



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



---

**“SOLUCIÓN AUTOMATIZADA PARA EL CONTROL TÉRMICO DEL HORNO DE  
TRATAMIENTO DE TURBINAS PELTON - FRANCIS UTILIZANDO HARDWARE  
Y SOFTWARE LIBRE”**

---



**AUTOR:**

Bach. GAMARRA OJEDA, Vladimir.

Bach. ZAVALLA POZO, Evert.

**ASESOR:**

Mgt. Ing. CARRASCO POBLETE, Edwin.

**CUSCO – ABRIL  
2017**



## DEDICATORIA

Este trabajo es una parte de mi vida y está  
dedicado a:

Mis queridos padres Julio y Sabina.

Mis queridos hermanos Lida, Libertad y  
América

Por su apoyo incondicional durante toda mi  
formación profesional.

Vladimir Gamarra Ojeda.

Este trabajo es una parte de mi vida, dedicado a:

Mis queridos padres Manuel Enrique y Mirtha

Mi querida hermana Kelly.

Mis queridos abuelos: Celio y Adelaida

Por su apoyo incondicional durante toda mi  
formación profesional.

Evert Zavalla Pozo.



## AGRADECIMIENTOS

Son tantas personas a las cuales debemos parte de este triunfo, de alcanzar un logro académico, la cual es el anhelo de todos los que así lo deseamos.

A nuestros padres que son la fuerza, aliento y lo más importante en la vida, gracias por ayudarnos, tengan presente que sin el apoyo de ustedes no hubieramos podido culminar este reto en la vida, ustedes son los artífices de nuestros logros.

A nuestros hermanos y amigos, por estar ahí para darnos su apoyo para poder llegar a culminar este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes.

Vladimir Gamarra Ojeda.  
Evert Zavalla Pozo.



## RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como principio automatizar el control de temperatura del horno de tratamiento térmico. Adquirir las lecturas por medio de un Controlador Lógico Programable, para luego enviar mediante un protocolo de comunicación a un ordenador Raspberry Pi, y así observar en una Interfaz de usuario la lectura de temperaturas en tiempo real y la curva de tratamiento térmico.

En ese trabajo se realizó pruebas en el taller de Mantenimiento de EGEMSA, se diseñó una Interfaz en el ordenador Raspberry Pi con los datos obtenidos, utilizando el lenguaje de programación Python.

La supervisión, control y adquisición de datos – SCADA, está administrado por un Controlador Lógico Programable de la Marca Schneider Electric, este Controlador recibe señales de los sensores de temperatura o termocuplas que están ubicados en diferentes partes del rodete de la turbina para luego enviarlas a la Interfaz y poder visualizarlas. El control de la automatización, está bajo los parámetros de temperaturas para así dosificar el calor que requieren los rodetes, y liberar las tensiones generadas durante el proceso de soldadura y esmerilado.

Palabras claves: algoritmo, cavitación, DCS, energía cinética, energía hidráulica, energía potencial, GNU, presa, presión atmosférica, SIS, velocidad de embalamiento.

**ABSTRACT**

The present work of thesis has as beginning automate the control of temperature of the oven of thermal treatment. To acquire the readings by means of a Logical Programmable Controller, then to send by means of a protocol of communication to a computer Raspberry Pi, and this way to observe in a user's Interface the reading of real time temperatures and the curve of thermal treatment. In this work tests were realized in the workshop of EGEMSA's Maintenance, Raspberry Pi designed an Interface in the computer with the obtained information, using the language of programming Python. The supervision, control and acquisition of information - SCADA, is administered by a Logical Programmable Controller of the Brand Schneider Electric, this Controller receives signs of the sensors of temperature or thermocouples that are located in different parts of the bun of the turbine then to send them to the Interface and to be able to visualize them. The control of the automation, it is under the parameters of temperatures this way to dose the heat that the buns need, and to liberate the tensions generated during the process of weld and burnished.

Key words: algorithm, cavitation, DCS, kinetic energy, hydraulic power, potential energy, GNU, dam, atmospheric pressure, SIS, speed of embalmment.



## INTRODUCCIÓN

En los últimos veinticinco años, la tecnología de los sistemas SCADA ha desarrollado un papel muy importante en la solución de necesidades de las diferentes áreas de la industria. Las empresas por igual se vieron obligadas a dedicar su atención primero a problemas tales como el control, la supervisión, la automatización y la optimización de los recursos materiales y del tiempo.

Por ello el objetivo de este trabajo, fue desarrollar una solución automatizada para el control térmico del horno de tratamiento de turbinas Pelton – Francis, para obtener un control totalmente automatizado con una curva de tratamiento uniforme según los parámetros establecidos.

Este trabajo consta de cinco capítulos los cuales se exponen a continuación:

CAPÍTULO I: presenta las generalidades respecto al proyecto como: descripción de la situación actual, formulación del problema, objetivos, justificación, metodología.

CAPÍTULO II: hace referencia a los conceptos teóricos y definiciones de los temas tratados en este trabajo, como: turbinas hidráulicas, proceso de mantenimiento de turbinas, fenómenos de deterioro en turbinas, control térmico, solución automatizada, ordenador Raspberry Pi 2, PLC (controlador lógico programable), protocolo de comunicación, herramientas de software y sistema embebido.

CAPÍTULO III: trata sobre la metodología de desarrollo del software, el análisis de requerimientos del sistema, para un óptimo diseño y desarrollo de la solución automatizada planteada en la tesis, la descripción del sistema de control actual del horno de tratamiento térmico, la implementación del hardware para la solución automatizada, diseño del software y la recolección de datos.

CAPÍTULO IV: resultados de funcionamiento de la automatización propuesta.

CAPÍTULO V: presenta la discusión y comparación entre el funcionamiento del sistema actual de control del proceso de tratamiento térmico y la propuesta mediante la Solución Automatizada, y la demostración de la hipótesis.

Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas a lo largo del desarrollo de la investigación, así como las recomendaciones respectivas.



ÍNDICE

DEDICATORIA ..... 1

AGRADECIMIENTOS ..... 2

RESUMEN ..... 3

ABSTRACT ..... 4

INTRODUCCIÓN ..... 5

ÍNDICE ..... 6

CAPÍTULO I ..... 14

ASPECTOS GENERALES ..... 14

    1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL ..... 14

    1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 15

        1.2.1. Formulación del Problema General ..... 15

        1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos ..... 15

    1.3. OBJETIVOS ..... 15

        1.3.1. Objetivo General ..... 15

        1.3.2. Objetivos Específicos ..... 15

    1.4. HIPÓTESIS ..... 16

    1.5. JUSTIFICACIÓN ..... 16

    1.6. DELIMITACIÓN ..... 17

    1.7. METODOLOGÍA ..... 17

CAPÍTULO II ..... 19

MARCO TEÓRICO ..... 19

2.1. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES ..... 19

    2.1.1. Turbinas Hidráulicas ..... 19

        2.1.1.1. Clasificación De Turbinas ..... 20

        2.1.1.2. Proceso De Mantenimiento De Turbinas ..... 23

        2.1.1.3. Fenómenos De Deterioro En Turbinas ..... 27

        2.1.1.4. Tipos De Mantenimiento De Turbinas ..... 28

    2.1.2. Control Térmico ..... 29

        2.1.2.1. Horno De Tratamiento Térmico ..... 29

        2.1.2.2. Termocupla ..... 31



- 2.1.3. Solución Automatizada ..... 33
  - 2.2.3.1. Partes de la Automatización ..... 34
  - 2.2.3.2. Clases de Automatización ..... 34
  - 2.2.3.3. Objetivos de la Automatización..... 35
  - 2.2.3.4. Beneficios de la Automatización ..... 35
- 2.2.4. Raspberry PI 2..... 36
  - 2.2.4.1. Raspbian Jessie ..... 37
- 2.2.5. Controlador Lógico Programable – PLC ..... 38
  - 2.2.5.1. Funciones del PLC ..... 38
  - 2.2.5.2. Ventajas del PLC ..... 38
  - 2.2.5.3. Estructura del PLC ..... 39
- 2.2.6. Protocolo De Comunicación Modbus TCP/IP..... 40
  - 2.2.6.1. Conexión y Modelo Cliente /Servidor ..... 42
  - 2.2.6.2. Transferencia de datos MODBUS..... 43
  - 2.2.6.3. Objetivo Del Protocolo Modbus TCP/IP ..... 44
- 2.2.7. Niveles de una Red Industrial ..... 44
  - 2.2.7.1. Ventajas de la Red Industrial ..... 45
- 2.2.8. Herramientas De Desarrollo De Sistemas..... 45
  - 2.2.8.1. SCADA..... 45
  - 2.2.8.2. Sistema Embebido - SSEE ..... 47
  - 2.2.8.3. Python ..... 48
  - 2.2.7.4. Ninja IDE ..... 50
  - 2.2.7.5. SoMachine ..... 51
  - 2.2.7.6. Entorno de Programación CoDeSys ..... 52
  - 2.2.7.6. Rational Rose Enterprise ..... 53
- 2.2.8. Cálculo de la Velocidad de Ascenso de Calentamiento ..... 54
- 2.2.9. PID ..... 54
- 2.2.10. Señal Eléctrica..... 55
- 2.2.11. PWM..... 56
- 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 56
- CAPÍTULO III ..... 61
- METODOLOGÍA ..... 61





3.1. METODOLOGÍA DE PROCESO DE DISEÑO DE SISTEMAS EMBEBIDOS ..... 61

..... 61

Fases del ciclo de vida del Proceso de Diseño de Sistemas Embebidos..... 61

3.2.1. Identificación del Sistema. .... 62

3.2.1.1. Descripción del Sistema de Control Actual ..... 62

3.2.1.2. Diagrama de Circuito Eléctrico del Horno de Tratamiento Térmico según el Sistema de Control Actual..... 62

3.2.1.3. Toma de Datos con el controlador Dicon - Jumo Logoscreen..... 63

3.2.1.4. Configuración del Modbus Poll para la toma de datos del controlador Dicon – Jumo Logoscreen. .... 64

3.2.1.5. Segmentos en Tratamiento térmico y Curva de tratamiento ..... 68

3.2.1.6. Resultados de la Toma de Datos con el controlador Jumo ..... 72

3.2.2. Definición de requisitos. .... 73

3.2.2.1. Análisis de Requerimiento de los Procesos ..... 74

3.2.2.2. Análisis de Requerimiento para el Software ..... 75

3.2.3. Desarrollo de arquitectura de sistema. .... 76

3.2.3.1. Diagrama de Circuito Eléctrico del Horno de Tratamiento Térmico según la Solución Automatizada ..... 76

3.2.4. Desarrollo de software, diseño de interfaz y diseño de hardware..... 77

3.2.4.1. Diseño del Hardware para la Solución Automatizada ..... 77

3.2.4.2. Desarrollo del software para la Solución Automatizada ..... 82

3.2.4.3. Diseño de interfaz para la Solución Automatizada ..... 103

3.2.5. Prueba de integración. .... 109

3.2.5.1. Procedimiento para el Tratamiento Térmico ..... 109

3.2.5.2. Toma de Datos con el PLC..... 110

CAPÍTULO IV..... 111

RESULTADOS..... 111

4.1. RESULTADOS DE LA TOMA DE DATOS CON LA SOLUCIÓN AUTOMATIZADA..... 111

CAPÍTULO V..... 118

DISCUSIÓN ..... 118

5.1. DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS ..... 119

GLOSARIO ..... 120



CONCLUSIONES .....	122
RECOMENDACIONES .....	123
REFERENCIAS .....	124
ANEXOS .....	128
BIBLIOGRAFÍA .....	164



**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura N°0.1: Fundamento de turbina hidráulica. .... 19

Figura N°0.2: Circulación de Agua en turbinas de Acción. .... 20

Figura N° 0.3: Esquema de un Salto Hidráulico. .... 20

Figura N° 0.4: Partes principales de una Turbina Pelton. .... 21

Figura N° 0.5: Rodete de Turbina Pelton..... 21

Figura N° 0.6: Circulación de Agua - turbinas de Reacción. .... 22

Figura N° 0.7: Componentes Principales de Turbina Francis. .... 23

Figura N° 0.8: Control Dimensional. .... 24

Figura N° 9: Prueba de rayos X. .... 25

Figura N° 10: Ubicación de porosidad de las pruebas..... 25

Figura N° 11: Prueba de ultra sonido. .... 26

Figura N° 12: Soldadura de áreas delgadas..... 26

Figura N° 13: Proceso de esmerilado de cucharas. .... 27

Figura N° 14: Horno de calentamiento por gas..... 30

Figura N° 15: Estructura de una termocupla. .... 31

Figura N° 16: Partes de una Termocupla. .... 32

Figura N° 17: Ordenador Raspberry Pi 2 Modelo B..... 36

Figura N° 18: Interfaz principal de Raspbian. .... 37

Figura N° 19: Relación de Maestro - Esclavo..... 42

Figura N° 20: Niveles de una red industrial. .... 45

Figura N° 21: Elementos del SoMachine central. .... 51

Figura N° 22: Tipos de Señal Eléctrica..... 55

Figura N° 23: Configuración de lectura de datos. .... 64

Figura N° 24: Modbus Poll. .... 64

Figura N° 25: Configuración de la comunicación serial RS232..... 65

Figura N° 26: Configuración para adquisición de datos en Excel. .... 65

Figura N° 27: Registro de Datos en Excel. .... 66

Figura N° 28: Toma de datos con el pirómetro. .... 66

Figura N° 29: Medición de temperatura con el pirómetro SKF..... 67

Figura N° 30: Toma de datos del controlador. .... 67

Figura N° 31: Componentes del Horno de EGEMSA..... 78

Figura N° 32: Componentes eléctricos (izquierda), distribución de la alimentación eléctrica a las resistencias (derecha). .... 78

Figura N° 33: Dimensiones internas del horno de tratamiento..... 79

Figura N° 34: Especificaciones de Horno de Tratamiento Térmico de..... 79

Figura N° 35: Control de resistencias time low – time high..... 86

Figura N° 36: Dirección IP del PLC. .... 91

Figura N° 37: Dirección IP del maestro. .... 92

Figura N° 38: Conexión ethernet entre PLC y Raspberry. .... 92

Figura N° 39: Código para importar librería Modbus. .... 92



Figura N° 40: Módulo para gestionar la comunicación ..... 93  
 Figura N° 41: Módulo de lectura de datos Modbus (véase anexo J) ..... 93  
 Figura N° 42: Comunicación correcta maestro ..... 94  
 Figura N° 43: Comunicación incorrecta ..... 94  
 Figura N° 44: Sistema de Automatización. .... 101  
 Figura N° 45: Instalación del Tkinter. .... 103  
 Figura N° 46: Importación de librería tkinter. .... 104  
 Figura N° 47: Instalación del Pymodbus..... 104  
 Figura N° 48: Instalación de librería pandas..... 104  
 Figura N° 49: Importación de librería pandas. .... 104  
 Figura N° 50: Instalación de Matplotlib. .... 105  
 Figura N° 51: Importación de la librería Matplotlib. .... 105  
 Figura N° 52: Método del gestor de geometría grid. .... 105  
 Figura N° 53: Interfaz Completa de la Pantalla Principal. .... 106  
 Figura N° 54: Área de Visualización de Datos obtenidos en tiempo real. .... 107  
 Figura N° 55: Área de Gráfica de Datos. .... 107  
 Figura N° 56: Estados del Segmento de Tratamiento Térmico. .... 108  
 Figura N° 57: Visualización de Conexión PLC - Raspberry Pi 2. .... 109  
 Figura N° 58: Botón Guardar registro de ..... 109  
 Figura N° 59: Posición de los sensores en el rodete. .... 110

**ÍNDICE DE DIAGRAMAS**

Diagrama N° 1: Tipos de Termocupla y relación con mV-°C. .... 31  
 Diagrama N° 2: Simulación de Proceso de Automatización. .... 33  
 Diagrama N° 3: Arquitectura del PLC..... 39  
 Diagrama N° 4: Interacción entre PLC y Dispositivos externos. .... 40  
 Diagrama N° 5: MODELO TCP/IP..... 41  
 Diagrama N° 6: Modelo cliente/servidor. .... 43  
 Diagrama N° 7: Establecimiento de conexión Modbus TCP/IP..... 43  
 Diagrama N° 8: Diagrama de bloques de SSEE..... 47  
 Diagrama N° 9: Función de Bloques. .... 52  
 Diagrama N° 10: Combinación de Contactos. .... 53  
 Diagrama N° 11: Procesos Secuenciales..... 53  
 Diagrama N° 12: Ejemplo de señal PWM..... 56  
 Diagrama N° 13: Circuito Eléctrico del Horno de Tratamiento Térmico.. .... 62  
 Diagrama N° 14: Circuito Eléctrico del Horno de Tratamiento Térmico.. .... 76  
 Diagrama N° 15: Controlador Lógico Programable. .... 83  
 Diagrama N° 16: Programa Principal en PLC..... 84  
 Diagrama N° 17: Curva de Tratamiento Térmico..... 86  
 Diagrama N° 18: Diagrama del sistema propuesto..... 87  
 Diagrama N° 19: Evolución de la temperatura dentro del horno..... 87



Diagrama N° 20: Tabla de ajuste de parámetros..... 88

Diagrama N° 21: Control PID y PWM..... 89

Diagrama N° 22: Control de Temperaturas y alarmas. .... 90

Diagrama N° 23: Lectura y Almacenamiento de datos. .... 95

Diagrama N° 24: Verificación de Alarma. .... 96

Diagrama N° 25: Caso de Uso Base de Solución Automatizada. .... 97

Diagrama N° 26: Programa Principal. .... 97

Diagrama N° 27: Creación de interfaz gráfica Tkinter..... 98

Diagrama N° 28: Configuración de la ..... 98

Diagrama N° 29: Creación de archivo Excel. .... 99

Diagrama N° 30: Comunicación Modbus TCP/IP ..... 99

Diagrama N° 31: Lectura Modbus. .... 100

Diagrama N° 32: Guardar datos..... 100

Diagrama N° 33: Alarma y visualización de datos. .... 101

Diagrama N° 34: Conexión y Recepción de Datos de Termocuplas..... 102

Diagrama N° 35: Verificación de protocolo de comunicación Modbus..... 103

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1: Velocidad de ascenso..... 54

Ecuación 2: Ecuación de PID, Ke: constante ..... 55

Ecuación 3: PWM. .... 56

Ecuación 4: Ecuación del PID. .... 87

Ecuación 5: Función de Transferencia. .... 87

Ecuación 6: Cálculo de parámetros PID..... 88

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Tipos de Termocuplas. .... 33

Tabla 2: Comparación de temperaturas. .... 67

Tabla 3: Inicio del segmento de precalentamiento. .... 68

Tabla 4: Fin de segmento de precalentamiento..... 68

Tabla 5: Inicio de segmento de Calentamiento..... 69

Tabla 6: Fin de segmento de Calentamiento. .... 69

Tabla 7: Inicio de segmento de Mantenimiento. .... 70

Tabla 8: Fin de segmento de Mantenimiento. .... 70

Tabla 9: Fin de segmento de Enfriamiento..... 71

Tabla 10: Fin de segmento de Enfriamiento. .... 71

Tabla 11: Inicio del Segmento de Precalentamiento..... 112

Tabla 12: Fin del Segmento de Precalentamiento..... 112

Tabla 13: Inicio del Segmento de Calentamiento. .... 113

Tabla 14: Fin del Segmento de Calentamiento..... 113



Tabla 15: Inicio del Segmento de Mantenimiento.....	114
Tabla 16: Fin del Segmento de Mantenimiento.....	114
Tabla 17: Inicio del Segmento de Enfriamiento.....	115
Tabla 18: Fin del Segmento de Mantenimiento.....	115

### ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica N° 1: Curva de Tratamiento Térmico generado por el controlador Jumo. 72	
Gráfica N° 2: Curva del tratamiento térmico completa.....	110
Gráfica N° 3: Segmento de Precalentamiento.....	116
Gráfica N° 4: Segmento de Calentamiento.....	116
Gráfica N° 5: Segmento de Mantenimiento.....	117
Gráfica N° 6: Segmento de Enfriamiento.....	117



## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad el Área de Mantenimiento de la empresa EGEMSA, realiza el proceso de reconstrucción de áreas de desgaste de las paletas en turbinas Pelton y Francis cada 8 meses aproximadamente, esto debido al desgaste generado por sedimentos encontrados en las aguas del río Vilcanota, durante las épocas de lluvia y en verano. Para la reconstrucción se emplea soldadura especial inox basado en electrodos de la misma composición de las turbinas: cromo 13%, níquel 4% y composición del acero en 83%.

En el proceso de soldadura es a temperaturas altas, la parte afectada de la turbina logra un templado en corto tiempo, debido al cambio brusco de temperatura lo que altera las propiedades del acero como la dureza; luego se coloca la turbina al horno para el tratamiento térmico, y así lograr que las partes soldadas como las no soldadas disminuyan su fragilidad y cambien su resistencia mecánica.

El proceso de tratamiento térmico requiere de una solución automatizada para el control de temperatura, ya que los sensores internos o termocuplas del horno registran temperaturas continuas para que el tratamiento sea parejo, ya que la turbina presenta diferentes dimensiones en su diseño.

El sistema actual no cuenta con una interfaz gráfica para visualizar la curva de tratamiento térmico en tiempo real, sólo presenta un lector digital de temperatura; que no está diseñado para guardar los datos de temperatura mostrados.

La labor que hace el operador es de monitorear las lecturas de datos, para saber si las temperaturas presentan diferencias mayores a los parámetros, de ser así tiene que apagar las resistencias.

Estas limitantes se requieren solucionar mediante la implementación de un nuevo controlador, para el nuevo horno que la empresa planea construir y dar mantenimiento a su nueva turbina Francis de mayores dimensiones.



Este trabajo de mantenimiento se realiza en el taller central de EGEMSA, cuyos rodetes son transportados desde la Central Hidroeléctrica de Machupicchu hasta el taller central en la ciudad del Cusco.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1. Formulación del Problema General

¿Cómo se solucionará el proceso de tratamiento térmico de turbinas Pelton y Francis mediante la solución automatizada utilizando hardware y software libre?

### 1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos

Dentro de esta formulación también están los problemas específicos los cuales son:

- ¿Qué beneficios se obtendrán con la automatización del control de temperatura del horno durante el tratamiento térmico?
- ¿Cómo se disminuirá el margen de error con la solución automatizada del control de temperatura?
- ¿Qué facilidad habrá en el análisis de los datos del tratamiento térmico?

## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1. Objetivo General

Mejorar el control de la temperatura del horno de tratamiento térmico para el mantenimiento de las turbinas Pelton y Francis mediante la solución automatizada utilizando software y hardware libre.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Visualizar la curva de tratamiento térmico y la medición de temperaturas en tiempo real.
- Reducir el margen de error en la toma de los datos y curva de tratamiento térmico mediante un controlador.
- Facilitar el análisis de los datos.





#### 1.4. HIPÓTESIS

La aplicación del sistema automatizado propuesto solucionará el control de la temperatura del horno de tratamiento térmico.

#### 1.5. JUSTIFICACIÓN

La generación de electricidad en una central hidroeléctrica, tiene como principal protagonista a la turbina hidráulica, que realiza un trabajo continuo de las 24 horas del día y de acuerdo a la demanda de generación de energía, como también al nivel de caudal de agua de los ríos. El rodete como pieza fundamental de la turbina está expuesta a diferentes agentes como sedimentos, arena, minerales, sales y otros que ayudan al desgaste, picaduras, fisuras y otros problemas. Por estos motivos es que el proceso de mantenimiento de los rodetes de turbinas se realiza cada cierto tiempo (cada 8 meses aproximadamente); previo a evaluaciones se determina que debe ser sometido a un mantenimiento.

El proceso de mantenimiento de rodetes incluye controles dimensionales de las cucharas o alabes, soldaduras, esmerilados, rayos x, prueba de líquidos penetrantes, maquinados en torno y esmerilados. Pero todos estos trabajos conllevan a la alteración de tensiones internas del rodete, para eliminar dichas tensiones es que se realiza el tratamiento térmico a temperaturas establecidas y en rangos de tiempo controlados. Siendo de suma importancia la automatización del control de temperaturas del tratamiento térmico, control de encendido de resistencias eléctricas, control de la velocidad de ascenso en el segmento de pre calentamiento y calentamiento. Por lo que es de necesidad el uso de equipos programables conectado a una interfaz de usuario (operador) que sea amigable, que permita observar en tiempo real la gráfica de la curva de tratamiento y los valores medidos por las sondas o termocuplas desde diferentes puntos del rodete.

De lo antes mencionado, nos permite indicar algunos puntos claves en la justificación de la investigación realizada los cuales son:

- Se requiere una interfaz amigable con el usuario, para monitorizar las temperaturas medidas por las termocuplas de los diferentes puntos del

rodete; así como poder recabar los datos durante el tratamiento térmico al final del proceso.

- Durante la medición de temperaturas se generan errores los que no permiten tener una curva de tratamiento térmico uniforme.
- La necesidad de observar la medición de temperaturas en tiempo real. Así como poder guardar los datos para su análisis posterior.

Para cumplir con los requerimientos mencionados, se optó por el uso de herramientas como: Raspberry Pi 2 (ordenador de placa reducida o placa única de bajo coste), PLC (controlador lógico programable para uso industrial), ambos equipos estarán conectados para el procesamiento de la información emitida por sensores de temperatura o termocuplas del horno durante el proceso de tratamiento térmico. Este control automatizado está diseñado en base al controlador actual de la marca Jumo, pero mejorando ciertas limitantes, puesto que la empresa EGEMSA tiene como proyecto futuro adicionar un nuevo horno de tratamiento; que para dicho funcionamiento se requerirá un control automatizado en el tratamiento de turbinas de mayores dimensiones que el actual.

## 1.6. DELIMITACIÓN

Dentro de las actividades de mantenimiento de equipos hidráulicos de la Central Hidroeléctrica Machupicchu, está la reparación de los rodetes.

EGEMSA realiza la totalidad de las actividades de mantenimiento especializadas de los rodetes Pelton y Francis, desde el proceso de soldadura, esmerilado y controles no destructivos como la detección de defectos con ultrasonido, Rayos X, tratamiento térmico etc. hasta la culminación del trabajo.

El presente proyecto de tesis está delimitado en uno de los procesos de mantenimiento de equipos hidráulicos que es el “TRATAMIENTO TERMICO”.

## 1.7. METODOLOGÍA

Se utilizó el proceso de investigación y desarrollo. La investigación y el desarrollo experimental (I+D) comprenden el trabajo creativo llevado a cabo



de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones.

Esta metodología engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental.

- Investigación básica: consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.
- Investigación aplicada: consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.
- Desarrollo experimental: consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los ya existentes.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

##### 2.1.1. Turbinas Hidráulicas

Una máquina hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica (puede ser motriz (turbinas), o generatriz (bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa. En el estudio de las turbomáquinas hidráulicas no se tienen en cuenta efectos de tipo térmico, aunque a veces habrá necesidad de recurrir a determinados conceptos termodinámicos; todos los fenómenos que se estudian serán en régimen permanente, caracterizados por una velocidad de rotación de la máquina y un caudal.

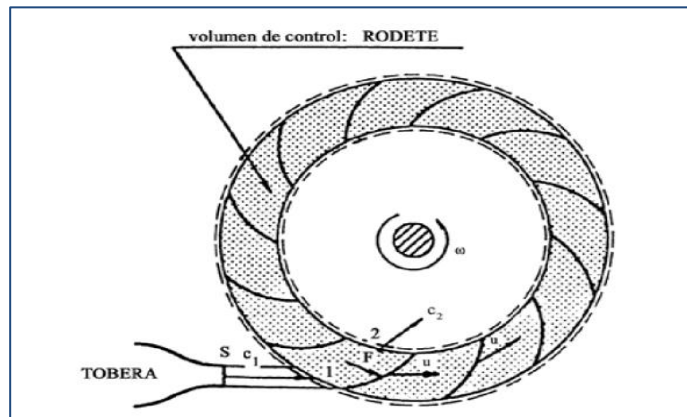


Figura N°0.1: Fundamento de turbina hidráulica.

Fuente: Máquinas hidráulicas.

“El agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira alrededor de su eje de simetría; este mecanismo lleva una o varias ruedas (rodetes o rotores), provistas de álabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales, por los que circula el agua. (...) La turbina hidráulica tiene una serie de álabes fijos (distribuidor), y otra de álabes móviles (rueda-rodete-rotor) lo que constituyen una célula. (SANCHEZ, 2012, pág. 15).

### 2.1.1.1. Clasificación De Turbinas

#### - Turbinas De Acción

El agua sale del distribuidor a la presión atmosférica, y llega al rodete con la misma presión; en estas turbinas, toda la energía potencial del salto se transmite al rodete en forma de energía cinética.

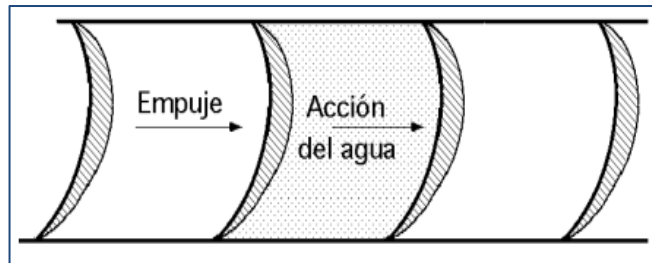


Figura N°0.2: Circulación de Agua en turbinas de Acción.  
Fuente: Turbinas hidráulicas.

- **Turbina Pelton:** La turbina de chorro libre fue inventada alrededor de 1880 por Lester Pelton, quien después le dio su nombre. Son máquinas robustas y simples, capaces de un buen rendimiento. El principio de la turbina Pelton es convertir la energía cinética (movimiento) del chorro de agua en velocidad de rotación de la rueda o rotor. A fin de que se haga la máxima eficiencia el agua debe abandonar las cucharas con una pequeña cantidad de energía cinética remanente.

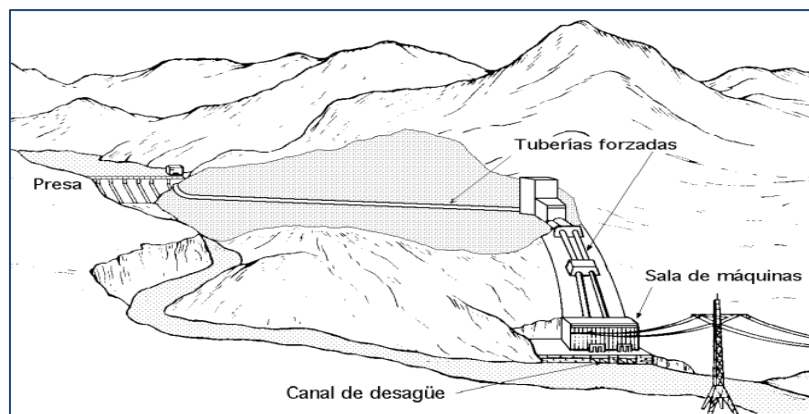


Figura N° 0.3: Esquema de un Salto Hidráulico.  
Fuente: Turbinas hidráulicas.

Las turbinas Pelton tienen la capacidad de operar con grandes alturas, lo que resulta dificultoso con turbinas Kaplan o Francis por

la aparición de la cavitación a causa de diseño de la cámara espiral. Típicamente se usan en aplicaciones medias y grandes con saltos hidráulicos a partir de 90m. En aplicaciones pequeñas y muy pequeñas se emplean con saltos menores. Los componentes de la turbina Pelton: distribuidor, rodete, carcasa, cámara de descarga y eje.

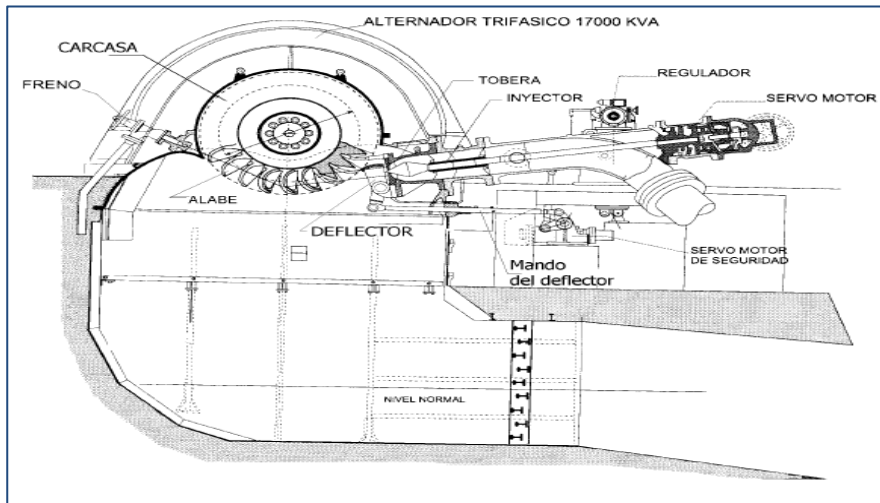


Figura N° 0.4: Partes principales de una Turbina Pelton.

Fuente: Turbomáquinas-Turbinas Hidráulicas.

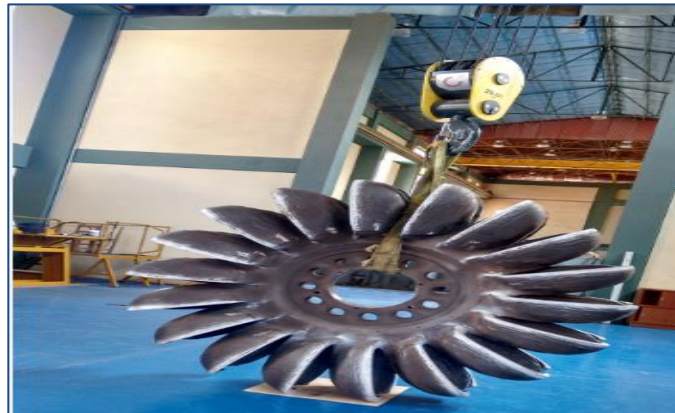


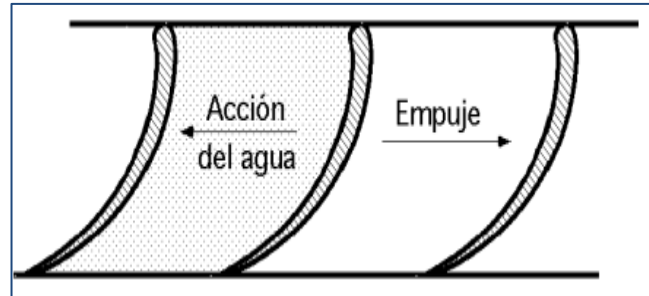
Figura N° 0.5: Rodete de Turbina Pelton.

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.1.1.1.2. Turbinas De Reacción

El agua sale del distribuidor con una cierta presión que va disminuyendo a medida que el agua atraviesa los álabes del rodete, de forma que, a la salida, la presión puede ser nula o incluso

negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete y, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión.



*Figura N° 0.6: Circulación de Agua - turbinas de Reacción.  
Fuente: Turbinas Hidráulicas.*

#### - **Turbina Francis:**

Fue desarrollada por James B. Francis en 1849. Son turbinas hidráulicas que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los diez metros hasta varios cientos de metros. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más ampliamente usado en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas.

La turbina utiliza en saltos variables, desde 0,5 m hasta 180 m; pueden ser, lentas, normales, rápidas y extra rápidas. Los componentes de la turbina Francis: tubería forzada, cámara espiral, distribuidor, rodete, tubo de aspiración, eje, equipo de sellado del eje de turbina, cojinete guía de turbina, cojinete de empuje.

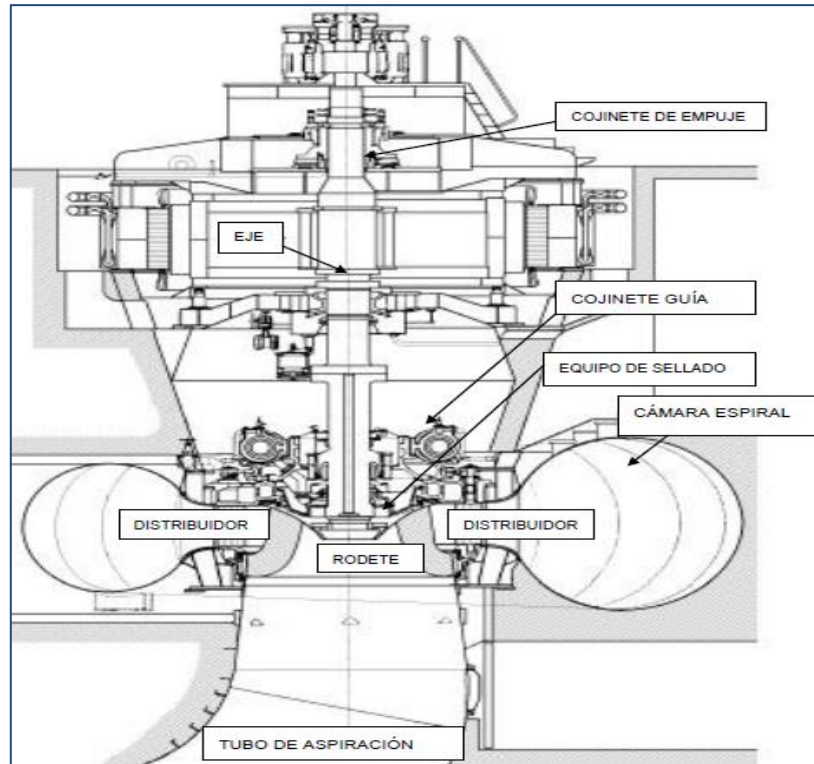


Figura N° 0.7: Componentes Principales de Turbina Francis.  
Fuente: Rodete de Turbina Francis.

### 2.1.1.2. Proceso De Mantenimiento De Turbinas

El tratamiento térmico, en general, son operaciones de calentamiento y enfriamiento de los metales o aleaciones, a temperaturas y velocidades variables, mediante los cuales se persigue fundamentalmente, conseguir cambios en la estructura cristalina, cambio de fases, bien en su número o proporción, o distribución, permaneciendo su naturaleza, es decir, su composición química inalterable.

Los tratamientos térmicos fundamentales como son el recocido, temple y revenido, adquieren al ser aplicados a los aceros, una gran variedad de matices lo que permite obtener el máximo rendimiento en función de su aplicación al acero. Se conoce como tratamiento térmico al conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad, presión, de los metales o las aleaciones en estado sólido,



con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad.

Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono. También se aplican tratamientos térmicos diversos a los cerámicos.

El deterioro de rodets hidráulicos es un problema en el proceso de generación de energía eléctrica ya que causa reducciones en la eficiencia. Los fenómenos determinantes en el deterioro de los rodets son el desgaste por erosión, desgaste por cavitación y fatiga.

Una vez el rodete se encuentra suficientemente deteriorado, se realiza la reparación mediante la reconstrucción de los perfiles hidráulicos por medio de soldadura. Sin embargo, como los rodets son altamente exigidos durante su funcionamiento, es necesario que después de la reparación la microestructura del material recupere en lo posible las condiciones y propiedades originales.

Pasos a seguir en la realización de mantenimiento del rodete de turbina hidráulica:

- **Control dimensional:** control para determinar áreas donde falta soldadura, se hace uso de las plantillas de soldadura.



*Figura N° 0.8:* Control Dimensional.

*Fuente:* Elaboración propia.

- **Pruebas de rayos x:** permite determinar la profundidad de la porosidad en cada cuchara, para el posterior marcado.



*Figura N° 9:* Prueba de rayos X.  
*Fuente:* Elaboración propia.

- **Prueba de líquidos penetrantes:** la aplicación de pintura especial en cada una de las cucharas permite determinar la porosidad, si hay existencia la pintura cambia de color en el poro.



*Figura N° 10:* Ubicación de porosidad de las pruebas.  
*Fuente:* Elaboración propia.

- **Prueba de ultrasonido:** el sonido y las ondas registradas permiten detectar la porosidad.



Figura N° 11: Prueba de ultra sonido.

Fuente: Elaboración propia.

- **Proceso de soldadura faltante:** se aplica a las partes que se determinaron previamente.



Figura N° 12: Soldadura de áreas delgadas.

Fuente: Elaboración propia.

- **Tratamiento térmico:** para eliminar las tensiones internas del rodete. Se realiza en un horno eléctrico, dotado de un sistema de control automático. La velocidad de calentamiento y enfriamiento, deben ser lo suficientemente lentas para no generar deformaciones o dilataciones dañinas.
- **Ubicación de las sondas o sensores de temperatura:** en la llanta parta más gruesa, en la parte posterior de la cuchara, espesor intermedio y en la cuchara parte más delgada.

- **Maquinado en el torno:** dar forma precisa y exacta a las siguientes dimensiones como el diámetro exterior del rodete, diámetro de las puntas del rodete, ancho y perfil de la embocadura, determinar el ángulo de inclinación del plano de las cucharas con respecto al eje central.  
Las exactitudes de estas dimensiones son muy importantes porque son la base para ubicar las demás dimensiones.
- **Proceso de esmerilado:** consiste en los siguientes pasos: plantillar el perfil de las cucharas, esmerilar el fondo de las cucharas haciendo uso de las plantillas, esmerilar la parte externa de las cucharas haciendo uso de las plantillas, esmerilar la zona de la embocadura y esmerilar el fondo o cuello de las cucharas.



Figura N° 13: Proceso de esmerilado de cucharas.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.1.3. Fenómenos De Deterioro En Turbinas

- **Cavitación:** Es la formación de vacíos dentro de un cuerpo de movimiento líquido (o alrededor de un cuerpo moviéndose dentro del líquido), cuando la presión local es menor que la presión de vapor y las partículas del líquido tienden a adherirse a los bordes de la trayectoria de paso del líquido. La cavitación se asocia a tres condiciones, alta velocidad de flujo, bajas presiones y cambios



abruptos en la dirección del flujo. La cavitación causa erosión de las superficies de los cuerpos sometidos a presión de vacío.

Este tipo de desgaste se produce por la presencia de flujos turbulentos que originan la formación de burbujas de aire o bolsas de vapor, los que al encontrarse entre ellas en forma rápida y continua producen presiones del orden de 30 000 a 50 000 psi, lo que origina el desgaste del material por arranque y se manifiesta en la formación de irregularidades de la superficie de la cuchara.

- **Corrosión:** Este desgaste se presenta por reacción química o electroquímica de las superficies con el medio que los rodea.
- **Erosión:** El agua acarrea sólidos en suspensión y éstos al chocar violentamente contra las cucharas y bajo distintos ángulos, erosiona las superficies lisas produciendo un desgaste de las cucharas, generando irregularidades, las que distorsionan el flujo en turbulencias y causan desgastes por cavitación en forma acelerada.

#### 2.1.1.4. Tipos De Mantenimiento De Turbinas

- **Procedimiento de diagnóstico de rodetes de turbinas:** tiene como objetivo el realizar un diagnóstico inicial del estado del rodete, observando la existencia de discontinuidades, defectos y el grado de desgaste con lo cual se determina el tipo de mantenimiento que necesita. Se debe realizar a todos los rodetes Pelton, que lleguen al Taller Central, antes de realizar la reparación respectiva.
- **Procedimiento de reparación parcial de rodetes de turbinas:** Su objetivo es realizar la reparación parcial de los rodetes que los necesite en forma minuciosa. Es aplicado a los rodetes que después de un periodo de funcionamiento presentan desgastes en las superficies interiores de las cucharas, producto de la abrasión del agua erosiva del río Vilcanota.



- **Procedimiento de reparación integral de rodetes de turbinas:** se realiza la reparación integral de los rodetes que lo necesiten en forma minuciosa con todos los requisitos y procedimientos que necesiten en forma adecuada. Que después de un periodo de funcionamiento presentan desgastes en las superficies interiores de las cucharas, producto de la abrasión del agua erosiva del río.
- **Procedimiento de repotenciamiento de rodetes de turbinas:** Cuyo objetivo es realizar la repotenciación de los rodetes con todos los procedimientos de control en forma minuciosa. Se aplica a los rodetes que requieran de la repotenciación.
- **Procedimiento de controles finales de rodetes de turbinas:** se realiza un control minucioso utilizando todas las pruebas y procedimientos del rodete reparado o repotenciado con el fin de tener un producto de alta calidad. Se debe realizar a todos los rodetes al concluir totalmente la reparación realizada. (véase Anexo I).

## 2.1.2. Control Térmico

### 2.1.2.1. Horno De Tratamiento Térmico

Los hornos para hacer tratamientos térmicos, son cajas metálicas que en su interior van recubiertas de material refractario para evitar pérdidas de calor, y optimizar el calentamiento de las piezas a la temperatura requerida. Los hornos utilizados en la industria son:

- **Horno de calentamiento por gas:**

El material se coloca en una cámara separada de la combustión, donde la combustión del gas está dentro de tubo de calor radiante, proyectados por la cámara de calentamiento. El calentamiento por gas tiene como ventaja la economía y como desventaja la dificultad de control de la temperatura. La temperatura alcanzada por el horno suele llegar a 1400 °C y el control de la atmósfera es muy

difícil, por ello se emplea poco este proceso de calentamiento para tratamientos térmicos.

El horno de calentamiento por gas está diseñado para realizar tratamientos térmicos de piezas metálicas de menores volúmenes.

- **Horno de calentamiento por resistencia eléctrica:**

Son equipos que operan a temperatura superior a la ambiental y que calientan piezas en su interior por acción directa o indirecta del flujo eléctrico, es decir, del movimiento de electrones en el seno de un material. La principal ventaja de este tipo de horno frente a los hornos de gas es el mayor rendimiento energético que se consigue en los eléctricos, ya que la electricidad es una forma de energía de alta calidad. Los hornos eléctricos tienen aplicación en muchos procesos industriales, siendo en muchos casos una opción alternativa al horno de combustión.



*Figura N° 14:* Horno de calentamiento por gas.  
*Fuente:* Tratamientos térmicos de los Aceros.

### 2.1.2.2. Termocupla

La termocupla es el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una Termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura.

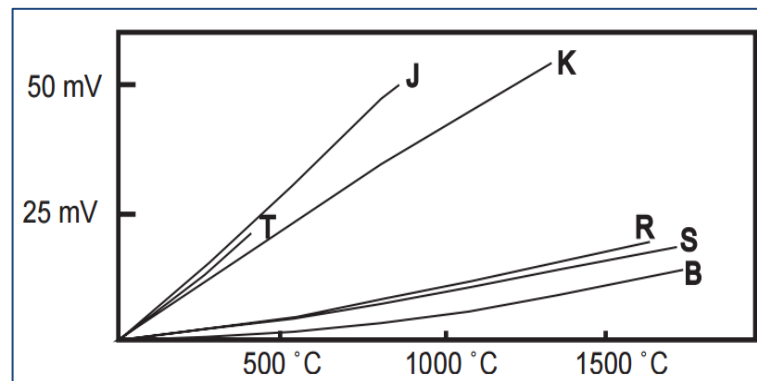


Diagrama N° 1: Tipos de Termocupla y relación con mV-°C.  
Fuente: Termocuplas y funcionamiento.

Una termocupla es un transductor de temperatura, es decir, un dispositivo que traduce una magnitud física en una señal eléctrica. Está compuesta por dos alambres de metales diferentes, los que unidos convenientemente generan entre sus extremos libres una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperatura entre ellos.

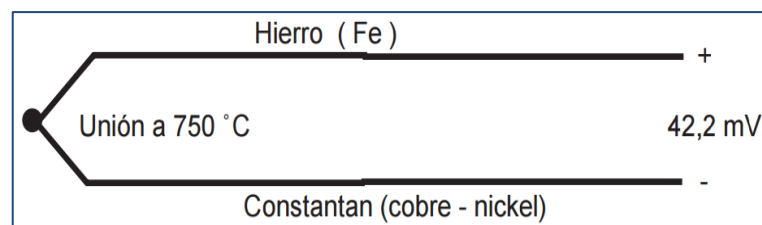


Figura N° 15: Estructura de una termocupla.  
Fuente: Termocuplas y su funcionamiento.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un



extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

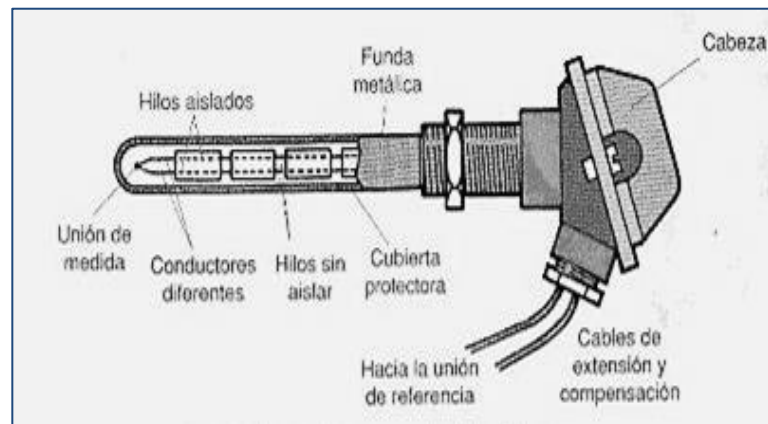


Figura N° 16: Partes de una Termocupla.  
Fuente: Termocuplas y su funcionamiento.

### Tipos de Termocupla

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, en la tabla aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J o del tipo K.

- **Las termocuplas tipo J** se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio).
- **La termocupla K** se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo, fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.
- **Las termocuplas R, S, B** se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero). Finalmente, los tipos T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100.

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814

Tabla 1: Tipos de Termocuplas.  
Fuente: Termocuplas y su funcionamiento.

### 2.1.3. Solución Automatizada

“Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos” (RUEDAS, Automatización Industrial: Áreas de Aplicación para Ingeniería, 2008, pág. 5). La historia de la automatización comienza con la introducción de las máquinas (mecanización) para producir grandes cantidades, subdividiendo el trabajo en tareas más pequeñas y sencillas.

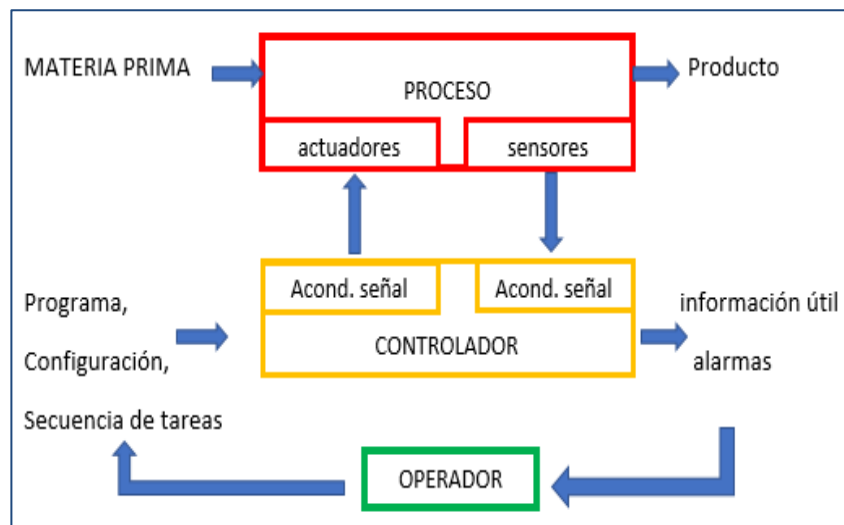


Diagrama N° 2: Simulación de Proceso de Automatización.  
Fuente: Automatización y robótica.

Las primeras máquinas simples sustituían una forma de esfuerzo en otra forma que fueran manejadas por el ser humano, tal como levantar un peso pesado con sistema de poleas o con una palanca. Posteriormente las máquinas fueron capaces de sustituir formas naturales de energía renovable, tales como el viento, mareas, o flujo de agua por energía humana.

#### 2.2.3.1. Partes de la Automatización

- **Parte Operativa:** Es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada.
- **Parte de Mando:** Suele ser un autómata programable, está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

#### 2.2.3.2. Clases de Automatización

- **Automatización Fija:** se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, por tanto, se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto con rendimiento alto y tasa de producción elevadas.
- **Automatización Programable:** se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener.
- **Automatización Flexible:** es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas poseen características de la automatización fija y de la automatización programada. Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.



### 2.2.3.3. Objetivos de la Automatización

- Mejorar la productividad de la empresa.
- Incrementar competitividad de la empresa.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal.
- Reducir la mano de obra.
- Simplificar el mantenimiento.
- Simplificar el trabajo.
- Mayor eficiencia.
- Mayor Calidad.

### 2.2.3.4. Beneficios de la Automatización

- **Modernización y Avance Tecnológico:** implementar sistemas de automatización implica adquirir equipos y elementos de instrumentación y control industrial que ponen a una empresa en un mejor nivel tecnológico.
- **Agilidad en la Toma de Decisiones Oportunas:** teniendo un sistema confiable se puede tener información en tiempo real del proceso y tomar decisiones al instante que mejoren y agilicen la producción, previniendo posibles situaciones anómalas o en el peor de los casos parar el proceso.
- **Reducción Y Simplificación de las Tareas:** el alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos, ya que en los procesos intervienen los operadores, mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del personal. Simplificando el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- **Disminución de Tiempos de Indisponibilidad:** debido a la autonomía del proceso, se minimizan pérdidas de tiempos que afectan la producción, por fallas humanas.

- **Competitividad:** la automatización lleva a las empresas a un alto estándar de competitividad y eficiencia, preparándose así para la globalización.

#### 2.2.4. Raspberry Pi 2

Raspberry Pi Foundation fue creada en 2009, la Fundación diseñó un ordenador muy asequible que estimulase la enseñanza de informática básica. Eben Upton, diseñador de sistemas integrados, disponía de los conocimientos y los contactos necesarios para desarrollar una solución. Un ordenador del tamaño de una tarjeta de crédito, la Raspberry Pi adopta la forma de una PCB (circuito impreso) del tamaño de una tarjeta de crédito, utiliza SoC de Broadcom.

El ordenador se encuentra disponible en dos versiones: el Modelo A tiene un solo puerto USB, mientras que el Modelo B cuenta con dos puertos USB y Ethernet. Todo lo que se necesita para empezar a trabajar con la Raspberry Pi es un teclado y un ratón USB, una fuente de alimentación, una tarjeta SD para el sistema operativo y un monitor o un televisor que sirvan de pantalla. Su reducido tamaño la hace ideal para llevar de casa a la escuela. Utilizando una tarjeta SD como medio de almacenamiento, el sistema resulta fácil de actualizar y de reinstalar a través de otro ordenador (ver Anexo C).



Figura N° 17: Ordenador Raspberry Pi 2 Modelo B

Fuente: Elaboración propia.

Las tarjetas se pueden cambiar rápidamente para proporcionar distintos entornos de software. Al proporcionar conectores para una gran variedad de E/S se fomenta la experimentación con el hardware.

#### 2.2.4.1. Raspbian Jessie

“Raspbian Jessie es un sistema operativo libre y gratuito basado en Debian y optimizado para el hardware de la Raspberry Pi. Es el conjunto de programas básicos y utilitarios (programas de soporte), que permiten que la Raspberry haga algo útil. Sin embargo, Raspbian viene con unos 35 mil paquetes, pre compilado, de forma tal que sea fácil instalar el que necesitemos en la Raspberry Pi”. (HOSTING, 2015, pág. 01).

Raspbian está en un desarrollo activo, con énfasis en dar estabilidad y desempeño a los paquetes que originalmente se escribieron y que están en la distribución de Linux, Debian, para poner a disposición pública lo antes posible. El sistema operativo Raspbian no está afiliado de ninguna manera con la Fundación Raspberry Pi (creado por un grupo de desarrolladores con metas educativas de esta computadora), y Raspbian es una comunidad de software fundada y soportada por los propios miembros de forma libre y gratuita.

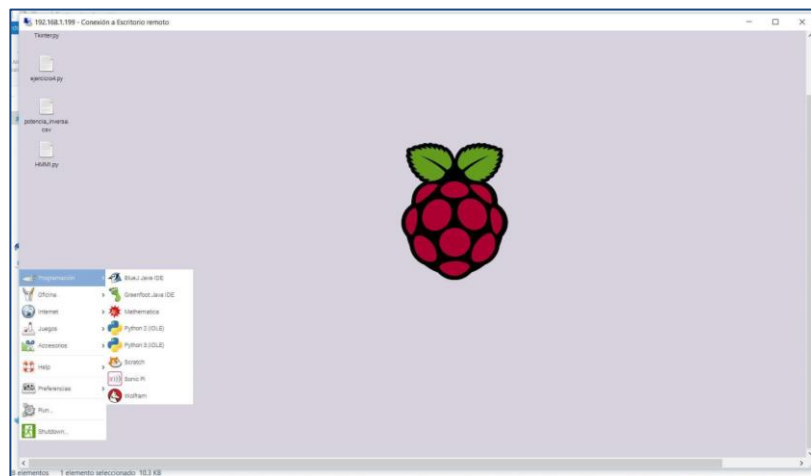


Figura N° 18: Interfaz principal de Raspbian.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2.5. Controlador Lógico Programable – PLC

Según la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos, lo define al PLC (Programmable Logic Controller) como un dispositivo digital electrónico con memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos, ejecutando un programa de forma cíclica, que puede ser interrumpida por tareas prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía que se completa la ejecución del programa principal. (ver Anexo E)

### 2.2.5.1. Funciones del PLC

Las funciones del PLC son:

- Permitir o proteger un proceso industrial, posibilitando las opciones de monitoreo y diagnóstico de condiciones, presentándolo en una pantalla de operación o HMI (Human Machine Interface) o mediante una red de control superior.
- Reaccionar automáticamente en tiempo real ante condiciones variables que está vigilando.

El PLC puede ser parte de un SCADA. Para el proceso de programación de un PLC se requiere cada uno de los siguientes pasos:

- Definición y análisis del problema.
- Definición de la arquitectura del hardware necesario (entradas/salidas, redundancias, auto diagnóstico, etc.).
- Diseño de los algoritmos.
- Programación del código, en los lenguajes de programación.
- Depuración y verificación del programa (pruebas efectivas).

### 2.2.5.2. Ventajas del PLC

- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.

- Mínimo espacio del tablero donde se instala el autómata programable.
- Aumenta la fiabilidad del sistema, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

### 2.2.5.3. Estructura del PLC

La estructura básica de un PLC está compuesta por:

- La CPU.
- Interfaces de entradas
- Interfaces de salidas.

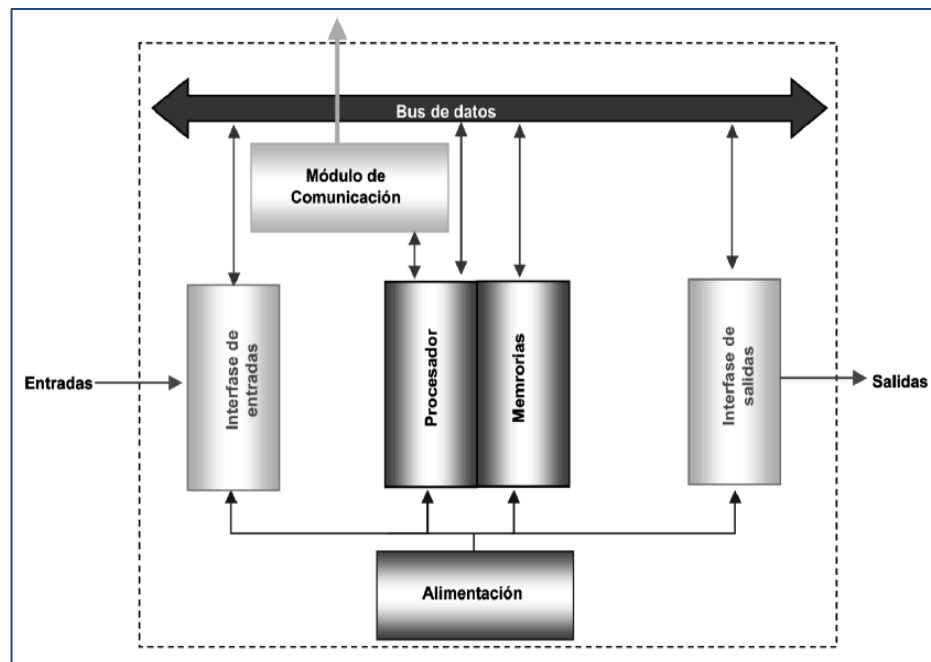


Diagrama N° 3: Arquitectura del PLC.

Fuente: Manual del PLC



Los componentes de la estructura básica del PLC:

- **Procesador:** es el cerebro del PLC, el responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario. Permite administrar la comunicación entre los dispositivos de programación y la memoria, y entre el microprocesador y los bornes de entrada/salida.
- **Memoria:** las memorias son miles de cientos de localizaciones donde la información puede ser almacenada, estas localizaciones están muy bien organizadas. En las memorias el PLC debe ser capaz de almacenar: datos del proceso como señales de entrada/salida, variables internas, de bit y de palabra; como también datos de control, que son instrucciones de usuario, programa y configuración del autómeta.

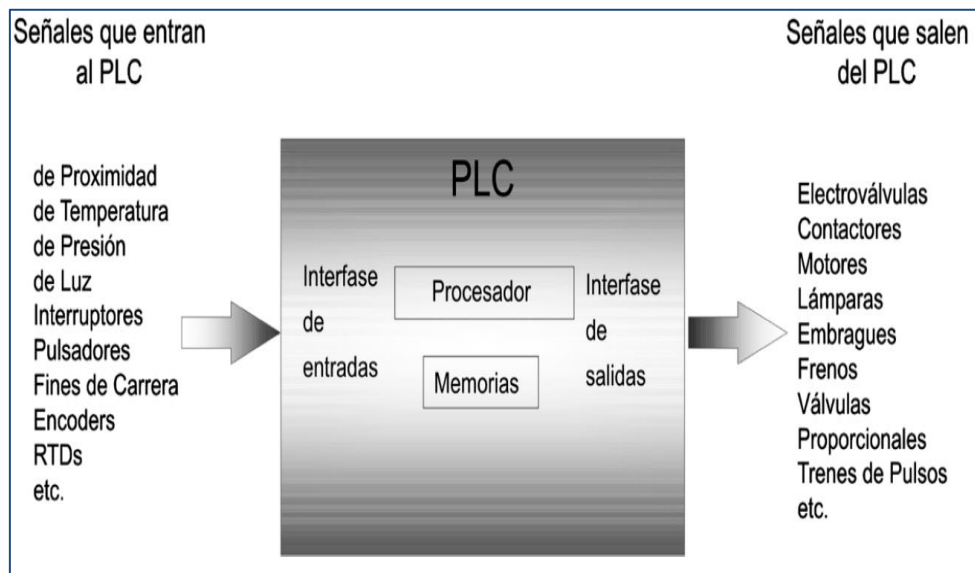


Diagrama N° 4: Interacción entre PLC y Dispositivos externos.  
Fuente: Manual del PLC.

### 2.2.6. Protocolo De Comunicación Modbus TCP/IP

Es uno de los protocolos más veteranos, apareció en 1979 y diseñado por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLC), para hacer la comunicación entre dispositivos de automatización (transmitir y

recibir datos de control entre los controladores y los sensores a través del puerto RS-232 comunicación punto a punto), con un alcance máximo de 350 metros. Pero con el paso del tiempo aparecieron variantes como el Modbus TCP, que permite el encapsulamiento del Modbus serie en tramas Ethernet TCP/IP de forma sencilla.

El protocolo de comunicación está situado en el 3° nivel del Modelo TCP/IP (Capa de Transporte), y basado en la arquitectura maestro/esclavo; estableciendo la transmisión mediante paquetes TPC/IP (puerto del sistema 502).

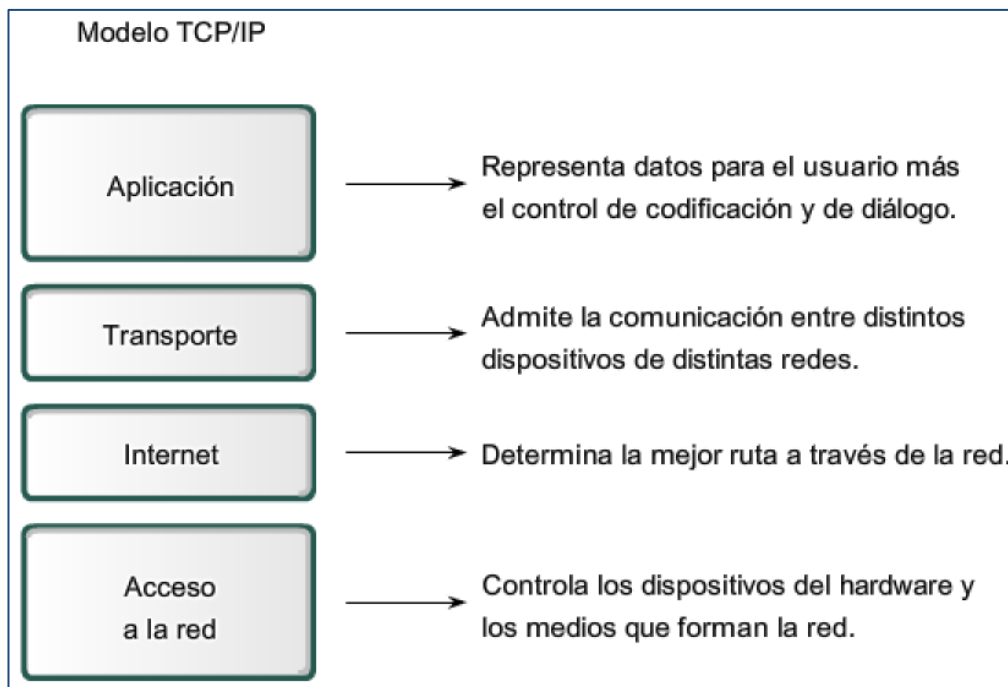


Diagrama N° 5: MODELO TCP/IP.

Fuente: Modelo TCP/IP

El protocolo Modbus TCP/IP simplemente encapsula una trama Modbus en un segmento TCP, que proporciona un servicio orientado a conexión fiable, lo que significa que toda consulta espera una respuesta. Esta técnica de consulta/respuesta encaja perfectamente con la naturaleza Maestro /Esclavo de Modbus, añadido a la ventaja del determinismo que las redes Ethernet conmutadas ofrecen a los usuarios en la industria. El empleo de un protocolo abierto Modbus con TCP proporciona una solución para la gestión desde unos pocos a decenas de miles de nodos.

Actualmente se está impulsando el empleo de MODBUS sobre TC/IP para aprovechar las infraestructuras que se están implantando para internet, y usar protocolos industriales empleando las mismas líneas y empaquetando mensajes MODBUS dentro de los paquetes TCP/IP, de modo que son necesarios unos módulos de encapsulado y desencapsulado para conectar con módulos tradicionales MODBUS.

Modbus es un protocolo de solicitud-respuesta implementado, usa una relación maestro-esclavo. En una relación maestro-esclavo, la comunicación siempre se produce en pares, un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta y el dispositivo de inicio (el maestro) es responsable de iniciar cada interacción. Por lo general, el maestro es una interfaz humano-máquina (HMI) o sistema SCADA y el esclavo es un sensor o controlador lógico programable (PLC). El contenido de estas solicitudes y respuestas, y las capas de la red a través de las cuales se envían estos mensajes, son definidas por las diferentes capas del protocolo.

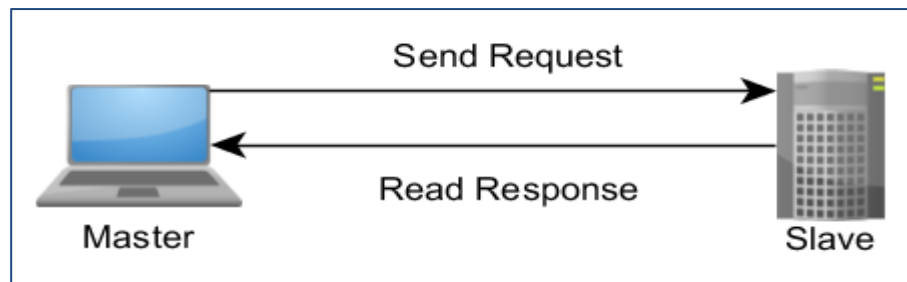


Figura N° 19: Relación de Maestro - Esclavo.  
Fuente: Protocolo Modbus.

### 2.2.6.1. Conexión y Modelo Cliente /Servidor

El servicio de mensajería MODBUS proporciona una comunicación Cliente / Servidor entre dispositivos conectados en una red Ethernet TCP / IP.

Este modelo cliente / servidor se basa en cuatro tipos de mensajes:

**Una solicitud MODBUS** es el mensaje enviado en la red por el cliente para iniciar una transacción.

**Una indicación MODBUS** es el mensaje de solicitud recibida en el lado del servidor,

**Una respuesta MODBUS** es el mensaje de respuesta enviado por el servidor,

**Una confirmación MODBUS** es el mensaje de respuesta recibido en el lado del cliente.

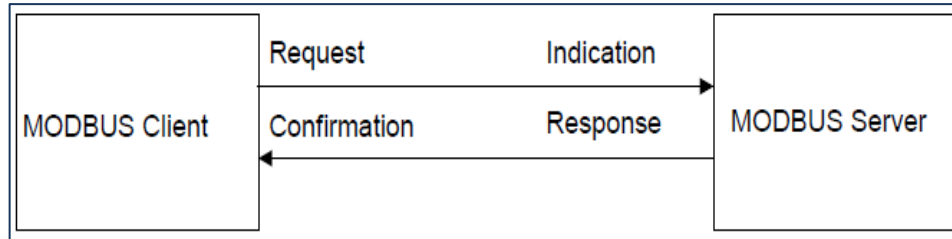


Diagrama N° 6: Modelo cliente/servidor.

Fuente: Modbus Messaging Implementation Guide.

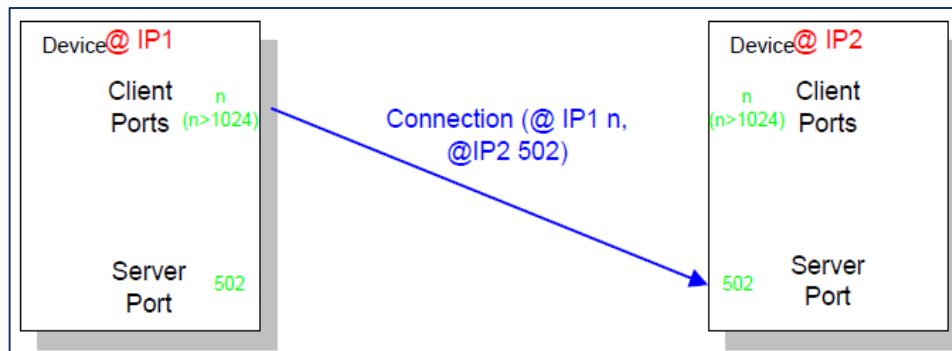


Diagrama N° 7: Establecimiento de conexión Modbus TCP/IP.

Fuente: Modbus Messaging Implementation Guide.

El mecanismo de control de acceso se puede activar para comprobar si la dirección IP del cliente remoto está autorizada. Si no la se rechaza la nueva conexión.

### 2.2.6.2. Transferencia de datos MODBUS

Se debe enviar una petición MODBUS a la conexión TCP correcta ya abierta. El IP Dirección del mando a distancia se utiliza para encontrar la conexión TCP. En caso de múltiples TCP Conexiones abiertas con el mismo mando a distancia, debe seleccionarse una conexión para El mensaje MODBUS, se pueden usar diferentes criterios de selección como el más antiguo, el primero. La conexión debe mantenerse abierta durante todas las comunicaciones MODBUS.



Un cliente puede iniciar varios MODBUS Transacciones con un servidor sin esperar el final de la anterior.

▪ **Conexión de cierre**

Cuando se terminan las comunicaciones MODBUS entre un Cliente y un Servidor, Cliente tiene que iniciar un cierre de conexión de la conexión utilizada para estos Comunicaciones.

### 2.2.6.3. Objetivo Del Protocolo Modbus TCP/IP

La transmisión de información entre distintos equipos electrónicos conectados a un mismo bus. Existiendo en dicho bus un solo dispositivo maestro y uno o hasta 247 equipos esclavos conectados.

### 2.2.7. Niveles de una Red Industrial

En los últimos años, las aplicaciones industriales basadas en comunicación digital se han incrementado haciendo posible la conexión de sensores, actuadores y equipos de control en una planta de procesamiento.

La comunicación digital debe integrar la información provista por los elementos de campo en el sistema de control de procesos. En la industria coexisten una serie de equipos y dispositivos dedicados al control de una máquina o una parte cerrada de un proceso. Entre estos dispositivos están los autómatas programables, ordenadores de diseño y gestión, sensores, actuadores, etc.

El desarrollo de las redes industriales ha establecido una forma de unir todos estos dispositivos, aumentando el rendimiento y proporcionando nuevas posibilidades.

Los niveles de red industrial son los siguientes:

- **Nivel de gestión:** se encarga de integrar el proceso productivo y el área de gestión, en el cual se supervisan las ventas, stocks, etc.
- **Nivel de control:** permite enlazar y dirigir las distintas zonas de trabajo; se sitúan los autómatas y los ordenadores dedicados al diseño, control de calidad, programación, etc.

- **Nivel de campo y procesos:** es la integración de automatismos (autómatas compactos, controladores PID, etc.).
- **Nivel de E/S:** es el nivel más próximo al proceso; aquí están los sensores y actuadores, encargados de manejar el proceso productivo y tomar las medidas necesarias para la correcta automatización y supervisión.

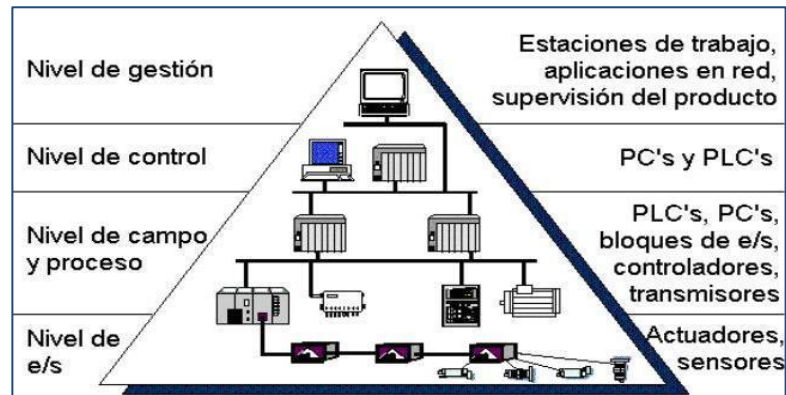


Figura N° 20: Niveles de una red industrial.  
Fuente: Comunicaciones industriales.

### 2.2.7.1. Ventajas de la Red Industrial

- Visualización y supervisión de todo el proceso productivo.
- Toma de datos del proceso más rápida o instantánea.
- Mejora el rendimiento general de todo el proceso.

## 2.2.8. Herramientas De Desarrollo De Sistemas

### 2.2.8.1. SCADA

Es el Sistema de Control y Adquisición de Datos de Supervisión, que mediante la computadora y el uso de tecnologías de comunicación permiten la automatización, monitoreo y control de procesos industriales. Este sistema es parte integral de ambientes industriales complejos porque pueden recoger gran cantidad de información de fuentes de manera rápida y presentar de forma amigable al operador. Al tener la información oportuna se puede tomar decisiones operacionales apropiadas. Los datos pueden ser de tres tipos principales:



- Datos de pulsos: que serán contabilizados o acumulados, ejm: conteo de revoluciones de un medidor.
- Datos analógicos: que quizá sean presentados en gráficos, ejm: números reales.
- Datos digitales: que pueden tener alarmas asociadas a un estado o al otro, ejm: on/off.

#### **Funciones Principales de un Sistema Scada**

- Adquisición de datos: para recoger, procesar y almacenar la información recibida.
- Supervisión: Para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- Control: para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.).

#### **Elementos del Sistema**

- Interfaz Operador Máquina: Es el entorno visual que brinda el sistema al operador, permitiendo la interacción con el sistema de forma más eficaz y eficiente.
- Unidad Central (MTU): Es la unidad maestra la que se encarga de ejecutar las acciones grabadas, también es encargada del almacenamiento y procesado de datos de forma que otra aplicación o dispositivo tenga acceso a ellos.
- Unidad Remota (RTU): Constituye cualquier elemento que envíe algún tipo de información a la unidad central.
- Sistema de Comunicaciones: Es el encargado de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.
- Transductores: Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa).

### 2.2.8.2. Sistema Embebido - SSEE

“Un sistema embebido (SSEE) o sistema empotrado se define como un sistema electrónico diseñado específicamente para realizar unas determinadas funciones” (UBEDA, 2009, pág. 2).

Su funcionamiento en términos generales consta de:

- Entrada (sensores y/o periféricos).
- Proceso (tiempo real).
- Salida (respuesta, resultados, periféricos).

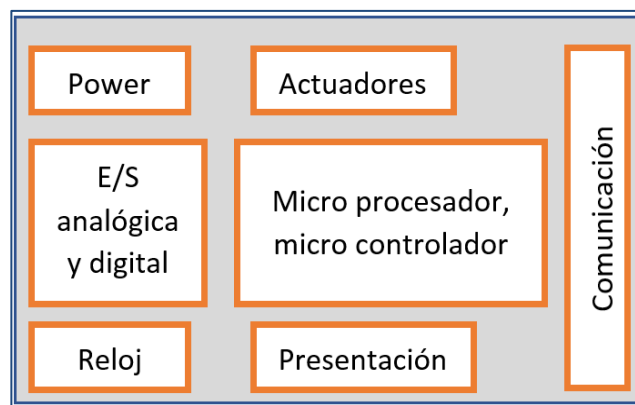


Diagrama N° 8: Diagrama de bloques de SSEE.

Fuente: Diagrama de bloques SS.EE.

Los sistemas embebidos poseen cantidad de recursos físicos como memorias, periféricos, disco duro, procesadores, etc. Normalmente un SE interactúa continuamente con el entorno para vigilar o controlar algún proceso mediante una serie de sensores.

Las aplicaciones más numerosas y habituales de los SSEE suelen ser del tipo industrial y gran consumo. En general, podemos enumerar los siguientes campos de aplicación:

- Equipos industriales de instrumentación, automatización, producción, etc.
- Equipos de comunicaciones.
- En vehículos para transporte terrestre, marítimo y aéreo.
- En dispositivos dedicados al sector de consumo tales como electrodomésticos, equipamiento multimedia, juguetes, etc.





- En bioingeniería y electro medicina.

### 2.2.8.3. Python

“Python es un lenguaje de programación que cuenta con estructura de datos eficientes y de alto nivel (facilidad de uso sobre la eficiencia optima del programa) y un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos. (...) Este lenguaje cuenta con una extensa biblioteca estándar de libre disposición en forma binaria, y de código fuente para las principales plataformas y puede distribuirse libremente”. (GONZALEZ R. , 2012, págs. 7,8)

#### Características De Python

- **Simple:** por lo que es fácil iniciar en este lenguaje.
- **Propósito general:** usado para todo tipo de programas desde propósito general hasta páginas web, con gran cantidad de librerías a disposición.
- **Open Source:** es el código abierto que caracteriza al software libre, y a la libertad de modificar el código fuente del programa sin restricciones de licencia, es gratuito.
- **Multiplataforma:** el intérprete de Python está disponible en multitud de plataformas (UNIX, Solaris, Linux, DOS, Windows, OS/2, Mac OS, etc.)
- **Lenguaje de alto nivel:** son los que se asemejan más al lenguaje natural y los programas puedes migrar a otras máquinas sin problema.
- **Orientado a objetos:** La orientación a objetos es un paradigma de programación en el que los conceptos del mundo real relevantes para nuestro problema se trasladan a clases y objetos en nuestro programa.

#### Ventajas De Python

- Una ventaja fundamental es la gratuidad de descarga de su intérprete. El intérprete es multiplataforma.



- Es un lenguaje muy expresivo, es decir, los programas son compactos.
- Ofrece un entorno interactivo que facilita la realización de pruebas y ayuda a despejar dudas acerca de ciertas características del lenguaje.
- El entorno de ejecución detecta muchos de los errores de programación que escapan al control de los compiladores.

### **Tkinter**

“Es la herramienta didáctica e interfaces sencillas. (...) El Tkinter permite interactuar con el usuario pidiendo el ingreso de datos, capturando la pulsación de teclas, movimientos del mouse, entre algunas de las cosas que se puede lograr”. (ALVAREZ A. , 2015, pág. 1).

### **Librerías**

- **Librería Pymodbustcp.Client:** “Un caso es realizar comunicaciones desde Python a sistemas SCADA por medio del protocolo Modbus. (...) Pymodbus es una implementación del protocolo Modbus completa usando trenzado para su núcleo de comunicaciones asíncronas”. (CAILV, 2014, pág. 1)
- **Librería PANDAS:** “Pandas es una librería de Python destinada al análisis de datos, que proporciona unas estructuras de datos flexibles y que permiten trabajar con ellos de forma muy eficiente”. (PYTHON, 2016, pág. 1).
- **Librería MATPLOTLIB:** “Matplotlib trata de hacer las cosas fáciles fácil y cosas difíciles posible. Puede generar gráficos, histogramas, espectros de potencia, gráficos de barras, diagramas de dispersión, errorcharts, etc., con sólo unas pocas líneas de código”. (HUNTER, 2012, pág. 1)
- **Gestores de Geometría:** Para definir el modo en que deben colocarse los widgets (controles) dentro de una ventana se utilizan



los gestores de geometría. En Tkinter existen tres gestores de geometría: pack, grid y place.

- **Gestor de Geometría Grid:** “Este gestor geométrico trata una ventana como si fuera una cuadrícula, formada por filas y columnas como un tablero de ajedrez, donde es posible situar mediante una coordenada (fila, columna) los widgets; teniendo en cuenta que, si se requiere, un widget puede ocupar varias columnas y/o varias filas. Con este gestor es posible construir ventanas complejas y hacer que los controles se ajusten a un nuevo tamaño de las mismas. Se recomienda su uso con diseños en los que los controles deben aparecer alineados en varias columnas o filas, es decir, siguiendo la forma de una tabla”. (SUAREZ, 2015, pág. 2).

#### 2.2.7.4. Ninja IDE

“Es un entorno de desarrollo integrado multiplataforma (disponible en sistemas operativos: Windows, Linux y Mac) que permite crear proyectos en Python, al mismo tiempo de ir ejecutando el código y corrigiendo eventuales errores que se presentan” (IDE, 2016, pág. 1). Cuenta con una interfaz bastante sencilla, la pantalla queda dividida principalmente en tres zonas: editor de código, abajo la consola de Python y el browser de ficheros a la derecha. A la izquierda tenemos un menú de opciones, aunque todo esto se puede configurar en el menú view donde muestra u oculta estas partes.

Ninja IDE cuenta con plugins que añaden funcionalidades a nuestro IDE, dependiendo a las necesidades:

Ninja-debugger-plugin: plugin para depurar nuestra aplicación, con el podemos poner breakpoints y movernos paso a paso viendo lo que ocurre.

Kai: es un plugin de autocompletado, te sugiere posibles palabras en base al texto del documento actual.

Git integration: permite que el Ninja IDE pueda comunicarse directamente con un git y gestionarlo.

### 2.2.7.5. SoMachine

“Es un software y la solución para fabricantes de maquinaria destinada a desarrollar, configurar y poner en marcha una máquina completa en un único entorno de software, incluidas las funciones de lógica, control de movimiento, interfaz hombre – máquina HMI”. (SCHNEIDER, 2014, pág. 56). SoMachine permite programar y poner en marcha todos los elementos de la plataforma de control flexible y escalable de Schneider Electric.

- Control flexible: porque permite sustituir un controlador por otro, manteniendo la función lógica y la configuración.
- Control escalable: es por la fácil integración de los controladores lógicos M221 con SoMachine en un proyecto SoMachine.

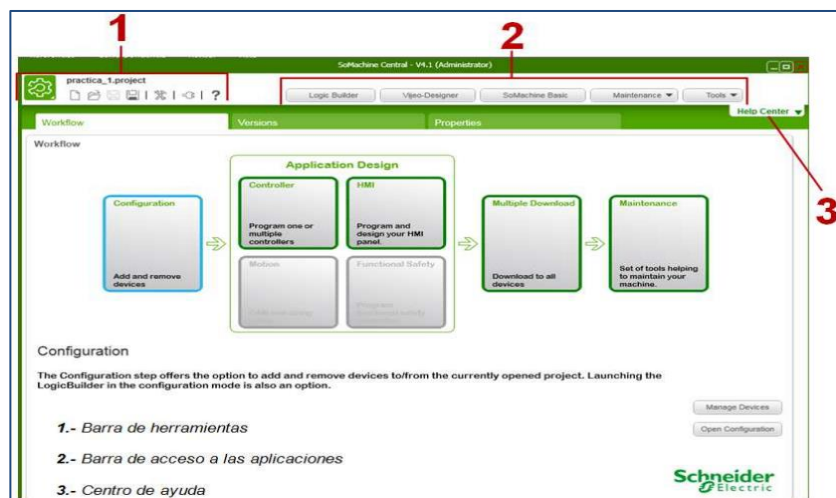


Figura N° 21: Elementos del SoMachine central.

Fuente: Elaboración propia

SoMachine es un único entorno de software para PLC Schneider, que ofrece:

- Un paquete de software.
- Un archivo para todo el proyecto.
- Una conexión.

- Una operación de descarga.

Permite trabajar en sistemas operativos para pc: Windows xp profesional, Windows 7 professional, de 32/64bits.

### 2.2.7.6. Entorno de Programación CoDeSys

Es el entorno de desarrollo de programación para los controladores conforme con el estándar industrial internacional IEC 61131-3.

Con SoMachine es posible utilizar los seis lenguajes de programación estandarizados:

Estos son GRAFCET (Sequential Function Chart (SFC)), Diagrama de contactos - Ladder Diagram (LD)), Diagrama de bloques de función – (Function Block Diagram (FBD)) Continuous Function Chart (CFC), Texto estructurado – (Structured Text (ST)) y listado de instrucciones – (Instruction List (IL)).

- **Diagrama de bloques de función – (Function Block Diagram (FBD)):** es un lenguaje de programación de segmentos muy gráfico. Las instrucciones están colocadas en segmentos.

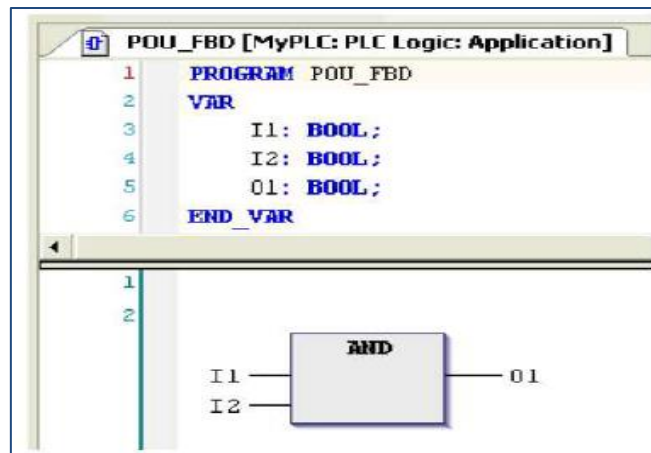


Diagrama N° 9: Función de Bloques.

Fuente: Manual de Formación PLC.

- **Diagrama de contactos - Ladder Diagram (LD)):** permite al programador utilizar una combinación de contactos de relees y bobinas.

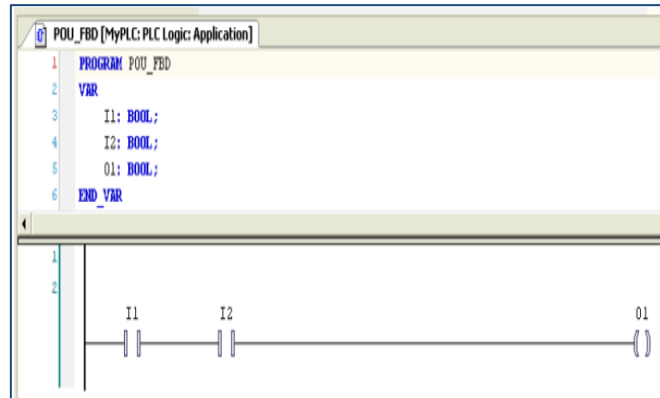


Diagrama N° 10: Combinación de Contactos.  
Fuente: Manual de Formación PLC.

- **SFC:** se usa para programas de procesos secuenciales.

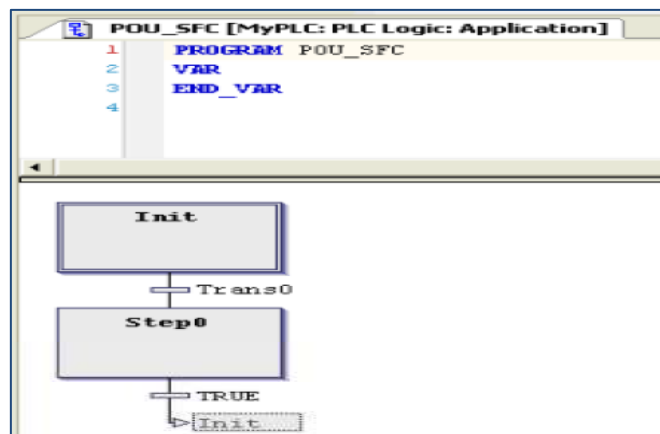


Diagrama N° 11: Procesos Secuenciales.  
Fuente: Manual de Formación PLC.

- **POU:** es la Unidad Organizativa de Programa, se utiliza para todos los objetos de programación (programas, bloques de función, funciones, etc.) que se utilizan para crear una aplicación en el controlador. Un POU se gestiona en el nodo global del árbol del programa. El programa POU debe ser llamado por una tarea de la aplicación respectiva.

#### 2.2.7.6. Rational Rose Enterprise

“Proporciona un conjunto de prestaciones controladas por modelo para desarrollar muchas aplicaciones de software (...) El software

permite acelerar el desarrollo de estas aplicaciones con código generado a partir de modelos visuales mediante el lenguaje UML (Unified Modeling Language). Rational Rose Enterprise ofrece una herramienta y un lenguaje de modelado común para simplificar el entorno de trabajo y permitir una creación más rápida de software de calidad” (IBM, Rational Rose Enterprise, 2012).

- Modelado de las aplicaciones más habituales: proporciona prestaciones de modelado visual para desarrollar muchos tipos de aplicaciones de software.
- Desarrollo de aplicaciones para la web: contiene herramientas web y XML para el modelado de aplicaciones web.
- Integración del diseño de aplicaciones con el desarrollo: unifica el equipo del proyecto proporcionando una ejecución y una notación de modelos UML comunes.

### 2.2.9. Cálculo de la Velocidad de Ascenso de Calentamiento

El cálculo de la velocidad ascenso de la pendiente: restar el ajuste posterior y el anterior y luego dividirlo entre las horas de tiempo programado de cada segmento.

$$k_n = \frac{AjusteMayor - AjusteMenor}{tiempo} = c^\circ/hr$$

*Ecuación 1:* Velocidad de ascenso.

*Fuente:* Apuntes PID.

### 2.2.10. PID

PID (Proporcional Integral Derivativo):

- Proporcional: Genera una actuación de control correctivo proporcional al error que se obtiene de la diferencia entre la T° de referencia y la intermedia.
- Integral: Esto asegura que, si se aplica un esfuerzo de control suficiente de las temperaturas, el error de seguimiento de las termocuplas se reduce a cero.

- Derivativo: Genera una acción de control proporcional al cambio de rango del error.

$$PID = Ke + \int \left( \frac{e(t)}{Tn} \right) + Tv \cdot de(t)$$

Ecuación 2: Ecuación de PID, Ke: constante proporcional, e(t): error en el tiempo, Tn: tiempo integral, Tv: tiempo derivativo

Fuente: Apuntes PID

### 2.2.11. Señal Eléctrica

En los sistemas de control, una magnitud física variable se representa generalmente mediante una señal eléctrica que varía de manera tal que describe dicha magnitud.

Por ejemplo: una señal eléctrica es la variación de la salida de tensión de una termocupla que mide la temperatura y la variación de temperatura la transforma en variación de tensión.

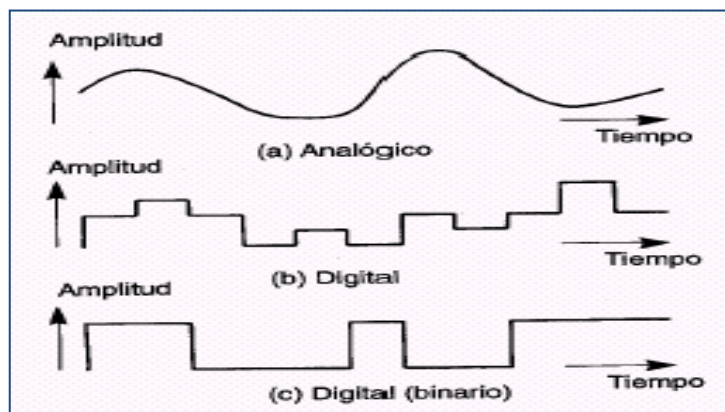


Figura N° 22: Tipos de Señal Eléctrica.

Fuente: Sistemas de Control.

Existen 3 tipos de señales eléctricas:

- Señal analógica: permite un número infinito de valores y tiene una variación continua en el tiempo.
- Señal digital: cuenta con un número finito de valores y que tiene una variación discreta de valores en el tiempo.



- Señal digital binaria: contiene dos valores concretos 1 y 0, la señal eléctrica solo puede adoptar dos niveles de tensión.

### 2.2.12. PWM

Es la función de Modulación por Ancho de Pulso (Pulse Width Modulation) que ofrece una salida con un factor de trabajo relativo variable. El tiempo de ciclo y el ancho de pulsos pueden indicarse con una base de tiempo en milisegundos.

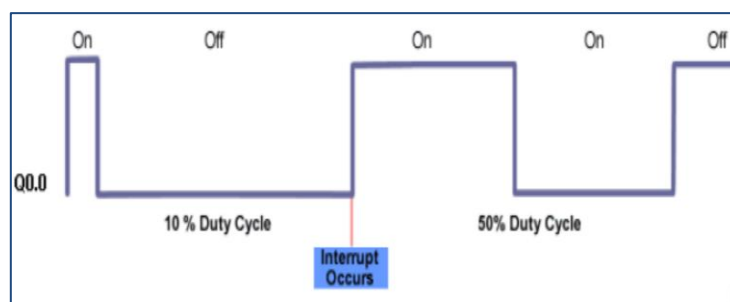


Diagrama N° 12: Ejemplo de señal PWM.

Fuente: Diseño de una Red Industrial.

El PWM puede ser usado para proporcionar un control programable de tiempo de uso de una máquina, o un elemento eléctrico como una resistencia.

$$pwm = \left( \frac{T_{on}}{T} \right) \times 100\%$$

Ecuación 3: PWM.

Fuente: Salidas de pulsos.

## 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Título: *“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN INALÁMBRICA PARA SISTEMAS SCADA BASADOS EN MICROCONTROLADOR APLICADO A INVERNADEROS”*

Tesis para optar el título de Ingeniero de Sistemas.

Autor: Pumasupa Paro, Nick Eugeny.

Universidad Andina del Cusco. 2014.



Resumen: el trabajo de tesis tiene como principio automatizar los sistemas de temperatura, humedad relativa, riego y humedad del suelo de un invernadero. Para este propósito se aplicará tecnología informática inalámbrica que permita la movilidad al momento de controlar remotamente los parámetros climatológicos de un invernadero (temperatura, humedad y riego) y así dosificar el uso adecuado de agua, energía y lograr un microclima adecuado durante todo el año en cualquier estación climática. En este trabajo se utilizó un prototipo de invernadero para poder monitorear y controlar su microclima, se diseñó también una tarjeta de adquisición de datos a partir de Microcontroladores de la marca Microchip; Se utilizaron sensores adecuados para la medición de cada variable climática para el mejor desempeño del invernadero automatizado.

La aplicación se desarrolla para un sistema SCADA (*supervisory control and data acquisition* - Supervisión, Control y Adquisición de Datos) con dispositivo móvil; este sistema será gestionado de forma inalámbrica para la adquisición de datos en tiempo real. Para el sistema móvil se utilizó Android como plataforma para el desarrollo del sistema de gestión, por ser la plataforma más utilizada hoy en día en dispositivos móviles.

Título: *“DISEÑO DE INTERFAZ USANDO MINICOMPUTADOR RASPBERRY PI A SER USADA EN LA IMPRESIÓN EN 3 DIMENSIONES, CON DEMOSTRACIÓN PRÁCTICA DE FUNCIONAMIENTO EN PROTOTIPO DE IMPRESORA REPRAP”*

Tesis para optar el título de Ingeniero de Computo.

Autor: Jorge E. Ordoñez García y Jazmín N. Fiallos Barragán.

Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2013

Resumen: En la actualidad, muchos productos requieren algún tratamiento térmico y más cuando se habla de la creación de piezas cerámicas, por lo que resulta de vital importancia el control de la temperatura. En esta tesis se presenta la forma en la cual se diseñó y construyó un sistema para controlar la temperatura de un horno eléctrico para la cocción de piezas



cerámicas. Se empleó un controlador difuso de tipo Mamdani, el cual trabaja con las entradas del error (temperatura deseada menos temperatura real), el cambio del error, y provee una salida de voltaje, la cual será la señal de control para un microcontrolador que realizará un control por encendido apagado mediante ciclos completos de la línea de alimentación de voltaje que nos proporciona CFE.

El software del sistema y el controlador se desarrollaron en LabVIEW, permitiendo visualizar en un entorno amigable al usuario, la temperatura deseada y real, así como un entorno agradable para el usuario. La digitalización de la temperatura y el envío de la señal de control se realizan con una tarjeta de adquisición de datos. Con la implementación del sistema de control, se mejoró la calidad de las piezas y el tiempo de cocción, además de facilitar el uso del horno eléctrico.

Título: *“DISEÑO DE HORNO PARA TRATAMIENTO TÉRMICO DE RODETE DE LA TURBINA FRANCIS (CELEC UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYAN)”*

Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico.

Autor: Verónica P. López Pérez y Wilson A. Ramírez Montesdeoca.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2011

Resumen: Se ha realizado el Diseño de un Horno para Tratamiento Térmico del rodete de la turbina Francis para la empresa CELEC Unidad de negocio Hidroagoyán. El objetivo de la empresa es implementar un taller donde se puedan reparar los rodetes que están sometidos a continuo desgaste debido principalmente a los fenómenos de erosión y cavitación, evitando la realización de estos trabajos fuera del país, optimizando tiempo y costos que conlleva este proceso. En la reparación se aporta material de soldadura siendo necesario el tratamiento térmico para aliviar tensiones internas. Mediante un software se ha simulado el comportamiento del rodete frente a las temperaturas y tiempos del tratamiento. La alternativa más adecuada es un horno eléctrico intermitente, que para su calentamiento utiliza resistencias eléctricas colocadas en la solera del mismo, controladas



automáticamente por medio de un sistema PID (Proporcional, Integral, Derivativo).

La cámara del horno tiene un recubrimiento de material aislante, que permite un considerable ahorro energético en este proceso y garantiza una temperatura exterior segura para los operadores del taller, mientras que la solera tiene ladrillo refractario; su estructura está hecha de perfiles metálicos que en su mayoría están unidos mediante pernos y para el revestimiento exterior se utiliza chapa metálica. Con este diseño se estableció una potencia necesaria de 270 kW y un rendimiento de 91,51% para el horno. Finalmente se determina el costo de construcción del mismo.

Título: *“CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO ELÉCTRICO MEDIANTE LÓGICA DIFUSA”*

Tesis para optar el título de Ingeniero en Mecatrónica.

Autor: Isaac Salomón Jiménez Escamilla.

Pontificia Universidad Tecnológica de la Mixteca. 2012

Resumen: En la actualidad, muchos productos requieren algún tratamiento térmico y más cuando se habla de la creación de piezas cerámicas, por lo que resulta de vital importancia el control de la temperatura. En esta tesis se presenta la forma en la cual se diseñó y construyó un sistema para controlar la temperatura de un horno eléctrico para la cocción de piezas cerámicas. Se empleó un controlador difuso de tipo Mamdani, el cual trabaja con las entradas del error (temperatura deseada menos temperatura real), el cambio del error, y provee una salida de voltaje, la cual será la señal de control para un microcontrolador que realizará un control por encendido apagado mediante ciclos completos de la línea de alimentación de voltaje que nos proporciona CFE.

El software del sistema y el controlador se desarrollaron en LabVIEW, permitiendo visualizar en un entorno amigable al usuario, la temperatura deseada y real, así como un entorno agradable para el usuario. La digitalización de la temperatura y el envío de la señal de control se realizan



con una tarjeta de adquisición de datos. Se mejoró la calidad de las piezas y el tiempo de cocción, además de facilitar el uso del horno eléctrico.



## CAPÍTULO III METODOLOGÍA

### 3.1. METODOLOGÍA DE PROCESO DE DISEÑO DE SISTEMAS EMBEBIDOS

#### Fases del ciclo de vida del Proceso de Diseño de Sistemas Embebidos.

**1. Identificación del sistema:** define lo que debe de salir del sistema para una entrada dada. El sistema puede ser modelado utilizando modelos matemáticos, modelo de algoritmo o de diseño. Ayuda a modelar sistemas que no se puede hacer de pasos de diseño simple.

**2. Definición de requisitos:** define las necesidades y condiciones que el nuevo sistema debe tener o cumplir. En este paso, se identifican diversos requisitos estructurales, funcionales y no funcionales que podrían entrar en conflicto entre sí.

**3. Desarrollo de arquitectura de sistemas:** Incluye la identificación del sistema, diseño funcional y diseño detallado. En este paso, interaccionan los diferentes componentes.

**4. Desarrollo de software, diseño de interfaz y diseño de hardware:** este desarrollo del software, diseño de interfaz y diseño de hardware incluye programas de software para el sistema. Diseño de interfaz construye una interfaz entre el software y el hardware. Toma en cuenta la especificación de sistema y construye un sistema que cumpla con los requerimientos de diseño de hardware.

**5. Prueba de integración:** combina los pasos anteriores (software, interfaz y hardware) y comprueba si el sistema funciona sin problemas y el hardware y software, interactuando entre sí, sin ningún error. Si ocurren errores, el diseñador de sistemas embebidos se remonta al paso de identificación de sistema y hace cambios.

### 3.2.1. Identificación del Sistema.

#### 3.2.1.1. Descripción del Sistema de Control Actual

En la actualidad la empresa EGEMSA, posee un control de tratamiento térmico basado en un controlador de la marca JUMO DICON 501.

#### 3.2.1.2. Diagrama de Circuito Eléctrico del Horno de Tratamiento Térmico según el Sistema de Control Actual

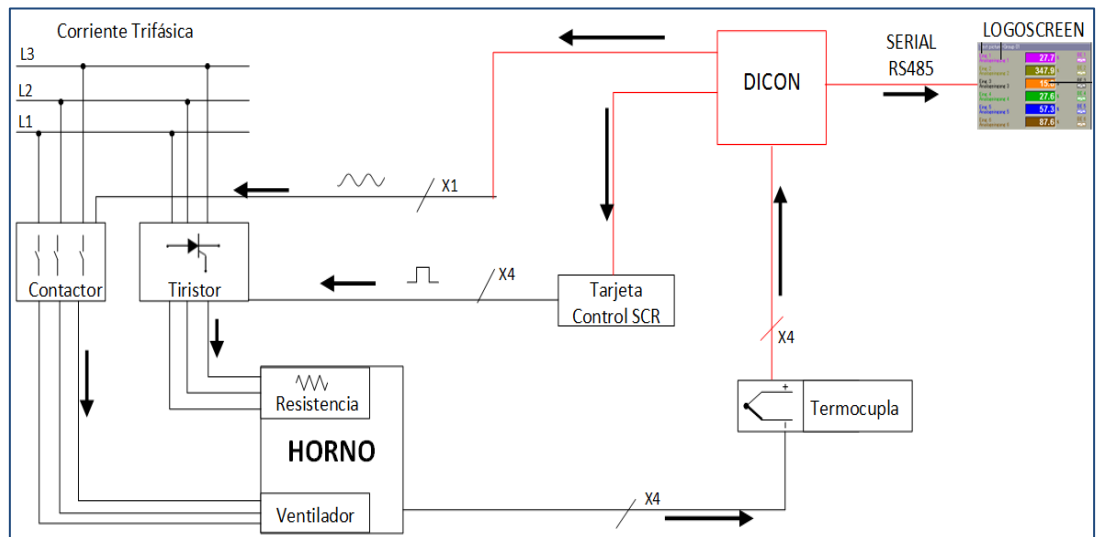


Diagrama N° 13: Circuito Eléctrico del Horno de Tratamiento Térmico Actual. Los componentes delineados con rojo actualmente controlan el proceso de tratamiento térmico.

Fuente: Elaboración propia.

- **RS485:** Es un estándar de comunicaciones en bus de la capa física del modelo OSI. Sirve para comunicar el controlador Dicon Jumo 501 con la interfaz Logoscreen.
- **RS232:** Es un estándar que sirve para la extracción de datos del Dicon Jumo 501.
- **DICON:** Es un controlador que tiene embebido el módulo de entrada analógica, y cuenta con módulos de salida discreta tipo relé y tipo transistor .
- **Logoscreen:** Es un componente que nos permite visualizar los datos de temperatura enviados por el controlador, el medio de comunicación

que utiliza el controlador y el Logoscreen a través del puerto serial RS485.

- **Contactor:** Es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se dé tensión a la bobina que está al interior, este componente está conectado al módulo de salida discreta tipo relé del controlador.
- **Tiristor:** Cumplen la misma función que un contactor solo que ésta no usa una bobina, en su lugar utilizan materiales de tipo semiconductor, está conectado a la tarjeta de control SCR.
- **Tarjeta Control Scr:** Esta tarjeta se encarga de activar al tiristor para que pueda conducir o dejar de conducir, lo especial de esta tarjeta es que activa al tiristor cuando la tensión cruza por nivel cero de la onda senoidal.
- **Módulo De Salida Discreta Tipo Relé:** Lo que hace es realizar el control del contactor, dejando pasar o no tensión eléctrica hacia las bobinas del contactor.
- **Módulo De Salida Discreta Tipo Transistor:** Realiza el control de los tiristores a través de la tarjeta de control SCR, para dejar pasar o no la corriente eléctrica hacia la tarjeta de control.
- **Módulo De Entrada Analógica:** Es un dispositivo que recibe la señal en mili Voltios que viene de las termocuplas y los convierte a valores enteros y los envía al controlador DICON
- **Termocupla:** La termocupla es un sensor que convierte la temperatura en señal eléctrica, que está en unidades de mv (milivoltios).

### 3.2.1.3. Toma de Datos con el controlador Dicon - Jumo Logoscreen

Para la toma de datos del controlador se utilizó la herramienta del Modbus Poll que permitió recolectar datos y almacenarlos en un archivo xls. Por medio del protocolo de comunicación serial RS232.