

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y
FORMALES**

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**PURIFICACIÓN DEL AGUA POR CONDENSACIÓN
PROVOCADA POR CALENTADOR AUTOMÁTICO SEGUIDOR
SOLAR CON SUPERVISIÓN DE MINI-SCADA FAST-TOOLS**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

IGOR ZEBALLOS PAZ

ASESOR DE TESIS:

ING. DIANA VALDIVIESO

AREQUIPA – PERU

2015

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Ing. Raul Sulla

Firma del jurado

Ing. Diana Valdivieso

Firma del jurado

Ing. Juan Carlos Copa

Arequipa, 9 de Enero del 2015

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Católica de Santa María. ”

Las imágenes que presenten como fuente: TesisIZP2014, refieren a las imágenes realizadas por mí, antes, durante y finalizado este proyecto.



Igor Zeballos Paz

DEDICATORIA

A Dios, por dármele todo y porque desde que descubrí su infinito amor sé que nada es imposible.

A mis padres Hugo Zeballos Medina y Roxana Paz de Zeballos, por ser tan generosos conmigo y brindarme todo su amor durante estos 26 años de vida.

A mis hermanos Sebastián y Karla, por creer siempre en mí y apoyarme a pesar de todas las dificultades.

A Paola, por ser la inspiración de este último tiempo y ser mi fiel compañera.

A mis tíos, primos y amigos, que siempre me ayudaron en las buenas y en las malas y que me seguirán acompañando incondicionalmente

Igor Zeballos Paz

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por su infinito amor y porque día a día me impulso a conseguir nuevas metas que me harán un hombre más digno.

A mis padres, por ser esos instrumentos divinos que Dios puso en mi vida para enseñarme a amar y realizarme como ser humano.

A mis hermanos, por estar conmigo en todo momento y ayudarme cuando más lo necesito.

A mi tío Dr. Azael Paz, por impulsarme a realizar la presente tesis, guiarme con todos sus conocimientos y ser un ejemplo de vida.

A mi Asesor Ing. Diana Valdivieso por su orientación y consejos para el correcto desarrollo de este trabajo.

A mi familia y amigos que me ayudaron siempre que lo necesite, para cumplir con esta etapa de mi vida.

A los ingenieros de la Universidad Católica de Santa María, por la formación recibida, tanto en el ámbito de la ingeniería como en lo personal.

A todas las personas involucradas en el proyecto y desarrollo de esta Tesis.

Igor Zeballos Paz

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	17
RESUMEN.....	18
ABSTRACT.....	19
CAPITULO I.....	20
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	20
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2 TÍTULO DE LA TESIS.....	21
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	21
1.3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	21
1.4 HIPÓTESIS.....	21
1.4.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL.....	21
1.4.2 HIPÓTESIS SECUNDARIAS.....	21
1.5 VARIABLES.....	22
1.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES.....	22
1.5.2 VARIABLES DEPENDIENTES.....	22
1.6 INDICADORES.....	23
1.7 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
CAPITULO II.....	25
MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 EL AGUA.....	25
2.2 TIPOS DE AGUA BEBIBLE.....	26
2.2.1 TIPOS DE PURIFICACION.....	25
2.2.2 DESTILACIÓN DEL AGUA.....	27
2.2.3 EL AGUA DESTILADA APTA PARA CONSUMO HUMANO.....	28
2.3 EL SOL.....	30
2.3.1 LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ.....	31
2.3.2 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	33

2.3.3	<i>ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</i>	35
2.4	<i>COCINAS SOLARES</i>	36
2.4.1	<i>ELEMENTOS DE COCINAS SOLARES DE CONCENTRACIÓN</i>	38
2.4.2.1	<i>TERMAS SOLARES</i>	38
2.4.3	<i>CONCENTRADOR SOLAR</i>	39
2.4.3.1	<i>MATERIAL ABSORBENTE</i>	40
2.4.4	<i>INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO</i>	42
2.5	<i>SISTEMA BASICO DE DESTILACIÓN DE AGUA</i>	46
2.5.1	<i>CONTROL DE TEMPERATURA</i>	46
2.5.1.1	<i>CONTROL DE LAZO CERRADO</i>	47
2.5.1.2	<i>SENSOR DE TEMPERATURA</i>	48
2.5.1.2.1	<i>SENSOR DE TEMPERATURA LM35</i>	49
2.5.1.3	<i>VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO</i>	50
2.5.2	<i>CONTROL DE NIVEL DEL LÍQUIDO</i>	52
2.5.3	<i>CÁMARAS DE CONDENSACIÓN</i>	53
2.6	<i>SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR</i>	54
2.6.1	<i>INFLUENCIA SOLAR EN LAS ESTACIONES</i>	55
2.6.2	<i>COLOCACIÓN SOBRE SOPORTE ESTÁTICO</i>	58
2.6.3	<i>SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR DE 2 EJES</i>	58
2.6.3.1	<i>SISTEMAS MECÁNICOS</i>	59
2.6.3.2	<i>MEDIANTE DISPOSITIVOS DE AJUSTE AUTOMÁTICO</i>	59
2.6.3.3	<i>DISPOSITIVOS SIN MOTOR</i>	59
2.7	<i>CONTROL DE SEGUIMIENTO</i>	59
2.7.1	<i>CONTROL DE LAZO ABIERTO</i>	60
2.7.2	<i>CONTROL DE LAZO CERRADO</i>	61
2.7.2.1	<i>FOTORESISTENCIA</i>	61
2.7.2.2	<i>ACTUADOR</i>	61
2.8	<i>ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA</i>	62
2.8.1	<i>EL PANEL SOLAR</i>	62
2.8.2	<i>REGULADOR DE CARGA</i>	63
2.9	<i>SISTEMA DE CONTROL</i>	65
2.9.1	<i>MICROCONTROLADOR PIC 16F877A</i>	65
2.9.2	<i>SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN PIC C</i>	67
2.9.3	<i>TARJETA PARA PROGRAMACIÓN DEL PIC</i>	68

2.9.4 PICKIT II SOFTWARE	68
2.9.4 PANTALLA LCD 16X2	69
2.9.5 SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y MONITOREO (SCADA)	71
2.9.5.1 LAZO ABIERTO Y CERRADO	71
2.9.5.2 COMPONENTES DEL SISTEMA	72
 CAPITULO III	 75
 DISEÑO	 75
3.1 ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	75
3.2 ENERGÍA TÉRMICA GENERADA POR UN PLATO SOLAR	75
3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA	79
3.4 CONTROL DE GIRO DEL PLATO SOLAR	80
3.5 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR	81
3.6 MECANISMO DEL SEGUIDOR SOLAR	83
3.6.1 PLATO SOLAR	83
3.6.2 SENSORES DE CONTACTO	84
3.6.3 SENSORES DE LUZ	84
3.6.4 MOTOR DC	84
3.7 CIRCUITOS DE ACONDICIONAMIENTO DEL SEGUIDOR SOLAR	85
3.7.1 ACONDICIONAMIENTO DEL CIRCUITO SEGUIDOR DE LUZ	85
3.7.2 CIRCUITO PARA EL MOVIMIENTO DE LOS MOTORES	87
3.7.3 ACONDICIONAMIENTO DE LA TEMPERATURA	89
3.7.4 ACONDICIONAMIENTO DEL VOLTAJE DE SALIDA DE LOS PANELES SOLARES PARA MONITOREO	 90
3.7.5 ACONDICIONAMIENTO DELAS VÁLVULAS SELENOIDES	91
3.8 ESTUDIO DE ENERGIA UTILIZADA EN EL PROCESO	94
3.9 REGULADORES DE TENSIÓN PARA AMBOS PANELES	95
3.10 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL	97
3.10.1 PROGRAMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DEL SEGUIDOR SOLAR	100
3.10.2 PROGRAMA DE CONTROL DE LLENADO DE OLLA SOLAR	103
3.10.3 PROGRAMA PARA EL SENSADO DE TEMPERATURA Y VOLTAJE	104
3.11 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL SCADA	107

3.11.1 CONEXIÓN FÍSICA DEL SISTEMA.....	108
3.12 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOCOLO MODBUS EN PIC 16F877A.....	111
3.12.1 DEFINICIÓN DE LAS TRAMAS ENVIADAS DESDE EL SISTEMA SCADA.....	113
3.12.2 DEFINICIÓN DE LAS TRAMAS DE RESPUESTA ENVIADAS DESDE EL ESCLAVO PIC 16F877A.....	115
3.13 CONFIGURACIÓN, PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA SCADA: FAST-TOOLS 10.1.....	121
3.13.1 CONFIGURACIÓN DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA SCADA.....	127
3.13.2 DISEÑO DE LA PANTALLA DEL SISTEMA SCADA.....	137
3.14 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA OLLA SOLAR.....	141
3.14.1 COLOR DE LA OLLA SOLAR.....	141
3.14.2 ENTRADA Y SALIDA DE AGUA DE LA OLLA SOLAR.....	142
3.14.3 SENSORES DE NIVEL PARA LA OLLA SOLAR.....	143
3.14.4 CIRCUITOS PARA SENSORES DE NIVEL.....	144
3.15 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DESTILADOR DE AGUA.....	145
3.16 SISTEMA COMPLETO ACOPLADO.....	149
 CAPITULO IV.....	 150
 PRUEBAS Y RESULTADOS.....	 150
4.1 FUNCIONAMIENTO.....	150
4.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SEGUIDOR SOLAR.....	150
4.2.1 UBICACIÓN Y RECUBRIMIENTO DE LAS FOTORRESISTENCIAS.....	151
4.2.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA SEGUIDOR SOLAR.....	152
4.3 PROCESO Y TIEMPOS DE DESTILACIÓN.....	153
4.4 NIVELES DE PURIFICACIÓN DEL AGUA.....	154
4.5 FUNCIONAMIENTO DE TODO EL SISTEMA.....	155
 CAPITULO V.....	 156
 REDUNDANCIA, CONFIABILIDAD, CONSUMO ENERGÉTICO, ANÁLISIS DE COSTOS Y COSTE ECONÓMICO.....	 156
5. SISTEMA DE REDUNDANCIA.....	156
6. CONFIABILIDAD.....	156

6.1 CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA PROPUESTO.....	157
6.2 COSTOS POR MANTENIMIENTO.....	160
7. CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA.....	161
8. ANÁLISIS DE COSTOS Y AHORROS ECONÓMICOS.....	162
9. COSTE ECONÓMICO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.....	164
CONCLUSIONES.....	165
RECOMENDACIONES.....	167
BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES ELECTRÓNICOS.....	169
ANEXOS.....	171



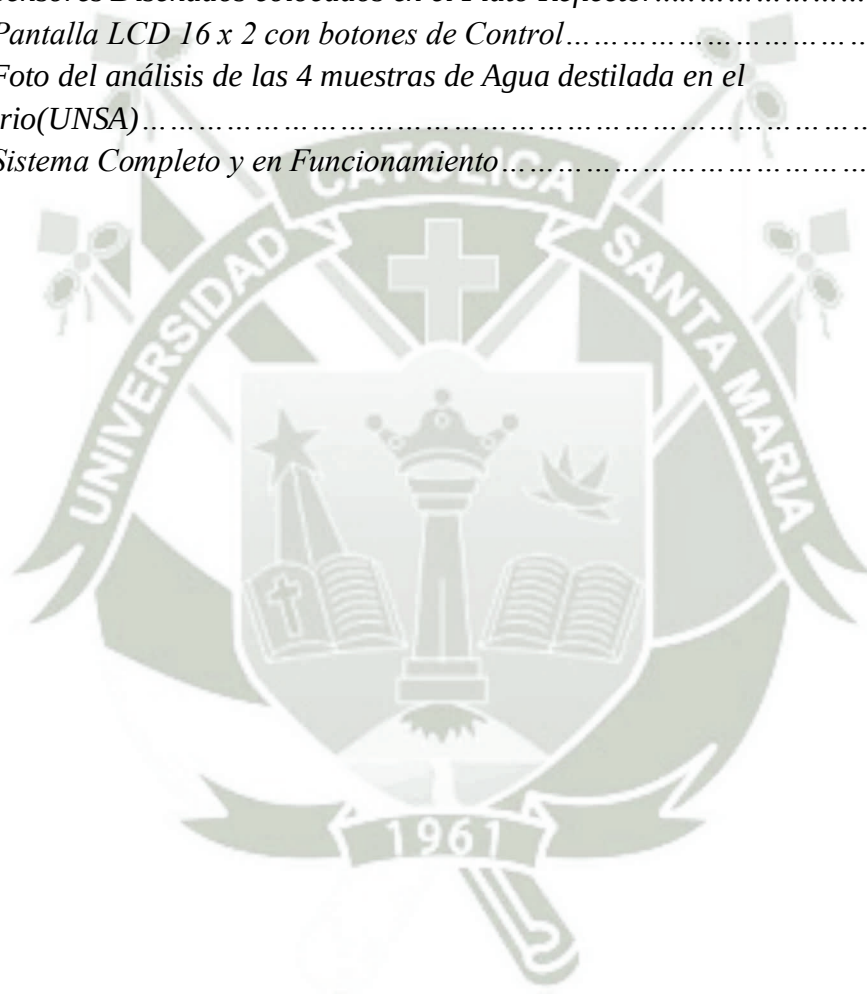
ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 El Agua, fuente fundamental de la vida en el planeta.....	25
Fig. 2.2 Típico sistema de destilación.....	28
Fig. 2.3 El sol visto desde el espacio.....	31
Fig. 2.4 Potencial de energía solar en el Perú.....	32
Fig. 2.5 (a) Funcionamiento de Terma solar (b) Terma Solar.....	34
Fig. 2.6 (a) Cocina Solar (b) Tipos de cocina solar por Concentración.....	37
Fig. 2.7 Esquema General de Cocina por Concentración.....	38
Fig. 2.9 Sistema de funcionamiento de una terma solar.....	39
Fig. 2.10 Principio de reflexión de la luz en un espejo cóncavo.....	40
Fig. 2.11 Absorción y radiación del absorbente.....	41
Fig. 2.12 Absorción y radiación del absorbente con un revestimiento selectivo.....	42
Fig. 2.13 Sistema básico de destilación de líquido simple.....	46
Fig. 2.14 Control básico de temperatura.....	47
Fig. 2.15 Control de lazo cerrado.....	48
Fig. 2.16 Simbología de los sensores de temperatura.....	48
Fig. 2.17 Sensor LM35.....	49
Fig. 2.18 Dinámica de medida de una válvula de control.....	51
Fig. 2.19 Niveles de control en un tanque.....	53
Fig. 2.20 Ejemplo de condensación de la transpiración en un vidrio frío.....	54
Fig. 2.21 Sistema de Condensación.....	54
Fig. 2.22 Inclinação del eje de rotación terrestre 23,5°.....	55
Fig. 2.23 Las estaciones con respecto a la eclíptica.....	56
Fig. 2.24 Soporte estático del panel Solar.....	58
Fig. 2.25 Panel solar con seguimiento en 2 ejes.....	58
Fig. 2.26 Sensor para seguimiento Solar.....	59
Fig. 2.27 Fotorresistencia.....	61
Fig. 2.28 Esquema general de una instalación solar fotovoltaica.....	62
Fig. 2.29 Constitución de un Panel Solar.....	62
Fig. 2.30 Conexiones del Regulador de Carga en una Instalación Fotovoltaica.....	64
Fig. 2.31 Sistema típico de Control Difuso.....	65
Fig. 2.32 PIC 16F877A.....	65
Fig. 2.33 Software de programación PIC C.....	67
Fig. 2.34 Tarjeta de Programación Compatible con Pickit.....	68
Fig. 2.35 Software Pickit 2 v. 2.52.....	68
Fig. 2.36 Pantalla LCD 16x2.....	69
Fig. 2.37 (a) LCD bus de 4 bits (b) LCD bus de 8 bits.....	70
Fig. 2.38 Sistema SCADA en configuración de Lazo Abierto.....	71
Fig. 2.39 Ejemplo de pantalla de supervisión para un Sistema SCADA.....	74

Fig. 3.1 Radiación Promedio en Arequipa en el Inicio del Otoño (20 de Marzo).....	76
Fig. 3.2 Radiación Promedio en Arequipa en el Inicio del Invierno (21 de Junio).....	76
Fig. 3.3 Radiación Promedio en Arequipa en el Inicio de la Primavera (23 de Septiembre).....	77
Fig. 3.4 Radiación Promedio en Arequipa en el Inicio del Verano (21 de Diciembre)..	77
Fig. 3.5 Temperaturas máximas y mínimas en el Aluminio durante el día.....	78
Fig. 3.6 Diagrama de Bloques de Control del Sistema Plato Seguidor Solar, Olla Solar y Condensador	79
Fig. 3.7 Diagrama de Bloques de Control del Sistema Plato Seguidor Solar para Purificador por Condensación.....	80
Fig. 3.8 Prototipo N° 1.....	82
Fig. 3.9 Disposición de los motores y engranajes para los 2 grados de libertad.....	82
Fig. 3.10 Plato Solar a utilizar.....	83
Fig. 3.11 Fotorresistencia.....	84
Fig. 3.12 Motor DC a 12V.....	85
Fig. 3.13 Circuito comparador de intensidad de luz.....	86
Fig. 3.14 Placa impresa del circuito comparador de intensidad de luz.....	87
Fig. 3.15 Integrado L293B.....	87
Fig. 3.16 Esquema Circuito L293B en Proteus ISIS.....	88
Fig. 3.17 Placa impresa del Puente H con L293B.....	88
Fig. 3.18 Sensor de temperatura LM35.....	89
Fig. 3.19 Esquema para el Sensor de temperatura LM35.....	89
Fig. 3.20 Circuito de sensado de voltaje.....	90
Fig. 3.21 Divisor de Tensión en placa del Microcontrolador.....	91
Fig. 3.22 Válvula Selenoide de 12v DC a 400mA.....	92
Fig. 3.23 Transistor TIP31.....	92
Fig. 3.24 Circuito de acondicionamiento para la Válvula Selenoide.....	93
Fig. 3.25 A la izquierda panel de 10W y a la derecha panel de 3W.....	94
Fig. 3.26 Panel de 3W especificaciones técnicas del reverso.....	95
Fig. 3.27 Panel de 10W especificaciones técnicas del reverso.....	95
Fig. 3.28 Configuración típica del Regulador L7805 para una entrada de hasta 40v y salida de 5v soportando hasta 1 amperio.....	95
Fig. 3.29 Placa impresa de Reguladores con línea de conectores para alimentar todos los circuitos.....	96
Fig. 3.30 Cuadro de diálogo para iniciar el PicWizard.....	97
Fig. 3.31 Entorno de configuración del Microcontrolador.....	98
Fig. 3.32 Configuración de entrada Analógica A0.....	99
Fig. 3.33 Configuración Default para el LCD 16x4.....	99
Fig. 3.34 Sistema de Supervisión FAST-TOOLS de YOKOGAWA.....	107
Fig. 3.35 Ejemplo de conexión de microcontrolador con interfaz de conversión RS-485.....	108
Fig. 3.36 Dispositivo MAXIM485 convertidor de TTL a RS-485.....	109
Fig. 3.37 Convertidor RS-485 a Ethernet TSXETG100 ConneXium.....	109

Fig. 3.38 ROUTER ZYXEL P-600 series para la conexión Ethernet y propagación inalámbrica de los datos del Sistema.....	110
Fig. 3.39 Diagrama de toda la Conexión Física de comunicación de datos del Proyecto.....	110
Fig. 3.40 Comparación de tramas modo ASCII contra modo RTU.....	111
Fig. 3.41 Tipos de posibles errores de subfunciones enviados por el esclavo.....	112
Fig. 3.42 Arranque del programa desde la barra de Inicio de Windows 7.....	121
Fig. 3.43 Ubicación del programa para realizar la Ingeniería del sistema.....	121
Fig. 3.44 Ubicación de los principales atributos del “Engineering Module”.....	122
Fig. 3.45 Ubicación de la carpeta MODBUS para la creación de la Línea de control.....	122
Fig. 3.46 Creación de la Línea de Control.....	123
Fig. 3.47 Pantalla de Configuración de “Timing” de la Línea de Control.....	123
Fig. 3.48 Creación de la Estación de Control.....	124
Fig. 3.49 Pantalla de Configuración de OPTIONS para la Estación MODBUS.....	125
Fig. 3.50 Pantalla de Configuración de SCAN TYPE.....	126
Fig. 3.51 Agregar una Sección para almacenar las Variables o “TAGS” del Sistema.....	127
Fig. 3.52 Creación de una Sección.....	127
Fig. 3.53 Creación de los TAGS para las variables de MODBUS.....	128
Fig. 3.54 Configuración del ITEM General.....	129
Fig. 3.55 Configuración del ITEM Manejo del ITEM.....	129
Fig.3.56 Configuración del ITEM Manejo del Equipo.....	130
Fig.3.57 TAG creado debajo de la Sección Tesis_IZP_2014.....	131
Fig. 3.58 Configuración de un TAG para movimiento de los Motores.....	131
Fig. 3.59 Configuración de un TAG interno: ITEM MANAGEMENT.....	132
Fig. 3.60 Configuración de un TAG interno: EQUIPMENT.....	132
Fig. 3.61 TAGS creados bajo la Sección TESIS_IZP_2014.....	133
Fig. 3.62 Ubicación del editor de programas.....	134
Fig. 3.63 Entorno para el desarrollo de los programas “CLASSES”.....	135
Fig. 3.64 Nuevas variables generadas después de la ejecución de las CLASSES.....	137
Fig. 3.65 Ubicación del Sub Programa Edit Module de FAST TOOLS 10.1.....	137
Fig. 3.66 Entorno del programa Edit Module.....	138
Fig. 3.67Pantalla diseñada para el sistema de supervisión y control.....	138
Fig.3.68 Características propias del Elemento seleccionado.....	139
Fig. 3.69 Unión de la variable al Valor “VALUE” del elemento Gráfico.....	139
Fig. 3.70 Listado de valores y prueba de conexión con el PIC16F877A.....	140
Fig. 3.71 Pantalla de Monitoreo Final.....	141
Fig. 3.72 Absorción de toda la radiación.....	142
Fig. 3.73 Proceso Termodinámico de Evaporación del Agua en Olla Solar.....	142
Fig. 3.74 Sensores de nivel en la Olla Solar.....	143
Fig. 3.75 Olla Solar diseñada.....	144
Fig. 3.76 Circuito Transductor del Sensor de Nivel.....	144
Fig. 3.77Circuito Impreso de Transductores de Sensores de Nivel y Finales de	

<i>Carrera</i>	145
<i>Fig. 3.78 Modelo de Destilador a Utilizar</i>	145
<i>Fig. 3.79 Ejemplo de funcionamiento del Destilador</i>	146
<i>Fig. 3.80 Tubería Y para distribución del Agua a la salida del Destilador</i>	147
<i>Fig. 3.81 Diagrama de válvula de Venturi para flujo constante</i>	148
<i>Fig. 3.82 Sistema de Condensación de Agua a utilizar</i>	148
<i>Fig. 3.83 Sistema Completo de purificación de Agua por destilación</i>	149
<i>Fig. 4.1 Alineación Automática del Plato Reflector Solar</i>	150
<i>Fig. 4.2 Comportamiento de Sensores para alineación Automática del Plato Reflector Solar</i>	151
<i>Fig. 4.3 Sensores Diseñados colocados en el Plato Reflector</i>	152
<i>Fig. 4.4 Pantalla LCD 16 x 2 con botones de Control</i>	152
<i>Fig. 4.5 Foto del análisis de las 4 muestras de Agua destilada en el Laboratorio(UNSA)</i>	154
<i>Fig. 4.6 Sistema Completo y en Funcionamiento</i>	155



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Factores de inclinación solar determinados para el Perú.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2.2 Estimación de la media mensual de la radiación solar diaria del Perú.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 2.3 Unidades utilizadas en energía solar fotovoltaica.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2.4 Ventajas entre cocinas solar por Acumulación y Concentración.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2.5 Resultados de una prueba de comparación de diferentes materiales absorbentes de calor.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 2.6 Diferencias entre paneles según la tecnología de fabricación.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 2.7 Características del PIC 16F877A.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 2.8 Orden de pines para el LCD 16x2.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 3.1 Valores de potencia a utilizar en el sistema.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 3.2 Mapeo de Entradas y Salidas del sistema.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 3.3 Entradas y Salidas del PIC 16F877A para el sistema de control de posicionamiento solar.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 3.4 Entradas y Salidas del PIC 16F877A para el sistema de control de nivel Olla Solar.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 3.5 Trama enviada desde el SCADA para la lectura de 4 registros.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 3.6 Trama enviada desde el SCADA para la lectura de 4 bits de salida.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 3.7 Trama enviada desde el SCADA para la lectura de 2 bits de entrada al PIC16F877A.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 3.8 Trama de respuesta del PIC16F877A para la primera consulta de registros analógicos desde el SCADA.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 3.9 Trama de respuesta del PIC16F877A para la primera consulta de bits de bits de pines de salida hacia los Motores.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 3.10 Trama de respuesta del PIC 16F877A para la consulta de entrada de los Sensores Digitales para la posición del Sol.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 4.1 Tiempos de Evaporación por cantidad de Radiación.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 6.1 Tasa de Fallas, Supervisión y Control.....</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 6.2 Tasa de Fallas, Sensado y Acondicionamiento de Señales.....</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 6.3 Tasa de Fallas, Sistema Solar Fotovoltaico.....</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 6.4 Tasa de Fallas, Posicionamiento.....</i>	<i>159</i>

<i>Tabla 6.5 Tasa de Fallas, Acondicionamiento de Actuadores.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 7.1 Mantenimiento básico.....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 7.2 Costo por mantenimiento básico.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 7.3 Consumo Energético del Sistema.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 8.1 Consumo y costo del Sistema en KWh</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 9.1 Coste económico del Proyecto.....</i>	<i>165</i>



INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para el sostenimiento de la vida en toda sociedad. Por lo tanto, es un factor esencial para el desarrollo sostenible de una ciudad. El agua potable resulta ser escasa en muchas partes del territorio, siendo importante encontrar nuevos métodos de purificación que puedan llegar a territorios alejados y a su vez mantener un bajo costo.

La población crece cada día más y es obligación del estado abastecer las necesidades básicas de la misma, tales como el agua. Muchas de las zonas más alejadas de la ciudad de Arequipa, carecen de un soporte sanitario que brinde agua potable a sus pobladores, por lo que los gobiernos regionales se ven obligados a enviar camiones cisterna de agua para cumplir con dichos requerimientos. No sólo el agua de los camiones cisterna, sino también el agua potable que llega a nuestras casas, no es apta para el consumo, por lo que muchas personas optan por agregar cloro o una serie de purificadores químicos que tarde o temprano perjudican sus propios organismos y el medio ambiente. Están los métodos comunes de hervir el agua, que en su mayoría consumen mucha energía y además no terminan por purificar en un 100% los minerales, algunas bacterias y virus que pueden afectar nuestra salud.

En la actualidad se cuenta con muchos sistemas purificadores de agua de muy alto costo y a su vez muy ineficientes. El costo del agua comestible se sigue incrementando y es urgente crear purificadores de bajo costo y de alto rendimiento.

RESUMEN

La energía solar en Arequipa es la fuente energética de mayor disponibilidad en casi toda la región. En términos generales se dispone de un promedio anual de 4 a 5 Kwh/m^2 durante el día alrededor de 10 meses por año. Esta energía puede ser transformada para utilizarla como fuente de energía eléctrica, térmica, luminosa, etc.

Por medio de paneles solares podemos transformar la energía solar en eléctrica y las cocinas solares nos permiten concentrar los rayos solares en un punto para generar altas temperaturas. Estos elementos serán aplicados para generar un purificador de agua autónomo de bajo costo y evitando el daño al medio ambiente.

Debido al incremento del costo del agua bebible y los elevados precios de los filtros convencionales, busqué un nuevo proyecto que promueva la utilización de recursos naturales renovables y que estén al alcance de todos. Es por eso que en este proyecto de Tesis se plantea el diseño y la implementación de un sistema que funciona a base de energía solar para el control de una “calentador seguidor solar” que permitirá el aprovechamiento máximo de la energía solar tanto térmica como fotovoltaica para la purificación del recurso hídrico. Todo este sistema controlado electrónicamente por medio de un microcontrolador PIC16F877A programado a través del software “PIC C” y visualizando parte del proceso a través de una pantalla LCD de 16 x 2. Además incluiremos un sistema de monitoreo remoto SCADA (FAST-TOOLS) para la supervisión de algunos de los parámetros de todo el sistema.

ABSTRACT

The solar energy in Arequipa is the energetic resource with major availability in almost the entire region. In fact, on average, in annual average, from 4 to 5 Kwh/m^2 during the day around 10 months per year. This energy can be transformed for using as electric energy, thermal energy, light energy, etc.

With solar panels, it is possible to transform the solar power in electricity and solar cookers allow us to concentrate sunlight on a point to generate high temperatures. These elements will be applied to generate an autonomous water purifier, inexpensive and avoiding environmental damage.

Due to the increased cost of edible water and high prices of conventional filters, I looked for a new project to promote the use of renewable natural resources which are accessible for everyone. That is why, this thesis project proposes the design and implementation of a system that runs on with solar energy for the control of a "heater solar follower" that will allow the maximum use of solar thermal and photovoltaic energy, for the purification of water resources. All the system will be controlled by a microcontroller PIC16f877A through the software "PIC C" and displaying part of the process via an LCD screen of 16 x 2. Furthermore we are going to include a Supervision System SCADA (FAST-TOOLS) for monitoring some system parameters.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la constante alza del precio del agua, su baja calidad para el consumo y el daño ambiental que producen muchos químicos para purificarla, es que se requiere de nuevos sistemas que permitan obtener agua a un bajo costo y con niveles óptimos de pureza. Hay que beber agua lo más pura posible. Para ello no solo debemos hervirla, ya que hervir el agua solo destruye los microorganismos, sino también utilizar medios mecánicos de purificación como los filtros, aparatos que tratan de eliminar en lo posible impurezas y elementos patógenos. Dichos filtros suelen ser muy costosos y requieren de un elevado costo de mantenimiento, por lo que se hacen inaccesibles a muchos sectores de la población. Además que sus niveles de purificación en su mayoría no superan el 95%.

En las grandes poblaciones urbanas las llamadas aguas potables han sido ya sometidas a un proceso de purificación y se supone que son aptas para el consumo pero la verdad es que su calidad es en general bastante discutible. La mayoría de la gente compra agua embotellada porque piensan que contiene menos impurezas, pero algunos estudios han demostrado que hay casos donde los niveles de pureza del agua son similares a la del suministro municipal. El agua destilada resulta ser la más pura y sana que podemos encontrar en el mercado, debido a su proceso de obtención es que resulta en cierta forma costosa pero el sistema que se planea implementar utiliza solo al sol como única fuente de toda la energía necesaria para generar este proceso.

En consecuencia la presente Tesis pretende el diseño e implementación de un sistema solar autónomo basado en un seguidor calentador solar, el cual permitirá aprovechar al máximo el paso solar durante el día para utilizar la energía térmica y fotovoltaica para el mayor volumen de destilación de agua.

1.2 TÍTULO DE LA TESIS

La presente tesis se titula: "Purificación del Agua por Condensación Provocada por calentador Automático Seguidor Solar con supervisión de Mini-SCADA Fast-Tools"

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Diseño e implementación de un sistema Seguidor Calentador Solar Autónomo para proporcionar Agua purificada mediante el método de destilación. De esta forma comprobar la eficiencia del proceso y sus niveles de purificación.

1.3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Estudio, diseño y construcción del sistema de seguimiento solar; eficiente para obtener la máxima captación de energía solar, y mantener el calentador al máximo de su temperatura.
- Análisis del agua destilada obtenida con el seguimiento solar.
- Desarrollo del programa en "PIC C" para el control de seguimiento solar, temperatura y nivel.
- Desarrollo de un sistema SCADA de pocas variables para la supervisión de una pequeña planta.
- Determinar la viabilidad y factibilidad técnica, económica y financiera.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL

- Es posible con el uso de energía solar y la aplicación de sensores adecuados, lograr una técnica de control adecuada, que permita purificar el agua por destilación y así disminuir costos evitando la contaminación del medio ambiente.

1.4.2 HIPÓTESIS SECUNDARIAS

- Con este proyecto de tesis se espera aprovechar al máximo las propiedades de la energía solar y mediante el seguimiento solar obtener un sistema de

destilación que funcione constantemente durante las 7 horas de luz efectiva y de esta manera obtener un mayor porcentaje de agua purificada.

- El costo de todo el sistema resulta no ser tan elevado ya que se utilizan elementos de bajo costo y además, los sistemas fotovoltaicos que generan energía limpia, no producen gastos y a la larga el valor se recupera en energía.
- Mediante la implementación de un sistema SCADA de licencia limitada, se puede construir un sistema de bajo costo y de mucha utilidad.

1.5 VARIABLES

1.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

- La energía solar es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor que son emitidos por el Sol; y recogiendo de forma adecuada la radiación solar podemos obtener calor y electricidad para diversas aplicaciones.
- El agua es un recurso natural que mayormente se encuentra en estado líquido. Conocemos los 3 estados principales como son el sólido, líquido y gaseoso, para el proceso de destilación utilizaremos los dos últimos mencionados.

1.5.2 VARIABLES DEPENDIENTES

- La energía fotovoltaica se basa en la captación de energía solar y su transformación en energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas que están dispuestas en un panel solar fotovoltaico.
- El nivel energía térmica se basa en concentrar la mayor cantidad de rayos solares para apuntarlas hacia un mismo punto y generar altas temperaturas que permitan grados de ebullición del agua.

c) La temperatura y nivel del agua, permiten saber cuánta cantidad de agua está siendo purificada en proporción a la cantidad de temperatura que se genera.

d) La posición solar permite el que se pueda realizar el seguimiento de manera automática.

1.6 INDICADORES

- El plato solar a construir que posee una forma cóncava, es de un eje, el cual se orienta de forma que este permanezca aproximadamente perpendicular a los rayos solares, siguiendo la eclíptica del Sol.
- El funcionamiento del destilador solar, por ende es la captación eficiente de energía térmica solar, se condiciona a las horas de brillo solar efectivo que son aproximadamente entre las 7:30hrs y las 15:30hrs.
- El sistema funcionará solo durante el día por lo tanto el sistema autónomo deberá tener un control que permita identificar las condiciones del clima para empezar con su funcionamiento.
- La eficiencia del destilador estará ligada a la cantidad de agua purificada que este producirá durante las horas de luz solar.
- El sistema Mini-SCADA soportara un número pequeño de variables para su monitoreo, según la licencia que se adquiera.

1.7 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto está orientado al estudio de la eficiencia de la energía solar para la purificación del agua, apoyado en los conocimientos de la electrónica.

Se revisaron tesis de la Universidad Católica de Santa María, así como también de la Universidad Nacional de San Agustín donde pudimos encontrar algunos referentes para el desarrollo del proyecto. Se encontró en las tesis desarrolladas capítulos donde se habla del tratamiento de energía solar y sobre la purificación de agua.

Dentro de los sistemas de seguimiento solar se encontró en una tesis de la UCSM un ejemplo de seguimiento solar en 1 eje. Esta sirvió de referencia para el primer diseño

que se deseaba realizar, pero se plantea una mejora, incrementando los grados de libertad para el seguimiento, en 2. La tesis que se toma como referencia para el seguimiento solar es: “Adquisición y Monitoreo de Parámetros de un Sistema Seguidor Solar Fotovoltaico sobre Plataforma Factory View Para la Implementación de un Semáforo Solar” realizada en el 2012 por los ahora ingenieros: Carlos Dávalos y Eric Gonzáles. De este proyecto se rescató la parte de seguimiento solar en un eje, además de resaltar los parámetros hallados acerca de la radiación solar en Arequipa. Dentro de sus resultados más importantes, cabe destacar, los beneficios energéticos que trae consigo el seguimiento solar para paneles Fotovoltaicos. En una de las tesis de la UNSA se encontró distintos tipos de purificación de agua, y se observó en especial la del destilado simple y la cantidad de energía que esta necesita para llevarse a cabo. Es por esto que en este trabajo de tesis, se trata de reducir los costos de energía casi a cero, ya que todo el sistema desea ser alimentado únicamente con energía solar.

Cabe resaltar que los sistemas SCADA que se utilizan actualmente son de gran ayuda y permiten una interfaz amigable entre humano y máquina. Siendo en su mayoría de casos muy costosos, en este proyecto se intenta implementar un sistema de licencias limitadas, lo que permite reducir costos y mejorar las prestaciones del proyecto.

Las cocinas solares fijas y de movimiento manual fueron un referente para el desarrollo del plato seguidor solar. Dichos diseños ya se encuentran comercialmente, y se hizo un pequeño estudio para encontrar el diseño que mejor se acoplara a nuestro sistema.

Finalmente, los diseños de condensadores fueron extraídos de bibliografía básica de química, que más adelante se encontrara en las referencias.

CAPITULO II

MARCOTEÓRICO

2.1 EL AGUA

El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. El agua es un elemento común del sistema solar, hecho confirmado en descubrimientos recientes. Puede ser encontrada, principalmente, en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas y el vapor que compone sus colas.

Desde el punto de vista físico, el agua circula constantemente en un ciclo de evaporación o transpiración (evapotranspiración), precipitación, y desplazamiento hacia el mar. Los vientos transportan tanto vapor de agua como el que se vierte en los mares mediante su curso sobre la tierra, en una cantidad aproximada de 45.000 km³ al año. En tierra firme, la evaporación y transpiración contribuyen con 74.000 km³ anuales al causar precipitaciones de 119.000 km³ cada año.

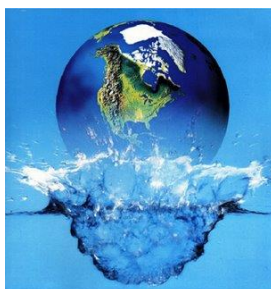


Fig. 2.1 El Agua, fuente fundamental de la vida en el planeta

Fuente (web.educastur.princast.es)

2.2 TIPOS DE AGUA BEBIBLE

Agua natural:

Proviene de un manantial donde el agua mana naturalmente a la superficie de la tierra. Pero realmente, incluir la palabra "manantial" no es ninguna garantía pues puede haber sido obtenida a partir de una fuente llena de pesticidas o cercana a aguas residuales.

Es obtenida del subsuelo y contiene por lo menos 250 ppm de sólidos disueltos. A este nivel, los minerales que están presentes, incorporan un sabor mineral al agua. Algunos de los minerales que aparecen en el agua incluyen calcio, hierro y sodio pero estos minerales son inorgánicos y por lo tanto no son utilizados por el cuerpo. Los cuales pueden contribuir al desarrollo de una toxicidad crónica o en el caso del sodio a agravar un cuadro de hipertensión arterial. Así como a la formación de cálculos en los riñones o el endurecimiento de las arterias.

Es agua extraída de una fuente de formación entre rocas. En este caso tampoco hay garantía de que la fuente sea limpia. La gran mayoría de aguas embotelladas pertenecen a este grupo, solo que han sido tratadas con ozono o UV para eliminar bacterias.

Agua filtrada por filtros convencionales:

En su mayoría los filtros llegan a eliminar muchas de las bacterias, virus y microorganismos que son dañinos para el cuerpo. Sus niveles de purificación son altos y el agua resulta ser comestible. No eliminan muchos de los minerales inorgánicos que son dañinos para el cuerpo humano.

Agua Destilada:

Agua completamente pura obtenida mediante un proceso de evaporación y condensación. No contiene minerales inorgánicos, y mucho menos microorganismos que resultan perjudiciales para la salud.

2.2.1 TIPOS DE PURIFICACIÓN

Purificación Mecánica

Es una forma esencial de filtración que comprende la remoción de las partículas de desecho del agua. La mayoría de los materiales filtrantes sirven para filtrar el agua mecánicamente hasta cierto punto. El material del filtro mecánico, el cual es muy fino (como el poliéster), atrapa grandes cantidades de desechos y se obstruye más rápidamente. Este tipo de filtración resulta no ser tan eficiente ya que requieren limpieza con frecuencia.

Purificación Química

Ejerce un control activo y un cambio de las características específicas del agua. Existen materiales filtrantes y varios productos que eliminan el cloro y otros agentes biológicos, que neutralizan los iones de metales pesados y que efectúan cambios en la dureza del agua y los niveles de pH. Esta forma de filtración es particularmente útil cuando las características de la fuente de agua son conocidas (es fácil lograrlo utilizando un equipo de prueba básico). Un material filtrante químico y específico se debe utilizar con el fin de optimizar las condiciones del agua para su consumo.

Purificación Biológica

La filtración biológica es la que se encarga de remover algas, protozoos, larvas y otros agentes biológicos que pueda afectar la pureza del agua. En su mayoría de casos. Dichos agentes mueren al encontrarse con altas temperaturas o rejillas que filtran su paso.

2.2.2 DESTILACIÓN DEL AGUA

La destilación es la operación de separar, mediante vaporización y condensación en los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de las sustancias ya que el punto de ebullición es una propiedad

intensiva de cada sustancia, es decir, no varía en función de la masa o el volumen, aunque sí en función de la presión.

La destilación simple o destilación sencilla es una operación donde los vapores producidos son inmediatamente canalizados hacia un condensador, el cual los enfría (condensación). Su composición será diferente a la composición de los vapores a la presión y temperatura del separador y pueden ser calculados por la ley de Raoult. En esta operación se pueden separar sustancias con una diferencia entre 100 y 200 grados Celsius, ya que si esta diferencia es menor, se corre el riesgo de crear azeótropos. Al momento de efectuar una destilación simple se debe recordar colocar la entrada de agua por la parte de arriba del refrigerante para que de esta manera se llene por completo. También se utiliza para separar un sólido disuelto en un líquido o 2 líquidos que tengan una diferencia mayor de 50 °C en el punto de ebullición.

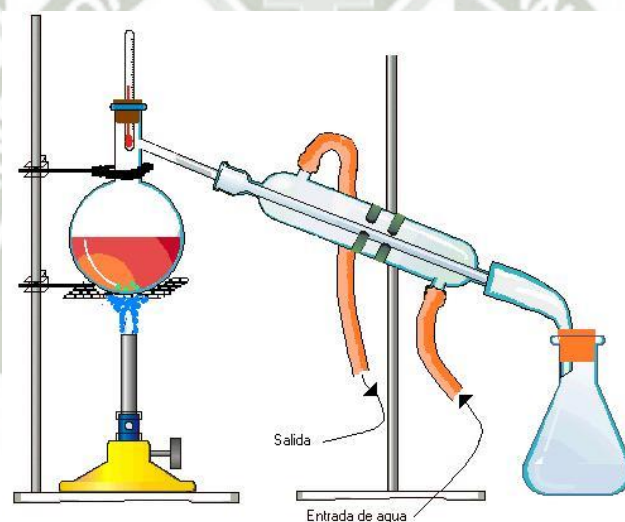


Fig. 2.2 Típico sistema de destilación

Fuente (www.wikipedia.com)

2.2.3 EL AGUA DESTILADA APTA PARA CONSUMO HUMANO

El agua destilada, es aquella que como todo tipo de agua su composición se basa en la unidad de moléculas H_2O , solo que se le han eliminado las impurezas e iones mediante la destilación. La destilación es un método de producción de

agua que consiste básicamente en separar los componentes líquidos de una mezcla. Por lo tanto, el agua destilada es H₂O sin compuestos añadidos.

El agua forma parte importante del cuerpo humano y no podemos prescindir de ella, si la podemos ingerir destilada es la mejor forma de hacerlo, pues el agua destilada carece de elementos perniciosos para nuestra salud. No existe estudio científico que nos señale posibles efectos fisiológicos adversos respecto al consumo de agua destilada. Históricamente se ha señalado que su consumo alarga la vida celular y por lo tanto la nuestra propia. Tiene además la ventaja de carecer del cloro y otros elementos nocivos presentes en el resto de aguas potables corrientes y a veces en el agua embotellada.

La potabilización del agua se aplica a aguas no aptas para el consumo humano, las cuales a veces sufren procesos para matar microorganismos y extraer partículas y metales que puedan ser dañinos al organismo. El agua destilada al estar libre de estos compuestos, no requiere de potabilización. En la potabilización se utiliza a menudo el cloro, presente en gran parte del agua corriente que sale de los grifos. El cloro acaba con los microorganismos potencialmente perjudiciales para el consumo, aunque a su vez es uno de los elementos más destructivos conocidos en biología. Su ingesta es considerada médicamente inadecuada excepto como recurso para la potabilización y evitar males mayores. El cloro incluso en bajas cantidades, es agresivo con la flora intestinal. Además del cloro, a menudo el agua potabilizada contiene plomo, cal, flúor y otros metales tóxicos que se sedimentan en el organismo haciéndolo envejecer prematuramente. La potabilización del agua corriente así como el mercado del agua embotellada, hace que el uso del agua destilada como bebida no sea más frecuente o tan popular. No obstante, muchos fabricantes de bebidas la usan como base de sus productos para asegurarse su pureza y buen sabor.

El uso de técnicas de purificación de agua como la destilación, es común en lugares donde no hay una fuente de agua potable asequible. En muchos hogares, es frecuente el uso de filtros como las resinas intercambiadoras que al eliminar parte de los iones al calcio y al magnesio, convierten el agua más potable y eliminando sabores y malos olores, pero el agua sigue siendo “dura” y por lo

tanto no perfecta para beber. También la utilización de dispositivos domésticos de ósmosis inversa, han permitido el consumo de agua mucho más pura y casi destilada. Sin embargo, el dispositivo doméstico que asegura el agua más perfecta y pura que existe para el consumo humano, es el aparato destilador de agua.

2.3 EL SOL

El Sol es el cuerpo más importante en nuestro sistema solar. Es el objeto más grande y contiene aproximadamente el 98% de la masa total del sistema solar. Se requerirían ciento nueve Tierras para completar el disco solar (visto como un plano), y su interior podría contener más de 1.3 millones de Tierras. La capa exterior visible del Sol se llama la fotosfera y tiene una temperatura de $6,000^{\circ}\text{C}$ ($11,000^{\circ}\text{F}$). Esta capa tiene una apariencia manchada debido a las turbulentas erupciones de energía en la superficie.

Se formó hace unos 4500 millones de años a partir de nubes de gas y polvo que contenían residuos de generaciones anteriores de estrellas. Gracias a la metalicidad de dicho gas, de su disco circumstelar surgieron, más tarde, los planetas, asteroides y cometas del Sistema Solar. En el interior del Sol se producen reacciones de fusión en las que los átomos de hidrógeno se transforman en helio, produciéndose la energía que irradia. Actualmente, el Sol se encuentra en plena secuencia principal, fase en la que seguirá unos 5000 millones de años más quemando hidrógeno de manera estable.

La energía solar se crea en el interior del Sol. Es aquí donde la temperatura ($15.000.000^{\circ}\text{C}$; $27.000.000^{\circ}\text{F}$) y la presión (340 mil millones de veces la presión del aire en la Tierra al nivel del mar) son tan intensas que se llevan a cabo las reacciones nucleares. Estas reacciones causan núcleos de cuatro protones ó hidrógeno para fundirse juntos y formar una partícula alfa ó núcleo de helio. La partícula alfa tiene cerca de 0,7% por ciento menos masa que los cuatro protones.

La diferencia en la masa es expulsada como energía y es llevada a la superficie del Sol, a través de un proceso conocido como convección, donde se liberan luz y calor. La energía generada en el centro del Sol tarda un millón de años para alcanzar la superficie solar. Cada segundo se convierten 700 millones de toneladas de hidrógeno en cenizas de helio. En el proceso se liberan 5 millones de toneladas de energía pura; por lo cual, el Sol cada vez se vuelve más ligero.

El Sol aparentemente ha estado activo por 4,600 millones de años y tiene suficiente combustible para permanecer activo por otros cinco mil millones de años más. Al fin de su vida, el Sol comenzará a fundir helio con sus elementos más pesados y comenzará a hincharse, por último será tan grande que absorberá a la Tierra. Después de mil millones de años como gigante rojo, de pronto se colapsará en una enana blanca; será el final de una estrella como la conocemos. Puede tomarle un trillón de años para enfriarse completamente.

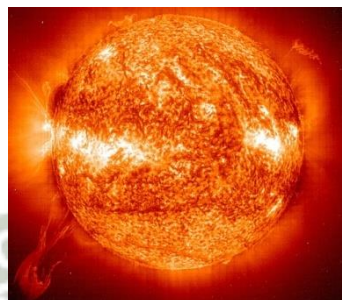


Fig. 2.3 El sol visto desde el espacio

Fuente (www.wikipedia.com)

2.3.1 ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ

El Perú es un país de topografía muy variada, de gran diversidad climática y condiciones excepcionales que le confieren un elevado potencial de energías renovables, la energía solar en el Perú es en muchos lugares del territorio, lo suficientemente alta y uniforme para ser considerada como una fuente energética utilizable.

En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4 a 5 Kwh/m^2 en la selva y de 5-6 Kwh/m^2 en la costa y centro del país.

Latitud	Factores de inclinación					
	15°	20°	25°	30°	35°	40°
0 - 5°	0.99	0.97	0.94	0.92	0.88	0.84
5 - 10°	1.01	1.00	0.98	0.96	0.93	0.89
10 - 15°	1.03	1.02	1.02	1.00	0.98	0.96
15 - 20°	1.06	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02

Tabla 2.1 Factores de inclinación solar determinados para el Perú.

Fuente (Proyecto ID 772: Promoviendo mercados locales articulados de energías renovables)

Para un lugar en el norte del Perú (latitud $0 - 5^\circ$), el factor de inclinación para un sistema de calentadores solares de agua orientados hacia el norte a un ángulo de 15° N es de 0.99 o menor. Esto es debido a que el ángulo óptimo sería de 5° . Pero para evitar que el polvo se asiente y para permitir un adecuado drenaje del agua, el ángulo mínimo deberá ser de 15° . Por lo tanto, la energía real recibida en el lugar sobre los colectores debe ser 0.99 veces la radiación sobre la superficie horizontal. Para otros ángulos de inclinación y lugares, el factor de inclinación puede diferir sustancialmente de 1, desempeñando un papel importante en la determinación del tamaño y optimización del sistema.

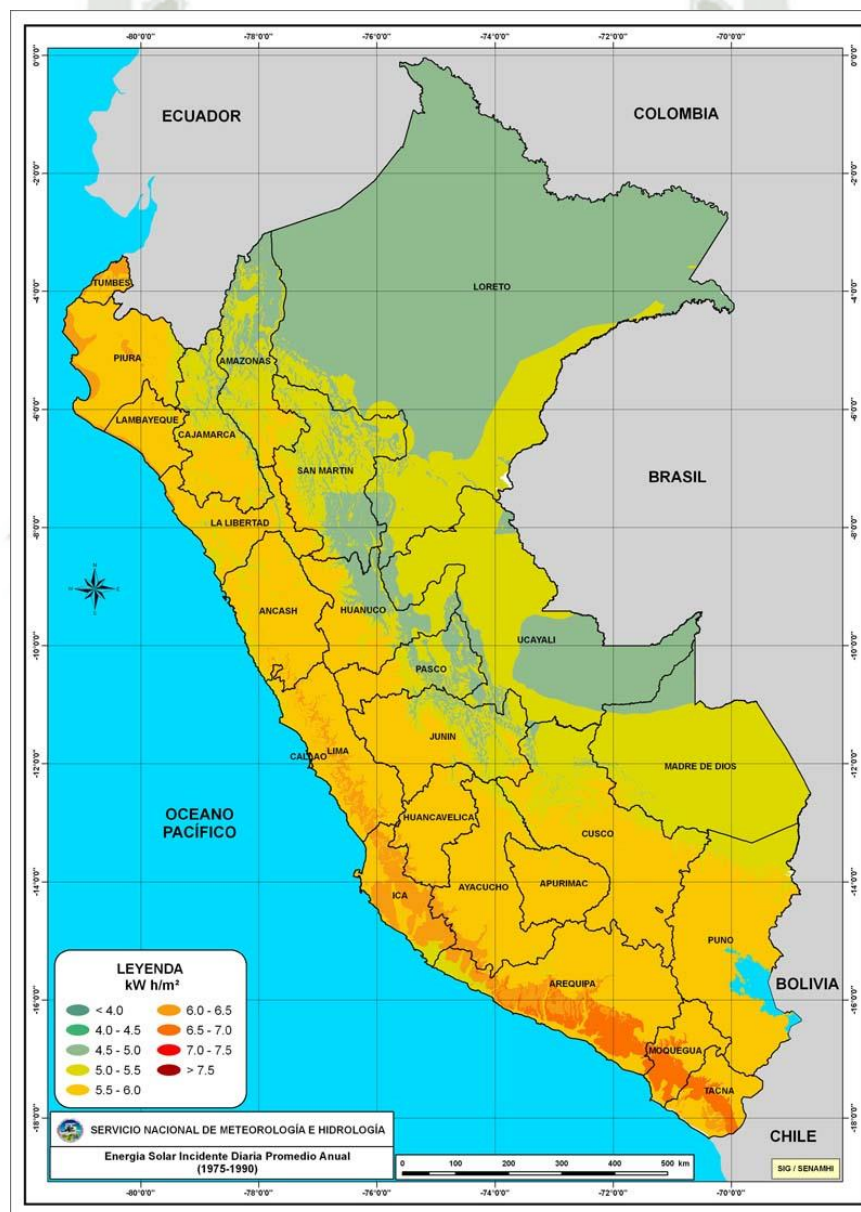


Fig. 2.4 Potencial de energía solar en el Perú

Fuente (SENAMHI)

Las principales aplicaciones solares utilizadas en el Perú son los sistemas fotovoltaicos y los sistemas de calentamiento de agua (termas solares), cocinas solares, secadores solares.

Cabe resaltar que en Arequipa hay toda una industria dedicada a esta tecnología. Siendo las principales aplicaciones la electrificación domiciliar y las telecomunicaciones. Hay muchas razones por las cuales a pesar de que tenemos altos niveles de radiación solar, este tipo de tecnologías no han tenido el despegue que merecen, entre ellas la falta de una política energética gubernamental que fomente su uso, experiencias fallidas que fomentan el escepticismo (experiencias fallidas principalmente por un mal planeamiento y o ejecución de los proyectos más que por la tecnología en sí), falta de desarrollo de la industria local en este tema, etc.

El sol es una poderosa fuente de energía. La energía solar es la fuente principal de vida en la Tierra y es el origen de la mayoría de fuentes de energía renovables, tanto de la energía eólica, la hidroeléctrica, la biomasa, térmica y la de las olas y corrientes marinas.

La energía solar puede ser aprovechada de modos diversos. Además de las formas simples empleadas para secar ropa, calentar agua o edificios, o para secar cosechas (lo que se conoce como energía térmica solar), podemos utilizar la energía del sol para producir electricidad destinada a hogares u oficinas, lo que se denomina electricidad solar o energía fotovoltaica. A su vez, podemos generar grandes cantidades de energía térmica al concentrar la energía solar en un punto.

2.3.2 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica o energía termo-solar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que

emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

Los colectores de energía solar térmica están clasificados como colectores de baja, media y alta temperatura. Los colectores de baja temperatura generalmente son placas planas usadas para calentar agua. Los colectores de temperatura media también usualmente son placas planas usadas para calentar agua o aire para usos residenciales o comerciales. Los colectores de alta temperatura concentran la luz solar usando espejos o lentes y generalmente son usados para la producción de energía eléctrica. La energía solar térmica es diferente y mucho más eficiente que la energía solar fotovoltaica, la que convierte la energía solar directamente en electricidad. Mientras que las instalaciones generadoras proporcionan solo 600 megavatios de energía solar térmica a nivel mundial a octubre de 2009, otras centrales están bajo construcción por otros 400 megavatios y se están desarrollando otros proyectos de electricidad solar de concentración por un total de 14000 megavatios.

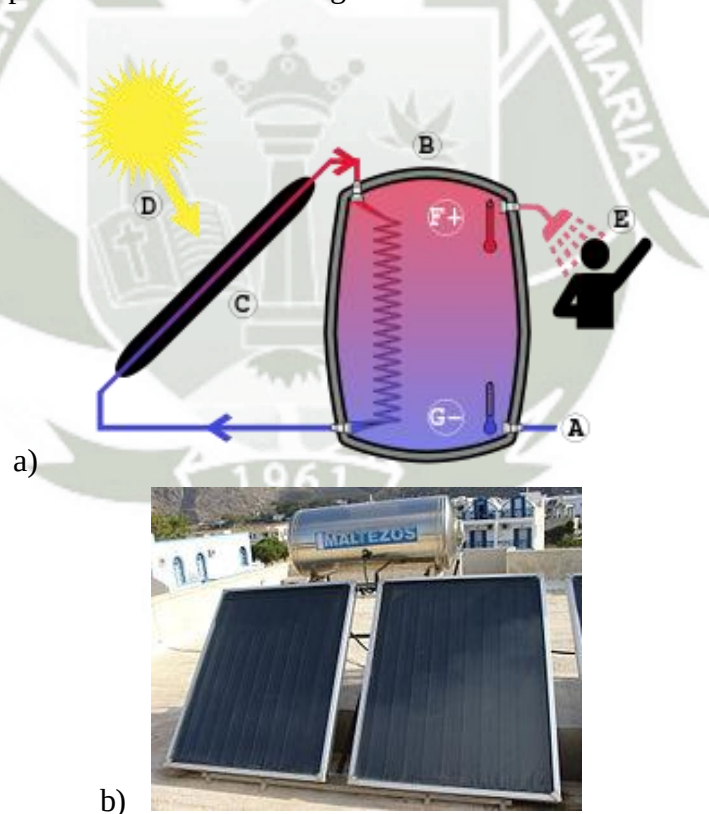


Fig. 2.5 (a) Funcionamiento de Terma solar

(b) Terma Solar

Fuente (www.wikipedia.com)

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LAT. Gra.	ALT. m	IRRADIACION DIARIA MEDIA MENSUAL EN KWh/m2												MEDIA ANUAL kWh/m2
					ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Tumbes	Tumbes	Corales	3.6	85	4.6	4.9	5.1	4.9	4.5	4.1	3.0	3.9	4.2	4.2	4.6	4.9	4.5
Piura	Talara	El Alto	4.3	270	4.5	4.6	4.5	4.1	3.9	3.4	3.5	3.6	3.9	3.9	4.0	4.4	4.0
Piura	Huancabamba	Huancabamba	5.2	57	4.6	4.8	4.5	4.7	4.4	4.2	4.4	5.0	5.1	4.9	4.4	4.9	4.7
Lambayeque	Lambayeque	Lambayeque	6.7	10	5.4	5.4	5.2	5.0	4.6	3.9	3.8	4.3	4.9	5.1	5.3	5.3	4.9
Lambayeque	Chiclayo	Cayalti	7.1	150	5.9	5.9	5.5	5.5	5.0	4.4	4.5	4.9	5.6	5.8	6.1	6.2	5.5
La Libertad	Ascope	Casagrande	7.7	150	4.8	5.1	4.7	4.5	4.5	3.4	3.3	4.1	4.1	4.7	4.9	5.1	4.4
La Libertad	Ascope	Cartavio	7.9	51	5.0	6.1	5.0	4.7	4.8	3.8	3.6	4.4	4.3	4.9	5.3	5.5	4.8
Ancash	Santa	Nepena	9.2	203	5.5	6.4	5.9	5.3	5.5	3.5	3.7	4.6	4.5	5.6	5.7	5.7	5.2
Ancash	Huaraz	Huaraz	9.5	30	5.2	5.0	5.0	5.1	4.9	4.7	4.9	5.3	5.4	5.4	5.5	5.2	5.1
Lima	Barranca	Paramonga	10.7	15	5.3	4.4	5.1	4.7	2.7	1.9	2.3	2.1	2.7	4.3	4.9	5.5	3.0
Lima	Lima	Jesus Maria	12.1	10	5.5	5.3	5.2	5.0	5.6	2.3	2.0	2.2	2.4	3.3	4.0	4.8	3.8
Lima	Lima	La Molina	12.1	150	4.3	4.9	4.2	4.3	3.7	2.2	2.0	2.0	2.2	2.8	3.3	4.2	3.4
Ica	Chincha	Chincha Alta	13.4	94	5.3	4.7	4.9	5.0	3.5	2.7	2.6	3.2	3.9	4.8	5.6	4.9	4.2
Ica	Inca	Caucato	13.7	35	5.8	5.7	5.8	5.0	4.3	3.2	3.2	3.6	4.8	5.1	5.1	5.5	4.8
Ica	Nazca	Marcona	15.1	620	5.4	5.1	5.2	4.9	4.3	3.8	3.8	4.4	5.1	5.8	5.8	5.7	4.9
Arequipa	Arequipa	Arequipa	16.3	2150	5.4	5.1	5.0	5.2	4.5	4.4	4.5	5.1	5.7	6.1	6.5	6.2	5.3
Arequipa	Arequipa	Characato	16.4	2451	5.2	5.0	5.2	5.1	4.6	4.4	4.6	5.2	5.7	6.6	6.5	5.9	5.3
Arequipa	Arequipa	Pampa de Maje	16.5	140	5.8	5.5	5.7	5.4	4.7	4.5	4.8	5.3	5.0	6.7	6.6	6.4	5.6
Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	17.2	1412	5.5	5.2	5.8	5.2	4.6	4.3	4.4	4.8	5.7	6.4	6.6	6.3	5.4
Tacha	Tarata	Paucarani	17.5	4541	5.1	5.3	5.0	5.8	4.8	4.7	4.8	5.5	5.8	6.2	6.1	5.6	5.4
Tacha	Tacna	Cajana	17.9	875	5.6	5.5	5.2	4.8	4.2	3.8	4.0	4.4	4.9	5.7	6.0	5.9	5.0
Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	7.1	2640	4.5	4.4	4.3	4.2	4.2	4.1	4.8	4.5	4.4	4.6	4.9	4.7	4.5
Huanuco	Leoncio Prado	Tingo Maria	9.1	640	3.8	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6	3.9	4.6	4.5	4.5	4.2	3.9	4.0
Huanuco	Huanuco	Huanuco	9.9	1895	4.5	4.3	4.4	4.4	4.3	4.2	4.4	4.7	4.7	4.9	4.9	4.7	4.5
Junin	Chanchamayo	Humaya	1.1		5.1	5.3	5.3	4.7	4.6	3.5	3.6	4.3	4.2	5.0	4.9	5.3	4.7
Junin	Huanuco	Huachac	12.0	1150	5.0	4.9	4.7	4.7	4.6	4.4	4.5	4.8	4.9	5.3	5.4	5.2	4.9
Huancavelica	Castrovirreyna	Aconococha	13.1	4520	4.9	3.7	4.1	4.3	4.2	4.6	4.3	4.6	4.9	4.9	5.2	4.9	4.8
Ayacucho	Huamanga	Ayacucho	13.2	2760	5.1	5.1	4.7	4.7	4.5	4.2	4.2	4.7	5.0	5.4	5.7	5.3	4.9
Apurimac	Abancay	Abancay	13.6	2378	4.8	4.7	4.7	4.6	4.4	4.2	4.2	4.7	5.0	5.5	5.4	5.0	4.7
Cuzco	La Convencion	Santa Ana	12.9	920	4.0	4.0	4.0	3.8	3.9	3.8	3.9	4.0	4.1	4.3	4.3	4.9	4.0
Cuzco	Cuzco	San Jeronimo	13.6	320	4.6	4.6	4.6	4.6	4.4	4.3	4.4	4.6	4.9	5.2	5.2	4.8	4.7
Puno	Puno	Duno	15.8	3875	5.1	5.2	5.1	5.1	4.6	4.4	4.6	5.0	5.5	6.0	6.0	5.6	5.2
Amazonas	Bagua	Had Valor	5.7	421	4.1	4.2	4.4	4.4	4.1	4.2	4.1	4.6	4.8	4.9	5.3	4.8	4.5
San Martin	San Martin	Juan Guerra	6.6	30	3.9	4.0	3.8	3.4	3.7	3.6	3.9	4.2	4.2	4.3	4.2	4.1	4.0
Loreto	Maynas	Iquitos	3.8	125	3.4	3.7	3.5	3.7	3.0	3.1	3.7	4.2	4.7	3.8	4.2	3.8	3.7
Loreto	Requena	Requena	5.0	180	3.9	4.0	3.7	3.5	3.4	3.4	3.7	4.2	4.3	4.4	4.2	3.8	3.9
Ucayali	Padre Abad	Padre Abad	8.5	270	4.0	3.9	3.8	3.5	3.7	3.5	4.0	4.6	4.6	4.5	4.2	4.1	4.0
Ucayali	Atalaya	Yurac-Yurua	9.0	-1	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	3.0	3.3	3.8	4.0	3.5	3.4	3.2	3.1
Madre de Dios	Tahuamanu	Iberia	1.4	150	3.7	3.7	3.7	3.7	3.5	3.5	3.8	4.3	4.3	4.1	4.2	3.9	3.9

Tabla 2.2 Estimación de la media mensual de la radiación solar diaria del Perú.
Fuente (Proyecto ID 772: Promoviendo mercados locales articulados de energías renovables)

2.3.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable obtenida directamente de los rayos del sol gracias a la foto-detección cuántica de un determinado dispositivo; normalmente una lámina metálica semiconductor llamada celda fotovoltaica.

El efecto fotovoltaico se produce cuando el material de la celda fotovoltaica (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.

La radiación solar, la potencia solar, así como muchas otras variables pueden medirse en diversos tipos de unidades. En el siguiente cuadro se da una visión general de las diferentes unidades comúnmente utilizadas y se dan sus factores de conversión.

Unidad	Explicación	Conversión
<i>Potencia solar</i>		
Wp	Watt pico	-
W	Watt	-
KW	Kilowatt (1000 W)	-
W/m ²	Watt por metro cuadrado	-
<i>Energía solar</i>		<i>a KWh/m²</i>
KWh/m ²	KWh por metro cuadrado	1
KJ/cm ²	KJ por centímetro cuadrado	2.778
MJ/m ²	MJ por metro cuadrado	0.2778
KCal/cm ²	1 000 Calorías por centímetro cuadrado	11.67
Langley	Caloría por centímetro cuadrado	0.0116

Tabla 2.3 Unidades utilizadas en energía solar fotovoltaica.

Fuente (www.wikipedia.com)

2.4 COCINAS SOLARES

Los hornos solares son artefactos que permiten cocinar alimentos usando el Sol como fuente de energía. Se dividen en dos familias:

- Deconcentración: Se basan en concentración de la radiación solar en un punto, típicamente a través de un reflector parabólico. En dicho punto se coloca la olla que cocinará los alimentos. Generan altas temperaturas y permiten freír alimentos o hervir agua. Al funcionar de manera semejante a una cocina de gas alcanzando altas temperaturas, es necesario que el usuario tenga los debidos cuidados y usar el tipo de protección necesarios.
- Horno o caja: El horno o caja solar es una caja térmicamente aislada, diseñada para capturar la energía solar y mantener caliente su interior. Los materiales

generalmente son de baja conducción de calor, lo que reduce el riesgo de quemaduras a los usuarios y evita la posibilidad de incendio tanto de la cocina como en el lugar en el que se utiliza. Además los alimentos no se queman ni se pasan conservando así su sabor y valor nutritivo.

Valoración del uso de las cocinas solares de acumulación y de concentración		
Características	Cocina de acumulación	Cocina de concentración
Necesidad de reorientación	Media	Alta
Facilidad de manejo	Sencilla	Regular
Estabilidad frente al viento	Buena	Baja
Temperaturas alcanzables	Regulares	Altas
Velocidad de cocción	Baja	Alta
Necesidad de vigilancia	Reducida	Elevada
Riesgo de incendio	Nulo	Posible
Precio	Bajo	Más elevado
Mantenimiento	Muy reducido	Regular
Facilidad de acceso ollas	Reducido	Fácil
Auto construcción	Fácil	Más complicada
Limpieza de las ollas	Sencilla	Normal
Facilidad de almacenaje	Buena	Regular
Permite freír y/o asar	No	Si

Tabla 2.4 Ventajas entre cocinas solar por Acumulación y Concentración
Fuente (GARCIA, J. La Cocina solar: El nuevo arte de cocinar de modo saludable y ecológico)

Los datos subrayados en la tabla 2.4 son desventajas que optimizaremos con nuestro sistema. Además tenemos ventajas que permiten que el agua en el foco del plato llegue a punto de ebullición de manera más rápida y eficiente.

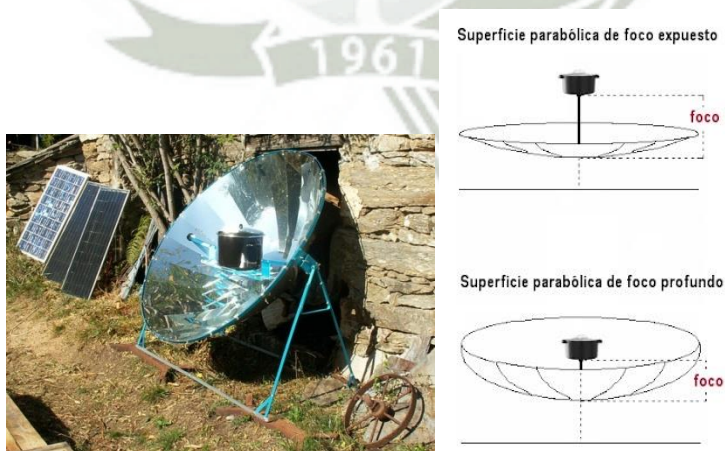


Fig. 2.6 a) Cocina Solar

b) Tipos de cocina solar por Concentración

Fuente (<http://cocinasolar.isf.es/>)

2.4.1 ELEMENTOS DE COCINAS SOLARES DE CONCENTRACIÓN

De manera general una cocina solar de concentración se ajusta a un esquema como se muestra en la figura 2.6.

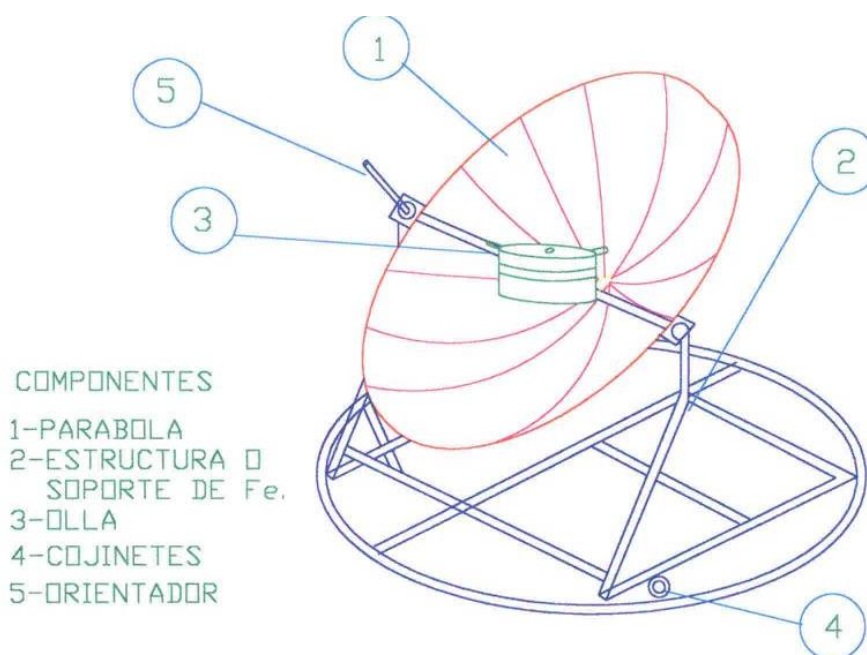


Fig. 2.7 Esquema General de Cocina por Concentración

Fuente (<http://cocinasolar.isf.es/>)

2.4.2.1 TERMAS SOLARES

Los colectores solares instalados en los techos convierten la luz, que penetra a través de los vidrios, en calor. Estos colectores establecen la ligación entre la energía proveniente del sol y los utilizadores de agua caliente. El calor es generado por la absorción de los rayos solares a través de una placa metálica que se comporta como un cuerpo negro, la placa absorbente es el componente principal del colector. En esta placa está incorporado un sistema de tubos que sirve para transferir el calor para el fluido de transferencia térmica, que fluye para el tanque de almacenamiento de agua caliente.

El principio de funcionamiento (Figura 2.10) del calentamiento solar de agua es bastante simple. Se basa en la transmisión de calor a través de materiales que componen el sistema.

El agua sale de la caja de agua fría y va para el reservatorio térmico solar, pasando después para los colectores solares. El agua es calentada al pasar por los colectores solares. El agua caliente retorna para el reservatorio térmico solar,

quedando almacenada hasta el consumo. Siempre que consumimos el agua caliente automáticamente entra el agua fría al reservatorio para continuar el ciclo. El agua circula por los colectores solares a través de dos sistemas: circulación natural (termosifón), que ocurre por diferencia de densidad entre el agua fría y el agua caliente, el agua fría siendo más pesada acaba empujando el agua caliente que es más liviana. Realizando la circulación. O por circulación forzada, donde la circulación de agua no ocurre sola y por medio de una micro-bomba instalada en el circuito y un controlador eléctrico inteligente con sensores de diferencial de temperatura.

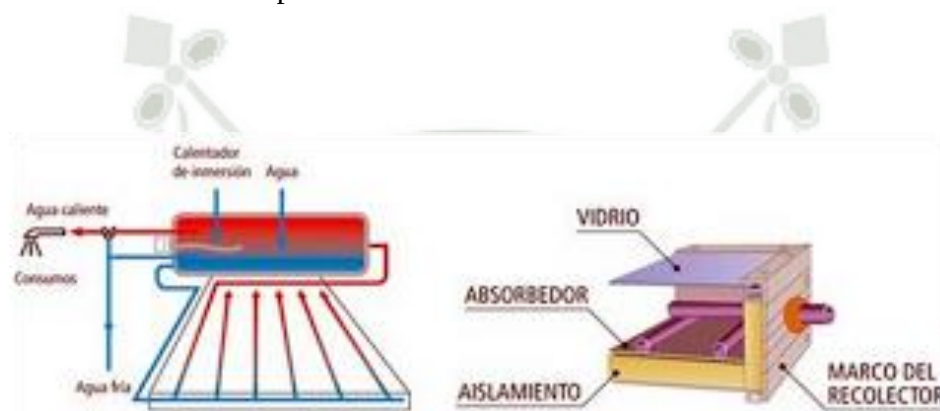


Fig. 2.9 Sistema de funcionamiento de una terma solar

Fuente (Termas LXXXOL)

2.4.3 CONCENTRADOR SOLAR

La dirección de propagación de una onda se representa mediante líneas que se denominan rayos y según la forma de la superficie en la que inciden así será la dirección de los rayos reflejados. Cuando la forma de dicha superficie es parabólica todos los rayos que llegan paralelos al eje de la parábola se reflejan pasando por un mismo punto que se denomina foco. Esta es la propiedad fundamental en que se basan todos los ingenios parabólicos.

Un concentrador solar es un instrumento que sencillamente consiste en la concentración en un solo foco de los rayos incidentes en una superficie, consiguiendo de esta manera alcanzar altas temperaturas que permiten el cocido de los alimentos. Basta con orientarlo adecuadamente en la dirección del sol, para lograr que los espejos cóncavos con que cuenta convenientemente orientados concentren los rayos solares.

Las cocinas que concentran la radiación solar levantan temperatura muy rápido y sirven para freír, pueden tener altas potencias de cocción y funcionan en cualquier día del año, habiendo sol directo con buena intensidad. Requieren ajustes mucho más frecuentes que las cocinas tipo horno, se necesita cuidar el alimento, al funcionar de forma similar a una cocina de gas y alcanzar altas temperaturas es necesario tomar las mismas precauciones que con una estufa de gas por lo que necesitan manejarse con más cuidado, por ejemplo, usar protección para las manos al tomar las ollas o cacerolas y para evitar deslumbramiento por el resplandor de la radiación que se refleja en el espejo se recomienda emplear gafas oscuras.

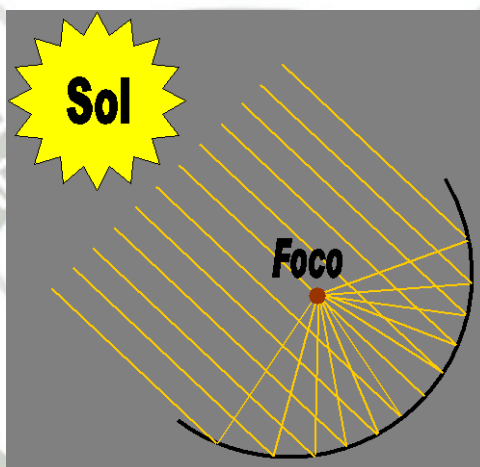


Fig. 2.10 Principio de reflexión de la luz en un espejo cóncavo

Fuente (Física Básica –McGraw-Hill)

2.4.3.1 MATERIAL ABSORBENTE

El absorbente puede ser de diferentes metales, como cobre, aluminio y acero. La característica más importante del material empleado para la construcción de un absorbente es la conductividad del calor, la que deberá ser la mayor posible. Si se compara al aluminio con el cobre como material estándar, se puede decir que un absorbente hecho de aluminio es aproximadamente 4% menos eficiente, sin embargo, el aluminio es más fácil de usar. El acero es más barato en comparación con los otros dos materiales, pero es más difícil de utilizar y además, un absorbente de acero es aproximadamente 10% menos eficiente.

Material	Hierro	Aluminio	Cobre
Conductividad de calor W/m. °C	40	200	400
Eficiencia del absorbente	-10%	-4%	Estándar
Costo	Menor, dependiendo del costo local	Menor, dependiendo del costo local	Estándar
Facilidad de uso	30% más difícil	30% más fácil	Estándar

Tabla 2.5 Resultados de una prueba de comparación de diferentes materiales absorbentes de calor

Fuente (Proyecto ID 772: Promoviendo mercados locales articulados de energías renovables)

Revestimiento del absorbente

Un metal puro refleja mucha luz. Por esta razón, es necesario pintar o revestir el absorbente para aumentar su porcentaje de absorción de calor. El absorbente puede ser pintado con brocha o soplete y con pintura mate simple de color negro, cuyo porcentaje de absorción es, por lo general, de 90 - 95 (es decir, convierte en calor el 90-95% de la energía que absorbe).

Por un lado, el absorbente mismo irradia calor al aumentar la temperatura. Por otro lado, las pinturas negras normales no impiden la radiación (es decir, la emisión de calor) al entorno; por el contrario, las superficies negras también tienen una emisión muy elevada (90) (ver la Figura 2.12)

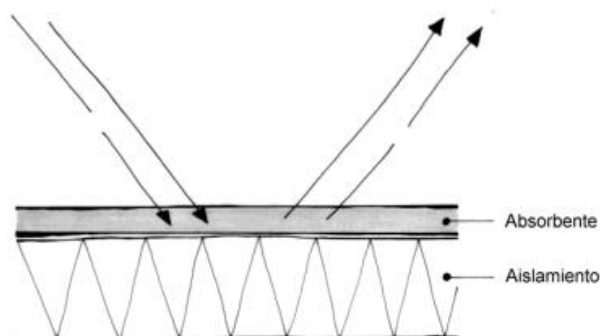


Fig. 2.11 Absorción y radiación del absorbente

Fuente (Proyecto ID 772: Promoviendo mercados locales articulados de energías renovables)

Sin embargo, utilizando revestimientos selectivos se logra minimizar las pérdidas de calor originadas por alzas de temperatura en las superficies negras. Tales revestimientos ayudan a la absorción de radiación solar (onda corta) y, al mismo tiempo, impiden la emisión de calor (onda larga). Los revestimientos selectivos pueden reducir la emisión de las superficies negras a porcentajes tan bajos como un 10% (ver la Figura 2.13).

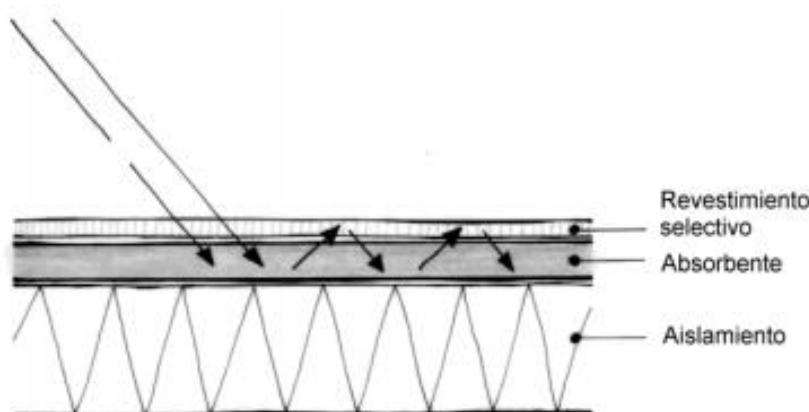


Fig. 2.12 Absorción y radiación del absorbente con un revestimiento selectivo

Fuente (Proyecto ID 772: Promoviendo mercados locales articulados de energías renovables)

Resulta difícil fabricar un revestimiento selectivo espectral, por lo que la mayoría de fabricantes de termas solares adquieren piezas absorbentes completas, donde el revestimiento ya haya sido aplicado sobre un tubo y una aleta de cobre. También se pueden comprar revestimientos selectivos espectrales en forma de láminas, que pueden ser adheridas al absorbente. Para obtener una conexión efectiva y durable entre el revestimiento y el absorbente, es muy importante limpiar la placa de metal y las tuberías antes de sopletear, pegar o pintar.

2.4.4 INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Instalación

Para determinar y usar la radiación solar de manera óptima deben seguirse los siguientes pasos:

a) Calcular el promedio diario de radiación en el lugar, utilizando los mapas o altas de radiación solar del mundo o, mejor aún, los datos de radiación de una estación meteorológica cercana.

Para sistemas solares costosos o a gran escala, la radiación debería medirse preferentemente, por varios años.

b) Determinar el ángulo de inclinación óptimo y la orientación para el lugar:

- a. Inclinación = latitud, o
- b. Inclinación = latitud + 5° para optimización, orientación norte

Ángulo mínimo de inclinación: 15° (para que la lluvia y el polvo no se estanquen en el módulo)

c) Calcular la influencia de sombras y reflejos. Si es necesario corregir el rendimiento de los módulos o buscar una mejor ubicación.

Errores de instalación:

Los más comunes (pequeños) durante la instalación son:

- Filtraciones en las tuberías y conexiones entre las tuberías, el tanque de almacenamiento y el colector
- Un trabajo de aislamiento inadecuado
- Rotura de la cubierta de vidrio del colector
- Error de inclinación de las tuberías del colector
- Errores en los sensores de temperatura (cables equivocados, sensor “caliente” y “frío” prendido, conexiones eléctricas erradas)

Esto son errores pequeños que pueden ser evitados si el técnico realiza la instalación con cuidado y si inspecciona su trabajo.

Entre estos errores encontramos:

- Orientación completamente equivocada del colector

- Posición inadecuada del tanque de almacenamiento con respecto al colector
- Tuberías demasiado largas o de un diámetro muy grande entre el colector, el tanque y los caños de agua caliente
- Mala conexión de las tuberías
- Tamaño inadecuado del tanque en comparación con el colector
- Conexión inadecuada de los colectores (en el caso de los sistemas con más de un colector)
- Bombas demasiado pequeñas o demasiado grandes (en sistemas de circulación forzada)

En realidad, estos errores son más serios porque evidencian que quien diseñó/instaló el sistema no conoce bien el funcionamiento de una terma solar. En la parte práctica de este módulo, se instalará una terma solar simple. Esto le servirá de práctica. Pero tenga en cuenta de que cada marca de termas solares tiene sus propios requerimientos de instalación. El fabricante deberá especificar claramente sus requerimientos especiales en el manual de instalación.

Mantenimiento

Los sistemas solares de efecto termosifón requieren escaso mantenimiento, o en algunos casos, ningún tipo de mantenimiento. Debido al principio termosifón, no hay piezas móviles ni unidades de control que puedan fallar. El sistema trabajará automáticamente; pero hay ciertos procedimientos básicos que pueden ser llevados a cabo para mejorar el funcionamiento de la terma solar. Las termas solares con bombas eléctricas y unidades de control requieren un mayor cuidado. El funcionamiento de la bomba y del colector deberá ser inspeccionado cada año. El siguiente resumen es aplicable a sistemas de efecto termosifón.

¿Qué hacer?

- Limpiar regularmente. El polvo y la suciedad en el plato solar bloquearán el paso de los rayos solares y reducirán la salida del sistema. Dependiendo de los alrededores (cerca del camino, el entorno polvoriento, lluvia no frecuente, etc.), es aconsejable limpiar el plato solar entre una vez al mes o varias al año.

- Evitar cualquier sombra en el colector. Podar las ramas posteriores de los árboles que rodean el colector para así permitir que reciba la mayor cantidad de luz solar posible.
- Si hay un sistema eléctrico de apoyo, gradúe el termostato tan bajo como sea posible. Usualmente, una temperatura de 60° C es suficiente. Un punto de graduación más alta aumentará el recibo de la luz.
- Asegúrese de que no falte suministro de agua fría para el sistema. Deje siempre abierta la válvula de entrada de agua fría y observe que el tanque de agua fría esté siempre lleno.
- Enjuagar el sistema completo una vez al año para remover toda la suciedad. Si en su área el agua es pesada, utilice un suavizador de agua para evitar obstrucciones en las tuberías del colector.
- Revisar una vez al año el revestimiento del colector y de las tuberías entre el tanque y el colector. Asegurarse de que el revestimiento no esté dañado y repararlo de ser necesario. Esto asegurará que no entre agua de lluvia en el aislamiento del colector, del tanque y de las tuberías, mejorará el funcionamiento de su sistema y aumentará su tiempo de vida.

¿Qué no hacer?

- No cerrar o bloquear la tubería de ventilación. Es muy importante que permanezca abierta y que esté colocada en un lugar más alto que el tanque de agua.
- No coloque obstáculos que puedan sombrear el colector.
- No utilice una escobilla dura o productos químicos para limpiar la el colector y el plato.

2.5 SISTEMA BÁSICO DE DESTILACIÓN DE AGUA

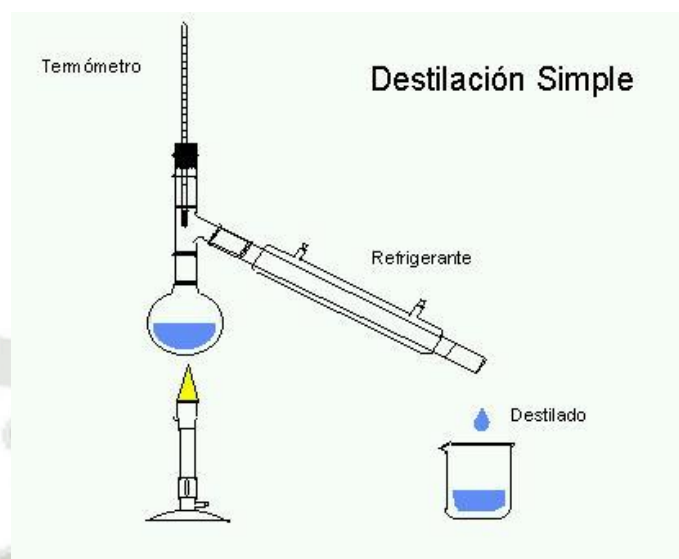


Fig. 2.13 Sistema básico de destilación de líquido simple

Fuente (<http://aromaterapia-esencias.com>)

De la figura 2.15 se puede deducir que el sistema más sencillo para un destilador consta únicamente de una fuente de calor que provoque la evaporación del líquido, en este caso sería nuestro mechero Bunsen. El termómetro es el que nos permitirá cerciorarnos de que manejemos temperaturas estables dentro del sistema. Existe un sistema refrigerante que es el encargado de la condensación del agua y finalmente un depósito donde se almacena el líquido ya destilado.

2.5.1 CONTROL DE TEMPERATURA

La Temperatura es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. Cuando tocamos un cuerpo que está a menos temperatura que el nuestro sentimos una sensación de frío, y al revés de calor. Sin embargo, aunque tengan una estrecha relación, no debemos confundir la temperatura con el calor. Cuando dos cuerpos, que se encuentran a distinta temperatura, se ponen en contacto, se produce una transferencia de energía, en forma de calor, desde el cuerpo caliente al frío, esto ocurre hasta que las temperaturas de ambos cuerpos se igualan. En este sentido,

la temperatura es un indicador de la dirección que toma la energía en su tránsito de unos cuerpos a otros.

Un sistema de control de temperatura, obtiene la temperatura del ambiente a medir mediante un sensor, y esta señal es tratada, ya sea digital o analógicamente (según el tipo de control a utilizar). Y luego pasa a un sistema de control el cual activa o desactiva, aumenta, o disminuye el sistema que estará encargado de mantener la temperatura. Por ejemplo, para el caso de un horno, si la temperatura es mayor, disminuirá la potencia del horno, y si es demasiado bajo, aumentará esta.

Un control básico de temperatura contiene las etapas que se encuentran en la siguiente figura 2.16.

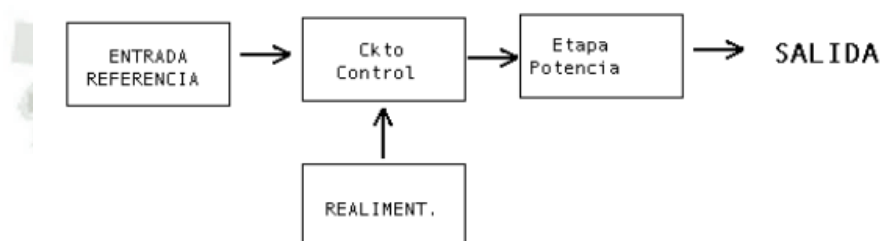


Fig. 2.14 Control básico de temperatura

Fuente (<http://proyectosfie.com>)

En la figura podemos encontrar una entrada de referencia que es la encargada de fijar la temperatura que se desea alcanzar. Esta entrada puede ser ingresada manualmente o fijada en el mismo controlador del sistema. El bloque de CKTO Control es el encargado de resolver todo lo que la entrada de referencia y realimentación le ingresen, para así tomar una decisión y enviarla a la etapa de potencia. En la etapa de realimentación se mide la temperatura del sistema en tiempo real y se la envía al controlador para que este pueda asumir una respuesta. La etapa de potencia es la que permite que la salida del control pueda llegar a los actuadores y el sistema finalmente sea controlado.

2.5.1.1 CONTROL DE LAZO CERRADO

Sistemas de lazo cerrado o sistemas con realimentación o feedback. La toma de decisiones del sistema no depende sólo de la entrada sino también de la salida. El sistema es más flexible y capaz de reaccionar si el resultado que está

obteniendo no es el esperado; los sistemas a los que podemos llamar robots casi siempre son de lazo cerrado. Encontramos el esquema que lo define en la figura 2.15.

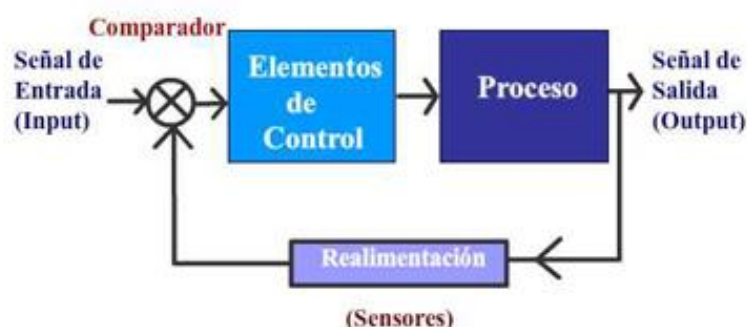


Fig. 2.15 Control de lazo cerrado

Fuente (<http://recursostic.educacion.es>)

Un control de temperatura de lazo cerrado, no se detendrá al cabo de un tiempo fijo, sino cuando detecte que se está consiguiendo el objetivo buscado, es decir, que la temperatura es la adecuada para el proceso. Y se pondrá en marcha, no a una hora determinada, sino en cualquier momento en que la temperatura baje o suba por encima del valor determinado.

2.5.1.2 SENSOR DE TEMPERATURA

Se trata de resistencias cuyo valor asciende con la temperatura (termistor PTC) o bien disminuye con la temperatura (termistor NTC). Por lo tanto, depende de la temperatura que el termistor permita o no el paso de la corriente por el circuito de control del sistema.

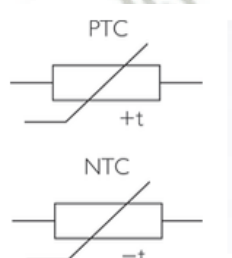


Fig. 2.16 Simbología de los sensores de temperatura

Fuente (<http://recursostic.educacion.es>)

La principal aplicación de los sensores térmicos es, como es lógico, la regulación de sistemas de calefacción y aire acondicionado, además de las alarmas de protección contra incendios.

2.5.1.2.1 SENSOR DE TEMPERATURA LM35

El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C . Su rango de medición abarca desde -55°C hasta 150°C . La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10mV , por lo tanto:

$$150^{\circ}\text{C} = 1500\text{mV}$$

$$-40^{\circ}\text{C} = -400\text{mV}$$

(2.3)

Características

- Esta calibrado directamente en grados Celsius.
- La tensión de salida es proporcional a la temperatura.
- Tiene una precisión garantizada de 0.5°C a 25°C .
- Opera entre 4 y 30 voltios de alimentación.
- Baja impedancia de salida.
- Baja corriente de alimentación ($60\mu\text{A}$).
- Bajo costo.

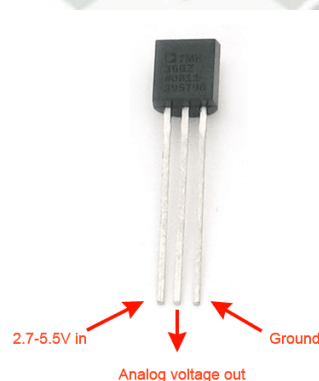


Fig. 2.17 Sensor LM35

Fuente (termochalo.blogspot.com)

El LM35 no requiere de circuitos adicionales para calibrarlo externamente. La baja impedancia de salida, su salida lineal y su precisa calibración hace posible que este integrado sea instalado fácilmente en un circuito de control. Debido a su baja corriente de alimentación se produce un efecto de auto calentamiento muy reducido. Se encuentra en diferentes tipos de encapsulado, el más común es el TO-92, utilizada por transistores de baja potencia.

2.5.1.3 VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO

La elección de una adecuada característica de caudal de una válvula de control, en función de su aplicación en un determinado proceso, continua siendo un asunto no solamente bastante complejo, sino principalmente controvertido. Los problemas a resolver son realmente complejos, comenzando por el propio dilema de cuál debe ser la fracción de la caída de presión total del sistema que debe ser absorbida por la válvula de control. Y otro tanto en lo que hace a las interferencias instaladas en el sistema, como ser la propia turbina, desvíos, reducciones, equipos, lazo de control, etc.

Características de caudal

El obturador de una válvula, conforme se va desplazando, produce un área de pasaje que posee una determinada relación característica entre la fracción de carrera de la válvula y el correspondiente caudal que escurre a través de la misma. A esa relación se le da el nombre de característica de caudal de válvula. Por otro lado, se sabe también que el caudal que escurre a través de una válvula varía con la presión diferencial a través de la misma, y, por lo tanto, tal variación de presión diferencial debe afectar la característica de caudal. En consecuencia, se definen dos tipos de características de caudal: inherente e instalada. La característica de caudal inherente se define como la relación existente entre el caudal que escurre a través de la válvula y la variación porcentual de la carrera, cuando se mantiene constante la presión diferencial a través de la válvula. En otras palabras, se puede decir que se trata de la relación entre el caudal a través de la válvula y la correspondiente señal del controlador, bajo presión diferencial constante, a través de la válvula. Por su parte, la

característica de caudal instalada se define como la característica real de caudal, bajo condiciones reales de operación, donde la presión diferencial no se mantiene constante.

Si se tiene en cuenta que la presión diferencial a través de la válvula en un determinado sistema de control de proceso nunca se mantiene constante, al proceder a la selección de la característica de caudal se debe pensar en la característica de caudal instalada. Las características de caudal suministradas por los fabricantes de válvulas de control son inherentes, ya que es imposible simular todas y cada una de las aplicaciones de una válvula de control. La característica de caudal inherente es la teórica, mientras que la instalada es la práctica.

Campo de medida (Rangeability) de una válvula

En realidad, el término “rangeability” podría definirse como dinámica de medida, que es el cociente entre los valores máximo y mínimo de utilización de un dispositivo. La dinámica de medida de una válvula puede definirse como la relación entre los caudales máximo y mínimo controlables. Se la obtiene dividiendo el coeficiente de caudal (en porcentaje) mínimo efectivo o utilizable por el coeficiente de caudal (en porcentaje) máximo efectivo o utilizable. En la figura 1 se muestra como se obtiene la dinámica de medida de una válvula de control.

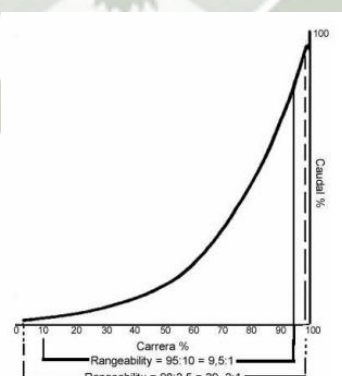


Fig. 2.18 Dinámica de medida de una válvula de control

Fuente (Válvulas de Control- José Roberto Vignoni-2005)

De la misma forma que la característica de caudal, la dinámica de medida puede ser inherente e instalada. La dinámica de medida inherente se determina en condiciones de caída de presión constante a través de la válvula, mientras que la dinámica de medida instalada se obtiene con caída de presión variable. La dinámica de medida inherente varía de válvula en válvula en función del tipo de cuerpo. En la válvula globo está en el orden de 50:1, en la esférica entre 50:1 y 100:1, en la mariposa 20:1, etc.

La dinámica de medida instalada también se puede definir como la relación entre la dinámica de medida inherente y la caída de presión, lo cual se puede expresar como:

$$R_0 = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right) \times \sqrt{\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}}$$

(2.1)

Dónde:

Q1 = Caudal inicial;

Q2 = Caudal final;

ΔP_1 = Caída de presión a caudal inicial

ΔP_2 = Caída de presión en la válvula a caudal final

2.5.2 CONTROL DE NIVEL DEL LÍQUIDO

Los controles del nivel máximo del agua en un tanque de almacenamiento tienen la doble función de garantizar la seguridad de las estructuras y de evitar el desperdicio de agua. El control del nivel máximo se hace mediante un sensor de nivel conectado en alguna forma, ya sea mecánica o electrónica con la operación de una válvula a la entrada del tanque. Como todo mecanismo siempre puede fallar en el momento de su operación, es importante que el tanque disponga de un sistema de seguridad de funcionamiento totalmente automático como por ejemplo un vertedero libre, eventualmente conectado con una alarma.

El control del nivel mínimo del agua tiene la función de garantizar el buen funcionamiento del sistema evitando la entrada de aire en la tubería que se

encuentra aguas abajo del tanque, como por ejemplo en la red de distribución de agua, o en la succión de la o las bombas. En este caso también el sistema está compuesto por un sensor de nivel conectado a una alarma, para que el operador intervenga, o en sistemas más sofisticados, el sensor actúa directamente, para aumentar la entrada de agua al tanque.



Fig. 2.19 Niveles de control en un tanque

Fuente (www.sensorstecnics.net)

El control de nivel es un control muy sencillo ON-OFF que advertirá al sistema cuando los niveles de agua se encuentren muy por debajo o muy por encima mediante una señal. Esta señal deberá de ser tratada para ingresar al sistema dependiendo del control que se quiera utilizar.

2.5.3 CÁMARAS DE CONDENSACIÓN

Las cámaras de condensación son las encargadas de condensar el vapor de agua mediante un proceso de enfriamiento. Por lo tanto solo se necesita hacer pasar el vapor a través de una tubería la cual podamos enfriar de manera externa para provocar que este vapor de agua se condense y caiga de forma líquida, para así obtener el agua destilada.



Fig. 2.20 Ejemplo de condensación de la transpiración en un vidrio frío

Fuente (Fotografía, 2013)

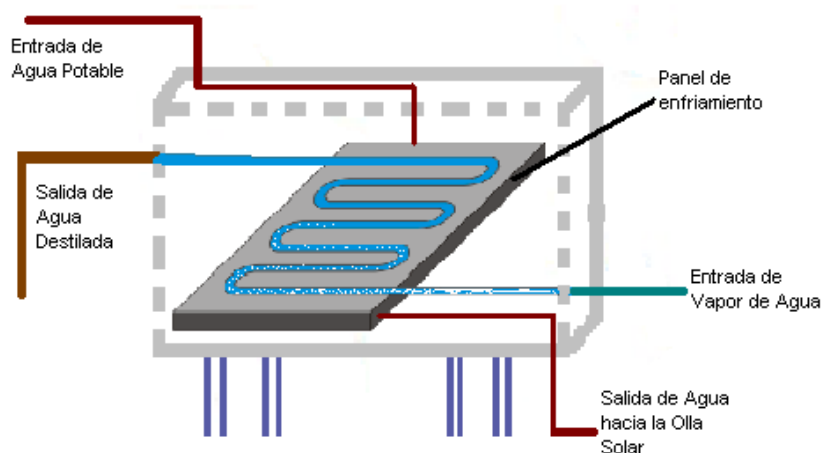


Fig. 2.21 Sistema de Condensación

Fuente (Plan de Tesis – Igor Zeballos – 2013)

En este sistema podemos observar que hay una entrada de agua potable, que normalmente es fría y esta se encarga de enfriar la tubería por donde pasa el vapor de agua y a la salida tenemos el agua condensada.

2.6 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR

Como parte del estado del arte examinado en esta tesis, se encuentran los sistemas de seguimiento solar aceptados por el IEEE, (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), que los clasifica en:

a) Sistemas de seguimiento solar en 1 eje

Este tipo de sistemas es el más usado, debido a que la máxima variación entre Sol y panel ocurre en azimut, la variación en elevación se desprecia por considerarse de poca repercusión en términos de energía y porque se

encarecen los costos de desarrollo. Sin embargo, la elevación se realiza en forma manual cada 6 meses, para temporada invernal y estival, o bien se puede fijar en la mitad, para ambas estaciones.

b) Sistemas de seguimiento solar en dos ejes

Este tipo de sistemas es poco común, pueden seguir el Sol tanto en dirección como en elevación, lo que implica tener dos actuadores, para variar la inclinación del panel en forma horizontal y vertical. La variación del Sol en elevación se produce por la inclinación del eje de rotación terrestre, que es de $23,5^\circ$ aproximadamente con respecto al plano de la órbita que describe alrededor del Sol y da origen a las estaciones del año.

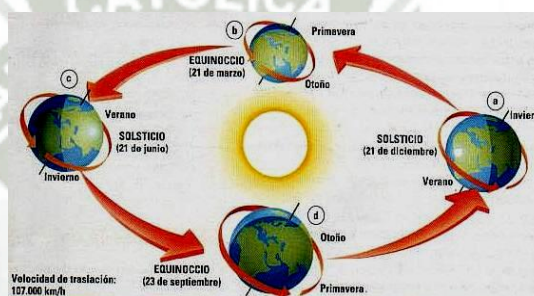


Fig. 2.22 Inclinación del eje de rotación terrestre $23,5^\circ$ dando origen a las estaciones.

Fuente (www.wikipedia.com)

Independientemente del sistema de seguimiento a utilizar, se debe tener en cuenta, para efectos de energía captada por ángulo de elevación, la trayectoria descrita por el sol durante el día, tanto en temporada estival como hibernal, la que debe coincidir con la eclíptica (el movimiento aparente del Sol visto desde la Tierra).

La elevación angular solar máxima con respecto al plano terrestre, será alcanzada en el solsticio de verano, y la mínima en el solsticio de invierno.

2.6.1 INFLUENCIA SOLAR EN LAS ESTACIONES

La eclíptica es la línea curva por donde transcurre el Sol alrededor de la Tierra, en su movimiento aparente visto desde la Tierra. Está formada por la intersección del plano de la órbita terrestre con la esfera celeste.

Según se ha visto anteriormente, el eje de la Tierra tiene una inclinación de $23,5^\circ$ con respecto al plano orbital terrestre. Por esta razón, la eclíptica se encuentra inclinada dicha cantidad con respecto al ecuador celeste (es la proyección del ecuador terrestre en el espacio). La consecuencia inmediata de ello es que el Sol, en su recorrido a lo largo de la eclíptica durante un año, a veces se sitúa sobre el ecuador celeste y a veces por debajo.

La altura máxima que alcanzará el Sol en el cielo en cualquier punto de la Tierra dependerá de su latitud y de la época del año. Por ejemplo, para una latitud aproximada de 16°S como es nuestro caso, sabemos que el ecuador celeste alcanza una altura sobre el horizonte en el sur (en su intersección con el meridiano) de $90^\circ - 16^\circ = 74^\circ$. Para una latitud de 16°S , cuando el Sol se encuentra justamente sobre el ecuador celeste, entonces su altura máxima sobre el horizonte es precisamente de 74° . En el punto de máxima separación de la eclíptica por encima del ecuador celeste, el Sol se situará a $74^\circ + 23,5^\circ = 97,5^\circ$ sobre el horizonte al pasar por el meridiano, mientras que al pasar por el punto más bajo de la eclíptica, su altura será tan sólo de $74^\circ - 23,5^\circ = 50,5^\circ$. Nuestra experiencia nos indica que cuando el Sol pasa más alto sobre el horizonte el clima es más caluroso y la estación corresponde al verano, mientras que en los momentos en que el Sol pasa más bajo, las temperaturas son más frías y nos situamos en invierno. Así que en definitiva, la inclinación del eje de la Tierra es responsable de los cambios de altura del Sol sobre el horizonte y de la sucesión de situaciones climáticas que dan lugar a las estaciones. De todos es sabido que las estaciones son cuatro: primavera, verano, otoño e invierno, que corresponde con las sucesivas alturas que va alcanzando el Sol sobre el horizonte en su movimiento anual a lo largo de la eclíptica.

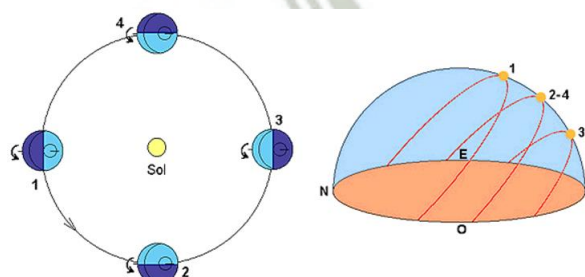


Fig. 2.23 Las estaciones con respecto a la eclíptica.

Fuente (www.wikipedia.com)

La figura 2.23, izquierda, nos explica qué ocurre a lo largo del año y representa a la Tierra en su órbita vista desde el norte, y recordar que todos los fenómenos que se detallan a continuación son debidos a que el eje de rotación terrestre posee una inclinación y orientación fija respecto del plano orbital. Cuando la Tierra se encuentra en la posición1, su eje de rotación se encuentra completamente orientado hacia el Sol, por tanto éste alcanzará su máxima altura sobre el horizonte tal y como se representa en la figura de la derecha. El momento en que el Sol pasa por el punto más alejado del ecuador celeste sobre la eclíptica se le denomina solsticio de verano, y tiene lugar alrededor del 22 de diciembre. En el solsticio de verano se tiene el día más largo y la noche más corta del año.

Cuando la Tierra en el recorrido de su órbita alrededor del Sol alcanza el punto2, el eje de rotación se encuentra completamente paralelo a la línea que separa el día de la noche. En esta situación, el Sol se sitúa directamente sobre el ecuador celeste (ver la figura de la derecha), el Sol sale exactamente por el este y se pone exactamente por el oeste, y las duraciones del día y de la noche son idénticas. Al cruce del ecuador celeste por el Sol se le denomina equinoccio, en este caso de otoño, acontece alrededor del 21 de marzo, y marca el fin del verano.

Cuando la Tierra alcanza la posición3 en su órbita alrededor del Sol, tenemos la situación opuesta a la1. El Sol alcanza su mínima altura sobre el horizonte y la duración del día es la más corta del año mientras que la de la noche es la más larga. Cuando esto sucede, alrededor del 21 de junio, entonces se produce el solsticio de invierno, finaliza el otoño y entramos en la estación invernal, con los meses más fríos del año.

Finalmente, cuando la Tierra se encuentra en la posición4, la situación es análoga a la 2: el eje terrestre se encuentra paralelo a la línea del día y de la noche, el Sol cruza el ecuador celeste y acontece el equinoccio de primavera, hacia el 23 de septiembre, y la duración del día y de la noche es idéntica.

Está claro que la altura máxima del Sol sobre el horizonte varía con el transcurso del año, y que ésta está directamente relacionada con los cambios estacionales del clima.

2.6.2 COLOCACIÓN SOBRE UN SOPORTE ESTÁTICO

Soporte sencillo sin movimiento. Dependiendo de la latitud de la instalación y de la aplicación que se quiera dar se dota a la cocina solar, de la inclinación más adecuada para captar la mayor radiación solar posible. Es el sistema más habitual que se encuentra en las instalaciones.



Fig. 2.24 Soporte estático del panel Solar

Fuente (conectorsolar.blogspot.com)

2.6.3 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR EN 2 EJES

Estos soportes realizan un cierto seguimiento solar. La rotación del soporte se hace por medio de dos ejes, horizontal y vertical. Este tipo de seguimiento es uno de los más sencillos resultando completo ya que sigue el azimut del Sol, y su posición según la estación en la que se encuentre.



Fig. 2.25 Panel solar con seguimiento en 2 ejes

Fuente (conectorsolar.blogspot.com)

2.6.3.1 SISTEMAS MECÁNICOS

El seguimiento se realiza por medio de un motor y de un sistema de engranajes. Dado que la inclinación del Sol varía a lo largo del año es necesario realizar ajustes periódicos, para adaptar el movimiento del soporte.

2.6.3.2 MEDIANTE DISPOSITIVOS DE AJUSTE AUTOMÁTICO

El ajuste se realiza por medio de sensores que detectan cuando la radiación no incide perpendicular al plato reflector corrigiéndose la posición por medio de motores.



Fig. 2.26 Sensor para seguimiento Solar

Fuente (es.aliexpress.com)

2.6.3.3 DISPOSITIVOS SIN MOTOR

Sistemas que mediante la dilatación de determinados gases, su evaporación y el juego de equilibrios logran un seguimiento del Sol. Se estima que con estos sistemas se puede lograr un aumento del orden de 10% a un 40% de la energía captada, sin embargo, en el estado del arte no se menciona bajo qué condiciones se han logrado estos valores. Se hace necesario evaluar el costo del sistema de seguimiento y la ganancia derivada del aumento de energía para determinar su rentabilidad.

2.7 CONTROL DE SEGUIMIENTO

Existen dos tipos de control para efectos de seguimiento del Sol. El control de lazo abierto, y el control de lazo cerrado, la lógica de control a utilizar se refiere a la forma de seguimiento solar propiamente tal, independientemente de cómo se materialice el control en el actuador.

Por ejemplo el seguidor solar puede tener una lógica de control de lazo abierto (sin retroalimentación), pero el actuador encargado de mover las celdas fotovoltaicas puede tener una lógica de control de lazo cerrado (con retroalimentación), para que el sistema pueda conocer en todo momento en que posición se encuentra el plato solar con respecto a la posición del sol.

2.7.1 CONTROL DE LAZO ABIERTO

A diferencia del control de lazo cerrado, el control de lazo abierto carece de retroalimentación en el sistema, por lo tanto, no existe sensor alguno que proporcione información para corregir el seguimiento solar propiamente tal.

Sin embargo, la posición del Sol es conocida por otros medios que permiten alinear los paneles correctamente en dirección con el Sol, prescindiendo de retroalimentación para lograr éste propósito, no obstante, es escaso el aporte que existe en relación a esta materia.

Algunos métodos para realizar seguimiento por lazo cerrado se basan en el tiempo, independiente de la hora en la cual amanece o atardece, la transición del día y noche ocurre en 24 horas, el planeta tierra gira 360° sobre su eje, por lo tanto, $360^\circ/24h = 15^\circ$, lo que corresponde a un uso horario, es decir, visto desde el plano terrestre el sol se mueve 15° cada una hora. El control debe contemplar mover los paneles 15° cada una hora dentro de 180° (que corresponden al día, ya que los otros 180° de la tierra se encuentran de noche), pero en la práctica el recorrido ocurre en un ángulo menor o igual a 160° , correspondiente a las horas luz disponibles por el relieve geográfico.

Para inicializar este tipo de sistemas, se debe conocer alguna hora en la cual el Sol se encuentre en un ángulo determinado, esto se puede lograr consultando tablas solares o simplemente preguntando al servicio meteorológico local. De esta manera, se alinea el panel con el sol, y a partir de aquel momento comienza la cuenta, el sistema mueve los paneles 15° cada una hora, hasta llegar al límite Este o al límite Oeste según corresponda, para finalmente volver a la posición de origen, hasta que comience un nuevo día, en el cual se repite el ciclo.

2.7.2 CONTROL DE LAZO CERRADO

El control de lazo cerrado implica una retroalimentación en el sistema, ésta es dada por un sensor capaz de proporcionar información acerca de la posición solar con respecto al plano terrestre, dicha información permite posicionar los paneles en la dirección donde se encuentra el Sol.

Algunos tipos de sensores comúnmente utilizados son: el fotodiodo, la fotorresistencia, fototransistor y las células fotoeléctricas.

2.7.2.1 FOTORESISTENCIA

Una fotorresistencia es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente. Se denomina con la sigla, LDR, Light – Depend – Resistor. (Resistencia dependiente de la luz).



Fig. 2.27 Fotorresistencia

Fuente (www.solecmexico.com)

2.7.2.2 ACTUADOR

Actuadores activos son todos aquellos que requieren energía del sistema de seguimiento solar, para movilizar el plato solar en dirección del Sol. El gasto de energía realizado por el actuador durante el seguimiento del sol, no debe superar la energía obtenida por el sistema fotovoltaico. En la mayoría de los casos se utilizan motores CC, con caja reductora para aumentar el torque, ya que no se requiere de mucha velocidad para su movimiento.

2.8 ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

La figura 2.29 muestra una instalación típica de un panel solar.

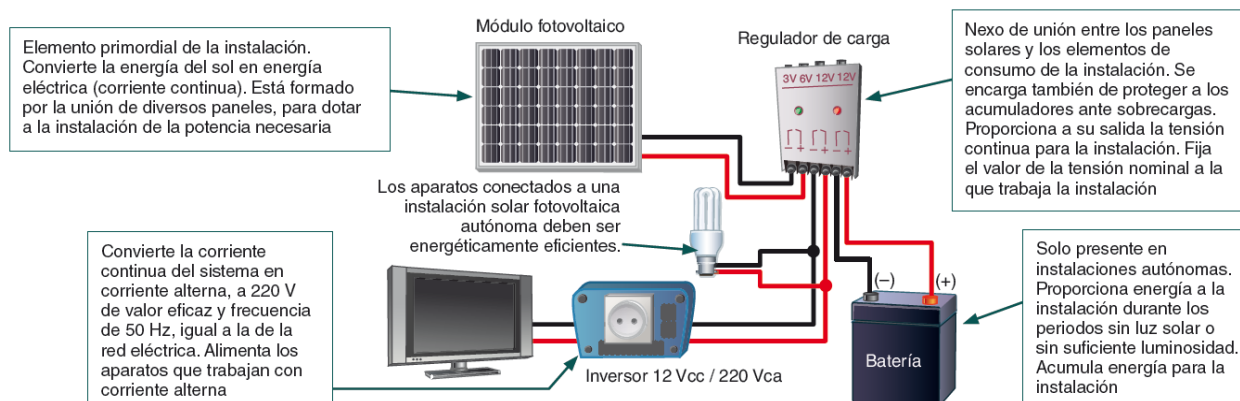


Fig. 2.28 Esquema general de una instalación solar fotovoltaica

Fuente (Componentes de una instalación solar fotovoltaica - McGraw-Hill)

2.8.1 EL PANEL SOLAR

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V...), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

En la figura 2.30 se destacan las principales características de todo panel solar y puede verse un esquema típico de su construcción.

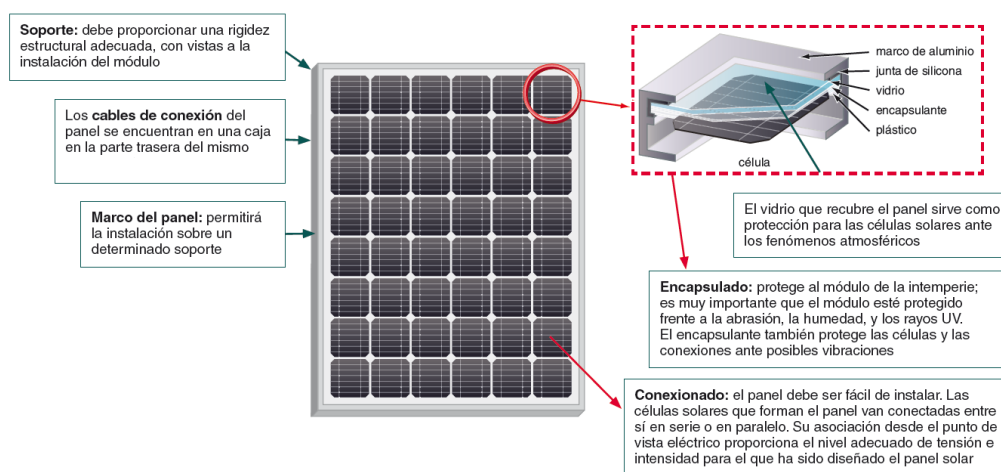


Fig. 2.29 Constitución de un Panel Solar

Fuente (Componentes de una instalación solar fotovoltaica - McGraw-Hill)

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- Silicio cristalino (mono cristalino y poli cristalino).

Silicio Puro mono cristalino: Están basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para este tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.

Silicio puro poli cristalino: Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles poli cristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los mono cristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo.

- Silicio amorfo.

En la Tabla podemos observar las diferencias que existen entre ellos.

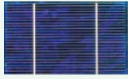
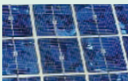
Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Tabla 2.7 Diferencias entre paneles según la tecnología de fabricación.

Fuente (Componentes de una instalación solar fotovoltaica - McGraw-Hill)

2.8.2 REGULADOR DE CARGA

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tiene como misión evitar situaciones de carga y sobre-descarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

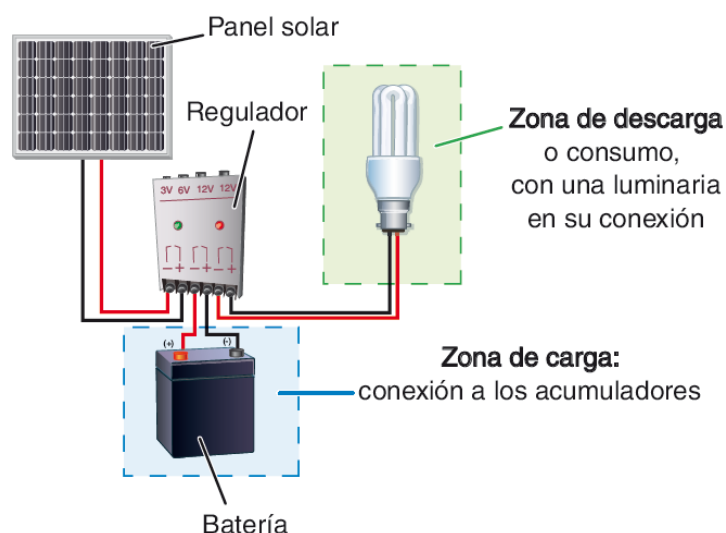


Fig. 2.30 Conexiones del Regulador de Carga en una Instalación Fotovoltaica.

Fuente (Componentes de una instalación solar fotovoltaica - McGraw-Hill)

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería. Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas. El motivo de que esta tensión nominal de los paneles sea así se debe fundamentalmente a dos razones:

- Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
- Asegurar la carga correcta de la batería. Para ello la tensión V_{oc} del panel deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería.

El dimensionado de la instalación solar se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad del sol. Por ello se toman como referencia los valores de irradiación en invierno. Esto puede provocar que en verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble de los cálculos estimados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el riesgo que ello conlleva.

2.9 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control es el encargado de sincronizar y controlar todos los sistemas del equipo. Los sistemas de control de temperatura, de nivel y posición solar, serán llevados a un sistema de control para que este pueda dar una respuesta a los actuadores (válvulas y motor). El sistema de control que se plantea utilizar, como no se trata de un sistema que requiera respuesta inmediata o pronta, es un sistema de control difuso. A base de las entradas podemos esquematizar un control de la siguiente manera:

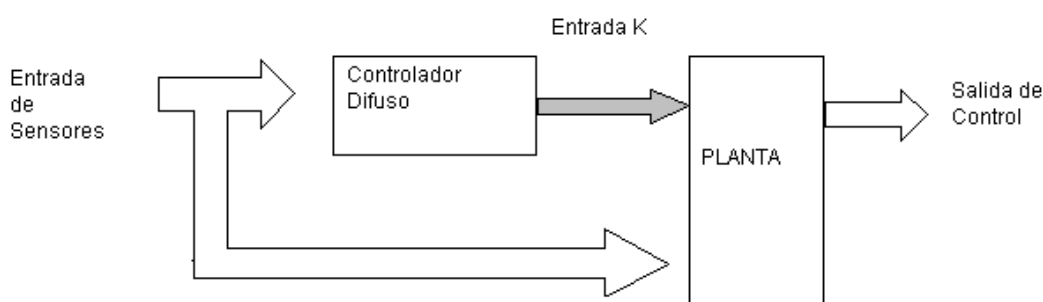


Fig. 2.31 Sistema típico de Control Difuso

Fuente (Plan de tesis – Igor Zeballos - 2013)

Como se observa en la figura, las entradas principales para el control son las que nos brindan los sensores. Dependiendo si estas requieren de control serán enviadas al Controlador Difuso de lo contrario pueden ser entendidas por el sistema lo que provoca un sistema híbrido. (Lazo abierto en algunos casos y lazo cerrado en otros) La entrada K es la respuesta del controlador a los sensores enviada a la planta, que dispone el movimiento de los electro mecanismos (válvulas, motor).

2.9.1 MICROCONTROLADOR PIC 16F877A

Además de su bajo costo y eficiente funcionamiento es que optamos por el uso de este dispositivo para el control del sistema.



Fig. 2.32 PIC 16F877A

Fuente (www.hvwtech.com)

Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos. Los PICS poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.

CARACTERÍSTICAS	16F877
Frecuencia máxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones RAM de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc
Canales Pwm	2
Pila Hardware	-
Ejecución En 1 Ciclo Máquina	-

Tabla 2.8 Características del PIC 16F877A

Fuente (datasheet – PIC16F877A-2010)

Este microcontrolador es fabricado por Microchip familia a la cual se le denomina PIC. El modelo 16F877 posee varias características que hacen a este microcontrolador un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en la aplicación que posteriormente será detallada.

Algunas de estas características se muestran a continuación:

- Soporta modo de comunicación serial, posee dos pines para ello.
- Amplia memoria para datos y programa.
- Memoria reprogramable: La memoria en este PIC es la que se denomina FLASH; este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente (esto corresponde a la "F" en el modelo).
- Set de instrucciones reducidas (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

2.9.2 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN PICC

El software PIC C Compiler es un paquete de programación en lenguaje C (alto nivel) creado por HI-TECH para programar los microcontroladores de la familia PIC. El compilador PIC C fue creado con el fin de facilitar y la programación de dichos dispositivos y mejorar su funcionamiento. Actualmente se cuenta con la versión 2010 la cual es de acceso gratuito.

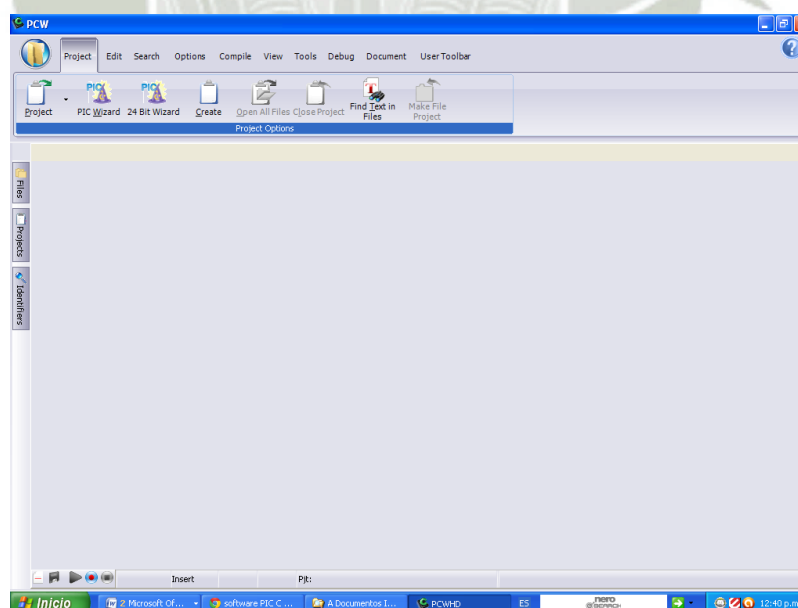


Fig. 2.33 Software de programación PIC C

Fuente (Microchip)

2.9.3 TARJETA PARA PROGRAMACIÓN DEL PIC

La tarjeta de programación para PICS es la encargada de grabar todos los programas que se realicen en el programa PIC C Compiler. Está dotada de un puerto USB que permite la rápida conexión con la PC y su vez es reconocido por el programa de descarga Pickit 2. No requiere de instalación de drivers ni de software específicos ya que comparte la arquitectura de un programador común. Está diseñada bajo los estándares de Microchip en base al PIC 18F2550.

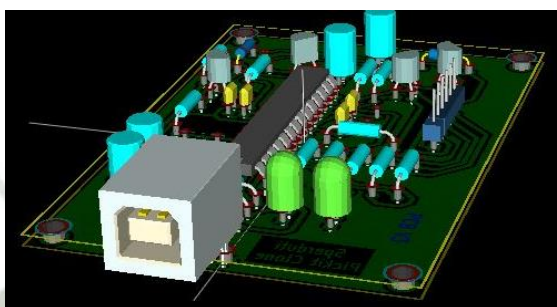


Fig. 2.34 Tarjeta de Programación Compatible con Pickit

Fuente (Microchip)

2.9.4 PICKIT II SOFTWARE

El Software Pickit 2, la versión 2.52 de Microchip, posee un entorno muy simple y fácil de ejecutar como vemos en la figura 2.34.

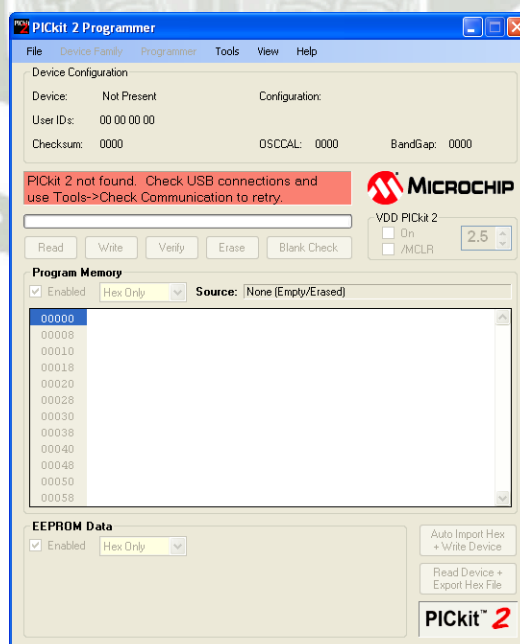


Fig. 2.35 Software Pickit 2 v. 2.52

Fuente (Microchip)

Este software es el utilizado para la interfaz entre el microcontrolador y el programa que hemos realizado. Mediante el botón *File*, descargamos el programa con extensión “ejemplo.c” y el software Pickit automáticamente fabricará un programa en assembler con extensión “ejemplo.asm”, seguido de un programa en números Hexadecimales que será finalmente el código que se grabará en la memoria del PIC. Podemos observar que nos permite borrar o escribir, así como controlar los niveles de voltaje hasta incluso el de “Master Clear”.

2.9.5 PANTALLA LCD 16X2

La pantalla de cristal líquido o LCD (Liquid Cristal Display) es un dispositivo controlado de visualización grafica para la presentación de caracteres, símbolos o incluso dibujos (en algunos modelos), en este caso dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una y cada carácter dispone de una matriz de 5x7 puntos (píxeles), aunque los hay de otro número de filas y caracteres. Este dispositivo está gobernado internamente por un microcontrolador y regula todos los parámetros de presentación, este modelo es el más comúnmente usado y esta información se basará en el manejo de este u otro LCD compatible. Características principales:

- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres Kan ji y Griegos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o la derecha.
- Proporciona la dirección de la posición absoluta o relativa del carácter.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.-Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres.
- Conexión a un procesador usando un interfaz de 4 u 8 bits



Fig. 2.36 Pantalla LCD 16x2

Fuente (es.scribt.com)

Funcionamiento:

Para comunicarse con la pantalla LCD podemos hacerlo por medio de sus pines de entrada de dos maneras posibles, con bus de 4 bits o con bus de 8 bits. En la siguiente figura vemos las dos maneras posibles de conexionar el LCD con un PIC.

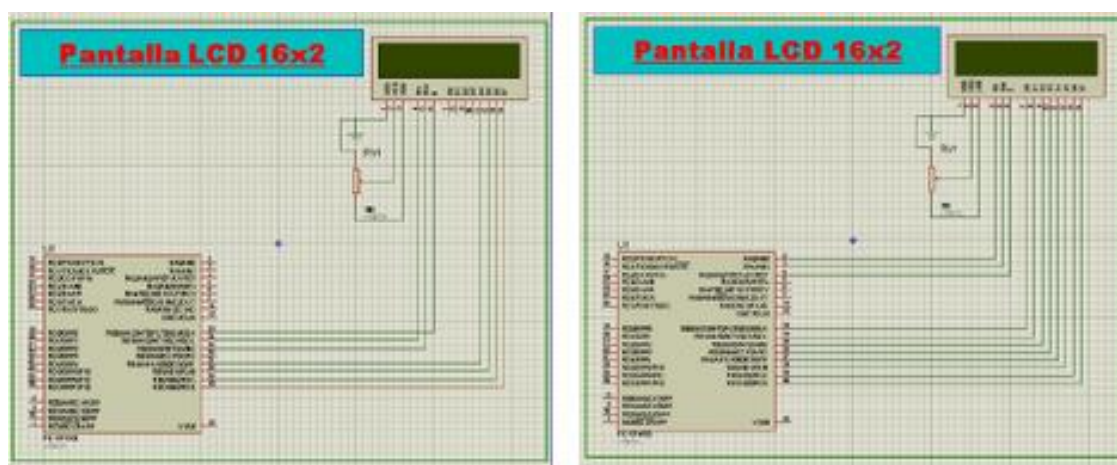


Fig. 2.37 (a) LCD bus de 4 bits (b) LCD bus de 8 bits

Fuente (es.scribt.com)

Como puede apreciarse el control de contraste se realiza al dividir la alimentación de 5V con una resistencia variable de 10K. Las líneas de datos son triestado, esto indica que cuando el LCD no está habilitado sus entradas y salidas pasan a alta impedancia.

PIN CONNECTIONS				
PIN	Symbol	Level	Function	
1	VSS	—	GND(0V)	
2	VDD	—	Supply Voltage for Logic(+5V)	
3	V0	—	Power supply for LCD	
4	RS	H/L	H: Data; L: Instruction Code	
5	R/W	H/L	H: Read; L: Write	
6	E	H/L	Enable Signal	
7	DB0	H/L	Data Bus Line	
8	DB1	H/L		
9	DB2	H/L		
10	DB3	H/L		
11	DB4	H/L		
12	DB5	H/L		
13	DB6	H/L		
14	DB7	H/L		
15	BL1	—	Backlight Power(+5V)	
16	BL2	—	Backlight Power(0V)	

Tabla 2.9 Orden de pines para el LCD 16x2

Fuente (www.aprenderobotica.com)

2.9.5 SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y MONITOREO (SCADA)

Hoy en día, la creciente demanda de automatización de las industrias, ha llevado a la creación de sistemas de supervisión cada vez más avanzados y con muchas más prestaciones que las que se tenía algunos años atrás.

Los sistemas SCADA del acrónimo Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) son software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita la retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso en muchos casos, automáticamente. Estos sistemas proveen de toda la información que se genera en un determinado proceso productivo y permite su gestión e intervención.

2.9.5.1 LAZO ABIERTO Y CERRADO

Estos sistemas pueden ser estructurados de dos formas básicas: Lazo Abierto y Lazo Cerrado. Como los sistemas de control, sabemos que la configuración de Lazo Abierto permite que las variables sean llevadas del campo al ordenador o servidor, de manera tal que solo el operador pueda tomar la decisión de control.



Fig. 2.38 Sistema SCADA en configuración de Lazo Abierto

Fuente (es.scribt.com)

Como muestra la figura 2.38, el sistema SCADA en Lazo Abierto permite que solo sean personas las que tomen la decisión de modificar un dato que ingresa al sistema, a partir de las variables que ingresan al SCADA. Este tipo de control es utilizado mayormente para procesos que no demandan mucha velocidad de respuesta.

En los sistemas de Lazo Cerrado, se brinda al operador un grado de control sobre el sistema, para casos de emergencias o activaciones específicas. Básicamente este control permite que solo el SCADA se mantenga en modo de supervisión ya que genera algoritmos internos que resuelven los conflictos que la planta pueda tener en tiempo real. Estos sistemas son mucho más complejos y requieren de sistemas de redundancia para evitar posibles errores que puedan afectar significativamente los procesos.

2.9.5.2 COMPONENTES DEL SISTEMA

Los tres componentes de un sistema SCADA son:

- a) Múltiples Unidades de Terminal Remota (también conocida como UTR, RTU o Estaciones Externas).
- b) Estación Maestra y Computador con HMI.
- c) Infraestructura de Comunicación.

a) UNIDAD TERMINAL REMOTA

La RTU se conecta al equipo físicamente y lee los datos de estado como los estados abierto/cerrado desde una válvula o un interruptor, lee las medidas como presión, flujo, voltaje o corriente. Por el equipo el RTU puede enviar señales que pueden controlarlo: abrirlo, cerrarlo, intercambiar la válvula o configurar la velocidad de la bomba, ponerla en marcha, pararla.

La RTU puede leer el estado de los datos digitales o medidas de datos analógicos y envía comandos digitales de salida o puntos de ajuste analógicos.

Una de las partes más importantes de la implementación de SCADA son las alarmas. Una alarma es un punto de estado digital que tiene cada valor NORMAL o ALARMA. La alarma se puede crear en cada paso que los requerimientos lo necesiten. Un ejemplo de una alarma es la luz de "tanque de combustible vacío" del automóvil. El operador de SCADA pone atención a la

parte del sistema que lo requiera, por la alarma. Pueden enviarse por correo electrónico o mensajes de texto con la activación de una alarma, alertando al administrador o incluso al operador de SCADA.

b) ESTACION MAESTRA

El término "Estación Maestra" se refiere a los servidores y al software responsable para comunicarse con el equipo del campo (RTUs, PLCs, etc) en estos se encuentra el software HMI corriendo para las estaciones de trabajo en el cuarto de control, o en cualquier otro lado. En un sistema SCADA pequeño, la estación maestra puede estar en un solo computador, A gran escala, en los sistemas SCADA la estación maestra puede incluir muchos servidores, aplicaciones de software distribuido, y sitios de recuperación de desastres.

El sistema SCADA usualmente presenta la información al personal operativo de manera gráfica, en forma de un diagrama de representación. Esto significa que el operador puede ver un esquema que representa la planta que está siendo controlada. Por ejemplo un dibujo de una bomba conectada a la tubería puede mostrar al operador cuanto fluido está siendo bombeado desde la bomba a través de la tubería en un momento dado o bien el nivel de líquido de un tanque o si la válvula está abierta o cerrada. Los diagramas de representación puede consistir en gráficos de líneas y símbolos esquemáticos para representar los elementos del proceso, o pueden consistir en fotografías digitales de los equipos sobre los cuales se animan las secuencias.

Los bloques software de un SCADA (módulos), permiten actividades de adquisición, supervisión y control.

c) INFRAESTRUCTURA Y MÉTODOS DE COMUNICACIÓN

Los sistemas SCADA tienen tradicionalmente una combinación de radios y señales directas seriales o conexiones de módem para conocer los requerimientos de comunicaciones, incluso Ethernet e IP sobre SONET (fibra óptica) es también frecuentemente usada en sitios muy grandes como ferrocarriles y estaciones de energía eléctrica. Es más, los métodos de conexión entre sistemas pueden ser a través de comunicación inalámbrica (por ejemplo si queremos enviar la señal a una PDA, a un celular) y así no tener que emplear cables.

Para que la instalación de un SCADA sea perfectamente aprovechada, debe de cumplir varios objetivos:

1. Deben ser sistemas de arquitectura abierta (capaces de adaptarse según las necesidades de la empresa).
 2. Deben comunicarse con facilidad al usuario con el equipo de planta y resto de la empresa (redes locales y de gestión).
 3. Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware.
- También tienen que ser de utilización fácil.

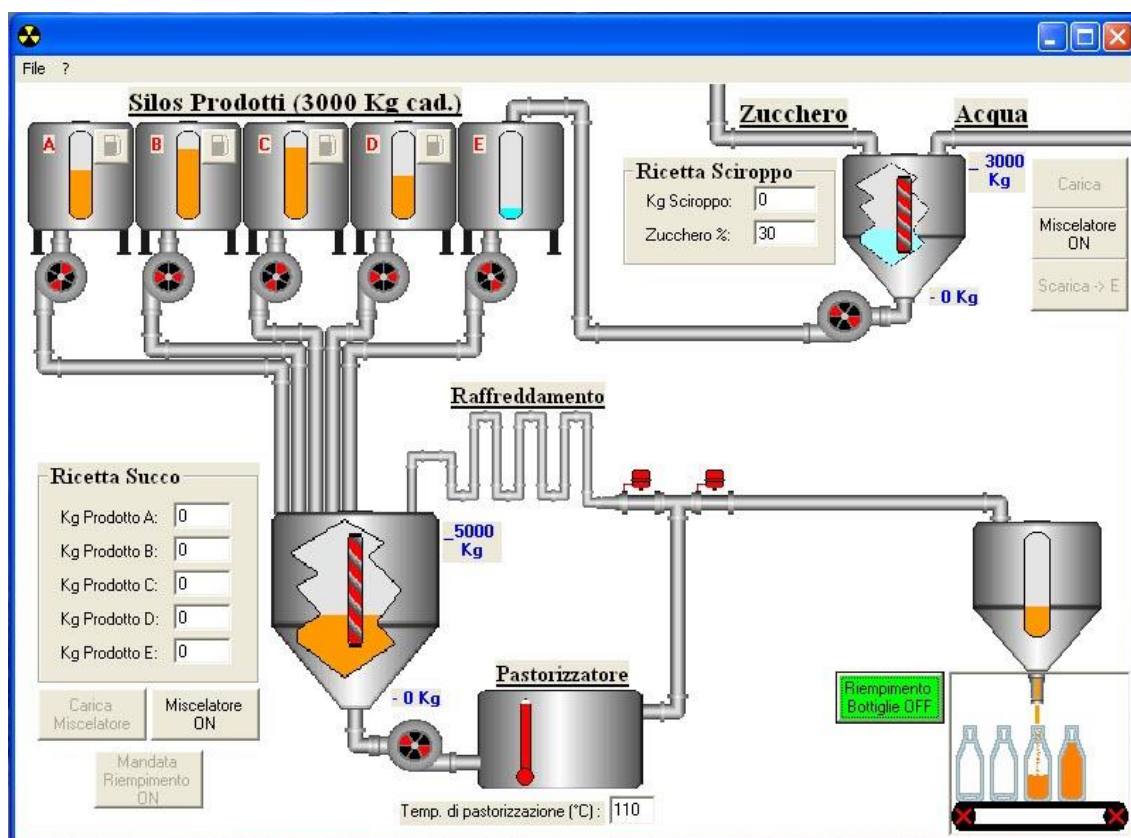


Fig. 2.39 Ejemplo de pantalla de supervisión para un Sistema SCADA

Fuente (www.prodigy.com)

CAPITULO III

DISEÑO DEL PURIFICADOR DE AGUA POR CONDENSACIÓN PROVOCADO POR EL CALENTADOR AUTOMÁTICO SEGUIDOR SOLAR

3.1 ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL PROYECTO

El estudio de viabilidad del proyecto, sirve para calcular el tiempo necesario para que nuestro sistema purificador abastezca de agua suficiente para el cual está diseñado su propósito. Además del estudio de viabilidad para el panel solar que abastecerá de energía a los elementos del presente proyecto como son: Tarjeta de Control, motor DC, sensores y válvulas.

3.2 ENERGÍA TÉRMICA GENERADA POR UN PLATO SOLAR

Para poder realizar el estudio de viabilidad, es necesario realizar una previsión media de la energía térmica generada por el plato reflector diseñado.

Este valor de energía media térmica generada diaria, se le denomina T_m (Temperatura media) y tiene unidades de $^{\circ}\text{C}/\text{día}$.

Para poder calcular el valor de esta magnitud para el sistema, se tomará el valor promedio de la irradiación solar diaria.

Para poder estimar la temperatura media que se tiene en el foco del plato, es indispensable saber el lugar donde se pretende colocar el sistema, ya que dependiendo de su localización, se tendrá un promedio de irradiación solar muy diferente que es el que determina la cantidad de agua filtrada que este genera por día.

Esta previsión se va a suponer que el emplazamiento del sistema fotovoltaico es en la ciudad de Arequipa, a $16^{\circ}23'$ de Latitud Sur y $71^{\circ}32'$ de Longitud Oeste; donde la energía solar diaria promedio es de $6.5\text{KWh}/\text{m}^2$. Dato proporcionado por la red de

medición de irradiación solar del SENAMHI compuesto por el Instituto Geofísico y Meteorológico de la UNSA, en la Estación Meteorológica de Characato.

El cambio de temperatura que se presenta a lo largo del año se debe a la inclinación de 23.5° del eje terrestre. A causa de las variaciones climáticas que sufre la Tierra, el año está dividido en cuatro periodos o estaciones. Donde el eje del Polo Norte está inclinado hacia el Sol, el del Polo Sur lo está en sentido contrario y las regiones del primero reciben más radiación solar que las del segundo.

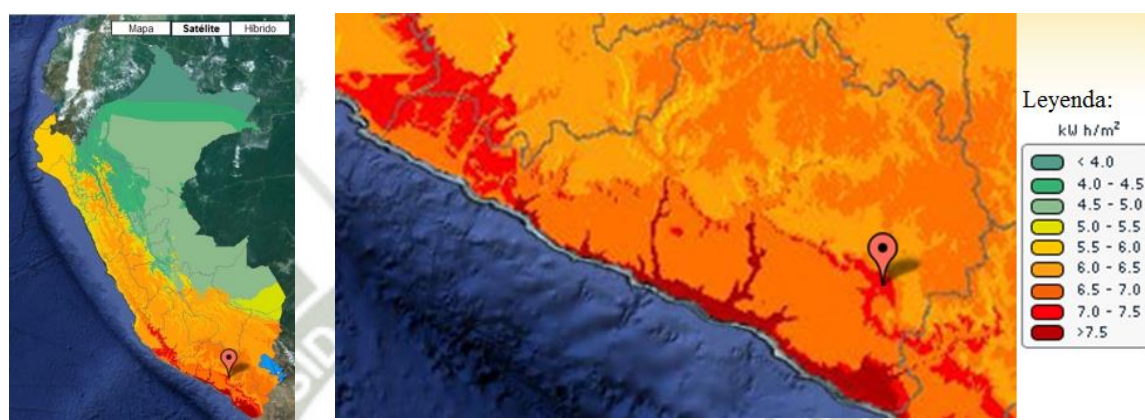


Fig. 3.1 Radiación Promedio en Arequipa en el Inicio del Otoño (20 de Marzo).

Fuente (Atlas Solar del Perú)



Fig. 3.2 Radiación Promedio en Arequipa en el Inicio del Invierno (21 de Junio).

Fuente (Atlas Solar del Perú)



Fig. 3.3 Radiación Promedio en Arequipa en el Inicio de la Primavera (23 de Septiembre).

Fuente (Atlas Solar del Perú)

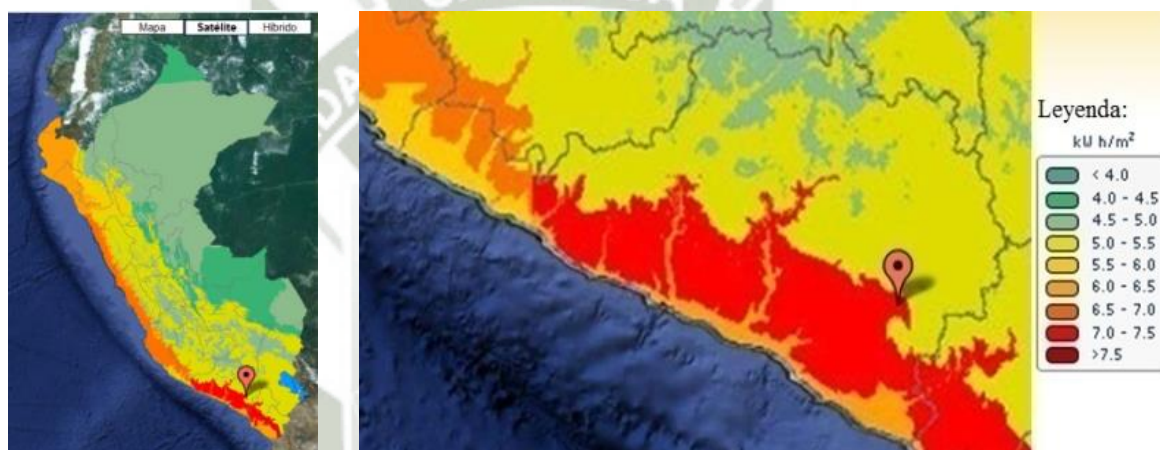


Fig. 3.4 Radiación Promedio en Arequipa en el Inicio del Verano (21 de Diciembre).

Fuente (Atlas Solar del Perú)

Asimismo un dato preponderante para la estimación de la energía solar diaria captada por el sistema, es la duración del brillo solar u horas de sol, llamada heliofanía, donde el promedio climático de la misma en la provincia de Arequipa es de 8.5 horas al día.

Teniendo como referencia los datos anteriores resultó bastante conveniente el diseño y construcción del Purificador de Agua.

Para determinar la Temperatura media generada que podrá entregar el plato solar en °C/día, necesitamos primero saber las dimensiones del plato solar:

Diámetro: 1 metro → Potencia equivalente aproximado: 450 Watts

Diámetro: 1.4 metros → Potencia equivalente aproximada: 700Watts

Utilizando un diámetro de 1 metro generamos una temperatura promedio diaria en el cobre pintado de negro de aproximadamente: 95° C, teniendo picos máximos de 110° C a las 0 horas, y picos mínimos de 70° C como muestra la siguiente gráfica:

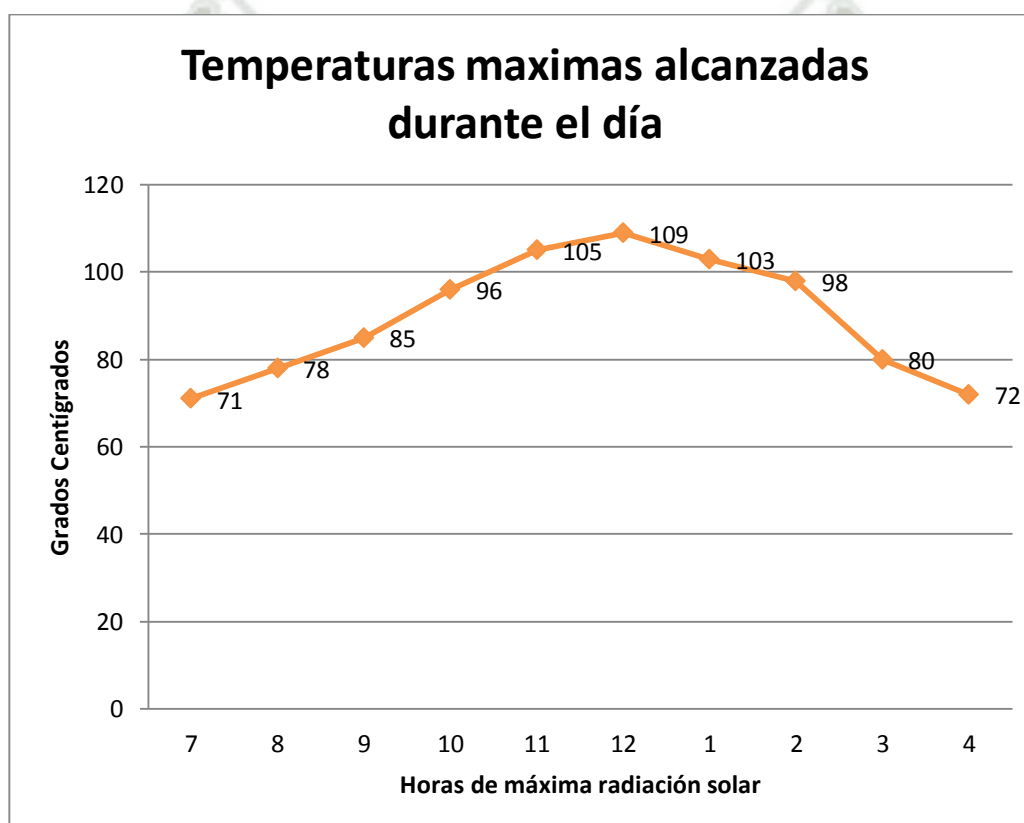


Fig. 3.5 Temperaturas máximas y mínimas en el Aluminio durante el día

Fuente (Tesis IZP2014)

3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

La representación gráfica del funcionamiento del sistema, como también la organización de las entradas y salidas, se representan en los siguientes diagramas de bloques.

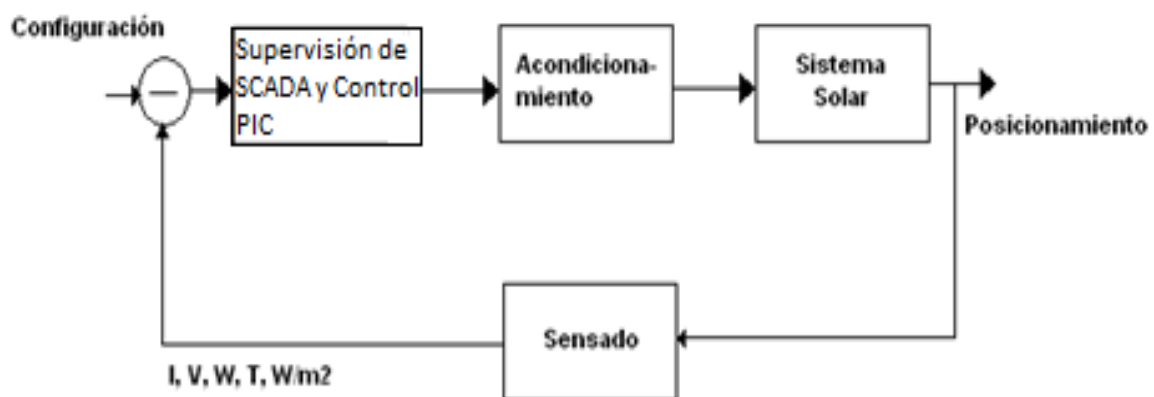


Fig. 3.6 Diagrama de Bloques de Control del Sistema Plato Seguidor Solar, Olla Solar y Condensador

Fuente (Tesis IZP2014)

Como se puede observar en el lazo de control cerrado, toda la supervisión está a cargo del sistema SCADA, este recolecta información que es enviada por el microcontrolador a través del protocolo MODBUS. El Microcontrolador se encarga de responder al lazo de control a partir del sensado. Los sensores están dispuestos para tener respuesta de Tensión, temperatura y posición. La parte de acondicionamiento sirve básicamente para acoplar los actuadores y sensores a los voltajes de control.

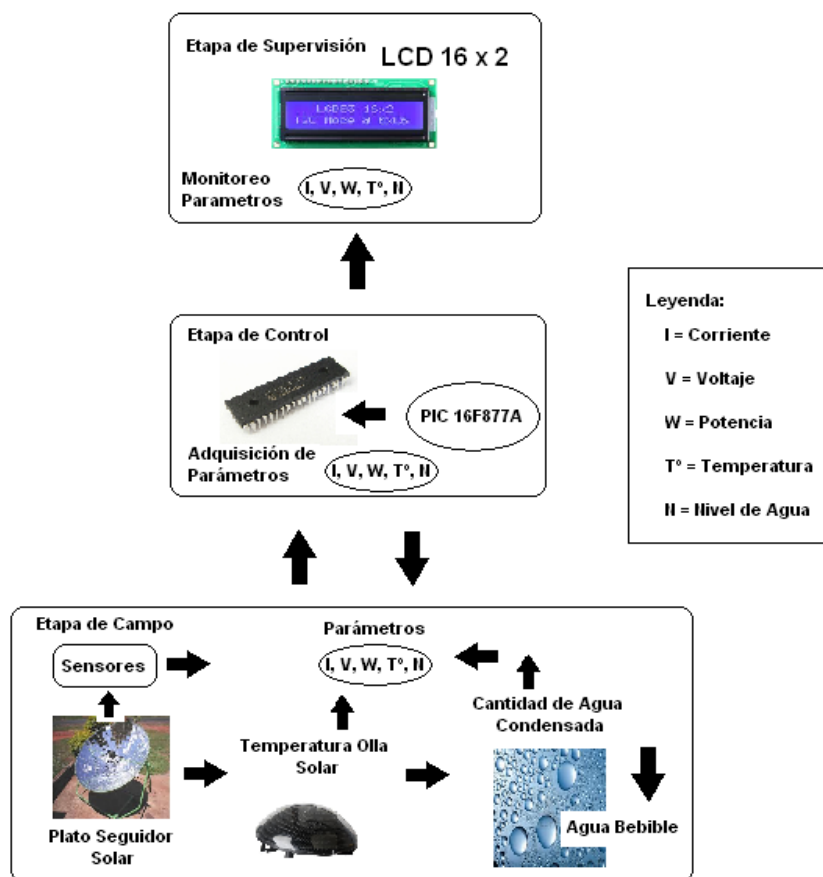


Fig. 3.7 Diagrama de Bloques de Control del Sistema Plato Seguidor Solar para Purificador por Condensación

Fuente (TesisIZP2014)

3.4 CONTROL DE GIRO DEL PLATO SEGUIDOR SOLAR

El control de giro del seguidor solar es un sistema electromecánico, capaz de seguir el movimiento del Sol de oriente a occidente con el propósito de orientar el plato solar siempre perpendicular a la caída de los rayos del Sol, este último es un módulo que aprovecha la energía de radiación solar para concentrarla en energía térmica.

Este sistema está hecho con el fin de calentar la olla colocada en el foco del plato y así llevar el agua a temperaturas de ebullición que nos permitan evaporar el agua para después condensarla.

El seguidor solar debe ubicarse estratégicamente en un espacio abierto y orientado longitudinalmente en el eje que va de oriente a occidente, de forma tal, que en el momento en que empieza a detectar la radiación solar a través de sus sensores, actúa

sobre los motores DC para orientar el panel, a medida que el Sol cambia su posición el sistema opera sobre los motores haciendo que el plato solar mantenga su perpendicularidad con respecto de los rayos del Sol.

El mecanismo cuenta con dos sensores de contacto, uno de ellos detecta cuando se ha alcanzado la posición límite del panel en el atardecer y le indica al circuito de control para que este invierta su sentido de giro hasta posicionarse en el límite indicado por el otro sensor, para el amanecer.

Evidentemente se desea que el plato solar este en todo momento apuntando hacia el sol para que se pueda concentrar la mayor cantidad de rayos hacia el foco del espejo cóncavo donde se encuentra nuestro dispositivo que se encarga de evaporar el agua. De esta manera le brindamos la mayor eficiencia, lo que significa una mayor cantidad de agua purificada por día.

3.5 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación del plato solar consta de una parte fija y otra móvil que dispone una superficie de captación solar lo más perpendicular al sol posible a lo largo del día y dentro de sus rangos de movimiento. El seguidor construido goza de dos grados de libertad en su movimiento.

El primer prototipo objeto de la invención consta de un conjunto estructural formado por una estructura soporte, sobre la cual va unida una estructura portadora del plato solar, disponiéndose la estructura soporte en montaje giratorio respecto de 1 eje vertical, accionado por un motor DC sobre una base de apoyo, a su vez se encuentra una barra dentada conectada a un motor para obtener el movimiento acimutal del sistema, como se puede observar en la figura 3.8.



Fig. 3.8 Prototipo N° 1

Fuente (TesisIZP2014)

Se obtiene así un conjunto que, mediante un accionamiento automático del giro del motor sobre la base de apoyo dentada, permite el movimiento del plato solar sustentado, siguiendo el movimiento del sol en el sentido acimutal. El engranaje que se encuentra en la parte más baja permite que el mecanismo pueda seguir al sol en cambio de estaciones, ya que se encarga de seguirlo de manera horizontal, lo que permite una mayor precisión al sistema.



Fig. 3.9 Disposición de los motores y engranajes para los 2 grados de libertad

Fuente (TesisIZP2014)

También se localizan los detectores de intensidad luminosa y contacto, la estructura soporte montada sobre el sistema de giro; es la encargada de alojar el plato solar.

De este modo se tiene un seguidor solar que tiene la ventaja de la simplicidad y coste reducido de las disposiciones estructurales que sustentan cocinas solares de manera fija, proporcionando a la vez la ventaja funcional del aprovechamiento de las radiaciones solares mediante seguimiento de la posición del Sol en todo sentido.

3.6 MECANISMO DE SEGUIDOR SOLAR

El mecanismo mostrado en la figura 3.8 soporta el plato solar y a través de un eje ligado a un motor con reductor permite que este se mueva de un lado a otro, incluye dos sensores de luz ubicados a cada extremo del panel y aislados por un tubo circular que sirve para darle sombra al sensor y que solo incida un haz perpendicularmente sobre la superficie del sensor. También cuenta con dos sensores de contacto, los cuales indican el inicio y la culminación del día.

3.6.1 PLATO SOLAR

Una superficie circular cóncava formada por láminas de un material reflector que apuntan hacia el foco del mismo donde se encuentra ubicado el punto a calentar.



Fig. 3.10 Plato Solar a utilizar

Fuente (TesisIZP2014)

3.6.2 SENSORES DE CONTACTO: Son pequeños interruptores que se activaran al contacto. Se utilizan para determinar un final de carrera y advertir que el proceso lleve a un límite.

3.6.3 SENSORES DE LUZ: Es un dispositivo capaz de transformar la radiación luminosa en una magnitud eléctrica, como es el caso de los llamados LDR (en inglés *light-dependent-resistor*, o resistencia dependiente de la luz, utilizados para el seguimiento), la cual es una celda fotoconductora de sulfuro de cadmio.

La LDR varía la resistencia según la luz que incide sobre ella. Su coeficiente es negativo, es decir, a mayor luz menor resistencia y a menor luz mayor resistencia. La ley de variación de la resistencia en función de la energía luminosa recibida es:

$$R = Ke^{\alpha} \quad (3.1)$$

Donde K y α son constantes que dependen del material que constituye la resistencia.

La LDR que se utiliza está construida en un encapsulado plástico tipo T18 resistente a la humedad.

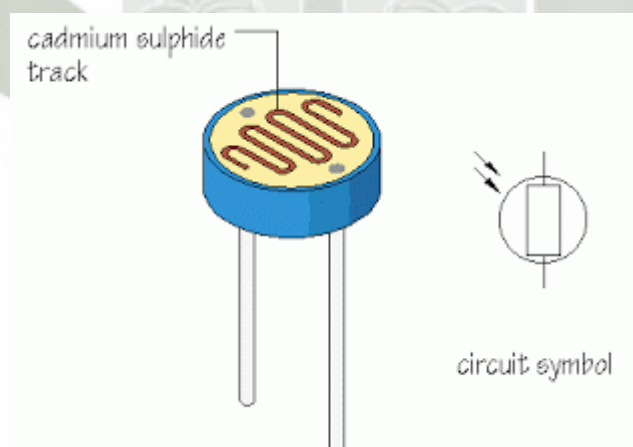


Fig. 3.11 Fotorresistencia

Fuente (Photoresistors, ElectricalCircuits – David Dreier)

3.6.4 MOTOR DC: El motor que se implementa en el mecanismo es un motor con caja reductora con una velocidad de 30 RPM, un par de 10 kg/cm, se alimenta con 12VDC. Tiene la capacidad de girar en ambos sentidos con solo cambiar la polaridad de

la alimentación. Es posible regular su velocidad haciendo circular mayor o menor corriente. La corriente máxima o pico es de 1 Amperio, mientras que la nominal es de 0,5 Amperios.



Fig. 3.12 Motor DC a 12V

Fuente (Tesis IZP2014)

3.7 CIRCUITOS DE ACONDICIONAMIENTO DEL SEGUIDOR SOLAR

El sistema del seguidor solar, requiere de algunos circuitos que son necesarios para poder acoplar las salidas del microcontrolador así como también las entradas para que sean manejados en voltajes de 0 a 5 voltios y corrientes no mayores a los 50 mA para las entradas y salidas del PIC. Es necesario también adecuar algunos sensores por medio de etapas previas de calibración y en el caso de motores y válvulas etapas de potencia.

3.7.1 ACONDICIONAMIENTO DEL CIRCUITO SEGUIDOR DE LUZ

Este circuito se encarga de detectar la posición del Sol por medio de los sensores de luz y maneja el motor del mecanismo para mantener el panel orientado hacia el Sol.

Una fotorresistencia es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente. El valor de la resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él (puede descender hasta 10 ohm) y muy alto cuando está a oscuras (megohmios).

El circuito que se realiza para acondicionar la señal que nos proporciona el LDR, está conformado por un comparador de voltaje, el cuál compara entre las dos entradas y saca una salida en función de qué entrada sea mayor, adaptando el circuito para obtener

niveles lógicos, que nos proporciona un “1 lógico” cuando la luz incide sobre la superficie sensitiva del LDR, y un “0 lógico” cuando el nivel de luz disminuye.

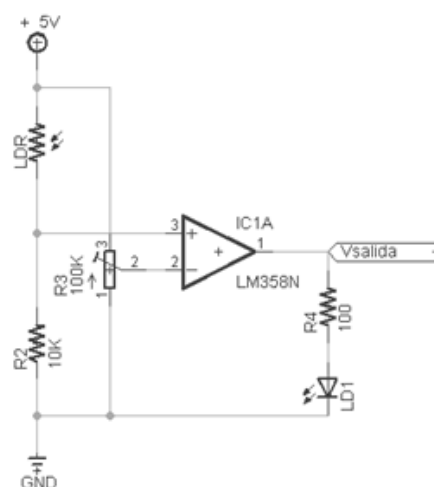


Fig. 3.13 Circuito comparador de intensidad de luz

Fuente (TesisIZP2014)

La expresión del divisor de tensión en el circuito comparador es el siguiente:

$$V_{+} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.2)$$

Donde el voltaje de la entrada no inversora cambiará, cuando la luz incida directamente a la superficie del LDR se tendrá los siguientes valores aproximados:

$$V_{+} = 5 \frac{50\Omega}{5K + 50\Omega} \quad (3.3)$$

$$V_{+} = 0.001 \approx 0V \text{ "0 lógico"}$$

Cuando la luz disminuya sobre la superficie del LDR se tendrá los siguientes valores aproximados:

$$V_{+} = 5 \frac{100K}{5K + 100K} \quad (3.4)$$

$$V_{+} = 4.76 \approx \text{"1 lógico"}$$

El voltaje de la entrada inversora del circuito comparador se regula por medio del potenciómetro con referencia a tierra, logrando así la comparación en los voltajes de entrada.

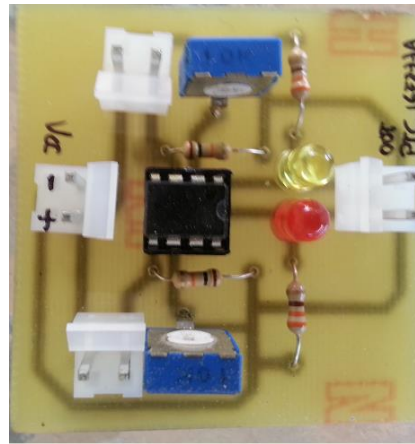


Fig. 3.14 Placa impresa del circuito comparador de intensidad de luz

Fuente (TesisIZP2014)

El circuito lógico recibe las señales provenientes de los comparadores, de las fotorresistencias y de los sensores de proximidad inductivos, y tiene el propósito de controlar el giro del motor en la dirección apropiada.

3.7.2 CIRCUITO PARA EL MOVIMIENTO DE LOS MOTORES

El circuito para el control de los motores DC está a cargo del integrado L293B. Que contiene 2 Puentes H en su interior y permite manejar corrientes de hasta 2 Amperios y 15 Voltios según su hoja de datos.

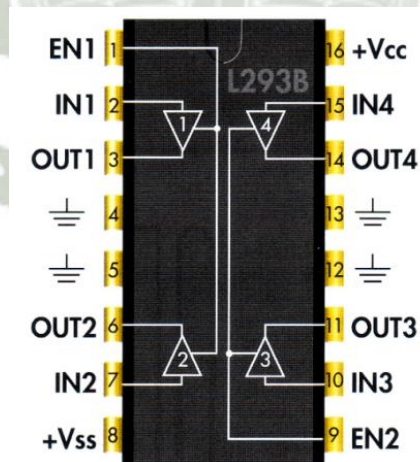


Fig. 3.15 Integrado L293B

Fuente (www.darvein.net)

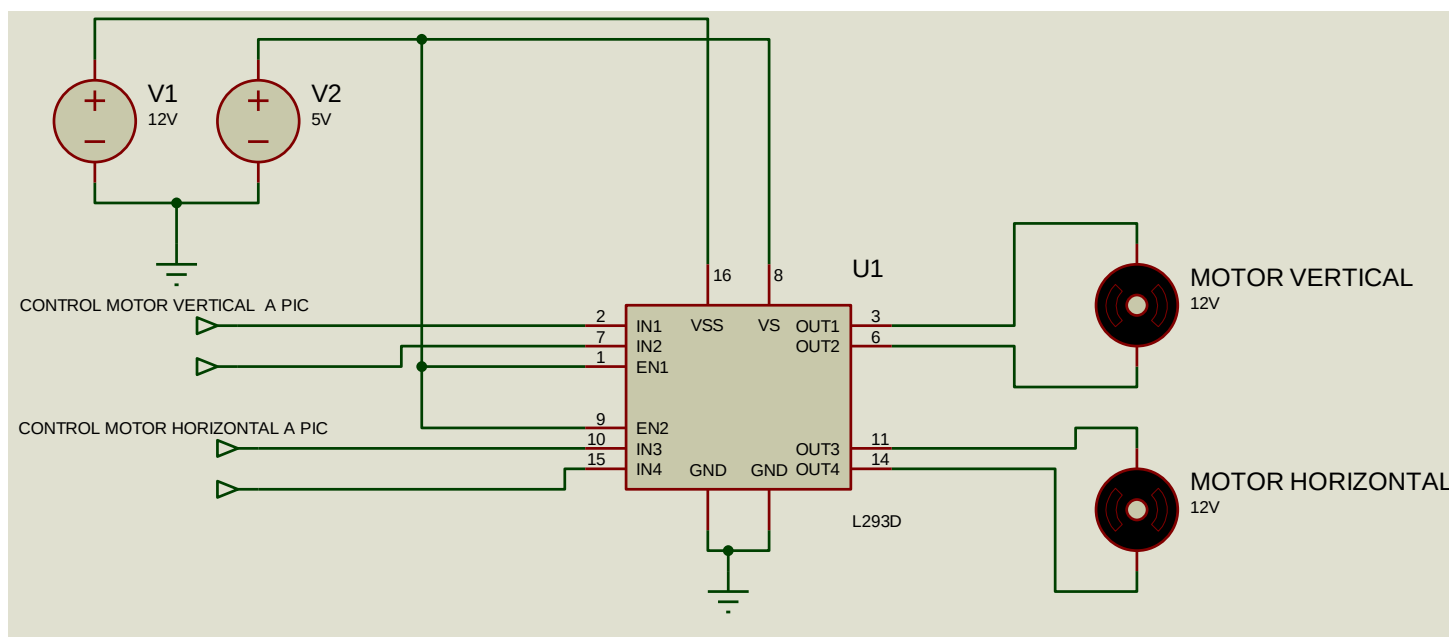


Fig. 3.16 Esquema Circuito L293B en Proteus ISIS

Fuente (TesisIZP2014)

Como se puede observar en el integrado tenemos 2 entradas de Voltaje. Una de ellas es la entrada de voltaje de control Vcc que se encuentra en el pin 16 la otra entrada de potencia se encuentra en el pin 8 denominada Vss. Nuestro diseño requiere que ambos motores siempre estén listos para funcionar, por lo tanto ambas entradas 1 y 9, que son los activadores, estarán siempre encendidos. Los pines de entrada 2 y 7 son para un motor, 3 y 4 para el otro y cada uno tiene marcada su respectiva salida.

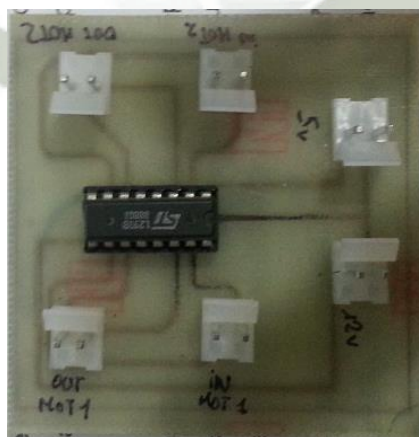


Fig. 3.17 Placa impresa del Puente H con L293B

Fuente (TesisIZP2014)

3.7.3 ACONDICIONAMIENTO DE LA TEMPERATURA

Para el sensado de la temperatura de algunas partes del sistema se utiliza el integrado LM35, el cual es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C . Su rango de medición abarca desde -55°C hasta 150°C , su salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10mV. El sensor se presenta en diferentes encapsulados, el más común es el TO-92 de igual forma que un típico transistor, nos entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo.



Fig. 3.18 Sensor de temperatura LM35.

Fuente (TesisIZP2014)

Para el acondicionamiento de la señal de temperatura, no utilizaremos más que software y alimentación de 5V. Por lo tanto la señal será tratada analógicamente y multiplicada por una constante para poder obtener los grados centígrados que se están midiendo.

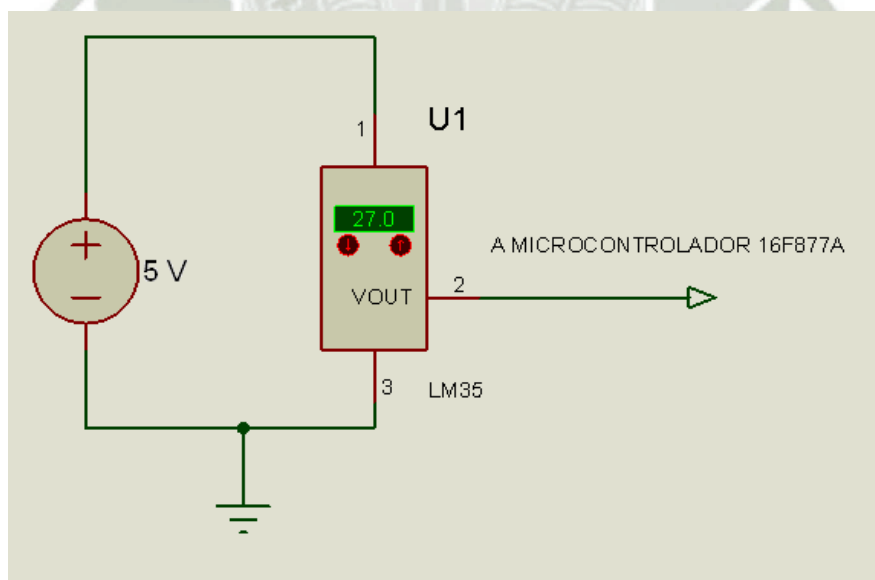


Fig. 3.19 Esquema para el Sensor de temperatura LM35.

Fuente (TesisIZP2014)

3.7.4 ACONDICIONAMIENTO DEL VOLTAJE DE SALIDA DE LOS PANELES SOLARES PARA MONITOREO

La variable a evaluar es la tensión de la salida del panel de 10W, pero la señal que obtenemos a la salida es una tensión que varía entre los 0V y los 22V, por lo que debemos realizar un circuito que adapte la tensión de salida a una tensión que la pueda tratar el Microcontrolador ya que este solo puede leer tensiones entre 0 y 5 V.

El circuito que se realiza para acondicionar la señal está formado por un simple divisor de voltaje que convierte la señal de 0 a 22v en una señal de 0 a 5v de corriente continua.

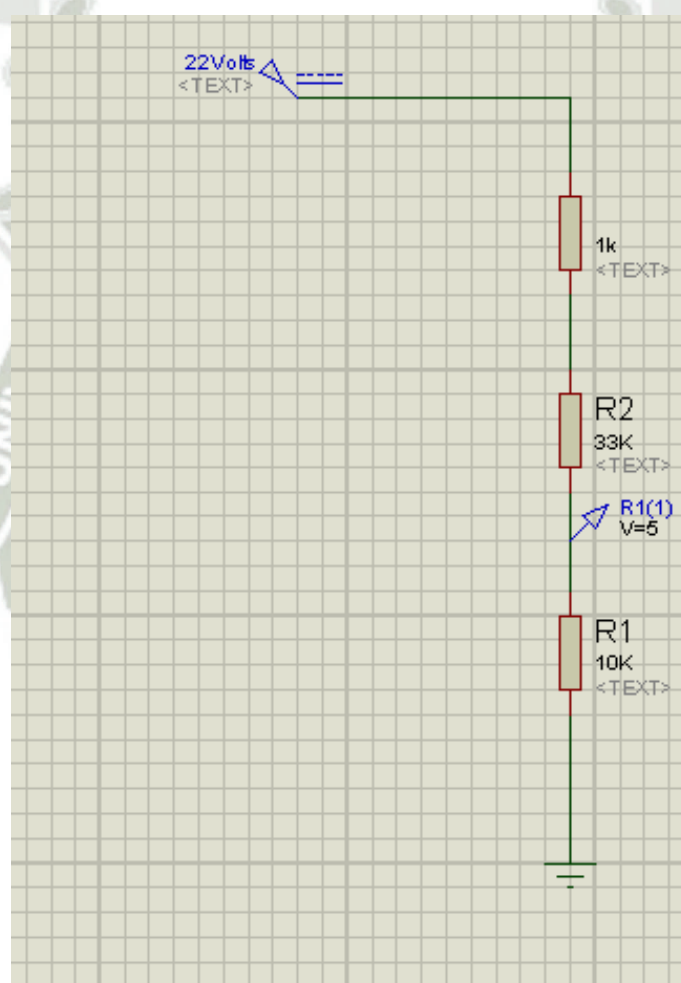


Fig. 3.20 Circuito de sensado de voltaje.

Fuente (TesisIZP2014)

La expresión del primer operacional es:

$$Vo' = \frac{R1}{(R1+R2)} Vi \quad (3.5)$$

$$5v = \frac{R1}{(R1 + R2)} 22v$$

Si las resistencias $R1 = 10K$, y $Vo' = 5v$ entonces:

$$R2 = 34K$$

Para lo cual sumamos una resistencia de 33K con otra de 1K en serie y al multiplicarlo por una constante en el programa nos dará el valor real del nivel de tensión en los paneles.

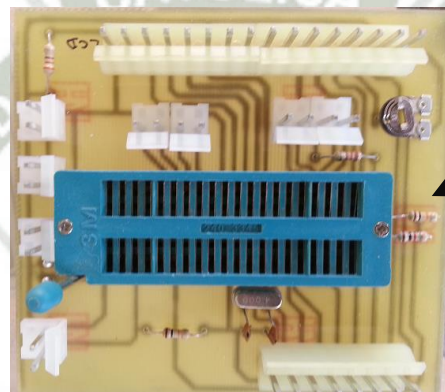


Fig. 3.21 Divisor de Tensión en placa del Microcontrolador

Fuente (Tesis IZP2014)

3.7.5 ACONDICIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS SELENOIDES

Se tiene a disposición 2 válvulas selenoides ON/OFF, de 12 voltios, a 400 mA encargadas del paso del agua a través del sistema, para lo cual es necesario fijar los voltajes necesarios para su funcionamiento y protección.

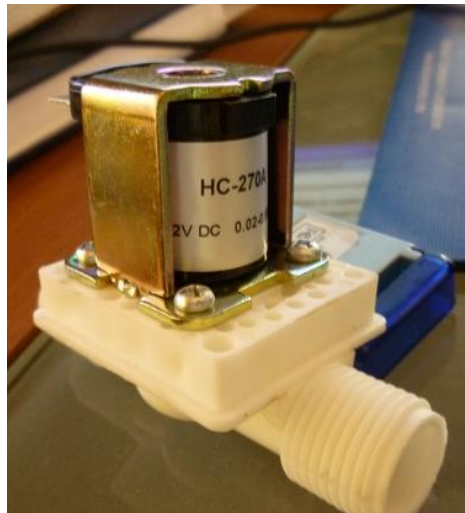


Fig. 3.22 Válvula Selenoide de 12v DC a 400mA

Fuente (Tesis IZP2014)

Para estas válvulas solo es necesario adaptarles un transistor, para evitar que corrientes inversas puedan entrar en la etapa de control. Para esto utilizaremos el transistor TIP31 ya que permite tensiones de hasta 40 V y corrientes de hasta 700mA.

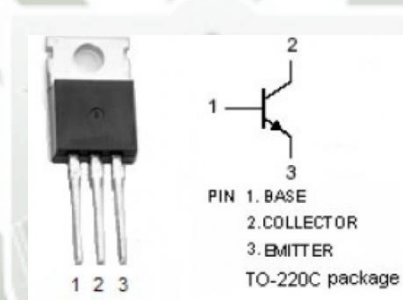


Fig. 3.23 Transistor TIP31

Fuente (www.hobbytronics.co.uk)

Por lo tanto, debemos de calcular la resistencia de base con la siguiente fórmula y los datos del transistor:

$$R = \frac{V - 0.7v}{\frac{I}{hFe}} \quad (3.6)$$

V = Voltaje de la etapa de control

I = Corriente que circula entre el colector y el emisor

hFe = Ganancia de corriente que tiene el Transistor

De donde resolvemos que R es la resistencia a utilizar y su valor es:

$$R = \frac{5v - 0.7v}{\frac{0.4A}{50}} \quad (3.7)$$

$$R = 537.5 \text{ Ohms} \quad (3.8)$$

Como 537.5 no es un valor comercial en resistencias el más próximo es el de 560 ohms por lo tanto utilizaremos ese valor y finalmente el circuito dispuesto quedaría de la siguiente forma:

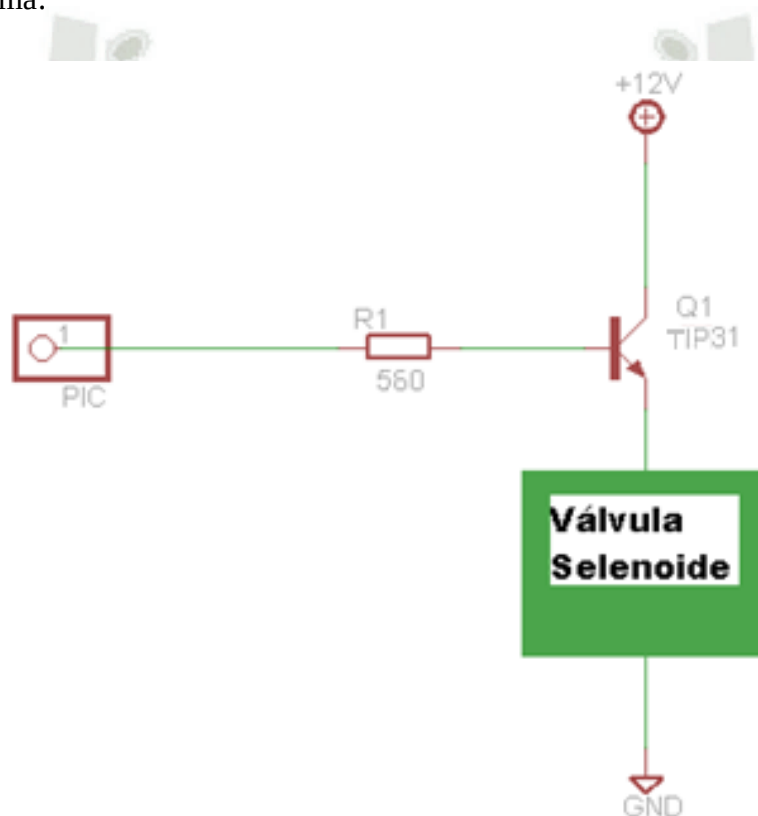


Fig. 3.24 Circuito de acondicionamiento para la Válvula Selenoide

Fuente (TesisIZP2014)

3.8 ESTUDIO DE ENERGÍA UTILIZADA EN EL PROCESO

El estudio de energía utilizado, nos permitirá encontrar los niveles máximos de energía que nuestro proceso utilizará, para que finalmente podamos elegir el panel solar que mejor le convenga a todo el sistema, sea más eficiente y reduzca su costo económico.

Componente	Corriente Máxima	Voltaje Máximo	Potencia Máxima
Etapa de Control	70mA	5V	0.35W
LCD	120mA	5V	0.6W
		Total 1	0,95W
Motores (2)	500mA	12V	6W
Válvula	400mA	12V	4.8W
		Total 2	10.8W
		TOTAL	11.55W

Tabla 3.1 Valores de potencia a utilizar en el sistema

Fuente (TesisIZP2014)

Con el cálculo realizado en la tabla 3.1 sabemos que todo nuestro sistema utilizará aproximadamente 11.55 W de potencia por lo tanto será necesario adquirir un panel solar de entre 10W a 12 W para suplir a todo el sistema de energía durante todo el día. Optamos por 2 Paneles solares 1 de 3W que será el encargado proporcionar energía a la etapa de control y otro de 10W que lo utilizaremos para dar potencia a motores y válvulas de control. Ambos paneles estarán conectados en serie para proporcionar mayor corriente a todo el sistema, con la finalidad de que se otorgue el máximo de potencia.



Fig. 3.25 A la izquierda panel de 10W y a la derecha panel de 3W

Fuente (TesisIZP2014)



Fig. 3.26 Panel de 3W especificaciones técnicas del reverso

Fuente (TesisIZP2014)

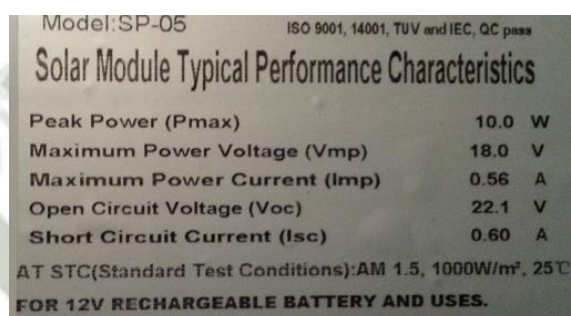


Fig. 3.27 Panel de 10W especificaciones técnicas del reverso

Fuente (TesisIZP2014)

3.9 REGULADORES DE Tensión PARA AMBOS PANELES

Al partir el sistema en una etapa de potencia y otra de control, y además tener voltajes tan elevados en ambos paneles, es necesario ajustarlos a voltajes TTL y de 12V para motores y válvulas. Por este motivo es que utilizamos un regulador de tensión L7805 para generar voltaje de 0v a 5V en la etapa de control conectado al panel de 3W de potencia.

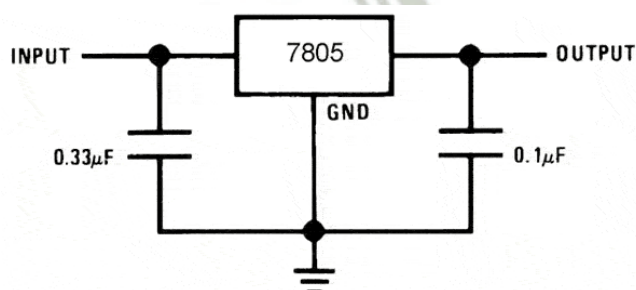


Fig. 3.28 Configuración típica del Regulador L7805 para una entrada de hasta 40v y salida de 5v soportando hasta 1 amperio

Fuente (Fórum: forum.allaboutcircuits.com)

Del mismo modo el regulador L7812 tiene la misma configuración con la excepción que tendrá una salida de 12V y una corriente máxima de 1 amperio.

Estos circuitos no sólo nos permiten regular la tensión, sino también proteger a nuestros circuitos de control y actuadores.

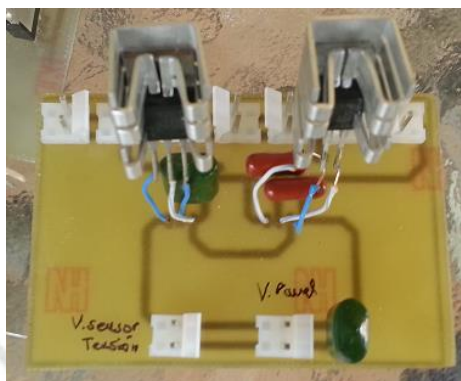


Fig. 3.29 Placa impresa de Reguladores con línea de conectores para alimentar todos los circuitos
Fuente (TesisIZP2014)

3.10 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

En este proyecto de titulación se pretende implementar un programa en PIC C que se encargue de controlar todo el proceso y tiene a su cargo parámetros tales como, temperatura, nivel de agua, finales de carrera y posicionamiento solar, para controlar el giro de los motores para seguimiento solar y la apertura y cierre de válvulas para suministrar agua al proceso cuando sea necesario.

En tal sentido, describo y detallo a continuación los pasos para configurar y programar el microcontrolador PIC16F877A sobre el software PIC C así como los pasos a seguir para el grabado del mismo en el software PICKIT 2.

Empezando por deducir todas las entradas y salidas del Microcontrolador.

Componente	Cantidad	Tipo	Entrada/Salida
Sensor de temperatura	1	Análoga	Entrada
Sensor de Tensión	1	Análoga	Entrada
Fotorresistencia	2	Discreta	Entrada
Sensor de nivel	2	Discreta	Entrada
Finales de Carrera	2	Discreta	Entrada
Válvula Selenoide	1	Discreta	Salida
Motores de Posición	2	Discreta	Salida
Módulo Comunica. Rx	1	Discreta	Entrada
Módulo Comunica. Tx	1	Discreta	Salida

Tabla 3.2 Mapeo de Entradas y Salidas del sistema

Fuente (TesisIZP2014)

En principio abrimos el programa PIC C Compiler e iniciamos un nuevo proyecto en PIC C Wizard, donde guardaremos el proyecto que vamos a realizar con extensión “Control Tesis 2013.pjt”

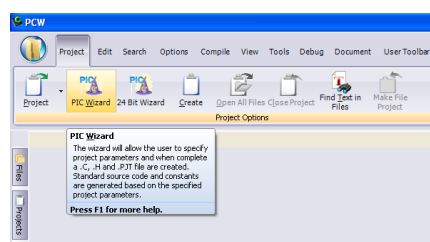


Fig. 3.30 Cuadro de diálogo para iniciar el PIC Wizard

Fuente (PIC C Compiler)

A continuación el programa nos muestra un entorno donde configuraremos las características del Microcontrolador así como las entradas, salidas, oscilador, y demás requerimientos que nuestro proceso necesite.

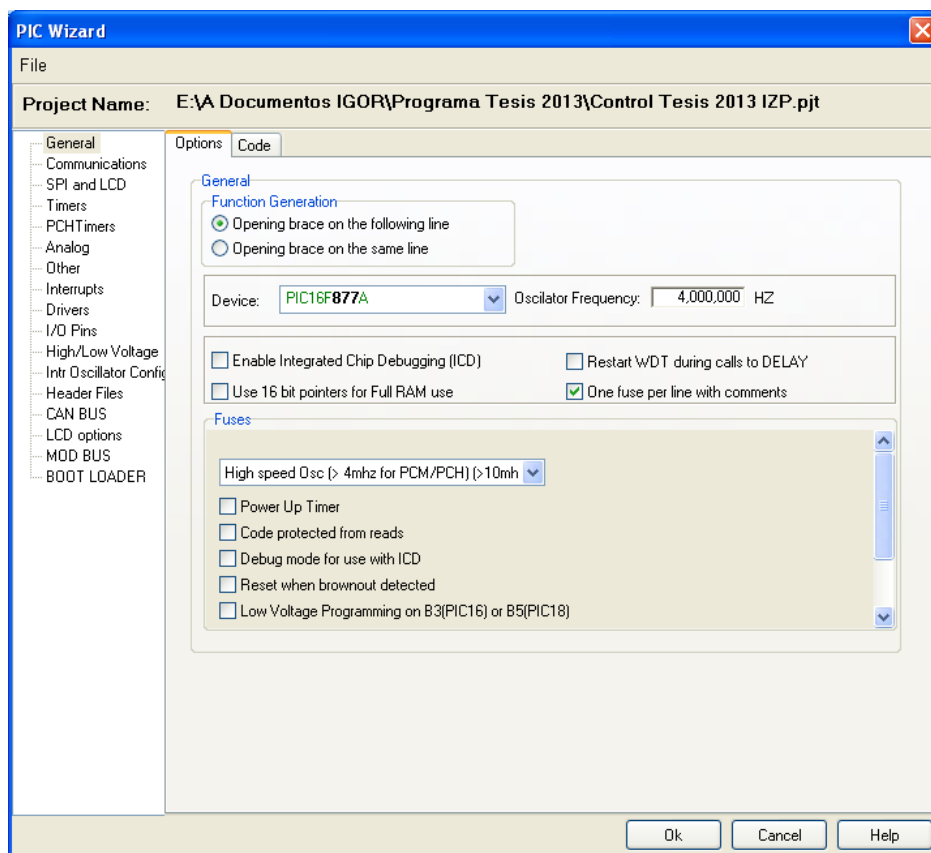


Fig. 3.31 Entorno de configuración del Microcontrolador

Fuente (PIC C Compiler)

En la figura 3.26 configuramos las opciones básicas como el microcontrolador a utilizar, la frecuencia de trabajo y si necesitamos algún arreglo mas podemos incluirlo o sino escribirlo en el mismo programa que vamos a realizar más adelante.

Seguidamente procedemos a configurar otras opciones necesarias para nuestro proyecto como las entradas y salidas. Puesto que la configuración de entradas y salidas digitales no es un inconveniente para el programa es que solo realizamos la denotación de nuestras entradas analógicas de temperatura y de voltaje del panel de 10W que las ubicaremos en A0 y A1 según nos muestra la siguiente figura.

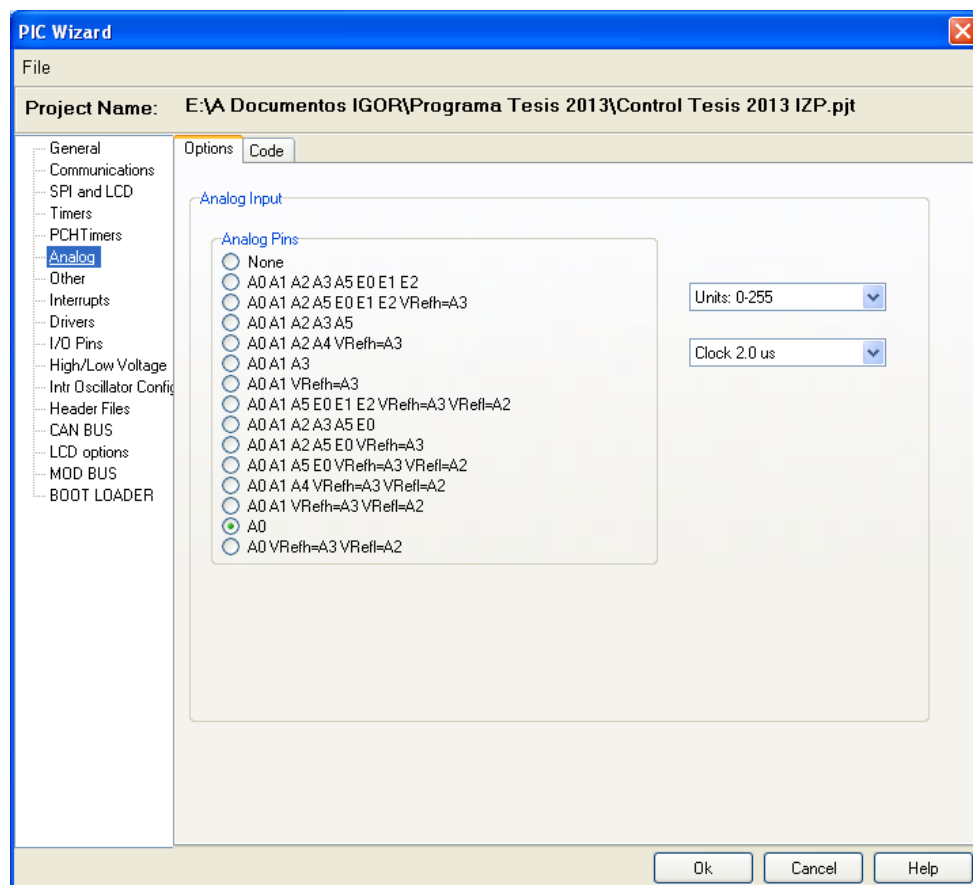


Fig. 3.32 Configuración de entrada Analógica A0

Fuente (PIC C Compiler)

Por último utilizaremos la configuración que nos brinda PIC Wizard para la configuración del LCD como tenemos a continuación:

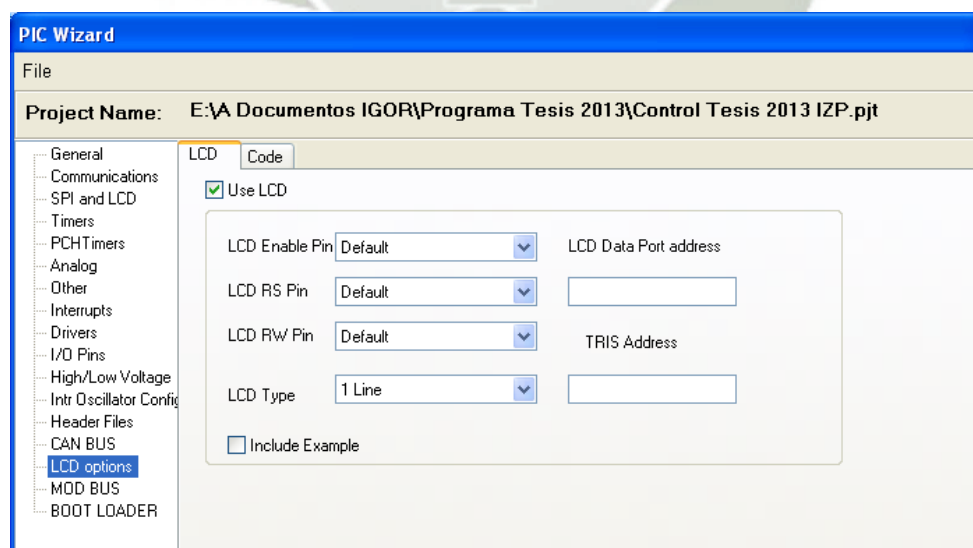


Fig. 3.33 Configuración Default para el LCD 16x4

Fuente (PIC C Compiler)

3.10.1 PROGRAMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DEL REFLECTOR SEGUIDOR SOLAR

El programa que se desarrolla a continuación es el encargado de hacer el seguimiento solar. El control tiene 4 entradas y 4 salidas que se muestran en la siguiente tabla. Todas las entradas y salidas son digitales.

Entrada	Posición	Salida	Posición
Sensor Fotorresistencia Vertical	RA1 Pin 3	Motor 1 Giro Horario	RB0 Pin 33
Sensor Fotorresistencia Horizontal	RA2 Pin 4	Motor 1 Giro Anti-horario	RB1 Pin 34
Final de Carrera Vertical	RA3 Pin 5	Motor 2 Giro Horario	RB2 Pin 35
Comienzo de Carrera Vertical	RA4 Pin 6	Motor 2 Giro Anti-horario	RB3 Pin 36

Tabla 3.3 Entradas y Salidas del PIC 16F877A para el sistema de control de posicionamiento solar

Fuente (TesisIZP2014)

Una vez localizadas las entradas y salidas del sistema procedemos a desarrollar el programa. A continuación vemos una descripción básica de cada una de las sentencias dictadas para el programa encargado del seguimiento solar.

Seguidor Solar

```
#include<16f877A.h> //Librería del MicrocontroladorPic 16F877A

#use delay (clock=4M) // Oscilador con frecuencia de 4 Megahercios

voidmain (){ // Principio de Programa

while (1){ // Funcione el programa cuando este encendido

    Condicion: // Primer bucle de condición

    if(input (pin_e2)){// Interruptor General en E2 (pin10)
```

// MOVIMIENTO HORIZONTAL

```
if (!input (pin_a2)){ // Primera condición, Fotorresistencia negada (Sin luz)

output_high (pin_b2); // Motor 2 en movimiento (búsqueda del Sol horizontalmente)

}

else{ // De lo contrario (Sol encontrado)

output_low (pin_b2); // Se detiene el movimiento

}
```

// MOVIMIENTO VERTICAL

```
if(!input (pin_a1)){ // Primera condición, Fotorresistencia negada (Sin luz)

output_high (pin_b0); // Motor 1 en movimiento (Búsqueda del Sol verticalmente)

output_low (pin_b1); // Motor 1 (fijado para Puente H, corriente en sentido horario)

}

else{ // De lo contrario (Sol detectado)

output_low (pin_b0); // Se detiene el movimiento

}

if ((input (pin_a3))&&(!input (pin_a1))){ // Si se active el final de carrera y el sistema
sigue buscando el sol

output_low (pin_b0); // Se detiene Motor 1

delay_ms (500); // Tiempo de espera de 0,5 segundos

goto Condicion1; // Salto a Condicion1

}
```

```

else { // de lo contrario (no se cumple)

gotoCondicion; // ir a bucle de Condición Inicial

}

Condicion1:// Bucle de Condición 1

output_high (pin_b1); // Enciende Motor 1 en reversa

output_low (pin_b0); // Enciende Motor 1 en reversa

if (input (pin_a4)){ // Si se active final de carrera

    output_low (pin_b1); // Detiene motor por completo

    delay_ms (500); // Tiempo de espera de 0,5 segundos

    gotoCondicion; // Regresa a Condición inicial

}

else{ // de lo contrario

    goto Condicion1; // se mantiene en Condición 1

}

}

else{ // de lo contrario, si el interruptor principal está apagado

output_low (pin_b0); // apagado motor 1

output_low (pin_b1); // apagado motor 1

output_low (pin_b2); // apagado motor 2

}

}

}

```

3.10.2 PROGRAMA DE CONTROL DE LLENADO DE OLLA SOLAR

El programa que se desarrolla a continuación es el encargado de advertir al proceso cuando los niveles de agua en la olla solar se encuentren por debajo y sea necesario llenarla. El sistema cuenta con 1 selenoide (Válvula ON-OFF) y 2 sensores de nivel (nivel alto, y nivel bajo).

Entrada	Posición	Salida	Posición
Sensor de nivel alto	RC1 Pin 15	Selenoide de llenado	RB4 Pin 37
Sensor de nivel bajo	RC0 Pin 16		

Tabla 3.4 Entradas y Salidas del PIC 16F877A para el sistema de control de nivel Olla Solar

Fuente (TesisIZP2014)

Una vez hecho el mapeo de las entradas y salida procedemos a desarrollar el programa que se encargará de controlarlas. A continuación vemos el programa con una pequeña descripción a lado de cada sentencia.

Nivel en Olla Solar

```

if(!input (pin_c0))&&(!input (pin_c1))) { // Condición si ambos sensores de
    // nivel están sin agua

output_high (pin_b4); // Empieza a llenar la olla

Llenado1:// Bucle de llenado para repetir proceso

if((input (pin_c0))&& (!input (pin_c1))) { // Condición mantiene activo llenado

    // si nivel alto se desactiva y nivel

    // bajo se mantiene activo

output_high (pin_b4); // Válvula activada

```

```
}  
  
if((input (pin_c0))&&(input (pin_c1))) { // Si ambos sensores se activan  
  
output_low (pin_b4); // Válvula cerrada  
  
}  
  
else { // de lo contrario  
  
goto Llenado1; // ir a bucle de llenado  
  
}  
  
}
```

3.10.3 PROGRAMA PARA EL SENSADO DE TEMPERATURA Y VOLTAJE

El programa detallado a continuación es el encargado de sensar 2 variables: temperatura de la olla solar y voltaje del panel solar de 10W para después mostrarlos por el LCD. El programa alterna uno con el otro, esto quiere decir, que al momento de presionar el interruptor conectado a E2 la pantalla mostrará el voltaje del panel, de lo contrario solo mostrará la temperatura de la olla solar. Para el desarrollo del mismo tenemos 2 entradas analógicas conectadas en A0 y A1 respectivamente.

Medidor de Temperatura y Voltaje

```
floattemper,medicion, temper1, medicion1;
```

Inicio:

```
lcd_init(); // Inicia LCD  
  
lcd_putc(" Tesis IZP 2013\n"); // Saca texto  
  
lcd_putc(" Energia Solar"); // Saca texto  
  
delay_ms(3000);  
  
lcd_putc("\f");
```

Temperatura:

```
lcd_putc("\f");           // Limpia pantalla

lcd_putc("Temperatura Olla\n");    // Saca texto

lcd_putc("Solar:");         // Saca texto

//delay_ms(5);           // Retardo de 5 milisegundos

lcd_gotoxy(14,2);          // Acomoda cursor LCD

lcd_putc("o Celc.");       // Saca el texto de °C

goto Temperatura1; //Bucle a temperatura
```

Voltaje:

```
lcd_putc("\f"); // Limpia pantalla

lcd_putc("Volt.Panel Solar\n");    // Saca texto

lcd_putc("de 10W:");              // Saca texto

//delay_ms(5);           // Retardo de 5 milisegundos

lcd_gotoxy(14,2);          // Acomoda cursor LCD

lcd_putc("Volt.");           // Saca texto de Voltaje

goto Voltaje1;              // Bucle de medición de voltaje
```

Condicion: // Primer bucle de condición

```
if(input(pin_e1)){ // Condición para el interruptor de conmutación de pantalla

goto Voltaje; // Bucle de rutina de Voltaje

}
```

```
else{           // De lo contrario
goto Temperatura;// Bucle rutina temperatura
}
```

Temperatura1:

```
lcd_gotoxy(8,2);    // Acomoda cursor LCD

lcd_putc(" ");      // Limpia ese sector de pantalla

lcd_gotoxy(8,2);    // Acomoda cursor LCD

setup_adc (adc_clock_internal); // Enciende el reloj interno del ADC

setup_adc_ports (AN0);    // Activa el puerto A0

set_adc_channel (0);      // Elige canal a medir RA0

delay_us (20);           // Retardo de 20 milisegundos

medicion=read_adc (); // Hace conversión AD

temper=medicion*(0.48875); // Pasa binario a °C

printf(lcd_putc,"%02.1f",temper); // xxx.x °C

delay_ms (1000);        // Retardo de 1 segundo

//setup_adc (adc_off);    // Apaga ADC

gotoNiveldeCondensador; // rutina de Comienzo del programa
```

Voltaje1:

```
lcd_gotoxy(8,2);    // Acomoda cursor LCD

lcd_putc(" ");      // Limpia ese sector de pantalla

lcd_gotoxy(8,2);    // Acomoda cursor LCD

setup_adc (adc_clock_internal); // enciende el reloj interno del ADC
```

```

setup_adc_ports (pin_a1);    // Activa el Puerto A1

set_adc_channel (1);        // Elige canal a medir RA1

delay_us (20);              // Retardo de 20 milisegundos

medicion1=read_adc (); // Hace conversión AD

temper1=medicion1*(0.48875); // Pasa binario a V

printf(lcd_putc,"%02.1f",temper1); // xxx.xVoltios

delay_ms (1000);            // Retardo de 1 Segundo

//setup_adc (adc_off);      // Apaga ADC
    
```

3.11 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL SCADA

Para la implementación del sistema SCADA se optó por el software de licencia limitada FAST-TOOLS del fabricante YOKOGAWA en su versión 10.1. La licencia limitada permite que el software sea utilizado con la cantidad requerida de variables, lo que hace que su costo se reduzca significativamente con respecto al precio estándar de otros sistemas SCADA.



Fig. 3.34 Sistema de Supervisión FAST-TOOLS de YOKOGAWA

Fuente (YOKOGAWA Systems)

3.11.1 CONEXIÓN FÍSICA DEL SISTEMA

La conexión física del sistema comienza a partir de la primicia que los datos para comunicación que maneja el microcontrolador PIC16F877A son en formato TTL. Esta señal digital es enviada a través de los pines RX y TX configurados previamente en el microcontrolador.

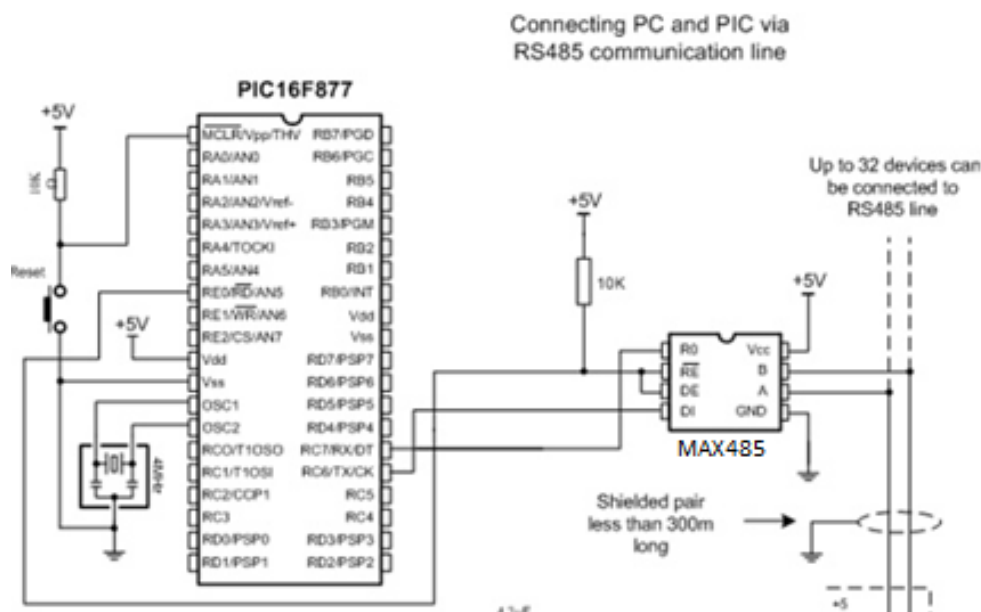


Fig. 3.35 Ejemplo de conexión de microcontrolador con interfaz de conversión RS-485

Fuente (dinotronics.wordpress.com)

Como podemos observar en la figura 3.35, son únicamente dos pines los que se encuentran a la salida del microcontrolador y estos se dirigen hacia una interfaz serial RS-485 ya que este es un estándar para comunicar equipos industriales.

El dispositivo de interfaz que utilizaremos en este proyecto es el MAX485. Esta interfaz permitirá que el controlador pueda subir sus tensiones a una interfaz del tipo serial estándar.

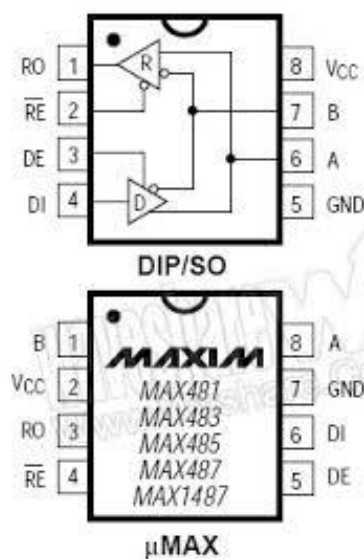


Fig. 3.36 Dispositivo MAXIM485 convertidor de TTL a RS-485

Fuente (dinotronics.wordpress.com)

Si bien, ya se tiene la comunicación a un nivel serial, la mayoría de sistemas actuales manejan protocolos basados en la conexión física del tipo Ethernet. Por este motivo es que llevamos esta comunicación un paso más adelante.

La salida de nuestra interfaz para RS-485, la conectaremos a un convertidor de RS-485 a Ethernet. Este dispositivo de la marca Telemecanique, permite que los datos sean enviados a través de un cable UTP hacia su destino, que para nuestro caso podría ser un Switch, Router, Acces-Point o una PC. De esta manera simplificamos la conexión de los equipos y podemos enviar los datos a través de la red sin ningún problema.



Fig. 3.37 Convertidor RS-485 a Ethernet TSXETG100 ConneXium

Fuente (TesisIZP2014)

La configuración del convertidor TSXETG100 ConneXium es del tipo web, y bastará con ingresar el IP por defecto para acceder a su configuración.

El último paso será conectar la interfaz de conversión RS-485 a un puerto Ethernet para comunicación TCP-IP. Esta puede ser una PC, o cualquier sistema que soporte esta arquitectura. En nuestro caso utilizaremos un ROUTER de la marca ZYXEL, el cual también nos permite obtener los datos inalámbricamente para así evitar una conexión física con el sistema.



Fig. 3.38 ROUTER ZYXEL P-600 series para la conexión Ethernet y propagación inalámbrica de los datos del Sistema

Fuente (TesisIZP2014)

Finalmente tenemos todo el sistema de comunicación físico dispuesto como muestra la figura 3.39

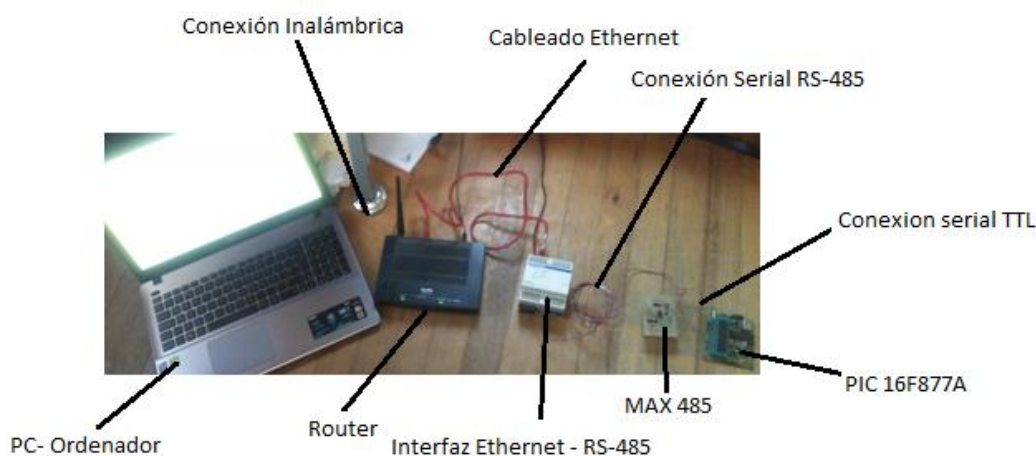


Fig. 3.39 Diagrama de toda la conexión Física de comunicación de datos del Proyecto

Fuente (TesisIZP2014)

3.12 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOCOLO MODBUS EN PIC 16F877A

MODBUS especifica el procedimiento que el controlador y el esclavo utilizan para intercambiar datos, el formato y como trabajar con los errores. Permite utilizar múltiples tipos de redes tales como RS-485, RS-232, Ethernet, etc.

Este protocolo funciona siempre en modo maestro-esclavo (cliente-servidor), siendo el maestro, el que controla en todo momento las comunicaciones con los esclavos. Los esclavos solo retornaran información al maestro cuando este lo solicite. La comunicación entre el maestro y el esclavo puede ser de 2 tipos:

- Peer to Peer: es la consulta directa que hace un maestro a un esclavo encontrado entre las direcciones 1 a 247.
- Broadcast: es la comunicación que establece el maestro con todos sus esclavos, sin esperar respuesta de los mismos.

El envío de datos se hace a través de tramas, siendo el maestro el que se encarga de realizar la primera consulta. Estas tramas se pueden realizar de 2 modos, ASCII y RTU. En ASCII las tramas son codificadas en hexadecimal, lo que permite leerlas con un simple editor de texto, mientras que en modo RTU las tramas son enviadas en binario.

	Modo ASCII	Modo RTU
Carácteres	ASCII '0'...'9','A'...'F'	Binario 0...255
Comprob. Error	LRC Longitudinal Redundancy check	CRC Cyclic Redundancy Check
Inicio de trama	Carater ':'	3.5 veces t de carácter
Final de trama	Character CR/CL	3.5 veces t de carácter
Distancia max. entre caracteres	1 seg	1.5 veces t de carácter
Bit de inicio	1	1
Bits de datos	7	8
Paridad	Par / Impar / Ninguna	Par / Impar / Ninguna
Bits de parada	1 si hay paridad 2 si ninguna	1 si hay paridad 2 si ninguna

Fig. 3.40 Comparación de tramas modo ASCII contra modo RTU

Fuente: (www.tolaemon.com/docs/modbus.htm)

Para nuestro caso utilizaremos la codificación RTU la cual se caracteriza por ser 3.5 tiempo después de cada carácter. La trama RTU se describe de la siguiente manera:

- Número de Esclavo: contiene 1 byte con la dirección del esclavo destino. Permite direccionar hasta 247 esclavos con las direcciones desde 0x00 hasta 0xF7. La dirección 0x00 será utilizada por el broadcast, por lo tanto las direcciones de los posibles esclavos empiezan desde 0x01
- Código de Operación o Función: contiene 1 byte que indica el tipo de operación a realizar en el esclavo. Los dos tipos fundamentales son de LECTURA y ESCRITURA, para consultar o modificar los registros del mapa de memoria del esclavo. El maestro se encarga de enviar este byte al respectivo esclavo, y el

esclavo responderá con este mismo byte si es que la función se llevó a cabo con éxito, de lo contrario, agregara 1 al FLAG, que es el bit de más peso en este byte.

- c) Dirección de datos y subfunciones: En este campo se contiene toda la información necesaria para realizar la operación indicada en el código de operación. EL número de bytes varía según la función que se quiera realizar. El esclavo responderá con la cantidad de bytes que se le haya consultado si existiera un error, enviará el código del error que se ejecutó. Para acceder al mapa de memoria, hay que tener en cuenta que si queremos preguntar por la dirección 100, debemos hacer la consulta desde el maestro apuntando a la dirección 99.

Existen 4 tipos básicos de registros para MODBUS, registros que pueden ser consultados o modificados por el maestro, según sea necesario.

1. DIGITAL OUTPUTS: Son los encargados de indicar el estado de una salida digital, por lo tanto estos nos permiten ver si algún pin de nuestro microcontrolador está activada o desactivada. Sus direcciones se encuentran entre 1 y 10000 en el mapa de memoria
2. DIGITAL INPUTS: En estas direcciones están las entradas digitales al Microcontrolador. Cada vez que se afecte una entrada o un pin esto afectara al mapa de memoria del PIC16f877A. Estas direcciones van del 1001 hasta el 20000.
3. ANALOG INPUTS: Son registros de 16 bits con las entradas analógicas del esclavo. Se puede hacer uso hasta 32 bits, pero en nuestro caso solo utilizaremos registros de 16 bits. Los cuales también están configurados para nuestro SCADA. Se accede mediante la función 4 y llevan implícita la dirección 30001 como dirección base.
4. ANALOG OUTPUTS: Son registros de salida o de propósito general, comúnmente llamados HOLDING REGISTER. Se acceden con las funciones 3 (lectura), 6 (escritura) o 16 (escritura múltiple) y llevan implícita la dirección 40001 como dirección base. Para nuestro caso, los registros analógicos por excelencia serán los de temperatura y voltaje de los paneles solares.

Cuando se produce algún error en la ejecución de las funciones, el esclavo responde con 1 en el FLAG (bit de más peso) y en su trama de datos puede enviar cualquiera de los siguientes números:

Código	Nombre	Significado
01	ILLEGAL FUNCTION	El código de función recibido no se corresponde a ningún comando disponible en el esclavo
02	ILLEGAL DATA ADDRESS	La dirección indicada en la trama no se corresponde a ninguna dirección válida del esclavo
03	ILLEGAL DATA VALUE	El valor enviado al esclavo no es válido
04	SLAVE DEVICE FAILURE	El esclavo ha recibido la trama y la ha comenzado a procesar, pero se ha producido algún error y no ha podido termina la tarea.
05	ACKNOWLEDGE	El esclavo ha recibido la trama y la está procesando pero esto le llevará un periodo un poco largo. Mediante esta respuesta se evita que el máster considere un error de timeout. El máster podrá enviar más tarde una trama una trama de tipo Poll Program Complete para verificar si ha completado el comando
06	SLAVE DEVICE BUSY	El esclavo está ocupado realizando otra tarea y no puede atender a esa petición en ese instante por lo que el máster tendrá que reintentarla más adelante.

Fig. 3.41 Tipos de posibles errores de subfunciones enviados por el esclavo

Fuente: (www.tolaemon.com/docs/modbus.htm)

La descripción de todas las funciones se encuentra en los anexos.

- d) Control de Errores (CRC): Codificado en 2 bytes, nos permite detectar algún error en toda la trama, a partir de una revisión constante que hace el maestro sobre el esclavo.

3.12.1 DEFINICIÓN DE LAS TRAMAS ENVIADAS DESDE EL SISTEMA SCADA

A continuación se verá las tramas que son enviadas automáticamente desde el SCADA FAST-TOOLS, luego de la configuración que se le dio en el capítulo anterior. Para el análisis de las tramas utilizamos un software llamado WIRESHARK, que es libre y nos permite ver tramas enviadas desde nuestro ordenador, así como también las tramas de retorno.

Petición de 4 Registros analógicos HOLDING REGISTER, para la lectura de Temperatura de ambiente, Temperatura de Olla, Temperatura de Sistema y Voltaje de Paneles Solares.

Nombre del campo	Trama Enviada de SCADA	8 bits modo RTU
Dirección Esclavo	01	0000 0001
Función	03	0000 0011
Dirección de Inicio Hi	00	0000 0000
Dirección de Inicio Lo	01	0000 0001
Número de Registros Hi	00	0000 0000
Número de Registros Lo	04	0000 0100
Error Check	CRC	CRC (16bits)
	TOTAL:	8bytes = 64 bits

Tabla 3.5 Trama enviada desde el SCADA para la lectura de 4 registros

Fuente (TesisIZP2014)

Como se puede observar en la tabla, la trama enviada hacia el esclavo 1 lleva la función 3, que es la de lectura de HOLDING REGISTER. Evidentemente, en la Dirección de Inicio Hi tenemos el valor 0 ya que solo queremos recibir información de las direcciones de los 4 primeros registros, los cuales ya están mencionados en el campo de Dirección de Inicio Lo.

Direcciones configuradas:

- 40001: Temperatura Olla
- 40002: Temperatura del Ambiente
- 40003: Temperatura del Sistema
- 40004: Voltaje Panel Solar

La cantidad de registros es enviada en el siguiente campo, puesto que solo queremos observar 4 registros es que solo se modifica el campo de Registros Lo. Finalmente el CRC que se envía para la comprobación de errores ocupa 16 bits, y está configurado por el mismo protocolo.

La siguiente petición que realizará el sistema SCADA será para 4 pines a la salida del Microcontrolador, que son los encargados de advertir que los motores están en movimiento. Para esto usaremos la función 1, que es la de lectura de COIL STATUS.

Las direcciones asignadas para esta parte serán las siguientes:

00005: Motor Horizontal Izquierda (Movimiento hacia la izquierda del Plato solar)

00006: Motor Horizontal Derecha (Movimiento hacia la derecha del Plato solar)

00007: Motor Vertical Arriba (Movimiento hacia arriba del Plato solar)

00008: Motor Vertical Abajo (Movimiento hacia abajo del Plato solar)

Así tenemos que la consulta del FAST-TOOLS será la que muestra la siguiente tabla.

Nombre del campo	Trama Enviada de SCADA	8 bits modo RTU
Dirección Esclavo	01	0000 0001
Función	01	0000 0001
Dirección de Inicio Hi	00	0000 0000
Dirección de Inicio Lo	05	0000 0101
Número de Bits Hi	00	0000 0000
Número de Bits Lo	04	0000 0100
Error Check	CRC	CRC (16bits)
	TOTAL:	8bytes = 64 bits

Tabla 3.6 Trama enviada desde el SCADA para la lectura de 4 bits de salida

Fuente (TesisIZP2014)

Las últimas 2 consultas son para revisar los bits enviados por los sensores. Estos nos advertirán cada vez que el Sol se ponga en una postura horizontal y enviarán un 1 para el control posterior del Plato Solar. Para este caso haremos uso de las Entradas digitales o DIGITAL INPUTS (INPUT STATUS).

Las direcciones asignadas para esta parte serán las siguientes:

10005: Motor Horizontal Izquierda (Movimiento hacia la izquierda del Plato solar)

10006: Motor Horizontal Derecha (Movimiento hacia la derecha del Plato solar)

Nombre del campo	Trama Enviada de SCADA	8 bits modo RTU
Dirección Esclavo	01	0000 0001
Función	02	0000 0010
Dirección de Inicio Hi	00	0000 0000
Dirección de Inicio Lo	08	0000 1000
Número de Bits Hi	00	0000 0000
Número de Bits Lo	02	0000 0010
Error Check	CRC	CRC (16bits)
	TOTAL:	8bytes = 64 bits

Tabla 3.7 Trama enviada desde el SCADA para la lectura de 2 bits de entrada al PIC16F877A

Fuente (TesisIZP2014)

Todas las consultas realizadas desde el maestro deben estar programadas en el esclavo para que este responda cada una de ellas.

3.12.2 DEFINICIÓN DE LAS TRAMAS DE RESPUESTA ENVIADAS DESDE EL ESCLAVO PIC16F877A

Para cada trama enviada desde el Sistema SCADA, el microcontrolador, deberá responder bajo el tiempo de escaneo del mismo. Ya que se le asigna un tiempo de 1 segundo para cada pregunta. Para la respuesta de la primera consulta (Leer Datos Analógicos), se observa que el microcontrolador responde de la siguiente manera.

Nombre del campo	Respuesta de PIC16F877A	8 bits modo RTU
Dirección Esclavo	01	0000 0001
Función	03	0000 0011
Numero de BYTES de datos	8 bytes (2 bytes por Dato)	0000 1000
DATO 0 HI	80 °C	0000 0000
DATO 0 LO	80 °C	0101 0000
DATO 1 HI	22 °C	0000 0000
DATO 1 LO	22 °C	0001 0110
DATO 2 HI	24 °C	0000 0000
DATO 2 LO	24 °C	0001 1000
DATO 3 HI	17 °C	0000 0000
DATO 3 LO	17 °C	0001 0001
Error Check	CRC	CRC (16bits)
	TOTAL:	13 bytes = 104 bits

Tabla 3.8 Trama de respuesta del PIC16F877A para la primera consulta de registros analógicos desde el SCADA

Fuente (TesisIZP2014)

Como se puede ver en la tabla anterior, el esclavo 1 que vendría a ser el microcontrolador, responde confirmando la función 3. La siguiente posición es para confirmar la cantidad de bytes de datos que enviará a continuación. Para nuestro caso son 8 bytes ya que solicita 2 bytes por cada uno y enviaremos en total 4 datos analógicos (Temperatura olla, Temperatura ambiente, temperatura sistema y Voltaje de los paneles Solares). Los datos se empiezan a contar desde DATO 0 como si esta fuera la dirección 1, por lo tanto se debe configurar en el mapa de memoria del PIC16F877A la dirección 0 para que esta sea el registro 1.

Seguidamente se envían los 4 datos en su respectivo orden descendente y finalmente el CRC o la verificación del error.

A continuación observamos en la siguiente tabla, el envío de las 4 señales digitales de respuesta del esclavo hacia el sistema SCADA. La tabla muestra las señales de los

motores (motor horizontal izquierda, motor horizontal derecha, motor vertical arriba, motor vertical abajo) y la respuesta descendente de cada uno de ellos.

Nombre del campo	Respuesta de PIC16F877A	8 bits modo RTU
Dirección Esclavo	01	0000 0001
Función	03	0000 0011
Numero de BYTES de datos	4 bytes	0000 0100
DATO 0 HI	1 (Activo)	0000 0001
DATO 1 HI	0 (Inactivo)	0000 0000
DATO 2 HI	0 (Inactivo)	0000 0000
DATO 3 HI	1 (Activo)	0000 0001
Error Check	CRC	CRC (16bits)
	TOTAL:	9 bytes = 72 bits

Tabla 3.9 Trama de respuesta del PIC16F877A para la primera consulta de bits de pines de salida hacia los Motores

Fuente: Elaboración Propia

Las ultimas 2 señales consultadas por el sistema SCADA son las de los 2 sensores (Sensor Vertical y Sensor Horizontal). Estas 2 señales son entradas hacia el Microcontrolador, por lo tanto debemos utilizar la función 02 que es la encargada de leer Entradas Digitales (READ INPUT STATUS).

Nombre del campo	Respuesta de PIC16F877A	8 bits modo RTU
Dirección Esclavo	01	0000 0001
Función	02	0000 0010
Numero de BYTES de datos	4 bytes	0000 0100
DATO 0 HI	1 (Activo)	0000 0001
DATO 1 HI	0 (Inactivo)	0000 0000
Error Check	CRC	CRC (16bits)
	TOTAL:	7 bytes = 56 bits

Tabla 3.10 Trama de respuesta del PIC16F877A para consulta de entrada de los Sensores Digitales para la posición del Sol

Fuente: Elaboración Propia

Programa desarrollado en el Microcontrolador PIC16F877A para MODBUS tipo Esclavo

El programa tiene como librería principal MODBUS.C. Esta es una librería desarrollada por Microchip para adaptar la gama de sus microcontroladores a este protocolo de comunicación. Se detalla cada paso del programa para su mejor entendimiento del mismo.

`#fuses HS, NOWDT //HS= HIGHSPEED OSC => alta velocidad del Oscilador, NOWDT=NO WATCHDOG TIMER`

```
#use delay(clock=20M) // Oscilador externo de 20 MHz

#define MODBUS_TYPE          MODBUS_TYPE_SLAVE // Tipo de Comportamiento: ESCLAVO

#define MODBUS_SERIAL_RX_BUFFER_SIZE    64 // Tamaño de la trama de recepción de 64 bits

#define MODBUS_SERIAL_BAUD          9600 // Velocidad de transmisión: 9600bps

#define MODBUS_SERIAL_INT_SOURCE      PIN_C5 // Pin de Interrupción externa

#define MODBUS_SERIAL_TX_PIN          PIN_C6 // Pin de transmisión de datos

#define MODBUS_SERIAL_RX_PIN          PIN_C7 // Pin de recepción de datos

#define MODBUS_SERIAL_ENABLE_PIN      PIN_B1 // Pin para habilitar la transmisión serial

#define MODBUS_SERIAL_RX_ENABLE       PIN_B2 // Pin para habilitar la recepción de datos

#define MODBUS_SERIAL_INT_SOURCE      MODBUS_INT_RDA // Tipo de fuente para la librería

#include "modbus.c" // Librería de lenguaje C para MODBUS

#define MODBUS_ADDRESS 0x01 // Dirección MODBUS del Esclavo

int8 swap_bits(int8 c) // Esta sentencia es importante ya que MODBUS utiliza MSB (intercambia
posiciones)
{
    return ((c&1)?128:0)|((c&2)?64:0)|((c&4)?32:0)|((c&8)?16:0)|((c&16)?8:0)
|((c&32)?4:0)|((c&64)?2:0)|((c&128)?1:0);
}

void main() // Programa Principal
{
    int8 coils = 0b00000101; // Dirección 5 de entradas tipo COIL STATUS (se puede leer y modificar la
salida digital del PIC)

    int8 inputs = 0b00000100; // Dirección 8 entradas tipo INPUT STATUS (se pueden leer las entradas
digitales al PIC)

    int16 hold_regs[4] = { // A partir de la dirección 4 ... (HOLDING REGISTER = 400001)
0x0001,0x0002,0x0003,0x0004,

    };

    int16 event_count = 0; // se inicia el contador del evento para marcar cada envío y recepción de datos

    modbus_init(); // inicia MODBUS

    while(TRUE) // Si esta habilitado, pasa lo siguiente
```

```
{
while(!modbus_kbhit()); // Revisa que este conectado con su dirección y manda una señal al MAESTRO

if((modbus_rx.address == MODBUS_ADDRESS) || modbus_rx.address == 0) // dirección 0 =
BROADCAST

{
switch(modbus_rx.func) // Cambia a modo de lectura de receptor
{
case FUNC_READ_COILS: // Lee los COIL STATUS

case FUNC_READ_DISCRETE_INPUT: // Lee las entradas al Microcontrolador

if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[2] || modbus_rx.data[1] >= 8 ||
modbus_rx.data[3]+modbus_rx.data[1] > 8)

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDRESS);

// Consulta cual de las opciones es la que el maestro está solicitando y en que dirección del mapa de
memoria se encuentra.

else
{
int8 data; // La data esta almacenada en un valor entero de 8 bits

if(modbus_rx.func == FUNC_READ_COILS)

data = coils>>(modbus_rx.data[1]); // envía el dato de COIL STATUS

else

data = inputs>>(modbus_rx.data[1]); // de lo contrario envía el dato de INPUTSTATUS

data = data & (0xFF>>(8-modbus_rx.data[3])); // reenvía los valores a 0

if(modbus_rx.func == FUNC_READ_COILS)

modbus_read_discrete_input_rsp(MODBUS_ADDRESS, 0x01, &data); // si se ejecuta la función
direccionar en mapa

else

modbus_read_discrete_input_rsp(MODBUS_ADDRESS, 0x01, &data); // de lo contrario direcciona
INPUT STATUS

event_count++; // Empieza la cuenta el contador

}

break;

case FUNC_READ_HOLDING_REGISTERS: // Para HOLDING REGISTER
```

```

case FUNC_READ_INPUT_REGISTERS:

if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[2] || //Se aplica el mismo procedimiento que en los pasos
anteriores

modbus_rx.data[1] >= 8 || modbus_rx.data[3]+modbus_rx.data[1] > 8)

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDRESS);

else

    {

if(modbus_rx.func == FUNC_READ_HOLDING_REGISTERS) // Leer Registros de Entrada y/o Salida

modbus_read_holding_registers_rsp(MODBUS_ADDRESS,(modbus_rx.data[3]*2),hold_regs+modbus_
rx.data[1]);

else

modbus_read_input_registers_rsp(MODBUS_ADDRESS,(modbus_rx.data[3]*2),input_regs+modbus_rx
.data[1]);

event_count++;

    }

break;

case FUNC_WRITE_SINGLE_COIL: // En el caso de Escritura de un bit

if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[3] || modbus_rx.data[1] > 8)

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDRESS);

else if(modbus_rx.data[2] != 0xFF &&modbus_rx.data[2] != 0x00)

    modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_VALUE);

else

    {

// Los coilsestan almacenados de MSB a LSB por lo tanto debemos usar la 7ma dirección como inicio

if(modbus_rx.data[2] == 0xFF)

bit_set(coils,7-modbus_rx.data[1]);

else

bit_clear(coils,7-modbus_rx.data[1]);

modbus_write_single_coil_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.data[1],((int16)(modbus_rx.data[2]))<
<8);

event_count++;

```

```

    }

    break;

    case FUNC_WRITE_MULTIPLE_COILS: :    // En el caso de Escritura de múltiples BITS

        if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[2] ||
            modbus_rx.data[1] >= 8 || modbus_rx.data[3]+modbus_rx.data[1] > 8)

            modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDRESS);

        else

            {

                inti,j;

                modbus_rx.data[5] = swap_bits(modbus_rx.data[5]);

                for(i=modbus_rx.data[1],j=0; i<modbus_rx.data[1]+modbus_rx.data[3]; ++i,++j) :    // ubicar el bit
                en el mapa

                {

                    if(bit_test(modbus_rx.data[5],j))

                        bit_set(coils,7-i);

                    else

                        bit_clear(coils,7-i);

                }

                modbus_write_multiple_coils_rsp(MODBUS_ADDRESS,

                make16(modbus_rx.data[0],modbus_rx.data[1]),

                make16(modbus_rx.data[2],modbus_rx.data[3]));

                event_count++;

            }

            break;

        default: :    // si es que no soporta la función requerida por el maestro, envía la siguiente
        señal(FUNCION ILEGAL)

        modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_FUNCTION);

    }

}

}

}

```

}

3.13 CONFIGURACIÓN, PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA SCADA: FAST-TOOLS 10.1

Después de instalar el software FAST-TOOLS en su versión 10.1 y con las licencias apropiadamente adquiridas, se procede a activar el sistema de la siguiente manera.

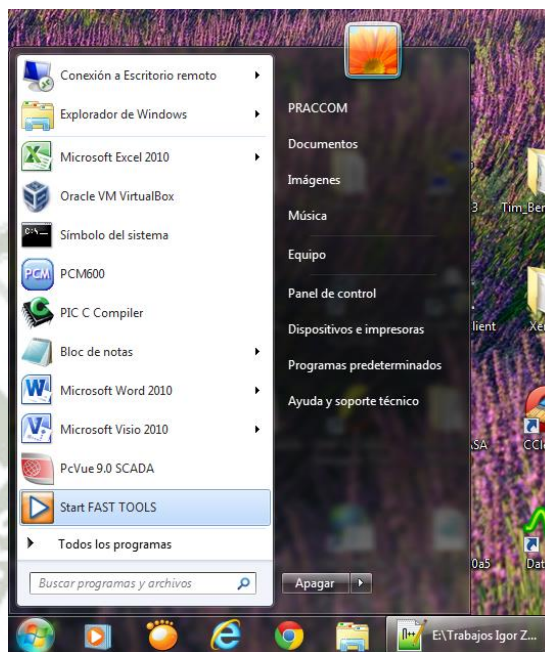


Fig. 3.42 Arranque del programa desde la barra de Inicio de Windows 7

Fuente (TesisIZP2014)

Una vez arrancado el software se procede a ingresar al Software de Ingeniería (Engineering Module) Que se encuentra también en la barra de Inicio en la carpeta Fast-Tools.

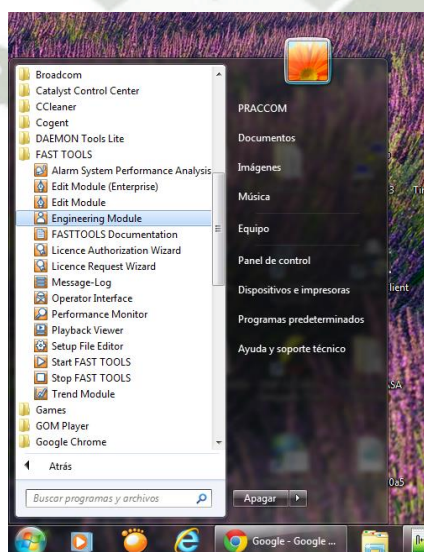


Fig. 3.43 Ubicación del programa para realizar la Ingeniería del sistema

Fuente (TesisIZP2014)

A continuación se abrirá la siguiente ventana, en donde configuramos la línea, la estación y finalmente las variables.

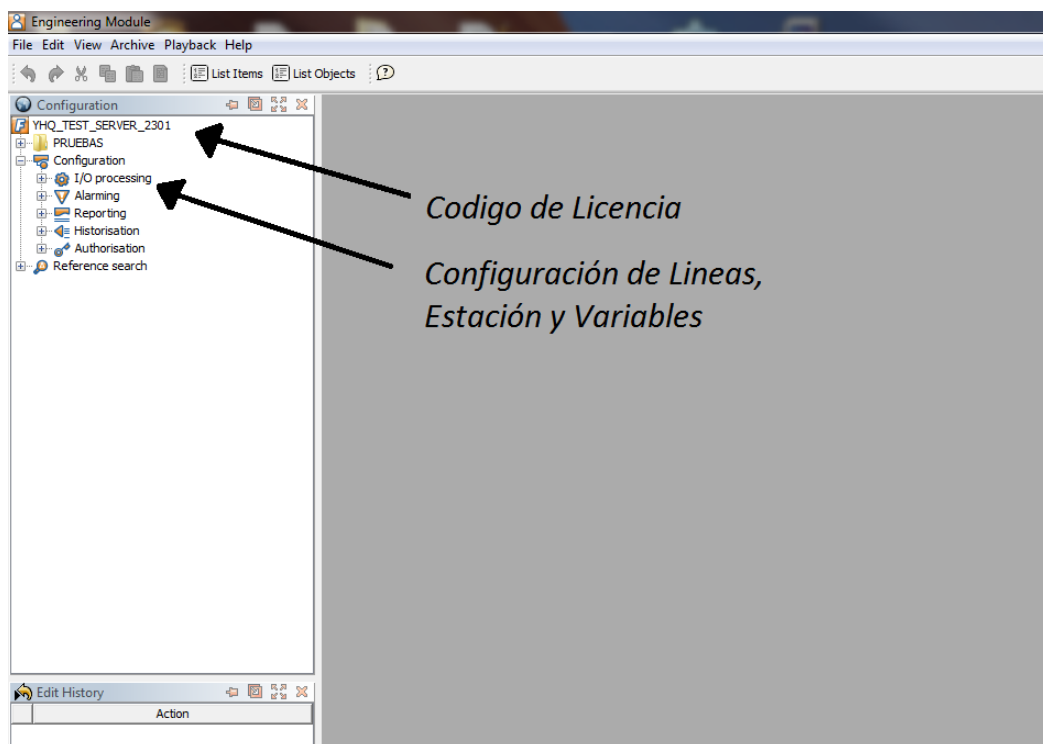


Fig. 3.44 Ubicación de los principales atributos del “Engineering Module”

Fuente (TesisIZP2014)

Desplegamos la pestaña del “I/O processing” y encontramos la pestaña de MODBUS donde crearemos nuestra Línea y Estación de donde obtendremos las señales de campo. En este caso, nuestro microcontrolador PIC16F877A el cual estará configurado como esclavo para el protocolo MODBUS.

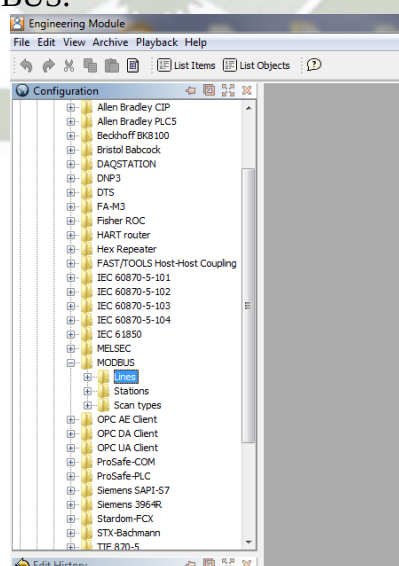


Fig. 3.45 Ubicación de la carpeta MODBUS para la creación de la Línea de control

Fuente (TesisIZP2014)

Para crear una Línea en MODBUS solo haremos click derecho con el mouse y agregamos mediante el comando “Add new Line” una nueva Línea a la que llamaremos PIC16F877A.

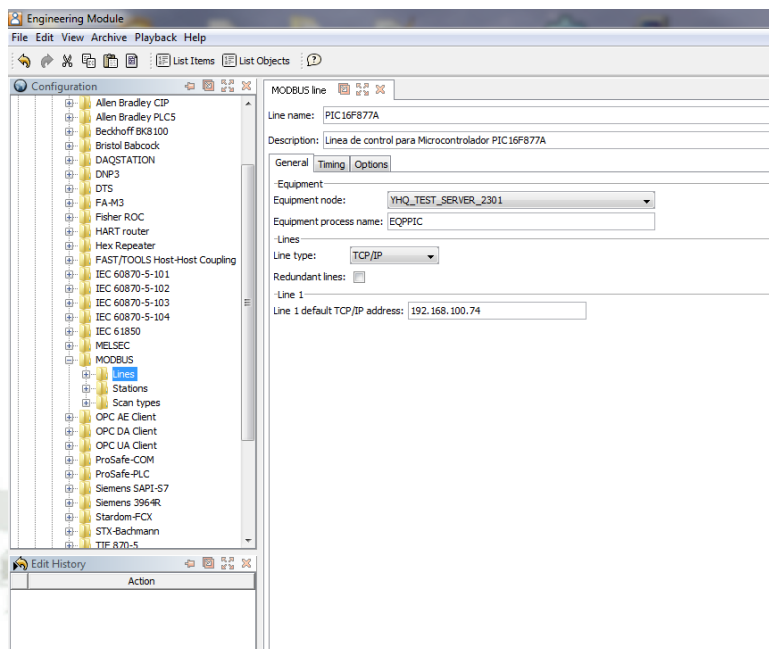


Fig. 3.46 Creación de la Línea de Control

Fuente (TesisIZP2014)

Como se observa en la figura anterior, creamos la línea la cual llamaremos PIC16F877A con una breve descripción. Colocamos el nodo que para nuestro caso llevara el nombre también de nuestra Licencia, esto con el fin de que las variables creadas en esta línea solo puedan ser vistas por equipos que mantengan esta licencia. En “Equipment Process name” ponemos el nombre que queremos que el sistema denomine a nuestro equipo de campo. El tipo de Línea será TCP/IP, ya que tendremos todo el sistema en Ethernet vía este protocolo.

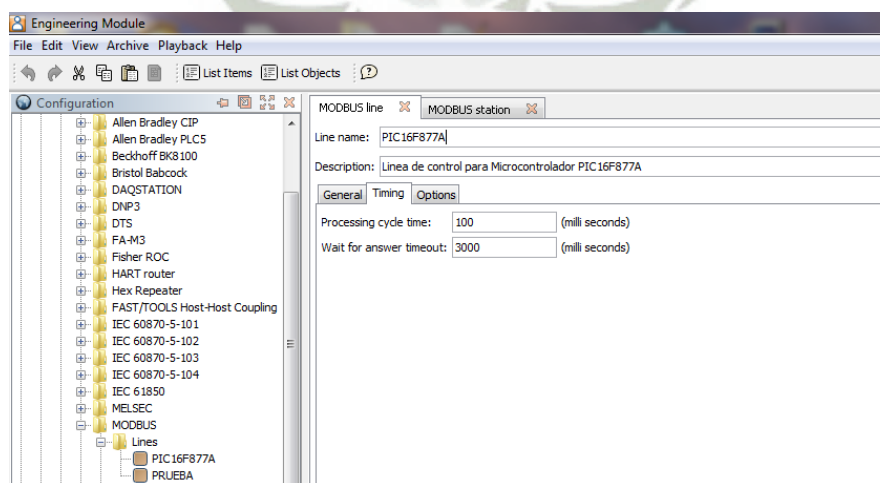


Fig. 3.47 Pantalla de Configuración de “Timing” de la Línea de Control

Fuente (TesisIZP2014)

El “*timing*” es el tiempo con el que sistema SCADA realiza las consultas al esclavo. Es importante que este tiempo sea bajo, ya que esto nos permite leer la mayor cantidad de datos posibles en el menor tiempo posible. Finalmente colocamos la dirección IP de la Línea de donde se sacará la información de las variables y presionamos en el botón ADD ubicado en la parte inferior.

En el siguiente paso configuraremos la estación para leer las variables del equipo, en este caso tenemos configurada solo una Estación para una Línea, es posible crear múltiples Estaciones en una sola Línea, para nuestro caso solo usaremos una sola estación. La configuración será de la siguiente manera.

Para crear una Estación en MODBUS solo haremos clic derecho con el mouse y agregamos mediante el comando “*Add new Station*” una nueva Estación a la que llamaremos PIC16F877A.

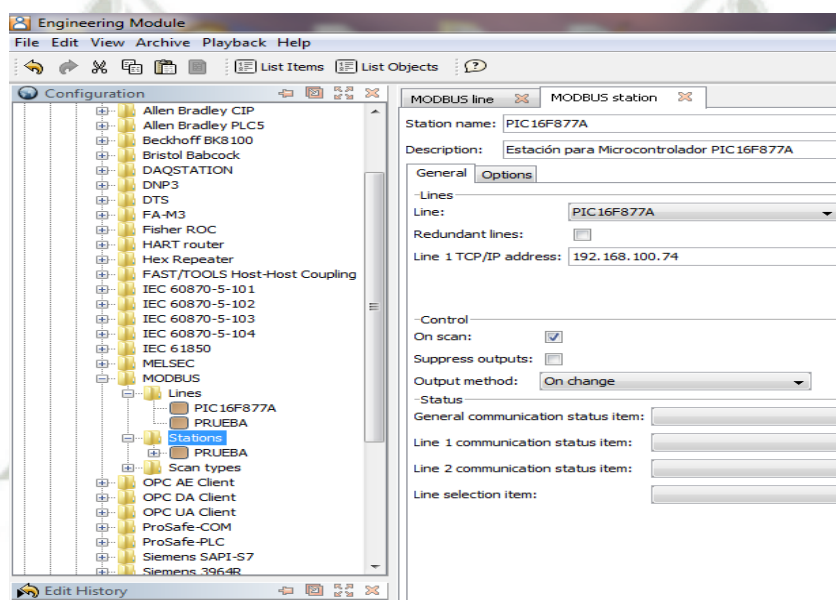


Fig. 3.48 Creación de la Estación de Control

Fuente (TesisIZP2014)

Colocamos de nombre de la estación PIC16F877A y agregamos una breve descripción. En el campo de “Line” ponemos la Línea previamente configurada, en donde se enlazará el equipo para poder enviar sus datos. Evitamos poner Líneas redundantes ya que solo tenemos 1 Línea creada y queremos que nuestra estación solo envíe los datos a través de esta línea. La dirección Ethernet será la misma que la línea ya que de esta forma aseguramos que solo este equipo disponga de esta línea y que sus datos sean exclusivos.

En la parte de Control, habilitamos “*On scan*”, esto permite que el software escanee constantemente al equipo y su disponibilidad. No suprimimos las salidas, ya que queremos también enviar señales de control. El método de salida será “*On change*”. Esto permite que el sistema reconozca los cambios que existen en el equipo remoto.

Dejamos el bloque “STATUS” sin llenar debido a que no hemos configurado ninguna variable para que envíe una señal del estado del equipo.

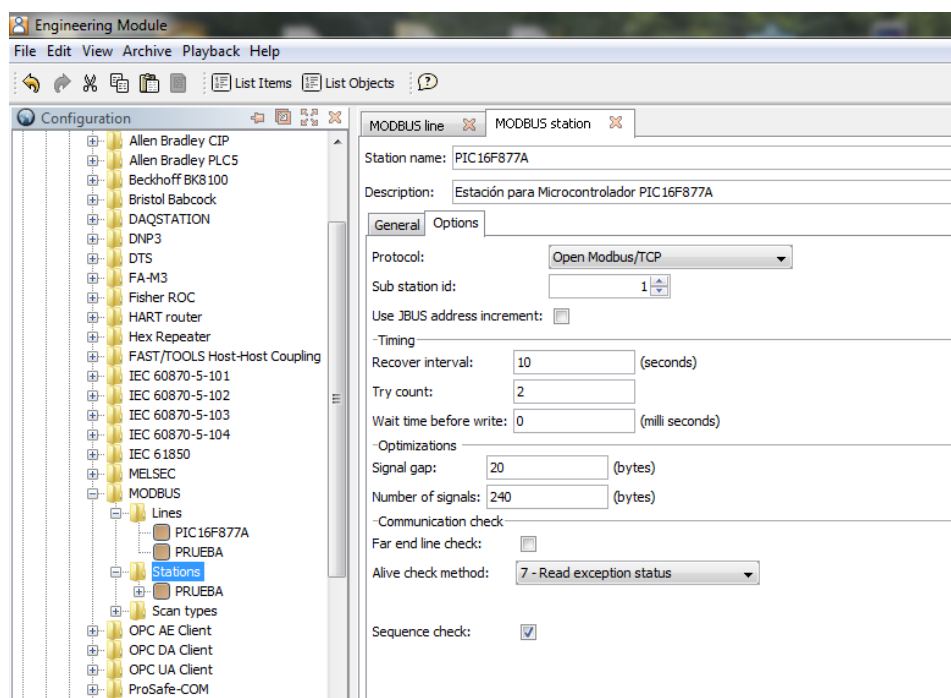


Fig. 3.49 Pantalla de Configuración de OPTIONS para la Estación MODBUS

Fuente (Tesis IZP2014)

En la Figura anterior podemos observar cómo se configuran las opciones de la Estación. Para esto mantenemos el Protocolo OPEN MODBUS/TCP, como mencionamos antes, tendremos todo el sistema de comunicación con el ordenador vía Ethernet. No es muy necesario que coloquemos el ID de la sub Estación, puesto que hemos decidido tener solo una Estación por una Línea de Control. El “Timing” de conexión de la estación lo colocamos en 10 segundos, todo esto lo tenemos configurado en el Microcontrolador. Todas las siguientes configuraciones las dejaremos por defecto ya que son típicas del Protocolo MODBUS. Finalmente hacemos clic en “ADD” y de esta manera tenemos creada la Estación.

A continuación y como último paso antes de crear las variables, debemos crear un tipo de escaneo de las mismas. Es por esto que nos dirigimos a la carpeta MODBUS, “Scan Types” y configuramos de la siguiente manera.

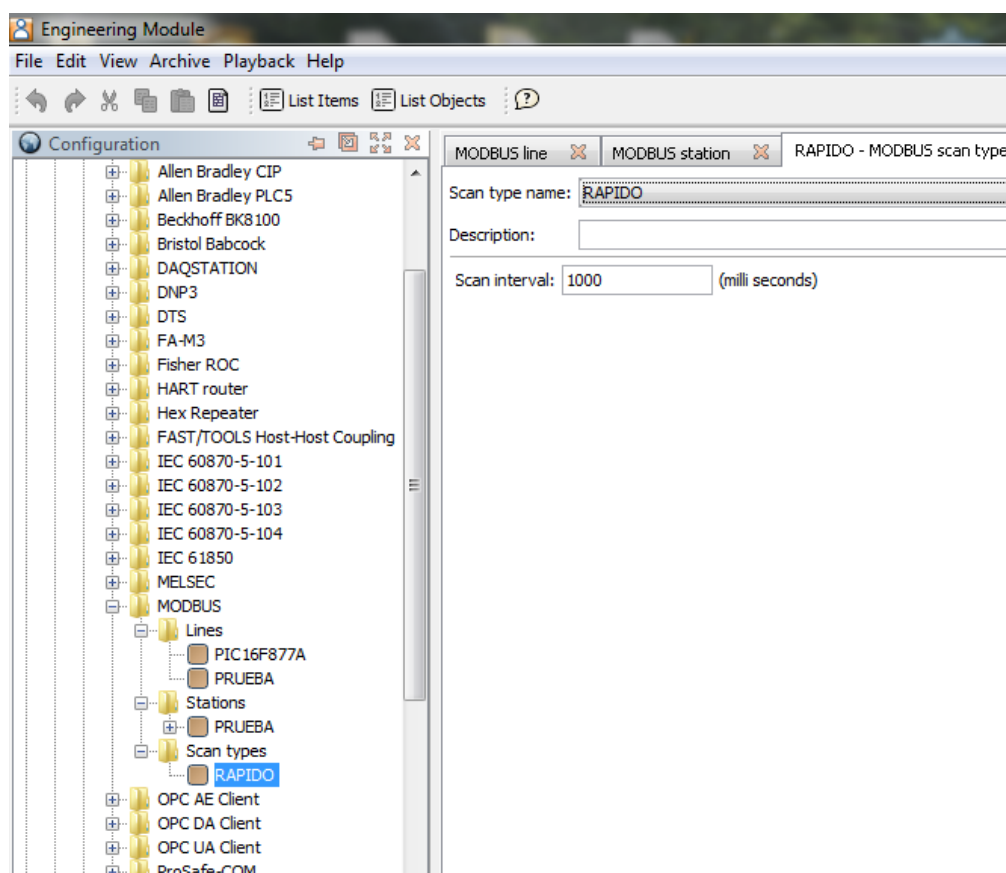


Fig. 3.50 Pantalla de Configuración de SCAN TYPE

Fuente (TesisIZP2014)

Colocamos de nombre RAPIDO, esta vez trataremos en lo posible que se pregunte por las variables cada segundo, por este motivo colocamos en el intervalo de escaneo 1000 milisegundos. Finalmente damos clic en “ADD” y creamos el tipo de escaneo.

De esta manera tenemos un equipo configurado, para nuestro caso será el Microcontrolador PIC16F877A, con una dirección IP asignada al Conversor de RS-485 a Ethernet TSXETG100 de Telemecanique, el cual simulará ser una interfaz de comunicación para el Microcontrolador.

Como vemos en la parte superior de la figura anterior, se van creando ventanas donde se van almacenando todas las configuraciones que hemos estado realizando durante el proceso de configuración de la Línea, Estación y Escaneo en MODBUS.

3.13.1 CONFIGURACIÓN DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA SCADA

Para empezar, debemos crear una sección donde almacenaremos todas las Variables. Desde el “Engineering Module” agregamos una Sección, como se muestra en la siguiente figura.

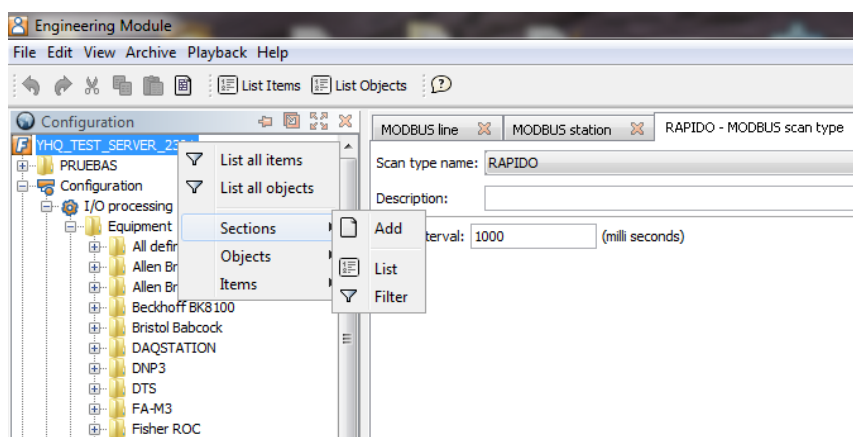


Fig. 3.51 Agregar una Sección para almacenar las Variables o “TAGS” del Sistema

Fuente (TesisIZP2014)

Haciendo clic derecho creamos una Sección dándole clic a “Add”. Crearemos la Sección a la cual denominaremos “Tesis_IZP_2014”. Recordar que no se pueden crear espacios por lo que separamos los nombres por medio de sub-guiones.

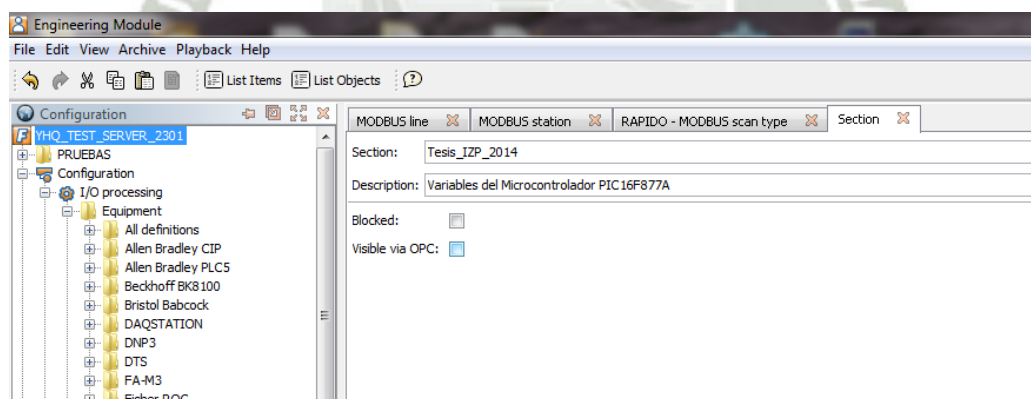


Fig. 3.52 Creación de una Sección

Fuente (TesisIZP2014)

Agregamos una pequeña descripción acerca de lo que es la Sección y no damos clic en “BLOCKED” ya que queremos que todas las variables sean visibles por el SCADA ni tampoco damos clic en “Visible vía OPC”, puesto que no queremos utilizar este protocolo. Damos clic en ADD y agregamos esta nueva sección.

Como se puede observar en la siguiente figura, es posible crear más secciones para poder hacer un seguimiento de las variables tipo “Árbol”, esto nos será muy útil cuando

tengamos muchos equipos y muchas variables de campo. Para nuestro caso solo utilizaremos una sola estación por lo tanto bastará con esta Sección previamente creada.

A continuación, procederemos a crear los “ITEMS” o variables de campo, las cuales son denominadas también TAGS.

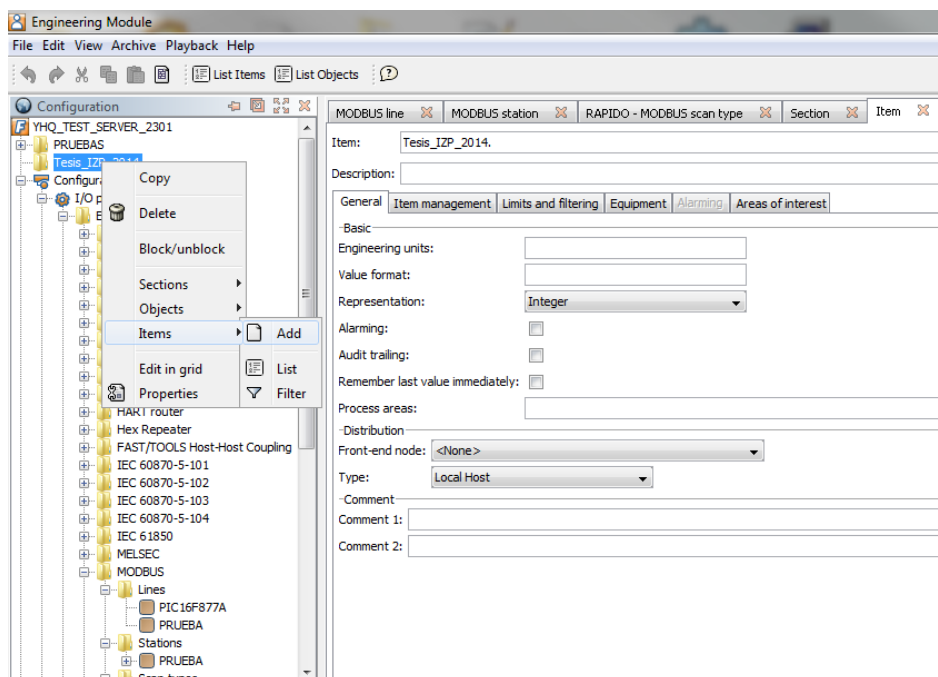


Fig. 3.53 Creación de los TAGS para las variables de MODBUS

Fuente (TesisIZP2014)

Haciendo clic derecho sobre la Sección ya creada, agregamos un ITEM dándole clic a “Add”. Observaremos una pantalla como la figura anterior donde podemos configurar el ITEM según la configuración de nuestro Programa del Microcontrolador.

En el cuadro de ITEM, nombramos nuestra variable, para nuestro caso será TEMP_OLLA, este hace referencia a la temperatura de la Olla Solar. Observar que para separar la Sección del TAG, se hace por medio de un PUNTO, por este motivo el nombre que le asignemos a nuestra variable, debe de estar separada por medio del subguion.

En el cuadro de BASIC, colocamos como unidades de ingeniería grados Celsius y el formato de Valor: “123,12”, este será el formato de la temperatura con 3 números enteros y 1 decimal. Ponemos una Representación “REAL”, ya que son variables de números reales. Por este momento no activaremos ninguna alarma ni arrastre. Estas se pueden configurar si se desea que en el sistema si muestre alguna alarma al llegar a una temperatura elevada o al repetir una temperatura no deseada respectivamente. Y el “Remember last value”, se configura en caso de que suceda una desconexión el SCADA nos mostrara el ultimo valor obtenido tras el escaneo del MODBUS.

Para la distribución configuramos como “*Front-end-node*” la licencia a donde se dirigirá este TAG y el tipo es simplemente “Local host”, puesto que llegará a un servidor u ordenador local.

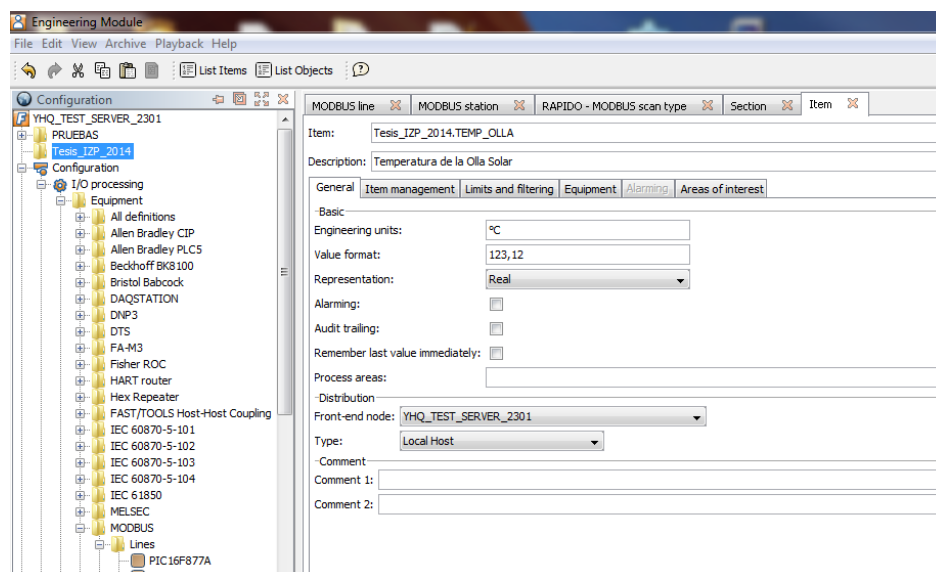


Fig. 3.54 Configuración del ITEM General

Fuente (TesisIZP2014)

En la siguiente ventana tenemos la pantalla de “*ITEM MANAGEMENT*” en esta ventana configuramos nuestra variable, para ver si será de Lectura o Escritura, y si es que esta será visible para el sistema o se manejará como variable interna.

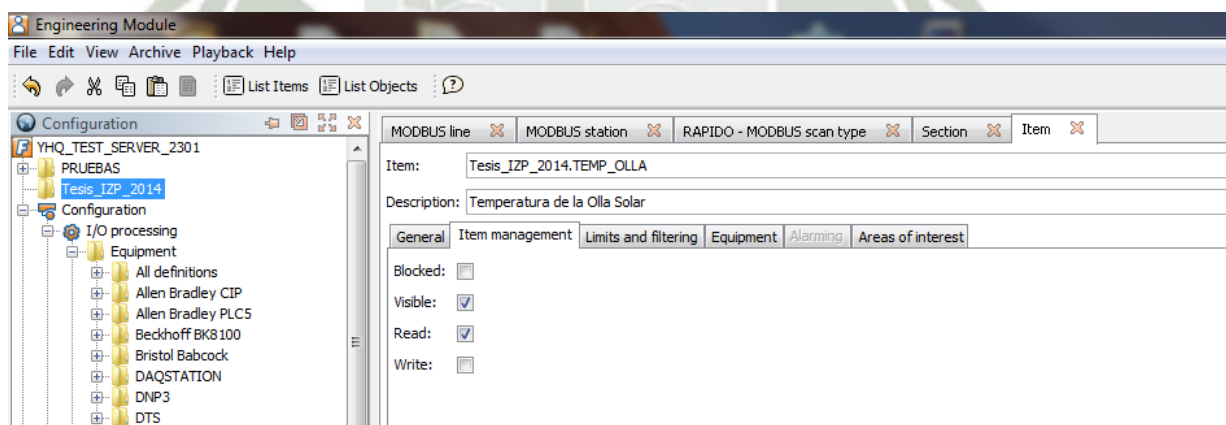


Fig. 3.55 Configuración del ITEM Manejo del ITEM

Fuente (TesisIZP2014)

Con la configuración que muestra la figura anterior sabemos que nuestra variable de Temperatura de la Olla solo será de Lectura y será visible para el sistema y su posterior monitoreo.

Como no hemos activado alarmas ni límites, no es necesario modificar la ventana de “*Limits and Filtering*”. El siguiente paso será configurar la variable en el Equipo respectivo entrando a la ventana “*Equipment*”.

Desplegamos el fichero “*Connected I/O point*” y buscamos la carpeta donde está la estación creada previamente y hacemos doble clic, para que se abra la ventana de configuración del TAG en el Equipo.

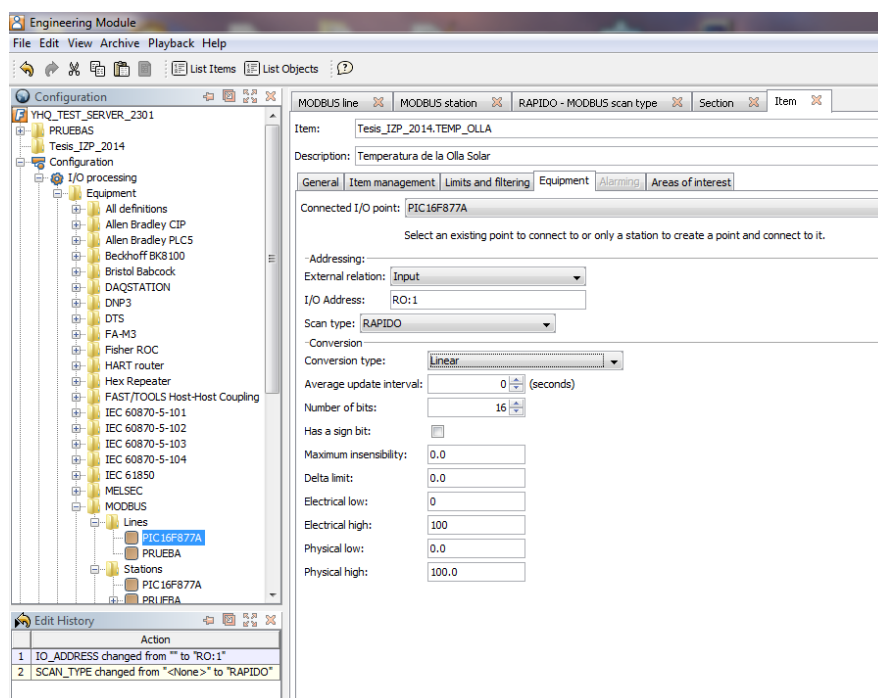


Fig. 3.56 Configuración del ITEM Manejo del EQUIPO

Fuente (TesisIZP2014)

Ponemos como “*relación Externa: Input*”, puesto que nos referimos a entradas analógicas. En MODBUS, como ya se mencionó anteriormente, tenemos 4 tipos de variables posibles: *COIL STATUS*, *INPUT STATUS*, *HOLDING REGISTER* e *INPUT REGISTER*. Para nuestro caso utilizaremos el tipo de registro “*HOLDING REGISTER*” porque los datos analógicos como la temperatura se manejan como registros. Para configurar el registro como “*HOLDING REGISTER*” solo es necesario escribir RO seguido de la dirección en el mapa MODBUS, que para este caso será la dirección 1 (equivalente en MODBUS 40001).

Tipo de escaneo usamos el que creamos previamente denominado RAPIDO. El bloque de Conversión modificamos el tipo de conversión y colocamos “*Linear*” puesto que los bits serán alineados de forma lineal y los paquetes llegaran en tramas. No modificamos el promedio de intervalos, y colocamos un número de bits igual a 16, que es el configurado para la trama de MODBUS en el Microcontrolador. Los otros parámetros son solo para escalar la variable. Por si queremos correr la coma decimal o aumentar los límites máximos y mínimos.

Finalmente hacemos clic en “ADD”, automáticamente se creara un TAG debajo de la carpeta PIC16F877A.

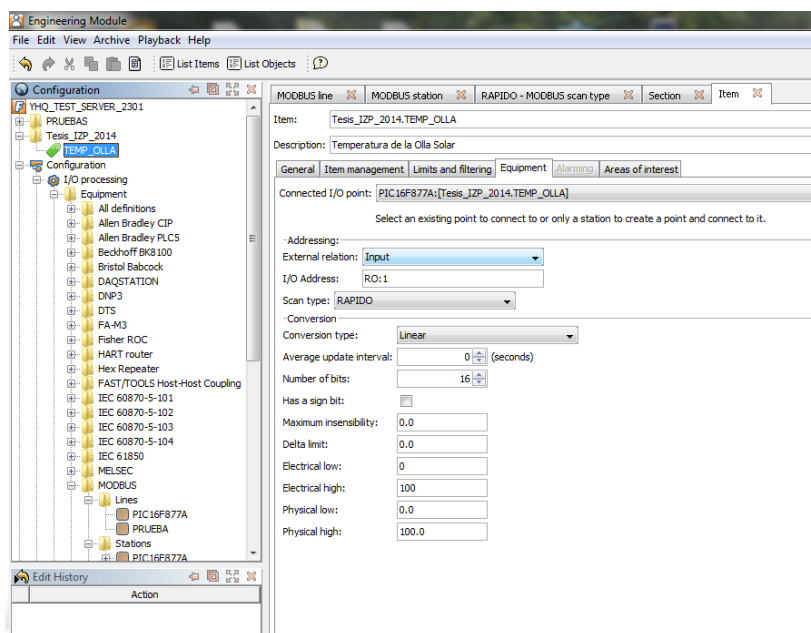


Fig. 3.57 TAG creado debajo de la Sección Tesis_Izp_2014

Fuente (TesisIZP2014)

Repetimos el proceso para crear todas las variables de campo Analógicas: Temperatura de Ambiente, Temperatura del Sistema y Voltaje del Panel Solar. Para la configuración de las variables Booleanas o binarias, se procede de la siguiente manera.

Al estar en la misma carpeta Tesis_Izp_2014, agregamos un ITEM, y configuramos sus características como muestra la siguiente figura.

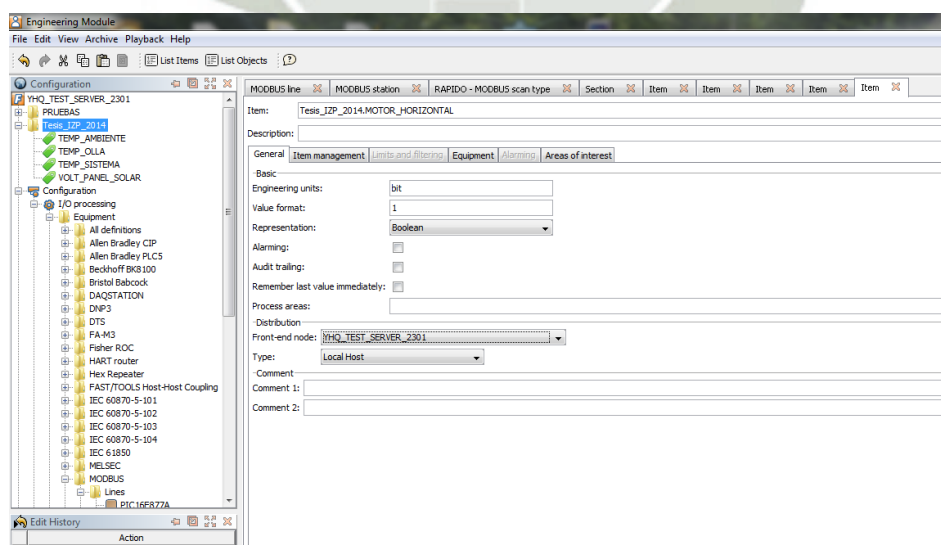


Fig. 3.58 Configuración de un TAG para movimiento de los Motores

Fuente (TesisIZP2014)

Este tipo de variable será interna debido a que la trabajaremos mediante un programa para que cada vez que se envíe señales al motor un contador sume o reste bits a su cuenta, y de esta manera poder observar la posición del PLATO SOLAR en nuestro sistema SCADA. Se prefiere utilizar Encoders o sensores de posición, pero este sistema es más simple de implementar, requiere un poco más de programación, mas no posee mucha precisión.

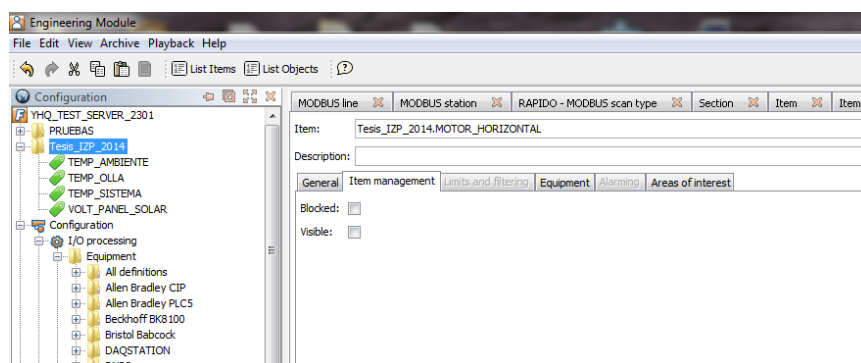


Fig. 3.59 Configuración de un TAG interno: ITEM MANAGEMENT

Fuente (TesisIZP2014)

Debido a que el ITEM no se quiere mostrar sino, más bien trabajar internamente mediante un programa diseñado en lenguaje PASCAL al que denominaremos CLASE, es que no habilitamos su visibilidad. Más adelante se verá al TAG nuevo pre configurado a través de esta CLASE, donde se habilitaran las propiedades anteriormente descritas.

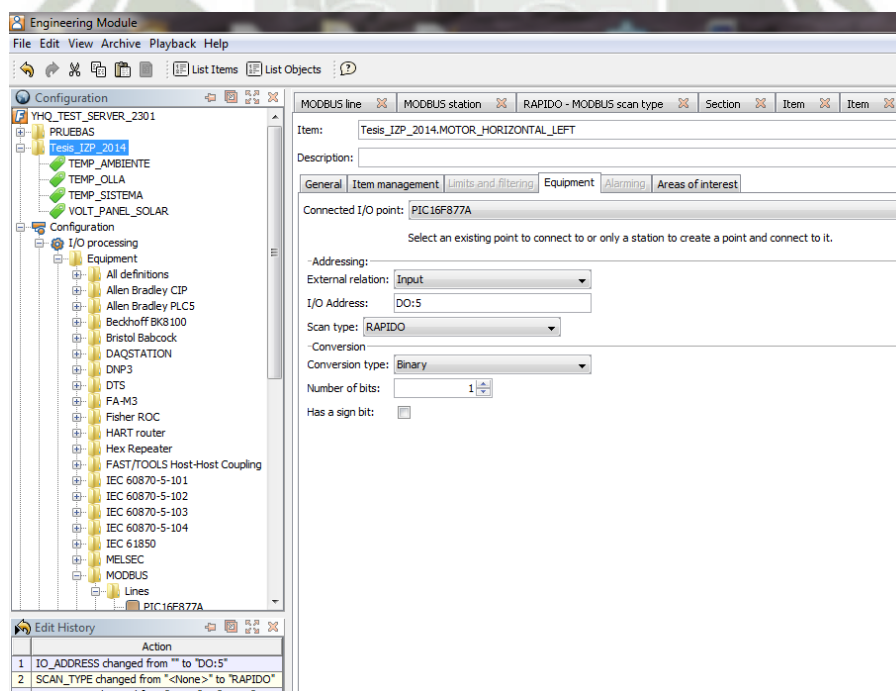


Fig. 3.60 Configuración de un TAG interno: EQUIPMENT

Fuente (TesisIZP2014)

Nuevamente en la estación “16F877A” damos doble clic y accedemos a un TAG, el cual lo configuraremos como muestra la figura anterior. En “I/O Address” configuramos DO: 5 debido a que es una variable Digital (COIL STATUS). Tipo de conversión Binario y solo admitimos 1 bit.

Como se observa en la imagen, se configurarán 4 variables del tipo bit para observar la posición del Plato Solar:

1. MOTOR_HORIZONTAL_LEFT,
2. MOTOR_HORIZONTAL_RIGHT
3. MOTOR_VERTICAL_UP
4. MOTOR_VERTICAL_DOWN

Todas estas variables estarán ligadas a las salidas del Microcontrolador hacia los motores, por lo que en el programa a desarrollar se empezara un conteo cada vez que el BIT correspondiente este en 1 y se detendrá cuando se ponga en 0. El cálculo es sencillo, ya que se asume que el BIT: MOTOR_HORIZONTAL_RIGHT sumará a la cuenta mientras que el BIT: MOTOR_HORIZONTAL_LEFT restará a la cuenta. De la misma manera se procederá para los bits VERTICALES.

De la misma manera configuramos las variables binarias de los Sensores para poder mostrar la posición del Sol en nuestro sistema SCADA.

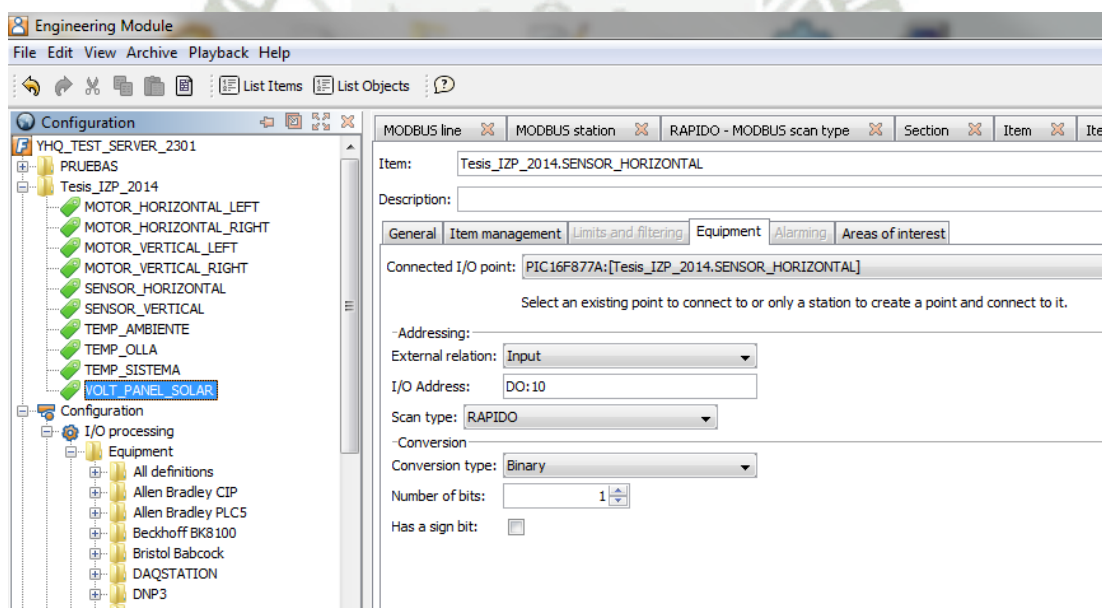


Fig. 3.61 TAGS creados bajo la Sección TESIS_IZP_2014

Fuente (TesisIZP2014)

En esta última figura podemos observar en la barra izquierda, todos los TAGS o variables, creadas para nuestro Sistema. La licencia adquirida permite un máximo de 10 variables de campo, por lo que nos limitamos a estas para la configuración de nuestro sistema.

Programas desarrollado en “CLASSES” para configuración interna de Variables

Las “CLASSES” son programas que permiten desarrollar características especiales para ciertas variables. Como ya hemos visto en el “Engineering Module” se crean las variables externas y también es posible crear variables internas, las cuales no están conectadas a nada, pero serán los resultados de los programas que desarrollemos en las “CLASSES”

El editor de programas “CLASSES” se ubica en también en el “Engineering Module”, bajo la pestaña de Configuración. Haciendo clic derecho podemos añadir una nueva CLASSE, la cual compilaremos y más adelante, la utilizaremos para desarrollar nuestras nuevas variables.

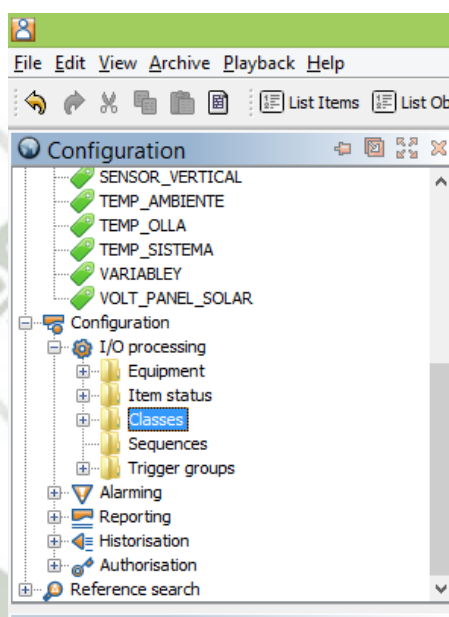


Fig. 3.62 Ubicación del editor de programas

Fuente (TesisIZP2014)

El primer Programa a desarrollar, será el de Monitoreo del Plato Solar con respecto al Plano Horizontal. Para esto desarrollaremos un programa el cual nombraremos: TRASLADA_X (Debido al eje X que se utiliza normalmente en matemática para movimiento horizontal)

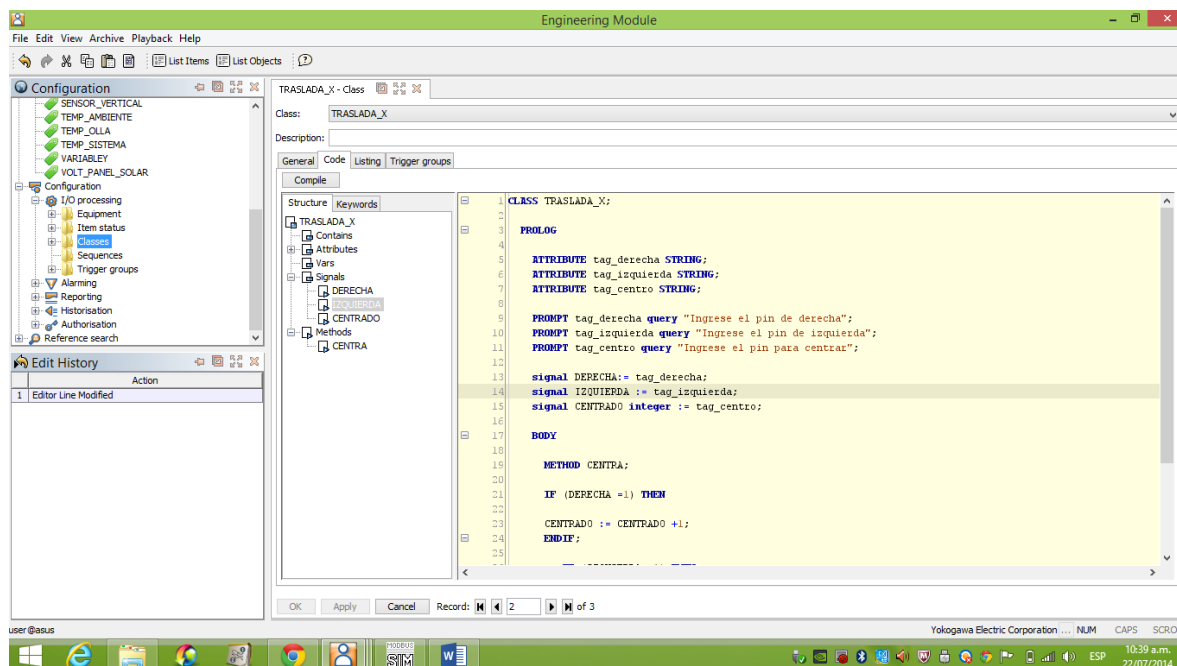


Fig. 3.63 Entorno para el desarrollo de los programas “CLASSES”

Fuente (TesisIZP2014)

El programa tiene la siguiente forma:

CLASS TRASLADA_X;

> Nombre de Clase

PROLOG

>Inicio del Programa

ATTRIBUTE tag_derecha STRING;

>Variables y tipo

ATTRIBUTE tag_izquierda STRING;

ATTRIBUTE tag_centro STRING;

PROMPT tag_derechaquery "Ingrese el pin de derecha"; >Asignación de ITEMS

PROMPT tag_izquierdaquery "Ingrese el pin de izquierda";>a variables dentro del

PROMPT tag_centroquery "Ingrese el pin para centrar";>Programa

signal DERECHA:= tag_derecha;

signal IZQUIERDA := tag_izquierda;

signal CENTRADO integer := tag_centro;

>Señal de Salida

BODY

> *Cuerpo del Programa*

METHOD CENTRA;>*Método a utilizar Programa*

IF (DERECHA =1) THEN
salida

>*Condicional si el pin de*

>*esta en 1 entonces has esto*

CENTRADO := CENTRADO +1;>*La señal de centrado aumenta en 1*

ENDIF;

IF (IZQUIERDA =1) THEN

> *Si el pin de Izquierda esta en 1*
> *entonces haz lo siguiente*

CENTRADO := CENTRADO -1;>*Decremento la señal CENTRADO en -1*

ENDIF;

> *Finaliza la condición*

ENDMETHOD CENTRA;

> *Finaliza el método*

ENDCLASS TRASLADA_X;

> *Finaliza la CLASSE*

Del mismo modo, realizamos 2 programas más:

- a) Control Vertical del Plato Solar, el cual se encargara de enviarnos una señal para poder monitorear la posición del mismo con respecto al eje vertical. El cual nombraremos TRASLADA _Y
- b) Control de la Posición Solar. A partir de nuestro Sensor Vertical podemos asumir una posición del Sol y calcular aproximadamente la hora en la que se encuentra el sistema. En el desarrollo de la pantalla de monitoreo se comprenderá mejor a lo que se refiere.

Ambos programas se encuentran detallados y especificados en los ANEXOS de este documento.

Luego de desarrollar los 3 Programas, tenemos nuevas Variables como muestra la siguiente figura:

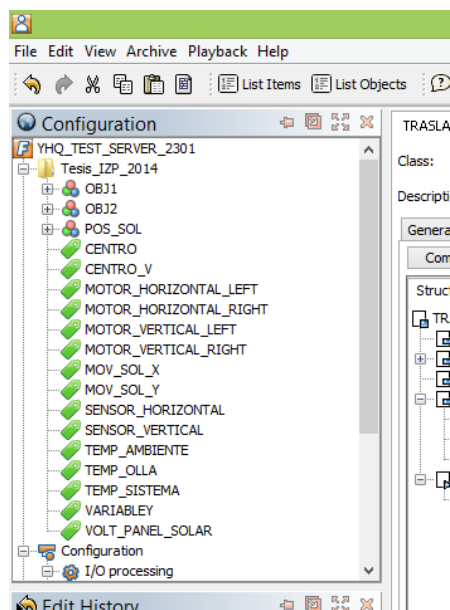


Fig. 3.64 Nuevas variables generadas después de la ejecución de las CLASES

Fuente (TesisIZP2014)

3.13.2 DISEÑO DE LA PANTALLA DEL SISTEMA SCADA

Para desarrollar el diseño de la pantalla para el sistema SCADA, ingresamos al “*Edit Module*”.

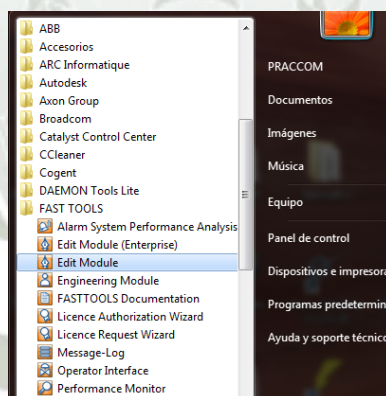


Fig. 3.65 Ubicación del Sub Programa Edit Module de FAST TOOLS 10.1

Fuente (TesisIZP2014)

Entraremos a un entorno donde podemos diseñar a partir de plantillas y formas muy parecido a un sistema CAD. En la siguiente figura se muestra el entorno del “*Edit Module*”, donde se dibujara el sistema a partir de todas las herramientas que este entorno ofrece.

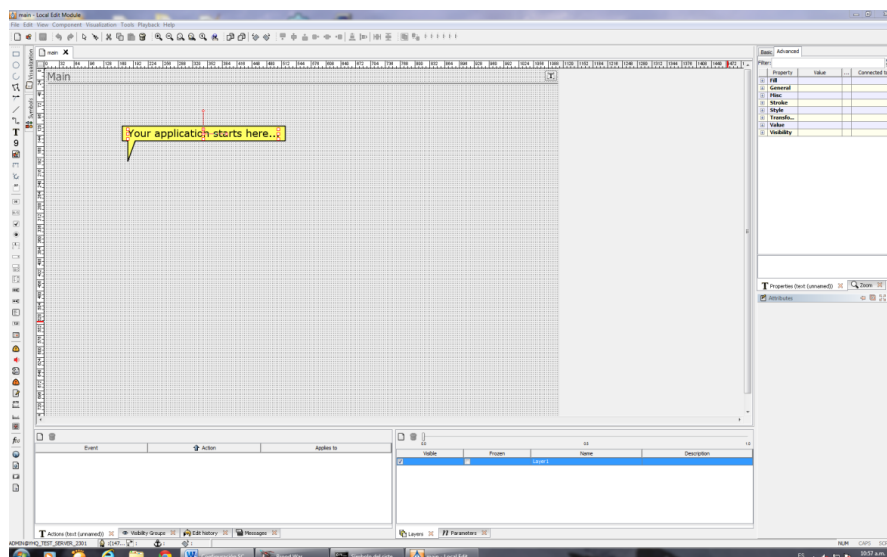


Fig. 3.66 Entorno del Programa Edit Module de FAST TOOLS 10.1

Fuente (TesisIZP2014)

La pantalla del medio es lugar donde desarrollaremos la aplicación de supervisión para nuestro sistema. Los contornos son las herramientas que utilizaremos para su diseño. En la parte inferior tenemos una ventana de *EVENTOS*, donde veremos a que imágenes estamos uniendo las variables. A lado de esta es la pantalla de visibilidad, donde veremos cuáles son las cualidades de nuestras imágenes diseñadas. La ventana ubicada en la derecha, es la encargada de configurar las Imágenes. Mediante esta pantalla se unen las imágenes a las variables. Las variables se pueden unir a diferentes características de la imagen, como puede ser el “valor”, “forma”, “color”, etc.

Desarrollaremos nuestro diseño mediante las distintas herramientas que este software nos brinda y finalmente tenemos el siguiente Diseño, que se muestra en la siguiente figura.

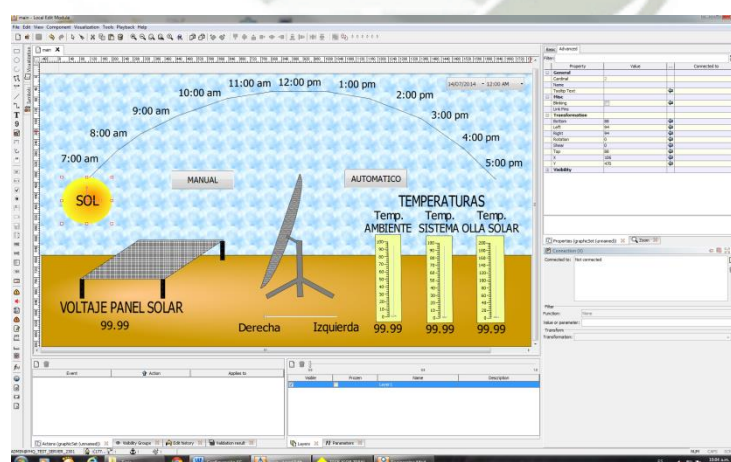


Fig. 3.67 Pantalla diseñada para el sistema de supervisión y control

Fuente (TesisIZP2014)

Como podemos observar, todo el diseño de la pantalla principal se ha realizado con ayuda de algunas plantillas y formas que el software nos brinda. A partir de este escenario es que se comienza con la unión de las variables a las distintas imágenes previamente diseñadas.

Al hacer clic sobre uno de los elementos, podemos ver sus características en la pantalla superior de la derecha.

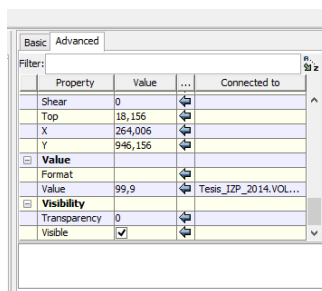


Fig. 3.68 Características propias del Elemento seleccionado

Fuente (TesisI2P2014)

Seguidamente se procede a dar clic a la propiedad que queremos modificar. En la figura anterior ya tenemos afectado el Valor “VALUE”. Ya hemos asignado el valor del ITEM que hemos generado en el “Engineering Module”

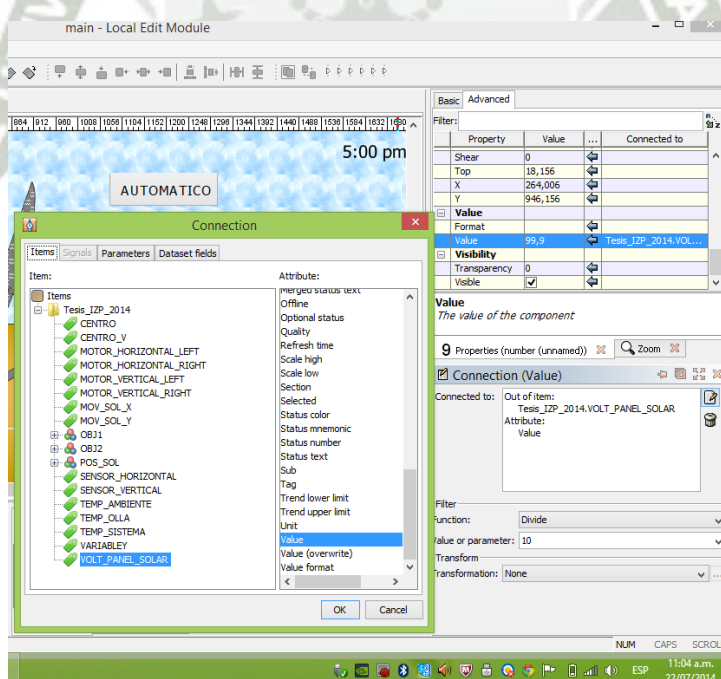


Fig. 3.69 Unión de la variable al Valor “VALUE” del elemento Gráfico

Fuente (TesisI2P2014)

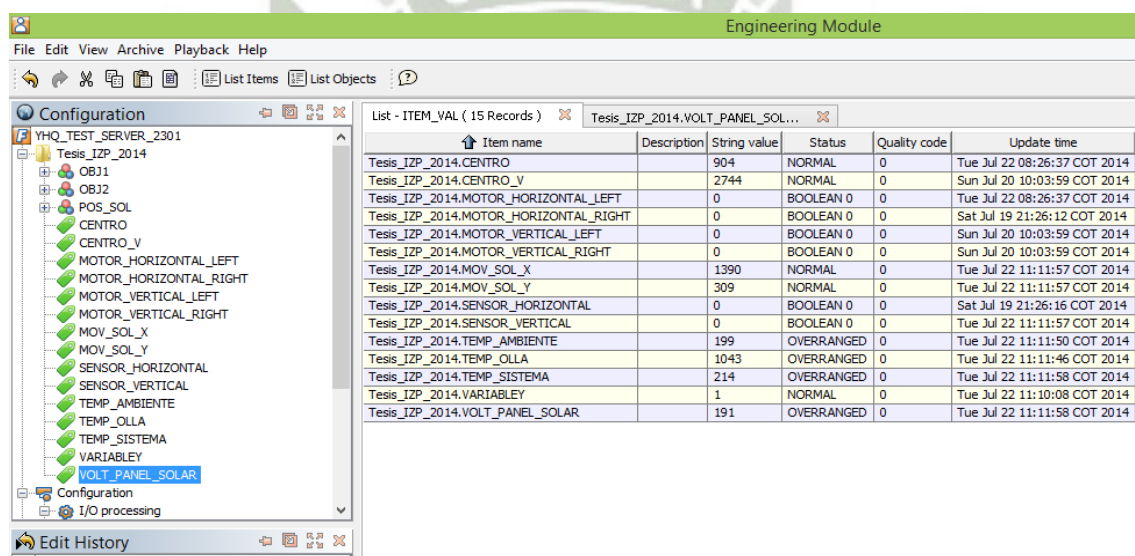
En la figura anterior se ve que al hacer doble clic sobre el valor se despliega una ventana donde podemos escoger el TAG que ya hemos creado en el “Engineering

Module”, de esta manera el valor del ITEM será ejecutado en nuestra pantalla y posteriormente observado en la interfaz para el operador.

De esta manera iremos agregando los Valores ya creados para tener finalmente todos los valores analógicos y los valores de nuestras CLASES.

Para generar el giro del Plato Solar solo será necesario agregar la Variable al valor de “ROTATION” del elemento dibujado. Así también para la traslación del SOL por todo el plano, debemos modificar su posición con respecto a X y su posición con respecto a Y en el plano.

Finalmente, luego de configurar todas las entradas y salidas podemos revisar que estén llegando todas las señales desde nuestro MICROCONTROLADOR PIC16F877A mediante el “Engineering Module”, subrayando todas las variables y haciendo clic derecho, seleccionando la opción: “LIST ITEMS VALUES”.



The screenshot shows the 'Engineering Module' window with a menu bar (File, Edit, View, Archive, Playback, Help) and a toolbar. The 'List Items' menu is open, showing 'List Items' and 'List Objects'. The 'Configuration' pane on the left shows a tree view of the project structure, including 'YHQ_TEST_SERVER_2301', 'Tesis_I_ZP_2014', and various sensors and motors. The 'List - ITEM_VAL (15 Records)' table is displayed, showing the following data:

Item name	Description	String value	Status	Quality code	Update time
Tesis_I_ZP_2014.CENTRO		904	NORMAL	0	Tue Jul 22 08:26:37 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.CENTRO_V		2744	NORMAL	0	Sun Jul 20 10:03:59 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.MOTOR_HORIZONTAL_LEFT		0	BOOLEAN 0	0	Tue Jul 22 08:26:37 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.MOTOR_HORIZONTAL_RIGHT		0	BOOLEAN 0	0	Sat Jul 19 21:26:12 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.MOTOR_VERTICAL_LEFT		0	BOOLEAN 0	0	Sun Jul 20 10:03:59 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.MOTOR_VERTICAL_RIGHT		0	BOOLEAN 0	0	Sun Jul 20 10:03:59 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.MOV_SOL_X		1390	NORMAL	0	Tue Jul 22 11:11:57 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.MOV_SOL_Y		309	NORMAL	0	Tue Jul 22 11:11:57 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.SENSOR_HORIZONTAL		0	BOOLEAN 0	0	Sat Jul 19 21:26:16 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.SENSOR_VERTICAL		0	BOOLEAN 0	0	Tue Jul 22 11:11:57 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.TEMP_AMBIENTE		199	OVERRANGED	0	Tue Jul 22 11:11:50 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.TEMP_OLLA		1043	OVERRANGED	0	Tue Jul 22 11:11:46 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.TEMP_SISTEMA		214	OVERRANGED	0	Tue Jul 22 11:11:58 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.VARIABLE		1	NORMAL	0	Tue Jul 22 11:10:08 COT 2014
Tesis_I_ZP_2014.VOLT_PANEL_SOLAR		191	OVERRANGED	0	Tue Jul 22 11:11:58 COT 2014

Fig. 3.70 Listado de valores y prueba de conexión con el PIC16F877A

Fuente (TesisI_ZP2014)

Como podemos ver en la figura anterior, todos los valores se encuentran en activos, debido a que es una prueba en vacío, los valores de MOTOR se encuentran en 0. Los valores Analógicos de temperatura y voltaje del panel están con los últimos valores registrados, y debido a que son valores enteros, los escalamos desde el “Edit Module”, para poder tener valores reales.

Para terminar con todo el proceso se procede a abrir el modulo: “OPERATOR INTERFACE”, donde se observara el diagrama previamente diseñado con todas las variables y ajustes ya guardados en el “Edit Module”.

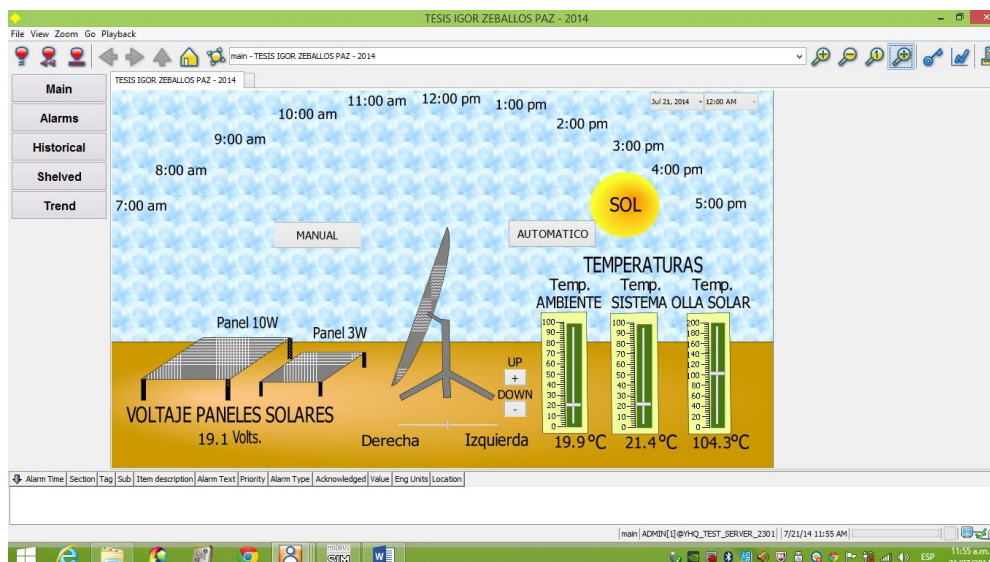


Fig. 3.71 Pantalla de Monitoreo Final

Fuente (Tesis IZP2014)

En el gráfico se puede ver 2 botones: MANUAL y AUTOMÁTICO. Estos botones son configurados para que la aplicación de inicio al hacer clic sobre el botón AUTOMÁTICO, el botón MANUAL, nos permite enviar algunas señales a través del protocolo MODBUS y modificar en tiempo real algunos valores de salida del PIC16F877A. Esto quiere decir que el sistema se pone dispuesto a recibir órdenes del operador. Podemos modificar la posición con respecto al eje horizontal moviendo la barra que se encuentra debajo del plato y modificar la posición vertical dándole clic al “+” (UP) o “-” (DOWN). Cada clic, nos enviará un 1 digital a través del Protocolo MODBUS a la dirección donde se encuentran los bits encargados de enviar las señales para movimiento de los motores del Plato Solar.

3.14 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA OLLA SOLAR

El diseño de la Olla solar debe tener las prestaciones necesarias para nuestro proyecto. Se dispuso utilizar una olla a presión, incorporando algunas modificaciones básicas para que nuestro sistema sea netamente autónomo.

3.14.1 COLOR DE LA OLLA SOLAR

El color de nuestra olla solar debe de ser negro, ya que este color permite mayor absorción de calor. Debe de ser una pintura que resista altas temperaturas y que no sea inflamable.



Fig. 3.72 Absorción de toda la radiación

Fuente (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia17/HTML/articulo08.htm>)

3.14.2 ENTRADA Y SALIDA DE AGUA DE LA OLLA SOLAR

La olla solar tiene un ingreso de Agua por la tapa, que proviene del condensador de Agua y que está controlada mediante una válvula selenoide a la entrada de la misma. Esta entrada es la encargada de llenar la olla con un nivel de agua suficiente para que pueda ser evaporada en el proceso.

La salida o escape de la olla será únicamente del vapor. Este vapor de agua circulara por una manguera de escape puesta, a su vez, en la tapa de la Olla, y ya que esta es la única salida que posee, se dirigirá directamente a la etapa del condensador de agua.

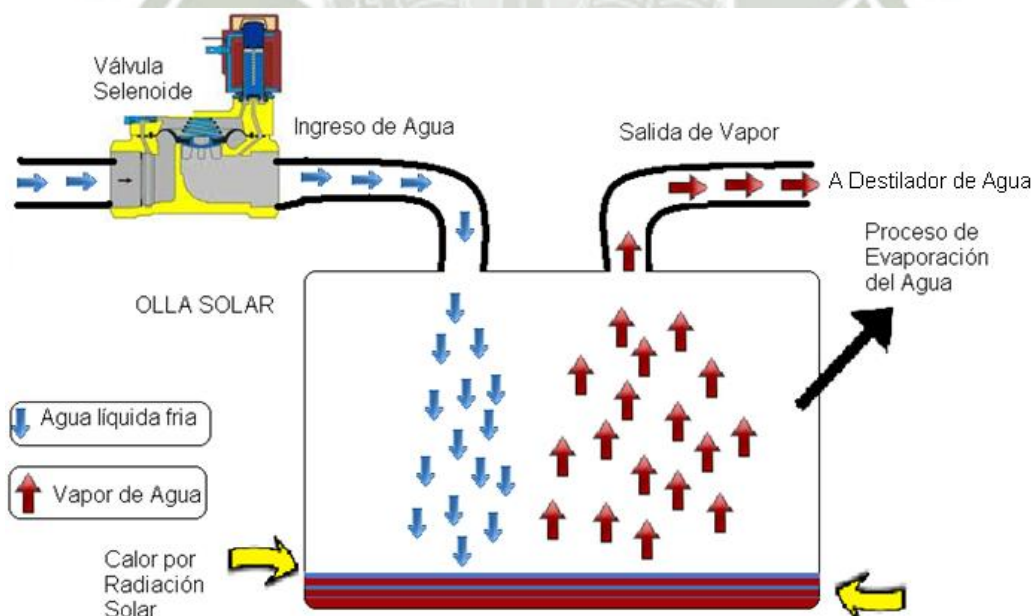


Fig. 3.73 Proceso Termodinámico de Evaporación del Agua en Olla Solar

Fuente (TesisIZP2014)

3.14.3 SENSORES DE NIVEL PARA LA OLLA SOLAR

Puesto que nuestro sistema es totalmente autónomo es de suma importancia saber cuáles son los niveles de agua que se encuentran en la olla solar. Es por esto que optamos por una solución de bajo costo y a su vez eficiente.

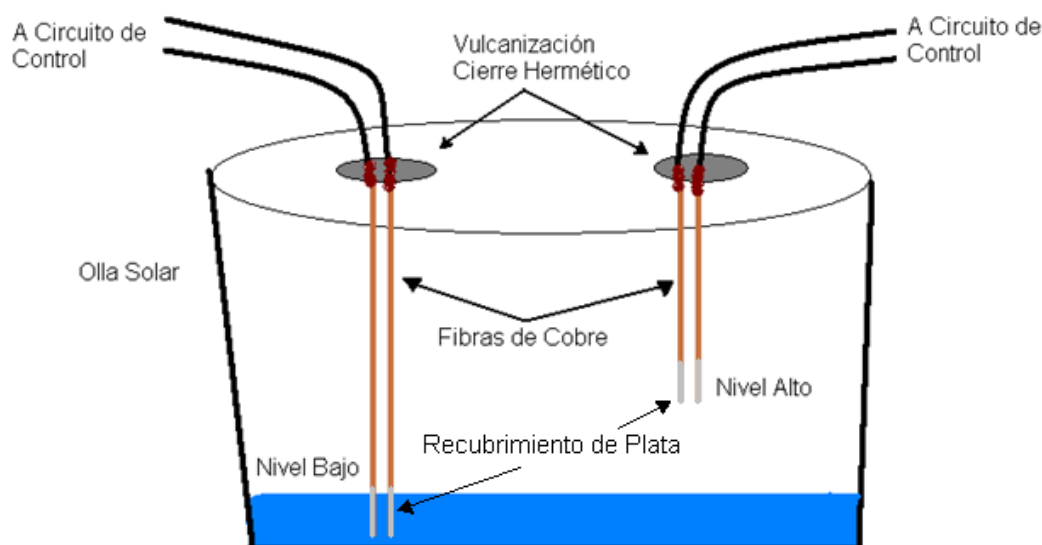


Fig. 3.74 Sensores de nivel en la Olla Solar

Fuente (TesisIZP2014)

Al colocar 2 varillas de cobre y utilizando el principio de conducción del agua, es que formamos un sensor de nivel. Como vemos en la figura 3.34, los sensores están dispuestos de tal manera que podamos medir tanto el nivel bajo como el nivel alto de agua en el recipiente. Para evitar fugas de vapor y soportar altas temperaturas es que vulcanizamos los alambres para tener una mayor eficiencia. Para evitar que los elementos del agua impura se queden impregnados en el cobre y eviten su conducción, es que revestimos las puntas de los alambres con Plata, para que no pierdan su conductividad.



Fig. 3.75 Olla Solar diseñada a partir de Olla a Presión

Fuente (TesisI2P2014)

3.14.4 CIRCUITO PARA SENSORES DE NIVEL

El circuito de los sensores de Nivel esta acoplado a los de finales de carrera, ya que estos están configurados para darnos 5V (Voltaje TTL) para cuando hay conducción y 0V para la ausencia de la misma. El Microcontrolador PIC 16F877A tiene la ventaja de trabajar a muy bajas corrientes. Por este motivo nos basta con colocar resistencias de 10K para hacer circular una corriente de 5mA por los pines de entrada.



Fig. 3.76 Circuito Transductor del Sensor de Nivel

Fuente (TesisI2P2014)

Como se observa en la figura 3.36 el circuito posee un switch que actúa como el sistema de sensor propuesto. Cuando hay presencia de agua el switch se cierra y provoca el paso de la corriente y mientras no haya, el switch permanece abierto y la conexión al microcontrolador es directa con tierra (0V).

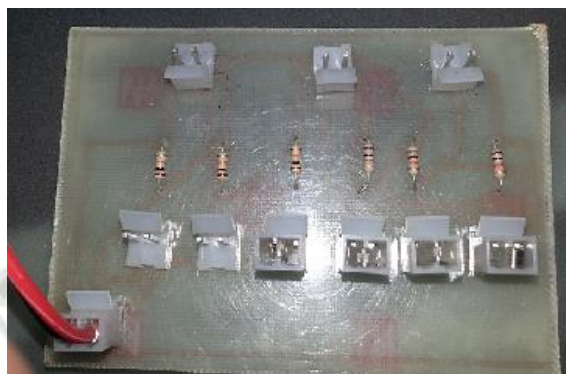


Fig. 3.77 Circuito Impreso de Transductores de Sensores de Nivel y Finales de Carrera

Fuente (TesisIZP2014)

3.15 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DESTILADOR DE AGUA

El modelo del destilador que se eligió es el que nos brinda mayor eficiencia. El modelo ya ha sido probado en otros sistemas de condensación dando buenos resultados, es por esto que decidimos incorporar este diseño a nuestro sistema.

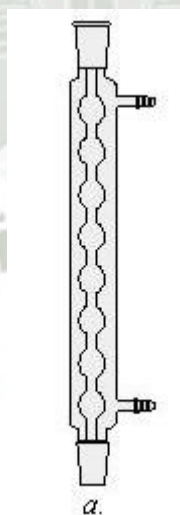


Fig. 3.78 Modelo de destilador a Utilizar

Fuente (TesisIZP2014)

Como se puede ver en el modelo de la figura 3.38, la entrada de vapor es por la parte superior y la salida del líquido es por la parte inferior. Las boquillas que se encuentran apuntando a mano derecha son las de entrada y salida de líquido refrigerante. En el sistema diseñado este líquido refrigerante será también agua que pasará posteriormente a la olla para su evaporación. Por el proceso de conducción del calor, el vapor que ingresa por la parte superior y que se desea condensar, calentará las paredes del serpentín, lo que elevará la temperatura del líquido que lo envuelve. Es por esto que este líquido irá a la olla con una temperatura ya elevada para así evaporar el agua más rápidamente.

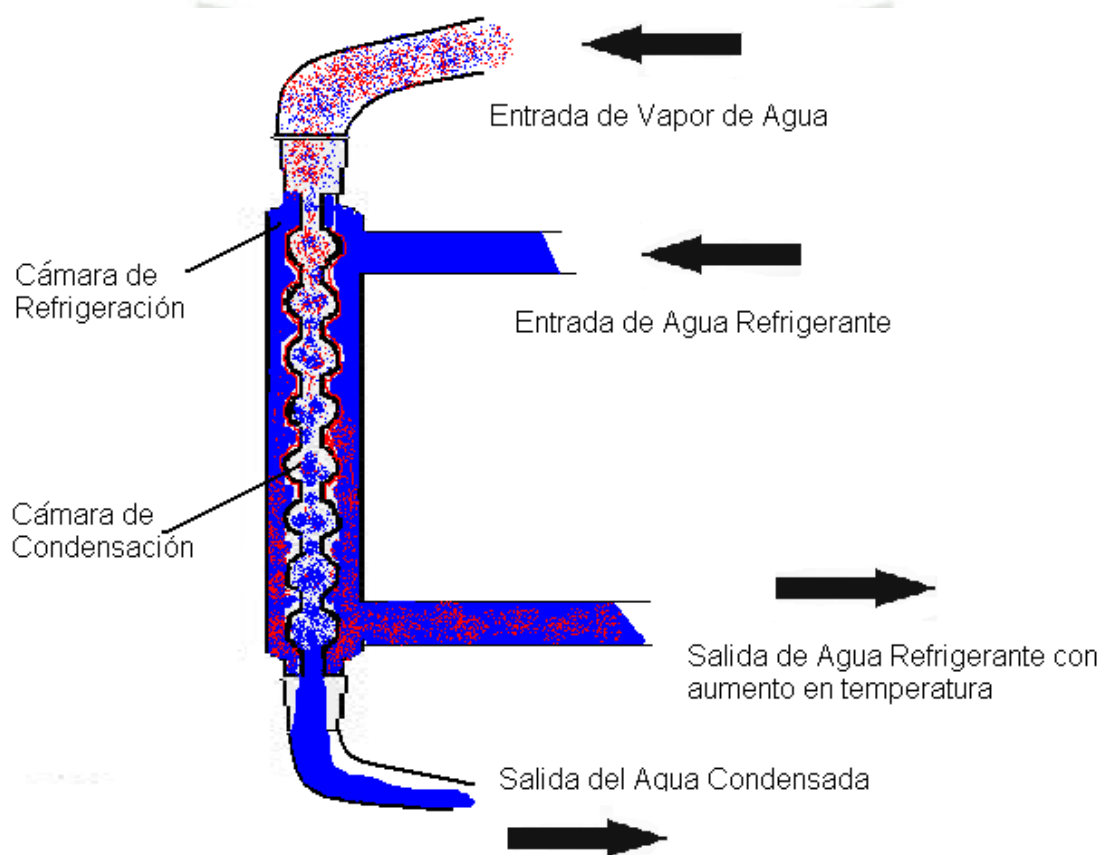


Fig. 3.79 Ejemplo de funcionamiento del Destilador

Fuente (Tesis IZP2014)

En la figura 3.79 podemos observar que el condensador se divide en 2 cámaras aisladas entre sí. La cámara de refrigeración y la cámara de condensación de tal manera que el vapor de la cámara de condensación, pueda transmitir el calor a la cámara de refrigeración. Este líquido que se calienta en la cámara de refrigeración será llevado

luego a la olla solar para ahorrar tiempo de evaporación. El agua condensada será almacenada para su posterior consumo.

Puesto que el agua se calienta muy rápido, es necesario tener una tubería tipo “Y” a la salida del condensador con dirección a la olla solar. El agua fluirá en forma constante del condensador al tanque que contiene el agua no purificada fría, de esta manera solo cuando la olla solar tenga bajo nivel el agua dejará de fluir hacia el tanque para dirigirse hacia la olla solar.



Fig. 3.80 Tubería Y para distribución del Agua a la salida del Destilador

Fuente (TesisIZP2014)

El flujo de Agua del destilador como muestra la figura 3.80, es el agua utilizada como refrigerante en nuestro destilador, por lo tanto ya tiene un nivel medio alto de temperatura. En el caso que la olla requiera de más agua para evaporar, esta llegará de por sí caliente para que el proceso sea aún más rápido.

Para hacer que el flujo de agua sea constante al salir del tanque y vuelva a él es que utilizamos el modelo de una válvula de Venturi. Mediante este sistema podemos hacer circular el agua a través del condensador de manera que pueda regresar al punto de origen y así mantener una temperatura óptima del refrigerante.

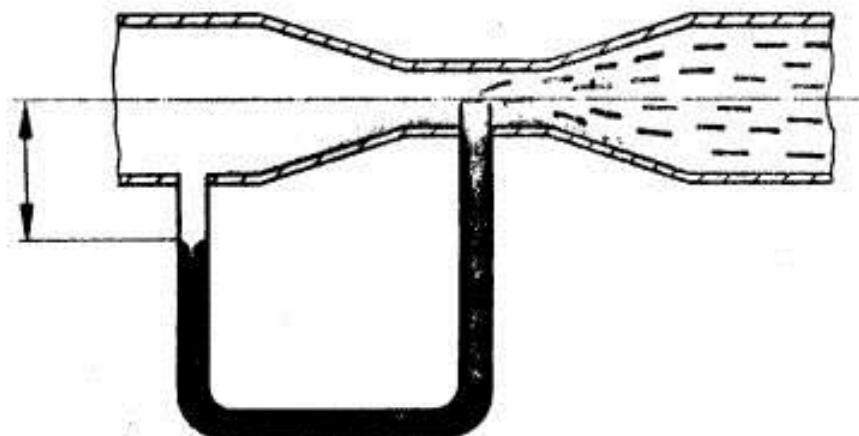


Fig. 3.81 Diagrama de válvula de Venturi para flujo constante

Fuente (www.sapiensman.com)

Como se observa en la figura 3.81 la válvula de Venturi permite que el flujo del agua que regresa al circuito sea nuevamente impulsado debido a la presión ejercida por el Tanque que se encuentra encima de ella. Finalmente tenemos todo el sistema acoplado de tuberías.



Fig. 3.82 Sistema de Condensación de Agua a utilizar

Fuente (TesisIZP2014)

3.16 SISTEMA COMPLETO ACOPLADO

Finalmente, tenemos nuestro sistema completo. Uniendo las partes mencionadas en este capítulo, así como los circuitos desarrollados y el programa embebido en el Microcontrolador.



Fig. 3.83 Sistema Completo de purificación de Agua por destilación

Fuente (TesisIZP2014)

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 FUNCIONAMIENTO

El sistema funciona de manera correcta. Cada parte del diseño fue cuidadosamente cuidada para el correcto funcionamiento. Además se utilizaron técnicas creativas para ahorrar costos en sensores y mantenimiento. Las mejoras se podrían realizar una vez puesto en marcha el proyecto y observar si el diseño genera algún error.

4.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SEGUIDOR SOLAR

A continuación mostramos la eficiencia del seguimiento solar del Plato Reflector. Por ser un sistema de 2 grados de libertad, es importante mantener un orden de posicionamiento. Esto quiere decir que el Plato Reflector Solar primero ubicara la posición del sol de manera Horizontal. Seguidamente y una vez ubicada la posición Horizontal empezara su trayecto de manera Vertical hasta que los sensores ubiquen al sol, de manera que todo el Plato Reflector apunte hacia el foco, donde se encuentra la Olla Solar.



Fig. 4.1 Alineación Automática del Plato Reflector Solar

Fuente (TesisIZP2014)

4.2.1 UBICACIÓN Y RECUBRIMIENTO DE LAS FOTORRESISTENCIAS

Las fotorresistencias, al variar su valor dependiendo de la intensidad de luz, requieren de un recubrimiento especial y de ser colocadas en lugares donde se pueda aprovechar al máximo esta propiedad. Se dispuso de 2 Fotorresistencias grandes, las cuales son sensibles al cambio de luz. Por medio del circuito Comparador descrito en la etapa de diseño, podemos calibrar estos dispositivos para que nos adviertan el paso del sol y finalmente la posición del mismo, dependiendo de la hora. Es por este motivo que se hace necesario recubrirlas de un material oscuro, para que solo influya el sector expuesto a la luz solar. Además de esto, se pensó en un diseño de recubrimiento de doble lente explicado en la figura a continuación:

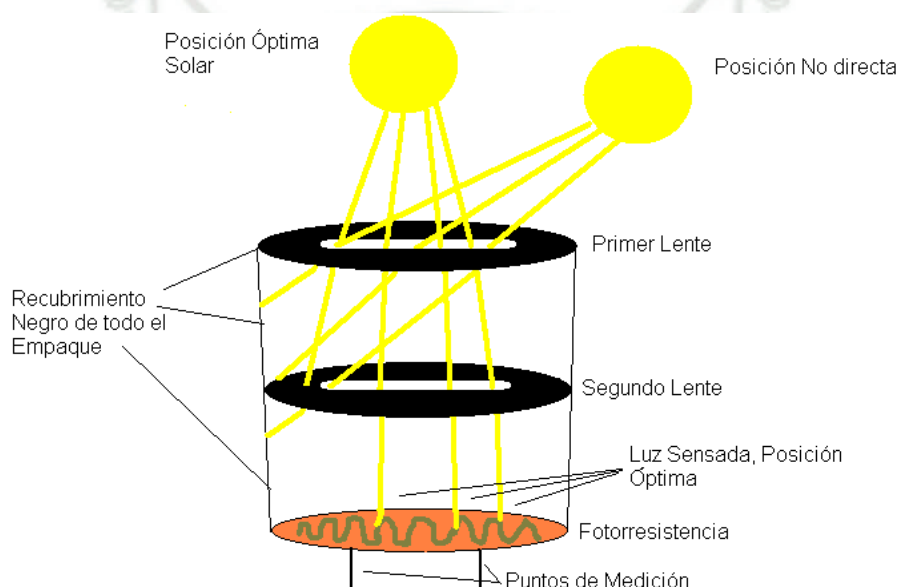


Fig. 4.2 Comportamiento de Sensores para alineación Automática del Plato Reflector Solar

Fuente (Tesis IZP2014)

Como se observa en la figura 4.2 los 2 lentes permiten que los rayos solares solo lleguen de manera directa cuando los sensores apuntan en línea recta al Sol. Así también el sensor solo da alerta cuando la cantidad de iluminación sea alta, esto nos permite tener un filtro más en la etapa de comparación (Hardware).

Para la construcción de los mismos se utilizó plástico de color negro y se hizo pequeñas hendiduras, por donde ingresan los rayos solares. Se podría decir que los motores están buscando la posición del sol hasta que los sensores lo adviertan. Finalmente, fueron colocadas al centro del sistema para que puedan ser calibradas, de tal manera que todos los rayos del Plato Solar apunten siempre a la Olla Solar.

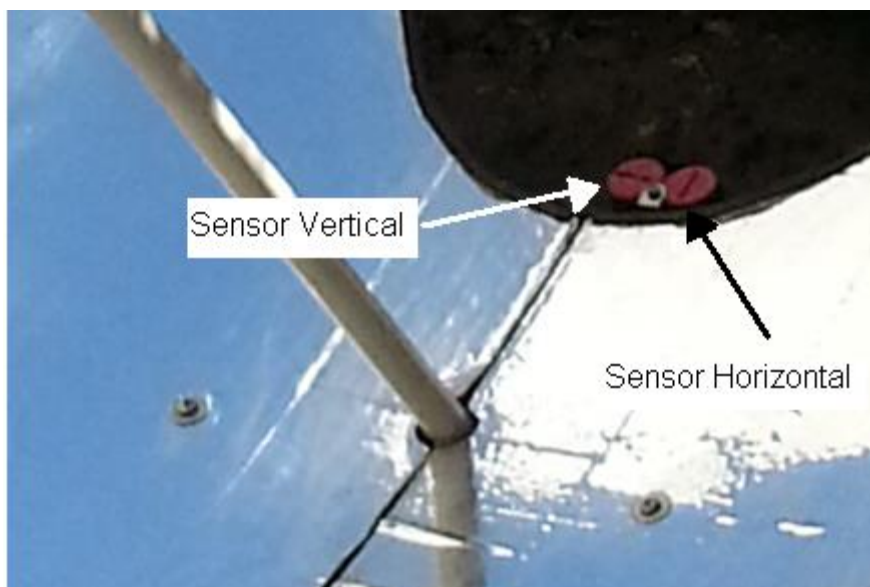


Fig. 4.3 Sensores Diseñados colocados en el Plato Reflector

Fuente (TesisIZP2014)

4.2.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA SEGUIDOR SOLAR

El programa funciona de la manera diseñada, el sistema muestra ser confiable. Todas las partes del diseño de hardware fueron debidamente revisadas. Los sensores calibrados, tanto los analógicos como los digitales. Las entradas al microcontrolador no superan los 50mA lo que permite que el programa no se cuelgue ni funcione mal.

La pantalla LCD 16x2, muestra los datos de temperatura y voltaje de manera que los actualiza cada 20ms, lo que permite un mejor sensado de la temperatura y voltaje que se manejan en esos precisos momentos. Mediante un pulsador podemos observar los datos de voltaje y al dejar de presionarlos el LCD vuelve a mostrar los datos de Temperatura.



Fig. 4.4 Pantalla LCD 16 x 2 con botones de Control

Fuente (TesisIZP2014)

Además de poseer un switch exterior de apagado total del sistema, se cuenta con un switch de Software para apagado parcial del Software, el cual puede ser utilizado para dar mantenimiento a todo el sistema.

4.3 PROCESO Y TIEMPOS DE DESTILACIÓN

Luego de hacer las pruebas y calcular bajo niveles de radiación óptimos sacamos los siguientes resultados:

Cantidad Inicial de Agua	Nivel de Radiación	Tiempo de Evaporación	Cantidad de Agua Destilada
500ml	Alta	30 minutos	355ml
500ml	Media Alta	30 minutos	298ml
500ml	Moderada	30 minutos	220ml

Tabla 4.1 Tiempos de Evaporación por cantidad de Radiación

Fuente (TesisIZP2014)

Por lo tanto podemos asumir que el tiempo y la cantidad de agua purificada dependerán de los niveles de radiación que se den durante el día. Se calculó una pérdida de aproximadamente 2 a 4ml en el proceso de destilación.

El cálculo aproximado de cantidad de litros de agua que se obtienen en un día está dado por:

$$\text{Cantidad de Litros por día} = \hat{x}\text{litros} * 8,5\text{horas} * 2 \quad 4.1$$

$$4.94 \text{ litros} = 0,291\text{litros} * 8,5\text{horas} * 2$$

Dónde:

- $\hat{x}\text{litros}$: Promedio de litros evaporados en 30 min
- 8,5 horas: Es la cantidad de horas hábiles de radiación fuerte por día
- El factor 2 es para convertir los 30 minutos en 1 hora.

Por lo tanto, durante un día se puede filtrar un aproximado a **5litros** de agua, apta para el consumo humano.

4.4 NIVELES DE PURIFICACIÓN DEL AGUA

Se llevaron 4 muestras a laboratorios del Dentro de Investigación y Desarrollo de la Universidad de San Agustín, donde se obtuvo los siguientes resultados.



Fig. 4.5 Foto del análisis de las 4 muestras de Agua destilada en el Laboratorio (UNSA)

Fuente (TesisIZP2014)

En las cuatro muestras de agua destilada por este proceso, el nivel de bacterias heterótrofas fue muy por debajo de <1 . Esto significa, según el Dr. Azael Paz, que es muy improbable que haya en ellas una bacteria por cada cien mililitros de agua, un nivel por muy por debajo del límite máximo permisible ($<1,8$) establecido en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano del Ministerio de Salud.

Con respecto a los coliformes en las muestras fue de $<1,1$ lo que significa que también estaban dentro del límite máximo permitido. La presencia de bacterias en el agua no causa ningún efecto negativo siempre y cuando su número sea bajo. Por otro lado, la presencia de huevos de helmintos (parásitos) fue descartada.

No se detectó plomo, arsénico, cadmio ni mercurio. El nivel de pH (la acidez del agua) estuvo en los cuatro casos dentro del rango permitido (entre 6,5 y 8,5), puesto que el proceso es netamente físico no se genera ninguna variación en estos parámetros. En el nivel de dureza (la presencia de calcio y magnesio en el agua) hubo algunas diferencias,

ya que en el proceso estos componentes no tienden a evaporarse y se quedan como residuo en la olla solar.

4.5 FUNCIONAMIENTO DE TODO EL SISTEMA



Fig. 4.6 Sistema Completo y en Funcionamiento

Fuente (TesisIZP2014)

Para una mejor apreciación del proyecto ver el CD adjunto, donde se encuentra un video mostrando el funcionamiento de todo el sistema en tiempo real.

CAPÍTULO V

REDUNDANCIA, CONFIABILIDAD, CONSUMO ENERGÉTICO, ANÁLISIS DE COSTOS Y COSTE ECONÓMICO

5. SISTEMA DE REDUNDANCIA

El sistema desarrollado funcionara únicamente con energía solar. Por este motivo nuestro sistema no puede utilizar otros sistemas redundantes para continuar con su funcionamiento bajo situaciones climatológicas adversas. El sistema se apagará mientras la radiación solar no sea la suficiente para el proceso.

6. CONFIABILIDAD

La confiabilidad puede definirse como la capacidad de un componente, equipo o sistema de no fallar durante un determinado período de tiempo. Existe una relación matemática entre la confiabilidad de cada una de las partes y componentes y el sistema completo. Esta relación matemática es uno de los métodos conocidos para obtener en forma anticipada la confiabilidad de un equipo aún no instalado. La confiabilidad distingue 3 tipos de períodos de fallas:

- Fallas que ocurren al iniciarse el período de vida operativo y que suceden por defectos de producción o de instalación;
- Fallas debidas al desgaste y que dependen del mantenimiento preventivo y
- Fallas aleatorias distribuidas al azar y que no dependen de pruebas o del mantenimiento.

Las fallas aleatorias tienen una distribución uniforme y por ello la confiabilidad responde a una ley exponencial. La confiabilidad de un sistema se puede calcular a partir de su tasa de fallas, si suponemos que el sistema falla, siguiendo una distribución exponencial, la tasa de fallas para un instante t es una constante denominada λ .

Así en general, la Función de Confiabilidad es del tipo:

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (6.1)$$

Es su distribución de probabilidades y $\lambda=f$ (independiente de t) es la tasa de fallas por unidad de tiempo (típicamente por miles o millones de horas de funcionamiento), o también, la expresión conocida como ecuación de Lusser, que es la forma más simple de estimar, como una distribución exponencial, para describir fallas aleatorias:

$$R = e^{-(\lambda t)} = e^{-(T/\theta)} = e^{-N} \quad (6.2)$$

Donde, $\theta = 1/\lambda = MTBF$ (Tiempo Medio entre Fallas), y T es el tiempo de observación o tiempo de misión (1 semana, 1 mes, 1 año, o lo deseado) y N es el número de fallas durante el tiempo de observación T , éste intervalo de tiempo, si bien es teóricamente discrecional, en situaciones prácticas debe ser un tiempo suficientemente largo para que tenga un buen sentido estadístico, es recomendable 1 año.

Por comodidad se usa la inversa de la tasa de fallas aleatorias denominado MTBF expresado en horas. Se suele utilizar también la unidad de fallas FIT, equivalente a una falla cada 10^9 horas para los componentes electrónicos:

$$MTTF = \lambda \times 10^9 \quad (6.3)$$

Donde, el MTTF es el tiempo medio a fallar y λ es la tasa de fallas.

El Factor de Intensidad de Fallas o Tasa de Fallas se expresa generalmente en FIT, donde:

$$1 \text{ FIT} = \frac{1 \text{ falla}}{10^9 \text{ horas}} \quad (6.4)$$

El Factor de Intensidad de Fallos (λ) de un sistema está dado por la suma algebraica de los factores de intensidad de fallos de cada uno de los componentes:

$$\lambda_{sis} = \sum \lambda_{comp} \quad (6.5)$$

6.1 CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA PROPUESTO

De acuerdo al diagrama de bloques del sistema mostrado en la figura 3.7 página 79. (*Diagrama de Bloques de Control del Sistema Plato Seguidor Solar, Olla Solar y Condensador*) podemos hallar la confiabilidad del mismo:

a. Etapa de Supervisión y Control:

Equipos y Circuitos	Cantidad	Tasa de Falla (FIT) Total
<i>PIC16F877A</i>	<i>1</i>	<i>10000</i>
<i>Módulo de LCD 16x2</i>	<i>1</i>	<i>5000</i>
<i>Módulo de Adquisición de señales analógicas (Voltaje Panel, Temperatura Olla)</i>	<i>1</i>	<i>800</i>
TOTAL		15800

Tabla 6.1 Tasa de Fallas, Supervisión y Control.

Fuente (TesisIZP2014)

b. Etapa de Sensado y Acondicionamiento de Señales:

Equipos y Circuitos	Cantidad	Tasa de Falla (FIT) Total
<i>Circuito Microcontrolador</i>	<i>1</i>	<i>1150</i>
<i>Circuito Acondicionador de Sensado de LDR</i>	<i>1</i>	<i>950</i>
<i>Circuito Acondicionador de Sensado de Nivel y Finales de Carrera</i>	<i>1</i>	<i>1000</i>
TOTAL		3100

Tabla 6.2 Tasa de Fallas, Sensado y Acondicionamiento de Señales.

Fuente (TesisIZP2014)

c. Etapa del Sistema Solar Fotovoltaico:

Equipos y Circuitos	Cantidad	Tasa de Falla (FIT) Total
<i>Panel Fotovoltaico 10W</i>	<i>1</i>	<i>10000</i>
<i>Panel Fotovoltaico 3W</i>	<i>1</i>	<i>10000</i>
<i>Circuito Regulador de Tensión de 5v y 12v</i>	<i>1</i>	<i>1100</i>
TOTAL		21100

Tabla 6.3 Tasa de Fallas, Sistema Solar Fotovoltaico.

Fuente (TesisIZP2014)

d. Etapa de Posicionamiento:

Equipos y Circuitos	Cantidad	Tasa de Falla (FIT) Total
<i>Motor 12 VDC</i>	2	3600
TOTAL		3600

Tabla 6.4 Tasa de Fallas, Posicionamiento.

Fuente (TesisIZP2014)

e. Etapa de Circuitos de Acondicionamiento de Actuadores:

Equipos y Circuitos	Cantidad	Tasa de Falla (FIT) Total
<i>Circuito Acondicionamiento para motores</i> <i>Puente H</i>	1	1200
<i>Circuito de Acondicionamiento de Válvulas</i>	1	950
TOTAL		2150

Tabla 6.5 Tasa de Fallas, Acondicionamiento de Actuadores

Fuente (TesisIZP2014)

A continuación se realiza el cálculo de la confiabilidad:

$$\lambda_{sis} = \sum \lambda_{comp}$$

Dónde:

$$\lambda_{sis} = 15800 \times 10^{-9} + 3100 \times 10^{-9} + 21100 \times 10^{-9} + 3600 \times 10^{-9} + 2150 \times 10^{-9}$$

$$\lambda_{sis} = 45750 \cdot 10^{-9}$$

También:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Entonces:

$$MTBF = \frac{1}{45750 \cdot 10^{-9}}$$

$$MTBF = 21857 \text{ horas} = 2.5 \text{ años}$$

Por lo tanto la probabilidad de falla del equipo es de una en 2.5 años. Además como nuestro equipo solo funcionara durante horas de exposición solar alta, es que solo funcionara aproximadamente el 40% del día lo que disminuye la tasa de probabilidad de errores. Por lo tanto:

$$MTBF = 2.5 \text{ años} : 0.4 = 6.25 \text{ años}$$

Al dividir 0.4 por el MTBF, repartimos la tasa de error por día, lo que provoca un incremento en tiempo para que ocurra una falla. Finalmente tenemos la probabilidad de un error a los 6.25 años.

6.2 COSTOS POR MANTENIMIENTO

El costo de mantenimiento del equipo corresponde al del tipo preventivo, lo que significa que periódicamente se hace una revisión del equipo para comprobar su correcto funcionamiento y evitar fallas a futuro.

Definimos la lista de equipos a los cuales se dará mantenimiento y el tiempo estimado para iniciarlo:

Equipo	Periodo de revisión	Tiempo empleado
Cañerías, tuberías y olla	6 meses	6 horas
Componentes de Potencia (Motores y Válvulas)	1 año	3 horas
Circuitería Electrónica	2 años	3 horas
Cableado y Sensores	2 años	2 horas

Tabla 7.1 Mantenimiento básico.

Fuente (TesisIZP2014)

A partir de esta tabla es que se formula un programa de mantenimiento semestral, obteniendo los siguientes costos:

Equipo	Periodo de revisión	Costo Aproximado
Cañerías, tuberías y olla	6 meses	s./ 50.00
Componentes de Potencia (Motores y Válvulas)	1 año	s./ 20.00
Circuitería Electrónica	2 años	s./ 20.00
Cableado y Sensores	2 años	s./ 15.00
	TOTAL	s./ 105.00

Tabla 7.2 Costo por mantenimiento básico.

Fuente (Tesis IZP2014)

Todos los valores fueron estimados a partir de consultas realizadas a técnicos en el campo, siendo este el costo total por mantenimiento. Hay que tener en cuenta que los periodos de mantenimiento son distintos dependiendo del equipo, por lo tanto el costo total en 2 años (tiempo de realización de un mantenimiento completo) es de s./ 275.00.

7. CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA

Un método eficiente de utilización de la energía generada es la apropiada distribución de la electricidad. En el Sistema propuesto se realiza una revisión del esquema de distribución y de esta forma se minimiza sus pérdidas. A continuación se muestra el Consumo Energético del Sistema en su extensión.

ITEM	DESCRIPCION DE EQUIPOS Y CIRCUITOS	CONSUMO EN AMPERIOS
1	Microcontrolador 16F877A	0.075
2	Circuito de Regulado de Tensión	0.055
3	Circuito de Sensado de LDR	0.050
4	Circuito Puente H control Motores	0.110
5	Circuito Control de Válvulas	0.085
6	Circuito Final de Carrera y Sensado de Nivel	0.035
7	2 Motores 12 VDC	0.600
8	Válvulas Selenoides	0.400
9	Circuitos de Protección	0.025
10	Pantalla LCD 2 x 16	0.120
11	Circuito de activación del Motor DC Puente H	0.150
12	Interruptores y Botones	0.010
13	Pérdidas por Cableado y Cauceería	0.050
CONSUMO TOTAL EN AMPERIOS		1.765

Tabla 7.3 Consumo Energético del Sistema.

Fuente (TesisIZP2014)

En las etapas de potencia y control, tanto del Sistema seguidor solar como del Control de Válvulas, existe un consumo de 1.765 A. Diariamente, el sistema deberá mantener un balance energético entre la cantidad generada y la consumida. Para el sistema se tiene; tensiones de trabajo que comprenden los 12 y 5 voltios. Todas las cantidades proporcionadas en la Tabla 7.1 se obtienen de promedios de las mediciones hechas en los circuitos en un día óptimo para el trabajo del sistema. No se toman en cuenta los valores de consumo del sistema SCADA debido a que solo será utilizado para monitoreo remoto.

8. ANÁLISIS DE COSTOS Y AHORROS ECONÓMICOS

En la actualidad, el importe de la inversión inicial es el componente de coste más relevante en una instalación fotovoltaica. Para lo cual se desarrolla, el cálculo del ahorro de energía y económico asociado a la construcción del Sistema Implementado y de los impactos ambientales evitados.

El sistema está alimentado únicamente con paneles solares que proporcionan voltajes promedios de 22 VDC los cuales los regulamos y alimentan todos los circuitos.

La cocina seguidor solar proporciona calor únicamente con radiación solar lo que permite el ahorro en energía térmica, la cual es de muy elevado costo en todas sus otras alternativas.

A continuación se describe la metodología que se sigue para calcular el consumo y el monto consumido por electricidad del Sistema.

El sistema va a consumir una cantidad de energía eléctrica que depende del tiempo que lo mantengamos encendido, así como de su potencia eléctrica; es por ello que primero, se debe conocer el valor de su potencia eléctrica, generalmente expresado en Watts (W) y las horas de encendido del equipo (horas de uso promedio por día); luego se toman dichos valores y se aplica el siguiente cálculo:

$$\text{Energía Eléctrica} = \text{Potencia Eléctrica (W)} \times \text{tiempo de uso en horas (h)}$$

$$\text{Energía Eléctrica (Watts por hora)} = Wh \quad (8.1)$$

Las unidades obtenidas cuando se aplica la fórmula anterior son Wh, este valor se debe multiplicar por la cantidad de días de uso al mes y dividirlo entre 1000 para obtener los KWh que indica el recibo eléctrico (1000 Wh = 1 KWh).

$$\text{Consumo en KWatts} = (Wh \times \text{días}) / 1000 \quad (8.2)$$

Para estimar el monto en soles, que se debe pagar por el recibo eléctrico con esa energía consumida; se tiene el precio vigente de S/. 0.3840 por KWh.

Item	Descripción del Componente	Potencia (Watts)	Exposición N° Días	Exposición N° Horas	Consumo K Wh	Costo S/. 0.384Kwh
1	Motor Vertical	4.8	30	9.6	1.38	0.53
2	Motor Horizontal	4.6	30	9.6	1.32	0.50
	Potencia Promedio	4.7			1.35	0.51
3	Válvula Condensador	2.6	30	9.6	0.74	0.28
4	Válvula Olla Solar	2.6	30	9.6	0.74	0.28
	Potencia Promedio	2.6			0.74	0.28
5	Etapa de Control	1.2	30	9.6	0.34	0.13
	SUBTOTAL	8.5			2.43	0.92
	IGV					0.16
	TOTAL					1.08

Tabla 8.1 Consumo y costo del Sistema en KWh.

Fuente (TesisIZP2014)

Este cálculo corresponde al consumo de electricidad del sistema. Se debe verificar si existen otros rubros de facturación, lo cual hace que el monto varíe. De acuerdo al precio establecido, se obtiene el costo de S/. 1,08 al mes, por el funcionamiento del condensador de Agua Solar. Lo que significa que en caso de avería de los paneles fotovoltaicos, se podría utilizar el suministro de la red eléctrica generando aun así un muy bajo costo.

9. COSTE ECONÓMICO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

A continuación se muestra una tabla con el coste económico detallado de la construcción del proyecto:

CANT	DESCRIPCION DE EQUIPOS	P. UNIDAD S/.	IGV (18%)	P. TOTAL S/.
01	Estructura Metálica de la cocina Seguidor solar	560.00	100.80	660.80
02	Paneles Reflectores de Yeso	50.00	18.00	118.00
01	Sistema de Control	128.00	23.04	151.04
01	Fabricación y Construcción de Olla solar	190.00	34.20	224.20
01	Módulo Fotovoltaico 10W	80.00	14.40	94.40
01	Módulo Fotovoltaico 3W	35.00	6.30	41.30
02	Motores 12VDC	35.00	12.60	82.60
01	Pantalla LCD 16 x 2	16.00	2.88	18.88
01	Condensador de Agua	25.00	4.50	29.50
01	Válvula Selenoide a 12 VDC	15.00	5.40	20.40
02	Contenedores de Agua	30.00	10.80	70.80
01	Mangueras y Tuberías	59.00	10.62	69.62
01	Estructura metálica de Soporte	80.00	14.40	94.40
01	Caja contenedora de Circuitos	120.00	22.80	142.80
01	Licencia de 10 TAGS SCADA FAST-TOOLS	223.20	42.40	265.60
01	Mantenimiento anual del equipo	112.75	24.75	137.50
			PRECIO TOTAL S/.	2221.84

Tabla 9.1 Coste económico del Proyecto

Fuente (TesisIZP2014)

La inversión del presente proyecto demanda un desembolso inicial de S/. 2221,84 el mismo que tiene un bajo mantenimiento y escaso de averías. Es posible reducir los costos ya que se hicieron modificaciones que alteraron el costo final.

CONCLUSIONES

La metodología empleada en este proyecto, partió desde la problemática y la necesidad de buscar recursos de agua pura y apta para el consumo humano, que a su vez tenga un bajo costo y no produzca daño alguno al medio ambiente. Posteriormente se planteó un diseño general que cubría todas estas expectativas.

En cada una de las fases se hizo el análisis correspondiente, el diseño y la construcción requerida; usando en cada etapa los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria y experiencia profesional, donde satisfactoriamente se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Se logró implementar un sistema de Seguimiento Solar en dos ejes eficiente; es decir reducir el esfuerzo mecánico para el movimiento y posicionamiento de nuestro sistema para obtener la máxima captación de energía solar durante el día.
2. Se construyó el filtro por condensación de agua basado en una cocina solar por reflexión, para obtener una mayor eficiencia y conseguir altas temperaturas en corto tiempo.
3. El diseño del plato seguidor solar y todo el sistema en general, están relacionados directamente con las condiciones climatológicas de la región donde se desenvuelva. En este caso, fue diseñado para utilizarse en la región de Arequipa.
4. Se desarrolló un sistema de control basado en un microcontrolador PIC 16F877A, se construyeron también circuitos transductores y de potencia para el control de todas las variables que el sistema requirió.
5. Todo el sistema fue programado en PIC C desarrollado en lenguaje C++ y posteriormente grabado mediante el programa PICKIT 2.

6. La cantidad de agua que se puede filtrar por día es muy elevada y además de muy alto nivel de pureza, por este motivo es que el sistema resulta ser muy eficiente.
7. Es posible utilizar el sistema para destilar otros tipos de componentes como licores, tan solo haciéndole ligeras modificaciones.
8. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía; limpia, alternativa y renovable, para la sustitución progresiva de la energía convencional.
9. Lo que se demuestra en esta tesis, es la capacidad del Sol para purificar elementos, en este caso el agua, además la utilización máxima y eficiente de este recurso natural que abunda y no contamina. La calidad y el bajo costo que genera a largo plazo, hace de este proyecto un precursor para desarrollar nuevas tecnologías de purificación, basados en energía limpia que reducen el calentamiento global.
10. Además de todos los aportes asociados a este trabajo de tesis, está demás incluir el trabajo de desarrollo en sistemas SCADA. Se utilizó una versión muy moderna que permitió una fácil incorporación al sistema previamente diseñado.
11. Finalmente quiero dejar patente con mi proyecto:
 - Diseño del Sistema de Seguimiento Solar en 2 Ejes
 - Diseño de Olla Solar de Presión
 - Diseño de Sensores de fibras de Cobre
 - Desarrollo del Programa para el Sistema en Lenguaje C++
 - Diseño de programa de protocolo MODBUS en PIC16F877A
 - Diseño de Pantallas SCADA

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones para mejoramiento de este proyecto, se plantea lo siguiente:

1. Para que nuestro sistema sea completamente autónomo se puede implementar, por medio de un LDR, un pequeño sistema a base de baterías para indicar cuando las condiciones del sol sean favorables para el funcionamiento del proyecto en mención.
2. Para darle mayor protección a los circuitos de control se puede aislar el sistema bajo un tablero que pueda brindarle sombra y una temperatura ideal para su funcionamiento.
3. Cuando un tipo de energía (*luz solar*) se transforma en otro tipo (*energía eléctrica*) la transformación no puede llevarse a cabo sin que ocurran *pérdidas*. Las pérdidas ocurren en toda las etapas del Sistema Fotovoltaico, por ello en el diseño se debe estimar las pérdidas del sistema y agregarlas a la parte generadora, a fin de no perder el balance entre generación y consumo.
4. Para darle mayor eficiencia, es posible acoplar los paneles solares al seguimiento del reflector solar, esto incrementaría su potencia por hora, lo que brindaría mayor energía en caso fuese necesario.
5. El mantenimiento de la instalación es fundamental para conseguir que la misma alcance una vida útil de al menos 20 años. El mantenimiento se puede clasificar como preventivo y correctivo.
6. Es muy importante mantener almacenar el agua destilada en un recipiente seguro libre de contaminación y en lo posible ingerirla lo más pronto posible.
7. El mantenimiento preventivo en instalaciones fotovoltaicas es muy sencillo si la puesta en marcha se hizo de forma correcta. Básicamente, éste consiste en:
 - Seguimiento de la producción eléctrica y temperatura de la Olla solar, detectando producciones anómalas, esto sirve para detectar malos funcionamientos, malas calibraciones de los sensores o fallas en los paneles fotovoltaicos.
 - Limpieza periódica de los módulos para prevenir la caída de producción eléctrica y de reflexión solar hacia la Olla ubicada en el foco del Plato Solar.

- Sustitución de aceites y lubricantes para los actuadores, así como para los ejes de giro del plato reflector seguidor solar.
 - Inspección visual de la protección galvánica, es decir, observar si existen descascarillados en el metal y de ser así, aplicar pinturas anticorrosión.
8. El mantenimiento correctivo, es aquel que hace falta cuando se avería algún componente. Lo más común son fallos en conexiones de cableado, ya que están expuestos a altas temperaturas y en muchos casos pueden tender a derretirse. Como los circuitos están en diferentes placas es muy sencillo ubicar las averías y reemplazar los componentes y/o circuitos en caso fuera necesario.
9. El sistema también podría ser utilizado para destilación de otros productos (vino, pisco, etc.), para lo cual solo sería necesario hacer algunas modificaciones.



BIBLIGRAFÍA Y ENLACES ELECTRÓNICOS

- Cálculo de la Energía Solar, Dr. Ing. José Javier García Badell, 2007

- Energía Solar en sistemas de 12 Voltios, Michel Daniek, EcoHabitar, 2012
- Ministerio de Energía y Minas, Dirección Ejecutiva de Proyectos, SENAMHI, año 2003, Atlas de Energía Solar del Perú. Proyecto Per/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica En El Perú.
- Electrical Circuits David Dreyer, Year 2010, Exploring Science
- Green Energy Consultoría y Servicios SRL ©, M. Sc. Ing. Carlos Orbegozo, Ing. Roberto Arivilca, Manual Técnico para Instalaciones Domiciliarias, Energía Solar Fotovoltaica 2010.
- Válvulas de Control, Instrumentación y Comunicaciones Industriales, Ing. José Roberto Vignoni, Año 2005
- Cocinas Solares, Manual de Uso y Construcción, CENSOLAR, Centro de estudios de la energía Solar.
- Microcontroladores 16F877A y 16F877, Ing. Daniel Rodrigo Salvatierra Figueroa, Alfaomega, 2010
- FAST-TOOLS 10.1 User Manual, 2014 Holland
- <http://www.geocities.com/tecnocolibri/destilada.html>
- <http://cocinasolar.isf.es/>
- <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-376.htm>
- <http://www.gracias-sol.com/fterracocinasolar.pdf>
- http://energiaverde.pe/wp-content/uploads/2010/06/Manual_ES_termica.pdf
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Destilaci%C3%B3n>
- <http://proyectosfie.com/html/documentos/ControlTempYoel.pdf>
- http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_2b.htm
- <http://www.monografias.com/trabajos18/descripcion-pic/descripcion-pic.shtml>
- <http://es.scribd.com/doc/44252680/LCD-16X2>
- <http://www.gastronomiasolar.es/p/cocina-solar.html>

- http://www.google.com.pe/imgres?imgurl=http://www.yoreparo.com/foros/files/motorcc_puentehinterlock2.gif&imgrefurl=zzhttp://www.forosdeelectronica.com/f23/disenio-puente-h-mosfet-motor-dc-12v-
- <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet2/8/0ishsf7y9sp31h690e60g8gcl3y.pdf>
- <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/fairchild/TIP31.pdf> // TIP31
- <http://www.eurotherm.es/industries/life-sciences/applications/water-purification/>
- http://www.upct.es/~minaees/analisis_microbiologico_aguas.pdf





ANEXOS

L293B - L293E

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_s	Supply Voltage	36	V
V_{ss}	Logic Supply Voltage	36	V
V_i	Input Voltage	7	V
V_{inh}	Inhibit Voltage	7	V
I_{out}	Peak Output Current (non repetitive t = 5ms)	2	A
P_{tot}	Total Power Dissipation at $T_{ground-pins} = 80^{\circ}\text{C}$	5	W
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to +150	$^{\circ}\text{C}$

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	Value	Unit
$R_{th\ j-case}$	Thermal Resistance Junction-case Max.	14	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient Max.	80	$^{\circ}\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

For each channel, $V_s = 24\text{V}$, $V_{ss} = 5\text{V}$, $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_s	Supply Voltage		V_{ss}		36	V
V_{ss}	Logic Supply Voltage		4.5		36	V
I_s	Total Quiescent Supply Current	$V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{inh} = H$ $V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{inh} = H$ $V_{inh} = L$		2 16	6 24 4	mA
I_{ss}	Total Quiescent Logic Supply Current	$V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{inh} = H$ $V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{inh} = H$ $V_{inh} = L$		44 16 16	60 22 24	mA
V_{iL}	Input Low Voltage		-03.		1.5	V
V_{iH}	Input High Voltage	$V_{ss} \leq 7\text{V}$ $V_{ss} > 7\text{V}$	2.3 2.3		V_{ss} 7	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current	$V_{iL} = 1.5\text{V}$			-10	μA
I_{iH}	High Voltage Input Current	$2.3\text{V} \leq V_{iH} \leq V_{ss} - 0.6\text{V}$		30	100	μA
V_{inhL}	Inhibit Low Voltage		-0.3		1.5	V
V_{inhH}	Inhibit High Voltage	$V_{ss} \leq 7\text{V}$ $V_{ss} > 7\text{V}$	2.3 2.3		V_{ss} 7	V
I_{inhL}	Low Voltage Inhibit Current	$V_{inhL} = 1.5\text{V}$		-30	-100	μA
I_{inhH}	High Voltage Inhibit Current	$2.3\text{V} \leq V_{inhH} \leq V_{ss} - 0.6\text{V}$			± 10	μA
V_{CEsatH}	Source Output Saturation Voltage	$I_o = -1\text{A}$		1.4	1.8	V
V_{CEsatL}	Sink Output Saturation Voltage	$I_o = 1\text{A}$		1.2	1.8	V
V_{SENS}	Sensing Voltage (pins 4, 7, 14, 17) (**)				2	V
t_r	Rise Time	0.1 to 0.9 V_o (*)		250		ns
t_f	Fall Time	0.9 to 0.1 V_o (*)		250		ns
t_{on}	Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.5 V_o (*)		750		ns
t_{off}	Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.5 V_o (*)		200		ns

* See figure 1

** Referred to L293E

TRUTH TABLE

V_i (each channel)	V_o	V_{inh} (-)
H	H	H
L	L	H
H	X (*)	L
L	X (*)	L

(*) High output impedance

(**) Relative to the considerate channel

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp., TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-202 Package,	-65°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C

SO Package (Note 12):

Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

ESD Susceptibility (Note 11) 2500V

Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)

LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			°C

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5V$ and $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W , junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-202 package is 85°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6) (Continued)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = -10^{\circ}\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^{\circ}\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+ 10.0$	$+ 9.8,$ $+ 10.2$		$+ 10.0$		$+ 9.8,$ $+ 10.2$	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^{\circ}\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^{\circ}\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^{\circ}\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+ 0.39$		$+ 0.7$	$+ 0.39$		$+ 0.7$	$\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^{\circ}\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^{\circ}\text{C}$

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^{\circ}\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (LM7805)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.8	5.0	5.2	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7\text{V to } 20\text{V}$	4.75	5.0	5.25	
Regline	Line Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	4.0	100	mV
		$V_O = 7\text{V to } 25\text{V}$		1.6	50.0	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	9.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$		4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.03	0.5	mA
		$V_I = 7\text{V to } 25\text{V}$	–	0.3	1.3	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	42.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62.0	73.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	15.0	–	m Ω
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A



Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	2.9	5.0	-	2.9	7.0	-	2.9	7.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	3	30	-	5	50	-	5	50	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	45	150	-	45	250	-	45	250	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	$V_{CC} = 30V$ (LM2904, $V_{CC}=26V$)	0	-	V_{CC} -1.5	0	-	V_{CC} -1.5	0	-	V_{CC} -1.5	V
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30V$ (LM2904, $V_{CC}=26V$)	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		$R_L = \infty$, $V_{CC} = 5V$	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L = 2k\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	$V_{CC}=30V$, $R_L = 2k\Omega$	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		$V_{CC}=26V$ for LM2904, $R_L = 10k\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L = 10k\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	80	-	50	80	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Channel Separation	CS	$f = 1kHz$ to $20kHz$ (Note1)	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I_{SC}	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	20	30	-	20	30	-	20	30	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$, $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	10	15	-	10	15	-	10	15	-	mA
		$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$, $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 200mV$	12	100	-	12	100	-	-	-	-	μA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

Note:

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A

Electrical Characteristics (Continued)

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, unless otherwise specified)

The following specifications apply over the range of $-25^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$ for the LM258; and the $0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$ for the LM358; and the $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$ for the LM2904

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} - 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	$R_S = 0\Omega$	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu V/^{\circ}C$
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	100	-	-	150	-	45	200	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$pA/^{\circ}C$
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	300	-	40	500	-	40	500	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	$V_{CC} = 30V$ (LM2904, $V_{CC} = 26V$)	0	-	$V_{CC} - 2.0$	0	-	$V_{CC} - 2.0$	0	-	$V_{CC} - 2.0$	V
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L = 2.0k\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	$V_{CC} = 30V$, $R_L = 2k\Omega$	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		$V_{CC} = 26V$ for LM2904, $R_L = 10k\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L = 10k\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	10	30	-	10	30	-	10	30	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	5	8	-	5	9	-	5	9	-	mA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

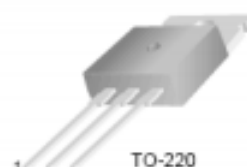


TIP31/TIP31A/TIP31B/TIP31C NPN Epitaxial Silicon Transistor

Features

- Complementary to TIP32/TIP32A/TIP32B/TIP32C

July 2008



1. Base 2. Collector 3. Emitter

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : TIP31	40	V
	: TIP31A	60	V
	: TIP31B	80	V
	: TIP31C	100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : TIP31	40	V
	: TIP31A	60	V
	: TIP31B	80	V
	: TIP31C	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	3	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	5	A
I_B	Base Current	1	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	40	W
	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CEO(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage : TIP31 : TIP31A : TIP31B : TIP31C	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$	40 60 80 100		V V V V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current : TIP31/31A : TIP31B/31C	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = 60\text{V}, I_B = 0$		0.3 0.3	mA mA
I_{CES}	Collector Cut-off Current : TIP31 : TIP31A : TIP31B : TIP31C	$V_{CE} = 40\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = 60\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = 80\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = 100\text{V}, V_{EB} = 0$		200 200 200 200	μA μA μA μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$		1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 1\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 3\text{A}$	25 10	50	
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 3\text{A}, I_B = 375\text{mA}$		1.2	V
$V_{BE(sat)}$	* Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 3\text{A}$		1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 10\text{V}, I_C = 500\text{mA}, f = 1\text{MHz}$	3.0		MHz

* Pulse Test: $PW \leq 300\text{ms}$, Duty Cycles $\leq 2\%$

Los siguientes códigos son algunos de los códigos de función MODBUS más extendidos, soportados por todos los dispositivos que cumplen con las especificaciones del estándar (controladores de MODICON):

- Función 1 Read Coil Status
- Función 2 Read Input Status
- Función 3 Read Holding Registers
- Función 4 Read Input Registers
- Función 5 Force Single Coil
- Función 6 Preset Single Register
- Función 7 Read Exception Status
- Función 8 Diagnostics
- Función 9 Program 484
- Función 10 Poll 484
- Función 11 Fetch Communication Event Counter
- Función 12 Fetch Communication Event Log
- Función 13 Program Controller
- Función 14 Poll Controller
- Función 15 Force Multiple Coils
- Función 16 Preset Multiple Registers
- Función 17 Report Slave ID
- Función 18 Program 884/M84
- Función 19 Reset Comm. Link
- Función 20 Read General Reference
- Función 21 Write General Reference
- Función 22 Mask Write 4X Register
- Función 23 Read/Write 4X Registers
- Función 24 Read FIFO Queue

Función 1 o 2 (1 Read Coil Status - 2 Read Input Status):

Permite realizar la lectura del estado de las DIs (@1XXXX el comando 2-Read input status) o DIs (@0XXXX el comando 1-Read Coil Status). Para ello el maestro solicita el número de bits que desea leer a partir de una determinada dirección. Cada dirección se corresponde con un registro de 1 bit con el estado de la entrada digital. El esclavo responde indicando el número de bits que retorna y sus valores. En la trama de respuesta se aprovechan todos los bits del byte, y puede haber hasta 256 bytes.

Petición del máster (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x01 o 0x02

Dirección del registro (de 1 bit) a leer H

Dirección del registro (de 1 bit) a leer L

Nº de bits que se desea leer H

Nº de bits que se desea leer L

CRC(16): H

CRC(16):

Respuesta del esclavo (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x01 o 0x02

Nº bytes leídos: 1 byte

Octetos: max 256 bytes

CRC(16): H

CRC(16): L

Función 3 o 4 (3 Read Holding Registers – 4 Read Input Registers) :

Permite realizar la lectura del valor de las AIs (@4XXXX el comando 3 Read Holding Registers) o AOs (@3XXXX el comando 4 Read Input Registers). El máster indica la dirección base y número de palabras a leer a partir de esta, mientras que el esclavo indica en la respuesta el número bytes retornados, seguido de estos valores. Aunque en realidad se está escribiendo en el rango de registros o valores numéricos , los registros son direccionados a partir de la dirección 0 (así el registro @40001 se direcciona 0)

Petición del máster (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x03 o 0x04

Dirección del registro :

Nº de datos que se desea leer: max 128 datos

Respuesta del esclavo (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x03 o 0x04

Nº de bytes leídos: 1 byte

Datos: ¿ max 128 datos ?

CRC(16): H L

Ej 1:

P:[01][03][01][00][00][06][C4][34]

R:[01][03][0C][20][81][00][00][00][00][00][00][00][1C][01][76][F1]

Ej 2:

P:[0A][04][00][00][00][0A][71][76]

0A numero de periférico

04 función de lectura

00 00 registro donde se va a comenzar la lectura

00 0A numero de registros a leer: 10

71 76 CRC

R:[0A][04][14][00][00][08][4D][00][00][23][28][00][00][0F][A0][00][00][00][90][00][00][00][60][CB][2E]
]

0A Número del periférico que responde, 10 en decimal

04 Función de lectura - la que se ha utilizado en la pregunta

14 Número de bytes recibidos (20).

00 00 08 4D V1x 10 (registro 00 Hex) con valor en decimal 212,5 V

00 00 23 28 mA 1, en decimal 9000 mA

00 00 0F A0 W 1, en decimal 4000 W

00 00 00 90 varL 1, en decimal 144 varL

Ej 3:

Lectura en el esclavo @1 de 16 registros a paritir de la direccion 0x0030

01 direccion del esclavo que responde

03 Función de lectura

20 Numero de bytes recibidos

[illegible]

42 CF CRC H L

Función 5 (Force Single Coil):

Permite modificar el estado de una DO del esclavo (mando o relé) . Es decir mediante este comando podemos modificar algún bit de alguna de las variables internas del esclavo u ordenar la ejecución o activación de un mando. Actúa sobre la zona de memoria de los DOs @0XXXX . El Maestro especifica la dirección del bit o mando que quiere modificar seguido de 0x00 para ponerlo a 0 o 0xFF para ponerlo a 1. El esclavo responde con una trama similar indicando la dirección que ha modificado y el valor que ha establecido en el bit o mando.

Petición del máster (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x05

Dirección del bit:

Estado para el bit: 0xXX (0x00 : 0 , 0xFF : 1)

Byte a 0x00

CRC(16): H L

Respuesta del esclavo (modo RTU):

Código Operación: 0x05

Dirección del bit:

Estado para el bit: 0xXX (0x00 : 0 , 0xFF : 1)

Byte a 0x00

CRC(16): H L

Ej 1 :

P:[01][05][00][01][FF][00] [DD][FA]

R:[01][05][00][00][FF][00][8C][3A]

Ej 2:

P:[01][05][00][00][00][00][CD][CA]

R:[01][05][00][01][00][00] [9C][0A]

Función 6 (Preset Single Register) :

Permite la escritura en las AOs del esclavo (ya sea una señal o valor interno del equipo), y por tanto actúa sobre la zona de memoria de las AOs (@4XXXX). Deberemos indicar la dirección del valor que queremos modificar y la magnitud que queremos asignarle. Luego el esclavo debería responder con la dirección del dato que ha modificado y el valor que le ha asignado, que debería coincidir con el enviado. Aunque en realidad se está escribiendo en el rango de AOs , los registros son direccionados a partir de la dirección 0 (así el registro @40001 se direcciona 0)

Petición del máster (modo RTU):

Nº Esclavo

Código Operación: 0x06

Dirección del dato:

Valor del dato:

CRC(16): H L

Respuesta del esclavo (modo RTU):

Nº Esclavo

Código Operación: 0x06

Dirección del dato:

CRC(16): H L

Ej:

P:[01][06][01][F1][00][02][58][04]

R:[01][06][01][F1][00][02][58][04]

Función 7 (Read Exception Status) :

Permite la lectura rápida de un byte fijo de un esclavo, que generalmente es el de excepción y que informa del estado del equipo. No tiene dirección del byte debido a que siempre se lee el mismo byte (determinado por el propio dispositivo esclavo) :

Petición del master (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x07

CRC(16): H L

Respuesta del esclavo (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x07

Valor del octeto:

CRC(16): H L

Función 15 (Force Multiple Coils):

Permite la modificación simultanea de varios bits de DOs en el esclavo, pasándolos a OFF ('0') o a ON ('1') según convenga. Actúa sobre la zona de memoria de las DOs (@0XXXX). Así en el comando se pasan la dirección inicial (dirección del primer bit o mando a modificar) y la cantidad y estado de cada uno de los sucesivos mandos (bits) a modificar.

Petición del máster (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x0F

Dirección inicial de los mandos (bits) H

Dirección inicial de los mandos (bits) L

Cantidad de mandos (bits) H

Cantidad de mandos (bits) L

Cantidad de bytes enviados con el estado de los mandos (bits)

Estado de los 8 primeros mandos (bits) a modificar

Estado de los 8 siguientes mandos (bits) a modificar

...

Estado de los 8 últimos mandos (bits) a modificar

CRC(16): H L

Aunque el estado de las DOs se especifica bit a bit, las tramas se componen de bytes, y esto obliga a enviar los estados en grupos de 8. El esclavo no debería hacer caso a los bits sobrantes, es decir, no debería considerar los que queden por encima del último bit indicado en el campo “cantidad de mandos a modificar”. Así, si quisiéramos modificar 12 mandos o relés a partir de la dirección 7, indicaríamos como dirección origen la dirección 7, como cantidad de mandos a modificar 12, y en el campo de estado de mandos: 0x3C , 0x0B (el esclavo no considerará los que queden por encima del 12o bit)

Relé: 14 13 12 11 10 09 08 07 - 22 21 20 19 18 17 16 15

Bits: 0 1 1 1 1 0 0 0 X X X X 1 0 1 1

Respuesta del esclavo (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x0F

Dirección inicial de los mandos o bits consecutivos H

Dirección del mando o bit L

Cantidad de mandos o bits H

Cantidad de mandos o bits L

CRC(16): H L

Función 16 (Preset multiple registers):

Permite realizar la escritura en un grupo de AOs, y por tanto actúa sobre la zona de AOs (@4XXXX). Se debe especificar la dirección a partir de la que queremos comenzar a actualizar valores, el número de valores que queremos actualizar, y la lista de valores que queremos asignar a estos registros. Aunque se está

escribiendo en el rango de registros o valores numéricos , los registros son direccionados a partir de la dirección 0 (es decir el registro @40001 se direcciona 0)

Petición del máster (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 0x10

Dirección base de los datos: 2 bytes

Número de datos: 2 bytes

Valor del dato 0: 2 bytes

Valor del dato 1: 2 bytes

...

Valor del dato n: 2 bytes

CRC(16): H L

Respuesta del esclavo (modo RTU):

NºEsclavo

Código Operación: 10H

Dirección base de los datos: 2 bytes

Número de datos: 2 bytes

CRC(16): H L

Función 20 (Read General Reference):

Retorna el contenido de los registros de la Extended Memory (@6XXXX). En la trama se envía la dirección del esclavo, el código de función, el número de bytes que se va a leer y los bytes de comprobación de error. En los datos se establece el grupo o grupos o referencias a leer. Cada grupo se define en un campo "sub-request" que contiene:

- Reference type: 1 byte (debe ser 6)
- Extended Memory file number: 2 bytes (0x01 a 0x0A)
- La dirección del "fichero" a partir de la que queremos comenzar a leer: 2 bytes
- La cantidad de registros a leer: 2 bytes

Los datos a leer seguidos de los demás campos no debe superar la longitud máxima permitida en los mensajes MODBUS, es decir los 256 bytes.

Slave Address 0x11

Function 0x14

Byte Count 0x0E

Sub-Req 1, Reference Type 0x06

Sub-Req 1, File Number Hi 0x00

Sub-Req 1, File Number Lo 0x04

Sub-Req 1, Starting Addr Hi 0x00

Sub-Req 1, Starting Addr Lo 0x01

Sub-Req 1, Register Count Hi 0x00

Sub-Req 1, Register Count Lo 0x02

Sub-Req 2, Reference Type 0x06

Sub-Req 2, File Number Hi 0x00

Sub-Req 2, File Number Lo 0x03

Sub-Req 2, Starting Addr Hi 0x00

Sub-Req 2, Starting Addr Lo 0x09

Sub-Req 2, Register Count Hi 0x00

Sub-Req 2, Register Count Lo 0x02

Error Check (LRC or CRC)--

Respuesta del esclavo (modo RTU):

Slave Address 0x11

Function 0x14

Byte Count 0x0C

Sub-Res 1, Byte Count 0x05

Sub-Res 1, Reference Type 0x06

Sub-Res 1, Register Data Hi 0x0D

Sub-Res 1, Register Data Lo 0xFE

Sub-Res 1, Register Data Hi 0x00

Sub-Res 1, Register Data Lo 0x20

Sub-Res 2, Byte Count 0x05

Sub-Res 2, Reference Type 0x06

Sub-Res 2, Register Data Hi 0x33

Sub-Res 2, Register Data Lo 0xCD

Sub-Res 2, Register Data Hi 0x00

Sub-Res 2, Register Data Lo 0x40

Error Check (LRC or CRC) ——

Función 21 (Write General Reference):

Modifica el contenido de los registros de la Extended Memory (6XXXX). Esta función permite trabajar en grupos de registros que no tienen porque ser contiguos (internamente sí que han de ser contiguos). Cada grupo se define en un campo "sub-request" que contiene:

- Reference type: 1 byte (debe ser 6)
- Extended Memory file number: 2 bytes (0x01 a 0x0A)
- La direccion del "fichero" a partir de la que queremos comenzar a leer: 2 bytes
- La cantidad de registros a leer: 2 bytes

Los datos a leer seguidos de los demas campos no debe superar la longitud máxima permitida en los mensajes MODBUS, es decir los 256 bytes.

Petición del máster (modo RTU):

Slave Address 0x11

Function 0x5

Byte Count 0x0D

Sub-Req 1, Reference Type 0x06

Sub-Req 1, File Number Hi 0x00

Sub-Req 1, File Number Lo 0x04

Sub-Req 1, Starting Addr Hi 0x00

Sub-Req 1, Starting Addr Lo 0x07

Sub-Req 1, Register Count Hi 0x00

Sub-Req 1, Register Count Lo 0x03

Sub-Req 1, Register Data Hi 0x06

Sub-Req 1, Register Data Lo 0xAF

Sub-Req 1, Register Data Hi 0x04

Sub-Req 1, Register Data Lo 0xBE

Sub-Req 1, Register Data Hi 0x10

Sub-Req 1, Register Data Lo 0x0D

Error Check (LRC or CRC) —

Respuesta del esclavo (modo RTU):

Slave Address 0x11

Function 0x15

Byte Count 0x0D

Sub-Req 1, Reference Type 0x06

Sub-Req 1, File Number Hi 0x00

Sub-Req 1, File Number Lo 0x04

Sub-Req 1, Starting Addr Hi 0x00

Sub-Req 1, Starting Addr Lo 0x07

Sub-Req 1, Register Count Hi 0x00

Sub-Req 1, Register Count Lo 0x03

Sub-Req 1, Register Data Hi 0x06

Sub-Req 1, Register Data Lo 0xAF

Sub-Req 1, Register Data Hi 0x04

Sub-Req 1, Register Data Lo 0xBE

Sub-Req 1, Register Data Hi 0x10

Sub-Req 1, Register Data Lo 0x0D

Error Check (LRC or CRC) —