



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR
AUTOMÁTICO PARA UN SISTEMA DE BOMBEO
FOTOVOLTAICO EN LA REGIÓN PUNO”.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDWIN ALFREDO DIAZ ÑAUPA

Bach. SIXTO HUMBERTO PALLI MACHACA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

.... a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre Dery F. Ñaupa Quispe por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, pues sin ella no lo había logrado. Su bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el buen camino.

A mi hijo Marck que es el mejor regalo que haya podido recibir de parte de Dios, es mi mayor tesoro y también la fuente más pura de mi inspiración.

Edwin Alfredo Diaz Ñaupa



DEDICATORIA

*... padre Dios mi forjador de mi
camino, el que me acompaña y siempre me
levanta de mi continuo tropiezo.*

*A mis padres Lucas Palli Q y
Catalina Machaca Q por haberme forjado
como la persona que soy en la actualidad,
y a mis hermanos y familiares en general
que siempre me brindaron su apoyo día a
día en el trayecto de mi formación
profesional y en que se les incluye esta
tesis.*

*Te doy las gracias DIOS PADRE
CELESTIAL por brindarme por todas las
personas que as puesto en mi camino
porque todas ellas me han dado alguna
lección de vida.*

Sixto Humberto Palli Machaca



AGRADECIMIENTOS

Gracias padre celestial DIOS que nos ilumina a cada uno de los seres vivos, y que siempre nos acompaña en cada paso.

Al director de tesis José Manuel Ramos Cutipa, que ha confiado en nosotros y en este proyecto de tesis aportando su gran experiencia profesional, por la dedicación y apoyo incondicional que ha brindado a este proyecto, agradecemos infinitamente a su persona.

Como también en primera instancia a mis formadores de la UNA, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarnos a llegar al punto en el que nos encontramos, y como también agradecemos a nuestros maestros, y como también a nuestros compañeros de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por todo lo anterior en conjunto compartido sus conocimientos que nos han brindado.

Edwin Alfredo Diaz Ñaupa.

Sixto Humberto Palli Machaca



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.2 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN..... 19

1.2.1 Objetivo general..... 19

1.2.2 Objetivos específicos 19

1.3 JUSTIFICACIÓN 19

1.4 HIPÓTESIS..... 20

1.4.1 Hipótesis general..... 20

1.4.2 Hipótesis específicos..... 21

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES..... 22

2.2 MARCO TEÓRICO..... 30

2.2.1 Energía solar 30

2.2.2 Tipos de radiación solar 31

2.3 EFECTO FOTOVOLTAICO..... 32

2.3.1 Fotovoltaico 32

2.3.2 Principios funcionamiento del sistema fotovoltaico 34

2.3.3 Paneles solares monocristalino y policristalino 35



2.3.4	La celda fotovoltaica.....	38
2.4	INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE RADIACIÓN.....	38
2.4.1	Piranómetro.....	39
2.4.2	Pirheliómetros.....	40
2.5	VARIADOR DE FRECUENCIA.....	40
2.5.1	Principio de funcionamiento de variador de frecuencia.....	40
2.5.2	Sistemas de bombeo con convertidores de frecuencia.....	41
2.6	BOMBAS.....	46
2.6.1	Las bombas de desplazamiento positivo.....	47
2.6.2	Bombas de émbolo alternativo.....	47
2.6.3	Bombas volumétricas.....	47
2.6.4	Las bombas rotodinámicas.....	47
2.6.5	Potencia del equipo de bombeo.....	48
2.6.6	Caudal Q.....	49
2.6.7	Altura útil o efectiva de una bomba (H).....	49
2.7	FLUJO EN TUBERÍAS.....	51
2.7.1	Flujo laminar y turbulento.....	52
2.7.2	Número de reynolds.....	54
2.7.3	Diámetro hidráulico.....	55
2.8	COTROL Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA	57
2.8.1	Controladores.....	57
2.8.2	Generalidades del control.....	58
2.8.3	Control manual.....	58
2.8.4	Control semiautomático.....	59
2.8.5	Control automático.....	61
2.9	CONTROL POR PLC.....	62
2.9.1	Ventajas.....	63
2.9.2	Desventajas.....	66
2.10	ESTRUCTURA DE UN PLC.....	66
2.10.1	Estructura externa.....	67
2.10.2	Estructura compacta.....	67



2.10.3 Estructura modular	67
2.10.4 Estructura interna	67
2.10.5 Funciones básicas del CPU	68
2.11 CONTROL DE LAZO ABIERTO.	70
2.11.1 Sistemas de control de lazo cerrado	71
2.12 CONTROLADORES DIFUSOS (FUZZY).....	72
2.13 CONTROLADOR PID	74
2.14 CONTROLADORES PROPORCIONAL INTEGRATIVOS (PI).....	75
2.15 MATLAB.....	76
2.15.1 Modelado de un panel fotovoltaico.....	76
2.15.2 Modelado de un conjunto de paneles fotovoltaicos.....	78
2.16 AUTOMATIZACIÓN	80

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA	82
3.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL.....	82
3.2.1 Ubicación y descripción de la zona de estudio	82
3.2.2 Unidad de análisis de la investigación	83
3.3 MÉTODO DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.	83
3.4 TIPO, TÉCNICAS, E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	83
3.4.1 Tipo de investigación.....	83
3.4.2 Técnicas e instrumentos de investigación.....	84
3.5 EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.	84

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO DEL MODULO.....	96
4.2 POTENCIAL SOLAR	96
4.3 RADIACIÓN SOLAR EN PUNO SEGÚN EL MAPA DEL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE PERÚ.....	99
4.4 MEMORIA DE CÁLCULOS.....	101
4.4.1 Cálculo de numero de módulos para conectar en serie por string	101
4.4.2 Cálculo de potencia total de paneles fotovoltaicos	107



4.5 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS MATERIALES DEL PROTOTIPO	107
4.5.1 Diseño de estructura de soporte de panel solar	107
4.5.2 Rugosidad absoluta de materiales	108
4.5.3 Determinación de la altura hidráulica de bombeo (H_B).....	108
4.6 CALCULO DE POTENCIA DE BOMBA CINTRIFUGA, CON UN CAUDAL DE 35 L/s	110
4.6.1 Cálculo de la potencia de la bomba según sus características indicada en la bomba:.....	112
4.6.2 Cálculo de caudal y altura.....	113
4.7 MODELAMIENTO DE SISTEMA DE PANEL SOLAR MATLAB SIMULIN	117
4.8 MODELAMIENTO DE SISTEMA VARIADOR DE VELOCIDAD “CADE_SIMU”	120
4.9 MODELAMIENTO DE CONTROLADOR PROPORCIONAL-P	124
4.10 MODELAMIENTO DE CONTROLADOR PI:.....	125
4.11 MODELAMIENTO DE CONTROLADOR PID	126
4.12 COMPARACIÓN DE CONTROLADORES P, PI Y PID.....	127
4.13 MODELAMIENTO DE CONTROLADOR DE LÓGICA DIFUSA - FUZZY	129
4.13.1 Procedimiento de diseño de controlador fuzzy.....	129
4.13.2 Regla de inferencia difusa.....	131
4.14 IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS DE SIMULINK.....	133
4.14.1 Controlador de lógica difusa.....	135
4.14.2 Pasos de respuestas con PID y controlador de lógica difusa	136
V. CONCLUSIONES.....	137
VI. RECOMENDACIONES	138
VII. REFERENCIAS.....	139
ANEXOS.....	142

Área : Control de procesos

Tema : Controlador Automático para un Sistema de Bombeo Fotovoltaico

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 DE JUNIO DEL 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Componentes de la radiación solar terrestre.	31
Figura 2.2: Efecto Fotovoltaico	32
Figura 2.3: Juntura N-P en Equilibrio	34
Figura 2.4: Célula Fotovoltaica con Carga Eléctrica.....	35
Figura 2.5: Panel solar Monocristalino	36
Figura 2.6: Paneles solares Policristalinos	37
Figura 2.7: Variación de las características par-velocidad en función de la frecuencia del motor y sistema de bombeo fotovoltaico	43
Figura 2.8: Diagrama esquemático básico de un convertidor de frecuencia industrial.	44
Figura 2.9: Generación de tensión de amplitud y frecuencia variables en el inversor mediante control PWM.	45
Figura 2.10: Flujo lámina	53
Figura 2.11: Flujo turbulento	53
Figura 2.12: Flujo Turbulento	57
Figura 2.13: Control manual de un motor eléctrico	59
Figura 2.14: Control semiautomático de un motor eléctrico	60
Figura 2.15: Control automático de un motor eléctrico	62
Figura 2.16: Sistema de control de lazo abierto	70
Figura 2.17: Sistema de control de lazo cerrado.....	71
Figura 2.18: Lazo de control difuso	73
Figura 2.19: Controlador FUZZY	74
Figura 2.20: Controladores PID	74
Figura 2.21: Controladores proporcional integrativos (PI)	76
Figura 2.22: Asociación de paneles fotovoltaicos en paralelo	78
Figura 2.23: Asociación de paneles fotovoltaicos en serie.....	79
Figura 3.1: Diagrama De Instalación.....	84
Figura 3.2: Características del panel solar.....	86
Figura 3.3: Variador de frecuencia Siemens SINAMICS V20	88
Figura 3.4: Características principales de la electrobomba de 0.5 Hp.	89
Figura 3.5: Interruptor termomagnético, monofásico, Tipo AC	91
Figura 3.6: Interruptor diferencial, Monofásico, Tipo AC	92
Figura 3.7: Dimensiones de la tubería de 1 pulgada.	94



Figura 3.8: Contenedor De Agua.....	95
Figura 4.1: Irradiancia	98
Figura 4.2: Valores de irradiación obtenidos a partir de la irradiancia diaria	99
Figura 4.3: Energía Incidente Diario en Puno	100
Figura 4.4: Curva I-V característica de un módulo fotovoltaico.....	102
Figura 4.5: Características del panel solar.....	104
Figura 4.6: Diseño de sistema de bombeo fotovoltaico	111
Figura 4.7: Medidas de diseño de bombeo fotovoltaico.....	112
Figura 4.8: Modelamiento de sistema de panel solar Matlab/Simulink	117
Figura 4.9: Curva corriente del panel solar. Matlab/Simulink	118
Figura 4.10: Curva potencia del panel solar. Matlab/Simulink.....	118
Figura 4.11: Curva de voltaje del panel solar. Matlab/Simulink.....	119
Figura 4.12: Curva corriente, potencia y voltaje del panel solar. Matlab/Simulink....	120
Figura 4.13: Variador de velocidad de corriente continua C.C.....	121
Figura 4.14: Configuración de variador de frecuencia de corriente continua C.C según a la placa del motor.	122
Figura 4.15: Variador de frecuencia (HZ) con potenciómetro de acuerdo al requerimiento del sistema.	123
Figura 4.16: Configuraciones de variador de frecuencia de Corriente Alterna C.A ...	124
Figura 4.17: Modelado de sistema Matlab /Simulink de controladr proporcinal P.....	124
Figura 4.18: Grafica de sistema Matlab /Simulink de controladr proporcinal P.....	125
Figura 4.19: Modelado de sistema Matlab /Simulink de controladr proporcinal integral PI	126
Figura 4.20: Grafica de sistema Matlab /Simulink de controladr proporcinalintegral PI.	126
Figura 4.21: Modelado de sistema Matlab /Simulink de controladr proporcinal PID	127
Figura 4.22: Grafica de sistema Matlab /Simulink de PID	127
Figura 4.23: Modelado de sistema Matlab / Simulink de controlador P PI y PID.	128
Figura 4.24: Grafica de sistema matlab /simulink comparacion de controladores P PI y PID respecto al escalonamiento.	128
Figura 4.25: Variable de entradas difusas “error”	129
Figura 4.26: Variables de entrada difusas “cambian por error	130
Figura 4.27: Variable de salida difusa “control”	131
Figura 4.28: Si – entonces difuso reglas.....	132



Figura 4.29: Análisis tanto de las entradas y como de las salidas	133
Figura 4.30: Modelamiento de sistema Matlab / Simulink controlador PID	134
Figura 4.31: Respuesta escalonada del controlador PID	134
Figura 4.32: Modelamiento de sistema Matlab/Simulink de controlador difusa "FUZZY"	135
Figura 4.33: Respuesta escalonada del controlador FUZZY.....	135
Figura 4.34: Respuestas a pasos del sistema usando PID y controlador de lógica difusa	136



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Irradiancia medida en el laboratorio de la EPIME en los diferentes días.....	97
Tabla 4.2 : Valores de radiación en todos los meses del año	101
Tabla 4.3: Rugosidad absoluta de materiales	108
Tabla 4.4 : Valores aproximados de k (pérdidas de cargas locales).....	110
Tabla 4.5: Tabla de reglas para la variable de salida "control"	131



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: DISPOSICIÓN DE LOS BORNES DE VARIADOR DE FRECUENCIA.	142
Anexo N° 2: BORNES DE USUARIO DE VARIADOR DE FRECUENCIA.	142
Anexo N° 3: PLACA DE CARACTERÍSTICAS DEL CONVERTIDOR	143
Anexo N° 4: PANTALLA DE VARIADOR DE FRECUENCIA Y SUS FUNCIONES	143
Anexo N° 5: ESTRUCTURA DE MENÚS DEL CONVERTIDOR VARIADOR DE FRECUENCIA.....	144
Anexo N° 6: VISUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL CONVERTIDOR, VIGILANCIA BÁSICA DE ALGUNOS PARÁMETROS CLAVE COMO FRECUENCIA, TENSIÓN, CORRIENTE,	145
Anexo N° 7: CONFIGURACIÓN DEL REGULADOR PID, CONTROL DE PROCESOS SIMPLES, COMO CONTROL DE PRESIONES, NIVELES O CAUDALES.....	145
Anexo N° 8: CONFIGURACIÓN DE LA FUNCIÓN DE ACOPLAMIENTO EN DC	146
Anexo N° 9: PANEL SOLAR LABORATORIO EPIME UNA-PUNO	147
Anexo N° 10: LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN EPIME UNA-PUNO	148



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO SIGNIFICADO

PLC:	Controlador Lógico Programable
m^3/s :	Flujo de un metro cúbico de agua en una unidad de segundo
KW:	Kilo Watts
M:	Metro
W/M^2 :	Watts Metro Cuadrado
FV:	Foto Voltaica
P_{max} :	Potencia Máxima
V_{mp} :	Tensión de Potencia Máxima
I_{mp} :	Intensidad de Potencia Máxima
I_{sc} :	Corriente de cortocircuito
V_{oc} :	Tensión de circuito abierto
HSP:	Horas Sol Pico
MPPT:	Punto de Máxima Potencia
Q:	Caudal
P:	Potencia
HB:	Altura de la Bomba
V:	Velocidad
P:	Proporcional
PI:	Proporcional Integral
PID:	Proporcional Integral Derivativo



RESUMEN

En nuestra región de puno existen hogares que sufren del elemento vital que es el agua, y la energía eléctrica, mayormente en zonas rurales que se encuentran en situación de pobreza que no poseen de recursos económicos suficientes para poder pagar el alto consumo de energía eléctrica. el bombeo solar directo es una alternativa eficiente de aprovechar la mayor irradiación durante el día en nuestra región de puno como también nuestra ubicación geográfica es favorable a las condiciones de radiación solar, es recomendable usar esta tecnología donde sufren de escasas de agua y energía, por lo que en la presente tesis se pretende abordar el diseño e implementación de un controlador automático con variador de frecuencia, investigar con una metodología para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios y determinar el principio de operación del controlador automático para un sistema de bombeo fotovoltaico en la región puno. Este presente proyecto de tesis tiene como fines de investigación (experimental en el laboratorio de EPIME), pues los datos tomados son del laboratorio para comprobar la teoría y la práctica de dicha investigación de nuestro proyecto, los resultados y las conclusiones serán obtenidos del laboratorio. Este diseño del sistema de bombeo fotovoltaico con paneles fotovoltaicos determinados de acuerdo al V_{mp} , variador de frecuencia y controlador PID son componentes necesarios para el motor ya que controla mejor el rendimiento, aumenta la productividad y asegura la calidad del sistema por lo tanto el ahorro de energía, el control inteligente del motor y la reducción de la corriente de pico son tres grandes razones para elegir un variador de frecuencia y el controlador.

Palabras clave: Controlador, Energía fotovoltaica, Bombeo.



ABSTRACT

In our region of Puno there are households that suffer from the vital element that is water, and electricity, mostly in rural areas that are in a situation of poverty that do not have sufficient economic resources to pay for the high consumption of electricity. Direct solar pumping is an efficient alternative to take advantage of the greater irradiation during the day in our Puno region as well as our geographical location is favorable to solar radiation conditions, it is advisable to use this technology where they suffer from water and energy shortages, for What in this thesis is intended to address the design and implementation of an automatic controller with a frequency inverter, investigate with a methodology to determine the number of photovoltaic panels necessary and determine the principle of operation of the automatic controller for a photovoltaic pumping system in the puno region. This present thesis project is for research purposes (experimental in the EPIME laboratory), since the data taken is from the laboratory to verify the theory and practice of said research of our project, the results and conclusions will be obtained from the laboratory. This design of the photovoltaic pumping system with photovoltaic panels determined according to the V_{mp} , frequency inverter and PID controller are necessary components for the motor since it better controls performance, increases productivity and ensures the quality of the system, thus saving energy. Power, intelligent motor control, and reduced peak current are three great reasons to choose a VFD and controller.

Keywords: Controller, Photovoltaic energy, Pumping.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Nuestro proyecto tiene como objetivo aprovechar al máximo la radiación solar durante el día, para así captar al máximo el bombeo de agua con variador de frecuencia durante el día en un contenedor de agua. Para luego distribuir por medio de la gravedad el agua sea para consumo vital u riego etc.

El variador de frecuencia es un regulador que se encuentra entre la alimentación energética y la electrobomba centrífuga. Las energías captadas por los paneles solares pasan por el variador de frecuencia y regula la energía antes de que esta llegue a la electrobomba para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de acuerdo a la energía absorbida por los paneles solares.

Este proyecto nos permitirá indagar sobre temas de energía solar y aprovechamiento de radiación solar y el ahorro de energía eléctrica que pagamos en cada hogar a las empresas que nos venden la energía eléctrica. Una opción para reducir gastos en los hogares. Existen dos formas de aprovechar la energía solar aparte de la iluminación. La energía térmica y la energía fotovoltaica.

La energía térmica: es la que transforma la energía procedente del sol en energía calorífica. Los sistemas de aprovechamiento de la energía solar basados en la vía térmica pueden ser de baja, media y alta temperatura. Los de baja temperatura se emplean sobre todo para calefacción, climatización de locales, producción de agua caliente sanitaria, etc. Los de media y alta temperatura pueden ser aprovechados para la producción de energía eléctrica, mediante las centrales de torre o a través de colectores cilindro-parabólicos. En estas instalaciones se calienta el fluido que transporta el calor y genera electricidad mediante una turbina y un alternador.



La energía fotovoltaica: es la que convierte directamente la energía solar en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico, su nombre completo es paneles solares fotovoltaicos o FV “Foto” significa “luz” y “voltios” electricidad.

Los sistemas fotovoltaicos consisten en un conjunto de elementos, denominados células solares o células fotovoltaicas, dispuestos en paneles, que transforman directamente la energía solar en energía eléctrica. La luz solar transporta energía en forma de un flujo de fotones, éstos cuando inciden en determinado tipo de materiales bajo ciertas condiciones, provocan una corriente eléctrica.

1.1 PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA

En nuestra región de puno existen hogares que sufren del elemento vital que es el agua, y que también existen personas de pobreza y extrema pobreza que no poseen de recursos económicos suficientes para poder pagar a las empresas que venden la energía eléctrica.

Diseñar e evaluar un controlador automático con variador de frecuencia para un sistema de bombeo fotovoltaico directo típico en la región de puno, y bombear agua hacia un reservorio y distribuirlo por gravedad para el consumo humano o riego de la región puno.

Nuestro proyecto de estudio de tesis de bombeo solar automático con variador de frecuencia, ayudara a las personas con escasos recursos y tener agua ya sea del subsuelo o rio etc.

Para combatir la pobreza y la calidad de vida en nuestra región de puno optamos en aprovechar la energía solar que está siendo desperdiciada.



1.2 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Evaluar e implementar un controlador automático para un sistema de bombeo fotovoltaico típico en la región puno y para luego bombear agua hacia un reservorio que este ubicado a una cierta altura y después distribuirlo por gravedad.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Diseño e implementación de un controlador automático para un sistema de bombeo fotovoltaico con variador de frecuencia.
- b) Investigar con una metodología para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para alimentar una electrobomba de 0.5 HP con acoplamiento directo y calcular la cantidad de agua bombeada durante el día y a pleno sol.
- c) Determinar el principio de operación del controlador automático para un sistema de bombeo fotovoltaico en la región puno, en el laboratorio de EPIME de la UNA – Puno.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Las empresas que venden la energía eléctrica en nuestro país tienen un alto costo de kwh. Por lo tanto, la población por temor a pagar alto costo de consumo mensual prefiere no usar en exceso la energía eléctrica vendida por dicha empresa.

El bombeo solar es una alternativa eficiente de aprovechar la mayor radiación durante el día en nuestra región de puno como también nuestra ubicación geográfica es favorable a las condiciones de radiación solar, como tenemos fuertes radiaciones solares en nuestra región sería muy recomendable usar el bombeo solar donde sufren de escases



de agua instalando el bombeo solar en hogares y aprovechando la radiación solar al máximo que tenemos cantidad.

Los escasos de agua en zonas aledañas de nuestra región de Puno, generan problemas de salud en la población más en tiempos de sequía.

La presente investigación se justifica desde el punto de vista académico, al tratar de mejorar el conocimiento, difundir y validar tecnologías aplicadas a sistemas de bombeo fotovoltaico, referente a los controladores.

Finalmente es necesario contribuir profesionalmente a la solución de problemas de la sociedad con mayor criterio y capacidad investigativa y práctica al desarrollo de la ingeniería mecánica eléctrica.

La presente tesis de investigación sobre bombeo solar con variador de frecuencia para reducir el alto consumo de energía a la hora de encender la electrobomba y además mejora el costo de mantenimiento y prolonga la vida útil de los equipos relacionado al bombeo solar, por eso es muy importante el variador de frecuencia para el bombeo solar.

El resultado de la investigación nos permite determinar la implementación de un Variador de Frecuencia debidamente configurada y aprovechar las ventajas que proporciona y las posibilidades que brinda dichos dispositivos para reducir costos en varios aspectos y además de poder controlar la frecuencia de alimentación de una electrobomba.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

En nuestro proyecto de investigación de bombeo solar automático experimental podremos determinar los parámetros de los equipos y materiales que serán estudiados y



evaluados para nuestro proyecto de investigación. La evaluación de variador de frecuencia y sus controladores automáticos podrá dilucidar las ventajas, desventajas y formas de operación cuando estos son aplicados a sistemas de bombeo fotovoltaicos que permitirá escoger una adecuada configuración para este sistema.

1.4.2 Hipótesis específicos

- a) El diseño del sistema de bombeo fotovoltaico con variador de frecuencia nos permitirá conocer las facilidades de instalar el bombeo solar y la eficiencia que pueda trabajar en la región Puno.
- b) La investigación se realizará recolectando datos de la placa de los paneles solares el Voltaje nominal (V_{mp}), Y La cantidad de agua bombeada se analizará durante el transcurso del día soleado y como también nublado.
- c) Una vez obtenido los resultados de los ensayos del controlador automático para un sistema de bombeo fotovoltaico analizaremos la eficiencia del sistema.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

ANTECEDENTES NACIONALES

Yarlaque, R., & A Flores, E. (2019). Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo en la finca San José – caserío La Colorada – distrito de Mórrope – departamento de Lambayeque.

La presente tesis es una propuesta que está empeñada en mejorar la calidad de vida de la Finca San José - Caserío La Colorada; presentando una solución a la problemática de falta de agua para riego en una zona específica del Perú, alimentando equipos de bombeo con energía renovable y así poder sustraer agua de un cierto pozo, para luego almacenarla en tanques elevados, y así proporcionar agua para el riego; controlando el sistema por medio de un controlador PID con un PLC S7 200 y un variador de frecuencia ALTIVAR11. Por lo tanto, se elegirá el equipo de bombeo y sus partes que lo conforman para el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo en el caserío la colorada - Morrope – Lambayeque; usando fuentes renovables de energía, para lo cual se determinó que la potencia diaria necesaria para alimentar los equipos de bombeo y de control es de 3,030.30 W/día, usando 8 paneles solares de 100 Wp conectados en paralelo, almacenando la energía en 5 baterías de 24v 130Ah, para alimentar 1 electrobomba sumergible de la marca Pedrollo 4 Block y un Inversor 4000W 24VDC/230VAC, los cuales nos servirán para bombear agua a un tanque elevado de capacidad de 274.63 m y controlar el riego desde un tablero. También se determinó que el caudal de agua necesario para 3 hectáreas de cultivo, durante el día más seco del año,



es de aproximadamente 2.82 l/s, por lo que se necesitaría bombear un volumen de 270.4 m³ al día; por otro lado, se definió que el tipo de riego más adecuado para la zona es el de goteo. Por lo expuesto antes, según el diseño fotovoltaico, los requerimientos de caudal y presión para el sistema de riego se seleccionó la bomba Pedrollo 4Block como el equipo de bombeo para la zona de estudio, además se determinó que el producto en generar mayor utilidad es el pallar. Aplicando el uso del sistema fotovoltaico, el costo del proyecto para el equipo de bombeo solar y del sistema de riego es aproximadamente S/ 100,551.59. 3

Zambrano Cueva, J. (2020) Sistema de bombeo de agua utilizando paneles solares en el sector Boyero – C.P. Porcón Alto.

La investigación tuvo como objetivo determinar la factibilidad de un sistema de bombeo de agua utilizando paneles solares en el sector Boyero - Centro Poblado Porcón Alto. Se obtuvieron datos de horas de sol del SENAMHI, para la factibilidad energética, asimismo, para la factibilidad hidráulica se aforó el pozo tubular 20 veces en los meses de mayo y junio del 2019, utilizando el método de suspensión de un hilo lastrado, para el diseño hidráulico de la red de conducción y para la red de distribución se aplicó la norma técnica peruana de saneamiento rural. Se analizaron los datos de horas de sol de los meses de estiaje (mayo – octubre), de un periodo de 6 años el resultado obtenido es de 6.22 horas de sol al día, del aforo se obtuvo un caudal de 1.232.l/s, asimismo, se obtuvo una demanda de caudal de 0.101.l/s el cual se satisface con una bomba de 1.HP de potencia, para ello, es necesario la instalación de 04 paneles solares. Finalmente, se concluye que el sistema de bombeo de agua de manera energética e hidráulica si es factible, contando con suficiente recurso requerido para satisfacer a la población del sector Boyero - centro poblado Porcón Alto. PALABRAS CLAVE: Bombeo de agua, Energía solar; Horas de sol.



Gutierrez Champac, W. J. (2017) Alternativa de Control De Nivel y Caudal de un Tanque de Agua A Través de un Sistema Automático de Velocidad de una Electrobomba, Mediante Variador de Frecuencia”

La medición de fluidos en la industria es usada para contabilizar la transferencia de materia entre diferentes partes de un proceso o para controlar procesos productivos de forma automática. Actualmente existen diferentes tipos de sensores para medir caudal. A nivel mundial existen varias empresas que se dedican a la fabricación y comercialización local e internacional de actuadores y sensores utilizados en la medición y el control de caudal para la industria petrolera, química, alimenticia, energética, papelera, minera y del agua, entre otras. Actualmente en la industria encontramos cientos de procesos con aplicaciones de control de caudal, dentro de estas encontramos: En los Pozos de Agua Dispuesta, se usan variadores de velocidad de media tensión para variar la velocidad de motores de inducción de media tensión, los cuales están acoplados a una bomba con la cual inyectan agua que ha sido retirada del crudo de nuevo al pozo. Para medir la cantidad de barriles de agua por día que se inyectan al pozo, se usan medidores de caudal de presión dinámica y presión diferencial. En la fabricación de pisos en cerámica se usan medidores de caudal electromagnéticos para controlar la cantidad de agua que se le inyecta a la arcilla para humectarla. En las plantas de concreto de la empresa se usan medidores de flujo de paletas para controlar la cantidad de agua que se inyecta a la mezcla de concreto. La medición de flujo constituye tal vez, el más alto porcentaje en cuanto a medición de variables industriales se refiere. Ninguna otra variable tiene la importancia de esta ya que, sin mediciones de flujo, sería imposible el balance de materiales, el control de calidad y aún la operación de procesos continuos. Teniendo en cuenta que en muchos procesos industriales lo que se quiere lograr puede estar relacionado a la dosificación en una mezcla lo cual se haga a un caudal prefijado que asegure la obtención del producto final.



Chonto Vera, L. J. (2019) Dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministrar agua en el caserío Chillvaca en el distrito de Incahuasi - Ferreñafe Lambayeque.

El motivo principal del presente trabajo de suficiencia profesional fue el diseño de un sistema fotovoltaico para el bombeo de agua (selección de paneles fotovoltaicos, controladores, elementos de protección, etc.), 85 personas proyectas, además de animales en el caserío Chillvaca, ubicado en el Distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, en la región Lambayeque, El volumen de agua diaria requerida es de 11 610 L, con la finalidad de suministrar agua a la población y también a los animales debido a la problemática de que las personas usan el agua de las lluvias o de pozos poco profundos que después de un periodo de tiempo se secan .Por lo que la integración de un sistema de bombeo de agua utilizando tecnología fotovoltaica tiene justificación. Se seleccionó el sistema fotovoltaico estará conformado por 8 paneles fotovoltaicos de 190 Wp de potencia cada uno, 01 controlador PS-1800, 01 tablero eléctrico para sistema solar, 02 estructura para 4 paneles fotovoltaicos. El presupuesto referencial es de S/. 37 060,35

Sánchez Montenegro, G. A. (2019) Propuesta de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua subterránea en la provincia de Celendín-Cajamarca.

El objetivo general de la tesis fue Proponer un sistema fotovoltaico para el bombeo de agua subterránea en la provincia de Celendín – Cajamarca. La investigación en esta tesis fue aplicada pues en base a los conocimientos de ingeniería se trata de dar soluciones a problemas de la vida real, como es en este caso solucionar el problema de déficit de agua en el periodo de sequía. Luego de investigar y elaborar la tesis podemos indicar lo siguiente: Con los datos de radiación solar de NASTEC se ha obtenido una radiación solar mínima de 4,50 kWh/m² /día para el periodo de sequía, también se ha obtenido datos de



radiación solar del atlas solar del Perú con un valor de 2 4,50 kWh/m /día. Se determinó el consumo diario de agua para animales el cual es de 3 457 litros o 3,457 m³ y también se calculó la cantidad de agua necesaria para el riego de 2 hectáreas de terreno con un consumo diario de 3 114,88 m³, considerando un 10% adicional y un 10 % para el llenado de tanque de almacenamiento el total de agua diaria requerida es de 143,19 m³. El sistema de bombeo fotovoltaico estará conformado por 01 bomba sumergible LORENTZ PS2-4000C-SJ30-2, 16 paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX de 240 Wp. El presupuesto referencial del sistema de bombeo fotovoltaico es de S/. 113 611,61. Se realizó la evaluación económica obteniéndose que para una tasa de interés del 19% obteniéndose el de VAN = S/. 217 284,37 > 0 y la TIR de 47 %. Y para una tasa de descuento de 25,75 % el VAN es de S/. 104 973,91 > 0 y la TIR= 43 % por lo que la propuesta es aceptable.

Benites Saravia, N. R. (2019) "Control predictivo basado en modelo (MBPC) aplicado a un sistema de bombeo solar fotovoltaico".

En el presente trabajo de investigación, se aborda el diseño y la simulación de un sistema de Control Predictivo Basado en Modelo (MBPC) aplicado a un sistema de bombeo solar fotovoltaico, para zonas o poblados alejados de los lugares de servicio de agua y de electricidad, conformando un sistema autónomo. El trabajo consta de varias partes, que se pueden resumir en el modelado de un generador solar fotovoltaico, el modelado y diseño de un regulador de carga controlado por PID, un banco de baterías, el modelado del sistema hidráulico de bombeo, compuesto por el tanque de extracción, el tanque de almacenamiento, la bomba, el sensor de nivel de agua y finalmente el MBPC. Uno de los objetivos fundamentales es el control de nivel del tanque de almacenamiento del sistema de bombeo fotovoltaico, usando para ello el MBPC, que comparado con la respuesta de un controlador PI, tiene una respuesta óptima. La aplicación de las



herramientas matemáticas de modelado y diseño de cada una de las partes del sistema, se han tratado adecuadamente, con la finalidad de lograr su interrelación e integración. Las simulaciones del comportamiento del sistema de control se realizan usando Matlab y Simulink.

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Tercero López, A. C. (2020) Diseño de Sistema de bombeo Solar fotovoltaico para abastecimiento de agua en el área de lavado de café. Finca Linda Vista, El Bramadero- Condega, 2019.

En este documento se presenta la recopilación de información teórica de bombeo con energía solar. El fin del estudio de este sistema es entender su funcionamiento, ventajas y desventajas para luego ser aplicables como sistemas de bombeo en algunas zonas rurales de Nicaragua. El interés principal de este trabajo es encontrar alternativas para aprovechar los recursos energéticos no explotados para facilitar y mejorar la calidad de vida de las personas cubriendo una necesidad básica como es el suministro de agua. El sistema solar, a partir de los datos medidos y recopilados de PVGIS, radiación solar, viento, precipitación, presión, se evalúa esta tecnología en una zona alta ubicada en el Bramadero-Condega. Lo desarrollado en este trabajo servirá como base teórica para una investigación posterior. El presente documento se ha estructurado en tres partes. En la primera parte se expone el marco teórico de los sistemas de bombeo solar y fuentes naturales. En la segunda parte, se explica la metodología a utilizar referente al estudio técnico teórico de los sistemas de bombeo y en la tercera parte se exponen resultados y sus respectivos análisis. Se encontró como conclusión que el clima de la zona alta los Alpes Condega, permite el funcionamiento de un sistema para bombeo solar, ya que los elementos y factores climatológicos no afectan la eficiencia de un sistema; el diseño



obtenido por medio de cálculos y el análisis financiero para determinar la factibilidad de la propuesta ya que es menor la inversión inicial y superior la capacidad a la necesidad requerida.

Benites Saravia, N.R. (2019) "Control predictivo basado en modelo (MBPC) aplicado a un sistema de bombeo solar fotovoltaico"

En el presente trabajo de investigación, se aborda el diseño y la simulación de un sistema de Control Predictivo Basado en Modelo (MBPC) aplicado a un sistema de bombeo solar fotovoltaico, para zonas o poblados alejados de los lugares de servicio de agua y de electricidad, conformando un sistema autónomo. El trabajo consta de varias partes, que se pueden resumir en el modelado de un generador solar fotovoltaico, el modelado y diseño de un regulador de carga controlado por PID, un banco de baterías, el modelado del sistema hidráulico de bombeo, compuesto por el tanque de extracción, el tanque de almacenamiento, la bomba, el sensor de nivel de agua y finalmente el MBPC. Uno de los objetivos fundamentales es el control de nivel del tanque de almacenamiento del sistema de bombeo fotovoltaico, usando para ello el MBPC, que comparado con la respuesta de un controlador PI, tiene una respuesta óptima. La aplicación de las herramientas matemáticas de modelado y diseño de cada una de las partes del sistema, se han tratado adecuadamente, con la finalidad de lograr su interrelación e integración. Las simulaciones del comportamiento del sistema de control se realizan usando Matlab y Simulink.

Canales Urrutia, J. L., & Martínez Castillo, G. L., & Olivas Reyes N. R., (2019) Sistema de bombeo solar fotovoltaico para extracción de agua de estanque y su utilización para riego en la finca Santa Cruz, de la comunidad Santa Cruz, Estelí.



El agua es un elemento imprescindible para la supervivencia del ser humano y ecosistemas, es vital para la producción agrícola y seguridad alimentaria, lamentablemente hoy en día el acceso al vital líquido, es muy complejo en muchas regiones en donde la disponibilidad de energía proveniente de la red eléctrica es limitada; los sistemas de bombeo utilizando energía solar fotovoltaica han venido a solucionar estas problemáticas, por medio de la extracción de agua, la presente investigación tiene por objetivo general presentar la propuesta de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para extracción de agua de un reservorio en donde se capta el agua de lluvia para su utilización final en el riego de cultivos, sistema para el cual se analizó el beneficio económico y ambiental que genera el proyecto, se hizo necesario un muestreo no probabilístico, de carácter discrecional o intencional, en la cual los sujetos son elegidos para formar parte de la muestra con un objetivo en específico, en este caso se eligió finca Santa Cruz ya que cuenta con características o criterios de mucha importancia para llevar a cabo esta investigación, a través del estudio de los parámetros permitió a los investigadores conocer más a fondo el funcionamiento del sistema de riego en la finca, en donde se pudo concluir que a través del bombeo solar fotovoltaico propuesto para extracción de agua de estanque se cubren las necesidades requeridas para el riego de agua de cultivos de dicho lugar, mejorando la calidad de producción y por ende mejoras económicas.

Casquel Morillas, S. (2019) proyecto de una planta solar fotovoltaica aislada

Para bombeo en linares.

El objetivo del proyecto consiste en la instalación de una planta solar para la alimentar una bomba eléctrica de 4 cv para riego directo a una parcela de olivos. Sustituyendo así el riego que el cliente tenía anteriormente con una bomba alimentada por gasoil, comprobando cuál de los dos sistemas de riego es más económico. La



instalación se compone de las placas fotovoltaicas un variador de frecuencia, el cual transforma la corriente de continua a alterna y la bomba, además de los componentes necesarios para su correcto funcionamiento.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Energía solar

Es la energía radiante producida en el Sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en paquetes de energía llamados fotones (luz), que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

Sin la presencia del sol no existiría vida en la tierra. El planeta sería demasiado frío, no crecerían las plantas ni habría vida alguna, excepto algunas bacterias. Todos nuestros recursos energéticos provienen indirectamente del sol. Los combustibles fósiles son plantas y árboles muy antiguos, que crecieron gracias a la luz solar y han sido comprimidos durante millones de años. La energía eólica e hidráulica son generadas mediante procesos conducidos por el sol. Los árboles, los cuales no podrían crecer sin luz solar. (Orbegozo & Arivila, 2010)

La energía solar es una de las fuentes de la vida y el origen de la mayoría de las demás formas de energía conocidas. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad que consume toda la humanidad. De ahí que la radiación solar, recogida de forma adecuada con paneles solares, puede transformarse en otras formas de energía.

Mediante el empleo de colectores solares la energía solar puede transformarse en energía térmica. A su vez, con el empleo de paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos demandan tecnologías diferentes que no tienen nada que ver una con la otra. De mismo modo, en las centrales

térmicas solares, la energía térmica captada por los colectores solares puede utilizarse para generar electricidad.

2.2.2 Tipos de radiación solar

La Radiación Directa: es aquella que proviene directamente del sol.

La Radiación Difusa: La radiación solar difusa es aquella que son interceptados partículas y moléculas contenidas en el aire, se dispersan en la atmósfera, esta radiación proviene de las nubes, esta no es direccional y su distribución es uniforme. Es decir, que los gases y partículas desvían la radiación o lo dispersan. La radiación solar difusa genera un problema en la generación eléctrica por paneles solares fotovoltaicos, disminuyendo su capacidad de generación, es decir, que, en la radiación solar, las nubes absorben toda la energía incidente y la vuelven a emitir.

La Radiación Reflejada es aquella que proviene “rebotada” de la superficie terrestre. La cantidad de este tipo de radiación depende del llamado coeficiente de reflexión de la superficie o “albedo”. Son únicamente las superficies verticales (perpendiculares a la superficie terrestre) las que reciben esta radiación. En la siguiente figura observamos tipos de radiación.

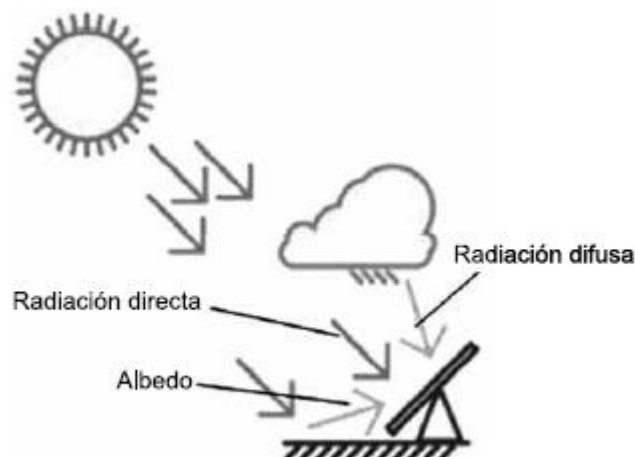


Figura 2.1: Componentes de la radiación solar terrestre.

Fuente: (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Alonso Castro Gil, 2009)

2.3 EFECTO FOTOVOLTAICO

El efecto fotovoltaico se produce cuando el material de la celda solar (silicio u otro material semiconductor) absorbe parte de los fotones del sol. El fotón absorbido libera a un electrón que se encuentra en el interior de la celda. Ambos lados de la celda están conectados por un cable eléctrico, así que se genera una corriente eléctrica. (Orbegozo & Arivila, 2010)

Conocido como la emisión de electrones por un metal al tener contacto con radiación solar. Este efecto fue descubierto en 1887 por H. Hertz, quien descubrió que si los electrones emitidos circulan por un circuito que mide la intensidad de corriente y se le añade una tensión considerable, la polaridad de este puede cambiar. Según esto, la energía de los fotoelectrones es independiente a la intensidad de la luz, la energía máxima de los fotoelectrones ($K_{max} = eV_0$) depende de la frecuencia o longitud de onda de la radiación incidente, y el número de fotoelectrones liberados será proporcional a la intensidad de luz [3]. (Noguera Salas, Pinto Garcia, & Villarreal Padilla, 2018)

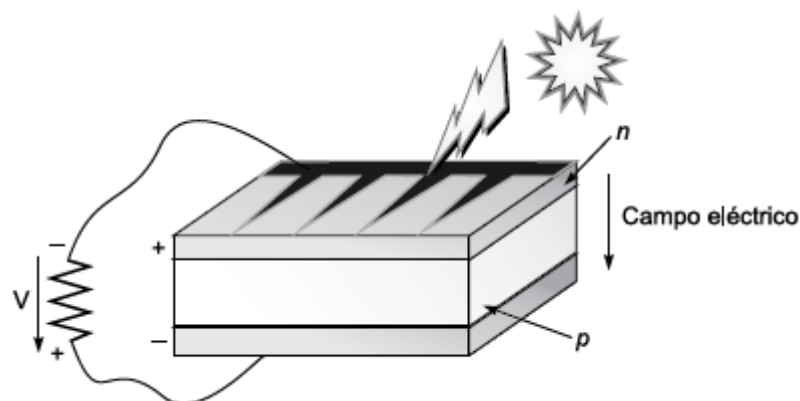


Figura 2.2: Efecto Fotovoltaico

Fuente: (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Alonso Castro Gil, 2009)

2.3.1 Fotovoltaico

La palabra fotovoltaico(a) está formada por la combinación de dos palabras de origen griego: foto, que significa luz, y voltaico que significa eléctrico. El nombre resume



la acción de estas células: transformar, directamente, la energía luminosa en energía eléctrica. (Gasquet, 2004)

2.3.1.1 Conductores aisladores y semiconductores fotovoltaico

Para que el lector tenga un conocimiento conceptual del fenómeno FV introduciremos el concepto de material semiconductor y juntura N-P. Comenzaremos estableciendo que un material conductor, como el cobre o el aluminio, permite el fácil paso de una corriente eléctrica porque tiene un gran número de cargas libres dentro del mismo. Un material es un no-conductor (aislador), como el vidrio o el plástico, porque no tiene cargas libres dentro de él. El silicio es el material más usado en la fabricación de células solares. En su forma cristalina pura, es un semiconductor, con muy pocas cargas libres dentro de él. Su resistividad es muy elevada. Usando un proceso llamado de difusión se puede introducir pequeñas cantidades de otros elementos químicos, los que permiten decrecer el valor inicial de la resistividad, creando, al mismo tiempo, zonas con diferentes tipos de carga. La célula FV utiliza dos tipos de materiales semiconductores, el tipo N y el tipo P.

TIPO N: Cuando la substancia difusa cede fácilmente electrones, se crea una zona dentro del semiconductor que tiene un exceso de cargas negativas (electrones). Esto es lo que se conoce como semiconductor del tipo N (negativo).

TIPO P: Cuando la substancia difusa atrapa electrones libres, los átomos que los pierden quedan cargados positivamente. En esta zona predominan las cargas positivas obteniéndose un semiconductor del tipo P (positivo).

JUNTURA N-P: El proceso de difusión es continuo, permitiendo la formación, en el mismo material, de dos zonas semiconductoras adyacentes, una del tipo N; la otra del tipo P. El espacio que separa ambas zonas es la juntura de transición.

ESTADO DE EQUILIBRIO: La teoría muestra que las cargas mayoritarias en una zona se desplazan hacia la de baja densidad en la zona opuesta. El desplazamiento de las cargas negativas y positivas deja a la zona de la juntura totalmente libre de cargas. Las zonas adyacentes a la misma tienen concentraciones de carga minoritarias (cargas negativas en el lado P y cargas positivas en el lado N). La acumulación de estas cargas a ambos lados de la juntura crea una diferencia de voltaje que impide la continuación del desplazamiento.

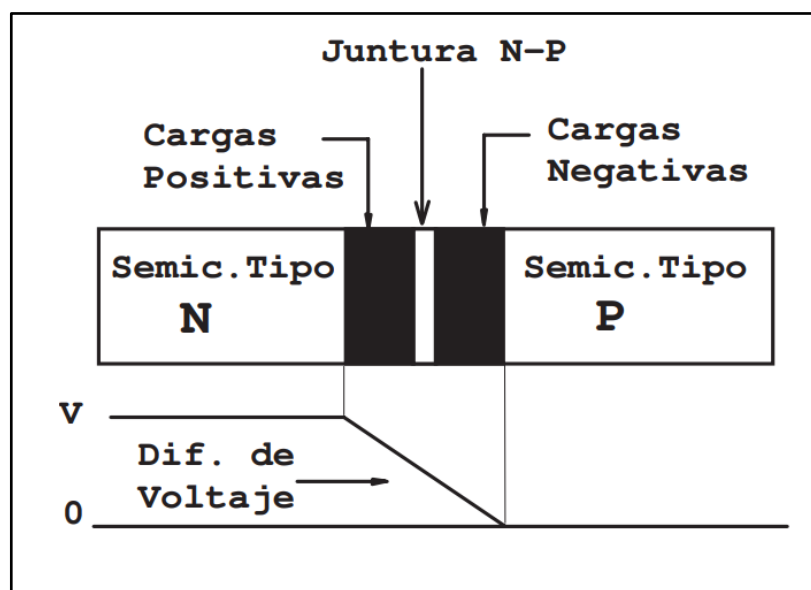


Figura 2.3: Juntura N-P en Equilibrio
Fuente: Ing. Héctor L. Gasquet 2004

2.3.2 Principios funcionamiento del sistema fotovoltaico

Cuando la luz incide sobre un semiconductor de este tipo, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de silicio creando dos cargas libres, una positiva y otra negativa. El equilibrio eléctrico de la juntura N-P se ve alterado por la presencia de estas nuevas cargas libres. Si al semiconductor se le conectan dos cables (uno por cada zona), se verifica la existencia de un voltaje entre los mismos. Si los terminales de la célula FV son conectados a una carga eléctrica, circulará una corriente eléctrica en el circuito formado por la célula, los cables de conexión y la carga externa. La Figura

siguiente muestra este tipo de circuito. Sólo una parte del espectro luminoso puede llevar a cabo la acción descripta. El material utilizado para fabricar el semiconductor determina que parte del espectro luminoso es la óptima para provocar este desequilibrio. (Gasquet, 2004)

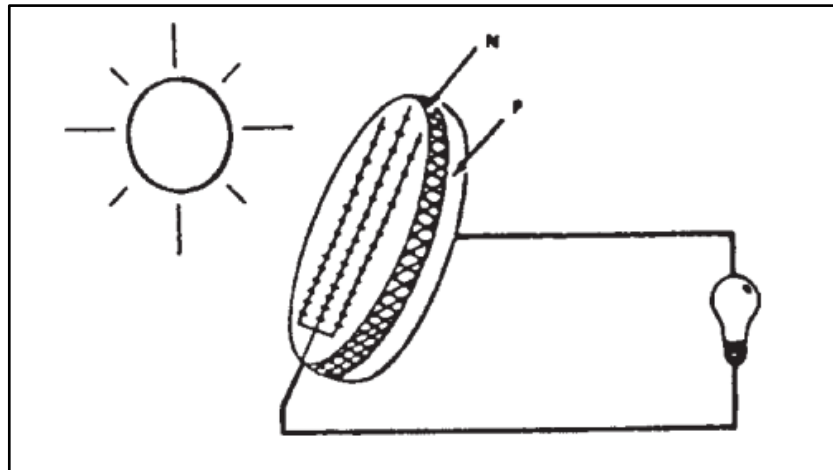


Figura 2.4: Célula Fotovoltaica con Carga Eléctrica
Fuente: Ing. Hector L. Gasquet 2004

2.3.3 Paneles solares monocristalino y policristalino

Las células FV que se ofrecen en el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores. Uno tiene una estructura cristalina uniforme llamada Mono cristalino, el otro una estructura poli cristalina.

2.3.3.1 Panel solar monocristalino

Los paneles mono cristalinos, como su nombre indica, se crean a partir de una sola estructura de cristal continuo. Debido a que la celda está compuesta de un solo cristal, los electrones que generan un flujo de electricidad tienen más espacio para moverse.

De los aspectos más destacados de este tipo de paneles es su eficiencia.

Tienen un mejor aprovechamiento del espacio. Al ser más eficientes, generan más energía en menos espacio, si lo comparamos con el panel solar policristalino.

Para fabricar células solares para paneles solares monocristalinos, el silicio se forma en barras y se corta en obleas. El panel monocristalino tiene una célula de color azul muy oscuro.

Como resultado, los paneles monocristalinos son más eficientes que sus contrapartes policristalinas. Los paneles solares monocristalinos resaltan por una estética agradable ya que tienen un aspecto más uniforme en comparación con el color azul del silicio policristalino. Como se muestra en la siguiente figura.

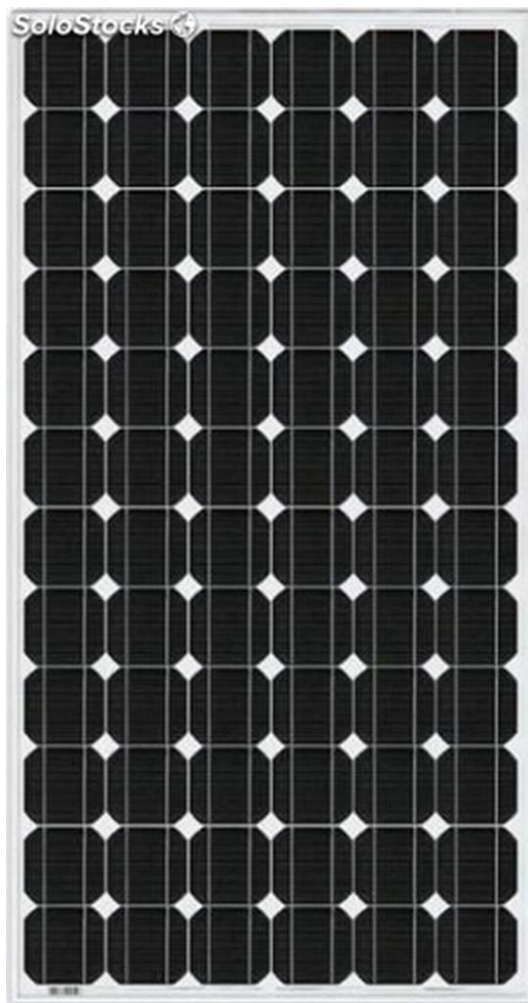


Figura 2.5: Panel solar Monocristalino

Fuente: (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Alonso Castro Gil, 2009)

2.3.3.2 Panel solar policristalino

Este tipo de paneles están hechos de silicio. Sin embargo, en lugar de usar un solo cristal de silicio, se funden muchos fragmentos de silicio para formar las obleas para el panel. Estas placas se conocen como silicio multicristalino o de muchos cristales.

Debido a que hay muchos cristales en cada celda, hay menos libertad para que los electrones se muevan. Como resultado, estos paneles solares tienen índices de eficiencia más bajos que los paneles monocristalinos.

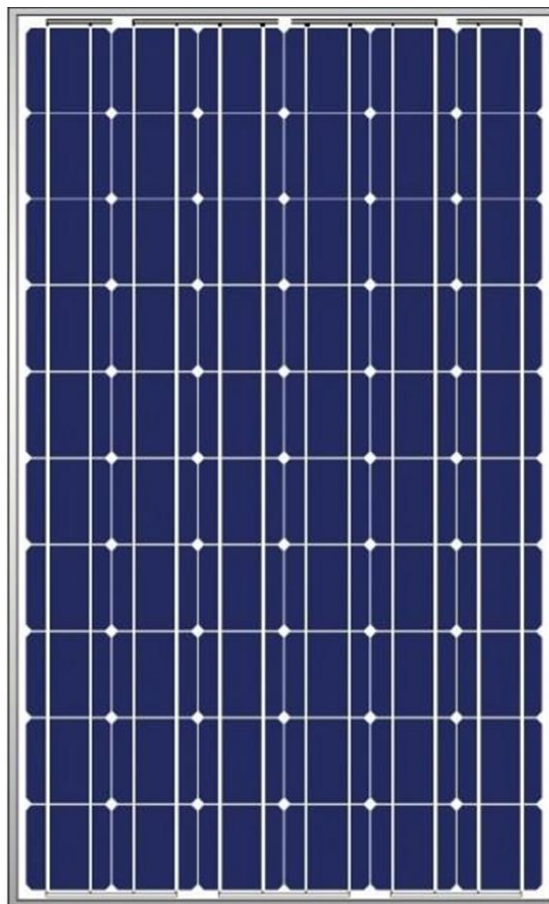


Figura 2.6: Paneles solares Policristalinos

Fuente: (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Alonso Castro Gil, 2009)



2.3.4 La celda fotovoltaica

La eficiencia de conversión es la relación entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa utilizada para obtenerla. Esta relación es dada en forma porcentual, como se muestra a continuación:

$$\text{Energía Generada } \eta \% = \frac{\text{Energía Generada}}{\text{Energía Incidente}} \times 100$$

El símbolo η es la letra griega nu, que es usualmente utilizada para expresar eficiencias. En el presente, células FV producidas en escala industrial tienen una eficiencia de conversión que oscila entre un 9 y un 12 %. El valor teórico máximo para la eficiencia de una célula FV que responde solamente a un rango reducido del espectro luminoso, es de alrededor del 25 al 28%, dependiendo del material semiconductor. Las células FV que utilizan semiconductores cristalinos tienen una eficiencia mayor a las que utilizan el semiconductor policristalino, debido a que las imperfecciones en la estructura de este último disminuyen el número de pares de carga que quedan libres para conducir la corriente. Las células FV usadas en los satélites espaciales utilizan, exclusivamente, semiconductores cristalinos, ya que el costo no es un factor en consideración.

2.4 INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE RADIACIÓN

Para muchas aplicaciones prácticas, no basta con calcular la radiación teórica que incide sobre un lugar o sobre un equipo solar determinado. Es necesario hacer las mediciones, para tener los valores efectivos de energía disponible o incidente sobre un colector.

Para medir la radiación solar que llega en cada momento a un lugar determinado se utilizan diversos aparatos. Entre ellos se pueden señalar los piranómetros, que miden

la radiación global (directa más difusa) (W/m^2) y los piro heliómetros que miden la radiación directa.

A diferencia del piranómetro, que suele instalarse fijo, el piro heliómetro debe contar con un sistema de movimiento de relojería para seguir al sol con gran precisión. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Alonso Castro Gil, 2009)

2.4.1 Piranómetro

Está especialmente pensado para monitorización de módulos fotovoltaicos / de energía solar.

se puede utilizar en todo tipo de condiciones climatológicas. El sensor mide la energía solar recibida desde todo el hemisferio. Es ideal para medir la energía disponible en aplicaciones para la energía solar, el crecimiento de las plantas, la convección térmica y la evapotranspiración.

Utiliza un detector fotodiodo, que genera un voltaje de salida proporcional a la radiación entrante. Además, debido al diseño único del difusor, su sensibilidad es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de la radiación entrante, lo que permite unas mediciones precisas y constantes.

Es fácil de usar. Puede conectarse directamente al voltímetro o al registrador de datos. Una lectura directa en vatios por metro cuadrado (W/m^2) puede calcularse al dividir el voltaje medido por el coeficiente de calibración. Está equipado con el cable amarillo de alta calidad de Kipp & Zonen.

Para su comodidad, SP Lite 2 cuenta con tornillos de ajuste y un nivel de burbuja integrado en el plato de montaje. Nuestra barra de montaje encaja en el agujero enroscado que se encuentra en el cuerpo de la carcasa. Existe la opción de instalar dos equipos espalda contra espalda y una barra de montaje, para crear un albedómetro sencillo.



2.4.2 Pirheliómetros

La medición precisa de la radiación solar directa es esencial en el campo de la meteorología, la climatología y la energía solar. Con este fin, los científicos usan pirheliómetros, instrumentos que miden la radiación solar directa dentro de un campo 5° de visión y se montan en un seguidor automático para señalar con precisión el centro del sol. Hay dos tipos principales de pirheliómetros. Los radiómetros de cavidad absolutos no suelen tener ventana, tienen un obturador para bloquear la radiación entrante, y están conectados a una unidad de control y un ordenador. Los pirheliómetros de campo operan de forma autónoma, tienen ventana y están diseñados para el uso continuo en todo tiempo, igual que nuestros modelos SHP1 y CHP1

2.5 VARIADOR DE FRECUENCIA

El variador de frecuencia regula la velocidad de motores eléctricos para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20 y un 70%.

Un variador de frecuencia por definición es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento.

Los variadores reducen la potencia de salida de una aplicación, como una bomba o un ventilador, mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior a la necesaria.

2.5.1 Principio de funcionamiento de variador de frecuencia

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la

frecuencia de AC suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120xf}{P} \quad (2.1)$$

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro AC (Hercio)

p = Número de polos

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3600 RPM, 1800 RPM, 1200 RPM y 900 RPM respectivamente para una frecuencia de 60 Hz.

2.5.2 Sistemas de bombeo con convertidores de frecuencia

Los convertidores de frecuencia (FC) se pueden conectar directamente a un generador FV y alimentar un motor de inducción asíncrono acoplado a una bomba centrífuga en sistemas de bombeo fotovoltaico donde pueden suponer una solución universal en el rango de media y elevada potencia. La utilización de productos industriales, como son los FC y las bombas centrífugas, adaptados a sistemas de bombeo FV tiene las ventajas de amplia disponibilidad de productos y rangos de potencia, independencia de determinados fabricantes, así como una reducción de costes en comparación con los sistemas habitualmente utilizados. Se presenta detalladamente un modelo simplificado que permite la estimación de las curvas Potencia DC-Caudal características del sistema a partir de datos de catálogo. El modelo desarrollado permite disponer de una herramienta para la selección de la bomba más adecuada para cada



aplicación. La aparición en el mercado de los convertidores de frecuencia para todo tipo de control de motores (mediante control tensión/frecuencia), y su rápida evolución en el mercado industrial también ha supuesto un claro avance para los sistemas de bombeo de agua con energía solar FV. Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas para operar con una fuente de potencia constante, la red eléctrica. Sin embargo, la potencia producida por un generador FV es variable a lo largo del día y en consecuencia la potencia entregada a la bomba. Por esta razón las bombas para su utilización en sistemas FV suelen poseer diseños específicos. La utilización de convertidores de frecuencia en sistemas de bombeo FV supone una solución universal que permite la utilización de bombas convencionales de mercado. Los convertidores de frecuencia son dispositivos electrónicos, similares a los inversores, inicialmente diseñados para operar conectados a la red eléctrica con el objeto de proporcionar una señal de salida de amplitud y frecuencia variable a partir de una señal de entrada de la red eléctrica convencional. Los convertidores de frecuencia aceptan una entrada en DC como es la de los generadores FV, con un amplio rango de variación de la tensión de entrada. Mediante la utilización de algoritmos internos son capaces de controlar la frecuencia y tensión de trabajo de los motores AC utilizados para accionar las bombas (generalmente motobombas centrífugas sumergibles). Mediante la utilización de estos dispositivos como acondicionamiento de potencia entre el generador FV y el motor/bomba se consiguen dos grandes beneficios. La utilización de convertidores de frecuencia permite realizar instalaciones desde 1 o 2 kW hasta varias decenas de kW. Es bien conocido que la velocidad de un motor asíncrono depende del número de polos del motor y de la frecuencia y del voltaje. La amplitud de la tensión y el tipo de carga (en este caso la bomba) también influyen la velocidad del motor. Por tanto, el cambio de la frecuencia de la tensión de alimentación es un método para controlar la velocidad de los motores

asíncronos. Para asegurar la correcta magnetización del motor también es necesario cambiar la amplitud de la tensión.

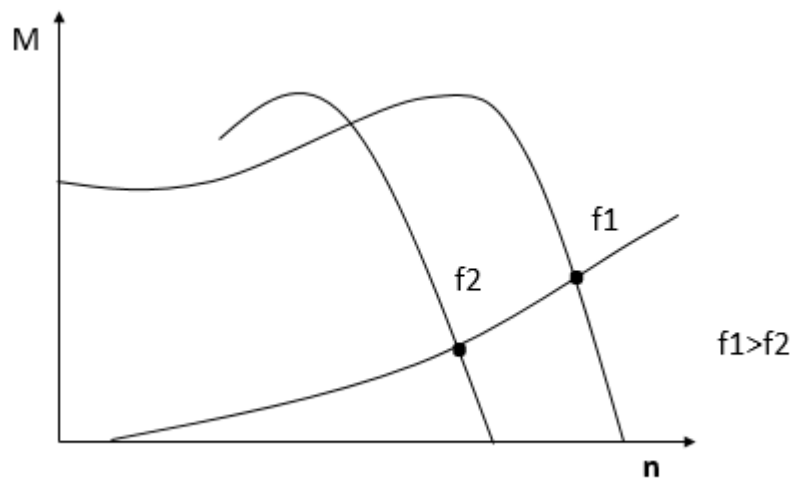


Figura 2.7: Variación de las características par-velocidad en función de la frecuencia del motor y sistema de bombeo fotovoltaico

Fuente: Ciemat - Miguel Alonso Abella

El control tensión/frecuencia implica un desplazamiento de la característica par-velocidad sin un decrecimiento del rendimiento. Este control se realiza mediante los convertidores de frecuencia que convierten la tensión y frecuencia de la red en una tensión y frecuencia variables. En el caso de conexión a un generador FV el voltaje de entrada al convertidor de frecuencia es DC y la frecuencia cero, lo que no supone ningún problema ya que el principio de los convertidores de frecuencia se basa en una rectificación de la señal de red para luego obtener una señal de frecuencia variable a partir del voltaje DC mediante un control PWM o vectorial. Es necesario tener en cuenta que las bombas que necesiten un par constante la relación tensión frecuencia han de ser constante. Por el contrario, para las bombas centrífugas caracterizadas por una fuerte caída del par del motor cuando se reduce la velocidad, la relación tensión/frecuencia ha de ser variable, permitiendo que el voltaje decaiga más que la frecuencia cuando se reduce la velocidad.

Los convertidores de frecuencia están compuestos esencialmente, además poseen una serie de circuitos electrónicos de control, por los siguientes elementos:

- Un rectificador
- Un circuito capacitor intermedio
- Un inversor

El rectificador consiste en un puente de seis diodos en el caso trifásico o cuatro en el caso monofásico. Cuando se conecta al generador FV, la misión rectificadora simplemente permanece anulada. El circuito capacitor intermedio es un "almacenamiento" en el cual el convertidor almacena energía para suministro del motor. En el inversor consiste normalmente en seis transistores (MOSFET para baja potencia e IGBT para altas potencias) con apertura y cierre controlados. Los puntos centrales de las tres ramas se conectan a los terminales del motor y por tanto es posible conectar el terminal del motor al conductor positivo o negativo en el inversor.

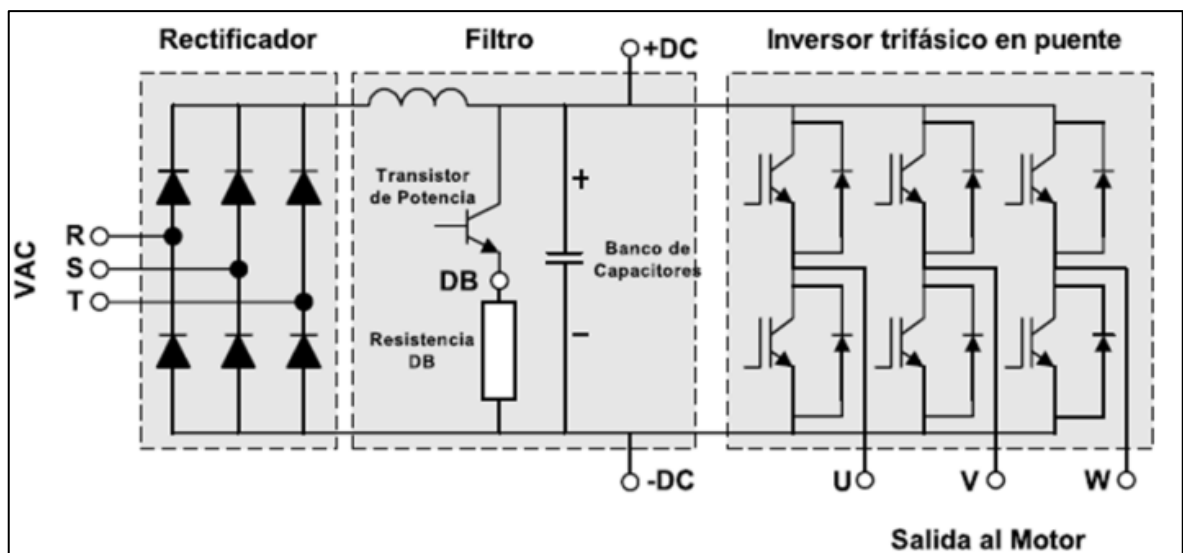


Figura 2.8: Diagrama esquemático básico de un convertidor de frecuencia industrial
Fuente: Ciemat - Miguel Alonso Abella

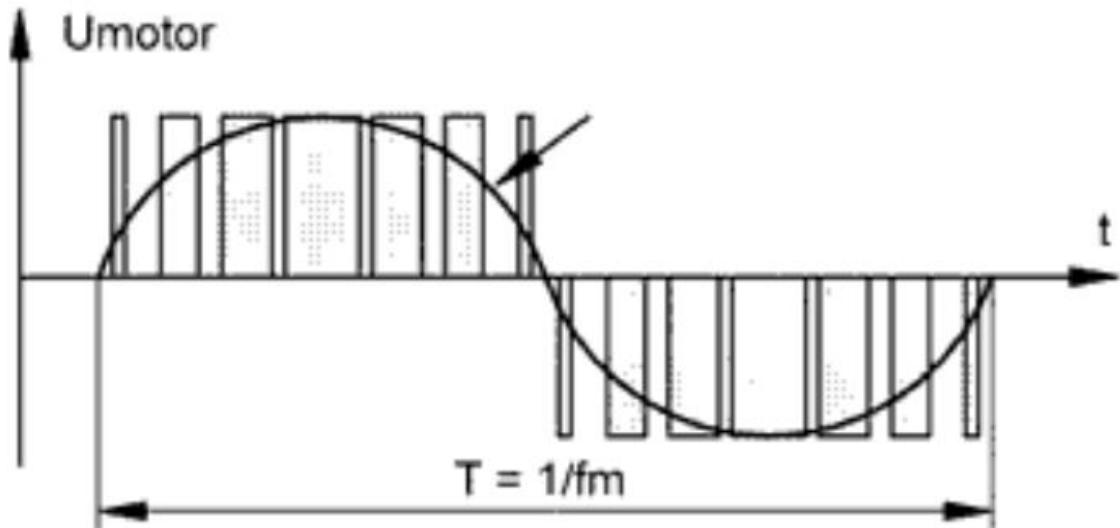


Figura 2.9: Generación de tensión de amplitud y frecuencia variables en el inversor mediante control PWM.

Fuente: Ciemat - Miguel Alonso Abella

El voltaje suministrado al motor consiste en una serie de pulsos cuadrados. El valor medio de estos pulsos forma un voltaje senoidal de la frecuencia y amplitud deseadas. El voltaje del motor se varía cambiando la relación pulso/pusa de la onda cuadrada sin cambiar la frecuencia de conmutación. Este principio se conoce como PWM (Pulse Width Modulation). Debido a que los convertidores de frecuencia no han sido diseñados específicamente para su utilización con generadores FV, no disponen de sistemas de seguimiento del punto de máxima potencia. Esto ha de suplirse con métodos externos que generen señales para el convertidor indicándole el punto de trabajo. Normalmente son capaces de responder sin problema a las variaciones de irradiancia (variaciones de la corriente de entrada). El principal problema estriba en darles una consigna para la tensión de trabajo y que dicha tensión de trabajo esté lo más cerca del punto de máxima potencia para minimizar las pérdidas por desacoplo, maximizando el rendimiento. Se pueden utilizar algoritmos PID internos para trabajar a tensiones del bus de continua (salida del generador FV) constantes. Aunque no es la situación óptima de acoplo, se ha verificado que estos sistemas operan muy bien (con pérdidas energéticas



por trabajar fuera del punto de máxima potencia) aunque requieren aumentar el número de módulos conectados en serie para evitar que el aumento de temperatura (disminución de la tensión de circuito abierto) haga que el sistema opere en puntos muy a la derecha del punto de máxima potencia, con el consiguiente decrecimiento de la corriente del punto de trabajo. Estos sistemas se pueden modificar mediante la inclusión de dispositivos que generen una señal proporcional a la temperatura de las células para corregir el voltaje de trabajo, consiguiendo de este modo un seguidor del punto de máxima potencia. En ambos casos, estos ajustes del convertidor han de ser específicos para cada sistema. Es necesario conocer el tipo y configuración del generador FV para poder generar la consigna de tensión adecuada (en los inversores específicamente diseñados para bombeo, el seguidor está incorporado internamente en el inversor y no es necesaria la generación de estas señales de consigna). Sin embargo, estos pequeños inconvenientes se ven ampliamente superados por la ventaja que supone la utilización de los convertidores de frecuencia como son la capacidad de elección de cualquier tipo de moto/bomba en un amplio rango de potencias.

2.6 BOMBAS

Una bomba es una máquina hidráulica que transforma la energía mecánica con la que es accionada en energía hidráulica del fluido (agua en el caso de los Sistema fotovoltaico de bombeo). Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas con la conservación de la energía expresada en el principio de Bernoulli (de la siguiente ecuación que se muestra) Cada tipo de bomba altera uno de estos factores para transportar el agua.

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta V^2}{2} + g \cdot \Delta h = cte \quad (2.2)$$

Siendo P la presión, ρ la densidad del fluido, V la velocidad, g la gravedad y h la altura.

2.6.1 Las bombas de desplazamiento positivo

Tienen como principio el aumento de presión. Están formadas por un contorno móvil que obliga al fluido a avanzar por la máquina por cambios de volumen. Son apropiadas para altos incrementos de presión y bajos caudales. Necesitan un elevado par de arranque (por tanto, no pueden ser acopladas directamente al generador).

Se pueden distinguir entre:

2.6.2 Bombas de émbolo alternativo

En las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana (figura). Son destacables las bombas de diafragma, más económicas, pero que requieren el reemplazo de los diafragmas cada dos o tres años, dependiendo del fabricante.

2.6.3 Bombas volumétricas

En las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina. En los sistemas fotovoltaicos de bombeo es frecuente el uso de las denominadas bombas helicoidales.

2.6.4 Las bombas rotodinámicas

Tienen como principio añadir cantidad de movimiento. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. Dentro de este grupo son destacables las bombas radiales o centrífugas, en las que el fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga



Es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. El contorno de este cuerpo conduce el fluido hacia las tubuladuras de salida o hacia el siguiente rodete (también denominado etapa).

Las bombas centrífugas están diseñadas para vencer una presión más o menos constante, proporcionando elevados caudales para bajas alturas manométricas, y funcionan bien con pequeños pares de arranque. Se puede aumentar la altura que son capaces de vencer añadiendo etapas en serie en la misma bomba. Son bombas simples, robustas y de bajo coste.

Según la disposición de la bomba puede distinguirse entre bombas sumergibles, flotantes y de superficie. Las bombas sumergibles suelen conformar un único equipo con el motor y son adecuadas para pozos profundos de pequeño diámetro. Las bombas flotantes son de aplicación en ríos, lagos o pozos de gran diámetro, lugares con elevado caudal pero escasa altura manométrica. Finalmente, las bombas de superficie funcionan por succión a nivel del suelo, facilitando el mantenimiento. Debe tenerse en cuenta que el nivel de succión es limitado y que, en caso de utilizar agua como lubricante, no deben operar en seco para evitar el sobrecalentamiento. (PERPIÑÁN LAMIGUEIRO, 2013)

2.6.5 Potencia del equipo de bombeo

El cálculo de la potencia de la bomba y del motor debe realizarse con la siguiente

Fórmula:

$$P = \frac{Q * \rho * g * H_B}{746 * \eta} \quad (2.3)$$

Debe consultarse al proveedor o fabricante, sobre las curvas características de cada



Bomba y motor para conocer sus capacidades y rendimientos reales.

2.6.6 Caudal Q

Caudal volumétrico o flujo volumétrico. Sirve para expresar qué volumen de fluido pasa a través de una válvula durante un periodo de tiempo determinado. Y esta expresado por la siguiente formula.

$$Q = V * A \quad (2.4)$$

Q: caudal m³/s

A: área transversal de la tubería m²

V: velocidad del fluido m/s

2.6.7 Altura útil o efectiva de una bomba (H)

La altura útil o altura efectiva H que da la bomba es la altura que imparte el rodete o la altura teórica H_U, menos las pérdidas en el interior de la bomba H_{r-int}.

$$H = H_U - H_{r-int} \quad (2.5)$$

Primera Expresión de la Altura Útil (Ecuación de Bernoulli en la sección E y S)

$$H = \frac{(p_S - p_E)}{\rho g} + (z_S - z_E) + \frac{(v_S^2 - v_E^2)}{2g} \quad (2.6)$$

Primera Expresión de la Energía Útil (Ecuación de Bernoulli en la sección E y S)



$$Y = \frac{(p_S - p_E)}{\rho} + (z_S - z_E)g + \frac{(v_S^2 - v_E^2)}{2} \quad (2.7)$$

Notas a la primera expresión de la altura útil

El término $(z_S - z_E)$ suele ser o muy pequeño o incluso igual a cero en las bombas de eje vertical

El término $\frac{(v_S^2 - v_E^2)}{2g}$ suele ser también muy pequeño o igual a cero: positivo, aunque pequeño si el diámetro de la tubería de aspiración se hace mayor que el de la tubería de impulsión, para evitar cavitación, igual a cero, si $D_S = D_E$

$$H = \frac{(p_S - p_E)}{\rho g} = M_S + M_E \quad (2.8)$$

MS: Lectura del manómetro a la salida valores absoluto en el vacuómetro

ME: Lectura del manómetro a la entrada

Segunda Expresión de la Altura Útil (Ecuación de Bernoulli en la sección A y Z)

$$H = \frac{(p_Z - p_A)}{\rho g} + (z_Z - z_A) + H_{r-ext} \quad (2.9)$$

$$H_{r-ext} = H_{ra} + H_{ri} + \frac{v_i^2}{2g} \quad (2.10)$$

Hr-ext: Pérdida total exterior a la bomba

Hra: Pérdida en la aspiración o sea entre los puntos A y E

Hri: Pérdida en la tubería de la impulsión



$\frac{v_i^2}{2g}$: Pérdida secundaria en el desagüe en el depósito

Segunda Expresión de la Altura Útil

$$H = \frac{(p_Z - p_A)}{\rho g} + (z_Z - z_A) + H_{ra} + H_{ri} + \frac{v_i^2}{2g} \quad (2.11)$$

Segunda Expresión de la Energía Útil

$$Y = \frac{(p_Z - p_A)}{\rho} + (z_Z - z_A)g + (H_{ra} + H_{ri})g + \frac{v_i^2}{2} \quad (2.12)$$

Notas a la primera expresión de la altura útil

Para aplicar esta ecuación es necesario conocer el caudal (porque las pérdidas son en función de él), así como las características de la instalación (metros de tubería, material de la misma y accesorios)

2.7 FLUJO EN TUBERÍAS

En la práctica es común encontrar el flujo de fluidos en tuberías circulares y no circulares. El agua caliente y la fría que se usan en los hogares se bombean a través de tuberías. El agua en una ciudad se distribuye mediante extensas redes de tuberías. El petróleo y el gas natural se transportan a cientos de kilómetros por largas y grandes tuberías. La sangre recorre todo el cuerpo a través de arterias y de venas. El agua de enfriamiento en un motor se transporta mediante mangueras hacia la tubería del radiador, donde éste se enfría conforme el agua fluye. La energía térmica en un sistema de calefacción central se transfiere hacia el agua que circula en el calentador, y luego se transporta hacia las posiciones deseadas por tuberías.



En la descripción física general del flujo interno y la capa límite de velocidad. Continúa con un comentario adimensional del número de Reynolds y su significado físico. Luego se comentan las características del flujo adentro de tuberías y se introducen las correlaciones de caída de presión relacionadas con él, tanto para flujo laminar como para turbulento. Después se presentan las pérdidas menores y se determina la caída de presión y las necesidades de potencia de bombeo para sistemas de tuberías en el mundo real. Finalmente se presenta un panorama de los dispositivos para la medición de flujo. (CENGEL & CIMBALA, 2006)

2.7.1 Flujo laminar y turbulento

Flujo en una tubería revela que el flujo de fluidos es de líneas de corriente aproximadamente paralelas a bajas velocidades, pero se vuelve caótico conforme la velocidad aumenta sobre un valor crítico, como se muestra en la figura siguiente. Se dice que el régimen de flujo en el primer caso es laminar, y se caracteriza por líneas de corrientes suaves y movimiento sumamente ordenado; mientras que en el segundo caso es turbulento, y se caracteriza por fluctuaciones de velocidad y movimiento también desordenado. La transición de flujo laminar a turbulento no ocurre repentinamente; más bien, sucede sobre cierta región en la que el flujo fluctúa entre flujos laminar y turbulento antes de volverse totalmente turbulento. La mayoría de los flujos que se encuentran en la práctica son turbulentos. El flujo laminar se encuentra cuando los fluidos muy viscosos, como los aceites, fluyen en pequeñas tuberías o pasajes estrechos.

Es posible verificar la existencia de dichos regímenes de flujo laminar, transicional y turbulento cuando se inyectan algunas líneas de colorante en el flujo en una tubería de vidrio, como hizo el ingeniero británico Osborne Reynolds (1842-1912) hace más de un siglo. Él observó que las líneas de colorante formaban una línea recta y suave a bajas velocidades cuando el flujo era laminar (es posible verlas un poco borrosas debido

a la difusión molecular), tenían estallidos de fluctuaciones en el régimen transicional y zigzagueaban rápida y aleatoriamente cuando el flujo se volvía totalmente turbulento. Dichos zigzagueos y la dispersión del colorante son indicadores de las fluctuaciones en el flujo principal y la rápida mezcla de las partículas de fluido de capas adyacentes.

La intensa mezcla del fluido en el flujo turbulento como resultado de las rápidas fluctuaciones mejora la transferencia de cantidad de movimiento entre las partículas del fluido, lo que aumenta la fuerza de fricción sobre la superficie y por tanto la potencia de bombeo necesaria. El factor de fricción alcanza un máximo cuando el flujo se vuelve totalmente turbulento. (CENGEL & CIMBALA, 2006)

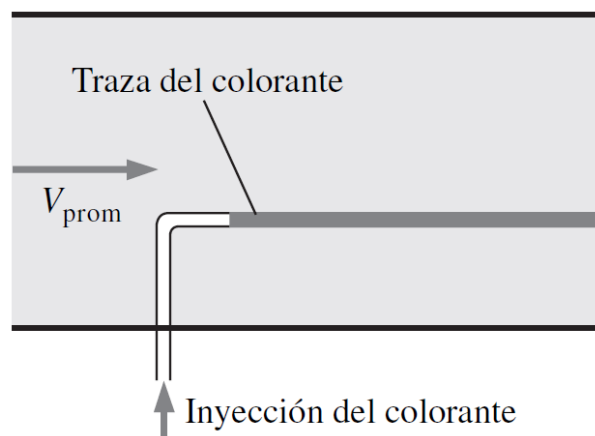


Figura 2.10: Flujo lámina
Fuente: (CENGEL & CIMBALA, 2006)

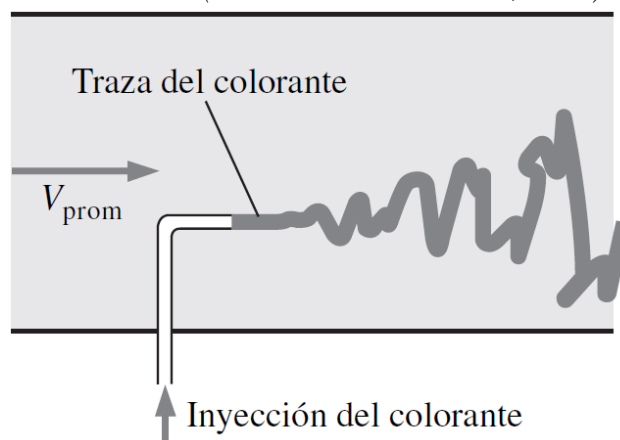


Figura 2.11: Flujo turbulento
Fuente: (CENGEL & CIMBALA, 2006)

2.7.2 Número de reynolds

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores. Después de experimentos exhaustivos en los años de 1880, Osborne Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido.

Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como.

$$Re = \frac{\text{fuerzas inerciales}}{\text{fuerzas viscosas}} = \frac{V_{prom} * D}{\nu} \quad (2.13)$$
$$= \frac{\rho * V_{prom} * D}{\mu}$$

Donde:

V_{prom} =velocidad de flujo promedio (m/s)

D= longitud característica de la geometría (diámetro en este caso, en m=metros)

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ =viscosidad cinemática del fluido (m²/s). La viscosidad cinemática tiene la unidad m²/s y se puede ver como difusividad viscosa o difusividad de cantidad de movimiento.

A números grandes de Reynolds, las fuerzas inerciales, que son proporcionales a la densidad del fluido y al cuadrado de la velocidad del fluido, son grandes en relación con las fuerzas viscosas y por lo tanto las fuerzas viscosas no pueden evitar las aleatorias y rápidas fluctuaciones del fluido. Sin embargo, a números de Reynolds pequeños o moderados, las fuerzas viscosas son lo suficientemente grandes como para suprimir dichas fluctuaciones y mantener al fluido “en línea”. Por lo tanto, el flujo es turbulento en el primer caso y laminar en el segundo.



El número de Reynolds en donde el flujo se vuelve turbulento se llama número de Reynolds crítico, Re_{cr} . El valor del número de Reynolds crítico es diferente para geometrías y condiciones de flujo distintas. Para flujo interno en una tubería circular, el valor generalmente aceptado del número de Reynolds crítico es $Re_{cr} \approx 2300$.

Para flujo a través de tuberías no-circulares, el número de Reynolds se basa en el diámetro hidráulico D_h , que se define como en la siguiente figura.

$$\text{tubo circular: } D_h = \frac{4(\pi * D^2/4)}{\pi * D} = D \quad (2.14)$$

$$\text{ducto cuadrado: } D_h = \frac{4 * a^2}{4 * a} = a \quad (2.15)$$

$$\text{ducto rectangular: } D_h = \frac{4 * a * b}{2(a + b)} = \frac{2 * a * b}{a + b} \quad (2.16)$$

El diámetro hidráulico $D_h = 4A_c / p$ se define de tal modo que se reduce a diámetro común para tubos circulares.

2.7.3 Diámetro hidráulico

Donde A_c es el área de sección transversal de la tubería y p es su perímetro húmedo. El diámetro hidráulico se define de modo que se reduce a diámetro común D para tuberías circulares:

$$D_h = \frac{4 * A_c}{P} \quad (2.17)$$

Tuberías circulares:



Es deseable tener valores precisos de números de Reynolds para flujos laminar, transicional y turbulento, pero éste no es el caso en la práctica. Es evidente que la transición de flujo laminar a turbulento también depende del grado de perturbación del flujo por la rugosidad de la superficie, las vibraciones de la tubería y las fluctuaciones en el flujo. En la mayoría de las condiciones prácticas, el flujo en una tubería circular es laminar para $Re \leq 2300$, turbulento para $Re \geq 4\ 000$, y transicional entre ellos. Es decir

$Re \leq 2300$	flujo laminar
$2300 \leq Re \leq 4000$	flujo transicional
$Re \geq 4\ 000$	flujo turbulento

En el flujo transicional, el flujo cambia entre laminar y turbulento de manera aleatoria (Fig. siguiente que se muestra). Se debe tener en mente que el flujo laminar se puede mantener en números de Reynolds mucho más altos en tuberías muy lisas cuando se evitan las perturbaciones de flujo y las vibraciones de tubería. En estos experimentos cuidadosamente controlados, el flujo laminar se ha mantenido en números de Reynolds de hasta 100 000.

En la región de flujo transicional de $2300 \leq Re \leq 4000$ el flujo cambia aleatoriamente entre laminar y turbulento.

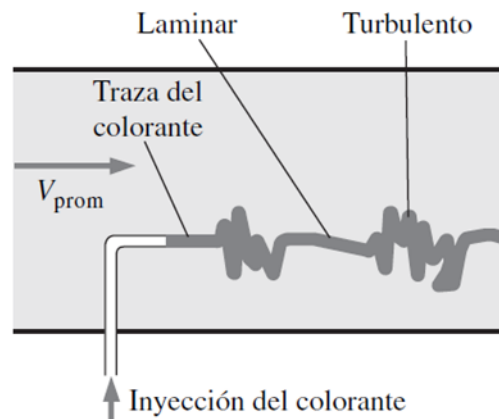


Figura 2.12: Flujo Turbulento
Fuente: (CENGEL & CIMBALA, 2006)

2.8 COTROL Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA

2.8.1 Controladores

El controlador gestiona las operaciones, analiza las entradas y optimiza constantemente el sistema para conseguir bombear y entregar la máxima cantidad de agua. Se encargan de mejorar el rendimiento de un sistema de bombeo solar, si está bien diseñado aumentan del 10 al 15% el rendimiento de la bomba. Los controles se usan con frecuencia en áreas con niveles de agua y/o condiciones atmosféricas fluctuantes. Los controles electrónicos consumen del 4 al 7% de la energía generada por el arreglo. Es común que las bombas FV se vendan junto con el controlador adecuado para operarlas eficientemente. Generalmente se usan controladores de potencia máxima (los cuales operan el arreglo cerca de su punto de potencia pico).

En este capítulo se describen los diferentes tipos de control, (manual, semiautomático y automático), así como sus ventajas y desventajas, para poder seleccionar el mejor e implementarlo en la propuesta de automatización del sistema de bombeo. Se mencionarán las características, estructuras y métodos de programación de un PLC.



Finalmente se hablará de la automatización y las ventajas en comparación con los diferentes tipos de control. (Asmat Caseres, 2018)

2.8.2 Generalidades del control

Cuando se habla de control, se está refiriendo a todo aquello capaz de gobernar, dirigir, mandar o regular un sistema incluyendo en él todas las funciones que realiza. De acuerdo a estas funciones se debe tomar en consideración que tan simple o complejo puede ser el sistema, ya que esto se define por el tipo de sistema que se va a controlar y por los componentes que lo constituyen tales como un interruptor, relevadores y controladores de tiempo. Los controladores realizan varias funciones como arranque, aceleración, regulación de velocidad, regulación de potencia, protección, inversión y parada. Esto hace que el trabajo sea más fácil y rápido, pero se debe considerar que cada una de estas funciones se lleva a cabo por medio de elementos del equipo y dispositivos utilizados para regular o manejar la máquina (en la mayoría de los casos un motor) al cual se está implementando el control; a estos elementos del equipo se les llama componentes de control, los cuales se encargan de llevar a cabo el buen funcionamiento del sistema. (Soto Romero, 2012)

2.8.3 Control manual

Es una forma de mando o regulación que se ejecuta manualmente en el lugar donde se encuentra situado el dispositivo de control, en la mayoría de los casos este debe de estar muy cerca del área de producción, por si existe una falla en la máquina, esta debe de ser detenida. De lo contrario, si está lejos y el operador se tarda en desactivar el proceso, la máquina puede sufrir daños. Este tipo de mando es muy incómodo para el operador ya que requiere de una presencia constante mientras la máquina esté operando.

El control manual es el más conocido, y se utiliza principalmente para controlar sistemas pequeños, puesto que únicamente en ellos se realiza el arranque y paro de la máquina. Se le conoce como control manual debido a que el operador debe mover un interruptor o pulsar un botón para que de esta manera se efectúe algún cambio en las condiciones del funcionamiento de la máquina o del sistema. En la Fig.2.13 se muestra cómo funciona este tipo de control, donde se puede apreciar que el operador se encuentra en el lugar donde está situado el arrancador, para hacer funcionar finalmente al motor. (Soto Romero, 2012)

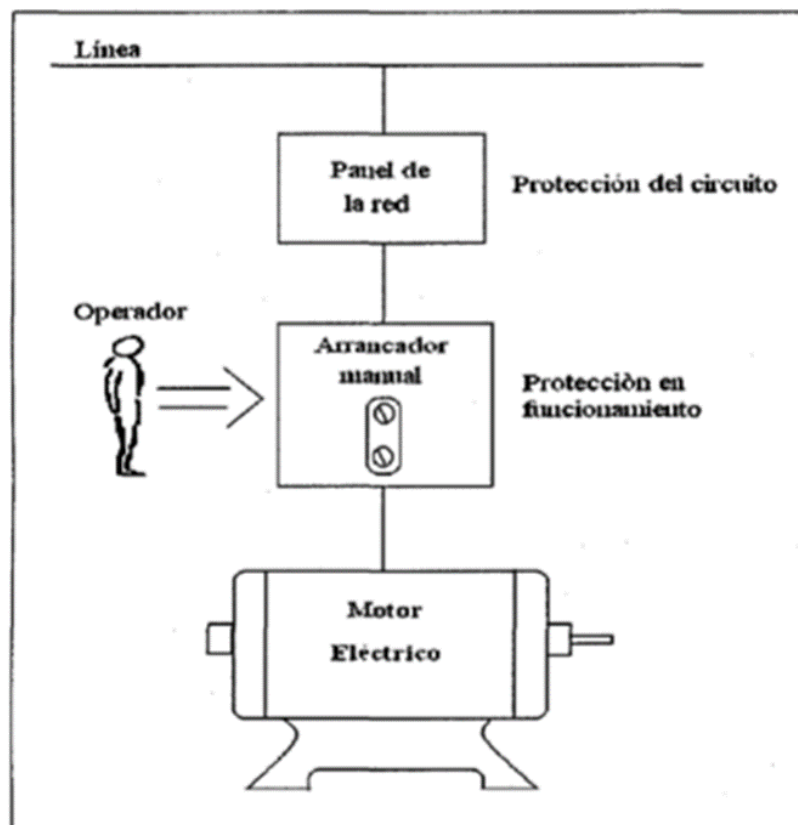


Figura 2.13: Control manual de un motor eléctrico
Fuente: (Soto Romero, 2012)

2.8.4 Control semiautomático

Este tipo de control utiliza arrancadores electromagnéticos y uno o más dispositivos pilotos manuales como por ejemplo pulsadores, interruptores de maniobra, combinadores de tambor o dispositivos análogos. Este se emplea principalmente para

facilitar las maniobras de mando y dar flexibilidad a las maniobras de control, por lo que el operador puede estar situado en un lugar conveniente para realizar los cambios que se requieran realizar en el funcionamiento; de esta manera puede estar en el lugar y en la posición más cómoda.

En la Fig.2.14 se muestra el control semiautomático en el cual el operador se localiza específicamente en donde se encuentran los pulsadores. De ahí realiza la marcha, el paro y lleva a cabo los cambios en el funcionamiento, por medio del arrancador electromagnético mismo que recibe la señal para iniciar el control.

El control semiautomático es muy utilizado en industrias de sistemas grandes, puesto que es necesario que el operador este manipulando el control no necesariamente en el lugar de producción, sino que, en un lugar cómodo, pero donde se tenga a la vista el proceso de operación de las máquinas.

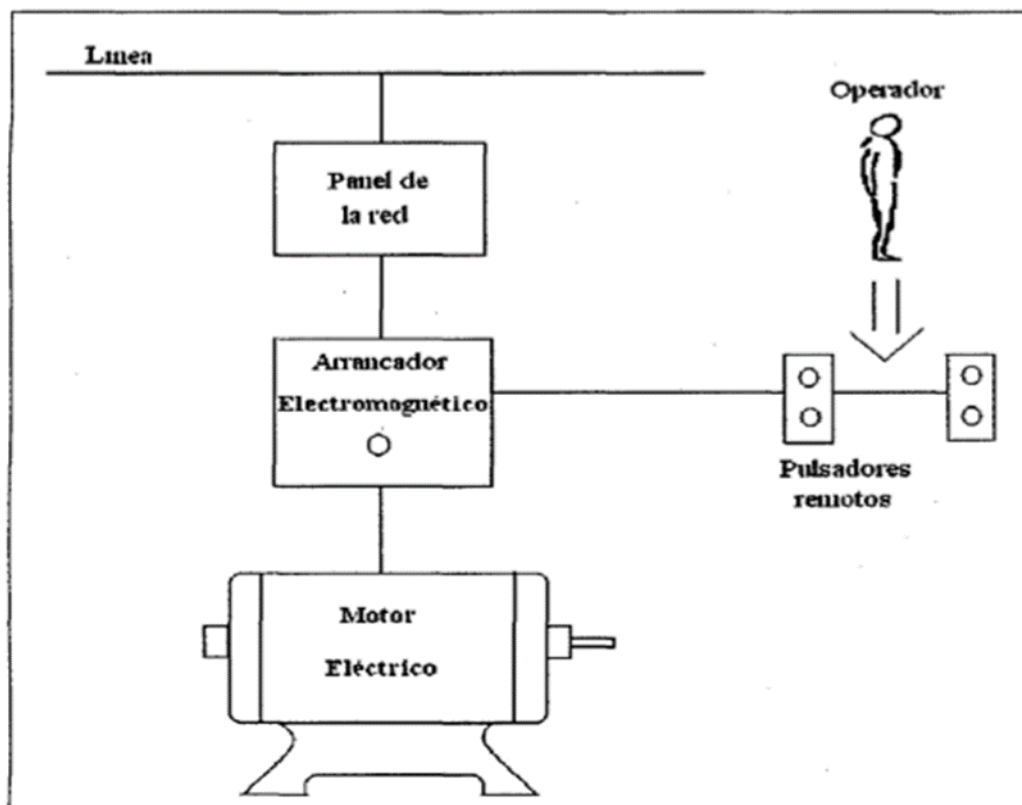


Figura 2.14: Control semiautomático de un motor eléctrico
Fuente: (Soto Romero, 2012)



Probablemente haya más máquinas manipuladas con control semiautomático que por control manual o automático, ya que existen industrias que su proceso es muy simple y no es necesario llevar a cabo el control automático, ya que sería un gasto innecesario.

2.8.5 Control automático

Está formado fundamentalmente por un arrancador electromagnético o contactar cuyas funciones están controladas por uno o más dispositivos pilotos automáticos. La orden inicial es de forma automática, pero por lo general, se realiza con control manual en un panel de pulsadores o interruptores.

De esta manera, si el circuito contiene uno o más dispositivos automáticos debe ser clasificado como control automático. En la Fig.2.15 se observa que, para poder llevar a cabo la marcha del motor, el control debe de haberse programado inicialmente por un sistema de control por lo que ahora el operador no se encuentra en el lugar. Este sistema de control hace que se accionen los pulsadores en determinado momento y automáticamente se cierre el circuito; ya cerrado el circuito permite que inicie su labor el arrancador electromagnético y de inicio el funcionamiento del motor.

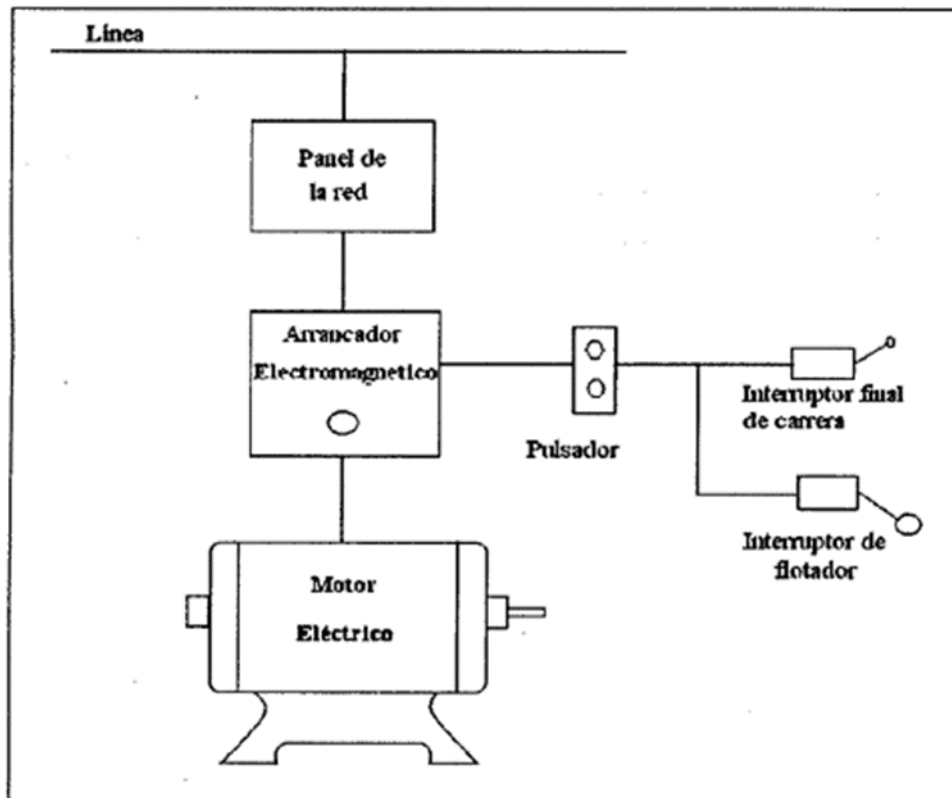


Figura 2.15: Control automático de un motor eléctrico
Fuente: (Soto Romero, 2012)

2.9 CONTROL POR PLC

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es: “Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”. El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso e incluye diversos tipos



de industrias (ej. automoción, aeroespacial, construcción, etc.), así como de maquinaria. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado. (Departamento de Ingeniería Eléctrica)

2.9.1 Ventajas.

2.9.1.1 Flexibilidad

En el pasado cada máquina controlada electromagnéticamente requería su propio controlador, ahora es posible emplear un PLC para hacer trabajar cualquier máquina, ya que bajo el control del PLC cualquier maquina puede trabajar con su programa.

2.9.1.2 Modificación de programas y corrección de errores

Con un circuito tradicional cableado, cualquier alteración a este requiere mucho tiempo debido a que para realizar este cambio es necesario volver a cablear tableros de control. Con un PLC se pueden hacer cambios fácilmente a través de la terminal de programación, no es necesario volver a cablear en su totalidad el cambio, si existe un error puede corregirse rápidamente.

2.9.1.3 Gran cantidad de contactos

Un PLC tiene un gran número de contactos para cada una de las bobinas disponibles en su programación; pensar que un panel tradicional con relevadores cableados tiene un número muy reducido de contactos, por lo que cuando es necesario



realizar un cambio en el diseño del sistema de control se requiere agregar más relevadores, esto implica que se ocupe un mayor tiempo para instalar un nuevo relevador o un bloque de contactos auxiliares.

Sin embargo, en un PLC solo se requiere programar esos contactos adicionales y automáticamente estarían disponibles; así mismo, es posible que un ciento de contactos puedan usarse para una sola bobina si existe memoria disponible en el PLC.

2.9.1.4 Menor costo

El avance tecnológico ha hecho compactar diversas funciones en equipos pequeños y cada vez más económicos. En la actualidad es posible comprar un PLC, el cual contiene relevadores, temporizadores, contadores, secuenciadores, etc., a un costo más bajo que si se comparan todos estos equipos por separado.

2.9.1.5 Pruebas preliminares

Un circuito de control programado en un PLC, puede ser pre arrancado y evaluado en la oficina o en el laboratorio, en estas condiciones el programa a ser simulado, puede ser observado y modificado si es necesario, así ahorra tiempo valioso y evita fallas costosas en el equipo de industria. La tecnología con relevadores debe ser probada en las propias plantas, lo cual puede consumir tiempo invaluable en áreas de producción.

2.9.1.6 Observación visual

La operación de un circuito programado en un PLC puede ser observado directamente en una pantalla, de esta forma pueden solucionarse los problemas más rápidamente. En sistemas de PLC's avanzados se pueden programar mensajes al operador para cada posible falla, entonces la descripción de la misma aparece en la pantalla cuando es detectada por el PLC.



2.9.1.7 Velocidad de operación

Los relevadores tradicionales pueden tomar un tiempo considerable para actuar. La velocidad de operación para ejecutar un programa en un PLC es muy rápida y está determinada por el tiempo de SCAN (búsqueda), en cuestión de milisegundos.

2.9.1.8 Método de programación Ladder o Booleano

La programación del PLC puede ser llevada a cabo en lenguaje Ladder (escalera) por cualquier técnico. Existen también PLC's que pueden ser programados en lenguaje Booleano a través de la terminal de programación.

2.9.1.9 Confiabilidad

En general los equipos de estado sólido son más confiables que los relevadores y temporizadores electromecánicos. Los PLC's están fabricados con componentes electrónicos de estado sólido con altos estándares de confiabilidad.

Sencillez para disponer de elementos de control

Un PLC es un equipo muy completo; cuando se dispone de contadores, relevadores y otros componentes de manera inmediata, así como los elementos adicionales.

2.9.1.10 Documentación

Si se requiere un circuito de control programado en un PLC, puede imprimirse en minutos, no es necesario buscar un archivo, planos y diagramas, con el PLC se imprime la información de un circuito, mostrando el estado de los componentes en un momento específico haciendo más fácil la tarea de verificación y mantenimiento.



2.9.1.11 Seguridad

Un programa en el PLC no puede ser cambiado a menos que se tenga el código de acceso al propio programa y la terminal de programación, en los tableros de control por relevadores con frecuencia se realizan cambios sin que se lleven registros.

2.9.2 Desventajas

2.9.2.1 Tecnología más nueva

Se presenta dificultad para cambiar la forma de pensar del personal técnico, a la tecnología tradicional de relevadores hacia la tecnología programada por PLC.

2.9.2.2 Aplicación en programas fijos

Un PLC tiene múltiples elementos que pueden adecuarse a diversos programas. Si el circuito de control es pequeño y prácticamente no tendrá cambios, es posible que un PLC no sea necesario; además los relevadores tradicionales serian menos costosos, el PLC.

2.9.2.3 Consideraciones ambientales

Ciertos procesos donde se trabaja a temperaturas altas y grandes vibraciones, interfieren con los equipos electrónicos en los PLC's lo que hace limitado su uso. (Gamarra Ventocilla, 2012)

2.10 ESTRUCTURA DE UN PLC.

Para poder estudiar la estructura de un PLC es necesario dividirlo en dos tipos (estructuras externas y estructura interna) las cuales se mencionan a continuación, con sus deferentes elementos que las componen.



2.10.1 Estructura externa

Se refiere a la configuración externa de un PLC o aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido, desde el surgimiento y hasta la actualidad han sido varias las estructuras y configuraciones que han salido al mercado condicionadas por el fabricante y el lugar donde fueron construidas.

Actualmente son dos las estructuras más importantes que existen en el mercado:

2.10.2 Estructura compacta

Este tipo de PLC se distingue por representar en un solo bloque todos sus elementos, estos son fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc.; por ejemplo, los PLC's de gama baja son los que suelen tener una estructura compacta, su potencia de proceso suele ser muy limitada dedicándose a controlar maquinas muy pequeñas o cuadros de mando.

2.10.3 Estructura modular

Su característica principal es que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el PLC como puede ser una fuente de alimentación, CPU, o E/S, la sujeción de los mismos se hace por carril DIN, placa perforada o sobre RACK, en donde va alojado el BUS externo de unión de los distintos módulos que lo componen.

Son los PLC's de gama altas los que suelen tener una estructura modular, que permiten una gran flexibilidad en su constitución, cabe mencionar que esta estructura se puede dividir en dos tipos, de acuerdo a su lugar de origen (americana y europea).

2.10.4 Estructura interna

Se refiere al conjunto de elementos internos que componen al PLC, el cual está constituido por diferentes elementos, pero tres son básicos:

- a) CPU



b) Entradas

c) Salidas

CPU

La CPU (unidad Central de Proceso) es la parte inteligente del sistema, interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas, dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas. La CPU está constituida por los siguientes elementos:

a) Procesador

b) Memoria monitor del sistema

c) Circuitos auxiliares

2.10.5 Funciones básicas del CPU

a) Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no exceda de un determinado tiempo máximo.

b) Ejecutar el programa usuario

c) Crear una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.

d) Renovar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas, obtenida al final del ciclo de ejecución del programa usuario.

e) Chequeo del sistema.



ENTRADAS

La sección de entradas mediante el interfaz, adapta y codifica de forma compresible por el CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o detectores.

Hay dos tipos de entradas:

- a) Entradas digitales
- b) Entradas analógicas

Salidas digitales. Un módulo de salida digital permite al PLC actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admiten ordenes de tipo todo o nada. El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relevador interno del PLC.

Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión. En cambio, los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas.

Salidas analógicas. Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del PLC se convierta en tensión o intensidad, lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el PLC solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para accionadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de

los tiristores de los hornos y reguladores de temperatura. Permitiendo al PLC realizar funciones de regulación y control de procesos continuos.

Las señales analógicas sufren un gran proceso de adaptación tanto en los módulos de entrada como en los módulos de salida. Las funciones de conversión A/D y D/A que realiza son esenciales, por ello los módulos de E/S analógicos se les consideran, módulos de E/S especial. (Soto Romero, 2012)

2.11 CONTROL DE LAZO ABIERTO.

Es decir, en un sistema de control de lazo abierto la salida ni se mide ni se realimenta para compararla con la entrada. Los sistemas de control de lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la señal o acción de control. La Fig. 2.16 muestra la forma de cómo se implementa un sistema de control de este tipo.



Figura 2.16: Sistema de control de lazo abierto
Fuente: (Perez, Perez Hidalgo, & Perez Berenguer, 2007)

Los elementos de un sistema de control en lazo abierto, se pueden dividir en dos partes: el controlador, y el proceso controlado. Una señal de entrada o comando se aplica al controlador, cuya salida actúa como una señal de control o señal actuante, la cual regula el proceso controlado, de tal forma que la variable de salida o variable controlada se desempeñe de acuerdo a ciertas especificaciones o estándares establecidos. En los casos simples, el controlador puede ser un amplificador, filtro, unión mecánica u otro elemento de control. En los casos más complejos puede ser una computadora tal como un microprocesador.

En los sistemas de control de lazo abierto, no se compara la salida con la entrada de referencia. Por lo tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fijada. (Perez, Perez Hidalgo, & Perez Berenguer, 2007)

2.11.1 Sistemas de control de lazo cerrado

En los sistemas de control de lazo cerrado, la salida o señal controlada, debe ser realimentada y comparada con la entrada de referencia, y se debe enviar una señal actuante o acción de control, proporcional a la diferencia entre la entrada y la salida a través del sistema, para disminuir el error y corregir la salida.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control. Esto es, los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas de control realimentados. La diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida se la denomina señal de error del sistema; esta señal es la que actúa sobre el sistema de modo de llevar la salida a un valor deseado. En otras palabras, el término lazo cerrado implica el uso de acción de realimentación negativa para reducir el error del sistema. La Fig. 2.17 muestra la relación entrada-salida de un sistema de control de lazo cerrado.

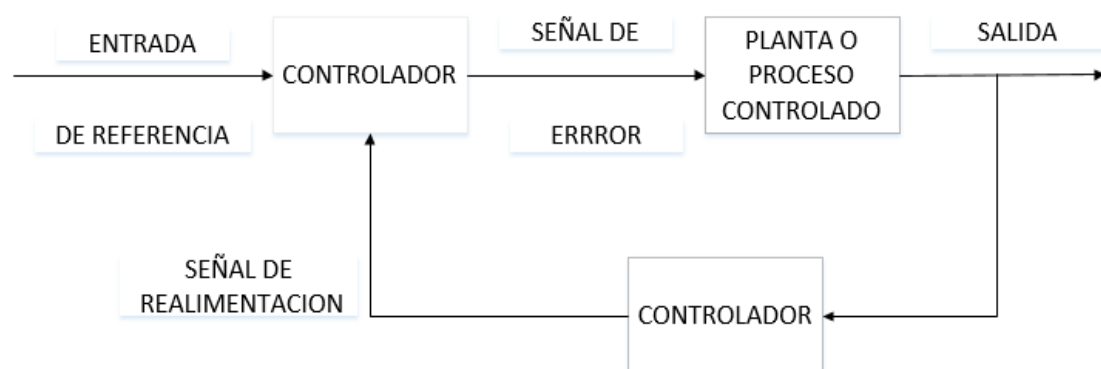


Figura 2.17 Sistema de control de lazo cerrado.
Fuente: (Perez, Perez Hidalgo, & Perez Berenguer, 2007)

2.12 CONTROLADORES DIFUSOS (FUZZY)

Se entiende por lógica difusa la forma de representar matemáticamente, razonamientos e ideas imprecisas o aproximadas. Se basa en relaciones de entrada-salida representadas en un compendio de reglas difusas, que son expresiones lingüísticas que asocian una causa con un efecto. Su versatilidad la ha hecho apta para la solución de problemas de seguimiento de referencia en ingeniería de control, donde ha mejorado el desempeño de controladores para sistemas no necesariamente lineales e invariantes en el tiempo. En su teoría, se estudian distintos esquemas de control en los cuales la lógica difusa desempeña un papel determinante en su condición de control adaptivo. También, la capacidad que tienen los sistemas de inferencia difusa (SID) para la identificación de sistemas dinámicos, aporta soluciones a esquemas de control que contemplan modelos de referencia. Así, las técnicas de lógica difusa en ingeniería de control han sido una alternativa exitosa en los esfuerzos dirigidos a mejorar el rendimiento de sistemas de control ante no linealidades, variabilidad de parámetros y situaciones en las cuales la información del proceso a controlar es impreciso o poco conocido. (Suárez, 2017)

El control difuso, puede ser expresado mejor como un control a través de palabras que interpretan el sentido común, en lugar de números, o bien sentencias en lugar de ecuaciones. Sin embargo, las variables de los procesos no se miden en sentido común, sino en números. Por lo tanto, se hace necesario realizar una adaptación previa antes de introducir el estado de la variable al controlador. Esta etapa es llamada fusificación. En la figura 2-18, se aprecian las distintas transformaciones que sufren las variables y los datos en un lazo de lazo de control difuso. Fuente: (Kouro R. & Musalem M., 2002)

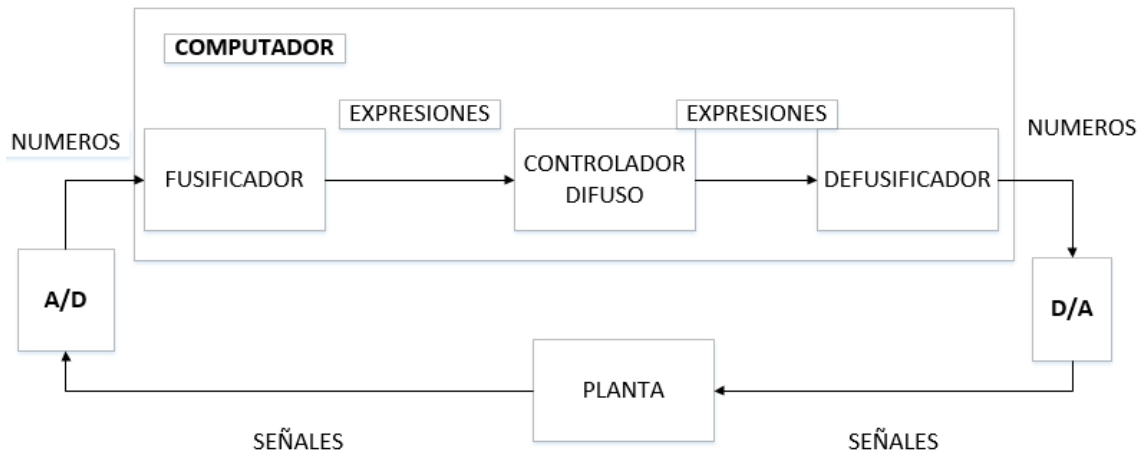


Figura 2.18: Lazo de control difuso
Fuente: (Kouro R. & Musalem M., 2002)

León explica que los controladores Fuzzy se definen como varios elementos por medio de un mismo conjunto de reglas, las cuales pueden combinarse con el lenguaje IF-THEN, que mediante el concepto lingüístico conlleva a una cuantificación de varios controladores difusos.

En cuanto a las aplicaciones industriales las reglas de este tipo de controladores llevan a ser procesados difusamente su dicha información ingresada.

Existen dos tipos de controladores difusos que son usados normalmente en aplicaciones o procesos industriales la cuales son:

Controladores fuzzy de takagi-sugeno: Se procesan con valores reales de acuerdo a sus entradas o salidas que contenga el proceso en sí.

Controladores fuzzy de mandani: Se procesa que a la entrada lleva un fusificador y a su salida dispone de un defusificador. (Leon Perez, 2014)

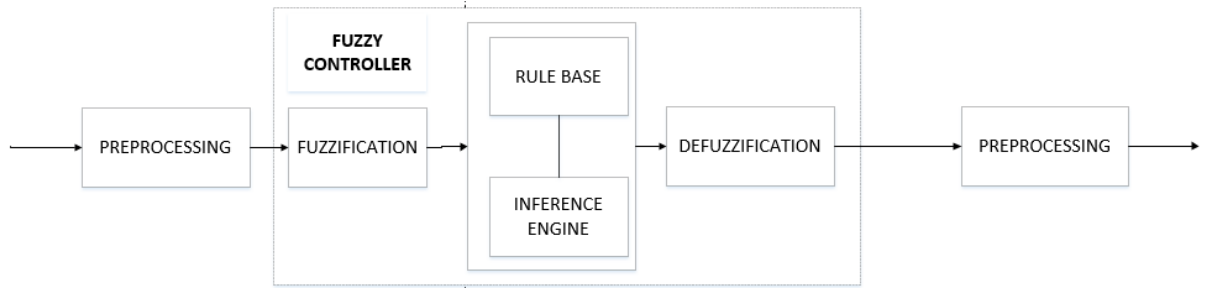


Figura 2.19: Controlador FUZZY

Fuente: (Leon Perez, 2014)

2.13 CONTROLADOR PID

Es un tipo de controladores proporcional, integral y derivativo, en donde normalmente son aplicados a mecanismo de retroalimentación a lazo cerrado muy usados para aplicaciones industriales. Internamente en algún proceso industrial el control PID actúa de forma en el que se introduce un error calculado en base a la salida requerida menos la salida a obtenerse y ese resultado de la salida es utilizado como la entrada al proceso que se requiere ejecutar. En el siguiente esquema se observa la implementación del controlador PID sobre un proceso. (Constante Martinez & Calle Rodas, 2018)

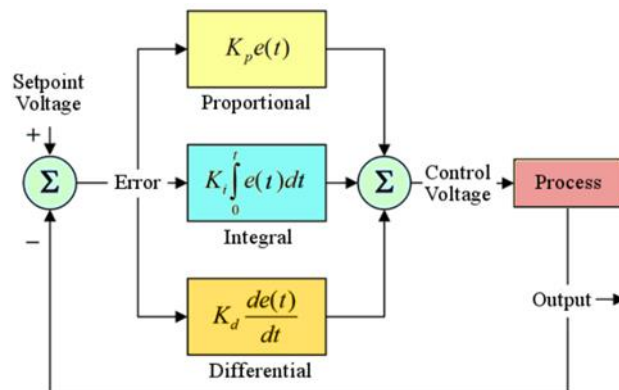


Figura 2.20: Controladores PID

Fuente: (Constante Martinez & Calle Rodas, 2018)

Según Mazzone, Este tipo de controladores PID también tienen varias estructuras de manejo por la cual se describen de la siguiente manera:



Proporcional: Se basa en que es totalmente proporcional al error en cuanto al proceso industrial. Integral: Se basa en que es totalmente proporcional al error que se va acumulando en un proceso industrial.

Proporcional e integral: En conjunto de los dos controladores, es una forma usualmente sencilla de usarse en proceso de industrias.

Proporcional y derivativa: Incluyendo la parte Derivativa genera que la acción del control sea más rápida en el proceso.

Proporcional, integral y derivativa: Permite que cierto control industrial muestre las ventajas de las anteriores descritas. Mazzone indica que los tipos de estructura de estos controladores P, I, PI, PD y PID son muy simples ya que por ello también crea cierta debilidad en el proceso, dándole así limitaciones en cuanto a los rangos de aplicaciones donde se puede llegar a controlar. (Virginia, 2002)

2.14 CONTROLADORES PROPORCIONAL INTEGRATIVOS (PI)

El error en estado estable de un sistema de control puede ser mejorado directamente, colocando un polo en el origen en el camino de transferencia directa (an open-loop pole at the origin), debido a que esto eleva el número de tipo del sistema. Pero generalmente interesa lograr esta reducción sin modificar la respuesta transitoria de dicho sistema.

Por ejemplo, un sistema de tipo 0, que responde a una entrada escalón unitario con un error finito, al ser elevado a sistema tipo 1, responderá a la misma entrada con un error en estado estable igual a cero.

Sin embargo, si añadimos un polo en el origen para incrementar el valor del tipo de sistema, de cero a uno, por ejemplo, la contribución angular de los polos a lazo abierto

en un punto hipotético A no será de 180, y así el punto A no estará en el LGR (no intercepta el LGR) del sistema compensado (es decir, se modificará notablemente la respuesta transitoria del sistema), como se puede observar en las. (Obando, s.f., pág. 1)

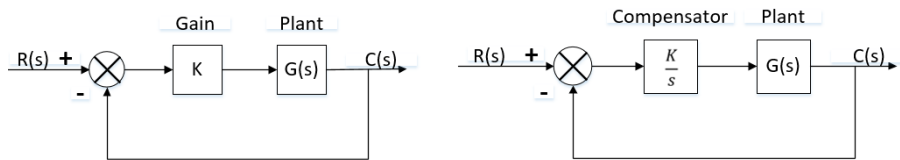


Figura 2.21: Controladores proporcional integrativos (PI)

Fuente: (Obando, s.f.)

2.15 MATLAB

Es un software de gran nivel en donde podemos generar programas con algoritmos teniendo la posibilidad de visualizar dentro de su estudio datos técnicos que podemos calcular, usa programaciones de lenguajes como los de C++ y Fortran. Este software posee una gran variedad de aplicaciones internas como lograr algún proceso de señales, lograr también el diseño mediante sistemas de control, modelado matemáticos, y en cuanto a las telecomunicaciones también puede generar procesos de señales en comunicaciones, como de la misma forma puede ser usada para ámbitos de administrativos. Matlab logra enlazar los códigos de programación con otros tipos de lenguajes para poder ser distribuidos con otras aplicaciones que se desarrolló con este software. (Constante Martinez & Calle Rodas, 2018)

2.15.1 Modelado de un panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico o concepto PV aparece por la necesidad de adecuar los modelos de tensión y corriente del generador fotovoltaico a los requerimientos del sistema eléctrico al cual alimenta. Por ejemplo, cuando conectamos en serie las células solares aumentamos la tensión que es capaz de suministrar el panel; en cambio, si la conexión se



hace en paralelo, se aumenta la corriente. En una conexión mixta se aumenta tanto la tensión como la corriente suministrada. (Jiménez Ortiz, 2009)

Las siguientes expresiones reflejan el concepto de PV para las agrupaciones de paneles comentadas. Como se comprobará posteriormente, el concepto de PV que aparece en células solares es igualmente aplicable en paneles fotovoltaicos:

En serie:

$$V_{pt} = \sum_{i=1}^{N_s} V_{pi} \quad (2.18)$$

$$I_{pt} = I_{pi} \quad (2.19)$$

En paralelo:

$$V_{pt} = V_{pi} \quad (2.20)$$

$$I_{pt} = \sum_{i=1}^{N_p} I_{pi} \quad (2.21)$$

Las agrupaciones de células idénticas se formulan como:

En serie:

$$V_{pt} = N_s * V_{pi} \quad (2.22)$$

$$I_{pt} = I_{pi} \quad (2.23)$$

En paralelo:

$$I_{pt} = N_p * I_{pi} \quad (2.24)$$

$$V_{pt} = V_{pi} \quad (2.25)$$

2.15.2 Modelado de un conjunto de paneles fotovoltaicos.

En los sistemas fotovoltaicos habitualmente es necesario más de un panel solar para satisfacer las demandas energéticas del conjunto, por lo que se requiere la asociación de un conjunto de módulos fotovoltaicos. Esta disposición, de manera similar a como se ha estudiado en el apartado anterior, suele ser en serie y paralelo. (Jiménez Ortiz, 2009)

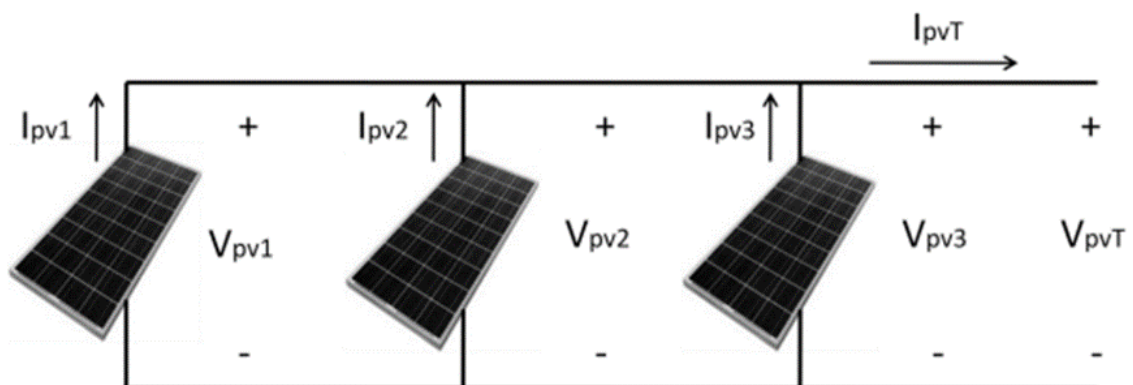


Figura 2.22: Asociación de paneles fotovoltaicos en paralelo
Fuente: (Jiménez Ortiz, 2009)

En paralelo:

$$I_{pvt} = \sum_{i=1}^{Np} I_{pi} \quad (2.26)$$

$$= I_{pv1} + I_{pv2} + I_{pv3}$$

$$V_{pvt} = V_{pv1} = V_{pv2} = V_{pv3} \quad (2.27)$$

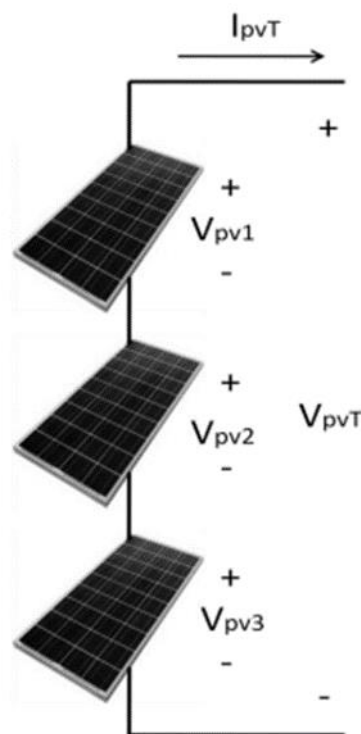


Figura 2.23: Asociación de paneles fotovoltaicos en serie

Fuente: (Jiménez Ortiz, 2009)

En serie:

$$V_{pt} = \sum_{i=1}^{Ns} V_{pi} = V_{pv1} + V_{pv2} + V_{pv3} \quad (2.28)$$

$$I_{pt} = I_{pv1} = I_{pv2} = I_{pv3} \quad (2.29)$$



2.16 AUTOMATIZACIÓN

Se entiende por automatización de la implementación de un dispositivo tecnológico, a una maquina o proceso, el cual se encarga de controlar su funcionamiento. Este nuevo sistema (sistema automatizado), es capaz de reaccionar ante las diferentes situaciones que se pueden presentar y tomar decisiones por sí solo.

La automatización de los procesos industriales es uno de los objetivos más importantes de las empresas en la siempre incesante tarea de la búsqueda de la competitividad en un entorno cambiante y agresivo. La automatización de un proceso industrial, (maquina, conjunto o equipo industrial) consiste en la incorporación al mismo, de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento. La automatización en general debe ser capaz de reaccionar frente a las situaciones previstas de antemano y además frente a imponderables, además tiene como objetivo situar al proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más favorable.

La automatización industrial (automatización; del griego antiguo auto: guiado por uno mismo) es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos. La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar, controlar las operaciones de plantas o procesos industriales. La automatización industrial es una de las herramientas que están adoptando todas las empresas para poder mejorar su productividad tanto en la ejecución de sus tareas como en la producción de servicios de una manera más exacta; reduciendo al máximo las pérdidas de producción. La automatización industrial



es una semi automatización que asocia producción automática y producción manual. (Ordenador y Operador), en una proporción variable que indica el grado de automatización alcanzado en el sector



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA

El presente proyecto de tesis tiene como fines de investigación (experimental en el laboratorio de EPIME), pues los datos tomados son del laboratorio para comprobar la teoría y la práctica. De dicha investigación de nuestro proyecto.

Los resultados y las conclusiones serán obtenidos del laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

3.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL

El estudio experimental está caracterizado por la manipulación artificial del factor de estudio por el investigador (control de variables) con el propósito de precisar la relación causa-efecto.

3.2.1 Ubicación y descripción de la zona de estudio

El lugar de estudio con el prototipo experimental, se desarrolló en la ciudad universitaria UNA-PUNO, laboratorio de EPIME.

Departamento : puno

Provincia : puno

Distrito : puno

Coordenadas geográficas

Latitud : 158243221” Sur

Longitud : 700187347” 3910 m.s.n.m



Condiciones climatológicas SENAMHI: Temperatura Mínima: 3.5 – 5.1 °C

Temperatura Máxima: 15.4 -18.5 °C

3.2.2 Unidad de análisis de la investigación

Dicha investigación se realiza en laboratorio de EPIME, ubicado en la ciudad universitaria UNA – PUNO.

3.3 MÉTODO DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.

Para nuestro proyecto de investigación hemos realizado los siguientes procedimientos.

Recolección de información referente a nuestro tema de investigación como (artículos, revistas, tesis). En los sitios webs como en Google académico, Alicia concytec etc.

Diseño del prototipo

Adquisición de materiales y equipos para nuestro prototipo.

Enseguida se realiza el Montaje de nuestro prototipo para el estudio.

Realizamos pruebas en nuestro prototipo y obtenemos resultados prácticos.

Comparamos resultados prácticos y teóricos para nuestras conclusiones.

3.4 TIPO, TÉCNICAS, E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.4.1 Tipo de investigación

Nuestra investigación está desarrollada tipo experimentalmente y descriptiva.

3.4.2 Técnicas e instrumentos de investigación

La técnica que utilizaremos en nuestro proyecto de investigación será en el laboratorio de EPIME. Las pruebas y ensayos que se requiere para nuestro proyecto de investigación. Los instrumentos de investigación serán de (artículos, revistas y manual de laboratorios) referente a nuestro tema de investigación.

3.5 EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

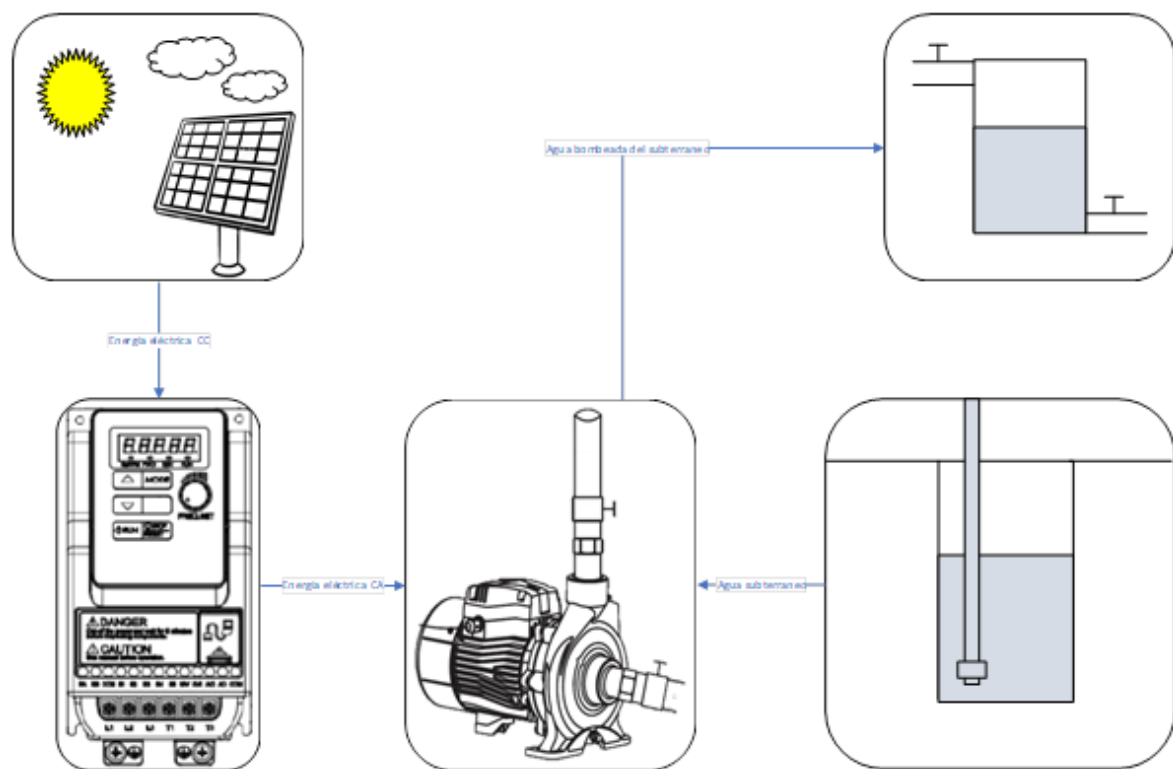


Figura 3.1: Diagrama De Instalación
Elaborado por el equipo de trabajo

El funcionamiento de nuestro prototipo será de la captación de energía solar (radiación) al máximo con paneles solares, transformando la energía del sol a energía eléctrica con un variador de frecuencia. Para luego alimentar a un motor eléctrico y luego bombear agua hasta cierta altura del subsuelo, ríos y lagos etc. Para luego distribuir de acuerdo a la gravedad el agua a lo conveniente de cada usuario agua potable, riego etc.



Materiales y equipos

MATERIALES

Para el bombeo solar los materiales que se usaran son:

Paneles solares

Variador de frecuencia

Electrobomba

Interruptores termomagnéticos

Interruptores diferenciales

Cables

Tuberías

Contenedor de agua

Válvulas

3.5.1.1 Paneles solares

Los paneles solares deprecian la radiación solar para luego convertirlo en energía eléctrica que transmiten corriente continua.

Características:

Modelo

Potencia máxima (Pmax)

Voltaje nominal (Vmp)

Corriente nominal (Imp)

Voltaje en circuito abierto (V_{oc})

Corto circuito de corriente (I_{sc})

Voltaje máximo del sistema

Condición de prueba

Item No.	TEC105S-55
TYPE	Mono
Peak Power(P_{max})	55W
Peak Circuit Voltage(V_{oc})	21.5V
Max. Power Voltage(V_{mp})	17.2V
Short Circuit Current(I_{sc})	3.52A
Max.power Current(I_{mp})	3.20A
Power Tolerance Range	$\pm 5\%$
Maximum System Voltage	600V
Temperature Range	$-40 \sim +80^{\circ}\text{C}$
Standard Testing Condition	AM1.5, 1000W/m ² , 25 ^o C

⚠ WARNING-ELECTRICAL SHOCK HAZARD
This photovoltaic Module produces electricity when exposed to light. Follow all applicable electrical safety precautions.

UL IEC CE SGS TÜV SAAR IEC 61215 IEC 61739 Japa

Figura 3.2: Características del panel solar
Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.1.2 Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad de un motor eléctrico.

Características

Variador de frecuencia Siemens SINAMICS V20 - Entrada monofásica con filtro.

SINAMICS V20 es un variador de frecuencia económico, fiable y fácil de usar para aplicaciones básicas.

- Alimentación Monofásica 240 V



- Con filtro Clase A
- Potencia 1,5 Kw
- Intensidad asignada 7,8 A
- Frecuencia de pulsación 2 kHz
- Frecuencia de salida 0...550 Hz
- Comunicación RTU USS y MODBUS
- Dimensiones: 140X160X165(HXWXD)

Funciones de ahorro:

- Modo ECO para V/f y V2/f
- Hibernación.
- Conexión bus DC para reutilización de Energía.

Fácil de usar:

- Copia de parámetros sin fuente de alimentación.
- Macros de conexión y aplicaciones integradas.
- Keep running mode para el funcionamiento ininterrumpido del convertidor.
- Bombas centrifugas
- Ventiladores radiales/axiales
- Compresores
- Cintas transportadoras
- Transportador de rodillos
- Transportadores de cadena

Accionamiento sencillo para molinos, mezcladoras, amasadoras, trituradoras, agitadores, centrifugas, máquinas de hilar, trenzar, máquinas para textiles, cuerdas y alambres.



Figura 3.3: Variador de frecuencia Siemens SINAMICS V20
Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.1.3 Electrobomba

Electrobomba centrífuga son de tipo de bombas hidráulicas con un rodete extremadamente silencioso, perfecta para aplicaciones domésticas, civiles e industriales. Cuenta con una curva extremadamente plana; garantiza presiones casi constantes cuando varía el caudal.



Figura 3.4: Características principales de la electrobomba de 0.5 Hp.
Elaborado por el equipo de trabajo

Tipo de Producto	:	Electrobomba
Modelo	:	Centrifuga
Potencia HP	:	0.5 HP o 372.85 vatios
Voltaje	:	220 V
Caudal máximo	:	40 l/min
Altura máxima	:	35 m
Diámetro de distribución	:	1 " pulgada
Altura máxima de succión	:	9 m
Diámetro de succión	:	1 " pulgadas



Potencia máxima	:	550 vatios
Frecuencia	:	60 Hz
Material	:	Metal

3.5.1.4 Interruptor termomagnético

El interruptor termomagnético lo que hacer es interrumpir el paso de la corriente cuando detecta que esta sobrepasa ciertos límites. Es por esto que un interruptor termomagnético sirve para proteger un circuito eléctrico de sobrecargas y cortocircuitos.

Tipo de dispositivo	Interruptor termomagnético, Monofásico, Tipo AC
Código	ALF6K
Número de polos	1, 2 y 3 polos
Grado de protección	IP 20
Tensión nominal	220 / 400VAC
Capacidad de ruptura	6K
Amperaje	10, 16 Amp.
Instalación	Montable en riel DIN 35mm



Figura 3.5: Interruptor termomagnético, monofásico, Tipo AC
Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.1.5 Interruptor diferencial

los interruptores diferenciales son encargados de proteger a las personas para que no sufran una descarga eléctrica.

Características

Tipo de dispositivo:	Interruptor diferencial, Monofásico, Tipo AC
Corriente diferencial asignada:	30 mA
Corriente nominal:	25 A
Número de polos:	2
Poder de cierre en cortocircuito nominal:	10000 A
Voltaje nominal:	230 V AC / 50 Hz
Tipo de conectores:	terminales de tornillo

Carcasa:	Plástico, montaje en el carril DIN, TS-35
Anchura en módulos de 17.5 mm:	2
Peso:	0.186 kg
Dimensiones:	36 x 83 x 75 mm
Fabricante / Marca:	LEGRAND
Garantía:	2 años



Figura 3.6: Interruptor diferencial, Monofásico, Tipo AC
Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.1.6 Cables

Características Resistente a la humedad, químicos y grasas

Marca	Indeco
Material	Cable de cobre blando con aislación de PVC



Calibre	12 AWG
Medidas	100 m
Temperatura de operación	90 °C
Color	Azul
Tipo	Cables THW
Categoría	Cables
Familia	Electricidad

Uso

Ideal para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales

Recomendaciones

Evite que se dañen los conductores eléctricos porque acortan la vida útil

Observaciones

El precio del producto equivale al metro lineal del mismo a menos que la descripción o atributos del producto indiquen lo contrario.

3.5.1.7 Tubería PVC

Una tubería es un sistema que se desarrolla con tubos por donde puede circular agua u otras sustancias. Un tubo, en tanto, es un cilindro hueco que suele utilizarse para el transporte o el almacenamiento de fluidos, para nuestro proyecto usaremos tubería PVC de 1” pulg de longitud 5m metros.

Características de la tubería

Marca	:	Econoplast
Material	:	PVC
Color	:	gris
Mediada	:	1" x 5m
Usos	:	agua fría
Garantía	:	5 años

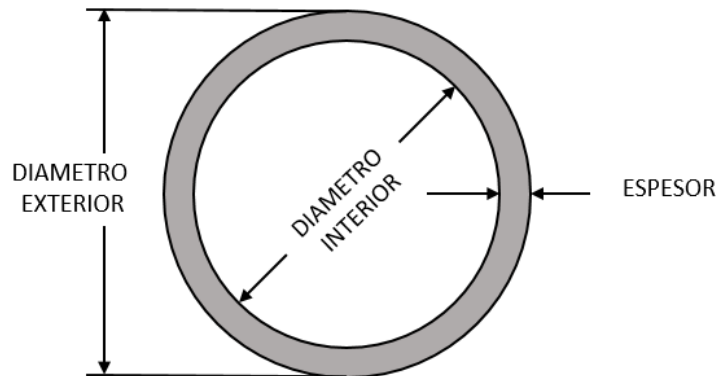


Figura 3.7: Dimensiones de la tubería de 1 pulgada.
Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.1.8 CONTENEDOR DE AGUA

El Contenedor agua es un artículo que nos servirá de gran ayuda para almacenar agua. Está provisto de una válvula regulable para que puedas servir la cantidad de agua necesaria.

Una de las principales características de este contenedor es de 20 litros de capacidad de almacenamiento, dado que se podrá llenar, el peso se distribuye de manera uniforme por todo su interior.

- nombre del producto : plastic drum
- marca : LLPC



- color : azul
- peso : 9.5kg
- espesor : 3-5 mm
- altura
- diámetro



Figura 3.8: Contenedor De Agua
Elaborado por el equipo de trabajo



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO DEL MODULO

En este capítulo se describe el módulo de sistema de bombeo solar con acoplamiento directo para pruebas con controladores PI Y FUZZY en el laboratorio de control y automatización, el que permite controlar el bombeo solar de agua utilizando un PLC programable y variador de frecuencia. La implementación está diseñada con fines académicos para el área de energías renovables y control y automatización de la EPIME.

Las consideraciones que se tomaron en cuenta para el diseño del módulo son:

- Seguridad
- Maniobrabilidad
- Adaptabilidad
- Controlabilidad

4.2 POTENCIAL SOLAR

Para determinar la influencia de la radiación solar, se crea el módulo de monitoreo en tiempo real, en los cuales se muestran la radiación solar y la eficiencia del módulo de monitoreo, teniendo la tabla se podrá observar cómo es la variación radiación solar.

La evaluación del potencial solar se realizó por medio de un medidor digital de energía solar a través del PLC y TIA PORTAL V15 el cual se hizo es escalamiento, el cual mide la irradiancia. Con el fin de obtener datos que aporten al presente trabajo, se realizaron mediciones de irradiancia cada 30 minutos, desde las 6 a.m. hasta las 5p.m

durante cinco días seguidos; la totalidad de los valores obtenidos se pueden apreciar en la tabla N° 4 .1. (Choque Arce & Ramos Huanacuni, 2018)

Tabla 4.1: Irradiancia medida en el laboratorio de la EPIME en los diferentes días.

ITEM	HORA	01/06/2018	02/06/2018	03/06/2018	04/06/2018	05/06/2018
		IRRADIANCIA SOLAR (W/m ²)	IRRADIANCIA SOLAR (W/m ²)	IRRADIANCIA SOLAR (W/m ²)	IRRADIANCIA SOLAR (W/m ²)	IRRADIANCIA SOLAR (W/m ²)
1	06:00	180	183	187	186	191
2	06:30	450	453	457	456	461
3	07:00	610	613	617	616	621
4	07:30	796	799	803	802	807
5	08:00	865	868	872	871	876
6	08:30	901	904	908	907	912
7	09:00	925	928	932	931	936
8	09:30	950	953	957	956	961
9	10:00	999	1002	1006	1005	1010
10	10:30	1001	1004	1008	1007	1012
11	11:00	1011	1014	1018	1017	1022
12	11:30	1009	1012	1016	1015	1020
13	12:00	1010	1013	1017	1016	1021
14	12:30	1018	1021	1025	1024	1029
15	13:00	1015	1018	1022	1021	1026
16	13:30	1020	1023	1027	1026	1031
17	14:00	1010	1013	1017	1016	1021
18	14:30	1000	1003	1007	1006	1011
19	15:00	960	963	967	966	971
20	15:30	903	906	910	909	914
21	16:00	786	789	793	792	797
22	16:30	740	743	747	746	751

Fuente: (Choque Arce & Ramos Huanacuni, 2018)

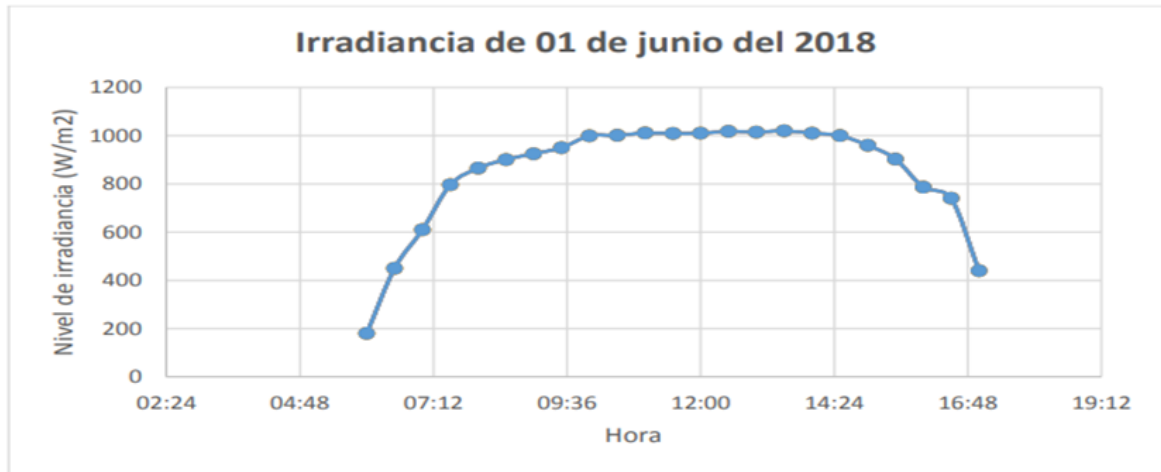


Figura 4.1: Irradiancia

Fuente: (Choque Arce & Ramos Huanacuni, 2018)

El área bajo la curva se calculó mediante el método de trapecios, cuya expresión es la siguiente:

$$Irradiación = \sum (Irradiación_i + Irradiación_{i+1} / 2) (t_{i+1} - t_i) \quad (4.1)$$

Se realizó un promedio de estos con el fin de realizar el cálculo de la hora solar pico obtenidas en los días medidos, dato que servirá de comparación con los obtenidos de otras fuentes, pero que no se tendrá como criterio de diseño, ya que son muy pocos los días en los que se midió irradiancia.

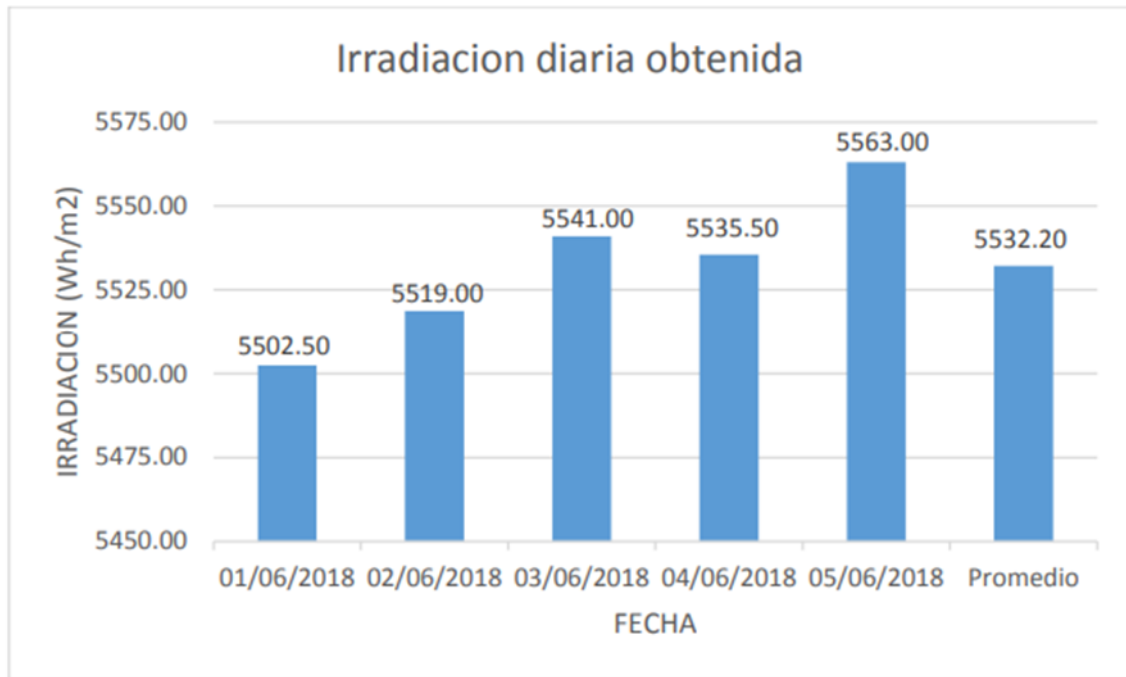


Figura 4.2: Valores de irradiación obtenidos a partir de la irradiancia diaria
Fuente: (Choque Arce & Ramos Huanacuni, 2018)

Como se puede observar en la gráfica anterior, el valor de la irradiación es 5532.20 Wh/m², por lo tanto, el número de horas pico solar es 5.53 ya que como se vio anteriormente, las horas pico solar se obtienen dividiendo el valor de la irradiación diaria por 1000 Wh/m², que es el criterio estándar bajo el cual se dan las características técnicas de los paneles, después de realizar las mediciones necesarias.

4.3 RADIACIÓN SOLAR EN PUNO SEGÚN EL MAPA DEL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE PERÚ.

Para obtener valores de irradiación en Puno en los mapas del atlas, es necesario que, en primer lugar, se localice el distrito en el mapa, lo cual se realizó mediante comparación de uno de los mapas de Puno que incluye la división política y la ubicación, se encontró que la irradiación promedio multianual es de aproximadamente 5.21 kWh/m². El procedimiento descrito anteriormente se muestra en la figura N° 4.3.

Los datos obtenidos para el departamento de Puno fueron los siguientes:



Tabla 4.2 : Valores de radiación en todos los meses del año

Mes	irradiación [kwh/m2]
Enero	5.25
Febrero	6.25
Marzo	6.25
Abril	5.25
Mayo	5.75
Junio	4.75
Julio	4.75
Agosto	4.75
Septiembre	5.75
Octubre	5.75
Noviembre	6.25
Diciembre	4.75
Promedio	5.46

Fuente: Atlas solar del Perú, Senamhi.

4.4 MEMORIA DE CÁLCULOS.

4.4.1 Cálculo de numero de módulos para conectar en serie por string

Para saber el número óptimo de módulos a conectar en serie tendremos que saber cuál es el rango de tensiones en el que nuestro equipo trabaja sacando el máximo partido del generador fotovoltaico. Es lo que se conoce como “rango de tensiones de máxima potencia”.

Cada módulo fotovoltaico tiene una curva característica I-V, como la que se detalla en la figura.

El eje de abscisas es la tensión y el de ordenadas la intensidad. Los valores señalados son:

- I_{mp} : intensidad de máxima potencia.
- I_{cc} : intensidad de cortocircuito.
- V_{mp} : tensión de máxima potencia.

- V_{ca} : tensión a circuito abierto.

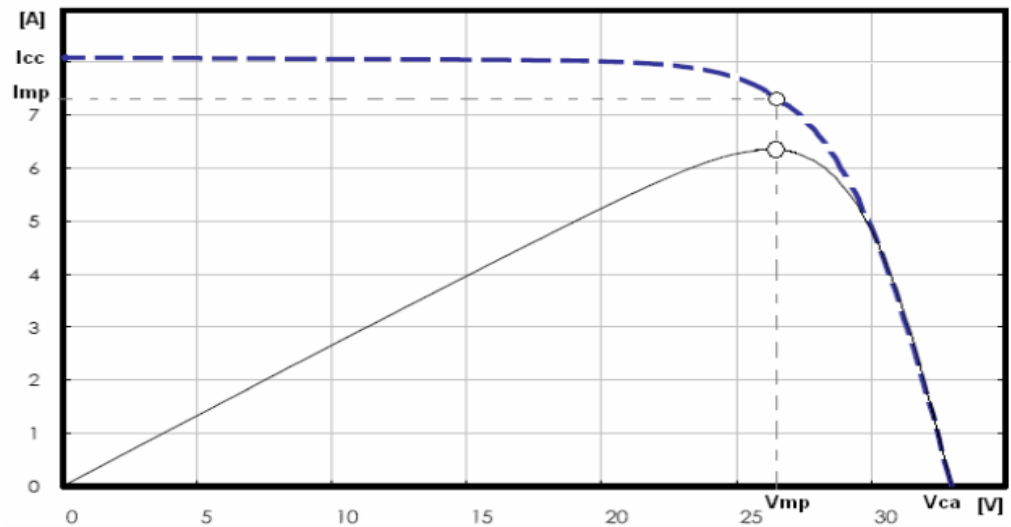


Figura 4.4: Curva I-V característica de un módulo fotovoltaico
Elaborado por el equipo de trabajo

Esta gráfica se corresponde a unas condiciones de Irradiancia y temperatura de panel dadas, la curva gruesa a trazos es la que nos da la intensidad del módulo en función de la tensión a la que éste se encuentra y la curva delgada continua es la potencia que se genera para cada par tensión-intensidad.

Tenemos un punto donde se maximiza la potencia, siendo este el punto que el inversor busca obtener en cada momento, regulando la tensión a la que funciona nuestro sistema.

La curva, aunque semejante en forma, será diferente según las condiciones de irradiancia y temperatura de panel que tengamos en cada momento, y es por eso que el inversor tiene definido un rango de tensiones en el cual es capaz de localizar el punto de máxima potencia.

Los pasos a seguir para realizar un buen acople entre el inversor y los módulos son los siguientes:



- Analizar la variación de los parámetros característicos del módulo según la irradiancia y la temperatura.
- Estimar los días más extremos del año en irradiancia y temperatura para así calcular la tensión de máxima potencia mínima y máxima del captador a lo largo del año.
- Según la tensión mínima y máxima calculada, ver cuál es el número de módulos que podemos conectar en serie sin salirnos del rango de tensión en el cual el inversor es capaz de localizar el punto de máxima potencia.
- Comprobar que no se supera la máxima tensión de funcionamiento admitida por el inversor.

Características del panel solar con el que se trabajara.

The image shows a technical label for a solar panel. At the top left is the Tecsol energy logo, which includes a sun and a leaf. The label contains a table with technical specifications, a warning section, and various certification logos at the bottom.

Item No.	TEC105S-55
TYPE	Mono
Peak Power(Pmax)	55W
Peak Circuit Voltage(Voc)	21.5V
Max. Power Voltage(Vmp)	17.2V
Short Circuit Current(Isc)	3.52A
Max.power Current(Imp)	3.20A
Power Tolerance Range	±5%
Maximum System Voltage	600V
Temperature Range	-40~+80°C
Standard Testing Condition	AM1.5,1000W/m ² ,25°C

⚠ WARNING-ELECTRICAL SHOCK HAZARD

This photovoltaic Module produces electricity when exposed to light. Follow all applicable electrical safety precautions.

UL IEC CE SGS TÜV SAAR

Figura 4.5: Características del panel solar
Elaborado por el equipo de trabajo

La tensión de máxima potencia (V_{mp}) varía linealmente con la temperatura del módulo, disminuyendo a medida que aumenta la temperatura según un coeficiente que viene dado por el fabricante.

$$\Delta V_{mp}/\Delta T = 0,096 \text{ V/}^\circ\text{C}$$

La V_{mp} de referencia que nos da el fabricante es la que se corresponde a las condiciones estándar de medida, siendo:

$$V_{mp}(25^\circ\text{C}, 1000 \text{ W/m}^2) = 17.2 \text{ V}$$

La fórmula que nos da la V_{mp} en función de la temperatura del módulo:

$$V_{mp}(T) = V_{mp}(25^\circ\text{C}, 1000 \text{ W/m}^2) + \Delta V_{mp}/\Delta T \times (25-T)$$



Sustituyendo los valores de nuestro captador:

$$V_{mp}(T) = 17.2 + 0,096 \times (25-T)$$

Necesitamos saber cuál es la temperatura máxima y mínima del panel el día más frío y el día más caluroso del año.

Para Puno consideraremos:

- Día más caluroso: $T_{amb} = 17\text{ °C}$, $I = 1000\text{ W/m}^2$
- Día más frío: $T_{amb} = 0\text{ °C}$, $I = 100\text{ W/m}^2$

La fórmula que nos da la temperatura del panel en función de la

Temperatura ambiente y la irradiancia es:

Temperatura de operación nominal de la célula (TONC)

La temperatura de operación nominal de la célula (NOCT, por sus siglas en inglés) es

aquella que alcanza la célula solar cuando funciona bajo las siguientes condiciones:

- Irradiancia solar: 800 W/m^2
- distribución espectral: AM 1,5
- Temperatura ambiente: 20 °C
- Velocidad del viento: 1 m/s

La TONC es un dato proporcionado por el fabricante del módulo fotovoltaico y sirve para calcular la temperatura de la célula solar según la siguiente ecuación:

$$T = T_a + \frac{TONC - 20\text{ °C}}{800\text{ W/m}^2} \quad (4.2)$$



Donde:

T: Temperatura de la célula solar

Ta: Temperatura ambiente

Si nuestro captador tiene un TONC = 47,5°C; para los días considerados tendremos:

$$T_{max} = T (17^{\circ}\text{C}, 1000 \text{ W/m}^2) = 17 + [(47,5-20) / 800] \times 1000 = 51.37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{min} = T (0^{\circ}\text{C}, 100 \text{ W/m}^2) = 0 + [(47,5-20) / 800] \times 100 = 3,44 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Y por lo tanto la V_{mp} mínima y máxima será:

$$V_{mp, \min} = V_{mp} (T_{max}) = 17.2 + 0,096 \times (25 - 51.37) = 14.67 \text{ V}$$

$$V_{mp, \text{Max}} = V_{mp} (T_{min}) = 17.2 + 0,096 \times (25 - 3,44) = 19.27 \text{ V}$$

El rango de tensiones de seguimiento del punto de máxima potencia de nuestro inversor es de 220 a 380 V, y teniendo en cuenta que al ir conectando paneles en serie estamos sumando la tensión total que tenemos a la salida, deberán de cumplirse las condiciones siguientes:

$$\mathbf{Nps \times V_{mp, \min} > 220 \text{ V} = Nps > 220/14.67 = Nps > 15}$$

$$\mathbf{Nps \times V_{mp, \text{Max}} < 380 \text{ V} = Nps < 380/19.27 = Nps < 20}$$

Estas inecuaciones nos dicen que, si conectamos entre 15 y 20 paneles en serie, nos aseguramos de que todos los días del año nuestra tensión de salida del generador fotovoltaico estará comprendido entre 220 y 380 V, esto es, el rango de tensión en el cual el inversor hace el seguimiento del punto de máxima potencia.

4.4.2 Cálculo de potencia total de paneles fotovoltaicos

$$P = V * I \quad (4.3)$$

$$P = 14.67 (3.2)$$

$$P=46.9 \text{ W}$$

$$P_{tot} = P1+P2+P3...P15$$

$$P_{tot} = 46.9 (15)$$

$$P_{tot} = 703.5 \text{ W}$$

4.5 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS MATERIALES DEL PROTOTIPO

4.5.1 Diseño de estructura de soporte de panel solar

El diseño de soporte para panel solar se realizará con fierros galvanizados, con medidas precisas para montar paneles solares. Como de muestra en la figura.

Los paneles solares deben mirar al sol sin interferencia de obstáculos en los alrededores, los paneles generalmente están colocados en una posición alta.

Otra ventaja es que la carga del viento se disminuye cuando los paneles están colocados en el techo más que sobre el techo. En tercer lugar, los paneles pueden colocarse en un techo plano sobre un marco que lo soporte. El marco está hecho de metal y fijado al techo (con pernos grandes) o se hacen lo suficientemente pesados utilizando concreto. La ventaja es que se puede escoger cualquier dirección e inclinación, pero claro el marco aumenta los costos del sistema. Estos marcos también se utilizan en instalaciones en áreas planas sobre el piso.

Accesorios

- Rieles de 2mts
- Soportes triangulares
- Unidores de Riel
- MidClams
- EndClams

4.5.2 Rugosidad absoluta de materiales

En el interior de los tubos comerciales existen protuberancias o irregularidades de diferentes formas y tamaños cuyo valor medio se conoce como rugosidad absoluta (ϵ), y que puede definirse como la variación media del radio interno de la tubería.

Tabla 4.3: Rugosidad absoluta de materiales

Material	$\epsilon(\text{mm})$
Acero comercial	0.0460
Hierro forjado	0.1220
Hierro fundido	0.0500
Hierro galvanizado	0.1500
Madera ensamblada	0.3050
PVC, plástico, cobre, latón, vidrio.	0.0015

Fuente: Gilberto Sotelo Ávila. Hidráulica General Vol. 1. Editorial Limusa México, 1994

4.5.3 Determinación de la altura hidráulica de bombeo (H_B)

Los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la Carga Dinámica Total (CDT) y el volumen diario necesario. Este producto se conoce como ciclo hidráulico. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD). (Paredes Rubio 2001).



Formula de Manning.

La fórmula de Manning se expresa así:

$$H_f = k * Q^2 \quad (4.4)$$

Donde:

H_f: es el incremento en la presión causada por la presión y expresada en la distancia lineal (m).

K: es una constante empírica con unidades de (m³/s)⁻²

L: es la distancia total recorrida por el agua por las tuberías. Su unidad es metros (m).

Q: es el flujo expresado en metros cúbicos por segundo (m³/s).

La altura manométrica h es la suma de la altura estática o geométrica y la altura dinámica debida a las pérdidas de presión cuando el líquido se desplaza en el interior de una tubería.

La altura geométrica o estática es la diferencia de cotas entre el agua en la fuente que puede variar cuando se bombea, y el agua en la salida.

La altura dinámica se puede determinar mediante la siguiente. Ecuación de Darcy'- Weisbach

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \left(\frac{V}{2 * g} \right)^2 \quad (4.5)$$

Dónde: f es el coeficiente de fricción, L es la longitud de la tubería se mide en metros (m), D el diámetro hidráulico (m) metro, V la velocidad media del fluido (m/s) metros por segundo y g es la aceleración de la gravedad (m/s²) metros por segundo al cuadrado.

En el caso que se encuentre en el circuito otro tipo de accesorio como codos, válvulas, etc., se podrá emplear para ellos la siguiente expresión para el cálculo de las pérdidas de cargas en estos accesorios.

$$h_s = k * \left(\frac{V^2}{2 * g} \right) \quad (4.6)$$

Siendo K un coeficiente que depende del tipo de accesorio.

Tabla 4.4 : Valores aproximados de k (pérdidas de cargas locales)

pieza o accesorios	K
Compuerta abierta	1
Codo 90 ^o	0.9
Codo 45 ^o	4
Curva de 90 ^o	0.4
Curva de 45 ^o	0.2
Curva de 22.30 ^o	0.1
Rejilla	0.75
Boquilla	2.75
Válvula de Angulo abierta	5
Válvula de compuerta abierta	0.2
Válvula tipo globo abierta	10
Salida de tubo	1
Entrada normal de tubo	0.5
Entrada de borda	1
Válvula de pie	1.75
Válvula de retención	2.75
Ampliación gradual	0.3
Reducción gradual	0.15

Fuente: Manual de hidraulica, azevedo netto

Es frecuente usar tablas en las que se indica las pérdidas de carga en función del caudal y el diámetro de la tubería.

4.6 CALCULO DE POTENCIA DE BOMBA CINTRIFUGA, CON UN CAUDAL DE 35 L/s

Para el cálculo de las pérdidas de carga localizadas en la tubería de succión o impulsión se puede utilizar la siguiente ecuación:

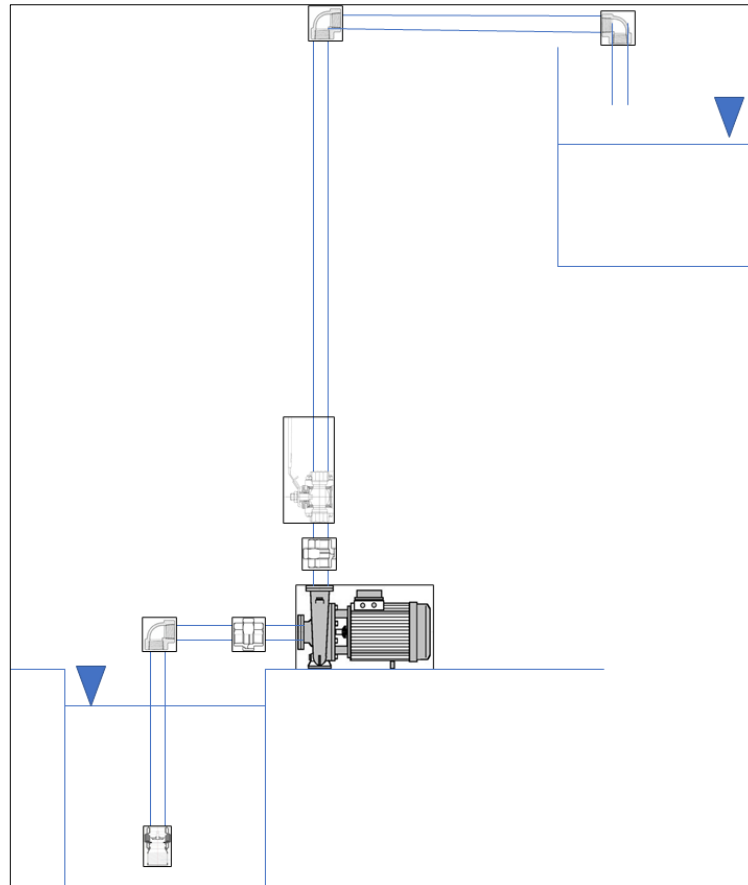


Figura 4.6: Diseño de sistema de bombeo fotovoltaico
Elaborado por el equipo de trabajo

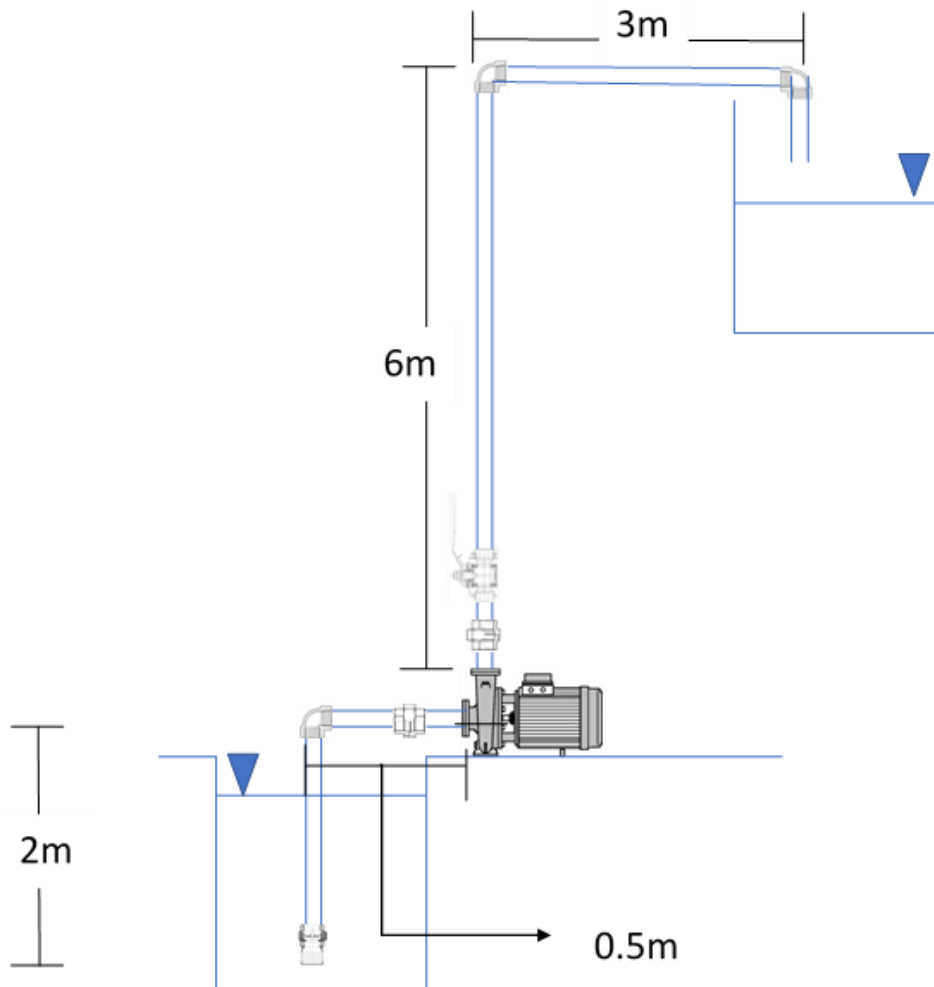


Figura 4.7: Medidas de diseño de bombeo fotovoltaico
Elaborado por el equipo de trabajo

4.6.1 Cálculo de la potencia de la bomba según sus características indicada en la bomba:

Modelo	:	Centrifuga
Potencia HP	:	0.5 HP o 373 vatios
Voltaje	:	220 V
Caudal máximo	:	40 l/min:0.00066667
m ³ /seg		
Altura máxima	:	35 m



Diámetro de distribución	:	1 " pulgada =0.0254m
Altura máxima de succión	:	9 m
Eficiencia de la bomba η	:	0.77

$$P = \frac{Q * \rho * g * H_B}{746 * \eta} \quad (4.7)$$

$$P = \frac{0.00066667 * 1000 * 9.81 * (35 + 9)}{0.77}$$

$$P = 369 \text{ vatios} = 0.49454 \text{ hp}$$

Según las características de la electrobomba, está diseñado para una altura máxima de 44 m de altura y el caudal mínimo es de 0.00066667 m³/seg y la potencia es de 369 vatios.

4.6.2 Cálculo de caudal y altura

Datos

- potencia de la bomba según característica de la placa de la bomba: 369 vatios=0.494638 hp
- Diámetro de la tubería= 1pulgada =0.0254m metros
- Área transversal de la tubería= (0.0254/2)²*pi=0.0005067m²
- Longitud de la tubería =11.5 m

La ecuación siguiente es de la potencia de la bomba

$$= \frac{Q * \rho * g * H_B}{746 * \eta}$$
$$0.494638 \text{ hp} = \frac{Q * 1000 * 9.81 * H_B}{746 * 0.77}$$



$$\frac{0.494638 * 746 * 0.77}{1000 * 9.81} = H_B * Q$$

$$0.0289632 = H_B * Q$$

Sabiendo la fórmula del caudal: $Q=V*A$

$$0.0289632 = H_B * A * V$$

$$0.0289632 = H_B * 0.0005067 * V$$

$$\frac{57.16045}{V} = H_B$$

Principio de Bernoulli en estado estacionario: tenemos:

$$\begin{aligned} h_1 + \frac{V^2}{2 * g} + \frac{P}{\varphi} + H_B \\ = h_3 + \frac{V^2}{2 * g} + \frac{P}{\varphi} + (PERDIDAS PRIM.) \\ + (PERDIDAS SECU.) \end{aligned}$$

$$0 + 0 + 0 + H_B = 8 + 0 + 0 + (PERDIDAS PRIM.) + (PERDIDAS SECU.)$$

$$H_B = 8 + (PERDIDAS PRIM.) + (PERDIDAS SECU.)$$

Sabiendo las formulas de perdidas primarias y secundarias: donde

Factor de friccion:

$$f = \frac{\varepsilon}{D} \quad (4.8)$$

Rugosidad relativa : $\varepsilon=0.0015\text{mm}$

Diametro de la tuberia: $D=25.4\text{mm}$

$$f = \frac{\varepsilon}{D} \quad \text{entonces} \quad f = \frac{0.0015\text{mm}}{25.4\text{mm}} = 5.905512 * 10^{-5}$$

Calculado la perdidas primarias (longitud de la tuberia)



$$(PERDIDAS PRIM.) = f * \frac{L}{D} * \left(\frac{V}{2 * g}\right)^2 \quad (4.9)$$

$$(PERDIDAS PRIM.) = 5.905512 * 10^{-5} * \frac{11.5}{0.0254} * \left(\frac{V}{2 * 9.81}\right)^2$$

$$(PERDIDAS PRIM.) = 5.905512 * 10^{-5} * \frac{11.5}{0.0254} * \left(\frac{V}{2 * 9.81}\right)^2$$

$$(PERDIDAS PRIM.) = 0.00136277 * V^2$$

Calculando la perdidas secundarias (accesorios)

Datos:

K coeficiente de perdidas en accesorios:

Valvula de pie	:1.75
Valvula tipo globo	: 10
Codo 90	: 0.9
Entrada normal de tubo	: 0.5
Tee con flujo en angulo	: 1.5

$$(PERDIDAS SEC.) = \sum k * \left(\frac{V}{2 * g}\right)^2 \quad (4.10)$$

$$(PERDIDAS SEC.) = \left(\frac{V}{2 * g}\right)^2 (1.75 + 10 + 2 * 0.9 + 2 * 0.5 + 1.59)$$

$$(PERDIDAS SEC.) = \left(\frac{V}{2 * g}\right)^2 (1.75 + 10 + 2 * 0.9 + 2 * 0.5 + 1.59)$$

$$(PERDIDAS SEC.) = \left(\frac{V}{2 * g}\right)^2 (16.14)$$



$$(PERDIDAS SEC.) = V^2 * 0.82262997$$

$$H_B = 8 + (PERDIDAS PRIM.) + (PERDIDAS SECU.)$$

Reemplazando En La Ecuacion

$$H_B = h_3 + f * \frac{L}{D} * \left(\frac{V}{2 * g}\right)^2 + \sum k * \left(\frac{V}{2 * g}\right)^2$$

$$H_B = 8 + 0.00136277 * V^2 + 0.82262997 * V^2$$

$$H_B = 8 + 0.82398577 * V^2$$

Igualando la ecuaciones para hallar la velocidad.

$$H_B = 8 + 0.82262997 * V^2 \quad \text{igualando} \quad \frac{57.12}{V} = H_B$$

$$8 + 0.82262997 * V^2 = \frac{57.16045}{V}$$

$$8 * V + 0.82262997 * V^3 = 57.16045$$

$$0.82262997 * V^3 + 8 * V - 57.16045 = 0$$

$$V = 3.33406 \text{ m/s}$$

Ahora calculamos caudal Q:

$$Q = V * A$$

$$Q = 0.0005067 \text{ m}^2 * 3.33406 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.0016893 \text{ m}^3/\text{s} = 1.6893 \text{ l/s} = 101.358 \text{ l/min}$$

Ahora calculamos la altura total:

$$H_B = 8 + 0.82398577 * V^2$$

$$H_B = 8 + 0.8239928 * 3.33406^2$$

$$H_B = 17.15946m$$

$$P = \frac{Q * \rho * g * H_B}{746 * \eta}$$

$$P = \frac{0.0016893 * 1000 * 9.81 * (17.15946)}{0.77}$$

$$P = \frac{0.0016893 * 1000 * 9.81 * 17.15946}{0.77} = 369.30797 \text{ Vatios} = 0.49505 \text{ hp}$$

4.7 MODELAMIENTO DE SISTEMA DE PANEL SOLAR MATLAB

“SIMULINK”

Después de hacer el análisis de los modelos matemáticos del sistema solar fotovoltaico y sus componentes del sistema, se procedió a integrarlos utilizando el software Matlab que a su vez cuenta con simulink, permitiendo por medio de bloques introducir las ecuaciones mencionadas anteriormente y declarar las constantes en código a través de Matlab para poder simular el sistema, tal como se observa en la figura.

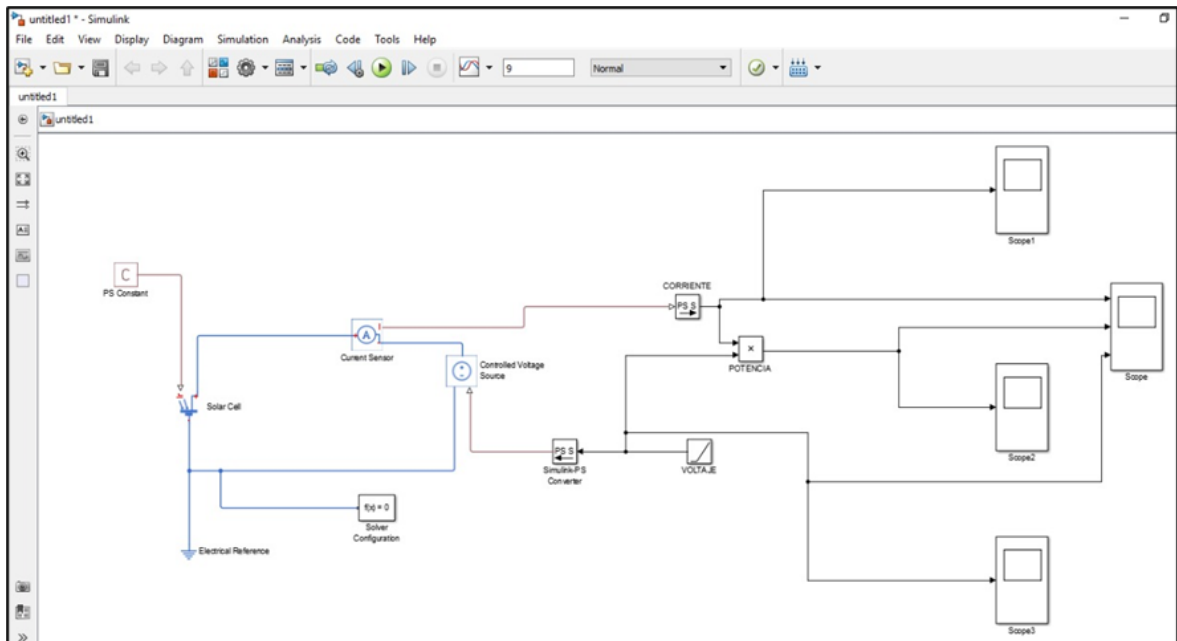


Figura 4.8: Modelamiento de sistema de panel solar Matlab/Simulink
Elaborado por el equipo de trabajo

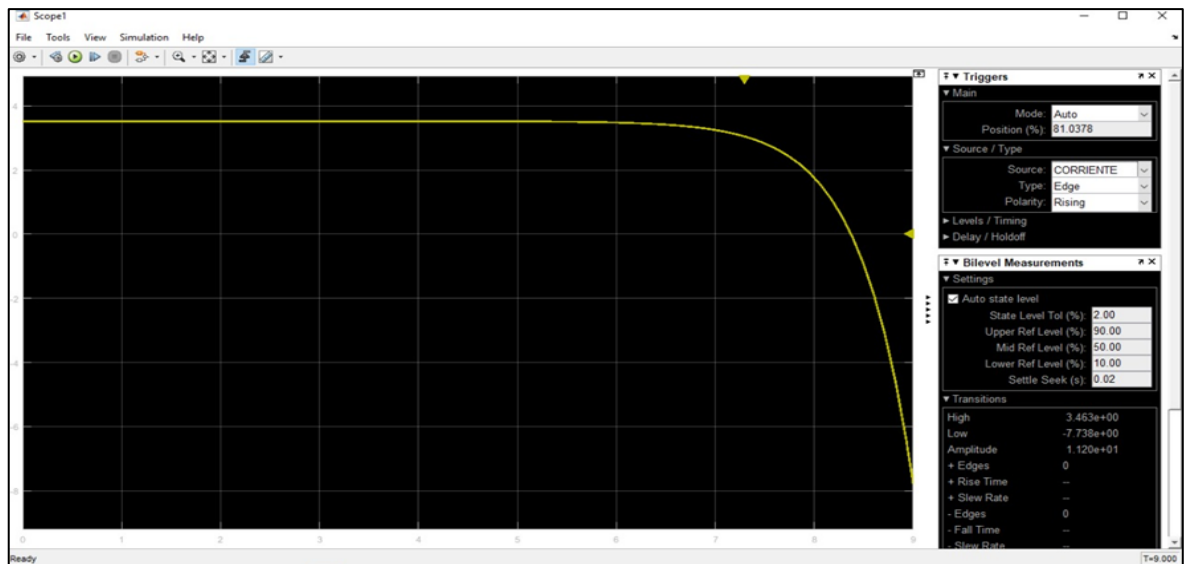


Figura 4.9: Curva corriente del panel solar. Matlab/Simulink
Elaborado por el equipo de trabajo

El resultado de la simulación con Matlab del panel bajo los diferentes cambios de radiación solar, temperatura del panel y resistencia variable, se presentan la Fig. 4.9, Esto facilita el entendimiento e interpretación del comportamiento del panel, operando bajo condiciones estándar según la curva de corriente.

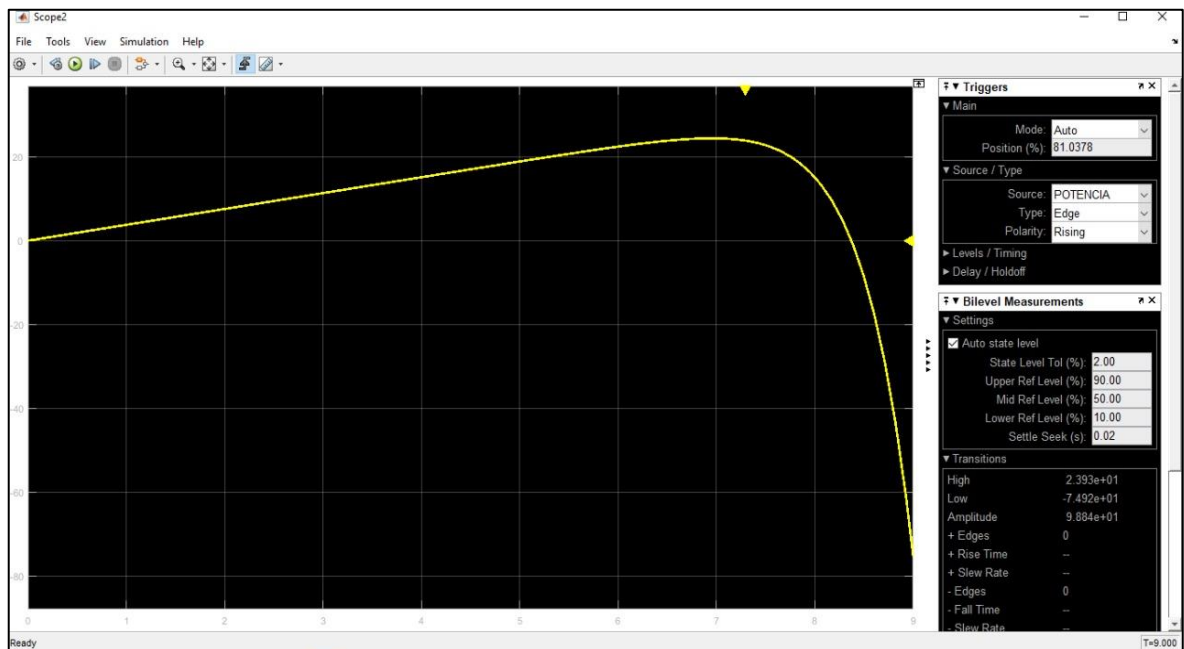


Figura 4.10: Curva potencia del panel solar. Matlab/Simulink
Elaborado por el equipo de trabajo

Como se observa en las figuras 4.9 y 4.10, se hace una aproximación de la curva de corriente y potencia en el Toolbox Cftool de Matlab, el cual permite elaborar un análisis, procesamiento previo y post-previo de datos con sus funciones de ajustes de curvas a los datos, tanto a modelos lineales como no lineales.

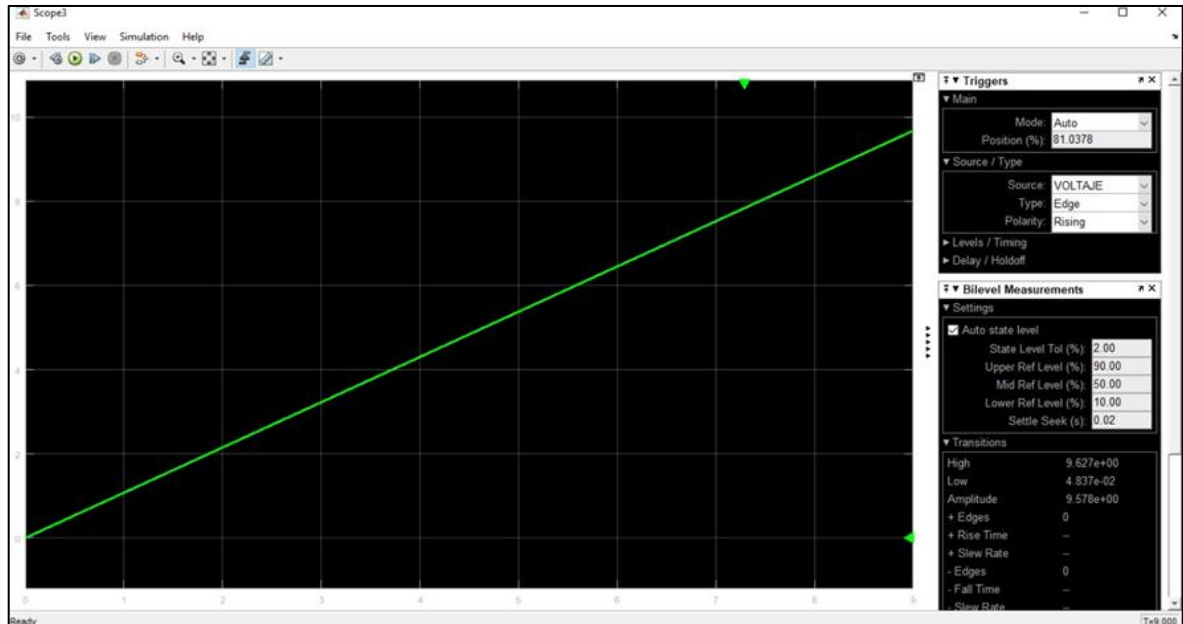


Figura 4.11: Curva de voltaje del panel solar. Matlab/Simulink
Elaborado por el equipo de trabajo

La figura 4.11 muestra la relación entre la potencia medida con la simulada en ambos casos para el panel solar.

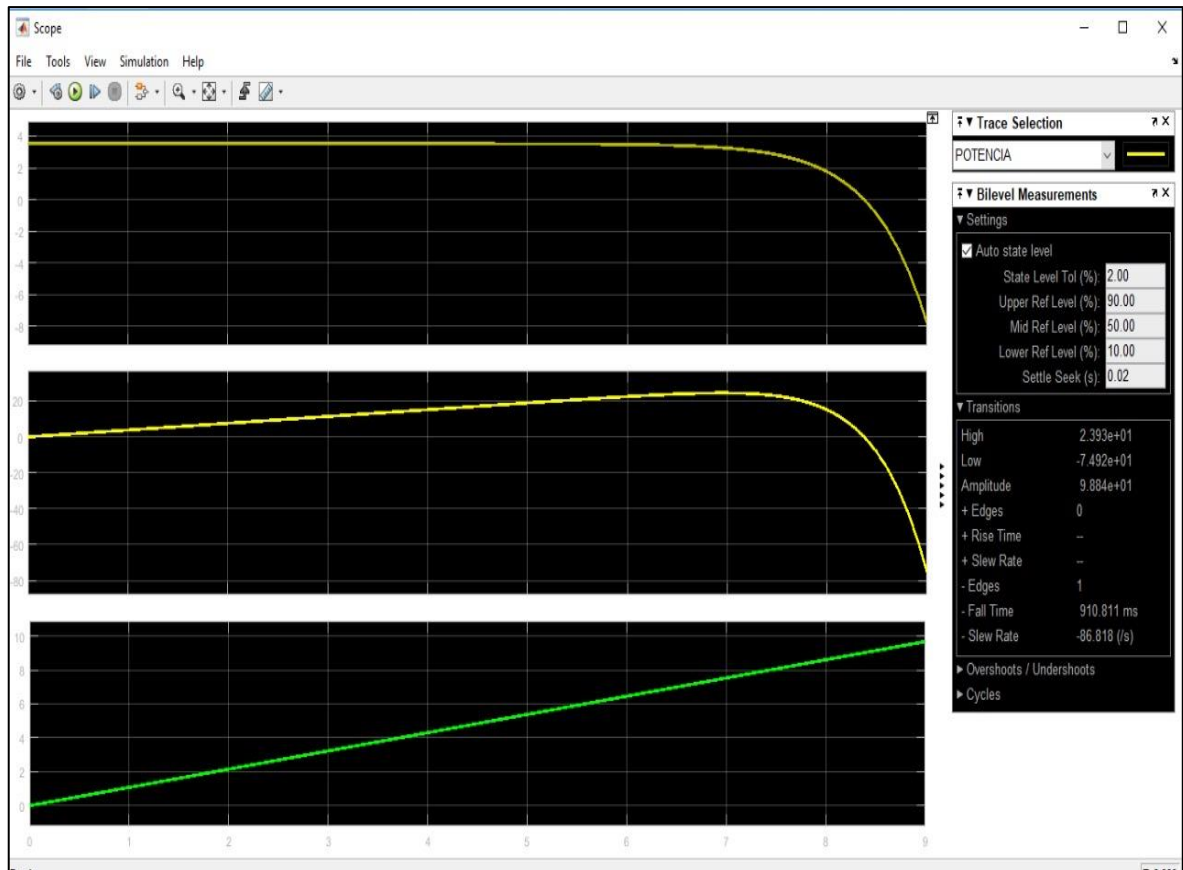


Figura 4.12: Curva corriente, potencia y voltaje del panel solar. Matlab/Simulink
Elaborado por el equipo de trabajo

Las simulaciones realizadas en Simulink/ Matlab del panel solar arrojaron resultados satisfactorios, esto es útil para investigaciones en las que sea necesaria una mayor aproximación a la realidad, sustentando el diseño e implementación de proyectos de energización urbana y rural cuando se requieran.

4.8 MODELAMIENTO DE SISTEMA VARIADOR DE VELOCIDAD

“CADE_SIMU”

Los variadores de frecuencia permiten controlar la velocidad tanto de motores de inducción (asíncronos de jaula de ardilla o de rotor devanado), como de los motores síncronos mediante el ajuste de la frecuencia (Hz) de alimentación al motor. Existen variador de velocidad de corriente continua y de corriente alterna.

variador de velocidad de corriente continua C.C.

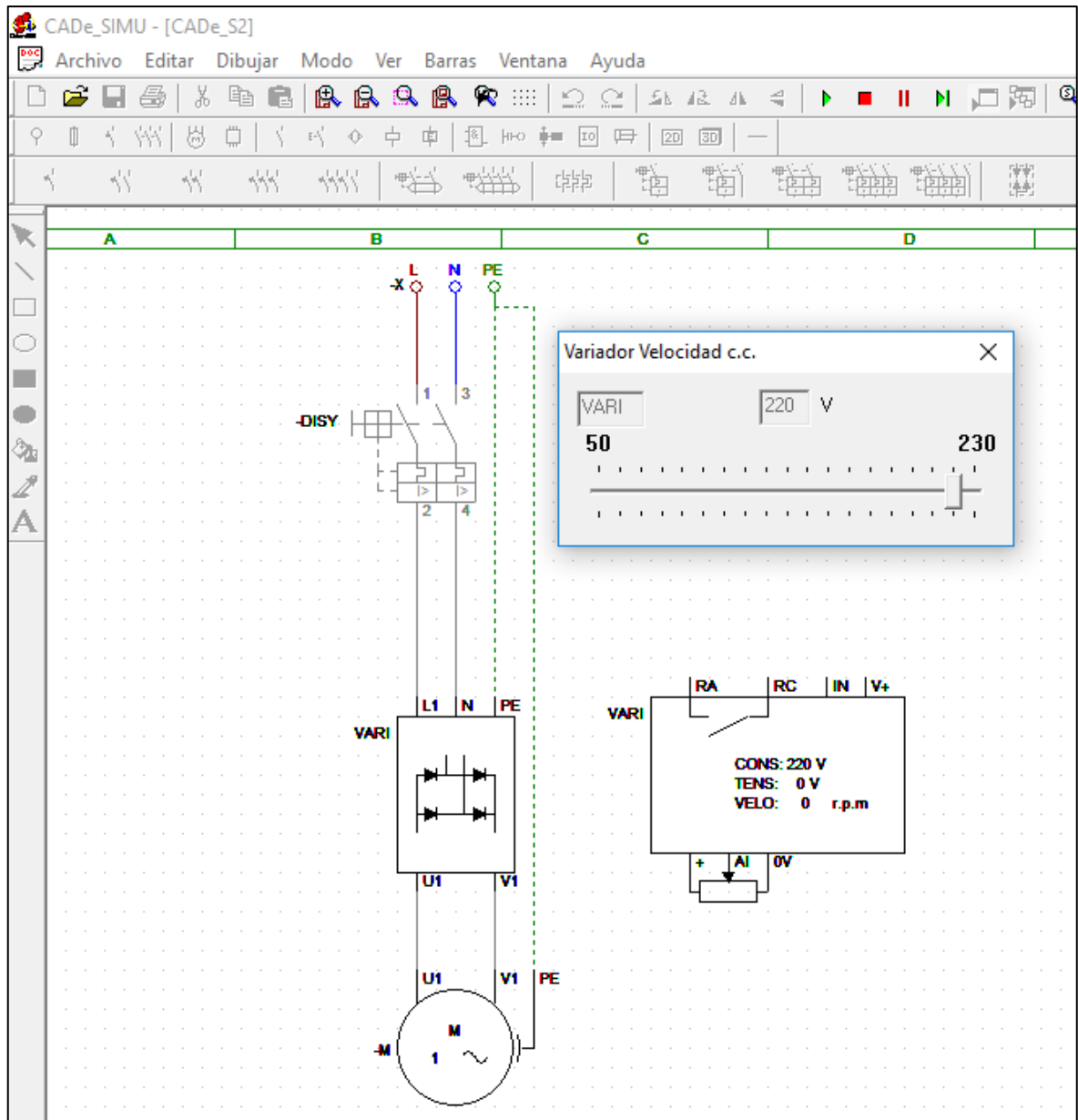


Figura 4.13: Variador de velocidad de corriente continua C.C.
Elaborado por el equipo de trabajo

En la fig.4.14 observamos las configuraciones de variador de frecuencia de corriente continua C.C. según a la placa del motor, como la tensión mínima y máxima, el margen de velocidad mínima y máxima como también la rampa de aceleración y desaceleración.

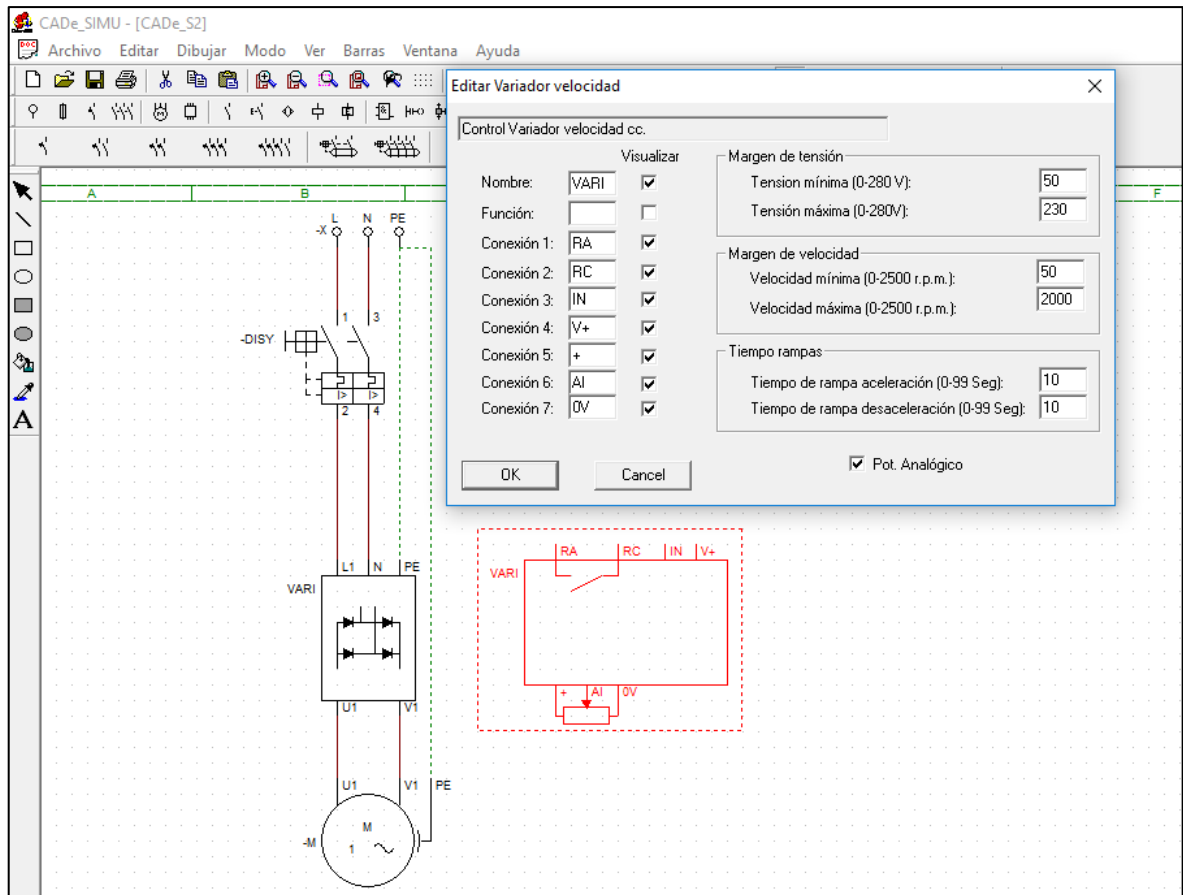


Figura 4.14: Configuración de variador de frecuencia de corriente continua C.C según a la placa del motor.

Elaborado por el equipo de trabajo

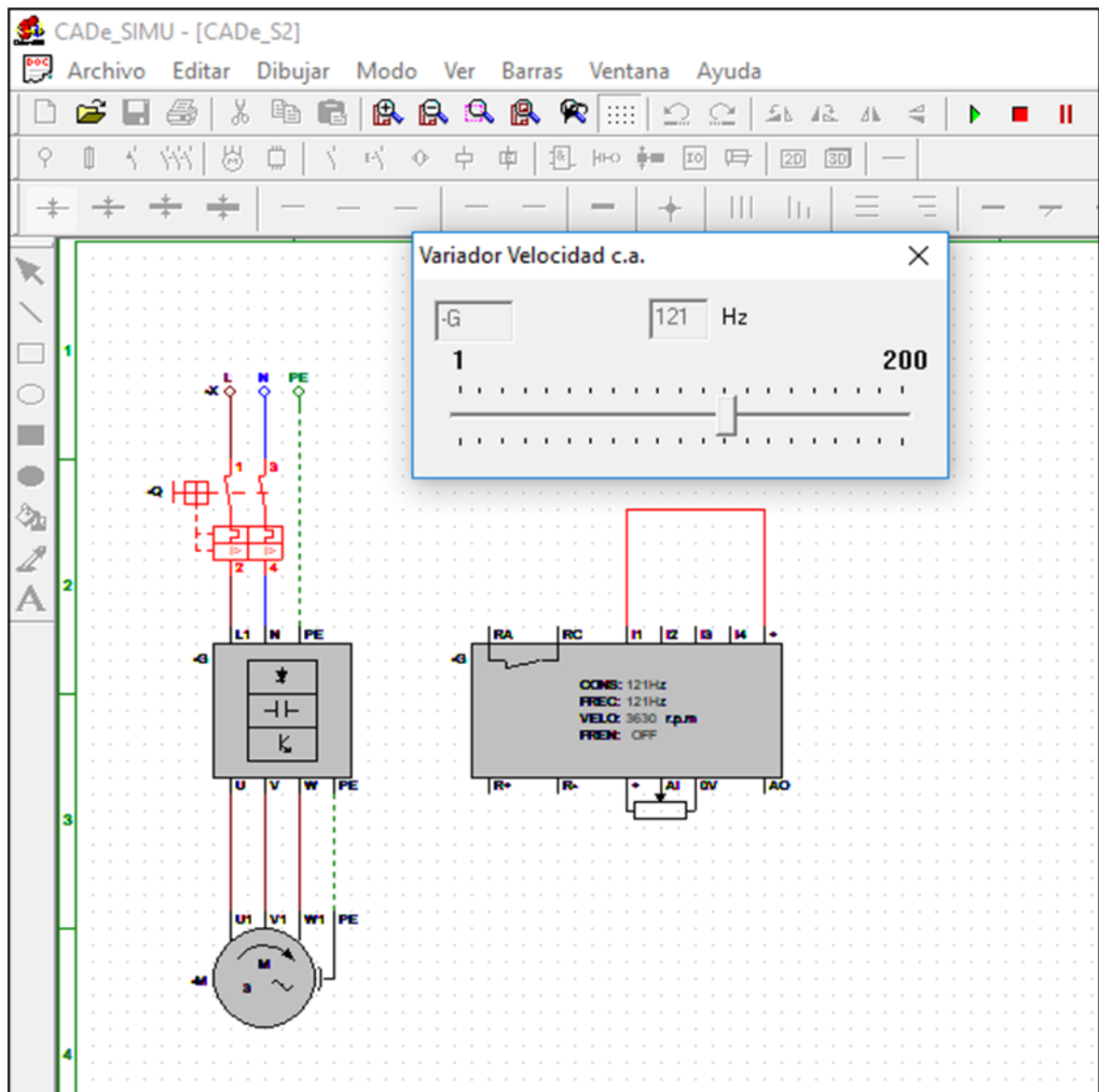


Figura 4.15: Variador de frecuencia (HZ) con potenciómetro de acuerdo al requerimiento del sistema.
Elaborado por el equipo de trabajo

Se puede observar en Fig. 4.14 las configuraciones de variador de frecuencia de corriente Alterna C.A. Según a los datos de la placa del motor. Podemos configurar los siguientes datos como la velocidad del motor RPM, frecuencia (Hz), velocidad preseleccionada y tiempo de inyección de parada.

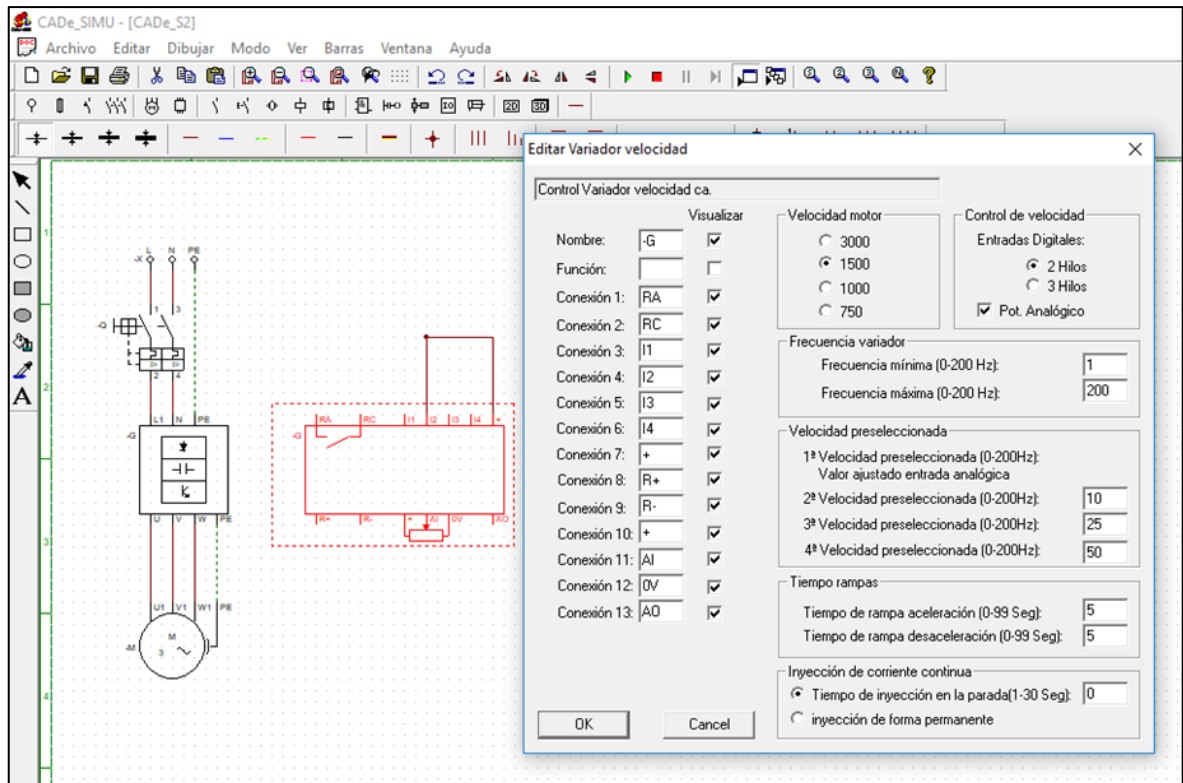


Figura 4.16: Configuraciones de variador de frecuencia de Corriente Alterna C.A
Elaborado por el equipo de trabajo

4.9 MODELAMIENTO DE CONTROLADOR PROPORCIONAL-P

El controlador Proporcional (algunas veces llamado ganancia o sensibilidad) es una acción de control que reproduce cambios de la entrada con cambios en la salida. Como se muestra en la siguiente figura.

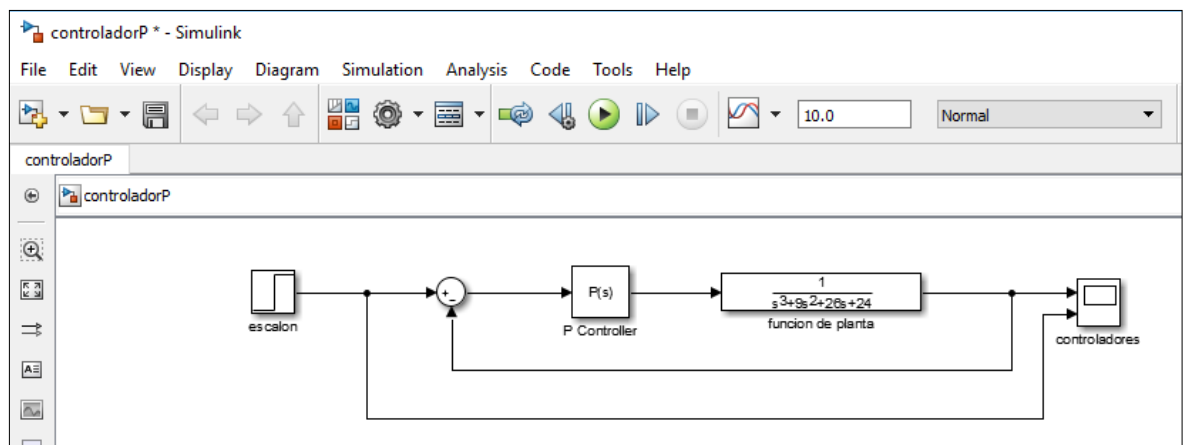


Figura 4.17: Modelado de sistema Matlab /Simulink de controladr proporcinal P
Elaborado por el equipo de trabajo

En la siguiente figura se muestra la gráfica de resultado del control proporcional

P.

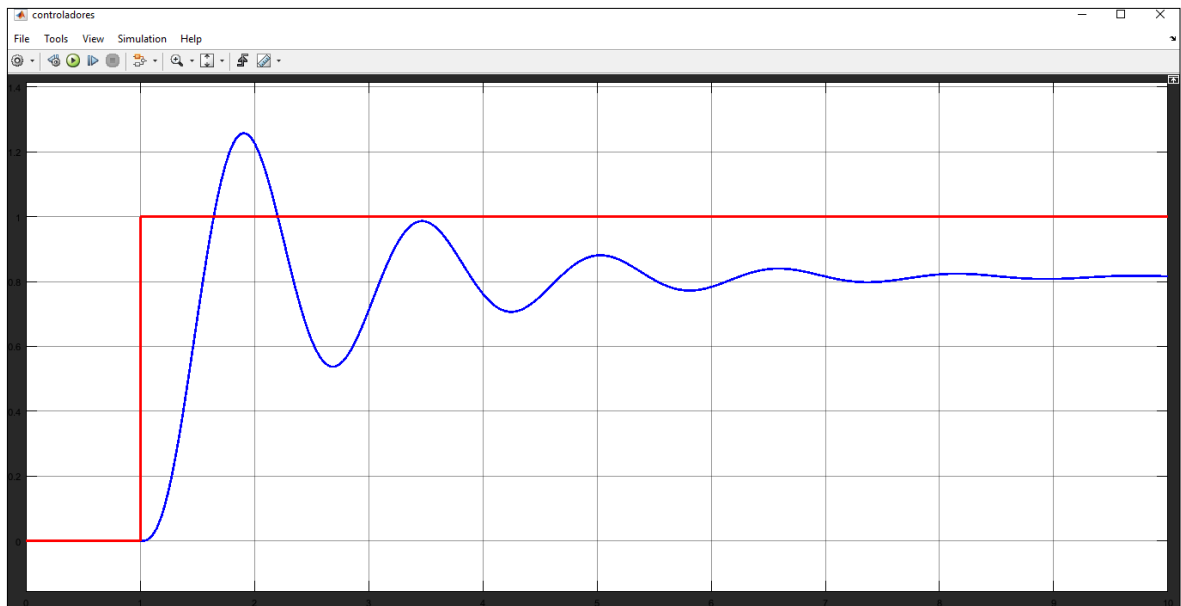


Figura 4.18: Grafica de sistema Matlab /Simulink de controladr proporcinal P.
Elaborado por el equipo de trabajo

4.10 MODELAMIENTO DE CONTROLADOR PI:

En el conjunto de los dos controladores Proporcional e integral PI, es una forma usualmente sencilla de usarse en Procesos. Este controlador es más eficiente q el controlador proporcional teniendo menor impulso. Como se observa en la figura.

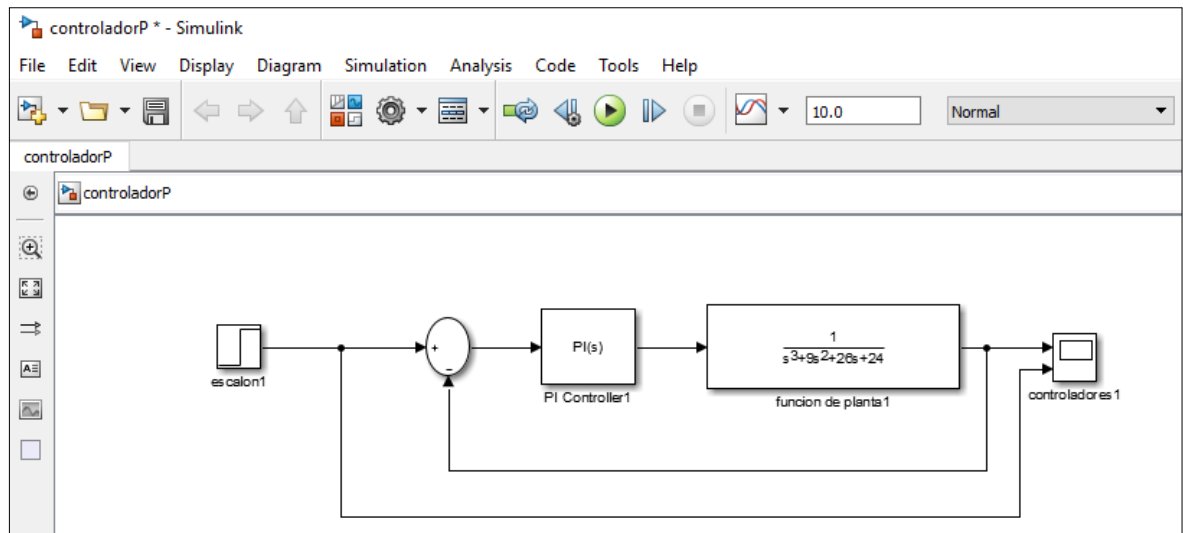


Figura 4.19: Modelado de sistema Matlab /Simulink de controladr proporcinal integral PI

Elaborado por el equipo de trabajo

Grafica de controlador PI

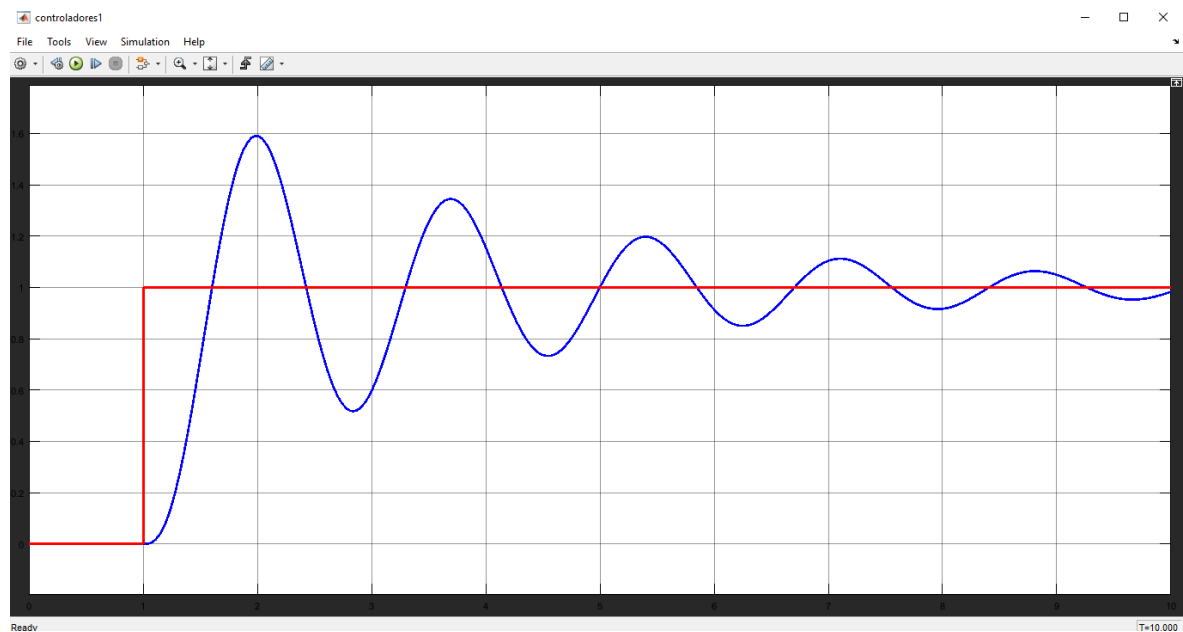


Figura 4.20: Grafica de sistema Matlab /Simulink de controladr proporcinal integral PI.

Elaborado por el equipo de trabajo

4.11 MODELAMIENTO DE CONTROLADOR PID

Este controlador muestra las ventajas de los controladores anteriores descritas del P y PI que es más eficiente en la regulación de impulsos en menor tiempo que los demás

controladores, en donde normalmente son aplicados a mecanismo de retroalimentación a lazo cerrado.

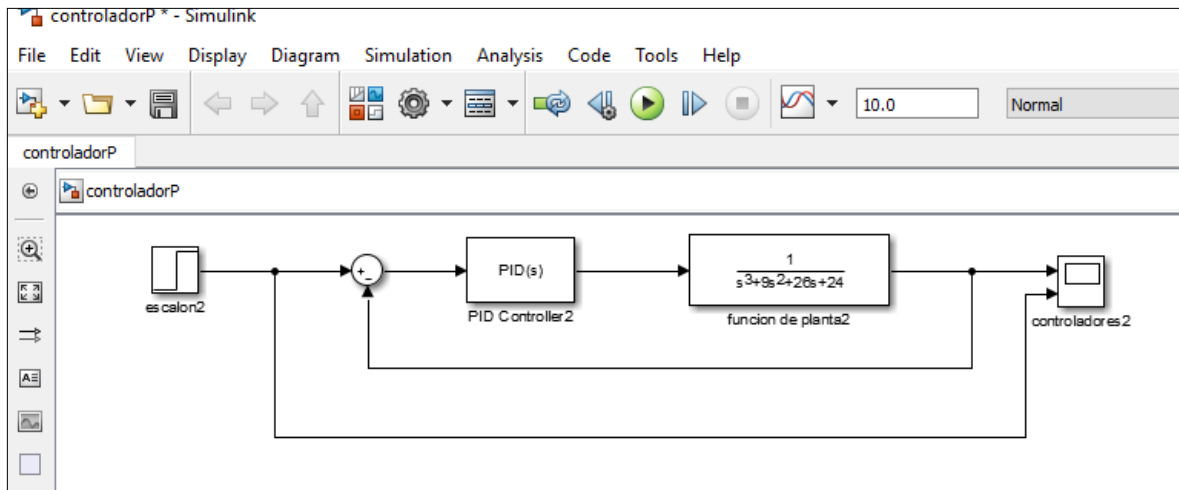


Figura 4.21: Modelado de sistema Matlab /Simulink de controlador proporcional PID
Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico de controlador PID

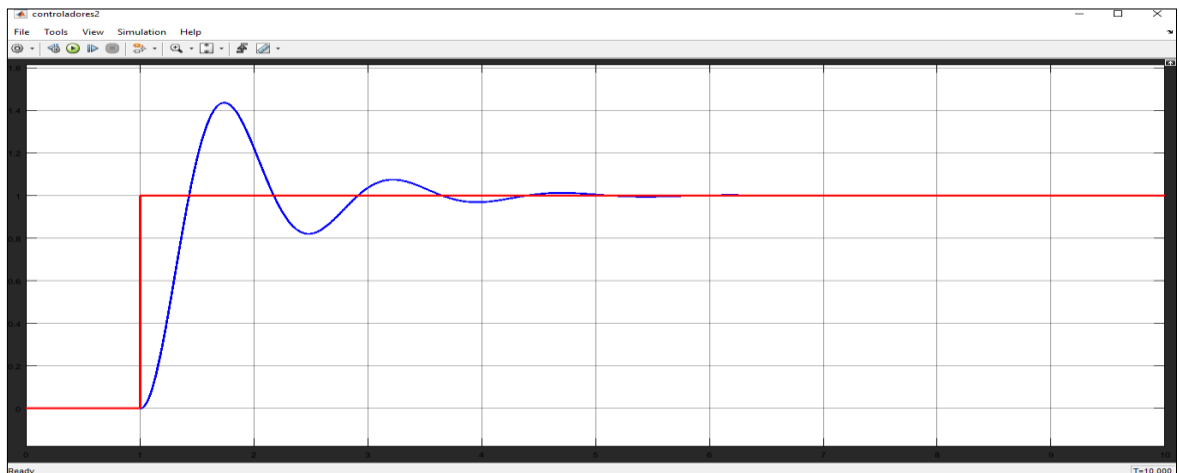


Figura 4.22: Grafica de sistema Matlab /Simulink de PID
Elaborado por el equipo de trabajo

4.12 COMPARACIÓN DE CONTROLADORES P, PI Y PID.

En este diagrama de comparaciones de los controladores P, PI y PID se puede apreciar las siguientes gráficas “tiempo vs amplitud” y se puede apreciar el impulso de cada controlador y determinar la eficacia de cada controlador.

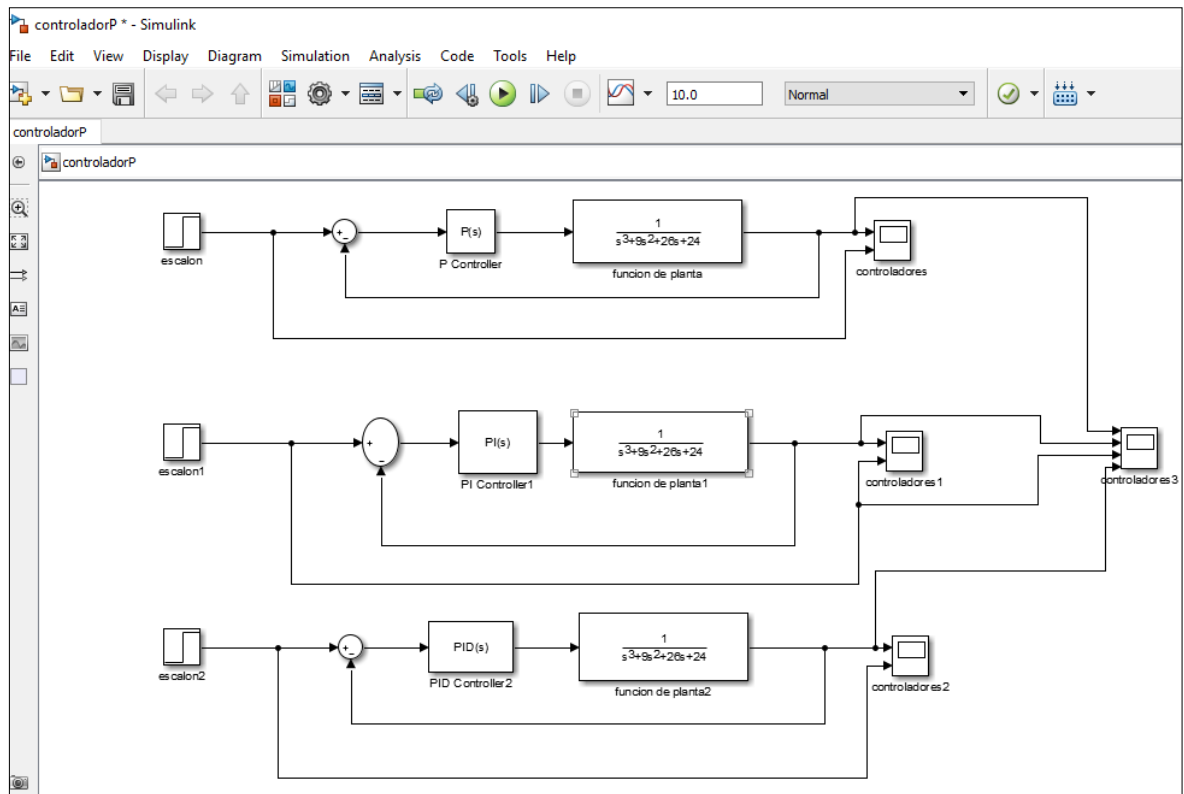


Figura 4.23: Modelado de sistema Matlab / Simulink de controlador P PI y PID.
Elaborado por el equipo de trabajo

Grafica de comparación de controladores P, PI y PID

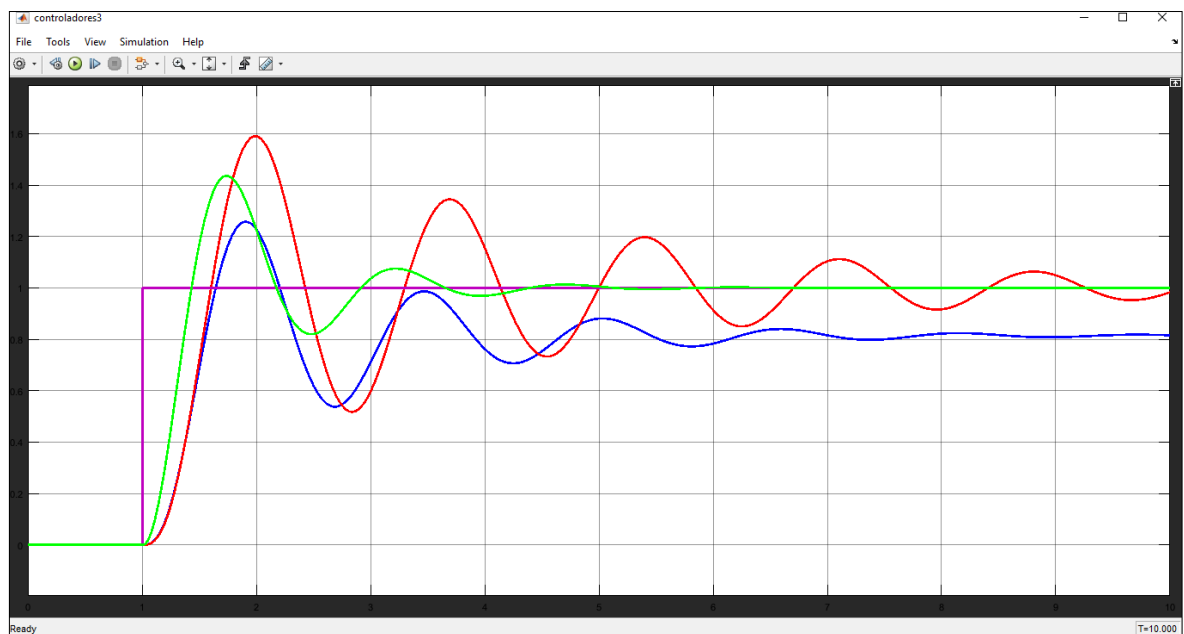


Figura 4.24: Grafica de sistema matlab /simulink comparacion de controladores P PI y PID respecto al escalonamiento.
Elaborado por el equipo de trabajo

4.13 MODELAMIENTO DE CONTROLADOR DE LÓGICA DIFUSA - FUZZY

Lógica difusa es la forma de representar matemáticamente, razonamientos e ideas imprecisas o aproximadas. Se basa en relaciones de entrada-salida representadas en un compendio de reglas difusas, que son expresiones lingüísticas que asocian una causa con un efecto como se muestra en la siguiente figura. Fuzzificación, Inferencia difusa, Base de reglas, Defuzzificación.

4.13.1 Procedimiento de diseño de controlador fuzzy.

4.13.1.1 Funciones de pertenencia para variables de entrada y salida

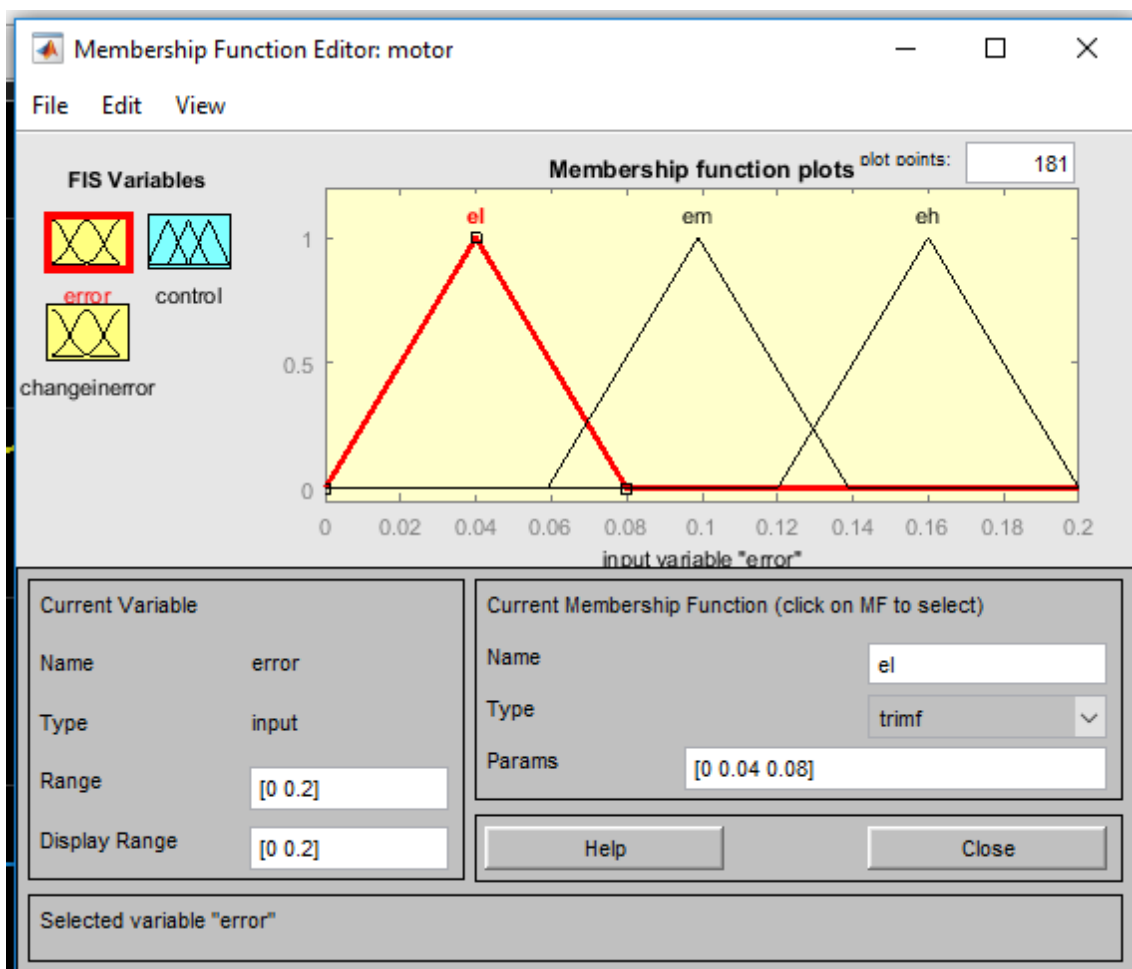


Figura 4.25: Variable de entradas difusas “error”
Elaborado por el equipo de trabajo

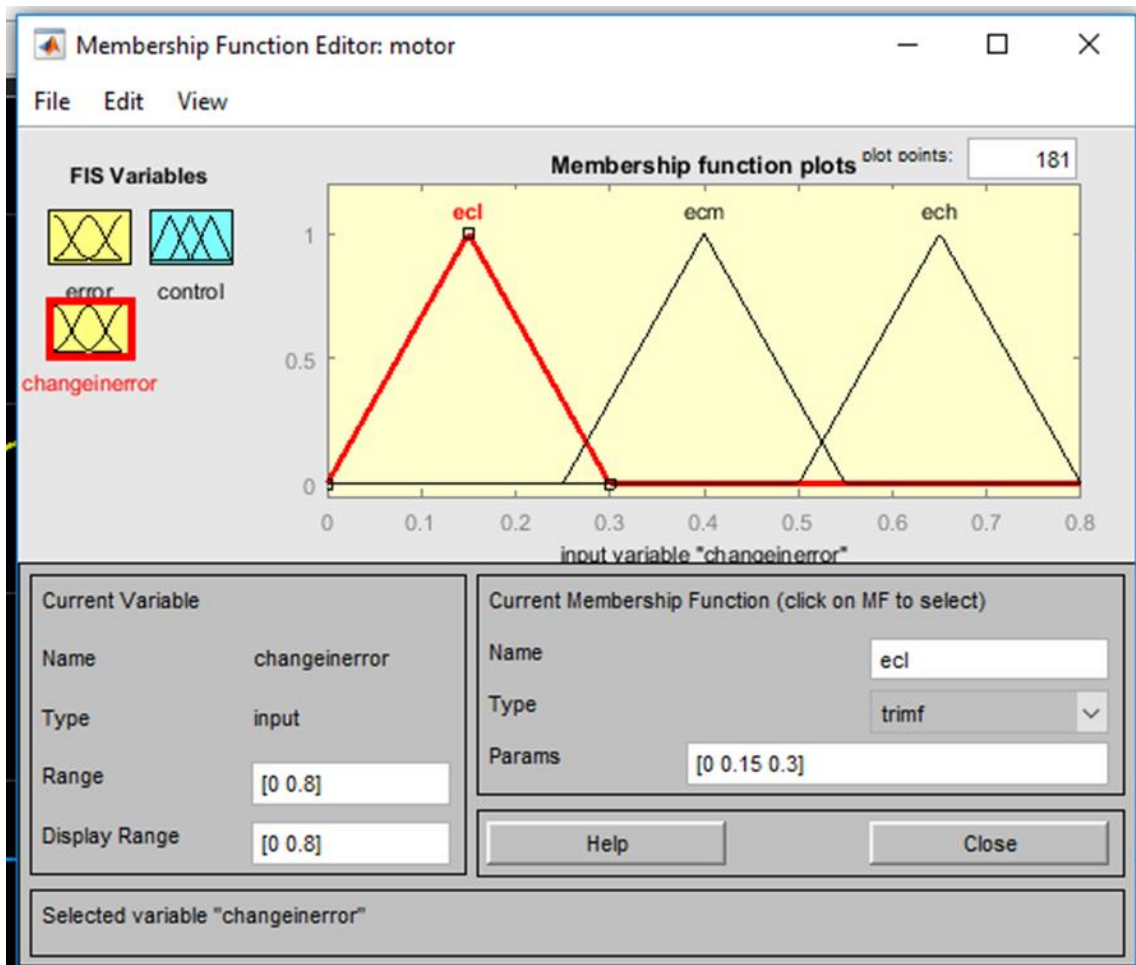


Figura 4.26: Variables de entrada difusas “cambian por error
Elaborado por el equipo de trabajo

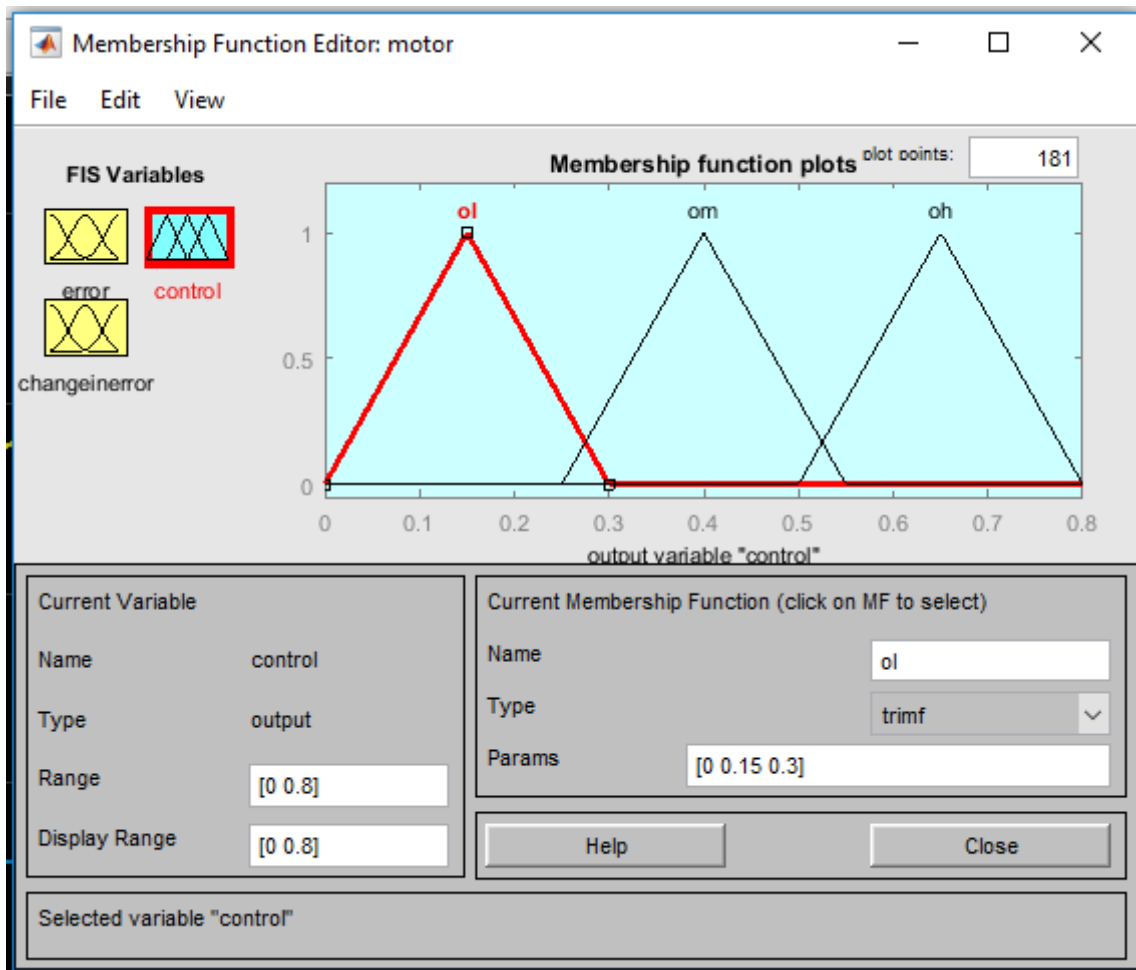


Figura 4.27: Variable de salida difusa “control”
Elaborado por el equipo de trabajo

4.13.2 Regla de inferencia difusa

Tabla 4.5: Tabla de reglas para la variable de salida "control"

e/ec	Ecl	Ecm	Ech
El	Ol	Om	Om
Em	Ol	Om	Oh
Eh	Om	Om	Oh

Construcción de reglas y visor de reglas

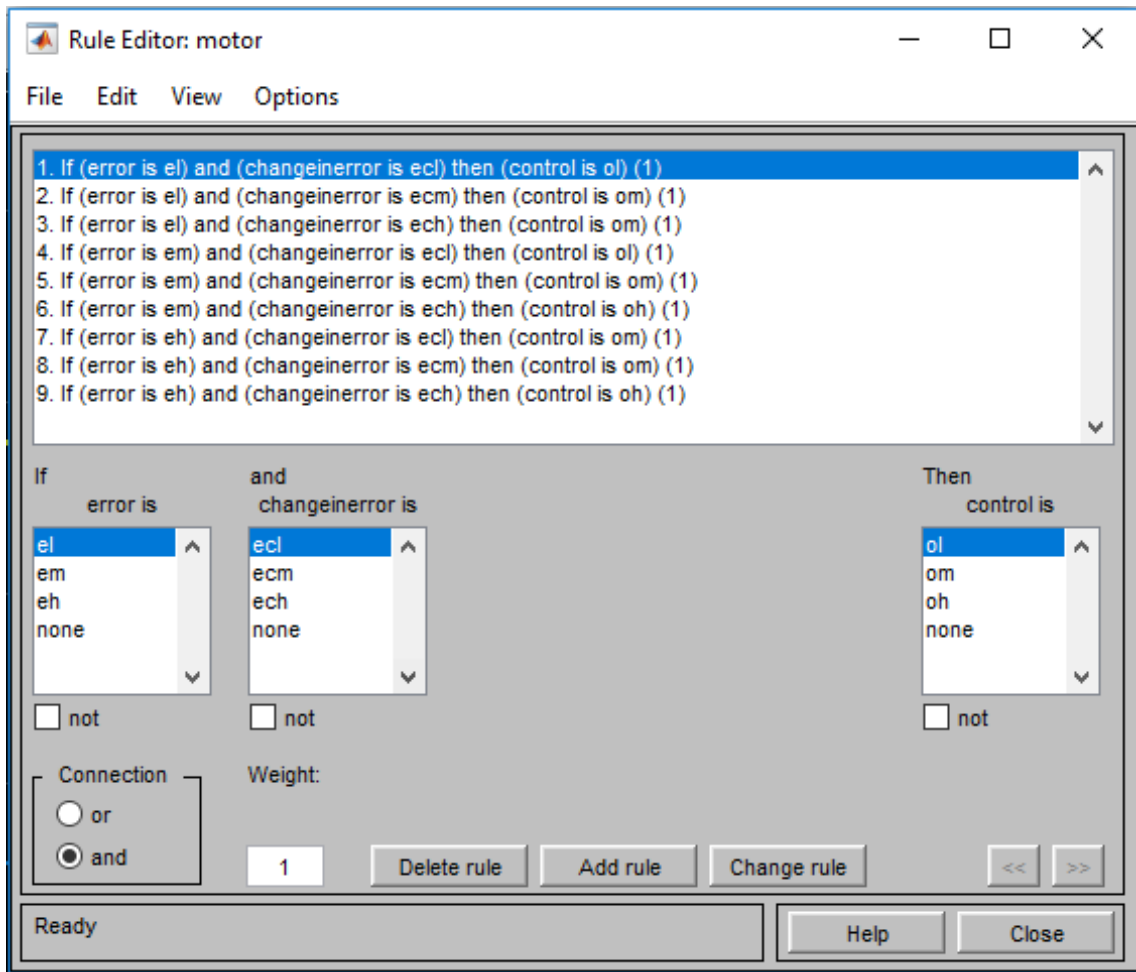


Figura 4.28: Si – entonces difuso reglas
Elaborado por el equipo de trabajo

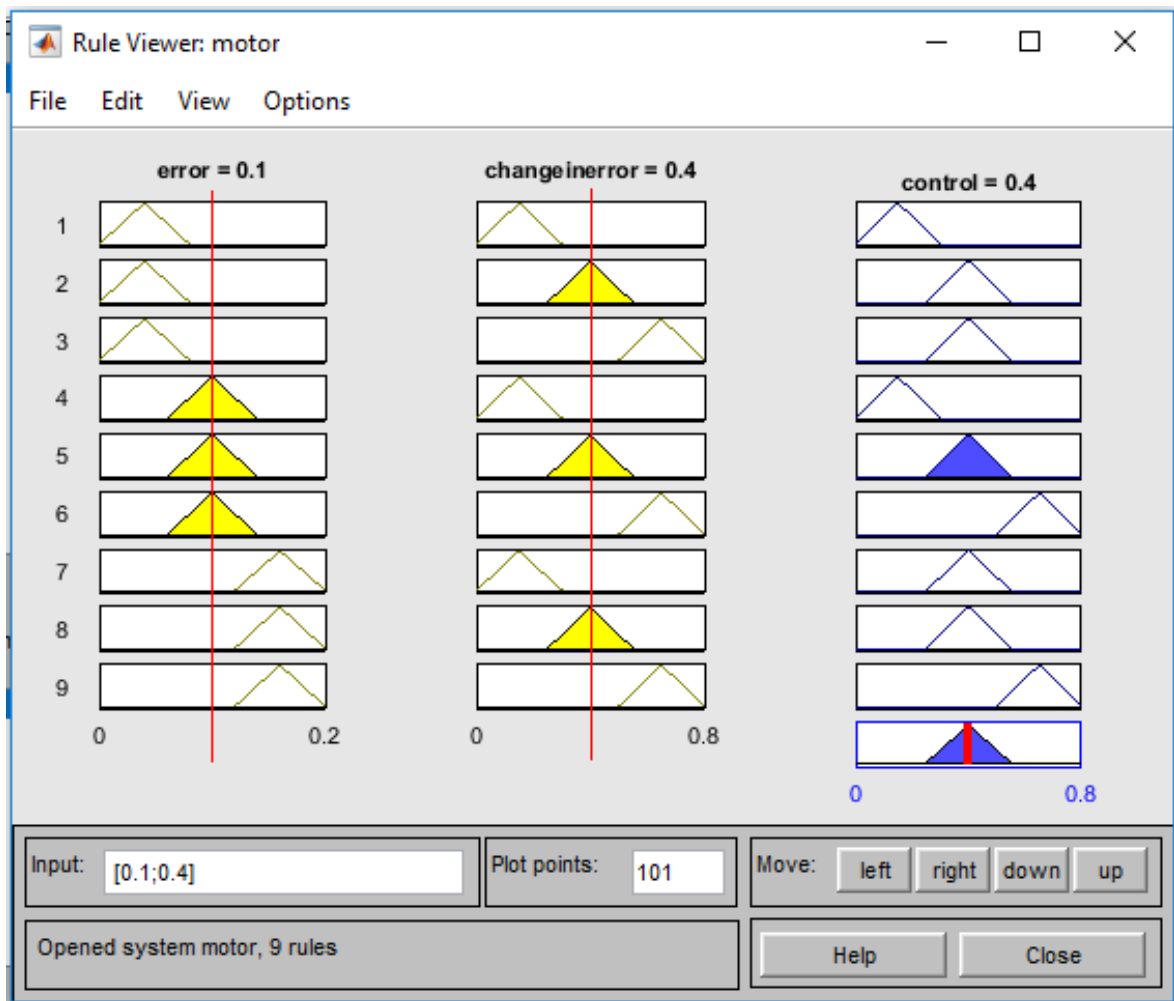


Figura 4.29: Análisis tanto de las entradas y como de las salidas
Elaborado por el equipo de trabajo

4.14 IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS DE SIMULINK

La Figura muestra el sistema de control PID diseñado en MATLAB / Simulink donde los parámetros del controlador se ajustan usando (Método ZN).

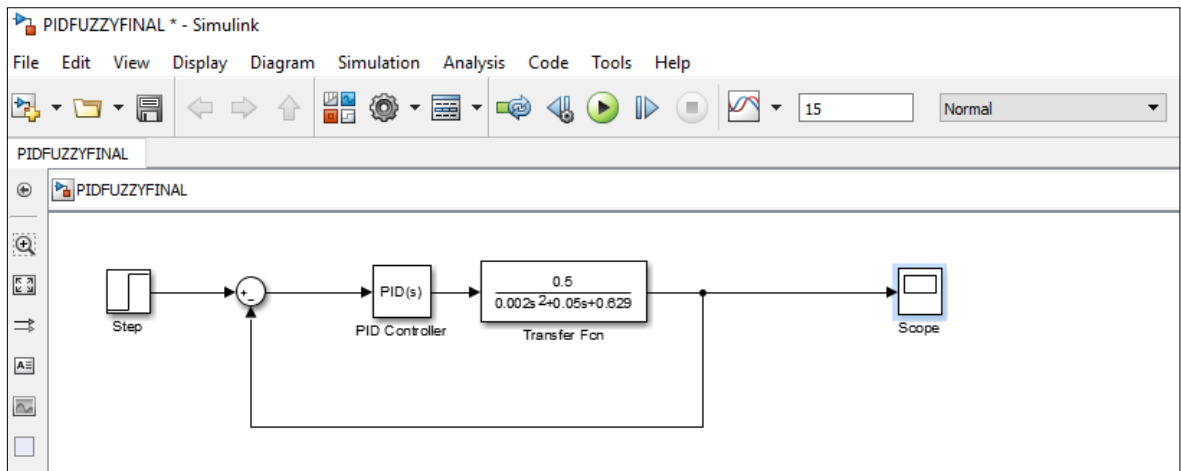


Figura 4.30: Modelamiento de sistema Matlab / Simulink controlador PID
Elaborado por el equipo de trabajo

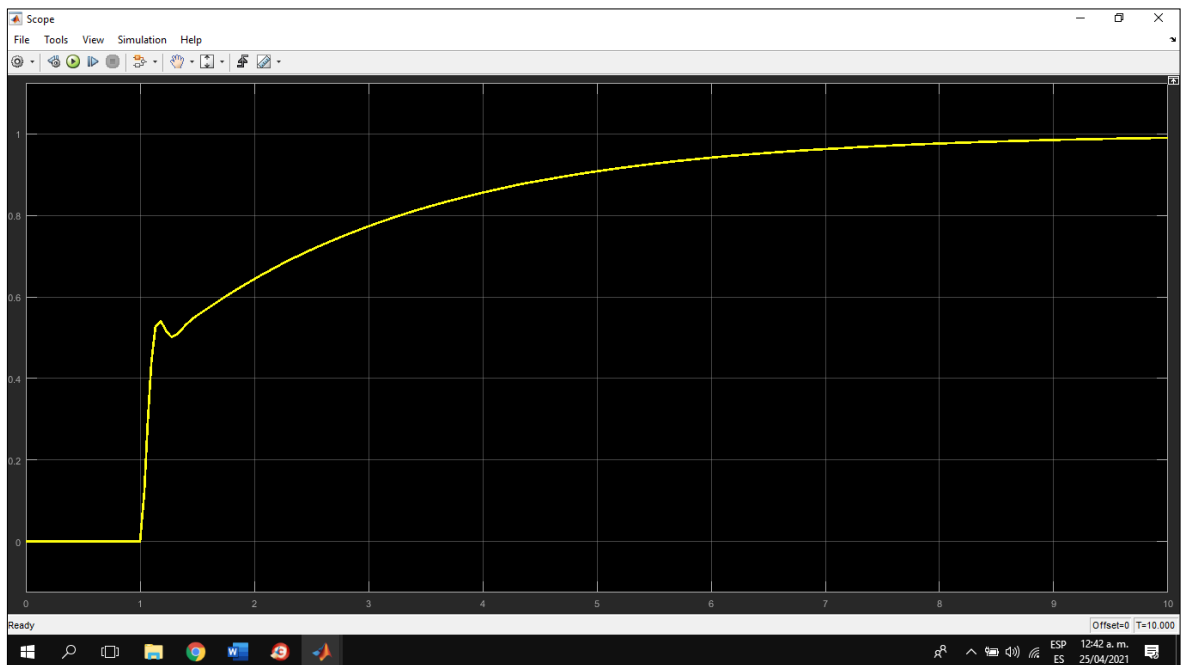


Figura 4.31: Respuesta escalonada del controlador PID
Elaborado por el equipo de trabajo

Como se puede apreciar en la figura, la respuesta controlada por PID tiene valores de tiempo de establecimiento considerablemente más altos cada vez más alto. Por tanto, se intenta mejorar aún más la respuesta utilizando el controlador FUZZY.

4.14.1 Controlador de lógica difusa

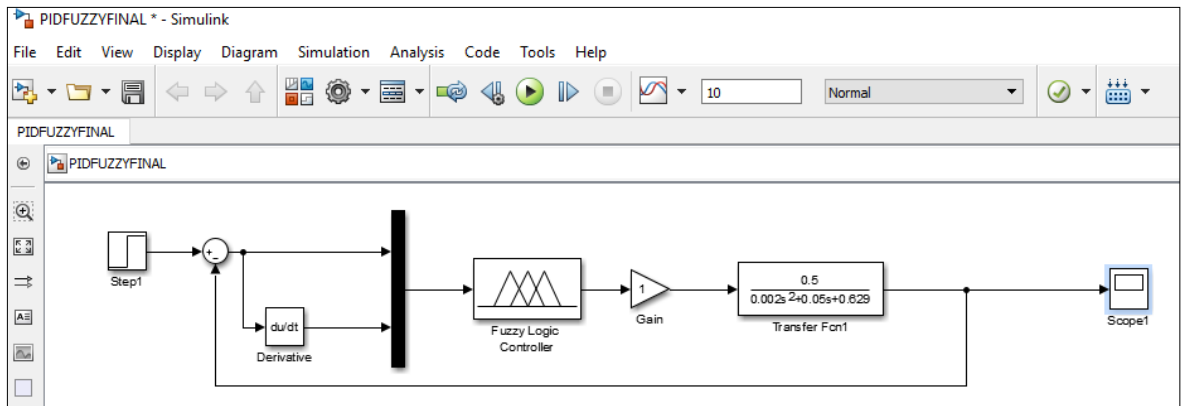


Figura 4.32: Modelamiento de sistema Matlab/Simulink de controlador difusa "FUZZY"
Elaborado por el equipo de trabajo

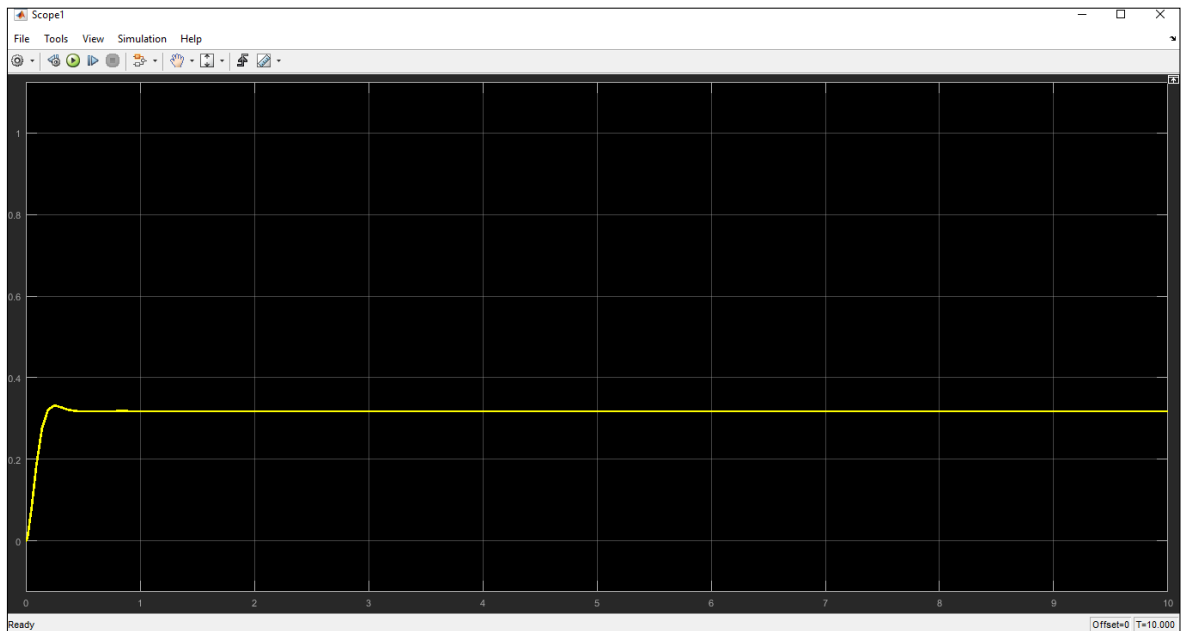


Figura 4.33: Respuesta escalonada del controlador FUZZY
Elaborado por el equipo de trabajo

En la figura anterior, se puede ver fácilmente que el sobre impulso sea reducido considerablemente con el controlador de lógica difusa en comparación del PID que usa el método Z N.

4.14.2 Pasos de respuestas con PID y controlador de lógica difusa

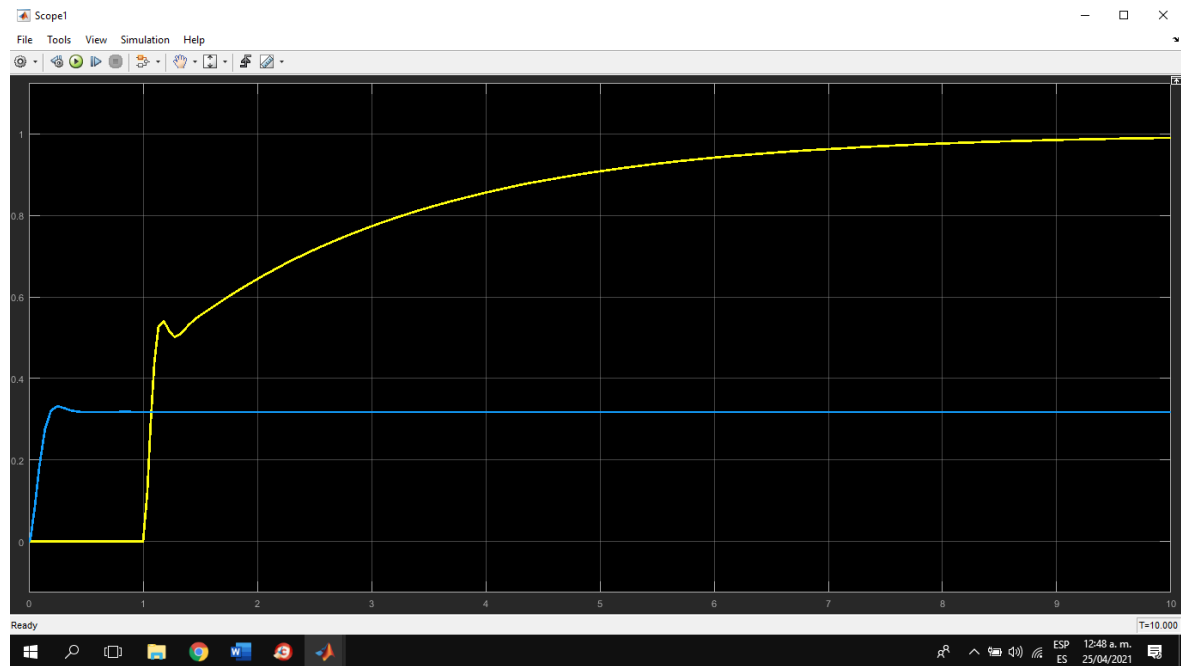


Figura 4.34: Respuestas a pasos del sistema usando PID y controlador de lógica difusa

Elaborado por el equipo de trabajo

La Figura se muestra que la respuesta del sistema ha mejorado mucho con la aplicación del controlador de lógica difusa (FLC). El sobre impulso del sistema que usa FLC se ha reducido, el tiempo de asentamiento, el tiempo pico del sistema también muestra una reducción apreciable.



V. CONCLUSIONES

PRIMERO. Para el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico El variador de frecuencia “SINAMICS V20 1AC 240V 1,5 KW Filtro” es un componente necesario para el control del motor mediante la variación de la frecuencia (Hz), sus capacidades de diagnóstico y de red controla mejor el rendimiento y aumenta la productividad. Por lo tanto, el ahorro de energía, el control inteligente del motor y la reducción de la corriente de pico son tres grandes razones para elegir un variador de frecuencia como controlador PID en cada sistema accionado por motor.

SEGUNDO: En este tipo de tecnología se requiere saber la cantidad de módulos fotovoltaicos de acuerdo al Voltaje nominal (V_{mp}) y la potencia del motor de acuerdo a la altura de bombeo y diseño para el sistema de bombeo directo, Esta tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, Y alarga la vida útil del motor además requiere poco mantenimiento.

TERCERO: La implementación del controlador PID al sistema de bombeo consiste en la determinación de los parámetros, cuya única finalidad resulta en el comportamiento del sistema de control aceptable, este tipo de controlador a implementar resulta un tema muy sensible para el sistema de bombeo y otros, como lo es la eficiencia energética y asegurar la calidad del sistema.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se sugiere al gobierno regional y local deberán brindar soluciones a través de proyectos de inversión para solucionar el factor económico y la demanda de agua potable, ya que es una preocupación para los pobladores en las zonas rurales en nuestra región de Puno.

SEGUNDO: Se sugiere a los especialistas en proyectos de sistemas de bombeo deben optar de hacer los proyectos para zonas rurales con sistema fotovoltaico con acoplamiento directo e implementación de controladores eficientes.

TERCERO: Se sugiere a las plantas de bombeo efectuar proyectos de control y Automatización con controladores eficientes ya que trae grandes beneficios (tiempos exactos, no hay perdidas, mayor eficiencia en el servicio y lo más importante es que se reduce los costos de mano de obra y consumo de energía hasta un 50%), y una alta calidad en la distribución del agua.



VII. REFERENCIAS

- Asmat Caseres, C. P. (2018). Determinación de la eficiencia de un sistema de bombeo fotovoltaico en el distrito de Yaurisque – Cusco., (pág. 117). Lima.
- Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Alonso Castro Gil, M. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Madrid (España): PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2009.
- CENGEL, Y. A., & CIMBALA, J. M. (2006). *MECANICA DE FLUIDOS-fundamentos y aplicaciones*. MEXICO: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Choque Arce, D., & Ramos Huanacuni, W. M. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo Solar monotorizado para pruebas de Perfomance en el laboratorio de Control y Automatización de la EPIME*. Puno.
- Constante Martinez, L. J., & Calle Rodas, J. C. (2018). *Diseño e Implementación de Controladores PID y FUZZY para la planta de almacenamiento automático del sistema FESTO MPS500 en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil*. Guayaquil – Ecuador.
- Departamento de Ingeniería Eléctrica, E. y. (31 de Enero de 2019). *Controladores Lógicos Programables (PLC)*. Obtenido de <http://www.ieectqai.uned.es>
- Gamarra Ventocilla, R. (2012). *Control de un sistema de bombeo y cloración de agua*. Lima.
- Gasquet, H. L. (2004). *Conversión de la Luz Solar en energia electrica-Manual Teórico y Práctico sobre los sistemas fotovoltaicos*. Cuernavaca, Morelos, México: Solartronic, S.A. de C.V.
- Jiménez Ortiz, J. F. (2009). *Estudio y Simulación de Sistemas de Conversión Fotovoltaica - Eléctrica mediante MATLAB-SIMULINK*. Barcelona.



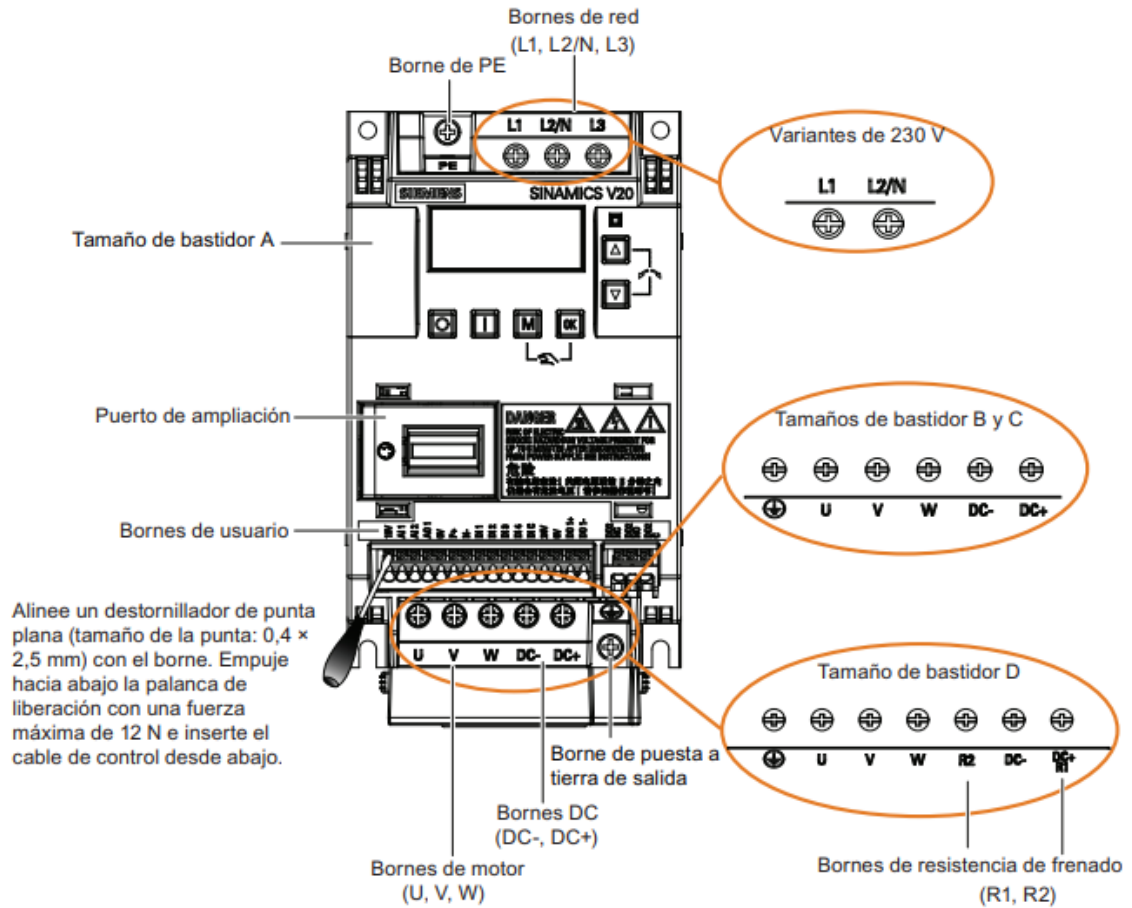
- Kouro R., S., & Musalem M., R. (2002). Control Mediante Lógica Difusa. *Control Mediante Lógica Difusa*, 7.
- Leon Perez, R. P. (2014). *Diseño, Programación e Implementación de un Sistema de Control Difuso para el proceso de producción de hidrogeno a partir de vapor sobrecalentado de agua*. Quito .
- Moreno Peñafiel , E. P. (2016). *Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para el aprendizaje y operación de Controladores Lógicos Programables, monitoreado mediante el Software INTOUCH en el laboratorio de electromecánica de la universidad técnica de COTOPAXI, Extensión la Maná*. Ecuador.
- Mott, R. L. (2006). *MECANICA FLUIDOS. Sexta edición*. Mexico: Pearson Educacion de Mexico, S.A de C.V.
- Noguera Salas, O., Pinto Garcia, R. A., & Villarreal Padilla, J. E. (2018). La eficiencia de los nuevos materiales fotosensibles. *ITECKNE 15(1)*, 7-16,doi:10.15332/iteckne.v15i1.1959.
- Obando, L. F. (s.f.). *dademuchconnection*. Obtenido de dademuchconnection: <https://dademuch.com/2019/06/14/controlador-pi-proporcional-integral-sistemas-de-control/>
- Orbegozo, C., & Arivila, R. (2010). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA-manual tecnico para instalaciones domiciliarias*. arequipa: GREEN ENERGY CONSULTORIA Y SERVICIOS SRL.
- Perez, M. A., Perez Hidalgo, A., & Perez Berenguer, E. (2007). *Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo*. San Juan, Argentina.



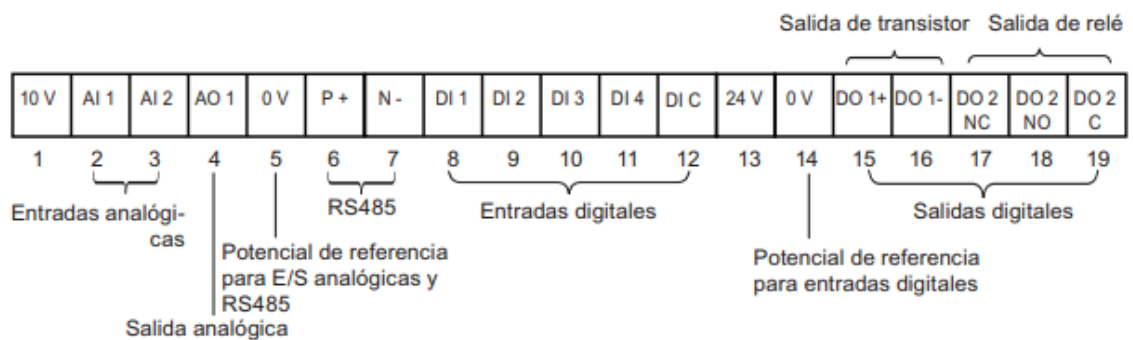
- PERPIÑÁN LAMIGUEIRO, O. (2013). *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA*.
ESPAÑA: España de Creative Commons.
- Soto Romero, C. F. (2012). *Técnica de control autónomo de un sistema de bombeo de agua potable para una mayor eficiencia en su servicio en la unidad DOE RUN Perú- Cobriza*. Huancayo.
- Suárez, R. A. (2017). *Ciencia, Innovación y Tecnología (RCIYT)* .
- Valenzuela Zapata, M. Á., Solorza Feria, O., González Huerta, R. d., Vigil Galán, O., Alfaro Hernández, S., Saldaña Flores, R., . . . Patiño Díaz, R. T. (2009). *LIBRO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA N° 2 - Primera Edición, Año 2009*. Mexico: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- Virginia, M. (2002). *Controladores PID*. Buenos Aires.
- White, F. M. (2004). *MECANICA DE FLUIDOS - Quinta Edicion*. Madrid-España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.

ANEXOS

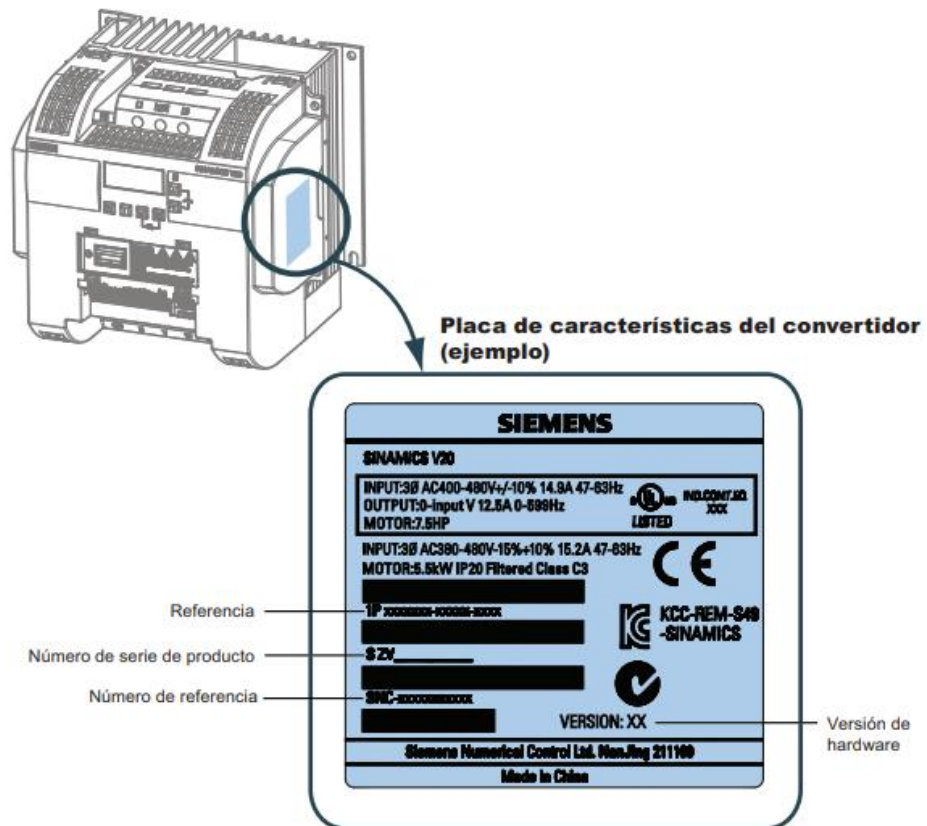
Anexo N° 1: DISPOSICIÓN DE LOS BORNES DE VARIADOR DE FRECUENCIA.



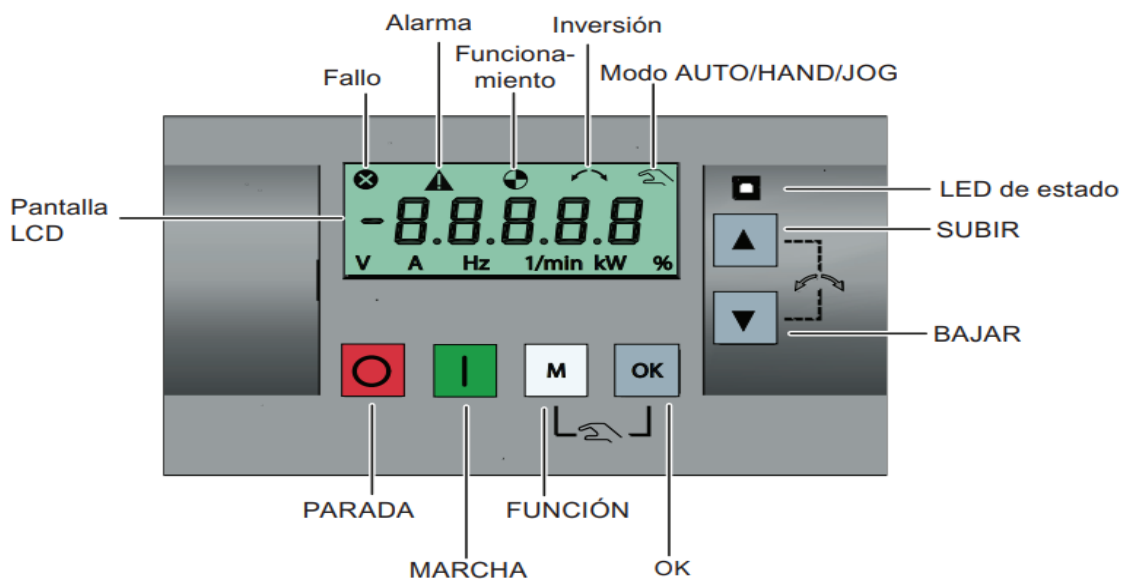
Anexo N° 2: BORNES DE USUARIO DE VARIADOR DE FRECUENCIA.



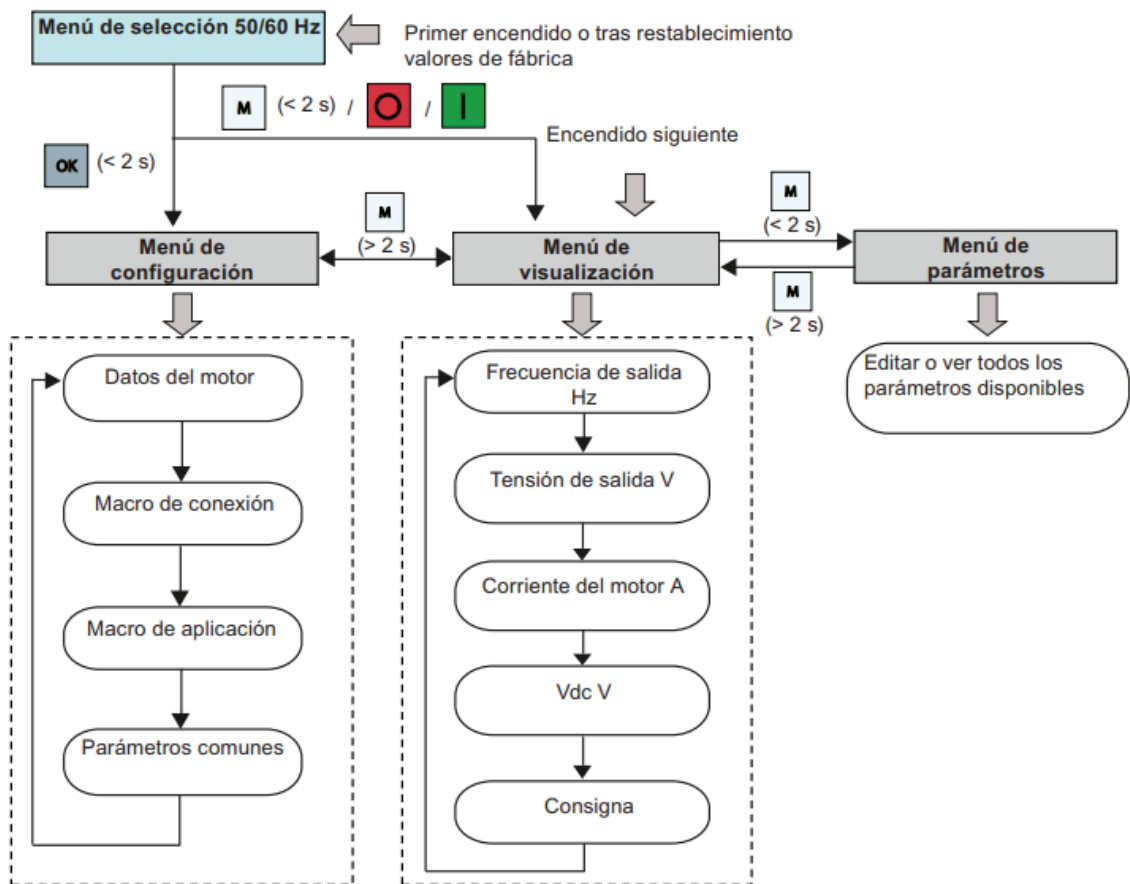
Anexo N° 3: PLACA DE CARACTERÍSTICAS DEL CONVERTIDOR



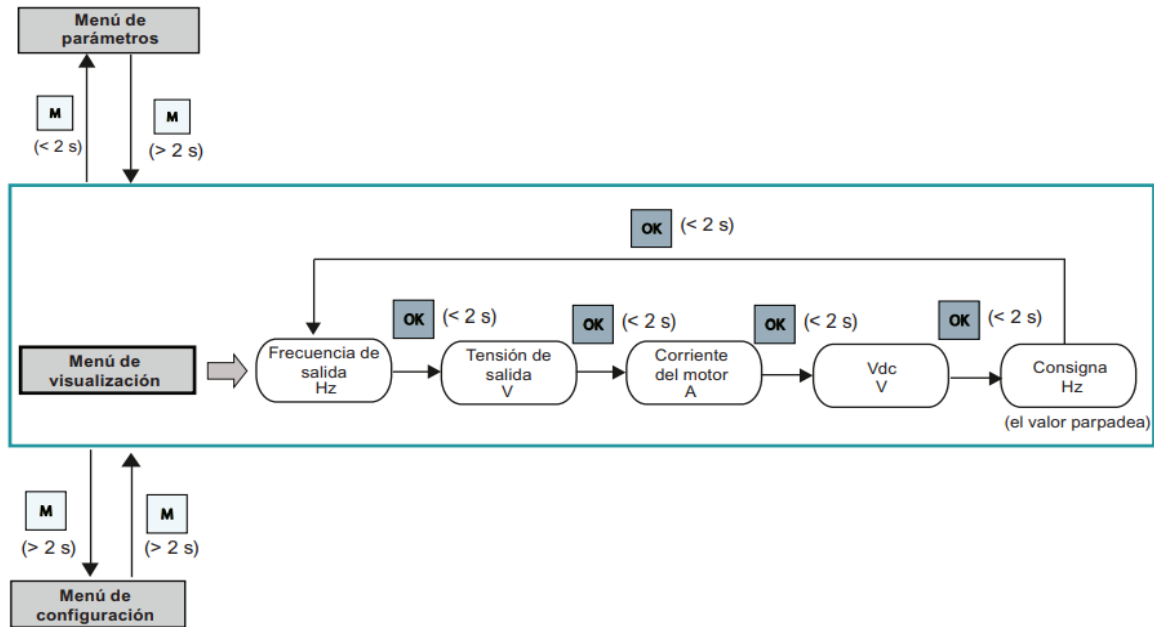
Anexo N° 4: PANTALLA DE VARIADOR DE FRECUENCIA Y SUS FUNCIONES



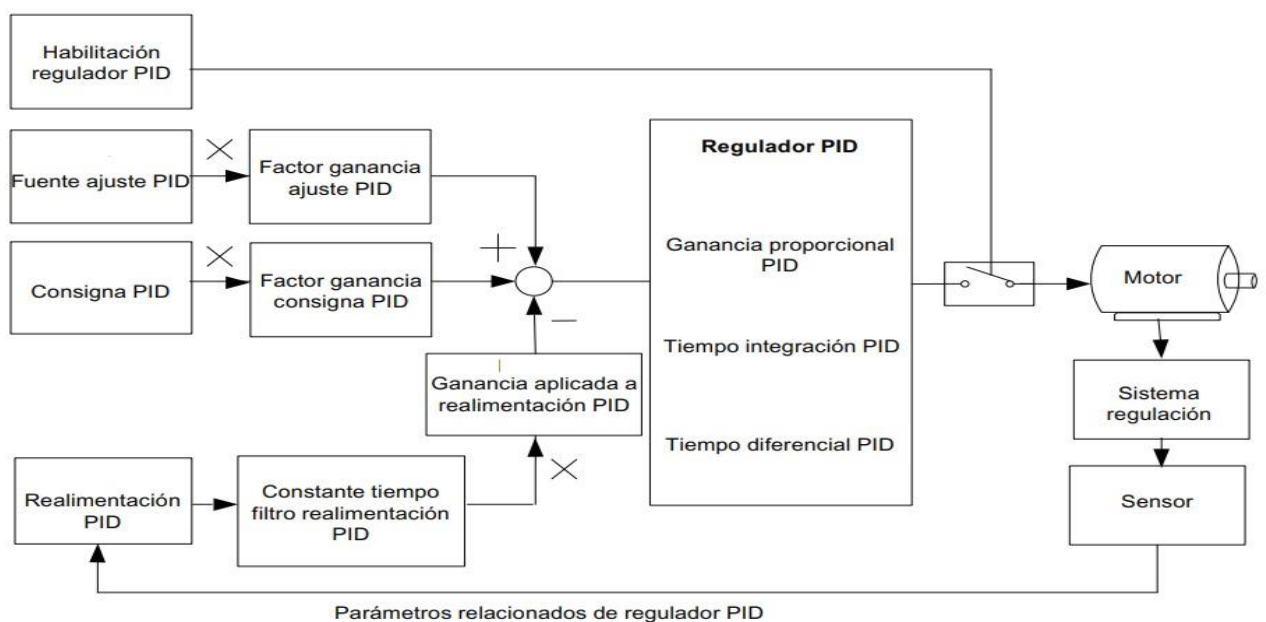
Anexo N° 5: ESTRUCTURA DE MENÚ DEL CONVERTIDOR VARIADOR DE FRECUENCIA



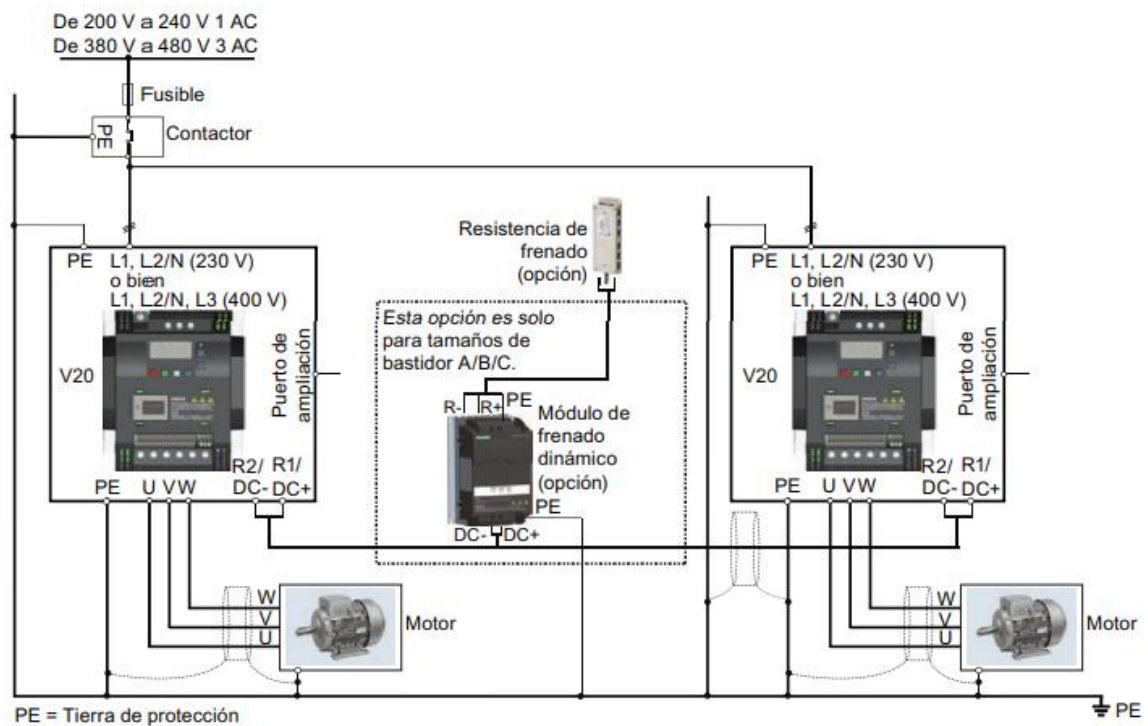
Anexo N° 6: VISUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL CONVERTIDOR, VIGILANCIA BÁSICA DE ALGUNOS PARÁMETROS CLAVE COMO FRECUENCIA, TENSIÓN, CORRIENTE,



Anexo N° 7: CONFIGURACIÓN DEL REGULADOR PID, CONTROL DE PROCESOS SIMPLES, COMO CONTROL DE PRESIONES, NIVELES O CAUDALES.



Anexo N° 8: CONFIGURACIÓN DE LA FUNCIÓN DE ACOPLAMIENTO EN DC



En la aplicación más habitual, que se muestra en la figura siguiente, interconectar dos convertidores SINAMICS V20 de igual tamaño y potencia nominal permite que la energía de un convertidor, que actualmente decelera una carga, alimente el segundo convertidor a través de la interconexión de DC. Esto requiere un menor consumo de energía de la alimentación de red. En este caso, se reduce el consumo total de electricidad.



Anexo N° 9: PANEL SOLAR LABORATORIO EPIME UNA-PUNO





Anexo N° 10: LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN EPIME UNA- PUNO

