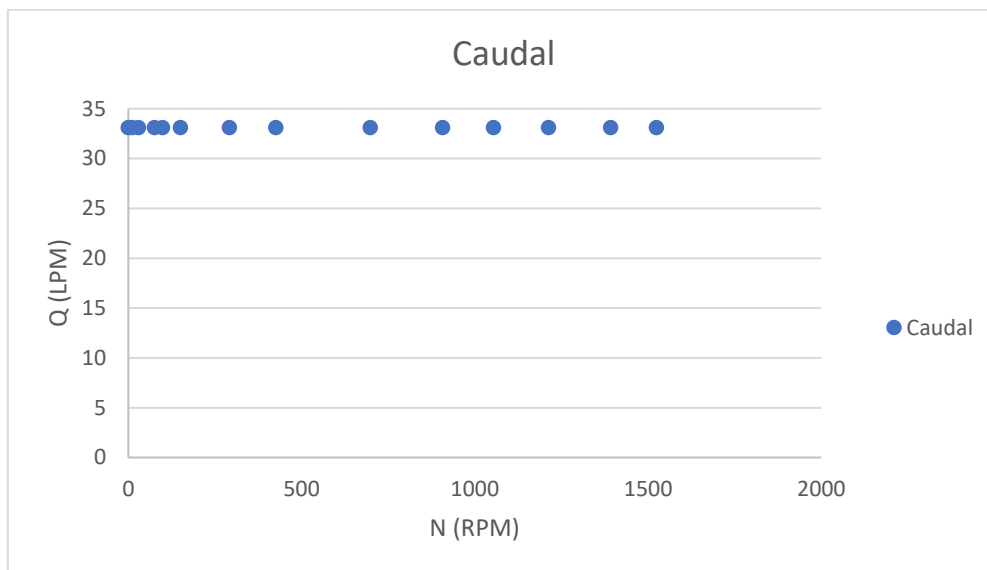
Par mecánico con apertura de 50%, H = 4.5 m (T. Pelton)



La **Figura 4.68** muestra el par mecánico en Ncm para una altura de 4.5m y una apertura de la válvula de entrada del inyector al 50%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional alcanzado una velocidad de rotación máxima aproximada de 1500 RPM.

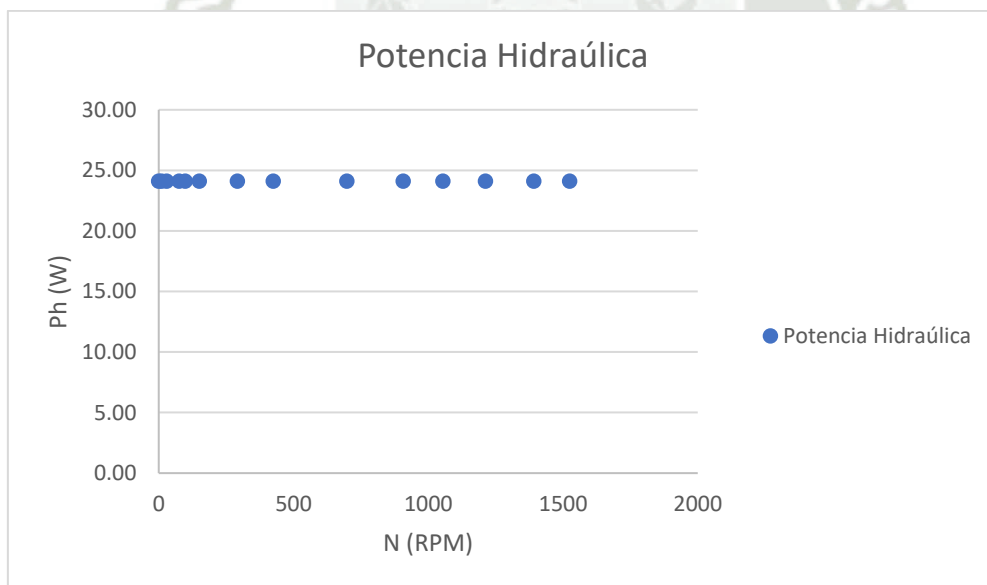
**Figura 4.69**

Caudal con apertura de 50%, H = 4.5 m (T. Pelton)



**Figura 4.70**

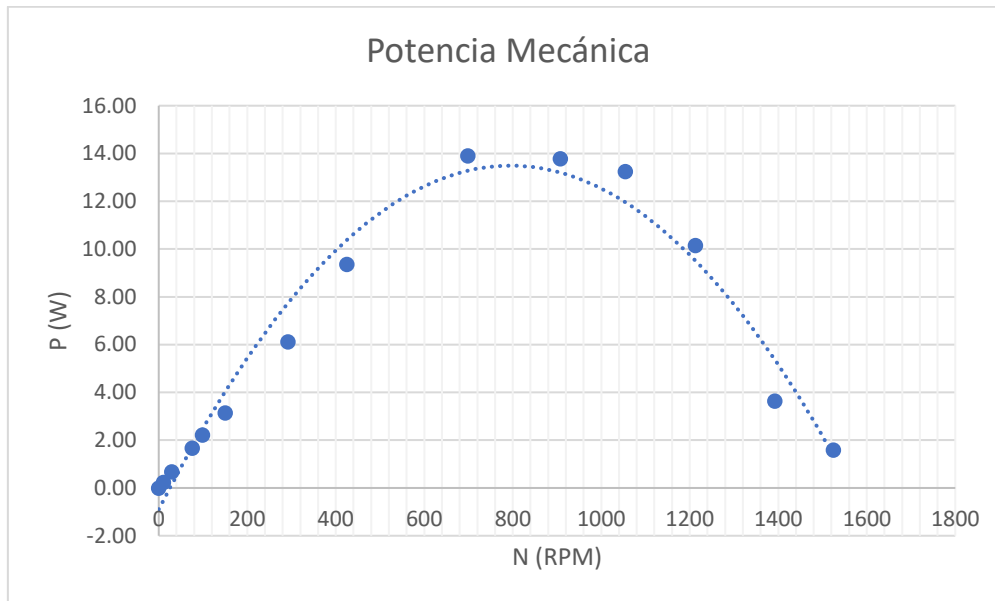
Potencia hidráulica con apertura de 50%, H = 4.5 m (T. Pelton)



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.69** y **Figura 4.70**.

**Figura 4.71**

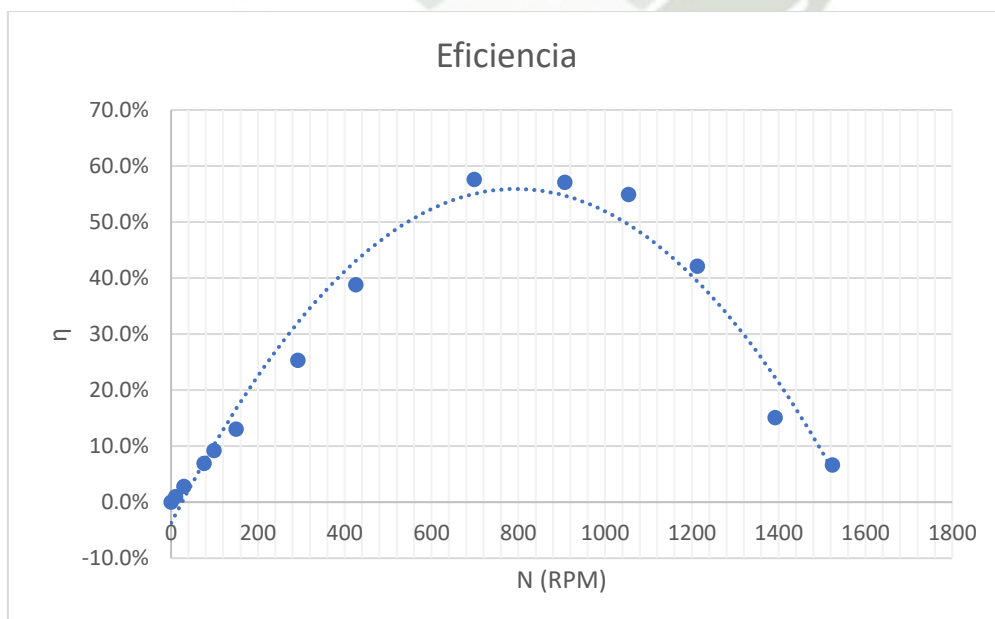
Potencia mecánica con apertura de 50%,  $H = 4.5$  m (T. Pelton)



La **Figura 4.71** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para una altura de 4.5m alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 13.8 W para 800 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.72** Eficiencia con apertura de 50%,  $H = 4.5$  m (E. Pelton)

Eficiencia con apertura de 50%,  $H = 4.5$  m (T. Pelton)



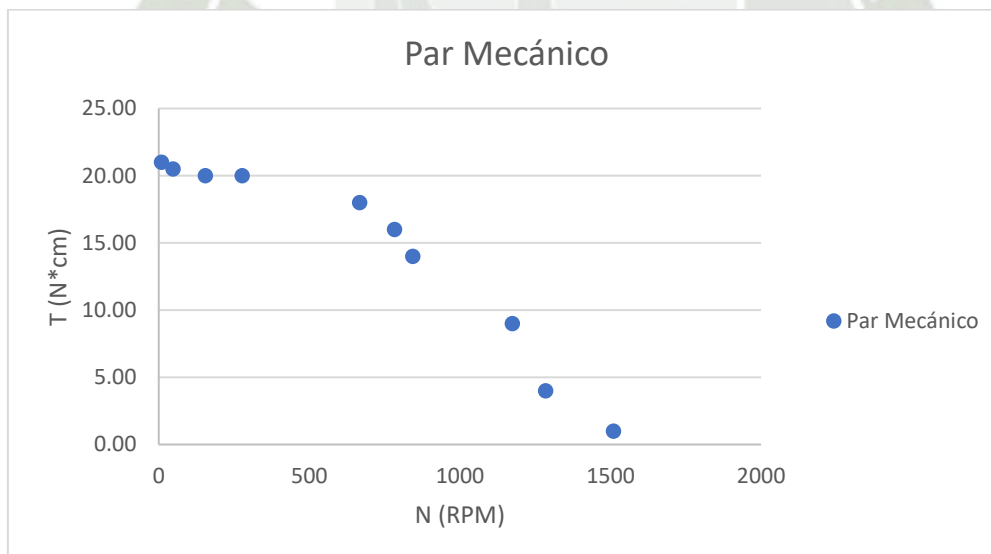
Según la representación gráfica de las curvas características se obtiene:

- La turbina alcanza un número de revoluciones en régimen de marcha en vacío de 1524.5 rpm (velocidad de giro de embalamiento).
- El par máximo obtenido fue de 22 Ncm a una velocidad de 29.7 rpm.
- La curva de potencia según el gráfico, alcanza un máximo de 13.8 W a 800 rpm. A ese número de revoluciones se alcanza el grado máximo de eficiencia con un valor de 56% aproximadamente tal y como muestra la **Figura 4.72**, debido a que el agua sale prácticamente axial del rodete y la pérdida en la salida es mínima, esto se puede apreciar gracias a la caja transparente.

#### 4.5.5. Curvas con apertura de 75%, H = 4.5 m

**Figura 4.73** Par mecánico con apertura de 75%, H = 4.4 m (T. Pelton)

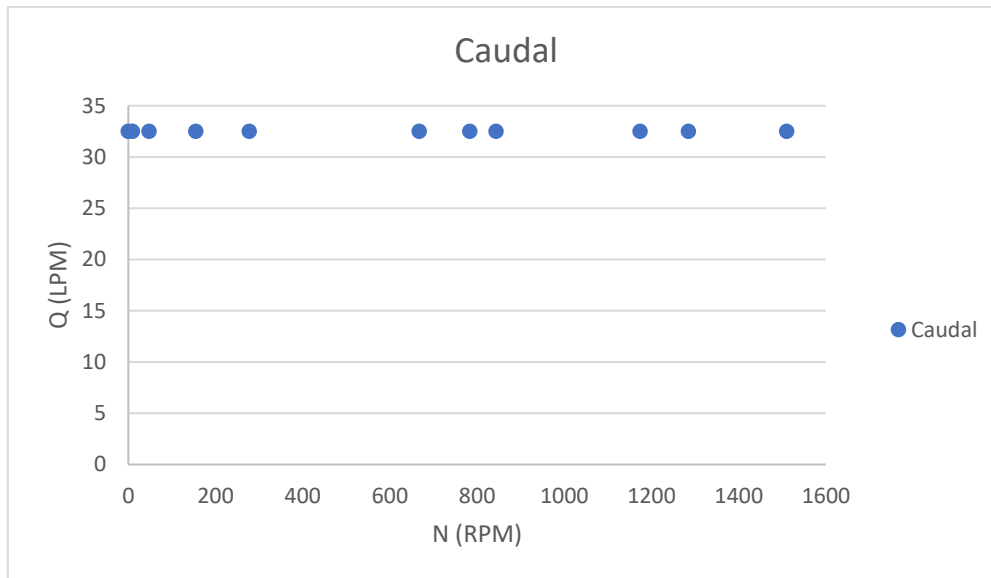
Par mecánico con apertura de 75%, H = 4.4 m (T. Pelton)



La **Figura 4.73** muestra el par mecánico en Ncm para una altura de 4.4m y una apertura de la válvula de entrada del inyector al 75%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional.

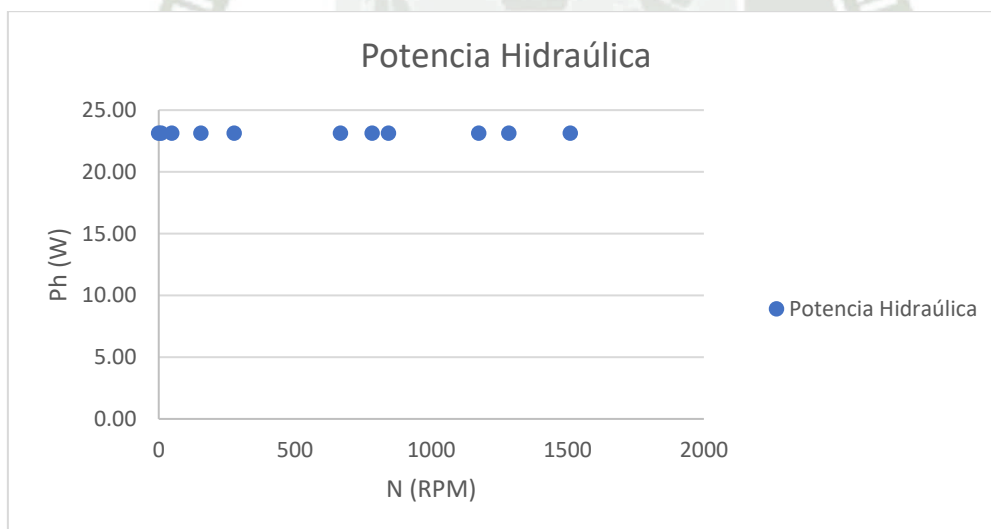
**Figura 4.74**

*Caudal con apertura de 75%,  $H = 4.4$  m (T. Pelton)*



**Figura 4.75** *Potencia hidráulica con apertura de 75%,  $H = 4.4$  m (T. Pelton)*

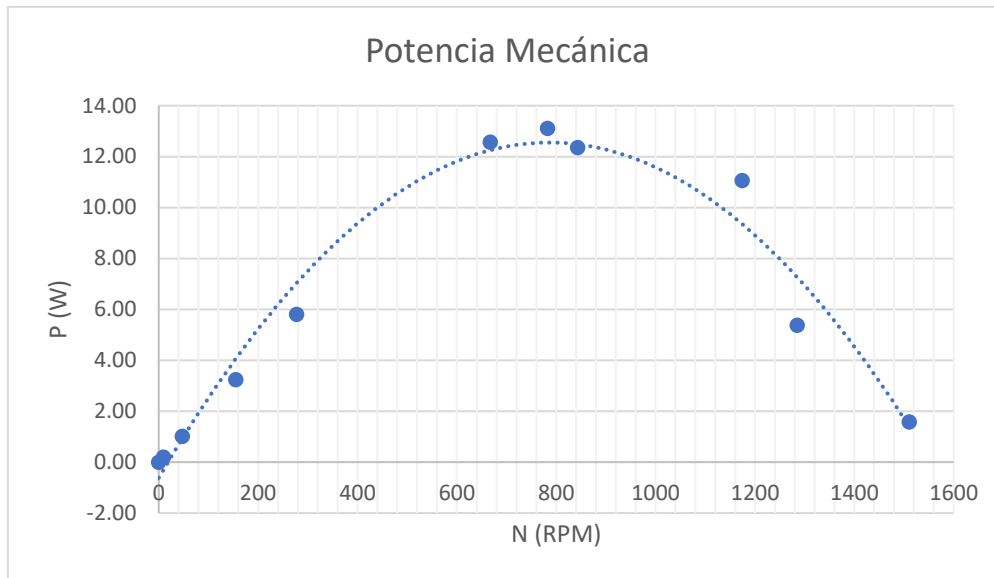
*Potencia hidráulica con apertura de 75%,  $H = 4.4$  m (T. Pelton)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.74** y **Figura 4.75**.

**Figura 4.76**

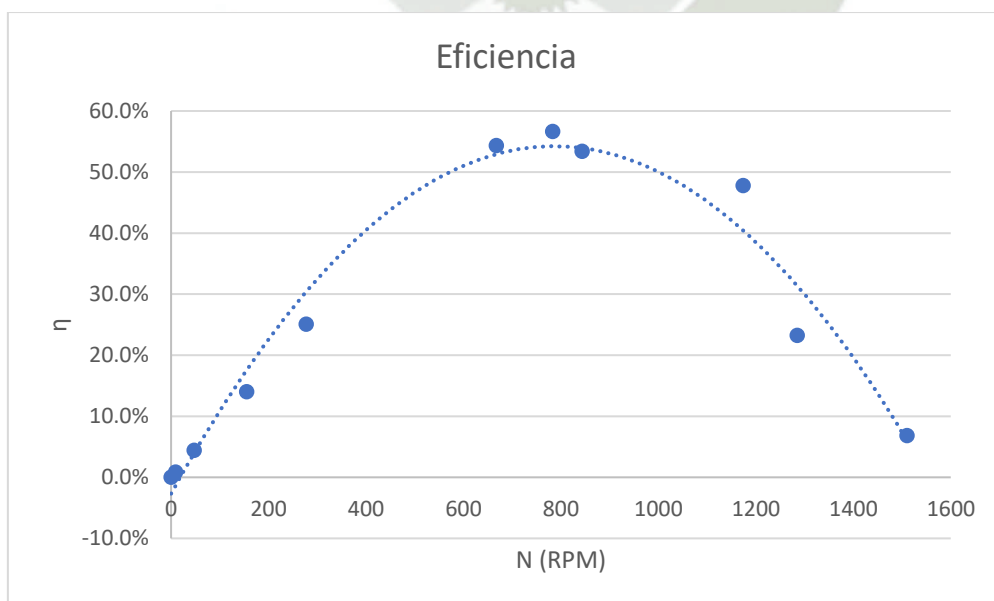
*Potencia mecánica con apertura de 75%,  $H = 4.4$  m (T. Pelton)*



La **Figura 4.76** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para una altura de 4.4m alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 12.3 W para 800 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.77** Eficiencia con apertura de 75%,  $H = 4.4$  m (T. Pelton)

*Eficiencia con apertura de 75%,  $H = 4.4$  m (T. Pelton)*



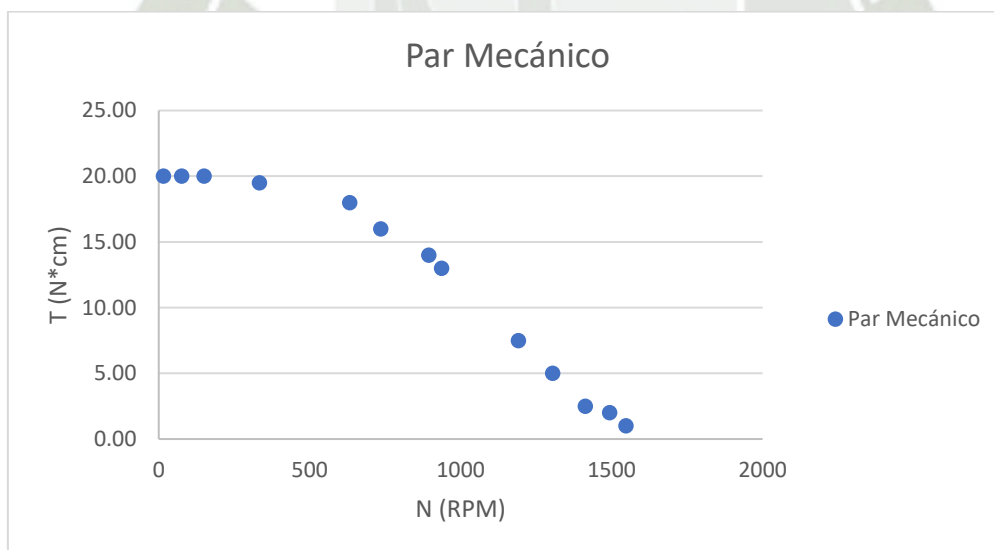
Según la representación gráfica de las curvas características se obtiene:

- La turbina alcanza un número de revoluciones en régimen de marcha en vacío de 1510.5 rpm (velocidad de giro de embalamiento).
- El par máximo obtenido fue de 21 Ncm a una velocidad de 9.3 rpm.
- La curva de potencia según el gráfico, alcanza un máximo de 12.3 W a 800 rpm. A ese número de revoluciones se alcanza el grado máximo de eficiencia con un valor de 55% aproximadamente tal y como muestra la **Figura 4.77**, debido a que el agua sale prácticamente axial del rodete y la pérdida en la salida es mínima, esto se puede apreciar gracias a la caja transparente.

#### 4.5.6. Curvas con apertura de 100%, H = 4.5 m

**Figura 4.78** Par mecánico con apertura de 100%, H = 4.5 m (T. Pelton)

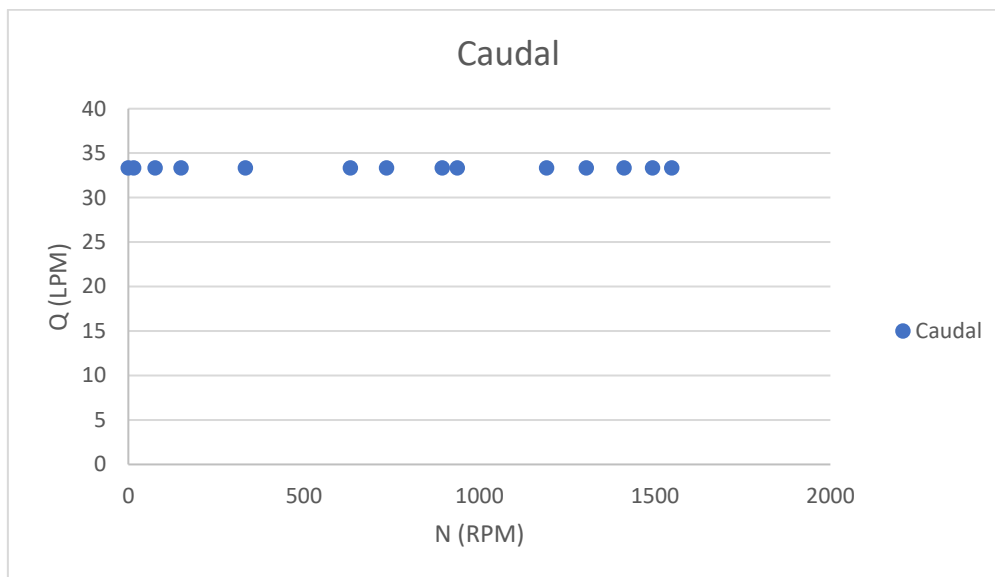
*Par mecánico con apertura de 100%, H = 4.5 m (T. Pelton)*



La **Figura 4.78** muestra el par mecánico en Ncm para una altura de 4.5m y una apertura de la válvula de entrada del inyector al 100%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional.

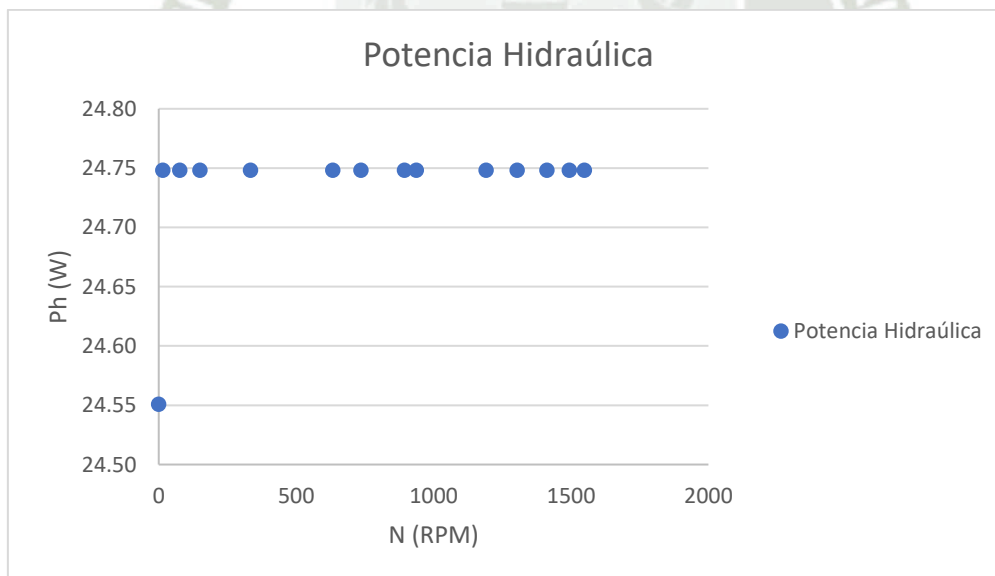
**Figura 4.79**

*Caudal con apertura de 100%,  $H = 4.5\text{ m}$  (T. Pelton)*



**Figura 4.80** *Potencia hidráulica con apertura de 100%,  $H = 4.5\text{ m}$  (T. Pelton)*

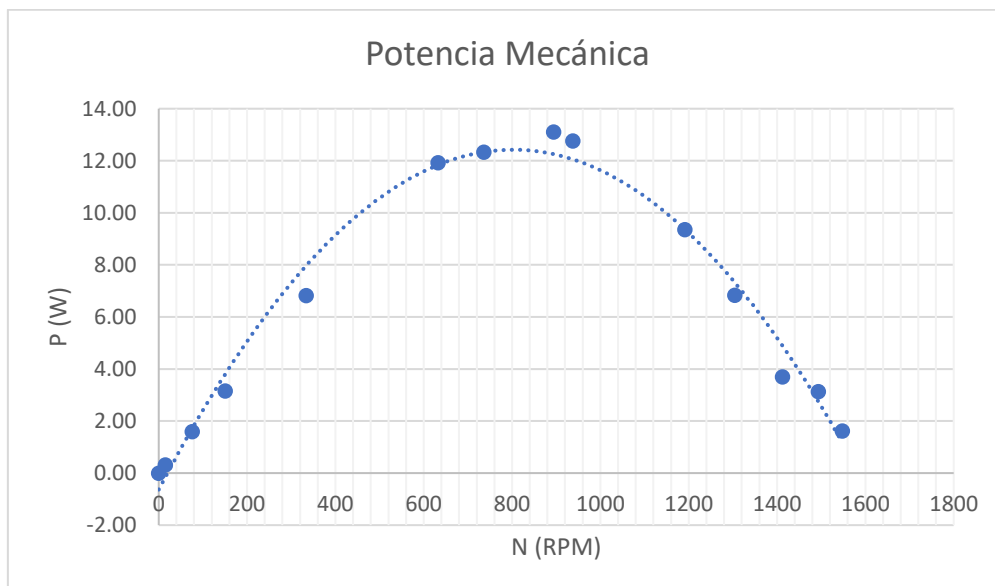
*Potencia hidráulica con apertura de 100%,  $H = 4.5\text{ m}$  (T. Pelton)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.79** y **Figura 4.80**.

**Figura 4.81**

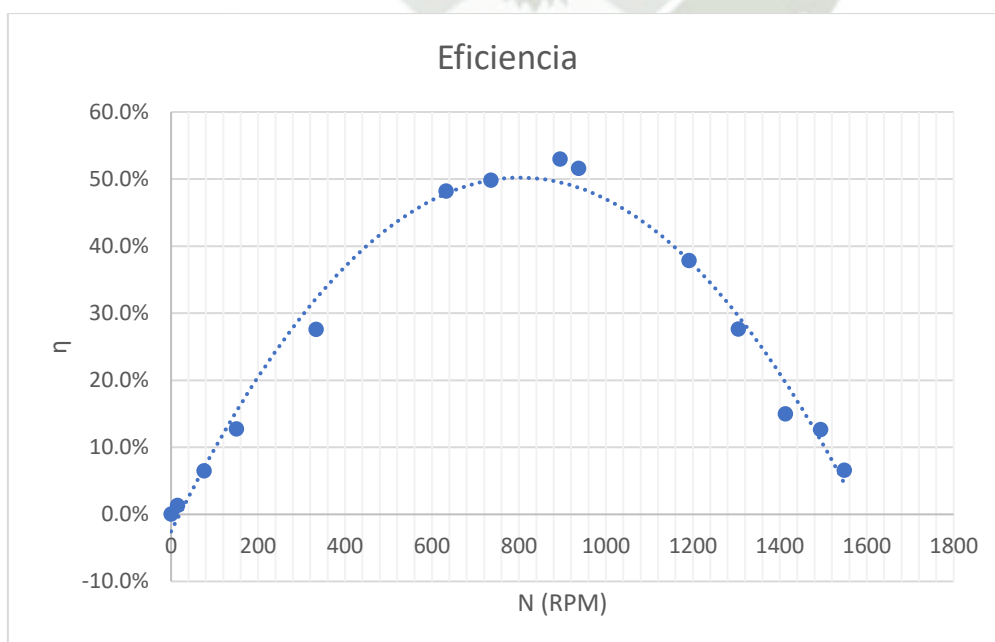
*Potencia mecánica con apertura de 100%,  $H = 4.5$  m (T. Pelton)*



La **Figura 4.81** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para una altura de 4.5m alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 12.4 W para 800 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.82** Eficiencia con apertura de 100%,  $H = 4.5$  m (T. Pelton)

*Eficiencia con apertura de 100%,  $H = 4.5$  m (T. Pelton)*



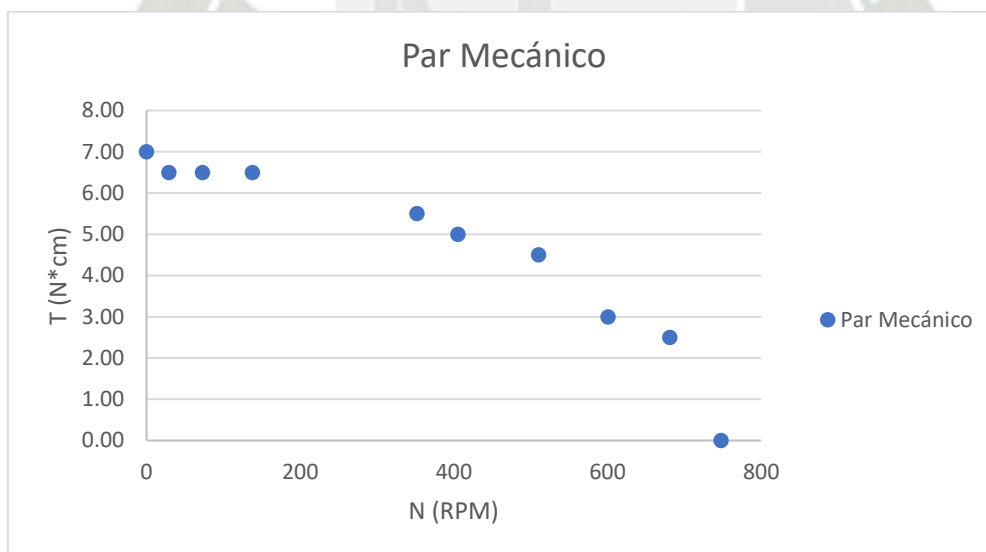
Según la representación gráfica de las curvas características se obtiene:

- La turbina alcanza un número de revoluciones en régimen de marcha en vacío de 1548.3 rpm (velocidad de giro de embalamiento).
- El par máximo obtenido fue de 20 Ncm a una velocidad de 150.6 rpm.
- La curva de potencia según el gráfico, alcanza un máximo de 12.4 W a 800 rpm. A ese número de revoluciones se alcanza el grado máximo de eficiencia con un valor de 50% aproximadamente tal y como muestra la **Figura 4.82**, debido a que el agua sale prácticamente axial del rodete y la pérdida en la salida es mínima, esto se puede apreciar gracias a la caja transparente.

#### 4.5.7. Curvas con apertura de 50%, $H = 1.4$ m

**Figura 4.83** Par mecánico con apertura de 50%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)

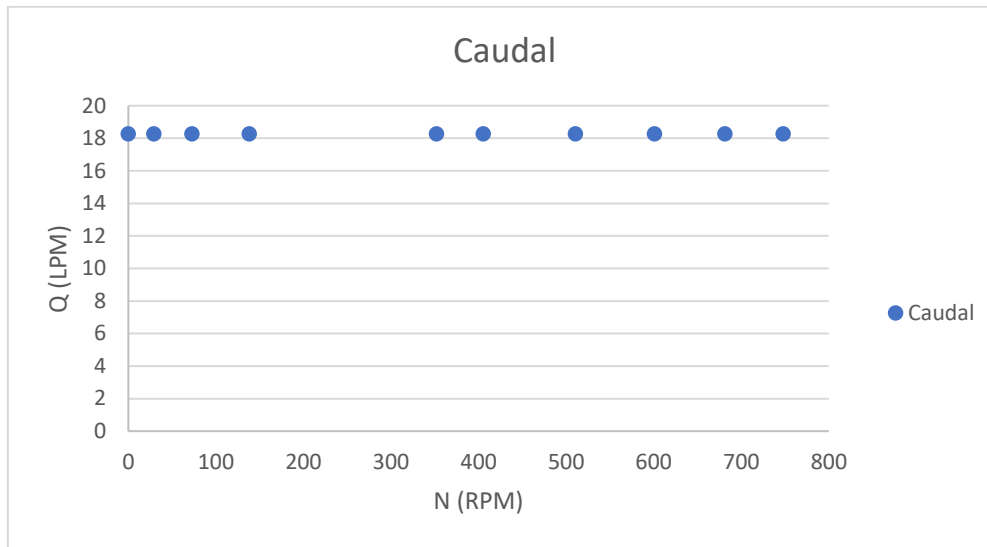
*Par mecánico con apertura de 50%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



La **Figura 4.83** muestra el par mecánico en Ncm para una altura de 1.4m y una apertura de la válvula de entrada del inyector al 50%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional teniendo como máximo una velocidad de rotación aproximada de 780 RPM.

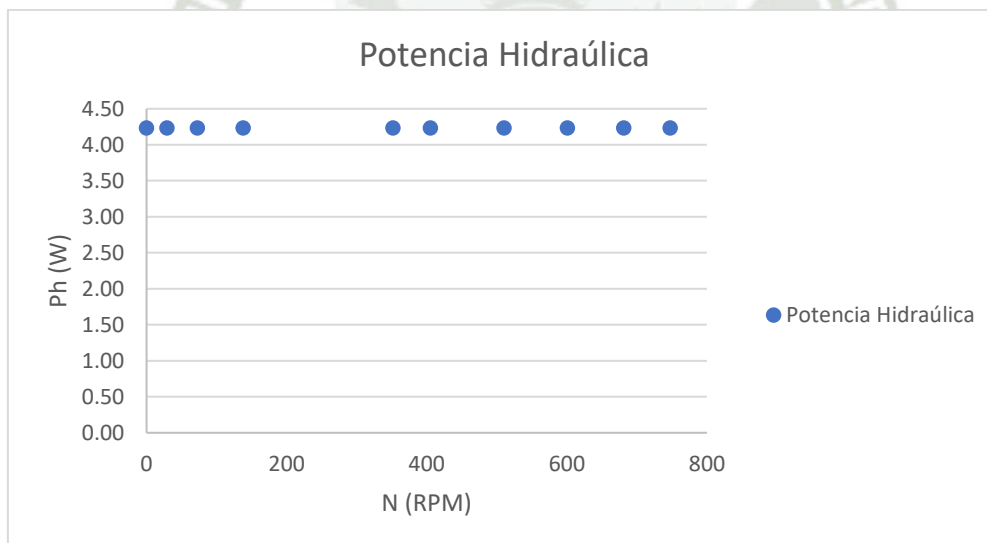
**Figura 4.84** Caudal con apertura de 50%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)

*Caudal con apertura de 50%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



**Figura 4.85** Potencia hidráulica con apertura de 50%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)

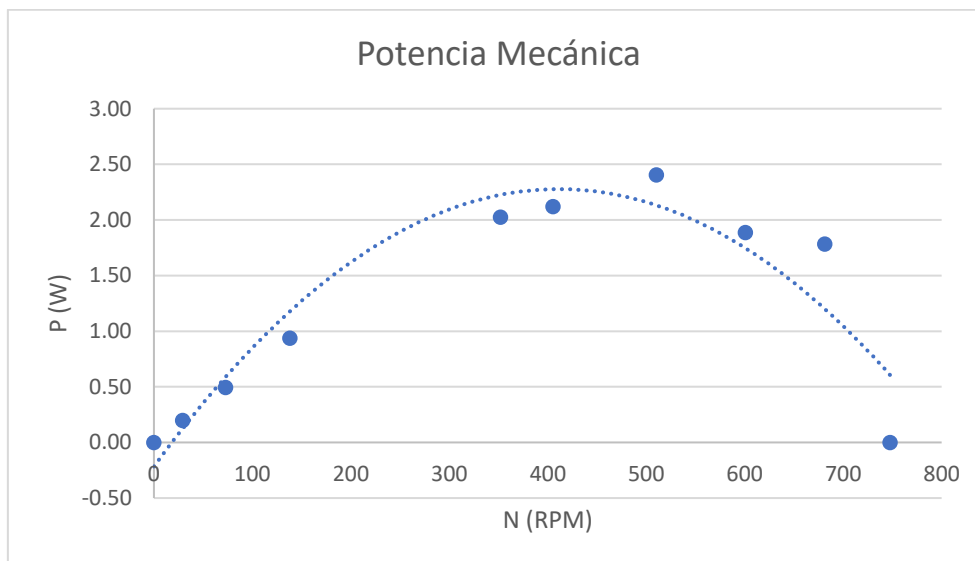
*Potencia hidráulica con apertura de 50%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.84** y **Figura 4.85**.

**Figura 4.86**

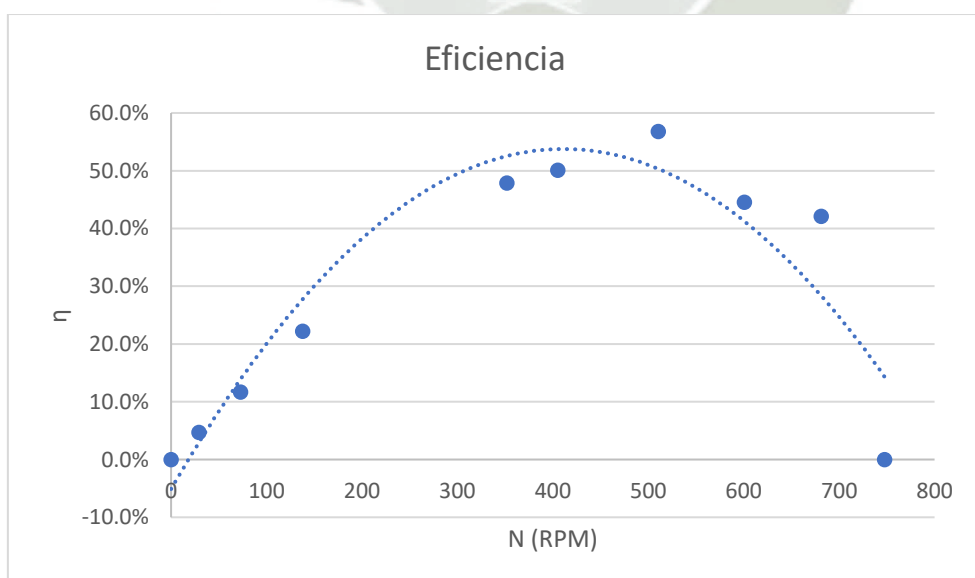
*Potencia mecánica con apertura de 50%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



La **Figura 4.86** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para una altura de 1.4m alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 2.25 W para 420 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.87** *eficiencia con apertura de 50%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*

*Eficiencia con apertura de 50%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



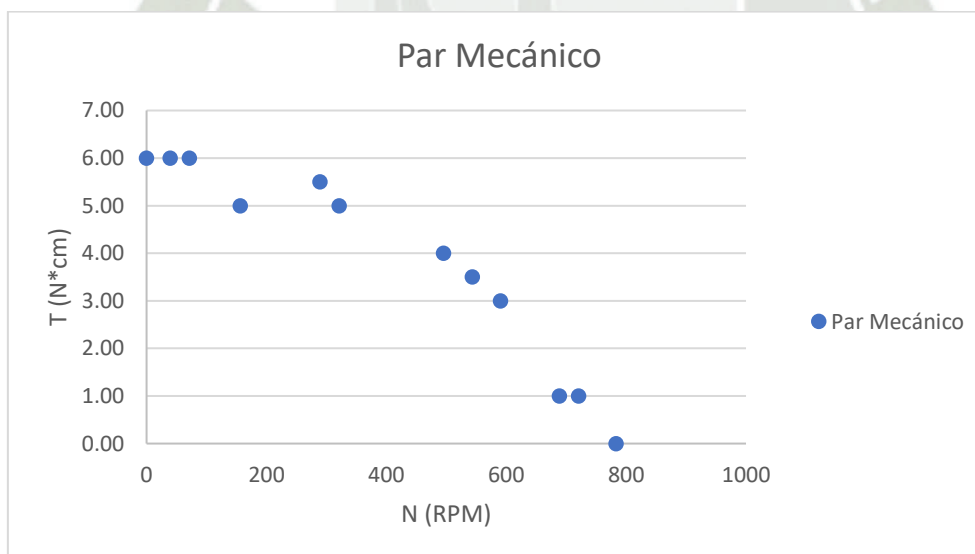
Según la representación gráfica de las curvas características se obtiene:

- La turbina alcanza un número de revoluciones en régimen de marcha en vacío de 747.75 rpm (velocidad de giro de embalamiento).
- El par máximo obtenido fue de 7 Ncm a una velocidad de 0 rpm.
- La curva de potencia según el gráfico, alcanza un máximo de 2.25 W a 420 rpm. A ese número de revoluciones se alcanza el grado máximo de eficiencia con un valor de 53% aproximadamente tal y como muestra la **Figura 4.87**, debido a que el agua sale prácticamente axial del rodete y la pérdida en la salida es mínima, esto se puede apreciar gracias a la caja transparente.

#### 4.5.8. Curvas con apertura de 75%, $H = 1.4$ m

**Figura 4.88** Par mecánico con apertura de 75%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)

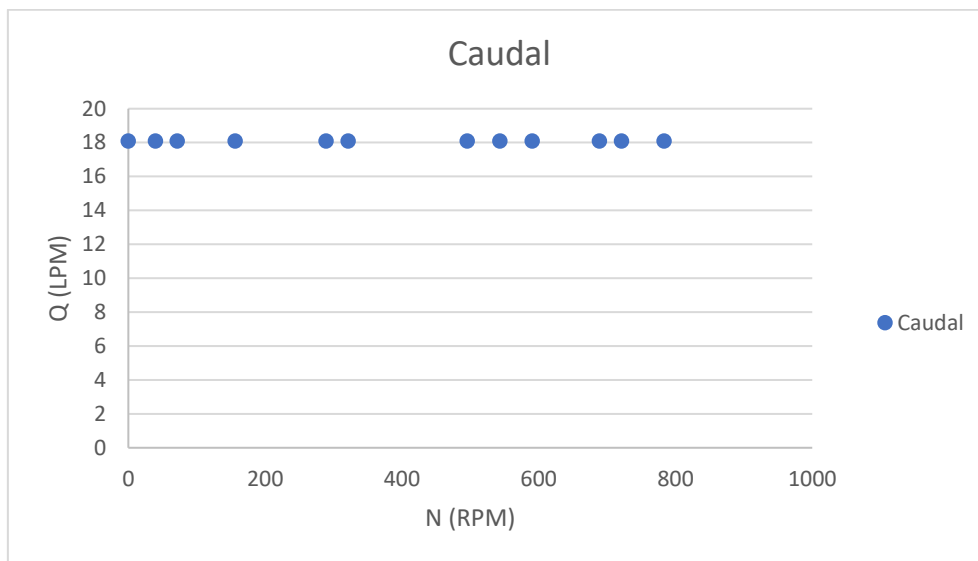
*Par mecánico con apertura de 75%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



La **Figura 4.88** muestra el par mecánico en Ncm para una altura de 1.4m y una apertura de la válvula de entrada del inyector al 75%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional y se alcanza como máximo una velocidad de rotación de 800 RPM.

**Figura 4.89**

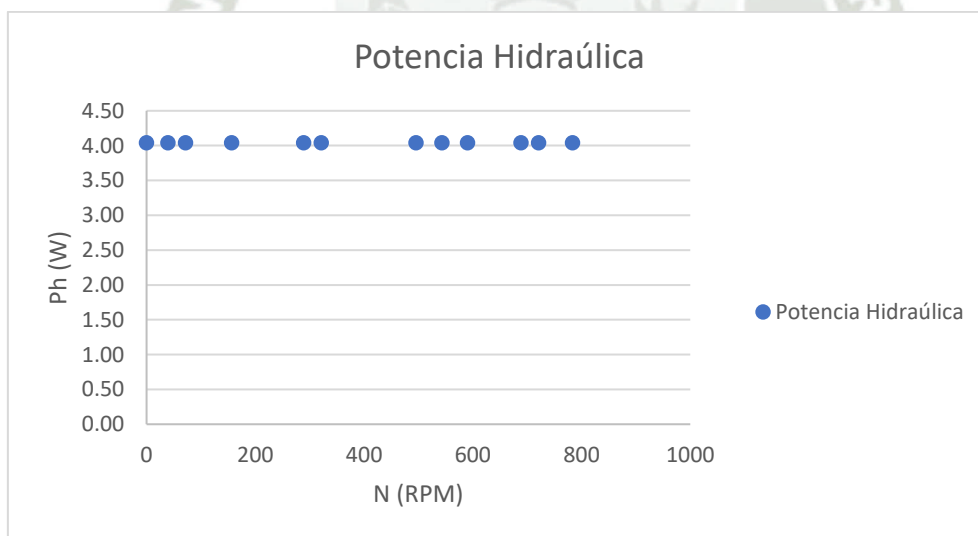
*Caudal con apertura de 75%,  $H = 1.4\text{ m}$  (T. Pelton)*



**Figura 4.90**

*Potencia hidráulica con apertura de 75%,  $H = 1.4\text{ m}$  (T. Pelton)*

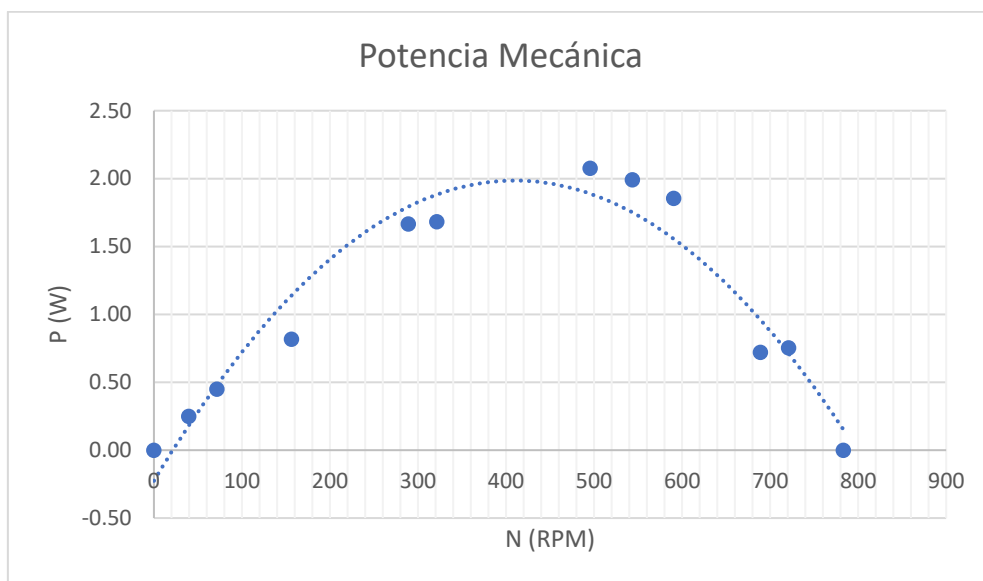
*Potencia hidráulica con apertura de 75%,  $H = 1.4\text{ m}$  (T. Pelton)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.89** y **Figura 4.90**.

**Figura 4.91**

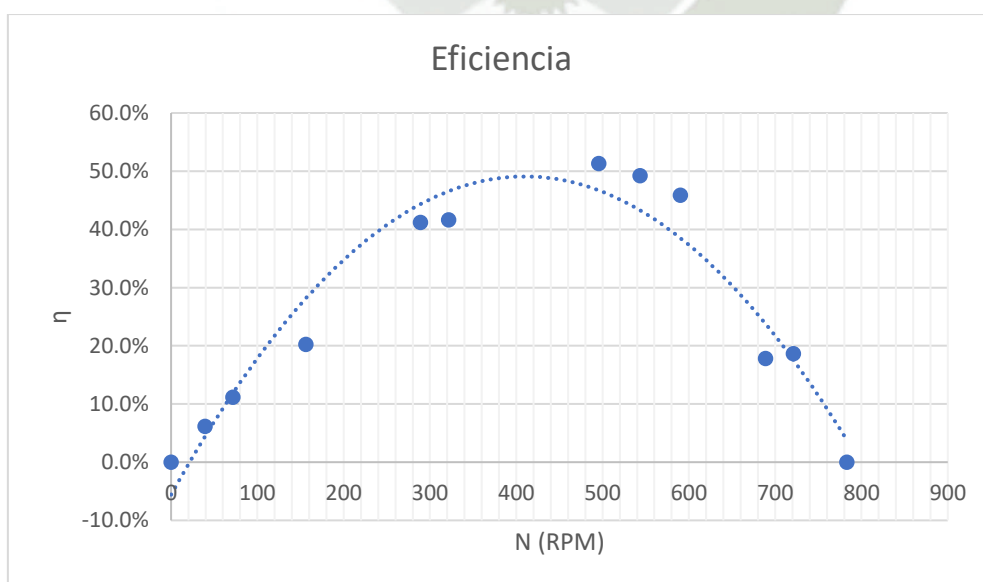
*Potencia mecánica con apertura de 75%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



La **Figura 4.91** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para una altura de 1.4m alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 2 W para 400 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.92** *eficiencia con apertura de 75%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*

*Eficiencia con apertura de 75%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



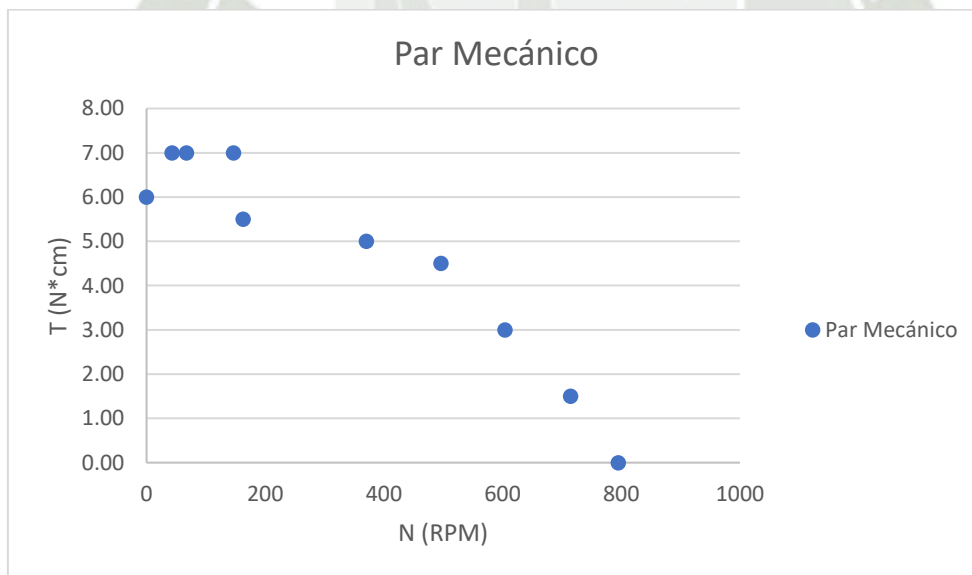
Según la representación gráfica de las curvas características se obtiene:

- La turbina alcanza un número de revoluciones en régimen de marcha en vacío de 783.3 rpm (velocidad de giro de embalamiento).
- El par máximo obtenido fue de 6 Ncm a una velocidad de 71.7 rpm.
- La curva de potencia según el gráfico, alcanza un máximo de 2 W a 400 rpm. A ese número de revoluciones se alcanza el grado máximo de eficiencia con un valor de 49% aproximadamente tal y como muestra la **Figura 4.92**, debido a que el agua sale prácticamente axial del rodete y la pérdida en la salida es mínima, esto se puede apreciar gracias a la caja transparente.

#### 4.5.9. Curvas con apertura de 100%, $H = 1.4$ m

**Figura 4.93** Par mecánico con apertura de 100%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)

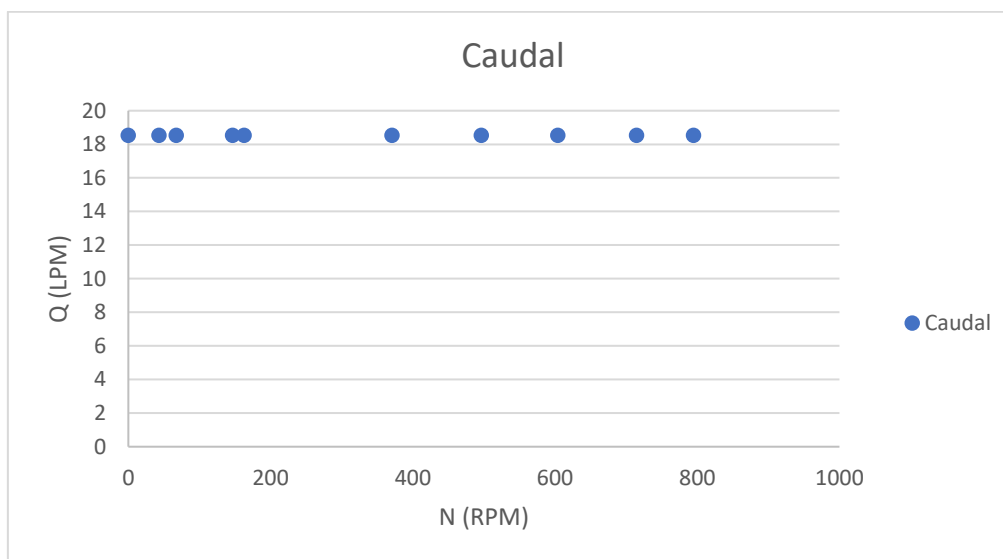
*Par mecánico con apertura de 100%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



La **Figura 4.93** muestra el par mecánico en Ncm para una altura de 1.4m y una apertura de la válvula de entrada del inyector al 100%. Se observa que la relación que existe entre el par mecánico y las RPM es inversamente proporcional.

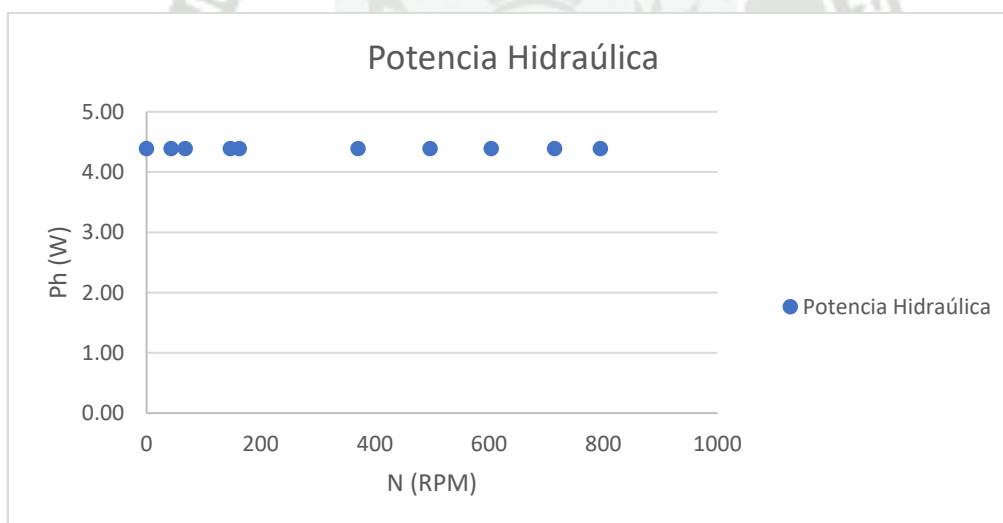
**Figura 4.94**

*Caudal con apertura de 100%,  $H = 1.4\text{ m}$  (T. Pelton)*



**Figura 4.95**

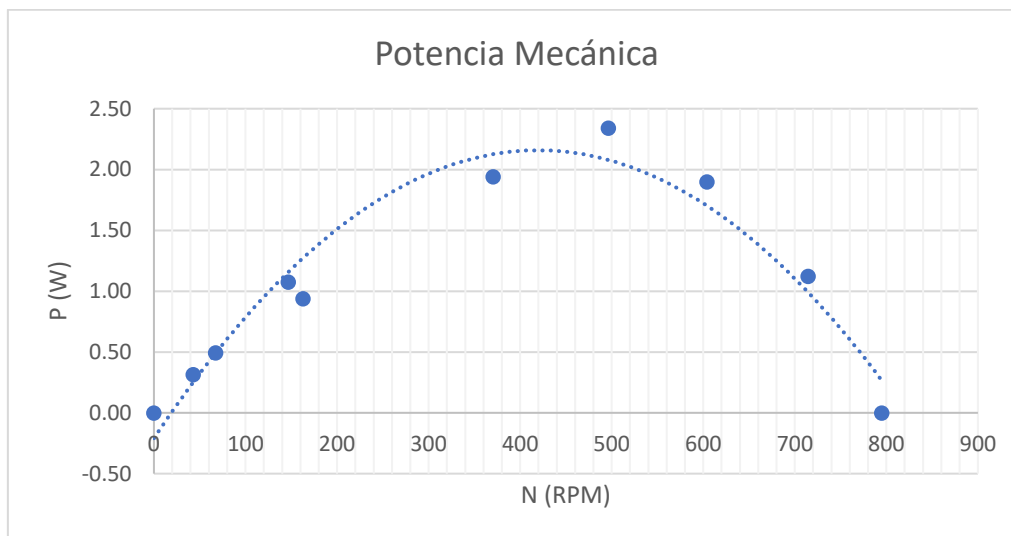
*Potencia hidráulica con apertura de 100%,  $H = 1.4\text{ m}$  (T. Pelton)*



Las pruebas se realizan con caudal constante por lo que la velocidad de rotación del eje varía no por el ingreso de mayor o menor fluido sino por el freno que se aplica al eje. Por esta razón el caudal y la potencia hidráulica (parámetro que está relacionado con el caudal) se mantienen constante tal y como muestra la **Figura 4.94** y **Figura 4.95**.

**Figura 4.96**

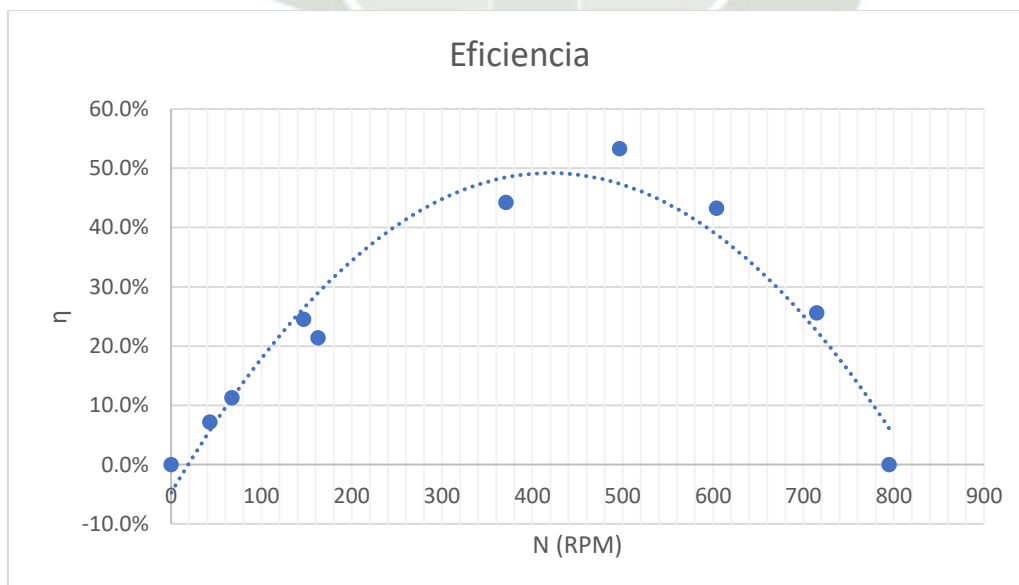
*Potencia mecánica con apertura de 100%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



La **Figura 4.96** muestra el comportamiento cuadrático de la potencia mecánica para una altura de 1.4m alcanzando una potencia mecánica máxima aproximada de 2.15 W para 420 RPM (considerando la curva de mejor ajuste presentada en la figura).

**Figura 4.97** Eficiencia con apertura de 100%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)

*Eficiencia con apertura de 100%,  $H = 1.4$  m (T. Pelton)*



Según la representación gráfica de las curvas características se obtiene:

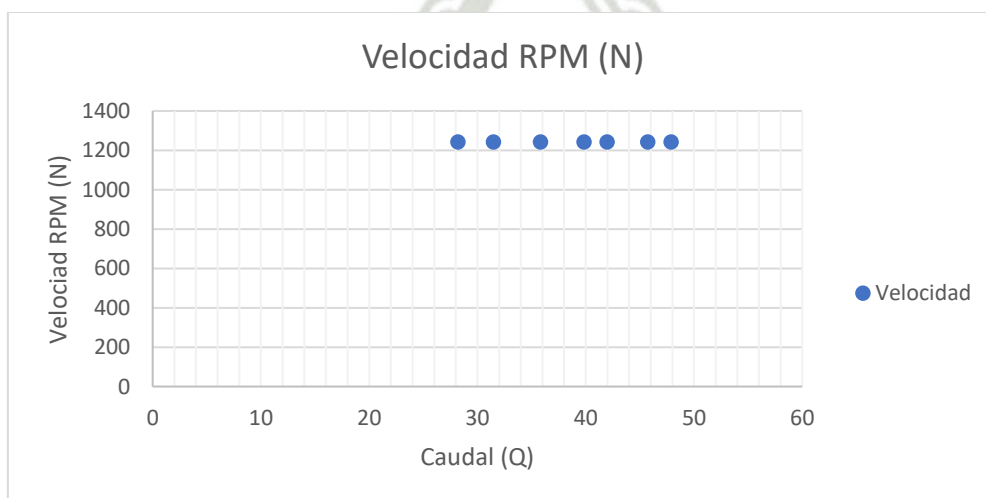
- La turbina alcanza un número de revoluciones en régimen de marcha en vacío de 795 rpm (velocidad de giro de embalamiento).
- El par máximo obtenido fue de 7 Ncm a una velocidad de 146.7 rpm.
- La curva de potencia según el gráfico, alcanza un máximo de 2.15 W a 420 rpm. A ese número de revoluciones se alcanza el grado máximo de eficiencia con un valor de 49% aproximadamente tal y como muestra la **Figura 4.97**, debido a que el agua sale prácticamente axial del rodete y la pérdida en la salida es mínima, esto se puede apreciar gracias a la caja transparente.

#### 4.5.10. Curvas con apertura de 100% para 1200 RPM constantes

Los valores obtenidos en la tabla anterior muestran una fluctuación de velocidad (RPM) alrededor de los 1200 RPM. Se ha escogido este valor de 1200 RPM debido a que en las pruebas realizadas a esta velocidad de rotación aproximadamente se presentó la máxima eficiencia en la turbina Pelton. En base a los datos obtenidos calculamos un promedio de 1242.3 RPM, valor que será considerado para las gráficas siguientes:

**Figura 4.98** Velocidad constante vs caudal (T. Pelton)

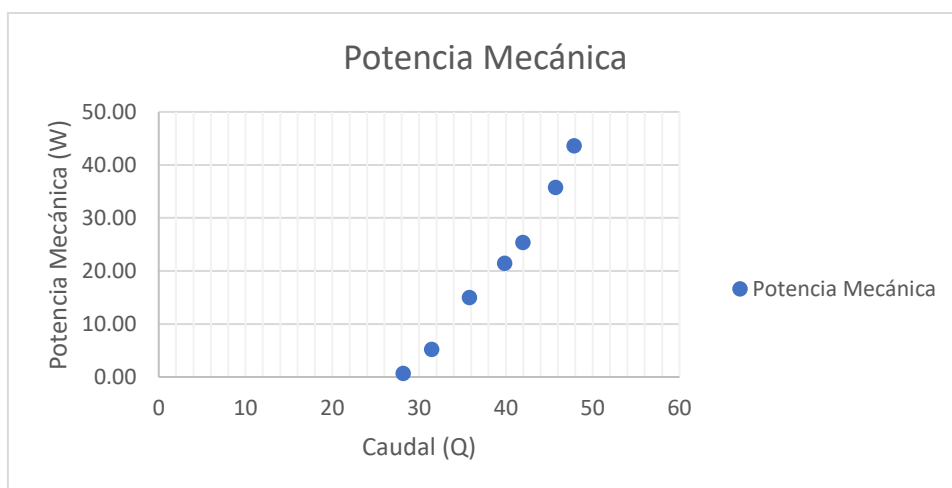
*RPM constante vs caudal (T. Pelton)*



Con el propósito de mantener una velocidad de rotación del eje constante a medida que se va frenando el eje empleando el freno prony es que se apertura más la válvula proporcional incrementando así el caudal, tal y como se muestra en la **Figura 4.98**.

**Figura 4.99**

*Potencia mecánica para RPM constante (T. Pelton)*

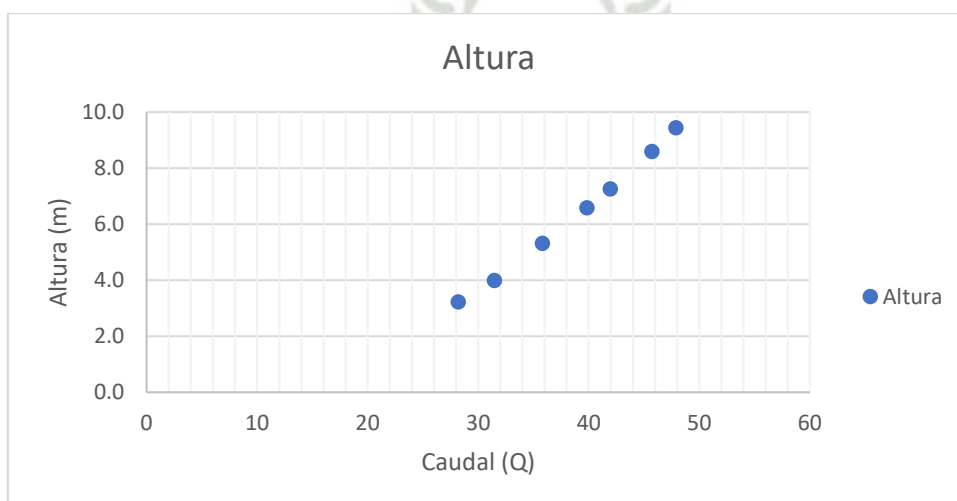


La **Figura 4.99** muestra la potencia mecánica vs el caudal y la relación que mantienen estas variables es directamente proporcional, es decir, que para mantener una velocidad de rotación constante se requiere aumentar el caudal y cuando este aumenta también aumenta la potencia mecánica.

**Figura 4.100**

*para RPM constante (T. Pelton)*

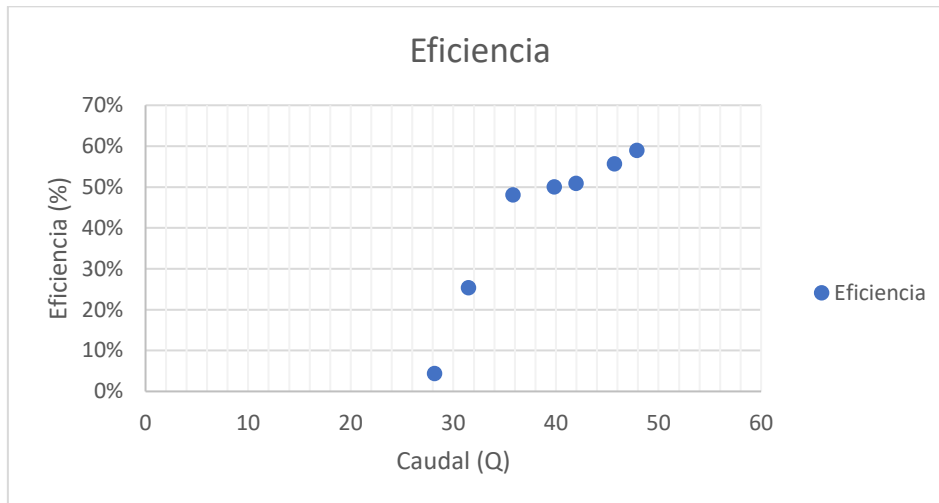
Altura para RPM constante (T. Pelton)



Con la finalidad de mantener las RPM constantes se requiere un incremento de caudal y con ello también se incrementa la altura tal y como se muestra en la **Figura 4.100**.

**Figura 4.101**

*Eficiencia para RPM constante (T. Pelton)*



El incremento de la eficiencia mostrado en la **Figura 4.101** es directamente proporcional al caudal ya que cuando uno incrementa también lo hace la otra variable.

## 5. CONCLUSIONES

- La selección de los transmisores de flujo y presión han permitido monitorear los parámetros de caudal en LPM y presión en bares en el sistema SCADA, las lecturas de los transmisores de presión han sido contrastadas con los manómetros de aguja que se han dejado en el módulo.
- El controlador lógico programable (PLC) S7 1200 escogido para la realización del proyecto ha facilitado la programación y posterior implementación del sistema SCADA al emplear un software como TIA Portal y WinCC.
- La eficiencia más alta obtenida para la turbina Pelton fue de aproximadamente 58% comprobando así la eficiencia y curvas obtenidas en el anterior trabajo de turbina Pelton realizado en la Universidad Católica de Santa María.
- La turbina Pelton del módulo presenta una mayor eficiencia que la turbina Francis teniendo así eficiencias de 58% y 3% respectivamente.
- Los instrumentos electrónicos empleados en el proyecto permiten determinar valores bajos de altura debido a la precisión con la que cuentan estos instrumentos (0.5%, 0.2%, etc.) minimizando las fallas en las lecturas tanto de presión como de caudal.
- Con la finalidad de realizar mediciones en la turbina Francis, se ha incorporado una válvula a la salida para generar contrapresión y así lograr obtener una altura. Cuando esta válvula no se emplea, la medida de presión dada por el transmisor de presión y manómetro a la entrada de la turbina tiene un valor cercano a 0. La velocidad de rotación de la turbina está por debajo de 400 RPM por lo que en algunos casos no será posible tomar muchos datos ya que el freno prony frenará el eje de la turbina antes de completar los 11 datos recomendados para cada prueba.

## 6. RECOMENDACIONES

- Agregar válvulas proporcionales en paralelo con la válvula de retorno ya existente para controlar de forma automática el ingreso de caudal al sistema sin requerir intervención humana. Esto se puede lograr empleando un módulo con salidas analógicas.
- Implementar y hacer uso de la realidad aumentada para mostrar los parámetros y especificaciones tanto del módulo como del tablero eléctrico.
- Con la finalidad de incrementar el avance tecnológico en el módulo se lo puede acercar a la industria 4.0 haciendo uso de un Gateway que permita la conexión a internet y observar los parámetros no solo de forma local sino también a través de internet (IoT Industrial).
- Optar por un equipo electrónico que permita determinar las fuerzas sobre el eje con la finalidad de reemplazar el freno prony. Este equipo debe permitir también enviar datos al PLC para obtener los parámetros y calcular la potencia hidráulica, mecánica y la eficiencia en el sistema.
- La eficiencia máxima encontrada en la turbina Francis fue de 3% lo cual indicaría que se requiere un cambio o mantenimiento de la turbina Francis para una operación óptima.

## 7. REFERENCIAS

- AUTRACEN. (2022). *Conoce la norma IEC 61131*. <https://www.autracen.com/blog/blog-autracen-1/conoce-la-norma-iec-61131-50>
- Canaza Choqueluque, J. T., & Chara Surco, H. (2018). *Diseño e Implementación de un módulo de turbina Pelton para el laboratorio de energía de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica*. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8313>
- Chacca Cuti, E., & Siles Nates, F. D. (2012). *Diseño e Implementación de un módulo de caudal controlado por PLC y supervisión de proceso mediante SCADA*. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8656>
- Dick, E. (2022). *Fundamentals of Turbomachines* (Springer, Ed.; 2nd ed.).
- edsrobotics. (2020, April 25). *¿Qué es la automatización industrial?* <https://www.edsrobotics.com/blog/que-es-la-automatizacion-industrial/>
- Góngora Cruz, L. A., & Rojas Macedo, O. G. (2019). *Diseño e Implementación de un módulo de turbina Francis para el laboratorio de termofluidos de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica*. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8602>
- IEC 61131-3. (2013). *ESTANDARIZACIÓN EN LA PROGRAMACIÓN DEL CONTROL INDUSTRIAL*.
- John, K.-H., & Tiegelkamp, M. (2010). *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems* (2nd ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12015-2>
- Kamel, K., & Kamel, E. (2013). *Programmable Logic Controllers*. Mc Graw Hill.
- Narváez, A. S. (2019). *Estimación de la velocidad y aceleración de un servomotor a partir de las medidas de un encoder incremental* [UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/130526>
- OMRON. (n.d.). *SENSORES INDUCTIVOS - Principios de Funcionamiento*.
- Petruzella, F. (2017). *Programmable Logic Controllers* (5th ed.). Mc Graw Hill.
- RED HAT. (2022). *Automatización*. <https://www.redhat.com/pt-br/topics/automation>
- SIEMENS. (2022a). *SIMATIC WinCC Unified System*. <https://new.siemens.com/br/pt/produtos/automacao/simatic-hmi/wincc-unified.html>
- SIEMENS. (2022b). *Totally Integrated Automation Portal*. <https://new.siemens.com/br/pt/produtos/software/industria/automacao/tia-portal.html>
- UNLP. (2020). *Diagrama de contactos (Ladder) - Instrumentación y Comunicaciones Industriales*.
- Zhang, Z. (2016). *Pelton Turbines*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31909-4>

## 8. ANEXOS

### 8.1. Transmisor de Flujo

Nominal diameter (mm)	L(mm)	G	G(mm)	K(mm)	d(mm)	n (Number of holes)	Chuck diameter (mm)
4	225	G1/2	20				
6	225	G1/2	20				
10	346	G1/2	20				
15	75	G1	32	65	14	4	50.5
20	80	G1	32	75	14	4	50.5
25	100	G1 1/4	40	85	14	4	50.5
32	140	G1 1/2	47	100	14	4	50.5
40	140	G2	59	110	18	4	62
50	150	G2 1/2	83	125	18	4	77
65	170			145	18	4	
80	200			160	18	8	
100	220			180	18	8	
125	250			210	18	8	
150	300			240	22	8	
200	360			295	22	12	

**Flow Range Table**

Nominal diameter (mm)	Flow range (m <sup>3</sup> /h)	Withstand voltage range (MPa)
DN4	0.04~0.25	Thread type pressure resistance 6.3MPa
DN6	0.1~0.60	
DN10	0.2~1.20	
DN15	0.6~6.0	
DN20	0.8~8.0	Flange type pressure resistance 2.5MPa
DN25	1~10.0	
DN32	1.5~15.0	
DN40	2~20.0	
DN50	4~40.0	Thread type pressure resistance 6.3MPa
DN65	7~70.0	
DN80	10~100.0	
DN100	20~200.0	
DN125	25~250.0	Flange type pressure resistance 1.6MPa
DN150	30~300.0	
DN200	80~800.0	



**Thread type**



**Chuck type**

**Output signal:**  
4-20mA  
**Display content:**  
Instantaneous flow  
**Display unit:**  
m<sup>3</sup>/h, L/h, L/min  
**Power supply:**  
24VDC



**Small diameter thread type**



**Flange type**



## 8.2. Transmisor de Presión

SOWAKAM | www.sowakam.com | Anhui Jinqu Electric Co., Ltd

### Pressure Transmitter

- Imported diffused silicon chip, high-performance digital integrated circuit, internal glue processing. Convert the measured (non-corrosive) pressure of water, oil, gas, and liquid into standard analog signals to supply secondary instruments such as indicating alarms, recorders, and regulators
- for measurement, indication and process adjustment. Intelligent temperature compensation, strong anti-interference ability, high accuracy, anti-shock, multiple protection, stable and reliable, long service life.
- Parameters can be customized, labels can customize your company's name, logo, support OEM.



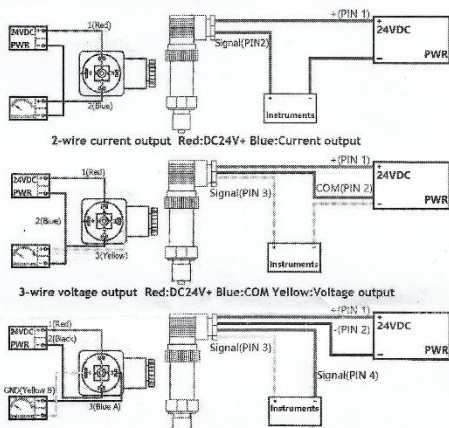
#### Parameter

Model: SWK-PC300  
 Range: -1-0-1000bar(-0.1-0-100Mpa)  
 Accuracy class: 0.2%FS, 0.5%FS(default)  
 Output: 4-20mA, 0-20mA, 0-5V, 0-10V  
 Power supply: DC12V-36V (default 24VDC)  
 Measuring medium: Water, gas, oil, liquid (not easy to corrode)  
 Long-term qualitative:  $\leq 0.2\%$  FS/°C  
 Overload capacity: 200%  
 Response time:  $\leq 10$ ms  
 Medium temperature: -40°C~60°C  
 Ambient temperature: -40°C~85°C  
 Natural frequency: 5Khz~650KHz  
 Protection class: IP65  
 Zero temperature drift:  $\pm 0.03\%$ FS/°C  
 Sensitivity temperature drift:  $\pm 0.03\%$ FS/°C  
 Material: shell SS304, diaphragm SS316L, cable polyester ammonia

#### Selection

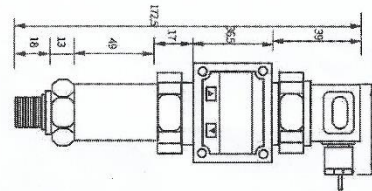
Model					SWK-PC300
Range					-1-0-1000bar
Connector	C1				Hersman
	C2				waterproof type
	C3				Aviation plug
Power supply	P1				DC24V default
	P2				DC12V
Output	O1				4-20mA
	O2				0-20mA
	O3				0-5V
	O4				0-10V
	O5				RS485
Thread size	T1				M20×1.5
	T2				G1/4
	T3				G1/2
	T4				Customizable

#### Wiring diagram

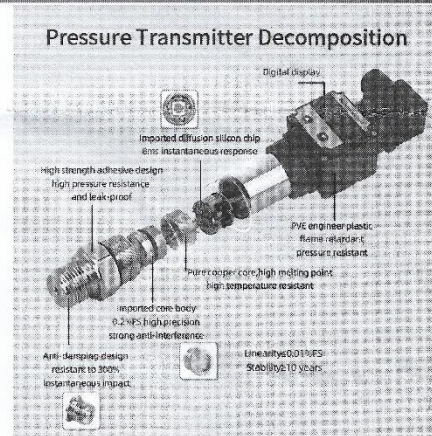


Illustrate 4-wire RS485 output Red:24V+ Black:24V- Blue:A Yellow:B

1. Please connect correctly according to the wiring diagram. If the connection is wrong, there will be no signal output due to the reverse connection protection inside the transmitter.
2. The transmitter can work after it is powered on, and the response time is less than or equal to 10ms.
3. The measured pressure cannot exceed the rated overload value, and cannot be directly connected to conductive and corrosive gases or liquids.
4. It is strictly forbidden to insert sharp objects into the pressure holes, and the flat diaphragm type cannot be collided with any objects.



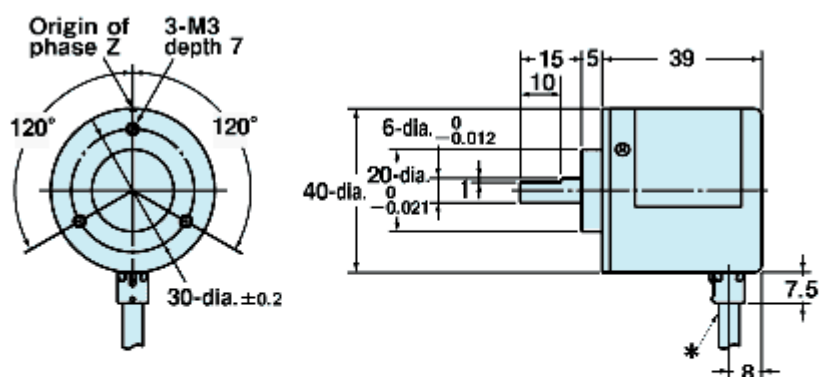
#### Internal



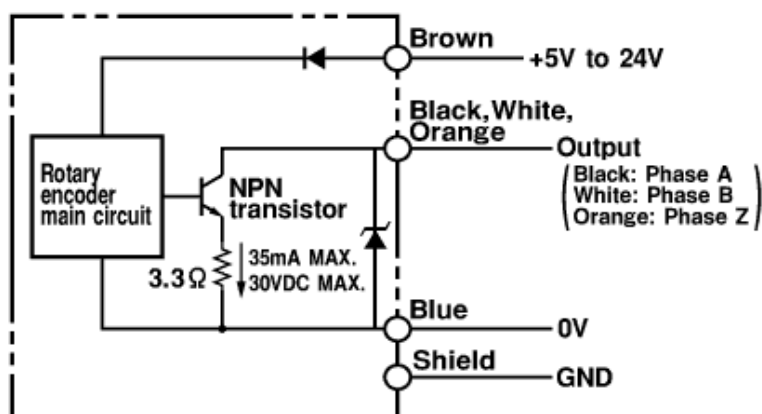
Anhui Jinqu Electric Co., Ltd | WhatsApp: +86 18656102087 | alex@sowakam.com | www.sowakam.com

### 8.3. Encoder Omron E6B2-CWZ6C

Categorise		Incremental Shaft model
Diameter		40 mm dia.
Power supply voltage		5 to 24 VDC (-5% to +15%) Ripple (p-p) 5% max.
Current consumption		80 mA max.
Resolution		1000 P/R
Inrush current		Approx. 9 A (0.3 ms)
Output phases		A, B and Z
Control output	Output type	NPN open collector
	Load power supply voltage	30 VDC max.
	Sink current	35 mA max.
	Residual voltage	0.4 V max. (at sink current 35 mA)
Starting positional point		Equipped
Max. response frequency		100 kHz
Phase difference on output		90±45 ° between A and B (1/4 T ± 1/8 T)
Rise and fall times of output		1 µs max. (Cable length: 2 m max., output voltage: 5 V, load resistance: 1 kΩ)
Starting torque		0.98 mN.m max.
Moment of inertia		1 x 10 <sup>-6</sup> kg.m <sup>2</sup> max.
Shaft loading		Radial: 30 N Thrust: 20 N
Max. permissible rotation		6000 r/min
Protective circuit		Output short-cut protection Power supply reverse polarity protection
Ambient temperature		Operating: -10 to 70 °C (with no icing) Storage: -25 to 85 °C (with no icing)
Ambient humidity		Operating: 35 to 85% RH (with no condensation) Storage: 35 to 85% RH (with no condensation)
Insulation resistance		Between charged parts and the case: 20 MΩ or higher (500 VDC megger)
Dielectric strength		Between charged parts and the case: 500 VAC 50/60 Hz 1 min
Vibration resistance		Destruction: 10 to 500 Hz, 2-mm or 150 m/s <sup>2</sup> double amplitude for 11 min 3 times each in X, Y, and Z directions
Shock resistance		Destruction: 1000 m/s <sup>2</sup> for 3 times each in X, Y, and Z directions
Degree of protection		IEC: IP50
Connection method		Pre-wired models (Cable length: 2 m)
Material		Case: ABS Main Unit: Aluminum Shaft: SUS420J2
Accessories		Instruction manual, Couplings, Hex-head spanner



- \*E6B2-CWZ6C, E6B2-CWZ5B, E6B2-CWZ3E  
5-dia. Shielded cable with 5 conductors  
(conductor cross section: 0.2mm<sup>2</sup>, insulator diameter: 1.0mm)  
Standard length: 500mm
- E6B2-CWZ1X  
5-dia. Shielded cable with 8 conductors  
(conductor cross section: 0.2mm<sup>2</sup>, insulator diameter: 1.0mm)  
Standard length: 500mm



- \*1. The shielded cable outer core is not connected to the inner area or the case.
- 2. Normally, connect GND to 0V or to an external ground.

Color	Terminal
Brown	Vcc
Black	Phase A
White	Phase B
Orange	Phase Z
Blue	0V(COMMON)
Shield	GND

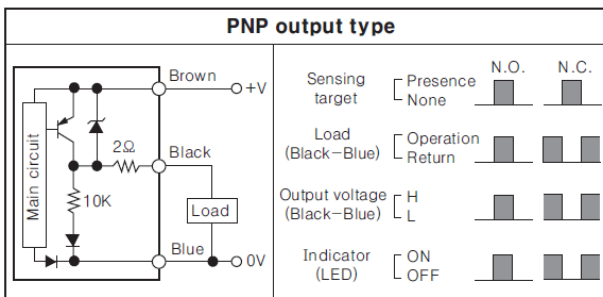
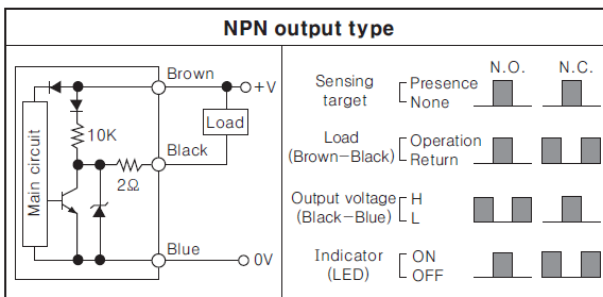
### 8.4. Sensor Inductivo

#### ●DC 3-wire type

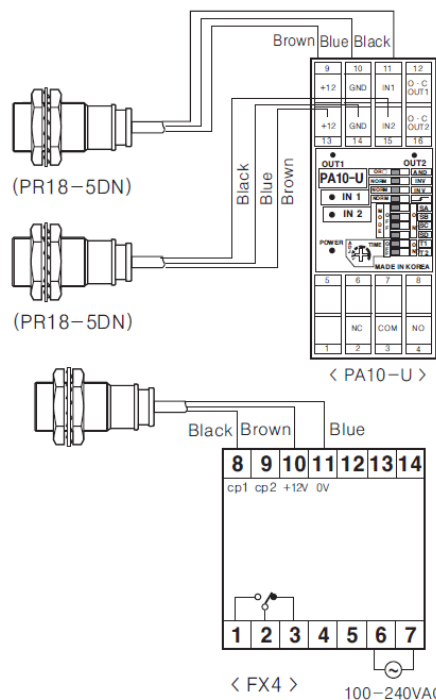
Model	PR08-1.5DN PR08-1.5DP PR08-1.5DN2 PR08-1.5DP2 PRL08-1.5DN PRL08-1.5DP PRL08-1.5DN2 PRL08-1.5DP2	PR08-2DN PR08-2DP PR08-2DN2 PR08-2DP2 PRL08-2DN PRL08-2DP PRL08-2DN2 PRL08-2DP2	PR12-2DN PR12-2DP PR12-2DN2 PR12-2DP2 PRS12-2DN PRS12-2DP PRS12-2DN2 PRS12-2DP2	PR12-4DN PR12-4DP PR12-4DN2 PR12-4DP2 PRS12-4DN PRS12-4DP PRS12-4DN2 PRS12-4DP2	PR18-5DN PR18-5DP PR18-5DN2 PR18-5DP2 PRL18-5DN PRL18-5DP PRL18-5DN2 PRL18-5DP2	PR18-8DN PR18-8DP PR18-8DN2 PR18-8DP2 PRL18-8DN PRL18-8DP PRL18-8DN2 PRL18-8DP2	PR30-10DN PR30-10DP PR30-10DN2 PR30-10DP2 PRL30-10DN PRL30-10DP PRL30-10DN2 PRL30-10DP2	PR30-15DN PR30-15DP PR30-15DN2 PR30-15DP2 PRL30-15DN PRL30-15DP PRL30-15DN2 PRL30-15DP2
Sensing distance	1.5mm	2mm	2mm	4mm	5mm	8mm	10mm	15mm
Hysteresis	Max. 10% of sensing distance							
Standard sensing target	8 × 8 × 1mm (Iron)		12 × 12 × 1mm (Iron)		18 × 18 × 1mm (Iron)	25 × 25 × 1mm (Iron)	30 × 30 × 1mm (Iron)	45 × 45 × 1mm (Iron)
Setting distance	0 to 1.05mm	0 to 1.4mm	0 to 1.4mm	0 to 2.8mm	0 to 3.5mm	0 to 5.6mm	0 to 7mm	0 to 10.5mm
Power supply (Operation voltage)	12-24VDC (10-30VDC)							
Leakage current	Max. 10mA							
Response frequency(•1)	1.5kHz	1kHz	1.5kHz	500Hz		350Hz	400Hz	200Hz
Residual voltage	Max. 1.5V							
Affection by Temp.	±10% Max. for sensing distance at 20°C within temperature range of -25 to 70°C, PR08 Series : Max. ±20%							
Control output	Max. 200mA							
Insulation resistance	Min. 50MΩ (at 500VDC megger)							
Dielectric strength	1500VAC 50/60Hz for 1 minute							
Vibration	1mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz in each of X, Y, Z directions for 2 hours							
Shock	500m/s <sup>2</sup> (50G) in X, Y, Z direction for 3 times							
Indicator	Output operation indicator (Red LED)							
Ambient temperature	-25 to 70°C (at non-freezing status)							
Storage temperature	-30 to 80°C (at non-freezing status)							
Ambient humidity	35 to 95%RH							
Protection circuit	Surge protection circuit, Reverse polarity protection circuit, Overload & Short protection circuit							
Protection	IP67 (IEC standard)							
Material	Case/Nut: Nikel plated Brass, Washer: Nikel plated Iron, Sensing surface: Heat-resistant ABS, Standard cable (Black): Polyvinyl chloride (PVC), Oil resistant cable (Gray): Oil resistant Polyvinyl chloride (PVC)							
Cable spec.	φ 3.5 × 3P, 2m		φ 4 × 3P, 2m		φ 5 × 3P, 2m			
Approval	CE							
Unit weight	PR: Approx. 52g PRL: Approx. 54g		PR: Approx. 72g, PRS: Approx. 70g, PRL: Approx. 76g		PR: Approx. 110g PRL: Approx. 130g		PR: Approx. 170g PRL: Approx. 210g	

※(•1) The response frequency is the average value. The standard sensing target is used and the width is set as 2 times of the standard sensing target, 1/2 of the sensing distance for the distance.

#### ○DC 3-wire type



#### ○DC 3-wire type



## 8.5. PLC S7-1200 1212C AC/DC/RLY

# SIEMENS

### Hoja de datos

6ES7212-1BE40-0XB0



SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, CPU compacta AC/DC/relé, E/S INTEGRADAS: 8 DI DC 24V; 6 DO, relé 2 A; 2 AI 0-10V DC, alimentación: AC 85-264 V AC con 47-63 Hz, Memoria de programas/datos 75 KB

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1212C AC/DC/Relais
Versión de firmware	V4.4
Ingeniería con	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Paquete de programación</li> </ul>	STEP 7 V16 o superior
Tensión de alimentación	
Valor nominal (AC)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>120 V AC</li> <li>230 V AC</li> </ul>	Sí Sí
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	264 V
Frecuencia de red	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rango admisible, límite inferior</li> <li>Rango admisible, límite superior</li> </ul>	47 Hz 63 Hz
Intensidad de entrada	
Consumo, máx.	240 mA con 120 V AC; 120 mA con 240 V AC
Intensidad de cierre, máx.	20 A; con 264 V
$I^2t$	0,8 A <sup>2</sup> ·s
Intensidad de salida	
Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 000 mA
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	11 W
Memoria	
Memoria de trabajo	
<ul style="list-style-type: none"> <li>integrada</li> <li>ampliable</li> </ul>	75 kbyte No
Memoria de carga	
<ul style="list-style-type: none"> <li>integrada</li> </ul>	2 Mbyte
Respaldo	
<ul style="list-style-type: none"> <li>existente</li> <li>libre de mantenimiento</li> <li>sin pila</li> </ul>	Sí Sí Sí
Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones de bits, típ.	0,08 µs
para operaciones a palabras, típ.	1,7 µs
para aritmética de coma flotante, típ.	2,3 µs
CPU-bloques	

6ES72121BE400XB0  
Página 1/2

18.01.2021

Sujeto a cambios  
© Copyright Siemens

## 8.6. Módulo SM1234

# SIEMENS

### Data sheet

6ES7234-4HE32-0XB0



SIMATIC S7-1200, analog I/O SM 1234, 4 AI/2 AO, +/-10 V, 14-bit resolution or 0 (4)-20mA, 13-bit resolution

General information	
Product type designation	SM 1234, AI 4x13 bit/AQ 2x14 bit
Supply voltage	
Rated value (DC)	24 V
Input current	
Current consumption, typ. from backplane bus 5 V DC, typ.	60 mA 80 mA
Power loss	
Power loss, typ.	2 W
Analog inputs	
Number of analog inputs	4; Current or voltage differential inputs
permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	35 V
permissible input current for current input (destruction limit), max.	40 mA
Cycle time (all channels) max.	625 µs
Input ranges	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltage</li> <li>• Current</li> <li>• Thermocouple</li> <li>• Resistance thermometer</li> <li>• Resistance</li> </ul>	Yes; ±10V, ±5V, ±2.5V Yes; 4 to 20 mA, 0 to 20 mA No No No
Input ranges (rated values), voltages	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• -10 V to +10 V — Input resistance (-10 V to +10 V)</li> <li>• -2.5 V to +2.5 V — Input resistance (-2.5 V to +2.5 V)</li> <li>• -5 V to +5 V — Input resistance (-5 V to +5 V)</li> </ul>	Yes ≥9 MOhm Yes ≥9 MOhm Yes ≥9 MOhm
Input ranges (rated values), currents	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 to 20 mA — Input resistance (0 to 20 mA)</li> <li>• 4 mA to 20 mA</li> </ul>	Yes 280 Ω Yes
Analog outputs	
Number of analog outputs	2; Current or voltage
Output ranges, voltage	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• -10 V to +10 V</li> </ul>	Yes
Output ranges, current	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 to 20 mA</li> <li>• 4 mA to 20 mA</li> </ul>	Yes Yes
Load impedance (in rated range of output)	

## 8.7. Manual de Operación del sistema SCADA

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Cód: Turb-01
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Versión 01
	MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA	Página 1 de 8

### Manual de Operación del Sistema SCADA del módulo de Turbinas

#### 1. Objetivos

- Comprender cada uno de los botones y/o gráficos que tiene el sistema SCADA.

#### 2. Información General

El sistema SCADA (Sistema de supervisión y adquisición de datos) junto con un HMI (Interfaz hombre máquina) cumple una parte importante en todo proceso automatizado ya que permite al usuario u operador evaluar el estado de todo proceso en tiempo real. La extensión de un sistema SCADA no solo se limita a la supervisión, sino que también permite controlar un proceso, permitiendo así alterar directamente los parámetros del proceso.

#### 3. Detalles del sistema SCADA

##### **Verificar comunicación con el módulo**

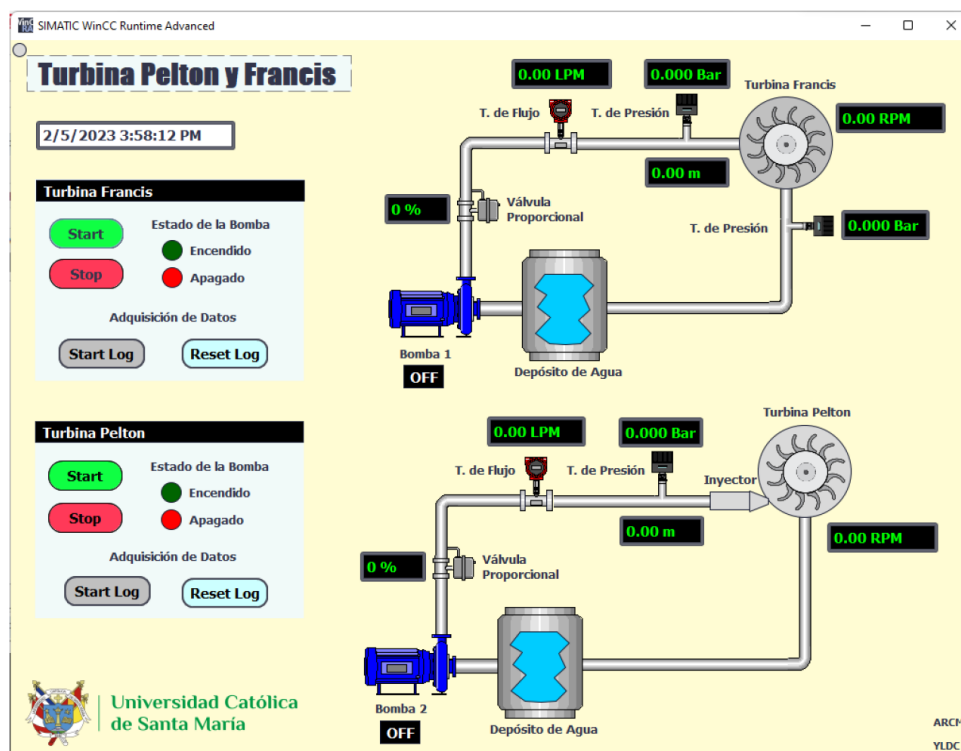
Al iniciar el sistema SCADA del módulo de turbinas tenemos que verificar que la luz indicadora de la esquina superior izquierda se encuentre parpadeando. Si esta parpadea indica que el sistema se encuentra correctamente conectado y existe comunicación con el módulo.


En caso no se pueda comunicar el SCADA con el módulo se debe verificar lo siguiente:

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA</b>	Página 2 de 8

- Verificar que el PLC no esté en modo de error y que este además esté recibiendo energía (comprobar por simple inspección observando que enciendan las luces en el lado de entradas y salidas).
- El adaptador de red WIFI de la PC o Laptop donde se ejecuta el SCADA debe estar desactivado.
- El cable ethernet debe estar correctamente conectado (verificar que esté bien colocado en cada uno de los puertos RJ45).
- El adaptador de USB 3.0 a RJ45 debe estar vinculado con el Host (sistema operativo principal) y no a la máquina virtual.

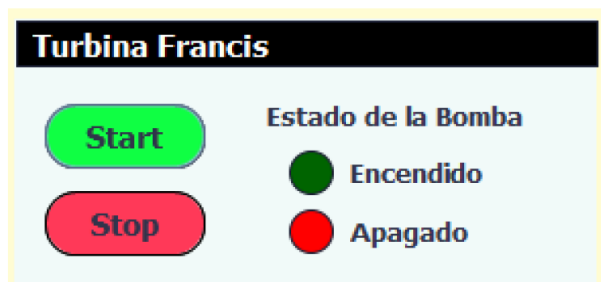
### Interacción con el usuario



	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p> <p align="center"><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	<p>Cód: Turb-01</p>
	<p align="center"><b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA</b></p>	<p>Versión 01</p>
		<p>Página 3 de 8</p>

El SCADA presentado en la anterior figura contempla todos los botones necesarios para el funcionamiento del sistema. Y podemos dividir este SCADA en dos partes: En el lado izquierdo se tienen los botones de control (arranque, parada y adquisición de datos) para cada una de las turbinas y en el lado derecho se tienen los diagramas de cada turbina.

Respecto al lazo izquierdo de control se tiene:



-Nombre de la turbina, esta puede ser Francis o Pelton.

-Dos pulsadores Start (color verde) y Stop (color rojo). Estos pulsadores permiten el arranque y parada de la electrobomba.

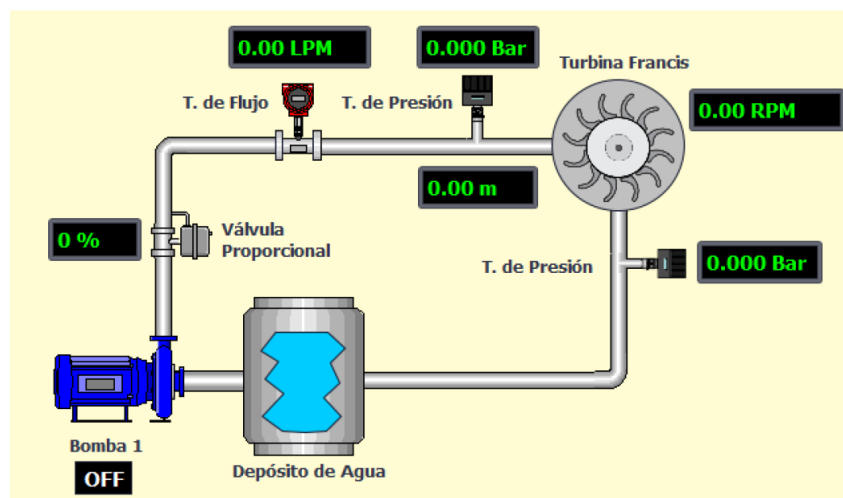
-Se cuenta también con dos indicadores luminosos (simular lámparas) con dos estados: encendido y apagado. De esta forma podemos saber si la electrobomba se encuentra encendida lo cual ocurre cuando se enclava el contactor.

En el caso de la turbina Pelton también se cuenta con las mismas opciones y su funcionamiento es independiente pudiendo así energizar ambas electrobombas.

	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p> <p align="center"><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	<p>Cód: Turb-01</p>
	<p align="center"><b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA</b></p>	<p>Versión 01</p>
		<p>Página 4 de 8</p>

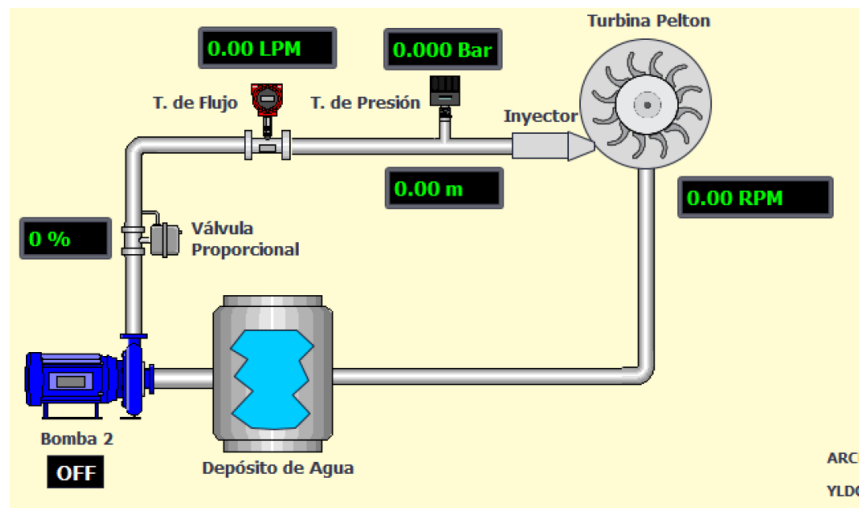
El arranque y parada de las electrobombas con respecto a los pulsadores físicos funcionan de forma conmutada ya que se puede encender y apagar mediante accionamiento manual y/o SCADA.

Por otro lado, en la parte derecha del SCADA se tienen los diagramas de las turbinas Pelton y Francis. Los instrumentos instalados en cada una de las turbinas se pueden observar con una representación más pequeña y sus parámetros se muestran en cajas de texto de color negro y texto verde.



En la figura anterior se observa el diagrama de la turbina Francis, la cantidad de equipos (sensores) que se tienen conectados a una turbina u otra varían pero los parámetros se siguen mostrando al costado de cada instrumento.


	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p> <p align="center"><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	<p>Cód: Turb-01</p>
	<p align="center"><b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA</b></p>	<p>Versión 01</p>
		<p>Página 5 de 8</p>



Se ha agregado también un estado de las electrobombas de forma escrita con OFF y ON los cuales cambian cuando se energizan o desactivan las bombas. Las unidades de cada uno de los parámetros también se presentan con su valor.

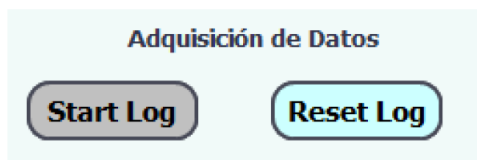
Se han agregado animaciones de color y movimiento cuando empieza a detectarse una cantidad de flujo mínima. La rotación o movimiento de la turbina solo se da cuando el sensor inductivo detecta pulsos (lo cual indica que está girando).

Finalmente, el usuario también puede interactuar con la casilla de texto de la válvula proporcional para alterar el porcentaje de apertura de esta para controlar el flujo que ingresa a la turbina. Este parámetro de porcentaje no puede ser menor a 0 y tampoco mayor a 100, por esa razón se ha limitado esa variable a esos valores no pudiendo salirse de esos límites.

	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p> <p align="center"><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	<p>Cód: Turb-01</p>
	<p align="center"><b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA</b></p>	<p>Versión 01</p>
		<p>Página 6 de 8</p>

### Adquisición de datos

Las opciones de adquisición de datos se pueden dividir en 3: Start Log, Stop Log y Reset Log.






La adquisición de datos permite almacenar de forma periódica los parámetros de las turbinas para procesamiento posterior. Los datos se guardan cada segundo en un archivo con formato .txt.

-Start Log permite iniciar el guardado de datos en el archivo de texto y se realizará hasta que se haga click en la opción Stop Log. Si en algún punto se supera la cantidad de 14400 datos almacenados se reiniciará automáticamente el archivo borrando todos los datos guardados hasta ese momento.

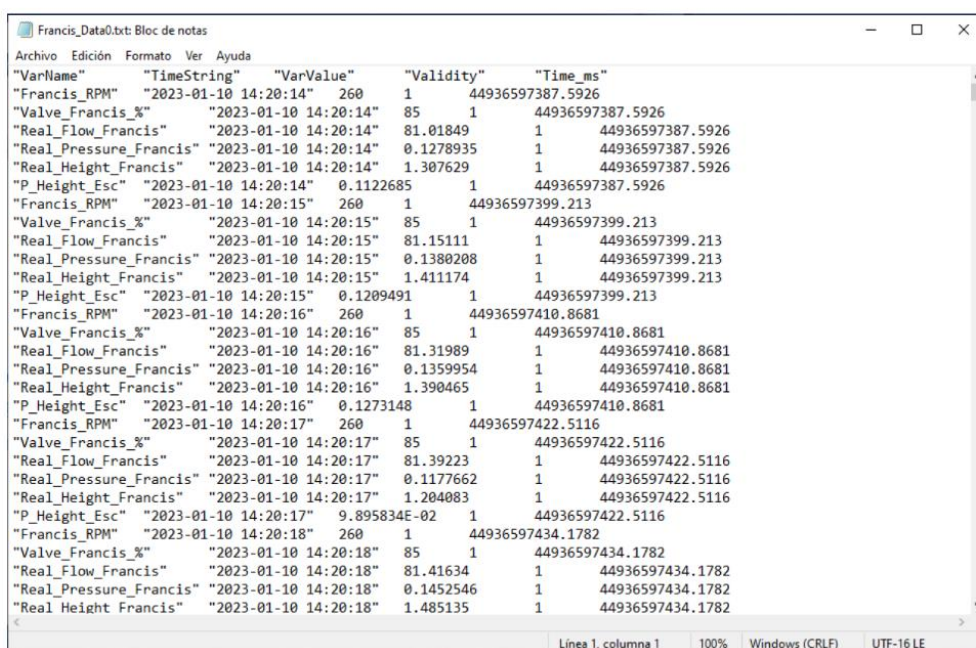
-Reset Log permite resetear el archivo de datos y limpiarlo para iniciar un nuevo archivo.

Los datos almacenados se encuentran en el disco C en la carpeta llamada Logs:

 Francis_Data	5/02/2023 16:04	Carpeta de archivos
 Pelton_Data	5/02/2023 16:04	Carpeta de archivos

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA</b>	Página 7 de 8


Es en esta carpeta que se encontrarán dos carpetas con los datos referidos a las turbinas Francis y Pelton. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de los datos almacenados para la turbina Francis:



```

Francis_Data0.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
"VarName" "TimeString" "VarValue" "Validity" "Time_ms"
"Francis_RPM" "2023-01-10 14:20:14" 260 1 44936597387.5926
"Valve_Francis_%" "2023-01-10 14:20:14" 85 1 44936597387.5926
"Real_Flow_Francis" "2023-01-10 14:20:14" 81.01849 1 44936597387.5926
"Real_Pressure_Francis" "2023-01-10 14:20:14" 0.1278935 1 44936597387.5926
"Real_Height_Francis" "2023-01-10 14:20:14" 1.307629 1 44936597387.5926
"P_Height_Esc" "2023-01-10 14:20:14" 0.1122685 1 44936597387.5926
"Francis_RPM" "2023-01-10 14:20:15" 260 1 44936597399.213
"Valve_Francis_%" "2023-01-10 14:20:15" 85 1 44936597399.213
"Real_Flow_Francis" "2023-01-10 14:20:15" 81.15111 1 44936597399.213
"Real_Pressure_Francis" "2023-01-10 14:20:15" 0.1380208 1 44936597399.213
"Real_Height_Francis" "2023-01-10 14:20:15" 1.411174 1 44936597399.213
"P_Height_Esc" "2023-01-10 14:20:15" 0.1209491 1 44936597399.213
"Francis_RPM" "2023-01-10 14:20:16" 260 1 44936597410.8681
"Valve_Francis_%" "2023-01-10 14:20:16" 85 1 44936597410.8681
"Real_Flow_Francis" "2023-01-10 14:20:16" 81.31989 1 44936597410.8681
"Real_Pressure_Francis" "2023-01-10 14:20:16" 0.1359954 1 44936597410.8681
"Real_Height_Francis" "2023-01-10 14:20:16" 1.390465 1 44936597410.8681
"P_Height_Esc" "2023-01-10 14:20:16" 0.1273148 1 44936597410.8681
"Francis_RPM" "2023-01-10 14:20:17" 260 1 44936597422.5116
"Valve_Francis_%" "2023-01-10 14:20:17" 85 1 44936597422.5116
"Real_Flow_Francis" "2023-01-10 14:20:17" 81.39223 1 44936597422.5116
"Real_Pressure_Francis" "2023-01-10 14:20:17" 0.1177662 1 44936597422.5116
"Real_Height_Francis" "2023-01-10 14:20:17" 1.204083 1 44936597422.5116
"P_Height_Esc" "2023-01-10 14:20:17" 9.895834E-02 1 44936597422.5116
"Francis_RPM" "2023-01-10 14:20:18" 260 1 44936597434.1782
"Valve_Francis_%" "2023-01-10 14:20:18" 85 1 44936597434.1782
"Real_Flow_Francis" "2023-01-10 14:20:18" 81.41634 1 44936597434.1782
"Real_Pressure_Francis" "2023-01-10 14:20:18" 0.1452546 1 44936597434.1782
"Real_Height_Francis" "2023-01-10 14:20:18" 1.485135 1 44936597434.1782
    
```

Se sugiere emplear Microsoft Excel para el procesamiento de los datos pudiendo así importar los datos desde un archivo de texto.

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA</b>	Página 8 de 8

Francis\_Data0.txt


Origen de archivo: 1200: Unicode |
 Delimitador: Carácter de tabulación |
 Detección del tipo de datos: Basado en las primeras 200 filas

VarName	TimeString	VarValue	Validity	Time_ms
Francis_RPM	10/01/2023 14:20:14	260	1	44936597388
Valve_Francis_%	10/01/2023 14:20:14	85	1	44936597388
Real_Flow_Francis	10/01/2023 14:20:14	81.01849	1	44936597388
Real_Pressure_Francis	10/01/2023 14:20:14	0.1278935	1	44936597388
Real_Height_Francis	10/01/2023 14:20:14	1.307629	1	44936597388
P_Height_Esc	10/01/2023 14:20:14	0.1122685	1	44936597388
Francis_RPM	10/01/2023 14:20:15	260	1	44936597399
Valve_Francis_%	10/01/2023 14:20:15	85	1	44936597399
Real_Flow_Francis	10/01/2023 14:20:15	81.15111	1	44936597399
Real_Pressure_Francis	10/01/2023 14:20:15	0.1380208	1	44936597399
Real_Height_Francis	10/01/2023 14:20:15	1.411174	1	44936597399
P_Height_Esc	10/01/2023 14:20:15	0.1209491	1	44936597399
Francis_RPM	10/01/2023 14:20:16	260	1	44936597411
Valve_Francis_%	10/01/2023 14:20:16	85	1	44936597411
Real_Flow_Francis	10/01/2023 14:20:16	81.31989	1	44936597411
Real_Pressure_Francis	10/01/2023 14:20:16	0.1359954	1	44936597411
Real_Height_Francis	10/01/2023 14:20:16	1.390465	1	44936597411
P_Height_Esc	10/01/2023 14:20:16	0.1273148	1	44936597411
Francis_RPM	10/01/2023 14:20:17	260	1	44936597423
Valve_Francis_%	10/01/2023 14:20:17	85	1	44936597423

Los datos de la vista previa se han truncado debido a límites de tamaño.

Los datos obtenidos salen con una hora y fecha que necesitan ser agrupados mediante tablas dinámicas por tiempo sabiendo que los datos se toman cada segundo.

Tiempo	Francis_RPM	P_Height_Esc	Real_Flow_Francis	Real_Height_Francis	Real_Pressure_Francis	Valve_Francis_%
0	260	0.1122685	81.01849	1.307629	0.1278935	85
1	260	0.1209491	81.15111	1.411174	0.1380208	85
2	260	0.1273148	81.31989	1.390465	0.1359954	85
3	260	0.09895834	81.39223	1.204083	0.1177662	85
4	260	0.1203704	81.41634	1.485135	0.1452546	85
5	260	0.1293403	81.39223	1.204083	0.1177662	85
6	260	0.1050347	81.09083	1.36088	0.1331019	85
7	260	0.104456	81.28372	1.393423	0.1362847	85
8	260	0.1293403	81.03054	1.201125	0.1174769	85
9	260	0.1276042	81.10288	1.499927	0.1467014	85
10	260	0.1018519	81.34401	1.286919	0.1258681	85
11	260	0.1073495	81.34401	1.307629	0.1278935	85
12	260	0.1302083	81.16316	1.452592	0.1423611	85
13	260	0.1166088	81.41634	1.156748	0.1131366	85
14	260	0.1006944	81.33195	1.499927	0.1467014	85

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Cód: Turb-01
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Versión 01
	MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA	Página 9 de 8

### Bibliografía


Chalco, A., & Díaz, Y. (2023). *Residesño y automatización de los módulos de turbinas pelton y Pelton del laboratorio de termofluidos de la universidad católica de santa maría para el monitoreo de flujo y presión empleando un sistema SCADA*. Universidad Católica de Santa María.

Góngora Cruz, L. A., & Rojas Macedo, O. G. (2019). *Diseño e Implementación de un módulo de turbina Pelton para el laboratorio de termofluidos de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica*. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8602>



## 8.8. Guías de Laboratorio

### 8.8.1. Laboratorio #1 (T. Francis)

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Cód: Turb-01
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Versión 01
	Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis	Página 1 de 15

#### OBTENCIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE TURBINA FRANCIS

##### PARA CAUDAL CONSTANTE

#### 1. Objetivos

El objetivo principal de esta práctica es que el alumno conozca cual es el comportamiento de una turbina Francis y que esta le permita conocer cuáles son los cálculos más importantes que se deben realizar dentro de un sistema de este tipo. Para ello será necesario determinar los siguientes parámetros:

- Obtener las curvas de par mecánico, caudal, potencia mecánica y eficiencia.
- Obtener la velocidad de rotación (RPM) óptima,
- Obtener la potencia generada en vatios.

Cabe destacar que el funcionamiento del módulo se puede realizar tanto de forma manual o desde un sistema SCADA. Teniendo procedimientos distintos que serán descritos en esta guía.

#### 2. Información General

Las curvas características han de atribuir el comportamiento típico de una turbina Francis para todas las operaciones de trabajo, que viene determinado por la altura (salto), carga, velocidad, etc.

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Cód: Turb-01
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Versión 01
	Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis	Página 2 de 15

**a) Curvas de Par Mecánico**

En el módulo de la turbina Francis el par mecánico es medido por el freno Prony los cuales miden la fuerza de giro de la polea mediante dos balanzas de resorte ubicada en la parte posterior de la turbina. La fuerza total es la diferencia entre las lecturas de la balanza de lado derecho e izquierdo. Debido a la dirección de rotación, el balance de la mano izquierda dará una lectura más grande que la balanza de la mano derecha (vista frontal).

El par mecánico está dado por el radio de la polea (5 cm) y multiplicado por la fuerza:

$$T = (F_1 - F_2) * R$$

Donde:

T: Par Mecánico (N \* m)

R: Radio de la polea (m)

F<sub>1</sub>: Fuerza de balanza lado izquierdo (N)

F<sub>2</sub>: Fuerza de balanza lado derecho (N)

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Cód: Turb-01
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Versión 01
	Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis	Página 3 de 15

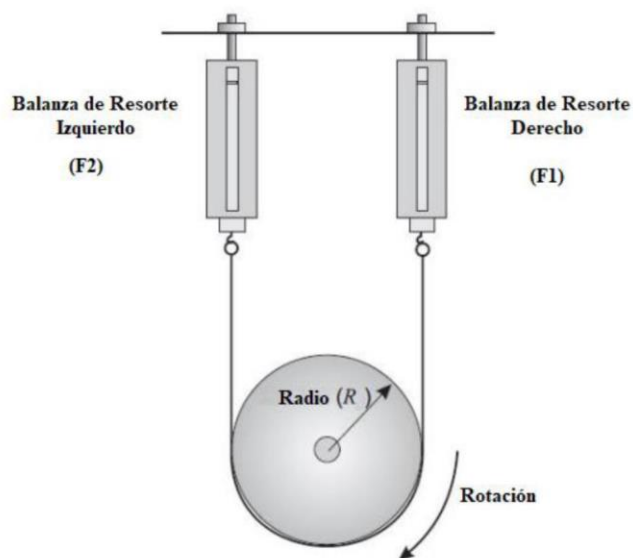


Figura 1. 1 Freno Prony Vista Posterior

#### b) Curvas de Caudal

El caudal en el sistema varía en función de la apertura de la válvula de entrada de agua al sistema. La variación se da de forma proporcional, es decir, a mayor apertura mayor caudal. La cantidad de caudal afecta directamente a la velocidad de rotación del eje de la turbina y se incrementa cuando lo hace el caudal.

Conocer el valor del caudal nos permite graficar también la curva de potencia hidráulica la cual está expresada por la siguiente ecuación:

$$P_h = \rho * g * Q * H \rightarrow P_h = \gamma * Q * H$$

Donde:

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 4 de 15

$P_h$ : Potencia hidráulica (W)

$\rho$ : Densidad del fluido  $\left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  para agua)

$g$ : Aceleración de la gravedad  $\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  para la tierra)

$\gamma$ : Peso específico del fluido  $\left(9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$  para agua)

$Q$ : Caudal medido por el transmisor de flujo  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$

$H$ : Salto o altura disponible (m)

El salto o altura disponible es medida por el manómetro digital y calculado por el PLC empleando la siguiente ecuación:

$$H = \frac{P_{man}}{g * \rho}$$

Donde:

$P_{man}$ : Presión manométrica (Pa)

### c) Curvas de Potencia Mecánica

Las curvas de potencia tienen una forma casi parabólica, con un máximo que se corresponde para cada valor de apertura con el rendimiento óptimo. Los puntos de corte con el eje de velocidades se corresponden con las velocidades de embalamiento, distintas para cada valor dependiendo del caudal suministrado, estando en ese momento sometida la turbina, únicamente, al freno impuesto por las resistencias

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 5 de 15

pasivas tanto mecánicas como hidráulicas. Para el caso del módulo de turbina Francis la potencia absorbida por la rueda de la turbina del agua, está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \omega * T$$

Donde:

P: Potencia Mecánica (W)

T: Par Mecánico (N \* m)

$\omega$ : Velocidad angular (rad/s)

El cálculo de la velocidad angular está dado por la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

Donde:

N: Velocidad de Rotación (RPM)

#### **d) Curvas de Eficiencia (Rendimiento)**

La eficiencia se obtiene a partir de la relación entre la potencia hidráulica y la mecánica según la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P}{P_h} * 100$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 6 de 15

$P$ : Potencia mecánica consumida por el freno Prony ( $W$ )

$P_h$ : Potencia hidráulica ( $W$ )

La velocidad de rotación ( $N$ ) se mide mediante el uso de los sensores inductivos y su valor se puede observar directamente en el sistema SCADA. Debido a la posición de los sensores inductivos y el acceso a los ejes de las turbinas es posible emplear un tacómetro láser para determinar las RPM.

### 3. Procedimiento de ensayo

#### a) Material y Equipo

##### Materiales

- Cinta Reflectante
- Agua
- Fuente de Alimentación 220 Voltios
- Cable ethernet
- Adaptador USB 3.0 a RJ45

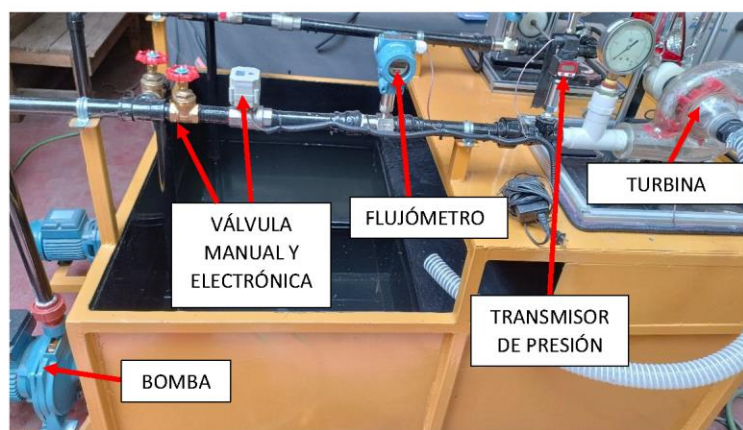
##### Equipos

- Módulo de turbinas (Turbina Francis)
- Tacómetro Láser
- Computadora con sistema SCADA (Máquina Virtual)

#### b) Instalación y Procedimiento

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,</b> <b>MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Cód: Turb-01
		Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 7 de 15

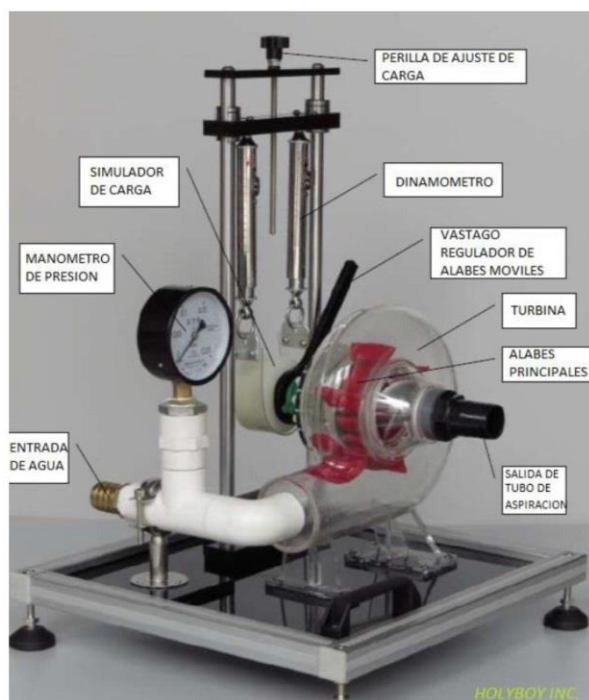
Para realizar la presente práctica se dispone del módulo de turbinas (Turbina Francis). La presión manométrica presente en el módulo nos permite determinar la altura suministrada por la bomba. La potencia mecánica generada por la turbina es absorbida por el dinamómetro de fricción (Freno de tipo Prony), el cual dispone de diferentes posiciones de tensión incrementando la fricción en la rueda de la polea. Para determinar la velocidad del rotor se utilizará un tacómetro láser y la medición del caudal se realiza mediante el flujómetro instalado en el módulo. En caso se emplee el sistema SCADA las lecturas de los sensores y parámetros estarán disponibles en la interfaz de usuario.



**Figura 1. 2** Principales partes del Módulo de turbina Francis (Vista General)

En la figura anterior se tienen algunas partes del módulo en una vista general en la cual se puede ver el sentido de flujo del agua al iniciar la bomba. Por otro lado, en la siguiente figura se detalla más las partes referidas a la turbina misma:

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,</b> <b>MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Cód: Turb-01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Versión 01
		Página 8 de 15



**Figura 1. 3** Partes de la turbina Francis y Freno Prony

**Fuente:** (Góngora Cruz & Rojas Macedo, 2019)

La turbina como se observa en las figuras anteriores está conectada a una bomba simulando la caída de agua. Se tomará en cuenta el caudal suministrado a la turbina mediante la lectura que muestre el flujómetro y la altura será obtenida de forma indirecta mediante la lectura que muestre el transmisor de presión o manómetro instalado en serie con este. Las revoluciones por minuto se deben medir variando el ángulo de los álabes de la turbina incrementando o disminuyendo el flujo de agua y la fuerza ejercida al eje.

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 9 de 15

El procedimiento de la presente práctica se detalla a continuación y se divide en 3 partes: Encendido del módulo, modo de operación y procedimiento para la toma de datos.

#### **Encendido del módulo**

-Llenar con agua los tanques de ambas turbinas o solo el tanque de la turbina que se desee emplear, el tiempo aproximado de llenado es de 15 minutos.

-Asegurarse de tener los interruptores termomagnéticos en un estado apagado al igual que los guardamotors (Off).

-Enchufar el módulo a una toma de 220 Voltios AC.

-Energizar el módulo accionando para el ello el interruptor termomagnético general de 32 A y luego los 3 termomagnéticos unipolares. Al hacerlo notará como se encenderán las luces del PLC y se moverán las válvulas proporcionales (produciendo un ruido característico).

-Una vez que las válvulas proporcionales han dejado de moverse (ya no producen ruido) verificar que el pulsador de parada de emergencia ubicado en la puerta del tablero eléctrico no esté accionado (enclavado).

-Tras seguir el procedimiento descrito anteriormente el módulo ya se encuentra listo para ser utilizado. Revisar con cuidado los siguientes procedimientos antes de arrancar las electrobombas en función del modo de operación que se desee realizar.

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 10 de 15

#### **Modo de Operación Manual**

-Abrir por completo la válvula de desfogue y cerrar la válvula que permite el ingreso de agua a la turbina (se encuentra al costado de la válvula de desfogue). El objetivo de abrir la válvula de desfogue es permitir la recirculación tanque-bomba para purgar el sistema.

-Activar el guardamotor de la turbina Francis y luego presionar el pulsador verde que se encuentra en la puerta del tablero eléctrico. Esto accionará la bomba y es importante mantenerla en este estado por 1 minuto aproximadamente para purgar el sistema.

-Lentamente se procede a graduar el caudal de ingreso a la turbina abriendo la válvula de ingreso a la turbina y cerrando la válvula de desfogue. Es importante que el caudal ingrese de a pocos al sistema ya que el flujómetro de tipo turbina podría dañarse si el flujo incrementa muy rápido. El flujo que ingresa al sistema se puede verificar directamente en el flujómetro (pantalla). Las unidades que muestra el flujómetro están en m<sup>3</sup>/h.

#### **Modo de Operación empleando SCADA**

-Abrir por completo la válvula de desfogue y la válvula que permite el ingreso de agua a la turbina (se encuentra al costado de la válvula de desfogue). El objetivo de abrir la válvula de desfogue es permitir la recirculación tanque-bomba para purgar el sistema.

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,</b> <b>MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Cód: Turb-01
		Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 11 de 15

-Abrir el software VMware Workstation 16 player e iniciar la máquina virtual M2022-PGS.

-En el escritorio se observa un ícono que dice turbinas, abrir este para iniciar el sistema SCADA.

-Conectar el adaptador ethernet a la laptop (Host y no máquina virtual), luego conectar el cable ethernet al adaptador y al tablero eléctrico (puerto ethernet hembra al costado derecho del tablero). Desactivar el adaptador de Wifi del host para evitar problemas de conexión con el módulo.

-Si la conexión es correcta se observarán parámetros del sistema en 0 y además una luz verde empezará a parpadear en la esquina superior izquierda.

-Cerrar la válvula proporcional mediante el sistema SCADA asignando un porcentaje de 0 para cerrar la válvula. Se puede verificar el grado de apertura de esta válvula mediante una línea de color rojo que se encuentra sobre la válvula proporcional.

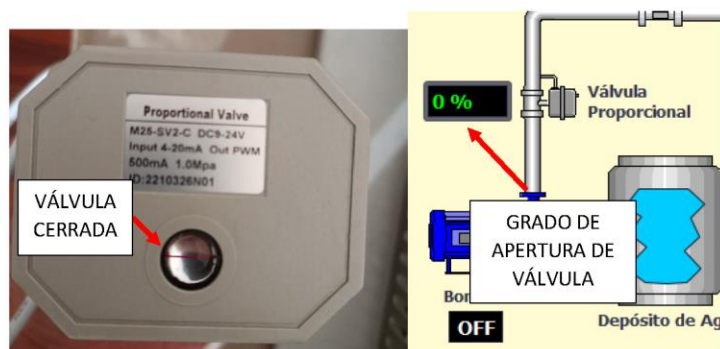


Figura 1. 4 Estado de válvula proporcional y control

	<p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p>	<p>Cód: Turb-01</p>
	<p><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	<p>Versión 01</p>
	<p><b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b></p>	<p>Página 12 de 15</p>

-Activar el guardamotor de la turbina Francis y luego presionar el pulsador Start que se encuentra en el sistema SCADA. Esto accionará la bomba y es importante mantenerla en este estado por 1 minuto aproximadamente para purgar el sistema.

-Incrementar la apertura de la válvula proporcional a 15% y cerrar gradualmente la válvula de desfogue. Los incrementos posteriores de la válvula proporcional se harán de 5 en 5 mientras se cierra la válvula de desfogue.

-Es importante que el caudal ingrese de a pocos al sistema ya que el flujómetro de tipo turbina podría dañarse si el flujo incrementa muy rápido. El flujo que ingresa al sistema se puede verificar directamente en el flujómetro (pantalla) y también en el sistema SCADA. Las unidades que muestra el flujómetro están en  $m^3/h$  y el valor mostrado en el SCADA está en LPM.

**Toma de datos**

-Se escoge un caudal para hacer pruebas (la turbina tiene que estar girando) y se escoge también un valor de apertura de los álabes los cuales serán probados en aproximadamente a 50, 75 y 100% (moviendo para ello el vástago regulador de álabes móviles mostrado en la Figura 1.3) para un mismo caudal.

-El par mecánico de la turbina se determina mediante la medición de la fuerza en el freno de tipo Prony. Para medir las revoluciones se ejercerán diversos pares resistentes de giro actuando sobre el dinamómetro, en base al tornillo que permite imprimir una mayor o menor presión sobre la correa que roza con el eje del giro del rodete.

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 13 de 15

-Para cada toma de datos se anotarán las fuerzas ejercidas por el dinamómetro F1 y F2 y las revoluciones del rodete N (RPM) ya sea mediante tacómetro láser o parámetro presente en el sistema SCADA. La presión en el manómetro o transmisor de presión y el caudal solo deben de anotarse una vez ya que durante estas medidas el flujómetro mantendrá su caudal constante.

-Por último, se procede a variar de nuevo el caudal que a su vez generará una altura diferente y se volverá a tomar datos midiendo las RPM del eje para 3 grados de apertura de los álabes de 50, 75 y 100%.

Repetir este procedimiento hasta obtener 3 tablas con diferente caudal y 3 tablas manteniendo el caudal, pero con apertura de álabes diferentes, la tabla a completar se muestra a continuación:

**Tabla-1** Toma de datos de turbina hidráulica Francis

N° de Toma de Datos	Velocidad	Presión Manométrica	Altura	Caudal	Freno			Par Mecánico	Velocidad Angular	Potencia Hidráulica	Potencia Mecánica	Eficiencia
	N	P <sub>man</sub>	H	Q	F1	F2	F1-F2	T	$\omega$	Ph	P	$\eta$
	[RPM]	[Bar]	[m]	[LPM]	[N]	[N]	[N]	[N.cm]	[rad/s]	[w]	[w]	[%]
1												
2												
3												
4												
5												
6												

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 14 de 15

Se sugiere tomar **aproximadamente 11 datos diferentes**. Al finalizar las pruebas apagar el sistema mediante el pulsador rojo físico o mediante el pulsador STOP en el SCADA. Si se desea iniciar el sistema de nuevo realizar el procedimiento descrito en esta guía (iniciar por la recirculación tanque-bomba del sistema).

#### 4. Informe y Criterios de Evaluación

El informe se debe entregar de manera digital y debe de contener:

- Objetivo de la práctica
- Marco Teórico
- Procedimiento
- Cálculos y Resultados
- Fotografías
- Conclusiones de la práctica
- Bibliografía

Se evaluará: Asistencia (obligatoria a práctica), Puntualidad, Disposición dentro de la práctica (Actitudinal y Aptitudinal), en informe como tal (redacción, marco teórico, cálculos y conclusiones).

(Chalco & Díaz, 2023)

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Cód: Turb-01
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Francis</b>	Página 15 de 15

#### Bibliografía

Chalco, A., & Díaz, Y. (2023). *Residesño y automatización de los módulos de turbinas pelton y francis del laboratorio de termofluidos de la universidad católica de santa maría para el monitoreo de flujo y presión empleando un sistema SCADA*. Universidad Católica de Santa María.

Góngora Cruz, L. A., & Rojas Macedo, O. G. (2019). *Diseño e Implementación de un módulo de turbina Francis para el laboratorio de termofluidos de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica*. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8602>

## 8.8.2. Laboratorio #2 (T. Pelton)

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Cód: Turb-01
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Versión 01
	Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton	Página 1 de 15

### OBTENCIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE TURBINA PELTON

#### PARA ALTURA (SALTO) CONSTANTE

#### 1. Objetivos

El objetivo principal de esta práctica es que el alumno conozca cual es el comportamiento de una turbina Pelton y que esta le permita conocer cuáles son los cálculos más importantes que se deben realizar dentro de un sistema de este tipo. Para ello será necesario determinar los siguientes parámetros:

- Obtener las curvas de par mecánico, caudal, potencia mecánica y eficiencia.
- Obtener la velocidad de rotación (RPM) óptima,
- Obtener la velocidad (RPM) de embalamiento.

Cabe destacar que el funcionamiento del módulo se puede realizar tanto de forma manual o desde un sistema SCADA. Teniendo procedimientos distintos que serán descritos en esta guía.

#### 2. Información General

Las curvas características han de atribuir el comportamiento típico de una turbina Pelton para todas las operaciones de trabajo, que viene determinado por la altura (salto), carga, velocidad, etc.

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 2 de 15

**a) Curvas de Par Mecánico**

En el módulo de la turbina Pelton el par mecánico es medido por el freno Prony los cuales miden la fuerza de giro de la polea mediante dos balanzas de resorte ubicada en la parte posterior de la turbina. La fuerza total es la diferencia entre las lecturas de la balanza de lado derecho e izquierdo. Debido a la dirección de rotación, el balance de la mano izquierda dará una lectura más grande que la balanza de la mano derecha (vista frontal).

El par mecánico está dado por el radio de la polea (5 cm) y multiplicado por la fuerza:

$$T = (F_1 - F_2) * R$$

Donde:

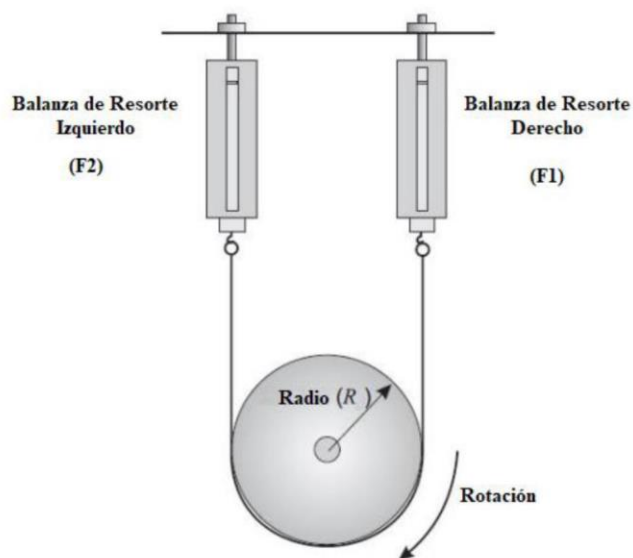
T: Par Mecánico (N \* m)

R: Radio de la polea (m)

F<sub>1</sub>: Fuerza de balanza lado izquierdo (N)

F<sub>2</sub>: Fuerza de balanza lado derecho (N)

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,</b> <b>MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Cód: Turb-01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Versión 01
		Página 3 de 15



**Figura 1. 1** Freno Prony Vista Posterior

#### b) Curvas de Caudal

El caudal en el sistema varía en función de la apertura de la válvula de entrada de agua al sistema. La variación se da de forma proporcional, es decir, a mayor apertura mayor caudal. La cantidad de caudal afecta directamente a la velocidad de rotación del eje de la turbina y se incrementa cuando lo hace el caudal.

Conocer el valor del caudal nos permite graficar también la curva de potencia hidráulica la cual está expresada por la siguiente ecuación:

$$P_h = \rho * g * Q * H \rightarrow P_h = \gamma * Q * H$$

Donde:

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 4 de 15

$P_h$ : Potencia hidráulica (W)

$\rho$ : Densidad del fluido  $\left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  para agua)

$g$ : Aceleración de la gravedad  $\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  para la tierra)

$\gamma$ : Peso específico del fluido  $\left(9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$  para agua)

$Q$ : Caudal medido por el transmisor de flujo  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$

$H$ : Salto o altura disponible (m)

El salto o altura disponible es medida por el manómetro digital y calculado por el PLC empleando la siguiente ecuación:

$$H = \frac{P_{man}}{g * \rho}$$

Donde:

$P_{man}$ : Presión manométrica (Pa)

### c) Curvas de Potencia Mecánica

Las curvas de potencia tienen una forma casi parabólica, con un máximo que se corresponde para cada valor de apertura con el rendimiento óptimo. Los puntos de corte con el eje de velocidades se corresponden con las velocidades de embalamiento, distintas para cada valor dependiendo del caudal suministrado, estando en ese momento sometida la turbina, únicamente, al freno impuesto por las resistencias

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 5 de 15

pasivas tanto mecánicas como hidráulicas. Para el caso del módulo de turbina Pelton la potencia absorbida por la rueda de la turbina del agua, está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \omega * T$$

Donde:

P: Potencia Mecánica (W)

T: Par Mecánico (N \* m)

$\omega$ : Velocidad angular (rad/s)

El cálculo de la velocidad angular está dado por la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

Donde:

N: Velocidad de Rotación (RPM)

#### **d) Curvas de Eficiencia (Rendimiento)**

La eficiencia se obtiene a partir de la relación entre la potencia hidráulica y la mecánica según la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P}{P_h} * 100$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 6 de 15

$P$ : Potencia mecánica consumida por el freno Prony ( $W$ )

$P_h$ : Potencia hidráulica ( $W$ )

La velocidad de rotación ( $N$ ) se mide mediante el uso de los sensores inductivos y su valor se puede observar directamente en el sistema SCADA. Debido a la posición de los sensores inductivos y el acceso a los ejes de las turbinas es posible emplear un tacómetro láser para determinar las RPM.

### 3. Procedimiento de ensayo

#### a) Material y Equipo

##### Materiales

- Cinta Reflectante
- Agua
- Fuente de Alimentación 220 Voltios
- Cable ethernet
- Adaptador USB 3.0 a RJ45

##### Equipos

- Módulo de turbinas (Turbina Pelton)
- Tacómetro Láser
- Computadora con sistema SCADA (Máquina Virtual)

#### b) Instalación y Procedimiento

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,</b> <b>MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Cód: Turb-01
		Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 7 de 15

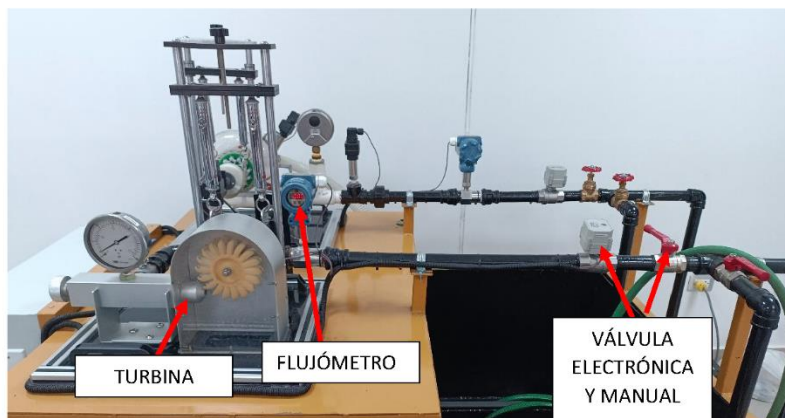
Para realizar la presente práctica se dispone del módulo de turbinas (Turbina Pelton) con los detalles técnicos que se presentan a continuación:

**Tabla1-1** Características del módulo de turbina Pelton

Ítem	Detalle
Tipo de Turbina	Pelton
Diámetro del rodete	91 mm
Número de Cazoletas	18 mm
Diámetro de boquilla	10 mm
Diámetro del chorro	8 mm
Radio de la polea (tambor)	45 mm
Potencia Nominal de salida	20 w a 1200 RPM
Velocidad Máxima	2500 RPM
Máxima altura nominal de salto	10 m

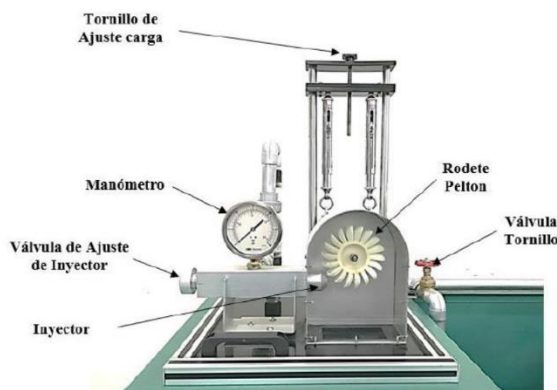
La presión manométrica presente en el módulo nos permite determinar la altura suministrada por la bomba. La potencia mecánica generada por la turbina es absorbida por el dinamómetro de fricción (Freno de tipo Prony), el cual dispone de diferentes posiciones de tensión incrementado la fricción en la rueda de la polea. Para determinar la velocidad del rotor se utilizará un tacómetro láser y la medición del caudal se realiza mediante el flujómetro instalado en el módulo. En caso se emplee el sistema SCADA las lecturas de los sensores y parámetros estarán disponibles en la interfaz de usuario.

	<p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,</b> <b>MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	Cód: Turb-01
		Versión 01
	<p><b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b></p>	Página 8 de 15



**Figura 1. 2** Principales partes del Módulo de turbina Pelton (Vista General)

En la figura anterior se tienen algunas partes del módulo en una vista general en la cual se puede ver el sentido de flujo del agua al iniciar la bomba. Por otro lado, en la siguiente figura se detalla más las partes referidas a la turbina misma:



**Figura 1. 3** Partes de la turbina Pelton y Freno Prony

**Fuente:** (Góngora Cruz & Rojas Macedo, 2019)

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 9 de 15

La turbina como se observa en las figuras anteriores está conectada a una bomba simulando la caída de agua. Se tomará en cuenta el caudal suministrado a la turbina mediante la lectura que muestre el flujómetro y la altura será obtenida de forma indirecta mediante la lectura que muestre el transmisor de presión o manómetro instalado en serie con este. Las revoluciones por minuto se deben medir variando el ángulo de los álabes de la turbina incrementando o disminuyendo el flujo de agua y la fuerza ejercida al eje.

El procedimiento de la presente práctica se detalla a continuación y se divide en 3 partes: Encendido del módulo, modo de operación y procedimiento para la toma de datos.

#### **Encendido del módulo**

-Llenar con agua los tanques de ambas turbinas o solo el tanque de la turbina que se desee emplear, el tiempo aproximado de llenado es de 15 minutos.

-Asegurarse de tener los interruptores termomagnéticos en un estado apagado al igual que los guardamotores (Off).

-Enchufar el módulo a una toma de 220 Voltios AC.

-Energizar el módulo accionando para el ello el interruptor termomagnético general de 32 A y luego los 3 termomagnéticos unipolares. Al hacerlo notará como se encenderán las luces del PLC y se moverán las válvulas proporcionales (produciendo un ruido característico).

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 10 de 15

-Una vez que las válvulas proporcionales han dejado de moverse (ya no producen ruido) verificar que el pulsador de parada de emergencia ubicado en la puerta del tablero eléctrico no esté accionado (enclavado).

-Tras seguir el procedimiento descrito anteriormente el módulo ya se encuentra listo para ser utilizado. Revisar con cuidado los siguientes procedimientos antes de arrancar las electrobombas en función del modo de operación que se desee realizar.

#### **Modo de Operación Manual**

-Abrir por completo la válvula de desfogue y cerrar la válvula que permite el ingreso de agua a la turbina (se encuentra al costado de la válvula de desfogue). El objetivo de abrir la válvula de desfogue es permitir la recirculación tanque-bomba para purgar el sistema.

-Activar el guardamotor de la turbina Pelton y luego presionar el pulsador verde que se encuentra en la puerta del tablero eléctrico. Esto accionará la bomba y es importante mantenerla en este estado por 1 minuto aproximadamente para purgar el sistema.

-Lentamente se procede a graduar el caudal de ingreso a la turbina abriendo la válvula de ingreso a la turbina y cerrando la válvula de desfogue. Es importante que el caudal ingrese de a pocos al sistema ya que el flujómetro de tipo turbina podría dañarse si el flujo incrementa muy rápido. El flujo que ingresa al sistema se puede verificar directamente en el flujómetro (pantalla). Las unidades que muestra el flujómetro están en  $m^3/h$ .

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 11 de 15

#### **Modo de Operación empleando SCADA**

-Abrir por completo la válvula de desfogue y la válvula que permite el ingreso de agua a la turbina (se encuentra al costado de la válvula de desfogue). El objetivo de abrir la válvula de desfogue es permitir la recirculación tanque-bomba para purgar el sistema.


-Abrir el software VMware Workstation 16 player e iniciar la máquina virtual M2022-PGS.

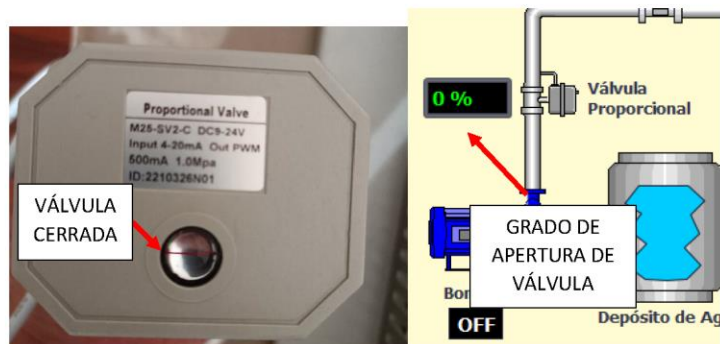
-En el escritorio se observa un ícono que dice turbinas, abrir este para iniciar el sistema SCADA.

-Conectar el adaptador ethernet a la laptop (Host y no máquina virtual), luego conectar el cable ethernet al adaptador y al tablero eléctrico (puerto ethernet hembra al costado derecho del tablero). Desactivar el adaptador de Wifi del host para evitar problemas de conexión con el módulo.

-Si la conexión es correcta se observarán parámetros del sistema en 0 y además una luz verde empezará a parpadear en la esquina superior izquierda.

-Cerrar la válvula proporcional mediante el sistema SCADA asignando un porcentaje de 0 para cerrar la válvula. Se puede verificar el grado de apertura de esta válvula mediante una línea de color rojo que se encuentra sobre la válvula proporcional.

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 12 de 15



**Figura 1. 4** Estado de válvula proporcional y control

-Activar el guardamotor de la turbina Pelton y luego presionar el pulsador Start que se encuentra en el sistema SCADA. Esto accionará la bomba y es importante mantenerla en este estado por 1 minuto aproximadamente para purgar el sistema.

-Incrementar la apertura de la válvula proporcional a 15% y cerrar gradualmente la válvula de desfogue. Los incrementos posteriores de la válvula proporcional se harán de 5 en 5 mientras se cierra la válvula de desfogue.

-Es importante que el caudal ingrese de a pocos al sistema ya que el flujómetro de tipo turbina podría dañarse si el flujo incrementa muy rápido. El flujo que ingresa al sistema se puede verificar directamente en el flujómetro (pantalla) y también en el sistema SCADA. Las unidades que muestra el flujómetro están en  $m^3/h$  y el valor mostrado en el SCADA está en LPM.

#### **Toma de datos**

	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p> <p align="center"><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	<p>Cód: Turb-01</p>
		<p>Versión 01</p>
	<p align="center"><b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b></p>	<p>Página 13 de 15</p>


-Se escoge un caudal para hacer pruebas (la turbina tiene que estar girando) y se varía la válvula de ajuste del inyector los cuales serán probados en aproximadamente a 50, 75 y 100% (moviendo para ello la válvula de ajuste del inyector mostrado en la Figura 1.3) para cada salto.

-El par mecánico de la turbina se determina mediante la medición de la fuerza en el freno de tipo Prony. Para medir las revoluciones se ejercerán diversos pares resistentes de giro actuando sobre el dinamómetro, en base al tornillo que permite imprimir una mayor o menor presión sobre la correa que roza con el eje del giro del rodete.

-Para cada toma de datos se anotarán las fuerzas ejercidas por el dinamómetro F1 y F2 y las revoluciones del rodete N (RPM) ya sea mediante tacómetro láser o parámetro presente en el sistema SCADA. La presión en el manómetro o transmisor de presión y el caudal solo deben de anotarse una vez ya que durante estas medidas el flujómetro mantendrá su caudal constante.

-Por último, se procede a variar de nuevo el caudal que a su vez generará una altura diferente y se volverá a tomar datos midiendo las RPM del eje para 3 grados de apertura de la válvula de ajuste de inyector 50, 75 y 100%.

Repetir este procedimiento hasta obtener 3 tablas con diferentes saltos y aperturas, pero con apertura de álabes diferentes, la tabla a completar se muestra a continuación:

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 14 de 15

**Tabla-2** Toma de datos de turbina hidráulica Pelton

N° de Toma de Datos	Velocidad	Presión Manométrica	Altura	Caudal	Freno			Par Mecánico	Velocidad Angular	Potencia Hidráulica	Potencia Mecánica	Eficiencia
	N	Pman	H	Q	F1	F2	F1-F2	T	$\omega$	Ph	P	$\eta$
	[RPM]	[Bar]	[m]	[LPM]	[N]	[N]	[N]	[N.cm]	[rad/s]	[w]	[w]	[%]
1												
2												
3												
4												
5												
6												

Se sugiere tomar aproximadamente 11 datos diferentes. Al finalizar las pruebas apagar el sistema mediante el pulsador rojo físico o mediante el pulsador STOP en el SCADA. Si se desea iniciar el sistema de nuevo realizar el procedimiento descrito en esta guía (iniciar por la recirculación tanque-bomba del sistema).

#### 4. Informe y Criterios de Evaluación

El informe se debe entregar de manera digital y debe de contener:

- Objetivo de la práctica
- Marco Teórico
- Procedimiento
- Cálculos y Resultados

	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p>	<p>Cód: Turb-01</p>
	<p align="center"><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	<p>Versión 01</p>
	<p align="center"><b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b></p>	<p>Página 15 de 15</p>

- Fotografías
- Conclusiones de la práctica
- Bibliografía

Se evaluará: Asistencia (obligatoria a práctica), Puntualidad, Disposición dentro de la práctica (Actitudinal y Aptitudinal), en informe como tal (redacción, marco teórico, cálculos y conclusiones).

(Chalco & Díaz, 2023)

#### **Bibliografía**

Chalco, A., & Díaz, Y. (2023). *Residuesño y automatización de los módulos de turbinas pelton y Pelton del laboratorio de termofluidos de la universidad católica de santa maría para el monitoreo de flujo y presión empleando un sistema SCADA*. Universidad Católica de Santa María.

Góngora Cruz, L. A., & Rojas Macedo, O. G. (2019). *Diseño e Implementación de un módulo de turbina Pelton para el laboratorio de termofluidos de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica*. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8602>

### 8.8.3. Laboratorio #3 (T. Pelton)

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Cód: Turb-01
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Versión 01
	Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton	Página 1 de 8

#### OBTENCIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE TURBINA PELTON

##### PARA VELOCIDAD DE ROTACIÓN CONSTANTE

#### 1. Objetivos

- Observar y experimentar el funcionamiento real de una turbina hidráulica de acción (Pelton).
- Obtener la curva de rendimiento en el funcionamiento real de una turbina Pelton.

#### 2. Información General

La forma habitual de funcionamiento de las turbinas industriales es suministrar, en cada instante la potencia que le exige el alternador, manteniendo al mismo tiempo constante la frecuencia y por lo tanto el número de revoluciones. Este es el motivo de que sea interesante estudiar las variaciones del rendimiento al variar la potencia o el caudal, manteniendo la velocidad de rotación  $N$  constante en base a la velocidad óptima obtenida en la **Práctica #1 – Obtención de curvas características de turbina Pelton para altura constante.**

#### 3. Procedimiento de ensayo

##### a) Material y Equipo

##### Materiales

- Cinta Reflectante
- Agua
- Fuente de Alimentación 220 Voltios

	<p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p>	<p>Cód: Turb-01</p>
	<p><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	<p>Versión 01</p>
	<p><b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b></p>	<p>Página 2 de 8</p>

- Cable ethernet
- Adaptador USB 3.0 a RJ45

#### Equipos

- Módulo de turbinas (Turbina Pelton)
- Tacómetro Láser
- Computadora con sistema SCADA (Máquina Virtual)

#### b) Instalación y Procedimiento

Para realizar esta práctica se dispone del módulo de turbina Pelton mostrado en la práctica #1.

El procedimiento de la presente práctica se detalla a continuación y se divide en 3 partes: Encendido del módulo, modo de operación y procedimiento para la toma de datos.

#### Encendido del módulo

-Llenar con agua los tanques de ambas turbinas o solo el tanque de la turbina que se desee emplear, el tiempo aproximado de llenado es de 15 minutos.

-Asegurarse de tener los interruptores termomagnéticos en un estado apagado al igual que los guardamotors (Off).

-Enchufar el módulo a una toma de 220 Voltios AC.

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 3 de 8

-Energizar el módulo accionando para ello el interruptor termomagnético general de 32 A y luego los 3 termomagnéticos unipolares. Al hacerlo notará como se encenderán las luces del PLC y se moverán las válvulas proporcionales (produciendo un ruido característico).

-Una vez que las válvulas proporcionales han dejado de moverse (ya no producen ruido) verificar que el pulsador de parada de emergencia ubicado en la puerta del tablero eléctrico no esté accionado (enclavado).

-Tras seguir el procedimiento descrito anteriormente el módulo ya se encuentra listo para ser utilizado. Revisar con cuidado los siguientes procedimientos antes de arrancar las electrobombas en función del modo de operación que se desee realizar.

#### **Modo de Operación Manual**

-Abrir por completo la válvula de desfogue y cerrar la válvula que permite el ingreso de agua a la turbina (se encuentra al costado de la válvula de desfogue). El objetivo de abrir la válvula de desfogue es permitir la recirculación tanque-bomba para purgar el sistema.

-Activar el guardamotor de la turbina Pelton y luego presionar el pulsador verde que se encuentra en la puerta del tablero eléctrico. Esto accionará la bomba y es importante mantenerla en este estado por 1 minuto aproximadamente para purgar el sistema.

	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p>	Cód: Turb-01
	<p align="center"><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	Versión 01
	<p align="center"><b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b></p>	Página 4 de 8

-Lentamente se procede a graduar el caudal de ingreso a la turbina abriendo la válvula de ingreso a la turbina y cerrando la válvula de desfogue. Es importante que el caudal ingrese de a pocos al sistema ya que el flujómetro de tipo turbina podría dañarse si el flujo incrementa muy rápido. El flujo que ingresa al sistema se puede verificar directamente en el flujómetro (pantalla). Las unidades que muestra el flujómetro están en m<sup>3</sup>/h.

#### **Modo de Operación empleando SCADA**

-Abrir por completo la válvula de desfogue y la válvula que permite el ingreso de agua a la turbina (se encuentra al costado de la válvula de desfogue). El objetivo de abrir la válvula de desfogue es permitir la recirculación tanque-bomba para purgar el sistema.

-Abrir el software VMware Workstation 16 player e iniciar la máquina virtual M2022-PGS.

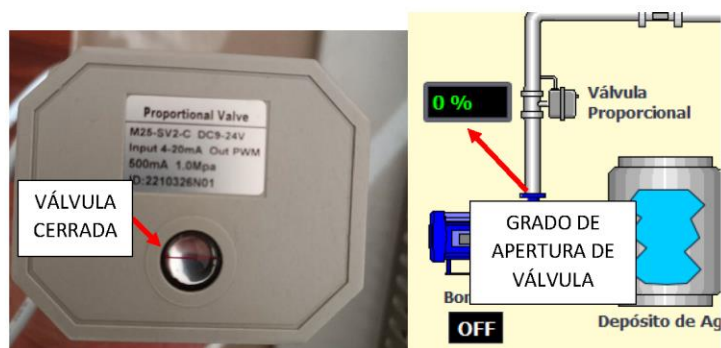
-En el escritorio se observa un ícono que dice turbinas, abrir este para iniciar el sistema SCADA.

-Conectar el adaptador ethernet a la laptop (Host y no máquina virtual), luego conectar el cable ethernet al adaptador y al tablero eléctrico (puerto ethernet hembra al costado derecho del tablero). Desactivar el adaptador de Wifi del host para evitar problemas de conexión con el módulo.

	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,</b> <b>MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b></p>	Cód: Turb-01
		Versión 01
	<p><b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b></p>	Página 5 de 8

-Si la conexión es correcta se observarán parámetros del sistema en 0 y además una luz verde empezará a parpadear en la esquina superior izquierda.

-Cerrar la válvula proporcional mediante el sistema SCADA asignando un porcentaje de 0 para cerrar la válvula. Se puede verificar el grado de apertura de esta válvula mediante una línea de color rojo que se encuentra sobre la válvula proporcional.




**Figura 1. 1** Estado de válvula proporcional y control

-Activar el guardamotor de la turbina Pelton y luego presionar el pulsador Start que se encuentra en el sistema SCADA. Esto accionará la bomba y es importante mantenerla en este estado por 1 minuto aproximadamente para purgar el sistema.

-Incrementar la apertura de la válvula proporcional a 15% y cerrar gradualmente la válvula de desfogue. Los incrementos posteriores de la válvula proporcional se harán de 5 en 5 mientras se cierra la válvula de desfogue.

-Es importante que el caudal ingrese de a pocos al sistema ya que el flujómetro de tipo turbina podría dañarse si el flujo incrementa muy rápido. El flujo que ingresa al

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 6 de 8

sistema se puede verificar directamente en el flujómetro (pantalla) y también en el sistema SCADA. Las unidades que muestra el flujómetro están en  $m^3/h$  y el valor mostrado en el SCADA está en LPM.

#### **Toma de datos**

-Se regula la altura proporcionada por la bomba variando para ello el caudal.

-Se procede a medir las revoluciones con el tacómetro láser o empleando el sistema SCADA manteniendo constante la velocidad óptima de 1200 RPM. Al variar la carga se irá frenando y bajando la velocidad, con la finalidad de mantener una velocidad constante es necesario aumentar el caudal.

-Repetir estas pruebas para distintos valores de apertura del inyector de forma gradual usando la válvula que se encuentra justo a la entrada del inyector para distintas aperturas de 50, 75 y 100% simulando así el funcionamiento real de una turbina Pelton.

Repetir este procedimiento hasta obtener 3 tablas con diferentes altura y aperturas:

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 7 de 8

**Tabla-1** Toma de datos de turbina hidráulica Pelton

N° de Toma de Datos	Velocidad	Presión Manométrica	Altura	Caudal	Freno			Par Mecánico	Velocidad Angular	Potencia Hidráulica	Potencia Mecánica	Eficiencia
	N	Pman	H	Q	F1	F2	F1-F2	T	$\omega$	Ph	P	$\eta$
	[RPM]	[Bar]	[m]	[LPM]	[N]	[N]	[N]	[N.cm]	[rad/s]	[w]	[w]	[%]
1												
2												
3												
4												
5												
6												

Se sugiere tomar aproximadamente 11 datos diferentes. Al finalizar las pruebas apagar el sistema mediante el pulsador rojo físico o mediante el pulsador STOP en el SCADA. Si se desea iniciar el sistema de nuevo realizar el procedimiento descrito en esta guía (iniciar por la recirculación tanque-bomba del sistema). Analizar y graficar los resultados.

#### 4. Informe y Criterios de Evaluación

El informe se debe entregar de manera digital y debe de contener:

- Objetivo de la práctica
- Marco Teórico
- Procedimiento

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	Cód: Turb-01
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</b>	Versión 01
	<b>Guía de Práctica: Turbina Hidráulica Pelton</b>	Página 8 de 8

- Cálculos y Resultados
- Fotografías
- Conclusiones de la práctica
- Bibliografía

Se evaluará: Asistencia (obligatoria a práctica), Puntualidad, Disposición dentro de la práctica (Actitudinal y Aptitudinal), en informe como tal (redacción, marco teórico, cálculos y conclusiones).

(Chalco & Díaz, 2023)

#### **Bibliografía**

Chalco, A., & Díaz, Y. (2023). *Resideseño y automatización de los módulos de turbinas pelton y Pelton del laboratorio de termofluidos de la universidad católica de santa maría para el monitoreo de flujo y presión empleando un sistema SCADA*. Universidad Católica de Santa María.

Góngora Cruz, L. A., & Rojas Macedo, O. G. (2019). *Diseño e Implementación de un módulo de turbina Pelton para el laboratorio de termofluidos de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica*. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8602>

## 8.9. Entradas y Salidas del PLC

GABINETE:	TE-PTT					RED:	1	
MODULO:	ENTRADA DIGITAL					NODO:	1	
CAT N° :	CPU 1212C AC/DC/RLY, 8 DI/6 DO/2 AI, 0-10 VDC			6ES7212-1BE40-0XB0		SLOT:	0	
BLOQUE PLC	BORNE TB	BORNE EN TARJETA	CANAL	TAG SEÑAL	TAG TABLERO	DESCRIPCION EQUIPO	DESCRIPCION DE SEÑAL	DIRECCION PLC
TB 001	1	1	Input 0	XS1_167-010	Start / I0.0	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Pulsador Start	I0.0
	2	2	Input 1	XS2_167-010	Stop / I0.1	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Pulsador Stop	I0.1
	3	3	Input 2	XS1_167-025	Start / I0.2	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)	Pulsador Start	I0.2
	4	4	Input 3	XS2_167-025	Stop / I0.3	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)	Pulsador Stop	I0.3
	5	5	Input 4	SE_167-020	Enc1	Turbina Francis	Sensor de velocidad, frecuencia	I0.4
	6	6	Input 5	SE_167-035	Enc2	Turbina Pelton	Sensor de velocidad, frecuencia	I0.5
	7	7	Input 6	XI_167-010	I0.6 / 13-14	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Dentro Contactor K1	I0.6
	8	8	Input 7	XI_167_025	I0.7 / 13-14	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)	Dentro Contactor K2	I0.7

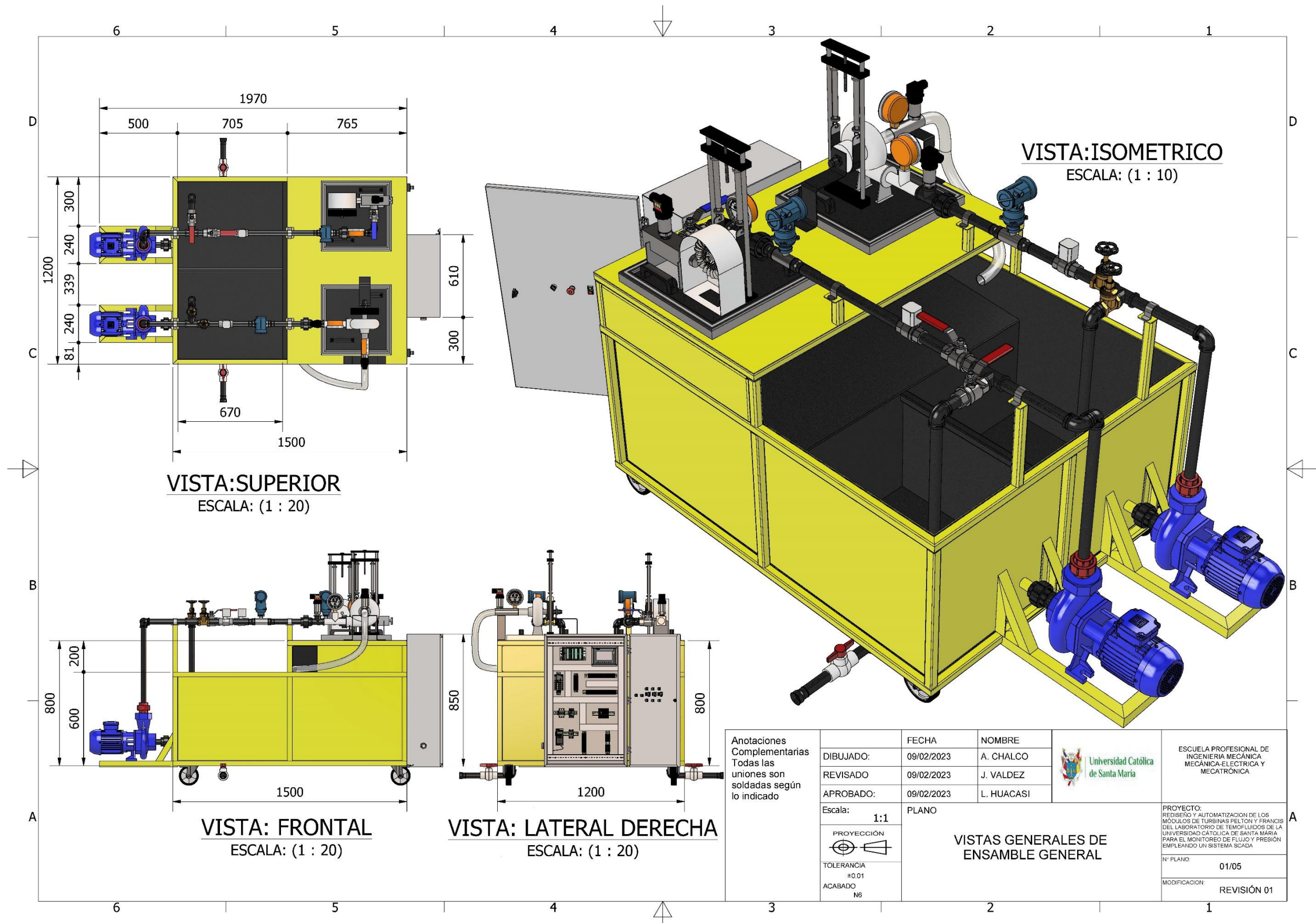
GABINETE:	TE-PTT					RED:	1	
MODULO:	SALIDA DIGITAL					NODO:	1	
CAT N° :	CPU 1212C AC/DC/RLY, 8 DI/6 DO/2 AI, 0-10 VDC			6ES7212-1BE40-0XB0		SLOT:	0	
BLOQUE PLC	BORNE TB	BORNE EN TARJETA	CANAL	TAG SEÑAL	TAG TABLERO	DESCRIPCION EQUIPO	DESCRIPCION DE SEÑAL	DIRECCION PLC
TB 001	1	1	Output 0	HS_167-010	Q0.0 / A1 - K1	Motor #1 Electrobomba (T. Francis)	Comando Contactor	Q0.0
	2	2	Output 1	HS_167-025	Q0.1 / A1 - K2	Motor #2 Electrobomba (T. Pelton)	Comando Contactor	Q0.1
	3	3	Output 2					Q0.2
	4	4	Output 3					Q0.3
	5	5	Output 4					Q0.4
	6	6	Output 5					Q0.5

GABINETE:	TE-PTT						RED:	1	
MODULO:	ENTRADAS ANALÓGICAS						NODO:	1	
CAT N° :	CPU 1212C AC/DC/RLY, 8 DI/6 DO/2 AI, 0-10 VDC			6ES7212-1BE40-0XB0			SLOT:	0	
BLOQUE PLC	BORNE TB	BORNE EN TARJETA	CANAL	TAG SEÑAL	TAG TABLERO	DESCRIPCION EQUIPO	DESCRIPCION DE SEÑAL	DIRECCION PLC	
TB 001	1	1	Input 0	PIT_167-035	PS01	Turbina Pelton	Transmisor indicador de presión	IW64	
	2	2	Input 1					IW66	

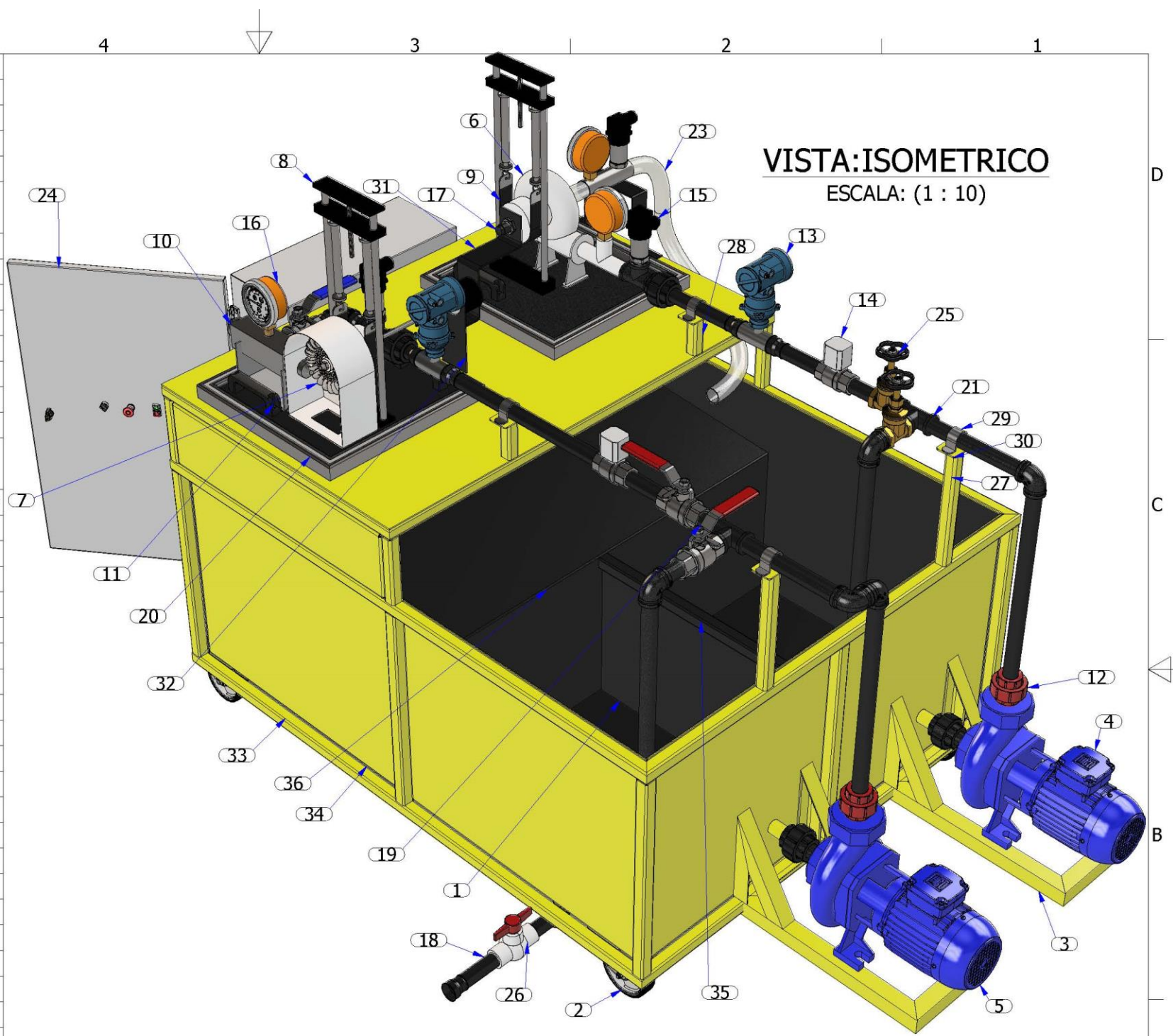
GABINETE:	TE-PTT						RED:	1	
MODULO:	ENTRADAS ANALÓGICAS						NODO:	1	
CAT N° :	SM 1234, 4 AI / 2 AO, +/- 10V ó 0- 20 mA			6ES7234-4HE32-0XB0			SLOT:	1	
BLOQUE PLC	BORNE TB	BORNE EN TARJETA	CANAL	TAG SEÑAL	TAG TABLERO	DESCRIPCION EQUIPO	DESCRIPCION DE SEÑAL	DIRECCION PLC	
TB 002	1	1	Input 0	FIT_167-030	FS01	Válvula proporcional #2 (T. Pelton)	Transmisor indicador de flujo	IW96	
	2	2	Input 1	FIT_167-015	FS02	Válvula proporcional #1 (T. Francis)	Transmisor indicador de flujo	IW98	
	3	3	Input 2	PIT1_167-020	PS02	Turbina Francis	Transmisor indicador de presión #1	IW100	
	4	4	Input 3	PIT2_167-020	PS03	Turbina Francis	Transmisor indicador de presión #2 (Altura)	IW102	

GABINETE:	TE-PTT						RED:	1	
MODULO:	SALIDAS ANALÓGICAS						NODO:	1	
CAT N° :	SM 1234, 4 AI / 2 AO, +/- 10V ó 0- 20 mA			6ES7234-4HE32-0XB0			SLOT:	1	
BLOQUE PLC	BORNE TB	BORNE EN TARJETA	CANAL	TAG SEÑAL	TAG TABLERO	DESCRIPCION EQUIPO	DESCRIPCION DE SEÑAL	DIRECCION PLC	
TB 002	1	1	Output 0	FCV_167-015	VAL01	Válvula proporcional #1 (T. Francis)	Control de flujo	QW96	
	2	2	Output 1	FCV_167-030	VAL02	Válvula proporcional #2 (T. Pelton)	Control de flujo	QW98	


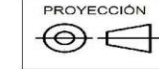
8.10. Planos estructurales

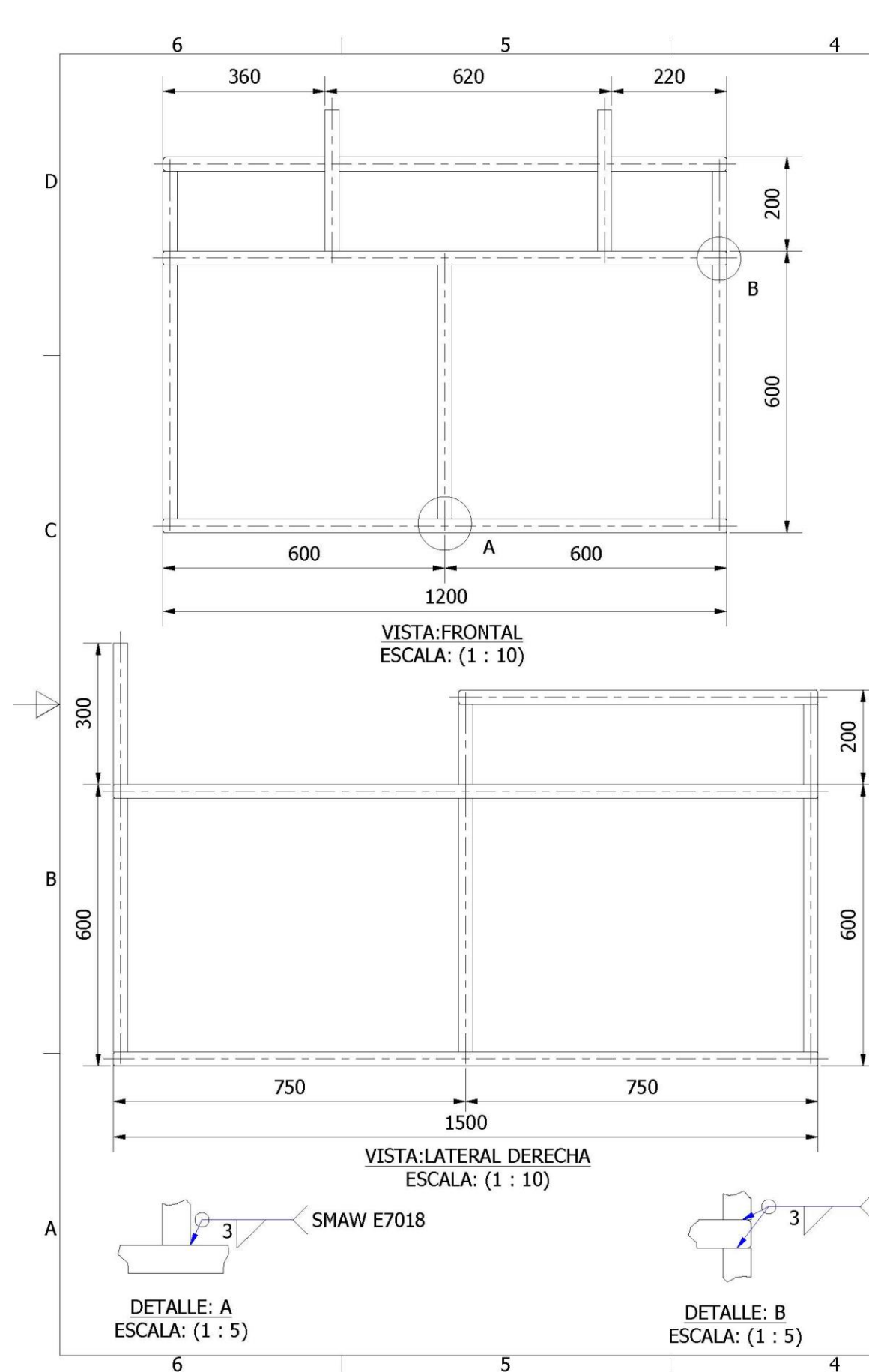


LISTA DE PARTES			
ITEM	CTDAD	PARTE	DESCRIPCIÓN
1	2	Tanque de deposito	
2	4	Garruchas	
3	2	Soporte de motobomba	
4	1	Motor con bomba centrifuga	Motobomba de 1.5 HP
5	1	Motor con bomba centrifuga	Motobomba de 1 HP
6	1	Turbina Francis	Panel de Metacrilato
7	1	Turbina Pelton	
8	2	Soporte de Freno tipo Prony	
9	2	Faja de Freno	Cinta Poliamida
10	1	Inyector	
11	4	Asa	
12	6	Union universal	
13	2	Medidor de flujo	Medidor de flujo LWGB
14	2	Electrovalvula de bola	DN8-25 Tipo V SS304
15	3	Sensor de Presion Digital	
16	3	Manometro con glicerina	
17	2	Codificador Rotativo	E6B2CWZ6C
18	2	Purga de Tanque	
19	3	Valvula de bola	
20	2	Base de modulo	
21	4	T de PVC 1"	
22	8	Codo 90° de PVC 1"	
23	1	Tubo Flexible	
24	1	Tablero Electrico de Control	
25	1	Válvula de Paso 01	
26	1	Válvula de Paso 02	
27	2	Parante 01 Tubo Cuadrado 30 x 2 mm	ASTM A500 gr A
28	2	Parante 02 Tubo Cuadrado 30 x 2 mm	ASTM A500 gr A
29	4	Abrazadera tipo Omega	
30	4	Placa de apoyo de abrazadera	ASTM A36
31	1	Soporte de Encoder 01	
32	1	Soporte de Encoder 01	
33	1	Estructura de tubo cuadrado 30 x 2 mm	ASTM A500 gr A
34	-	Tapas de 3 mm	ASTM A36
35	1	Sepraración entra depósitos	ASTM A36
36	1	Plancha plegada para pendiente de 3 mm	ASTM A36

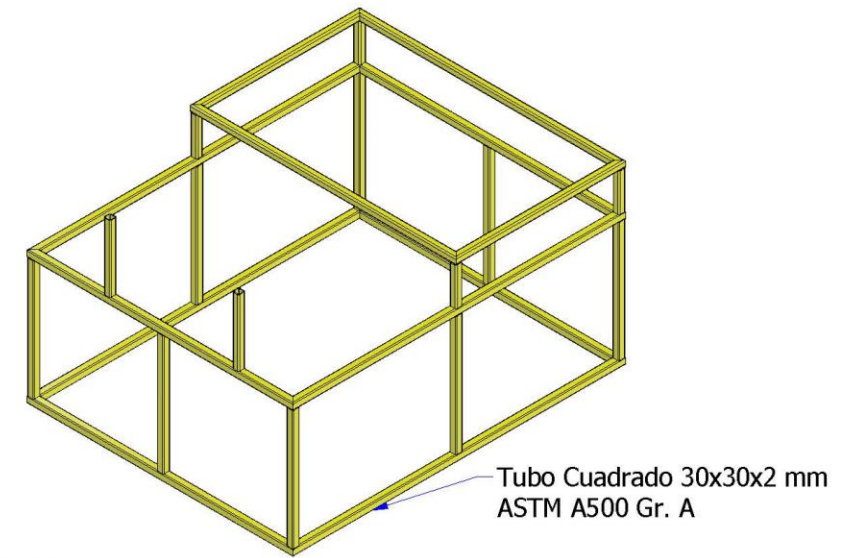


**VISTA: ISOMETRICO**  
ESCALA: (1 : 10)

Anotaciones Complementarias. Todas las uniones son soldadas según lo indicado	DIBUJADO:	09/02/2023	A. CHALCO	 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA
	APROBADO:	09/02/2023	J. VALDEZ	
	REVISADO:	09/02/2023	L. HUACASI	
	ESCALA:	1:1	PLANO:	
	PROYECCIÓN			N° PLANO 02/05
	Tolerancia 0.01	<b>LISTA DE PIEZAS DEL MODULO</b>		MODIFICACION REVISION 01
	Acabado N6			

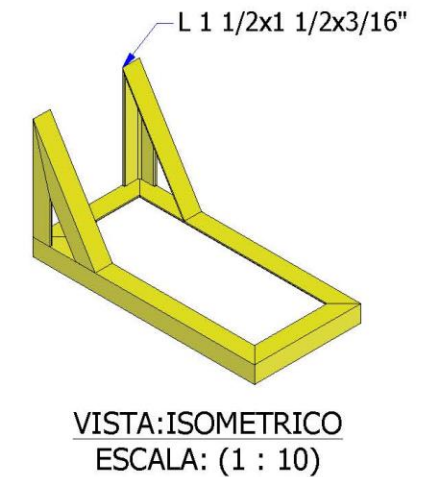
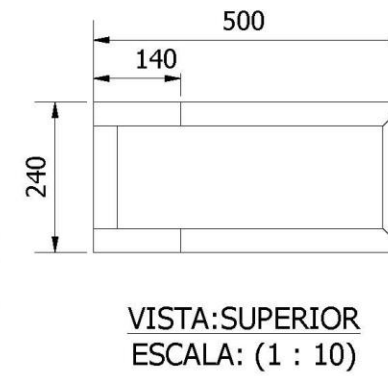
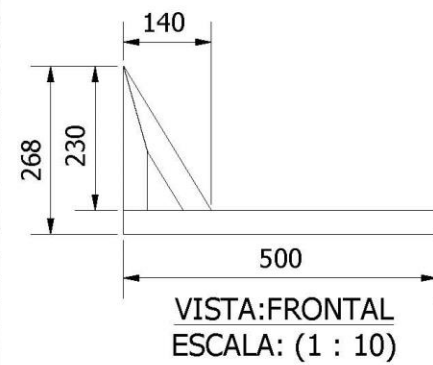


### ESTRUCTURA DE TANQUE



**VISTA:ISOMETRICO**  
ESCALA: (1 : 20)

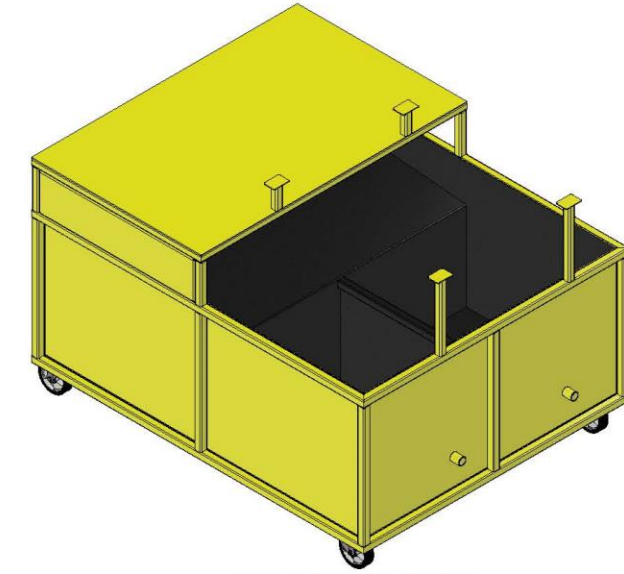
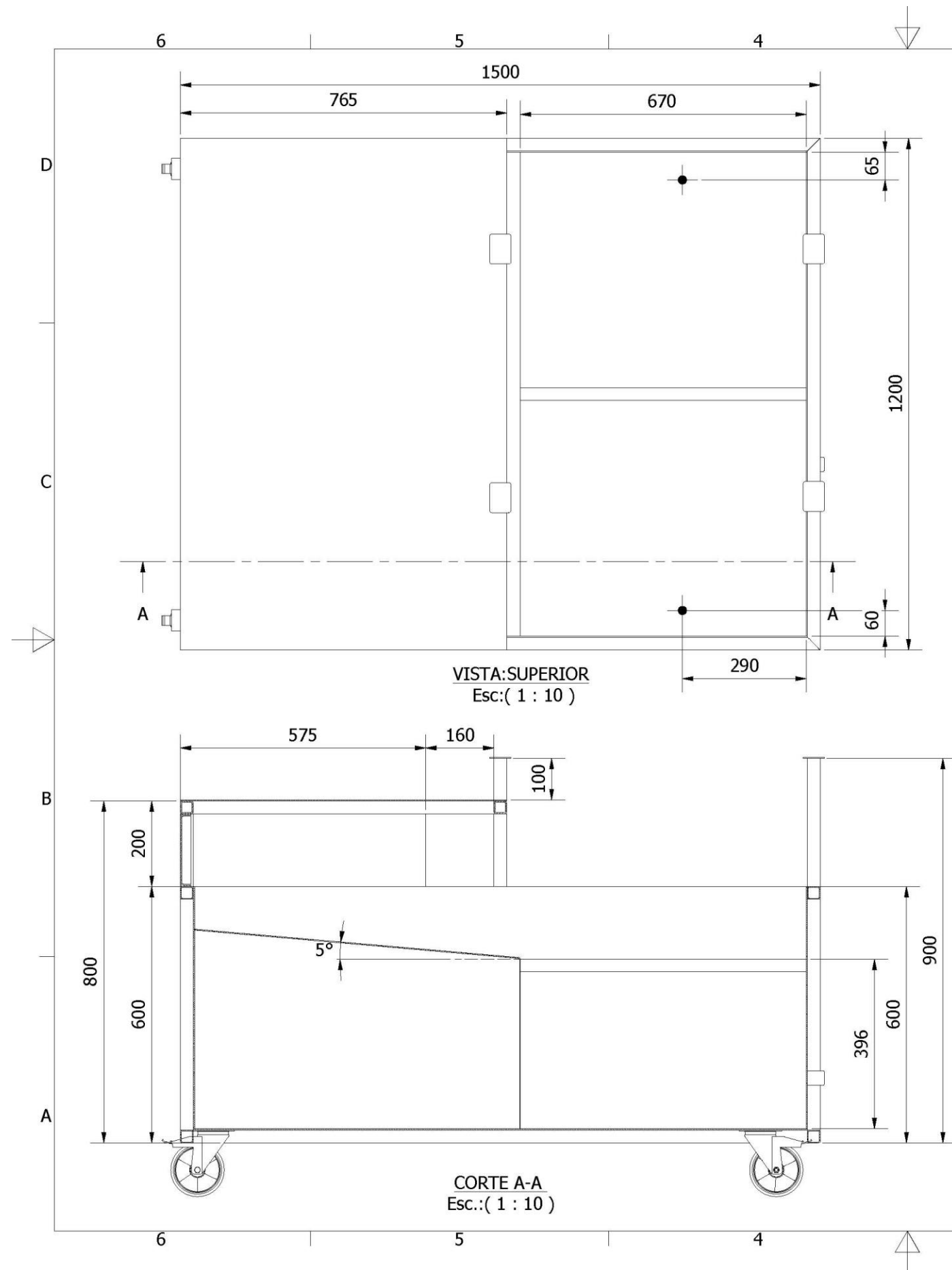
### SOPORTE DE MOTOBOMBA



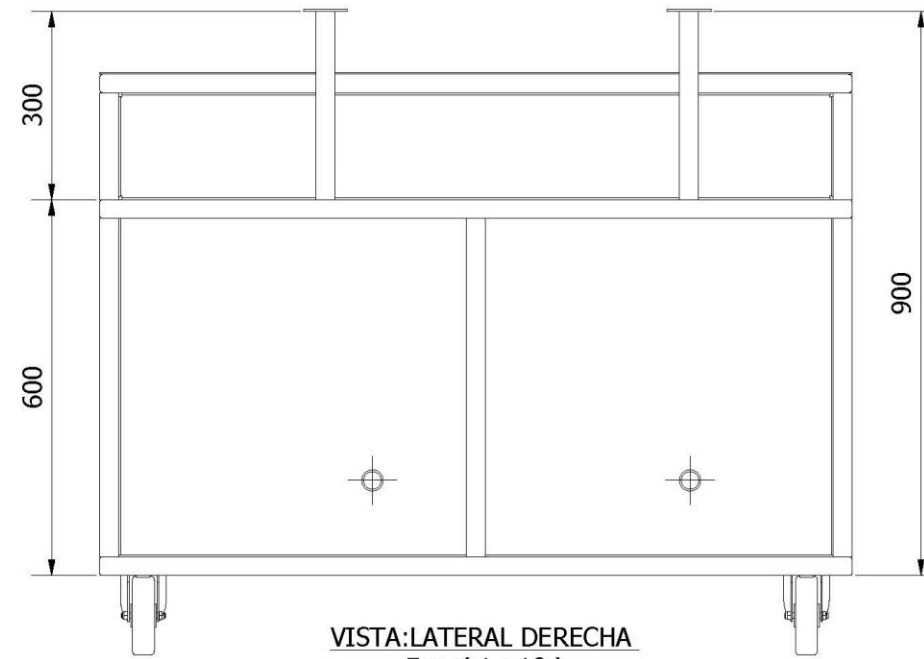
**NOTA:**

- Todas las uniones son realizadas con soldadura SMAW E7018 con una altura de 3 mm.

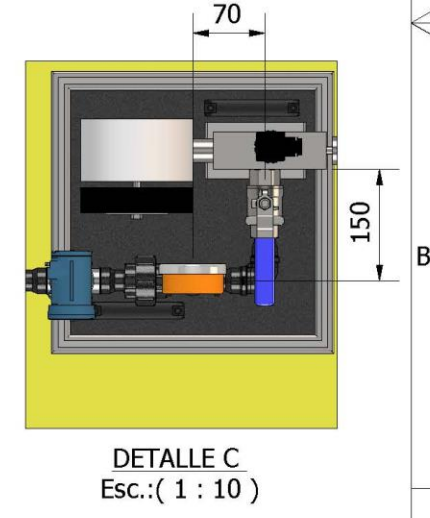
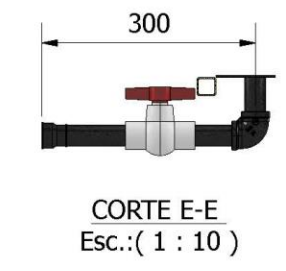
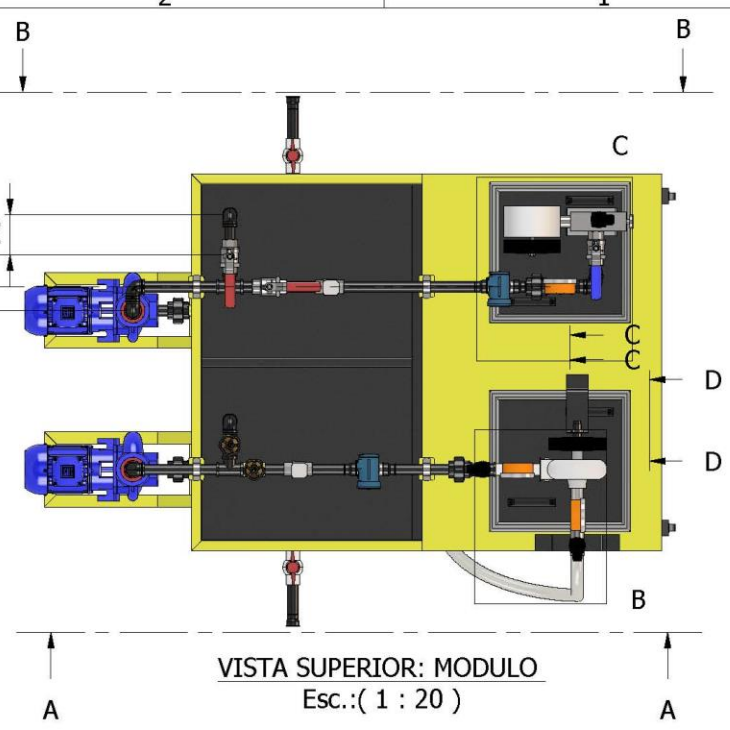
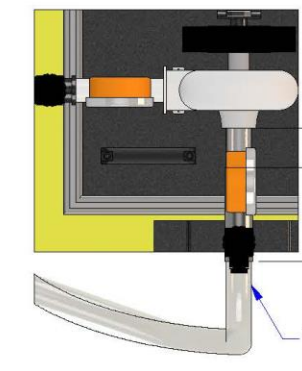
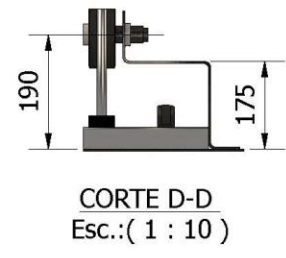
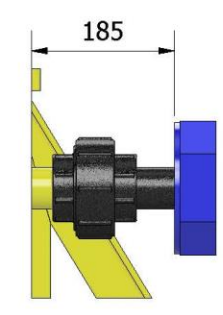
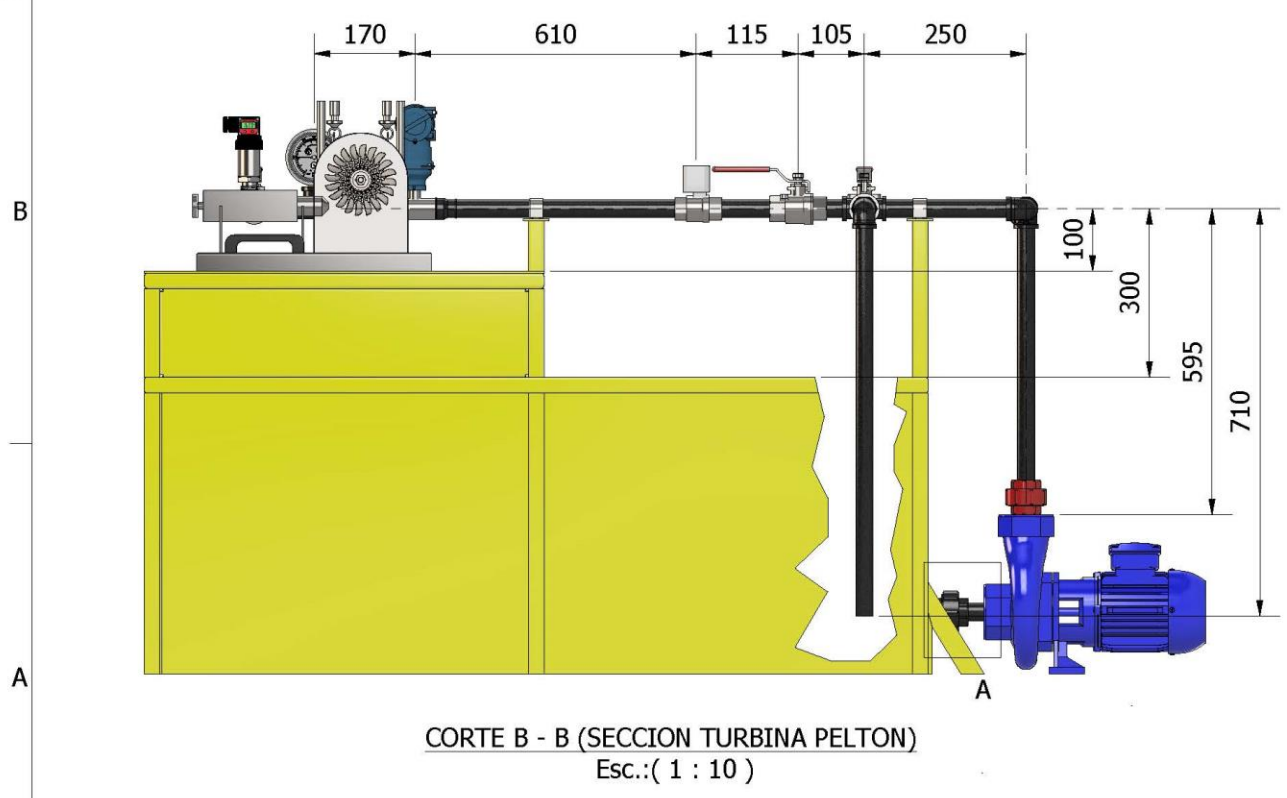
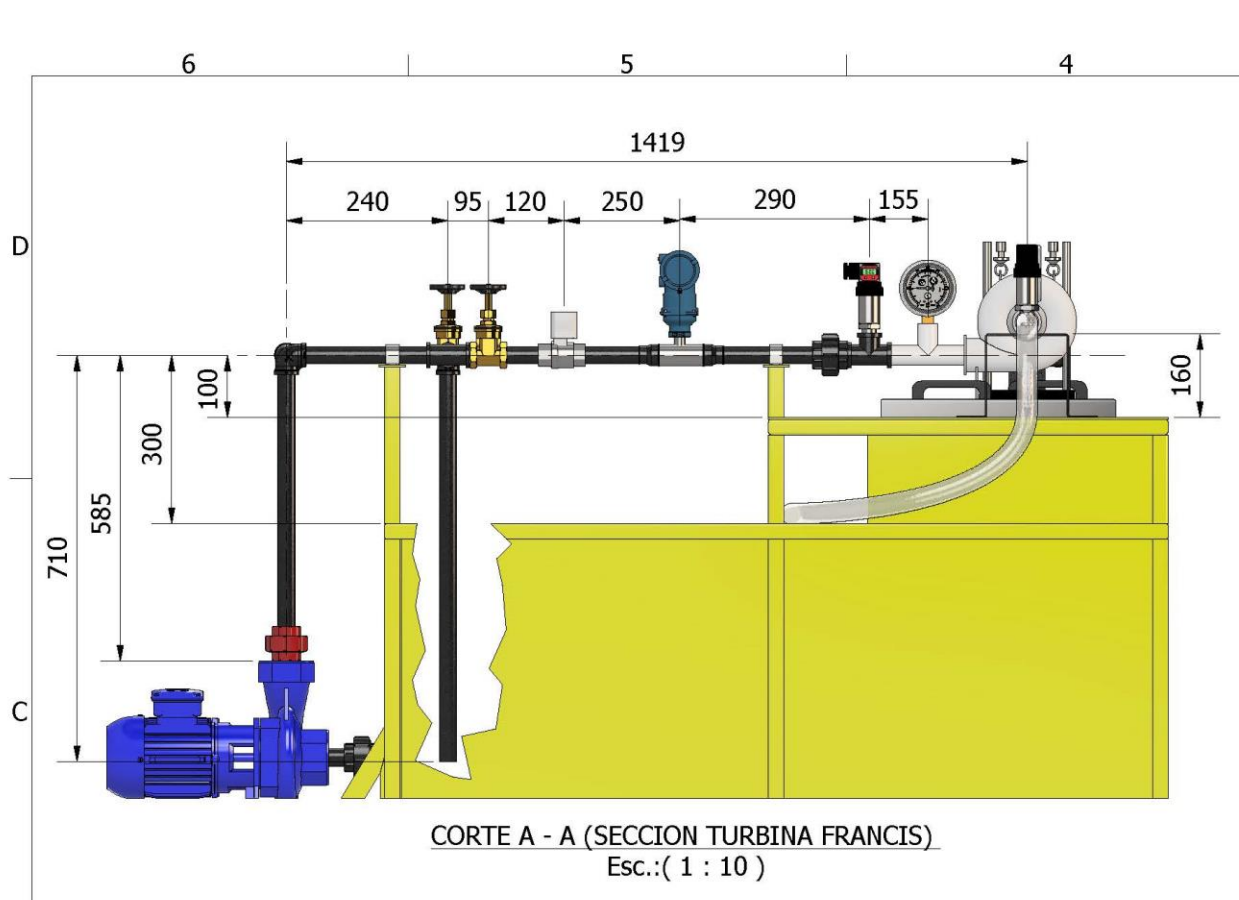
Anotaciones Complementarias. Todas las uniones son soldadas según lo indicado	APROBADO:	FECHA	NOMBRE		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
	REVISADO	09/02/2023	A. CHALCO		
	APROBADO:	09/02/2023	J. VALDEZ		
	APROBADO:	09/02/2023	L. HUACASI		
	Escala: 1:1 PROYECCIÓN 	PLANO:			PROYECTO REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS DE TURBINAS PELTON Y FRANCIS DEL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA PARA EL MONITOREO DEL FLUJO Y PRESION EMPLEANDO UN SISTEMA SCADA
	Tolerancia ± 0.01 Acabado N6	<b>ESTRUCTURA Y SOPORTE DE MOTOBOMBA</b>			N° PLANO 03/05 MODIFICACION REVISION 01



VISTA: ISOMETRICO  
Esc.: ( 1 : 20 )



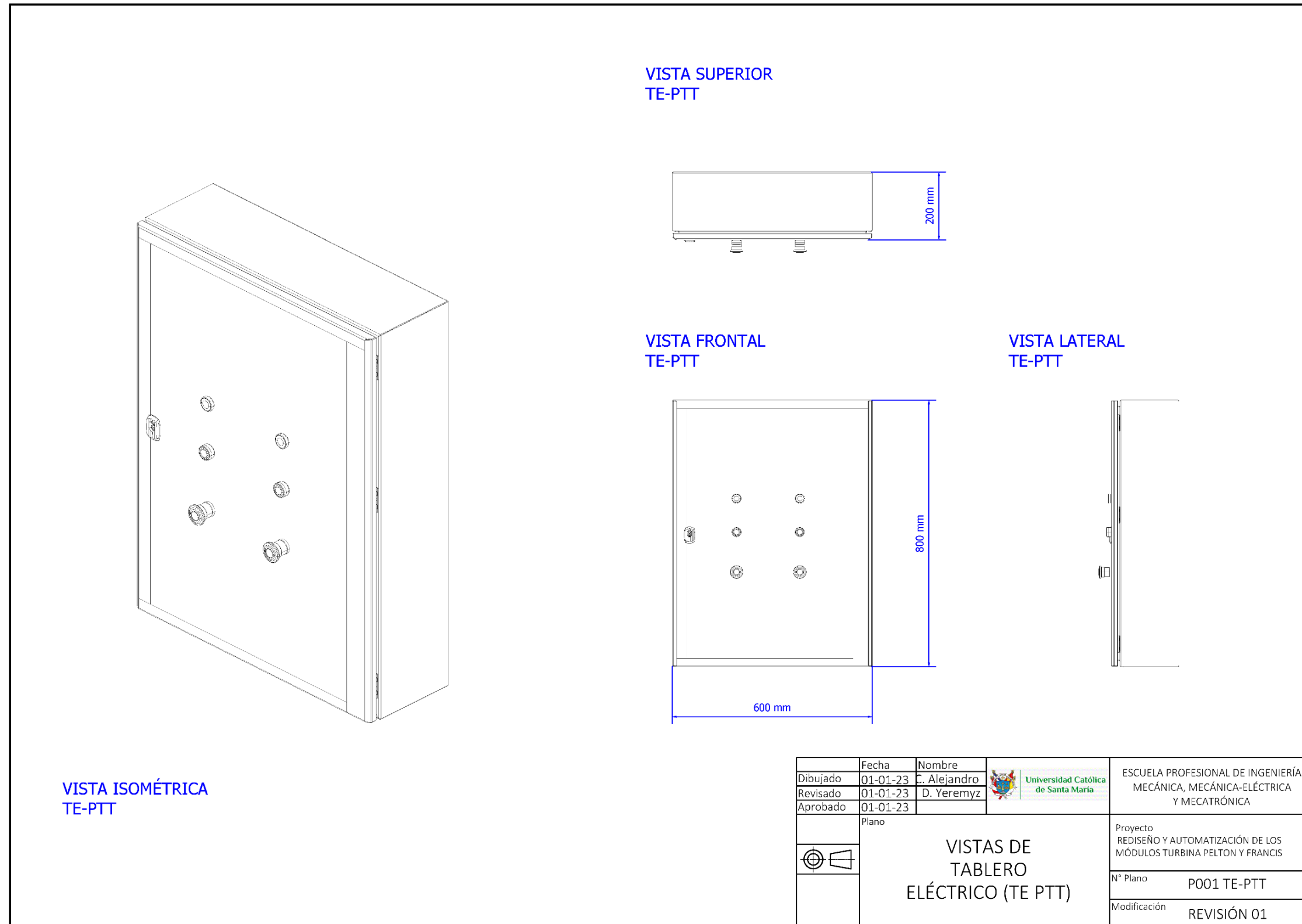
Anotaciones Complementarias. Todas las uniones son soldadas según lo indicado	FECHA	NOMBRE	 Universidad Católica de Santa María	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA
DIBUJADO:	09/02/2023	A. CHALCO		PROYECTO REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS DE TURBINAS PELTON Y FRANCIS DEL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA PARA EL MONITOREO DEL FLUJO Y PRESION EMPLEANDO UN SISTEMA SCADA
REVISADO:	09/02/2023	J. VALDEZ		
APROBADO:	09/02/2023	L. HUACASI		
Escala: 1:1 PROYECCIÓN  Tolerancia $\pm 0.01$ Acabado N6	PLANO:		ENSAMBLE DE TANQUE N° PLANO 04/05 MODIFICACION REVISION 01	



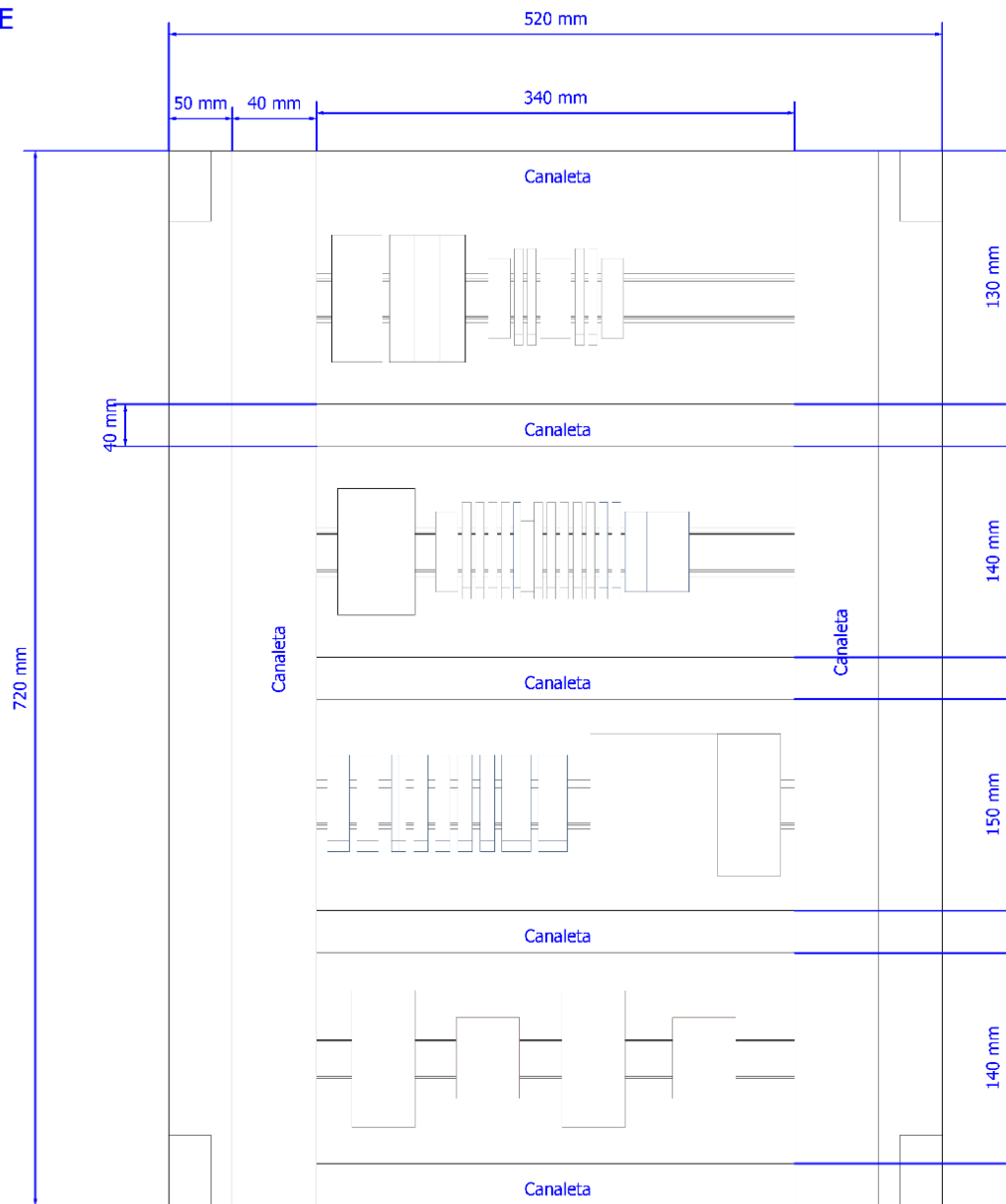
Anotaciones Complementarias. Todas las uniones son soldadas según lo indicado	DIBUJADO:	09/02/2023	A. CHALCO	 Universidad Católica de Santa María	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
	REVISADO:	09/02/2023	J. VALDEZ		
	APROBADO:	09/02/2023	L. HUACASI		
	PLANO:	RECORRIDO DE TUBERÍAS			
Escala: 1:1  Tolerancia ±0.01 Acabado N6	PROYECTO REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MODULOS DE TURBINAS PELTON Y FRANCIS DEL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA PARA EL MONITOREO DEL FLUJO Y PRESION EMPLEANDO UN SISTEMA SCADA		N° PLANO 05/05 MODIFICACION REVISION 01		

## 8.11. Planos Eléctricos

### 8.11.1. Tablero eléctrico (TE-PPT)



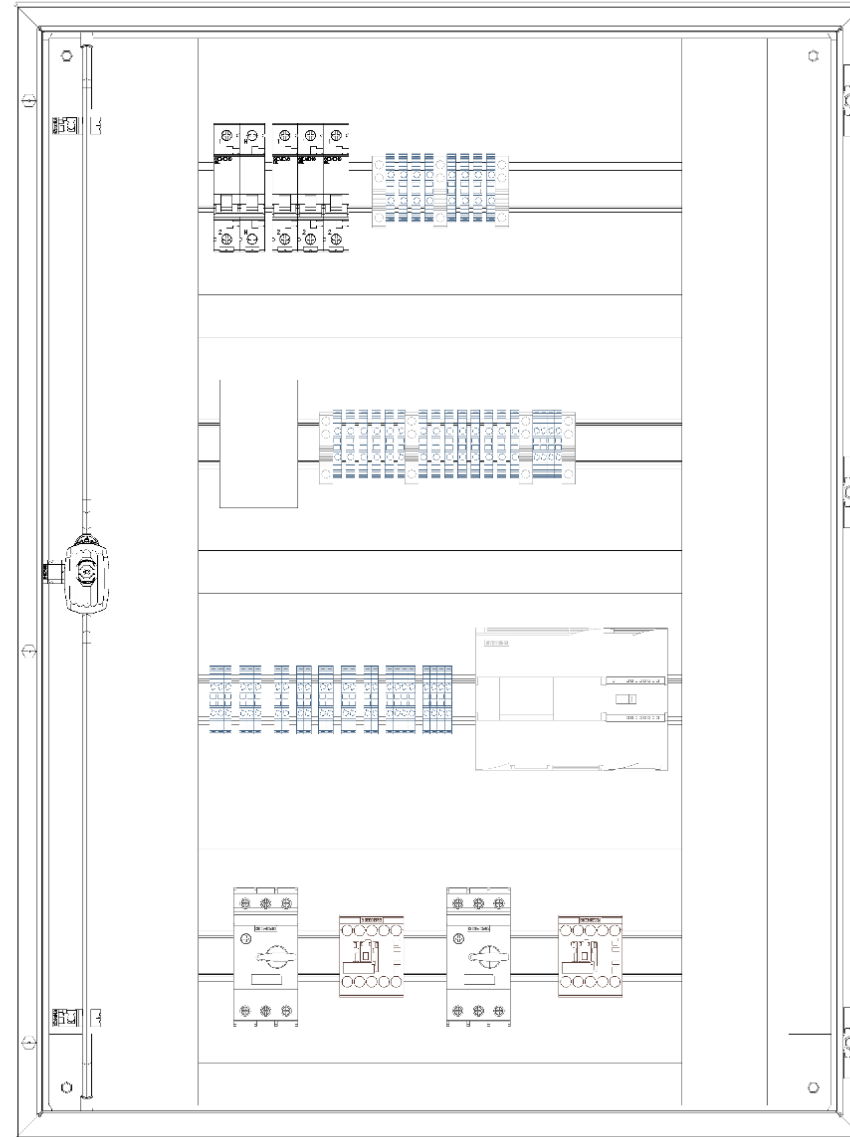
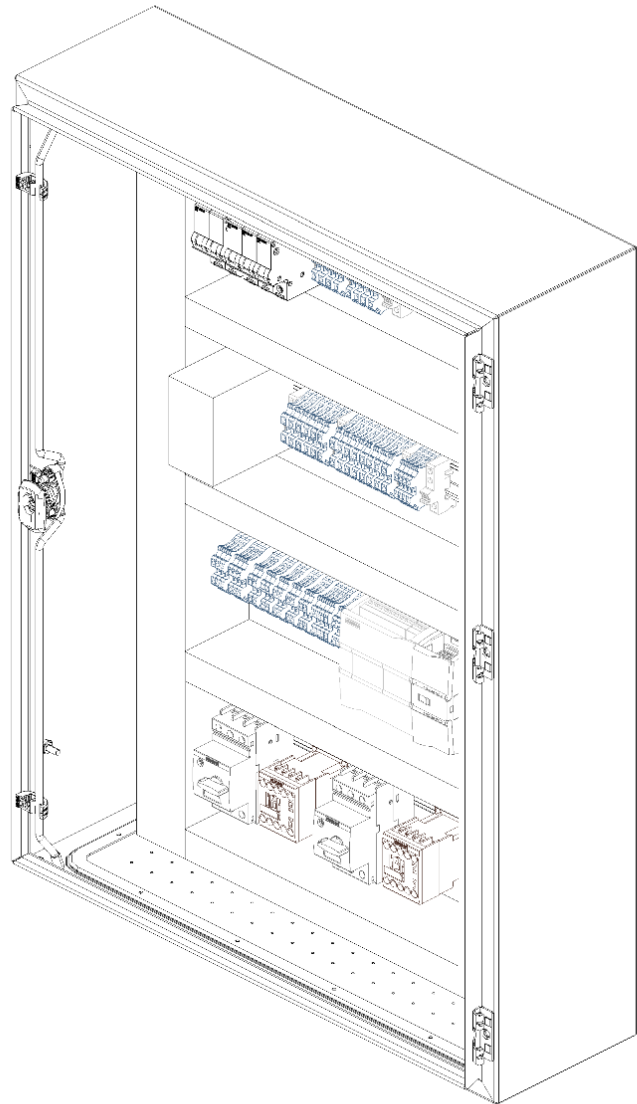
PLACA DE MONTAJE  
TE-PTT



Riel DIN x4  
7.5 x 35 mm

	Fecha	Nombre		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA
Dibujado	01-01-23	C. Alejandro		
Revisado	01-01-23	D. Yeremyz		
Aprobado	01-01-23			
	Plano			Proyecto
	PLACA DE MONTAJE TE-PTT)			REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS
				N° Plano
				Modificación
				REVISIÓN 01

DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES  
TE-PTT



DISTRIBUCIÓN  
220 VAC

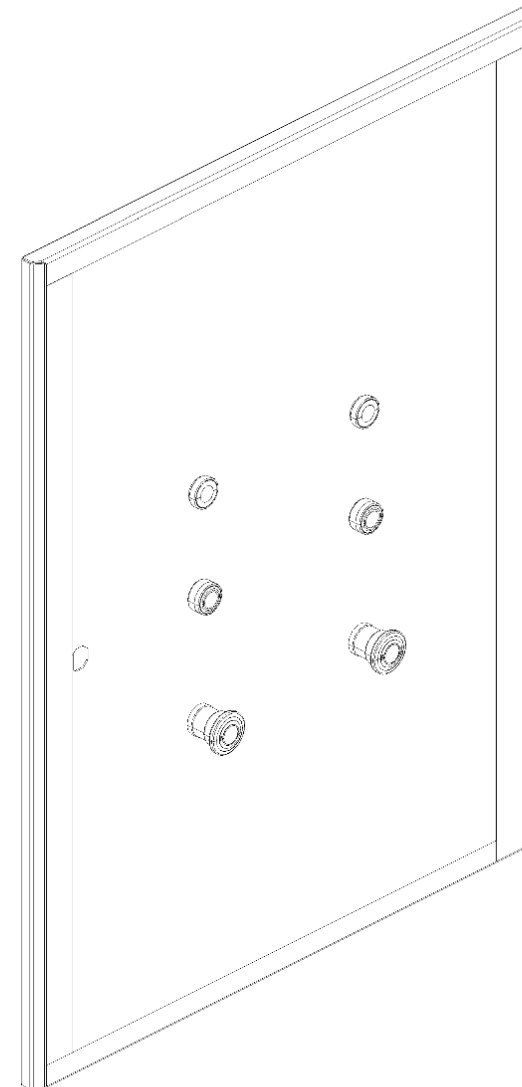
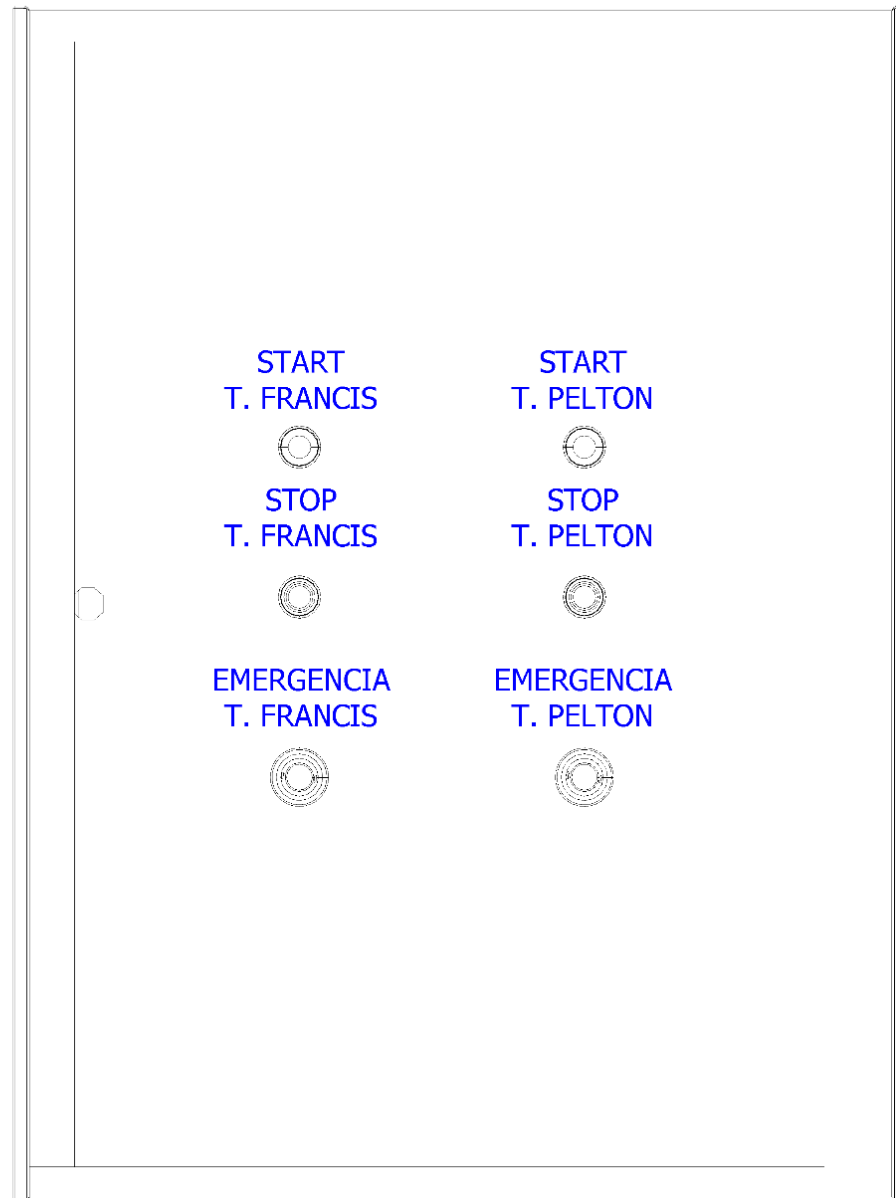
DISTRIBUCIÓN  
24 VDC

CONTROL  
PLC Y MÓDULOS

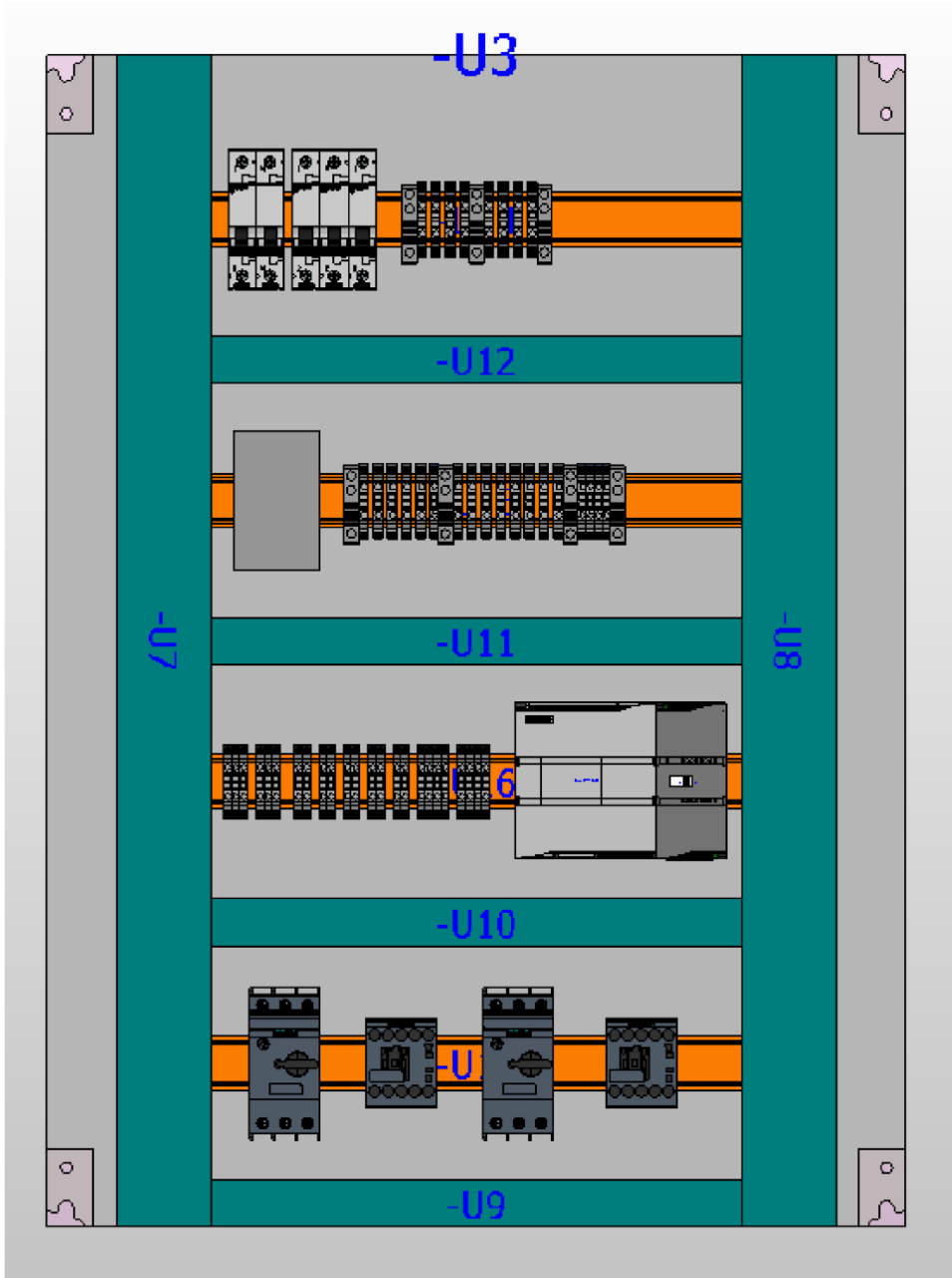
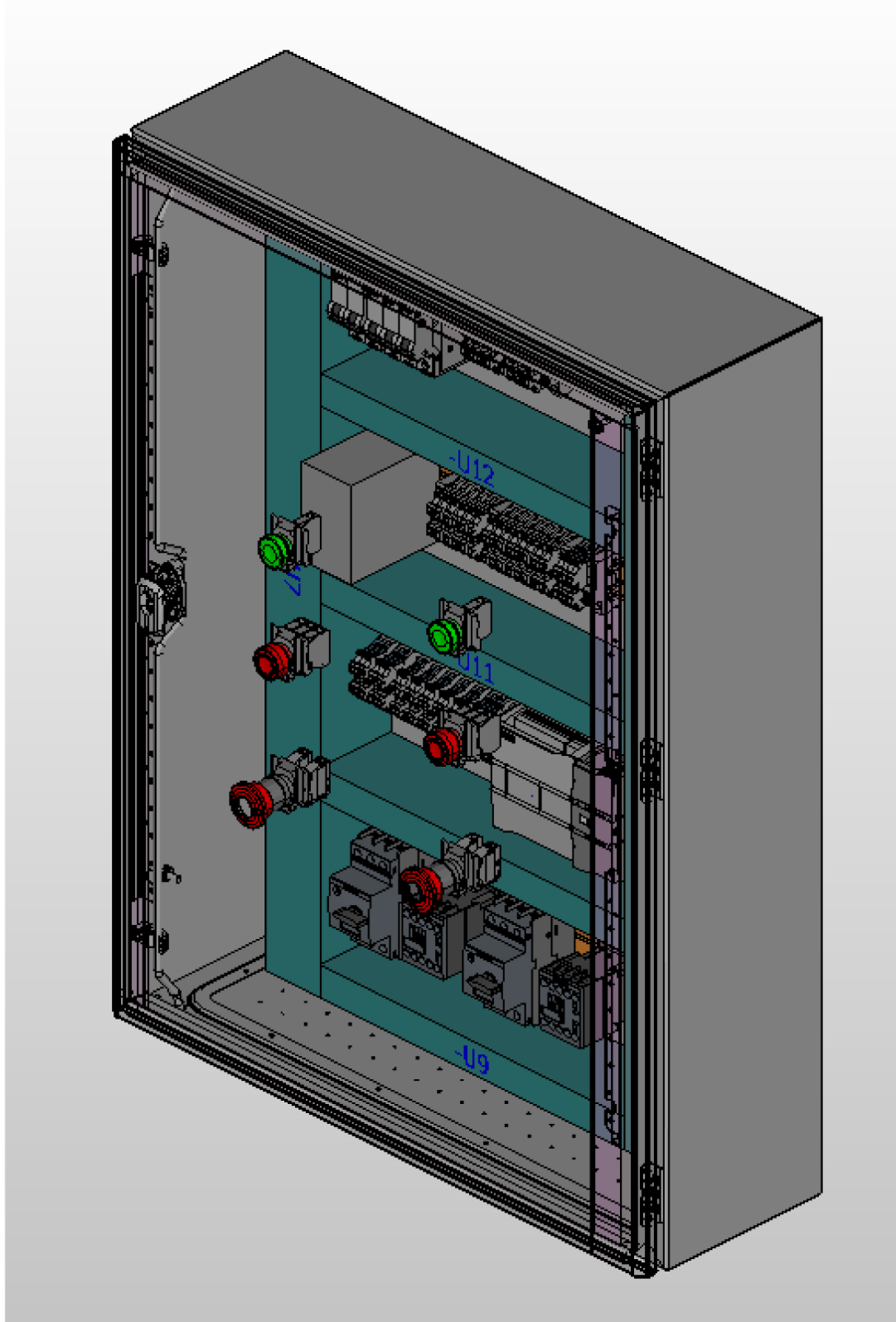
POTENCIA  
GUARDAMOTOR Y CONTACTORES


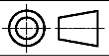
Dibujado	01-01-23	C. Alejandro		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA	
Revisado	01-01-23	D. Yeremy			
Aprobado	01-01-23				
Plano				Proyecto REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS	
 <p>DISTRIBUCIÓN TABLERO ELÉCTRICO (TE-PTT)</p>				N° Plano	P003 TE-PTT
				Modificación	REVISIÓN 01

PUERTA  
TE-PTT

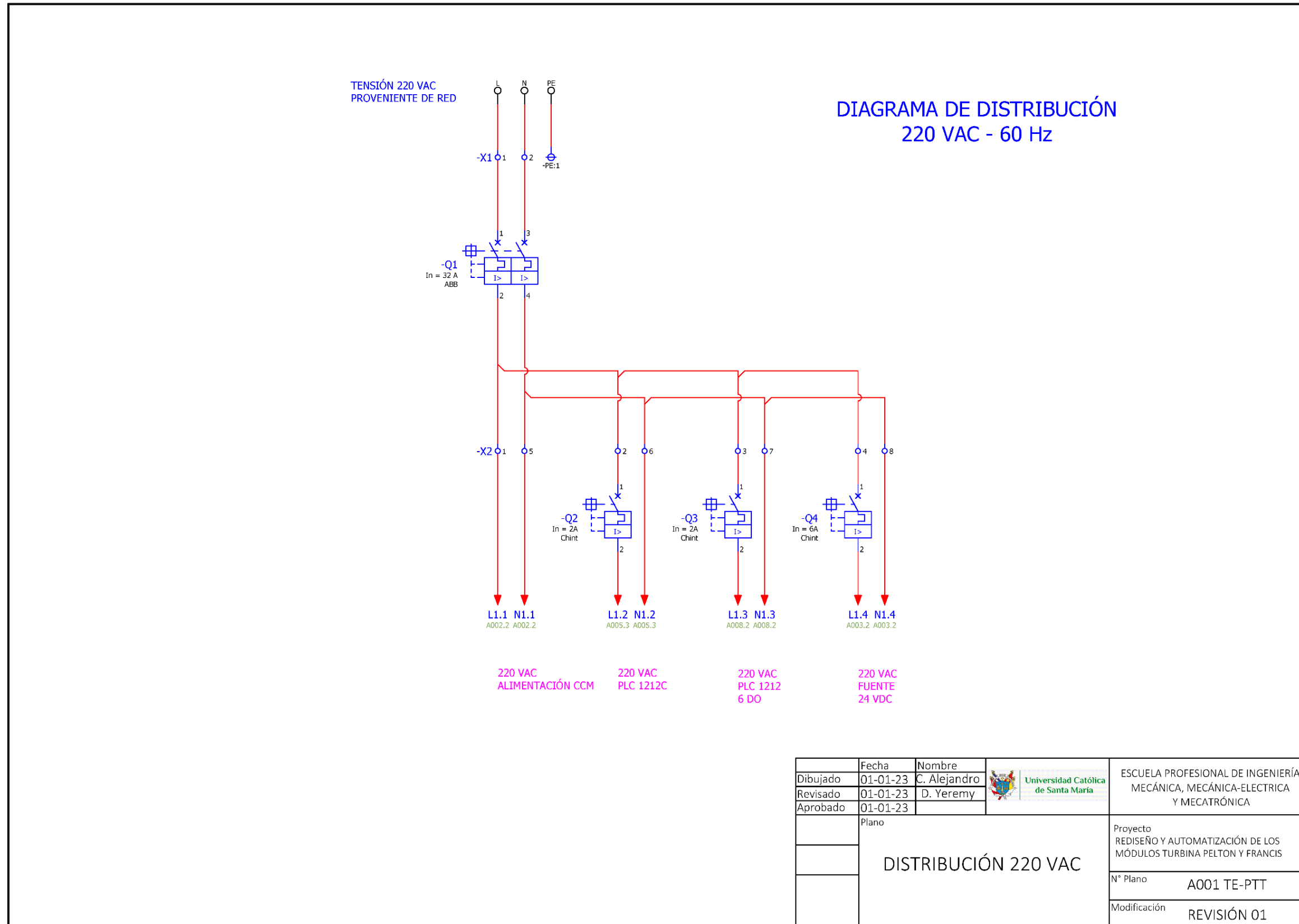


	Fecha	Nombre		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA	
Dibujado	01-01-23	C. Alejandro			
Revisado	01-01-23	D. Yeremy			
Aprobado	01-01-23				
	Plano			Proyecto	
	 <p style="text-align: center;">PUERTA DE TABLERO ELÉCTRICO (TE-PTT)</p>			REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS	
				N° Plano	P004 TE-PTT
				Modificación	REVISIÓN 01

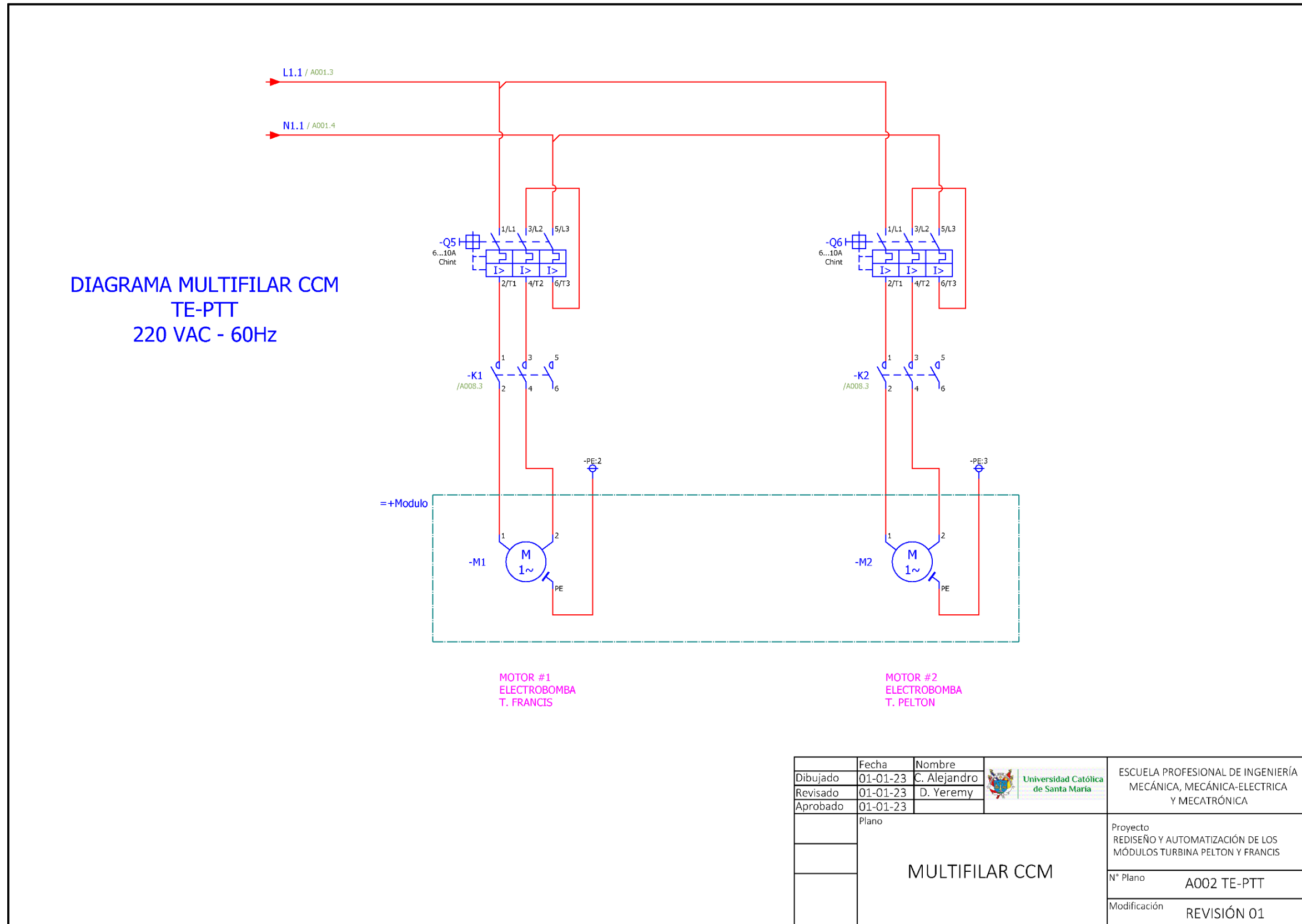


	Fecha	Nombre	 Universidad Católica de Santa María	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA	
Dibujado	01-01-23	C. Alejandro			
Revisado	01-01-23	D. Yeremy			
Aprobado	01-01-23				
	Plano			Proyecto	
	<b>VISTA ISOMÉTRICA          TABLERO ELÉCTRICO          (TE-PTT))</b>			REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS	
				N° Plano	P004 TE-PTT
				Modificación	REVISIÓN 01

### 8.11.2. Distribución 220 VAC

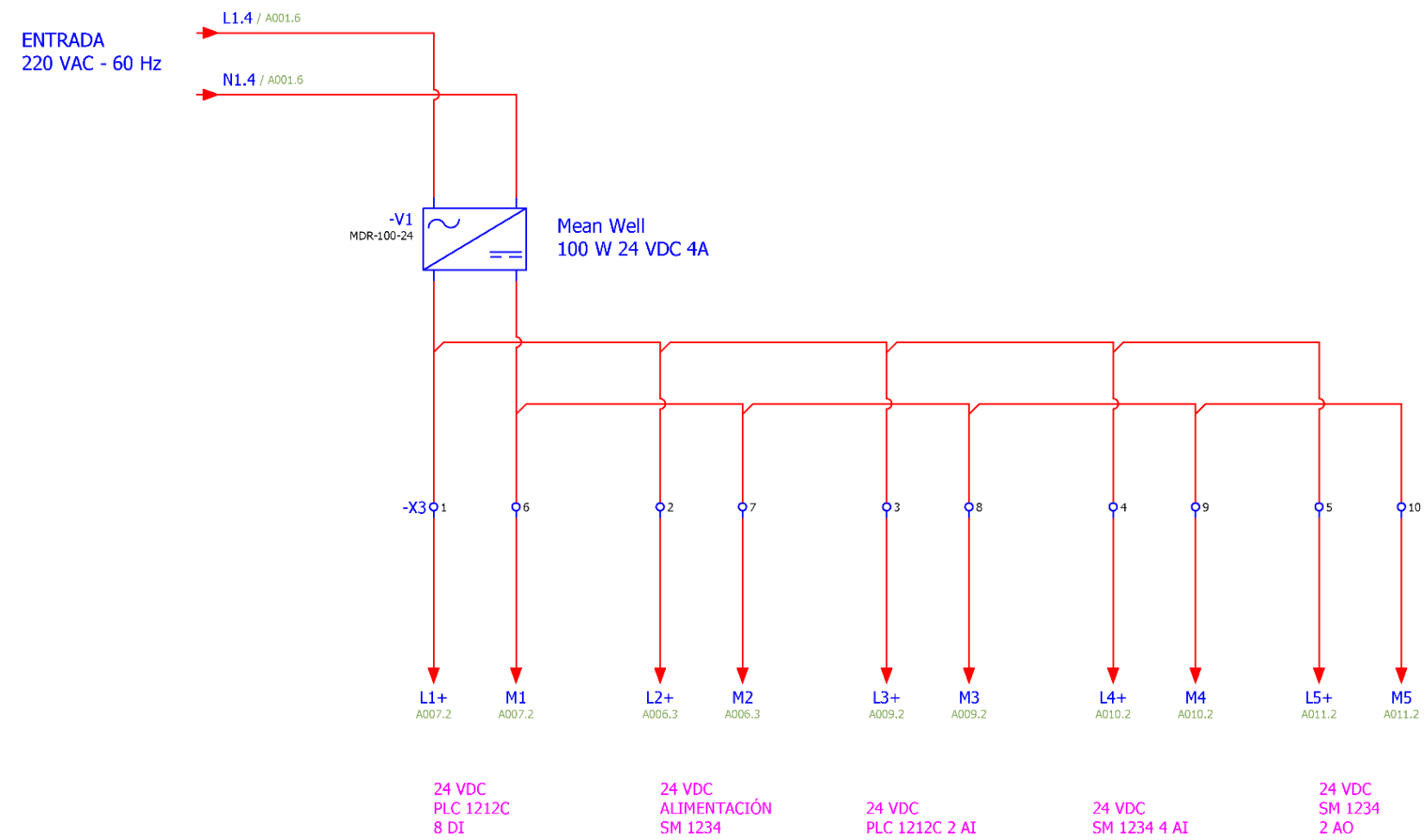



8.11.3. Multifilar CCM (Centro de Control de Motores)



8.11.4. Distribución 24 VDC

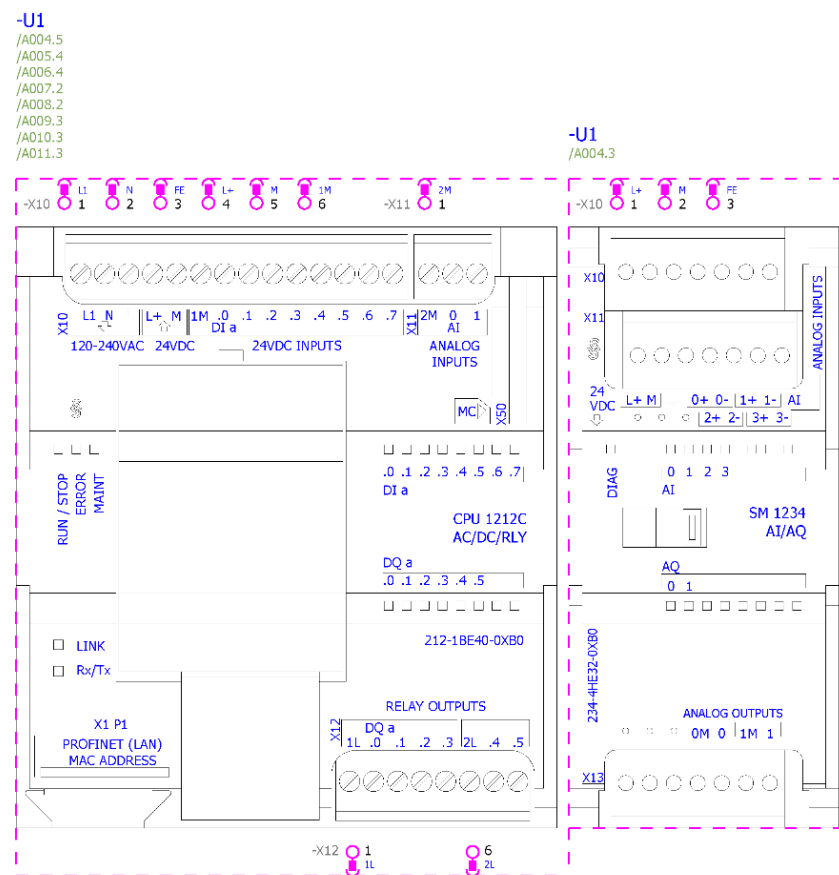
DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN  
24 VDC 4 A - FUENTE MEAN WELL



	Fecha	Nombre	 Universidad Católica de Santa María	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA
Dibujado	01-01-23	C. Alejandro		
Revisado	01-01-23	D. Yeremy		
Aprobado	01-01-23			
	Plano			Proyecto
	DISTRIBUCIÓN 24 VDC			REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS
				N° Plano
			Modificación	REVISIÓN 01

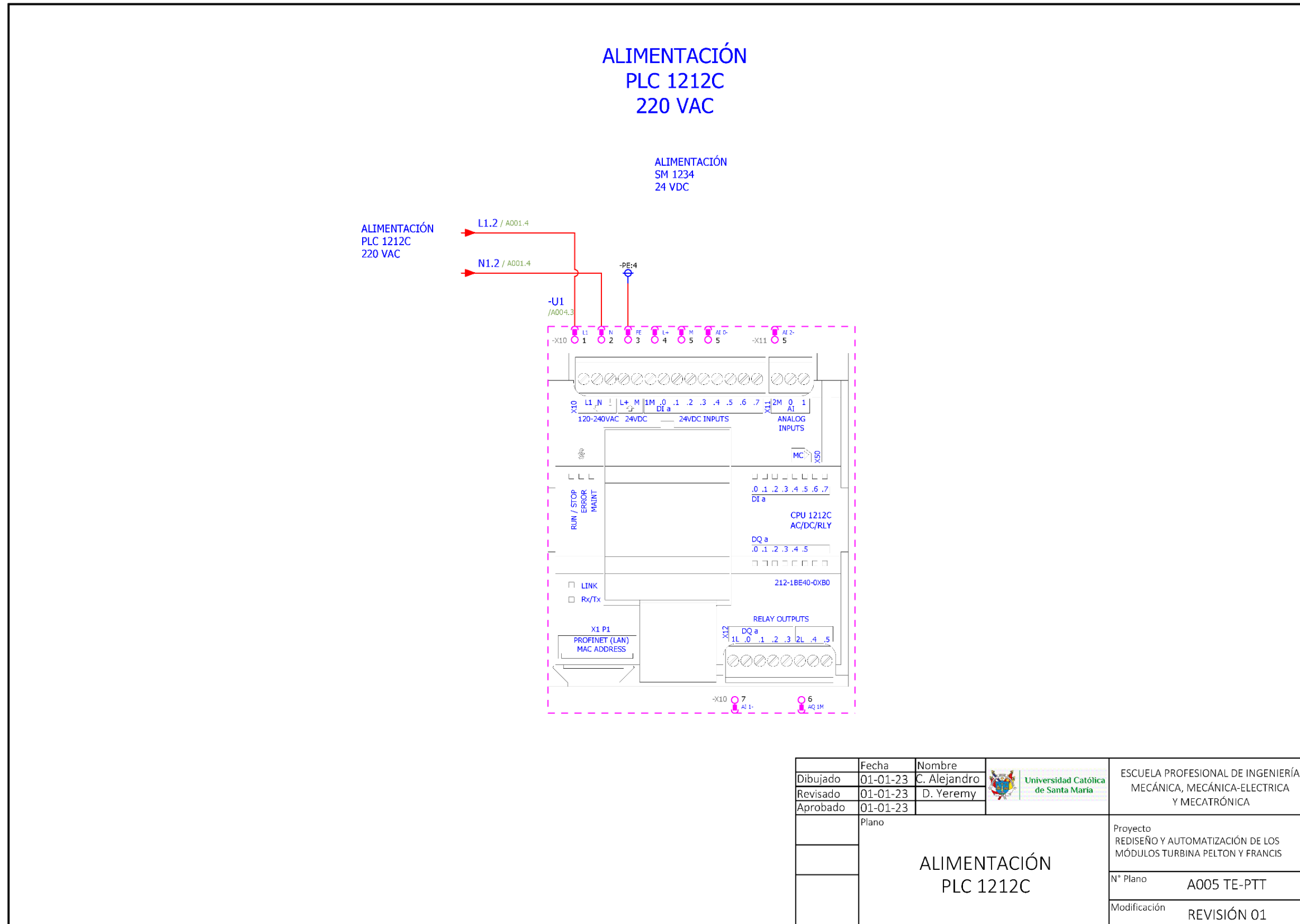
8.11.5. Distribución de PLC y Módulos

DISTRIBUCIÓN DE PLC 1212C  
MÓDULO SM 1234



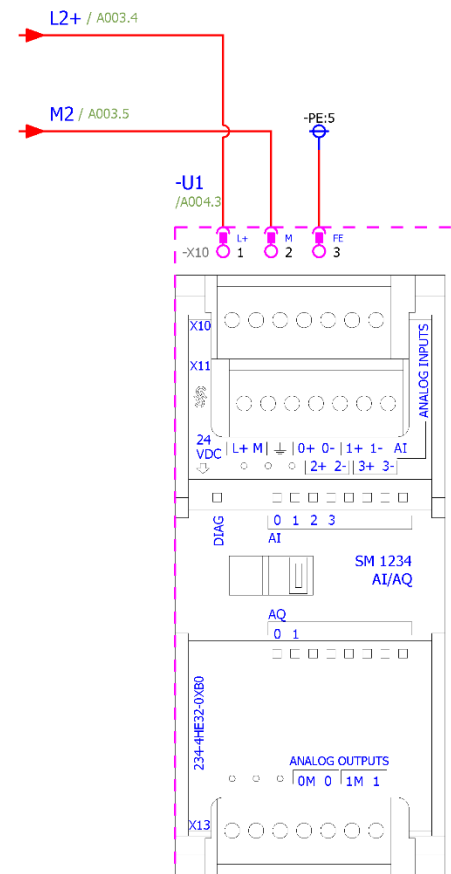
	Fecha	Nombre	 Universidad Católica de Santa María	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA	
Dibujado	01-01-23	C. Alejandro			
Revisado	01-01-23	D. Jeremy			
Aprobado	01-01-23				
	Plano			Proyecto	
	<b>DISTRIBUCIÓN DE PLC Y MÓDULOS</b>			REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS	
				N° Plano	A004 TE-PTT
				Modificación	REVISIÓN 01

8.11.6. Alimentación PLC 1212C AC/DC/RLY



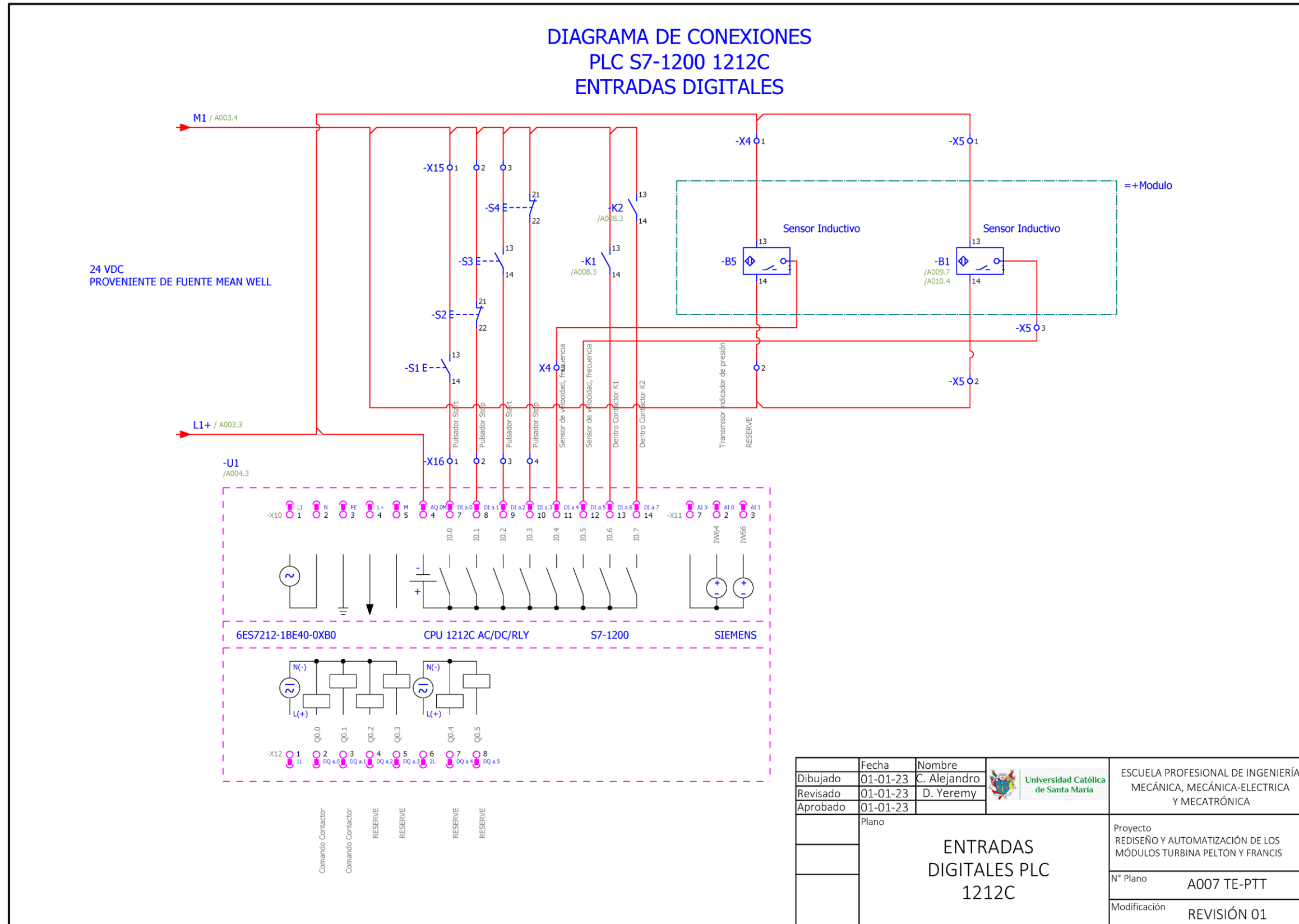
8.11.7. Alimentación de Módulo SM 1234

ALIMENTACIÓN  
SM 1234  
24 VDC



	Fecha	Nombre	 Universidad Católica de Santa María	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA
Dibujado	01-01-23	C. Alejandro		
Revisado	01-01-23	D. Yeremy		
Aprobado	01-01-23			
	Plano			Proyecto
	ALIMENTACIÓN SM 1234			REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS
				N° Plano
			Modificación	REVISIÓN 01

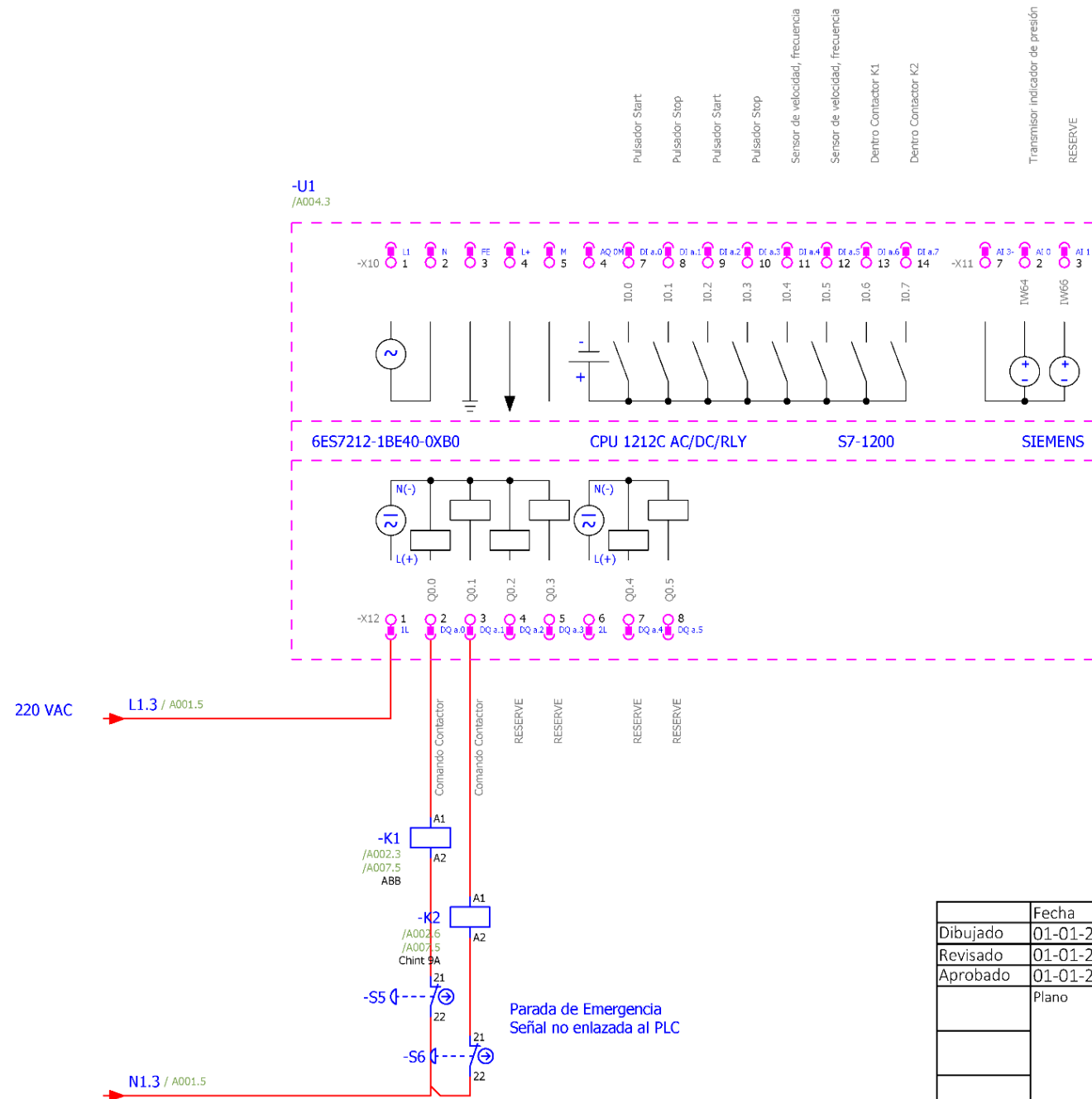
8.11.8. Entradas Digitales PLC



Fecha	Nombre	 Universidad Católica de Santa María	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA
Dibujado	C. Alejandro		
Revisado	D. Yeremy		
Aprobado	01-01-23		
Plano			Proyecto REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS
ENTRADAS DIGITALES PLC 1212C			N° Plano A007 TE-PTT
			Modificación REVISIÓN 01

### 8.11.9. Salidas Digitales PLC

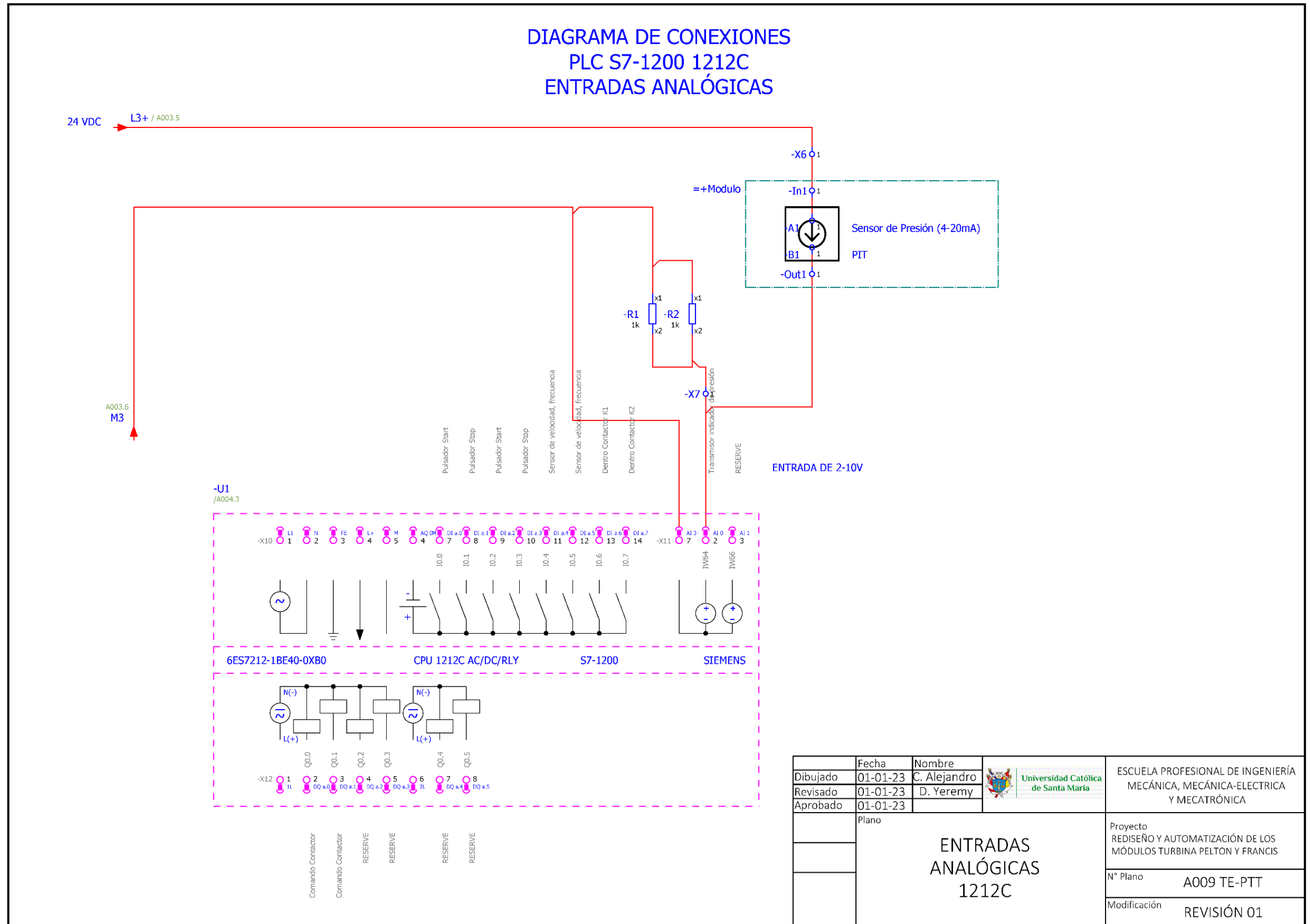
## DIAGRAMA DE CONEXIONES PLC S7-1200 1212C SALIDAS DIGITALES



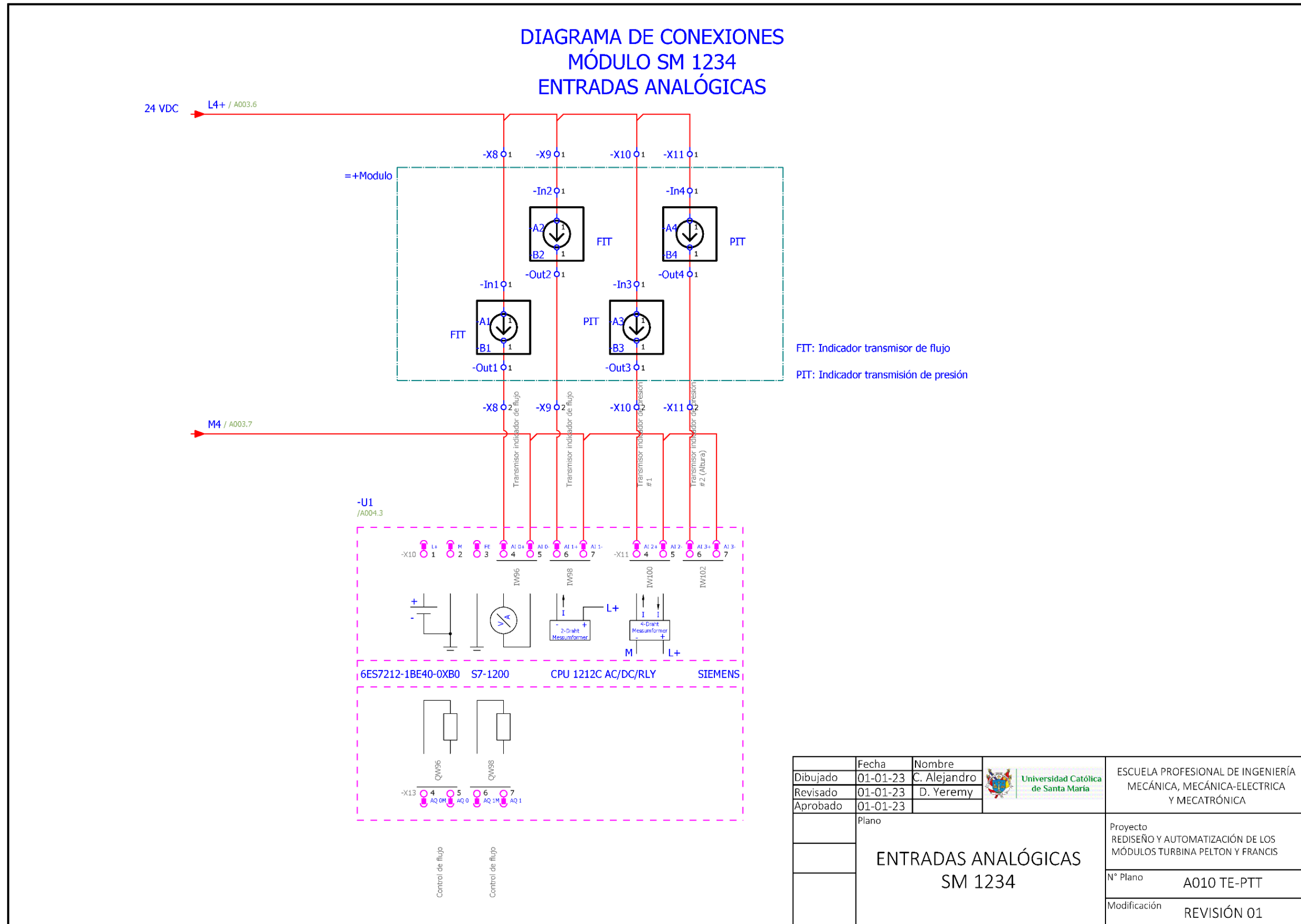
- Pulsador Start
- Pulsador Stop
- Pulsador Start
- Pulsador Stop
- Sensor de velocidad, frecuencia
- Sensor de velocidad, frecuencia
- Dentro Contactor K1
- Dentro Contactor K2
- Transmisor indicador de presión
- RESERVE

	Fecha	Nombre		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA	
Dibujado	01-01-23	C. Alejandro			
Revisado	01-01-23	D. Yeremy			
Aprobado	01-01-23				
Plano				Proyecto	
SALIDAS DIGITALES PLC 1212C				REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS	
				N° Plano	A008 TE-PTT
				Modificación	REVISIÓN 01

8.11.10. Entradas Analógica PLC

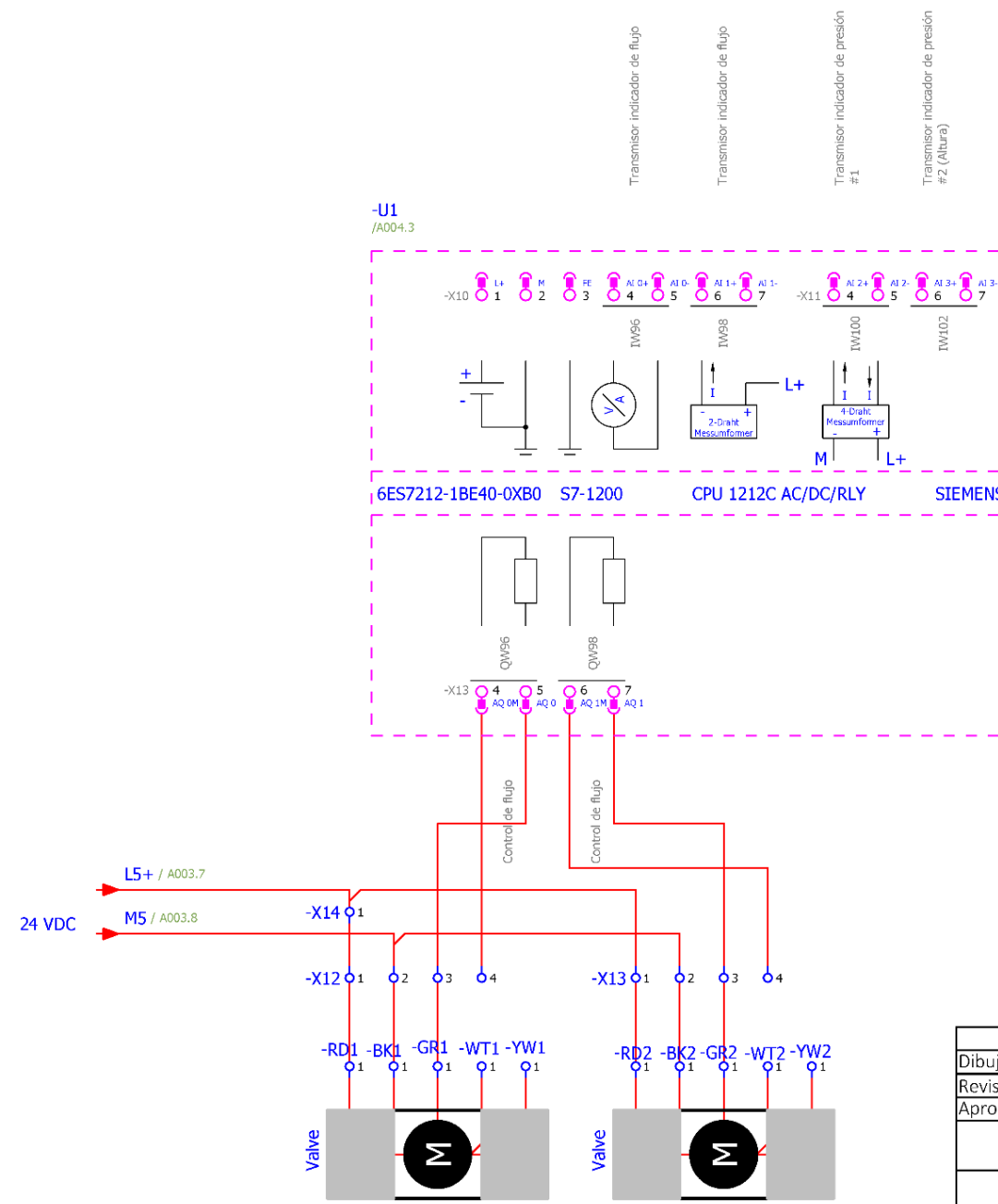


8.11.11. Entradas Analógicas Módulo SM 1234



8.11.12. Salidas Analógicas Módulo SM 1234

DIAGRAMA DE CONEXIONES  
MÓDULO SM 1234  
SALIDAS ANALÓGICAS



	Fecha	Nombre	 Universidad Católica de Santa María	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELECTRICA Y MECATRÓNICA
Dibujado	01-01-23	C. Alejandro		
Revisado	01-01-23	D. Yeremy		
Aprobado	01-01-23			
	Plano			Proyecto
	SALIDAS ANALÓGICAS SM 1234			REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS MÓDULOS TURBINA PELTON Y FRANCIS
				N° Plano
			Modificación	REVISIÓN 01