



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN  
ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTOR: CHIPUGSI CALERO FREDDY JULIÁN**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
MONITOREO DE ENERGÍA PRODUCIDA POR UN  
COLECTOR SOLAR PLANO**

**DIRECTOR: ING. JIMÉNEZ, MARIO**

**CODIRECTOR: ING. ORTIZ, DIEGO**

**LATACUNGA, AGOSTO 2014**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICADO**

ING. MARIO JIMÉNEZ (DIRECTOR)

ING. DIEGO ORTIZ (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE ENERGÍA PRODUCIDA POR UN COLECTOR SOLAR PLANO”, realizado por FREDDY JULIÁN CHIPUGSI CALERO, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN documento empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan a FREDDY JULIÁN CHIPUGSI CALERO que lo entregue a la Ing. Katya Torres., en su calidad de Directora de la Carrera.

Latacunga, agosto del 2014.

.....

Ing. Mario Jiménez

**DIRECTOR**

.....

Ing. Diego Ortiz

**CODIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo, Freddy Julián Chipugsi Calero.

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE ENERGÍA PRODUCIDA POR UN COLECTOR SOLAR PLANO”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, agosto del 2014.

.....  
Freddy Julián Chipugsi Calero  
CI: 050294354-1

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, Freddy Julián Chipugsi Calero

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas–ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE ENERGÍA PRODUCIDA POR UN COLECTOR SOLAR PLANO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, agosto del 2014.

.....  
Freddy Julián Chipugsi Calero  
CI: 050294354-1

## **DEDICATORIA**

Este proyecto está dedicado a mi madre  
que con su apoyo me ha sacado adelante  
día a día.

Gracias mamá.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas y cada una de las  
personas que me apoyaron  
durante toda mi carrera.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA .....	i
CERTIFICADO .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xv
SUMMARY .....	xvi
CAPÍTULO 1 .....	1
1.1.    TEMA .....	1
1.2.    INTRODUCCIÓN .....	1
1.3.    JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4.    OBJETIVOS .....	2
1.4.1.  OBJETIVO GENERAL .....	2
1.4.2.  OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
CAPÍTULO 2 .....	4
2.1.    COLECTORES SOLARES .....	4
2.2.    CONCEPTOS PREVIOS .....	4
2.2.1.  RADIACIÓN SOLAR .....	4
2.2.2.  IRRADIACIÓN SOLAR .....	5
2.2.3.  BALANCE DE ENERGÍA EN EL CALENTADOR SOLAR .....	6
2.3.    DEFINICIÓN DE UN COLECTOR SOLAR .....	9
2.4.    TIPOS DE COLECTORES SOLARES .....	10
2.4.1.  LOS COLECTORES SOLARES SIN CONCENTRACIÓN .....	10
2.4.2.  COLECTORES SOLARES DE CONCENTRACIÓN .....	11
2.5.    COLECTORES SOLARES PLANOS .....	12
2.5.1.  LAS DIFERENTES ÁREAS DEL CAPTADOR .....	14
2.5.2.  ABSORBEDORES: .....	14

2.6.	COLECTORES PLANOS PROTEGIDOS .....	17
2.7.	COLECTORES PLANOS NO PROTEGIDOS .....	18
2.8.	FUNCIONAMIENTO DE LOS COLECTORES SOLARES PLANOS .....	18
2.8.1.	COLECTOR.....	19
2.8.2.	CONTENEDOR .....	22
2.8.3.	SISTEMA.....	24
2.8.3.	SUBSTANCIA DE TRABAJO.....	25
2.9.	APLICACIONES .....	26
2.10.	SELECCIÓN DE COLECTORES SOLARES PLANOS PARA CALENTAR AGUA .....	27
2.11.	EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR .....	27
2.12.	MEDIDORES DE ENERGÍA TÉRMICA. ....	29
2.12.1.	CARACTERÍSTICAS DE UN MEDIDOR DE ENERGÍA TÉRMICA.....	30
2.12.2.	PARTES DEL CALORÍMETRO.....	30
2.13.	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	35
2.13.1.	DEFINICIÓN .....	35
2.13.2.	SENSORES .....	36
2.14.	ACONDICIONADOR DE SEÑAL .....	41
2.15.	TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	42
2.16.	FUNCIÓN DE LA PC EN UN SISTEMA DAQ.....	43
	CAPÍTULO 3 .....	44
	DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA .....	44
3.1.	SELECCIÓN DEL COLECTOR SOLAR Y DE LOS DISPOSITIVOS A USAR PARA EL SISTEMA DE MONITOREO. ....	44
3.2.	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL COLECTOR SOLAR PLANO.....	45
3.2.1.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE COLECTORES SOLARES PLANOS. ....	45
3.2.2.	ELEMENTOS USADOS PARA SU FUNCIONAMIENTO. ....	45



3.3.	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	50
3.3.1.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	51
3.3.2.	SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS. ....	61
3.3.3.	SOFTWARE A USAR PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS. ....	64
3.3.4.	PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE.....	64
3.3.5.	PROGRAMACIÓN DEL HMI. ....	68
3.3.6.	INTRODUCCIÓN LABVIEW .....	68
3.3.7.	LAZOS EN LABVIEW.....	69
3.3.8.	PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	72
3.4.	DIAGRAMA DE BLOQUE .....	76
3.5.	DIAGRAMA DE SECUENCIA DEL PROGRAMA HMI.....	78
3.5.1.	APLICACIÓN 1 .....	79
3.5.2.	APLICACIÓN 2.....	79
3.5.3.	APLICACIÓN 3.....	80
3.5.4.	PANTALLA DE INICIO AL SOFTWARE. ....	81
3.5.5.	CONTRASEÑA .....	82
3.5.6.	APLICACIONES .....	83
3.5.7.	ANÁLISIS.....	85
	CAPITULO 4 .....	87
	IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	87
4.1	CONEXIONES DE GRIFERÍA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA. ....	87
4.2.	DIAGRAMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS .....	88
4.3.	IMPLEMENTACIÓN DEL HMI.....	89
4.5.	PRUEBAS.....	91
4.5.1.	MEDICIÓN DE LA ENERGÍA INSTANTÁNEA GENERADA POR EL COLECTOR, SIN LA CONEXIÓN O USO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	92

4.5.2.	MEDICIÓN DE LA ENERGÍA ACUMULADA EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	95
4.5.3.	MEDICIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL COLECTOR SOLAR Y ALMACENADO EN EL TERMOTANQUE.....	100
CAPITULO 5 .....		105
5.1.	CONCLUSIONES.....	105
5.2.	RECOMENDACIONES.....	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		107
ANEXOS .....		108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1.	Cálculo de la Irradiación sobre superficie inclinada de 10 grados, en Latacunga .....	6
Tabla N° 2.2.	Características de selección de colectores Planos .....	27
Tabla N° 2.3.	Sensores comunes.....	37
Tabla N° 3.1.	Características del Colector.....	47
Tabla N° 3.2.	Accesorios de Conexión .....	49
Tabla N° 3.3.	Resistencia y temperatura de una Pt-1000.....	53
Tabla N° 3.4.	Datos técnicos del caudalímetro RESOL Modelo V40-0.6.....	60
Tabla N° 3.5.	Características de la DAQ 6008 .....	62
Tabla N° 3.6.	Resumen de la selección de sensores.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1.	Partes del calentador solar.....	7
Figura N° 2.2.	Diagrama del balance de energía en el calentador solar. ....	8
Figura N° 2.3.	Constitución de un Colector Solar.....	9
Figura N° 2.4.	Concentrador Paraboloidal.....	12
Figura N° 2.5.	Colector Solar Plano .....	13
Figura N° 2.6.	Esquema básico de funcionamiento de un colector plano de energía solar térmica. ....	13
Figura N° 2.7.	Representación del comportamiento de la radiación en un colector solar. ....	15
Figura N° 2.8.	Absorbedor tipo parrilla.....	16
Figura N° 2.9.	Ejemplos de recubrimientos. ....	17
Figura N° 2.10.	Colector plano protegido.....	17
Figura N° 2.11.	Funcionamiento de un Colector Solar .....	19
Figura N° 2.12.	Esquema de un colector .....	20
Figura N° 2.13.	Circuito térmico de un colector solar plano con dos cubiertas .....	22
Figura N° 2.14.	Circuito cerrado.....	23
Figura N° 2.15.	Esquema básico funcionamiento por termosifón .....	25
Figura N° 2.16.	Medidor de Energía Térmica .....	29
Figura N° 2.17.	Sonda de Temperatura .....	31
Figura N° 2.18.	Ubicación de portasondas .....	31
Figura N° 2.19.	Montaje del Caudalímetro.....	32
Figura N° 2.20.	Recomendaciones para el montaje del caudalímetro.....	33
Figura N° 2.21.	Diseño del Integrador .....	34
Figura N° 2.22.	Caudalímetros roscados .....	34
Figura N° 2.23.	Caudalímetros embridados.....	35
Figura N° 2.24.	Integrador montado en pared .....	35
Figura N° 2.25.	Esquema de Adquisición de Datos .....	36
Figura N° 2.26.	Sensor- Sonda Pt-100 .....	36
Figura N° 2.27.	Caudalímetros.....	39
Figura N° 2.28.	Caudalímetro tipo turbina .....	40
Figura N° 2.29.	Pérdidas de presión Caudalímetro tipo turbina Resol V40 .....	41

Figura N° 2.30.	Adquisición de datos DAQ .....	42
Figura N° 3.1.	Sistema de calentamiento solar operando en circuito por termosifón .....	46
Figura N° 3.2.	Colector solar Chromagen .....	47
Figura N° 3.3.	Tanque térmico.....	48
Figura N° 3.4.	Accesorios para la instalación .....	50
Figura N° 3.5.	Disposición de los sensores de temperatura y caudal en el Sistema Calentador de Agua .....	51
Figura N° 3.6.	Sensor de temperatura Pt-1000 .....	52
Figura N° 3.7.	Fuente de corriente Pt-1000 .....	54
Figura N° 3.8.	Cambio de voltaje para amplificar .....	55
Figura N° 3.9.	Amplificador no inversor .....	56
Figura N° 3.10.	Amplificador no inversor Acondicionamiento.....	56
Figura N° 3.11.	Amplificador diferencial .....	57
Figura N° 3.12.	Amplificador inversor final.....	58
Figura N° 3.13.	Salida análoga de voltaje .....	58
Figura N° 3.14.	RESOL V40-06.....	60
Figura N° 3.15.	Tarjeta DAQ 6008 .....	62
Figura N° 3.16.	Paso 1(Instalación de NI-DAQmxTM).....	64
Figura N° 3.17.	Paso 2(Instalación de NI-DAQmxTM).....	65
Figura N° 3.18.	Paso 2 (Conexión con la tarjeta DAQ). .....	65
Figura N° 3.19.	Paso 3 (Conexión con la tarjeta DAQ) .....	66
Figura N° 3.20.	Paso 4 (Conexión con la tarjeta DAQ) .....	66
Figura N° 3.21.	Paso 5 (Conexión con la tarjeta DAQ) .....	67
Figura N° 3.22.	Paso 6 (Conexión con la tarjeta DAQ) .....	67
Figura N° 3.23.	Entorno de LabVIEW .....	69
Figura N° 3.24.	Lazo While Loop.....	70
Figura N° 3.25.	Case Structure .....	71
Figura N° 3.26.	Event Structure.....	71
Figura N° 3.27.	DAQ Assistant.....	73
Figura N° 3.28.	Analog Input.....	73
Figura N° 3.29.	Physical Channels.....	74
Figura N° 3.30.	Asistente de programación de la tarjeta DAQ.....	75
Figura N° 3.31.	Configuración Terminada de la tarjeta DAQ .....	75

Figura N° 3.32.	Diagrama de Bloque .....	76
Figura N° 3.33.	Conexiones Aplicación 1 .....	79
Figura N° 3.34.	Conexiones Aplicación 2 .....	80
Figura N° 3.35.	Conexiones Aplicación 3 .....	81
Figura N° 3.36.	Pantalla Inicio de Aplicación .....	82
Figura N° 3.37.	Ventana Contraseña .....	83
Figura N° 3.38.	Submenús de la Ventana Aplicaciones .....	84
Figura N° 3.39.	Ventana Principal de la Aplicación .....	84
Figura N° 3.40.	Libro de Excel Autogenerado .....	85
Figura N° 3.41.	Ventana principal de Análisis .....	86
Figura N° 4.1.	Diagrama de Conexión de la Grifería .....	88
Figura N° 4.2.	Diagrama Eléctrico .....	89
Figura N° 4.3.	Conexión de la entrada a DAQ-6008.....	90
Figura N° 4.4.	Acondicionamiento de señales .....	90
Figura N° 4.5.	Estado de válvulas Aplicación 1 .....	92
Figura N° 4.6.	Submenú ANÁLISIS .....	93
Figura N° 4.7.	Ventana ANALIZAR COLECTOR .....	93
Figura N° 4.8.	Historial generado de la Aplicación 1. ....	94
Figura N° 4.9.	Estado de válvulas Aplicación 2 .....	95
Figura N° 4.10.	Ventana ANALIZAR TANQUE .....	96
Figura N° 4.11.	Ventana Curva de Sensores generada 2. ....	97
Figura N° 4.12.	Ventana CURVA DE ENERGÍA (Análisis 2).....	98
Figura N° 4.13.	Ventana HISTORIAL .....	99
Figura N° 4.14.	Datos Excel-Energía Almacenada en el Termotanque .....	99
Figura N° 4.15.	Estado de válvulas Aplicación 3 .....	101
Figura N° 4.16.	Aviso Análisis COLECTOR - TANQUE .....	102
Figura N° 4.17.	Ventana principal ANALIZAR COLECTOR - TANQUE.....	102
Figura N° 4.18.	Ventana principal Análisis 3 .....	103

## RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado para monitorear la energía térmica que se produce en un sistema de calentamiento de agua por energía solar. El sistema está compuesto por un colector solar plano, un tanque de acumulación y sistemas de accesorios necesarios para su instalación. En el sistema se implementó dos sensores de temperatura que miden la temperatura del agua de avance y de retorno y un medidor de caudal instalados en lugares estratégicos. Las señales obtenidas por estos sensores son acondicionadas previamente para ingresar a una tarjeta de adquisición de datos y mediante el software LabVIEW se procede a realizar el tratamiento de señales y su posterior análisis presentando en las pantallas respectivas. El proyecto implementado cuenta un programa que permite realizar tres aplicaciones de medición y monitoreo de la energía térmica según la aplicación didáctica que se desee desarrollar. La primera monitorea la energía producida por el colector estando circulando un caudal regulado previamente y que ingresa desde la red de agua. La segunda aplicación permite cuantificar la energía disponible en el tanque acumulador luego que el fluido adquirió calor en un determinado tiempo y la tercera aplicación cuantifica la energía que se va acumulando en el tanque acumulador estado recirculando el agua por el colector.

**Palabras clave:** Energía térmica, calentamiento de agua, energía solar, colector solar, monitoreo energético.

## SUMMARY

This paper was developed to monitor the thermal energy produced in a system of water heating by solar energy. The system consists of a flat solar collector, storage tank systems and accessories needed for their installation. In the system two temperature sensors that measure water temperature and flow and return flow meter installed at strategic locations was implemented. The signals obtained by these sensors are preconditioned to enter a data acquisition card and LabVIEW software using the proceeds to perform signal processing and subsequent analysis presented in the respective screens. The project has implemented a program that allows three applications of measuring and monitoring the thermal energy according to the didactic application to be developed. The first monitors the energy produced by the collector previously regulated flow rate entering the water system from being circulated. The second application quantifies the energy available in the storage tank after the fluid heat acquired in a specific time and the third application quantifies the energy is accumulated in the accumulator tank state recirculating water through the collector.

**Keywords:** Thermal energy, water heating, solar energy, solar collector, energy monitor.



# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1.TEMA**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL MONITOREO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR UN COLECTOR SOLAR PLANO”

### **1.2.INTRODUCCIÓN**

El Sol es la principal fuente de energía del planeta. Mediante la radiación de su energía electromagnética aporta directa o indirectamente toda la energía que mantiene la vida en la Tierra.

El primer colector solar plano fue fabricado por el suizo Nicholas de Saussure (1740-1799), y estaba compuesto por una cubierta de vidrio y una placa metálica negra encerrada en una caja con su correspondiente aislamiento térmico. Este colector solar se utilizó para cocinar alimentos que se introducían en su interior.

La recogida directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recoger energía, a veces después de concentrar los rayos del Sol. Los colectores solares pueden ser de dos tipos principales: los de placa plana y los de concentración.

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y en el

hemisferio sur hacia el Norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud.

### **1.3.JUSTIFICACIÓN**

La universidad como fuente generadora del conocimiento involucrada en diferentes áreas de investigación, conjuntamente entre docentes y estudiantes debe crear, construir o implementar equipos que faciliten estudios y análisis.

Con los resultados de los ensayos del monitoreo y la cuantificación de la energía producida por los colectores solares planos comerciales a futuro se los podrá normar y verificar que estos estén en un óptimo estado para su uso.

Este proyecto servirá como una fuente de conocimiento didáctico-práctico para los estudiantes de la universidad y para la colectividad en general.

### **1.4.OBJETIVOS**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos para el monitoreo y cuantificación de la energía producida por un colector solar plano comercial mediante el uso de sensores de temperatura y caudal.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar un marco teórico lo suficientemente claro de los colectores solares planos, sensores de caudal y temperatura.
- Seleccionar los sensores a usar para el monitoreo de la energía producida por el colector solar plano comercial.
- Seleccionar el colector solar plano comercial y los accesorios necesarios para su ensamble.

- Diseño de un programa claro para la cuantificación de la energía producida por el colector solar plano y para su monitoreo.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del colector solar plano y del sistema de adquisición de datos para el monitoreo de la energía que producida por el mismo.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1. COLECTORES SOLARES

Los colectores solares aprovechan la radiación del Sol para producir energía solar térmica que puede usarse en el calentamiento de agua destinada al consumo doméstico, agua caliente sanitaria, calefacción, etc., o para producción de energía mecánica y, a partir ella electricidad.

#### 2.2. CONCEPTOS PREVIOS

##### 2.2.1. RADIACIÓN SOLAR

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra.

La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, considerando la distancia promedio entre la Tierra y el Sol, se llama constante solar, y su valor medio es  $1353 \text{ W/m}^2$ , la cual varía en un 0,2% en un período de 30 años. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar, siendo alrededor de  $1000 \text{ W/m}^2$ , debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera. Esta porción de energía se conoce como radiación directa [1].

Otra parte de la energía solar que llega a la superficie de la tierra se denomina radiación difusa que es aquella energía solar reflejada por la atmósfera terrestre, en especial por las nubes.

Además, a nivel del suelo se tiene la radiación reflejada que es parte de la energía reflejada por los objetos terrestres. Por ejemplo, la proveniente de una pared blanca, un charco de agua o un lago, etc.

La radiación total es la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada que se reciben sobre una superficie.

Por otra parte, en el diseño de calentadores solares, la radiación que interesa es la que llega a la parte superior de la superficie horizontal del colector solar. En este caso, se puede considerar la falta de radiación reflejada y por lo tanto, la energía que recibe el colector solar se le denomina como radiación global.

De este modo, la radiación global es la suma de las radiaciones directa y difusa y es la que se aprovecha en colectores planos solares.

### **2.2.2. IRRADIACIÓN SOLAR**

Al estar atravesado por la Línea Equinoccial, el Ecuador tiene poca variabilidad en la posición del sol durante todo el año lo cual favorece la aplicación de la energía solar. El CONELEC contrató en el año 2008 la elaboración del Mapa Solar del Ecuador, según este mapa el valor de insolación o radiación solar global para la provincia de Cotopaxi (Zona 4), y la ciudad Latacunga es de 4,42 KWH/m<sup>2</sup>.dia, mientras que para superficie inclinada de 10° orientados al norte, el valor promedio anual según la Tabla N° 2.1 es 4,26 KWH/m<sup>2</sup>.dia [2]

**Tabla N° 2.1.** Cálculo de la Irradiación sobre superficie inclinada de 10 grados, en Latacunga

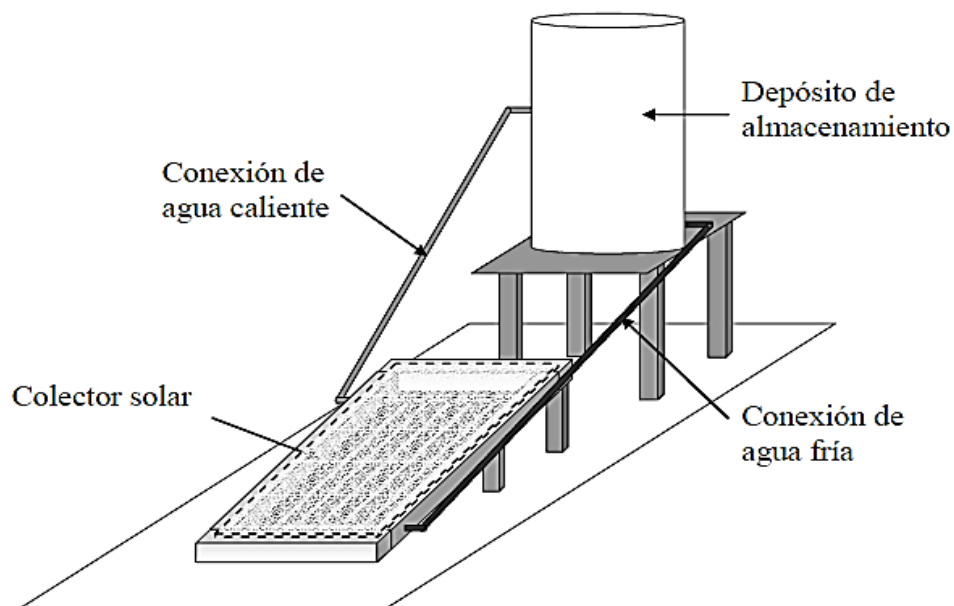
MESES	IRRADIACIÓN MENSUAL [KWH/m <sup>2</sup> .dia]	FACTOR k, 10° DE INCLINACIÓN	IRRADIACIÓN SUPERFICIE INCLINADA [KWH/m <sup>2</sup> .dia]
ENERO	4,47	0,93	4,16
FEBRERO	4,38	0,96	4,2
MARZO	4,21	0,99	4,17
ABRIL	4,01	1,02	4,09
MAYO	4,07	1,04	4,23
JUNIO	4,09	1,05	4,29
JULIO	4,32	1,04	4,49
AGOSTO	4,53	1,02	4,62
SEPTIEMBRE	4,44	0,99	4,4
OCTUBRE	4,51	0,96	4,33
NOVIEMBRE	4,44	0,93	4,13
DICIEMBRE	4,37	0,92	4,02
PROMEDIO ANUAL [KWH/m <sup>2</sup> .dia]			<b>4,26</b>

**Fuente:** Norma ecuatoriana de la construcción parte 14-1 energía renovable sistemas de calentamiento de agua con energía solar para uso sanitario en el ecuador

### 2.2.3. BALANCE DE ENERGÍA EN EL CALENTADOR SOLAR

El balance de energía tiene como objetivo determinar el calor útil transmitido al agua para establecer la eficiencia del calentador solar. El calor útil útil, empleado para calentar el agua del depósito de almacenamiento, es una parte de la radiación global incidente sobre el colector solar HTAe; la otra parte es calor disipado al ambiente, representados por sus tres componentes [1]:

- a. por el colector solar  $q_{pe}$ ,
- b. por el depósito de almacenamiento  $q_{da}$  y,
- c. por las conexiones  $q_{cx}$ .



**Figura N° 2.1.** Partes del calentador solar

**Fuente:** Sixto Guevara Vásquez UNATSABAR – OPS/CEPIS - TEORÍA PARA EL DISEÑO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA

En la Figura N° 2.1 se presentan las partes del calentador solar y en la Figura N° 2.2 se muestra un diagrama del balance de energía.

Este balance de energía se expresa analíticamente como:

$$H_T A_e = q_{\text{útil}} + q_{pe} + q_{da} + q_{cx} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

$H_T$  = Radiación solar,

$A_e$  = Área del colector.

El calor útil introducido en la Figura N° 2.2 está representado por el flujo de agua  $\dot{m}$  en el calentador y las temperaturas de entrada ( $T_{fe}$ ) y salida del depósito de almacenamiento ( $T_{fs}$ ).

$$q_{\text{útil}} = \dot{m} C_p (T_{fe} - T_{fs}) \quad [\text{Kw}] \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

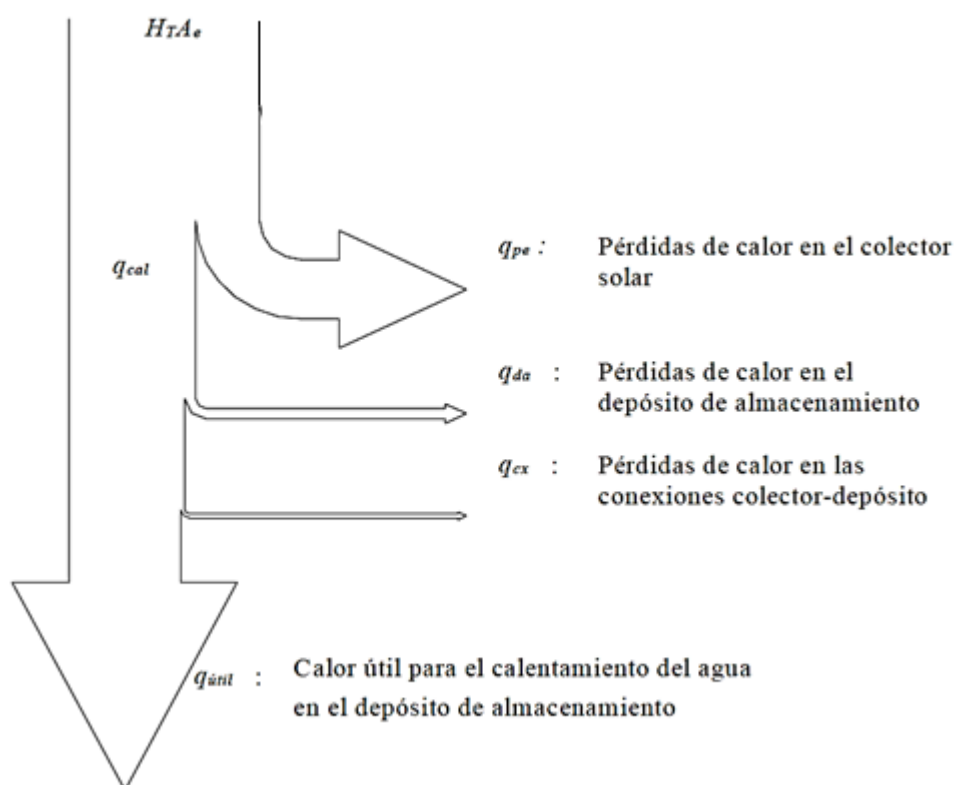
$\dot{m}$  = flujo del agua [Kg/s]

$C_p$  = capacidad calorífica del agua

$C_p = 4,18[KJ/(Kg^{\circ}C)]$

$T_{fe}$  = temperatura de entrada [ $^{\circ}C$ ]

$T_{fs}$  = temperatura de salida [ $^{\circ}C$ ]



**Figura N° 2.2.** Diagrama del balance de energía en el calentador solar.

**Fuente:** Sixto Guevara Vásquez UNATSABAR – OPS/CEPIS - TEORÍA PARA EL DISEÑO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA

En la Figura N° 2.2 se presenta el balance de energía del calentador solar.

$HtA_e$  es la energía de entrada a nuestro sistema, la primera pérdida que se presenta es  $q_{pe}$  (pérdidas de calor en el colector) las que se dan directamente sobre el colector de acuerdo a sus condiciones; la segunda es la pérdida de calor en el



depósito de almacenamiento y, las pérdidas de calor en las conexiones colector-deposito.

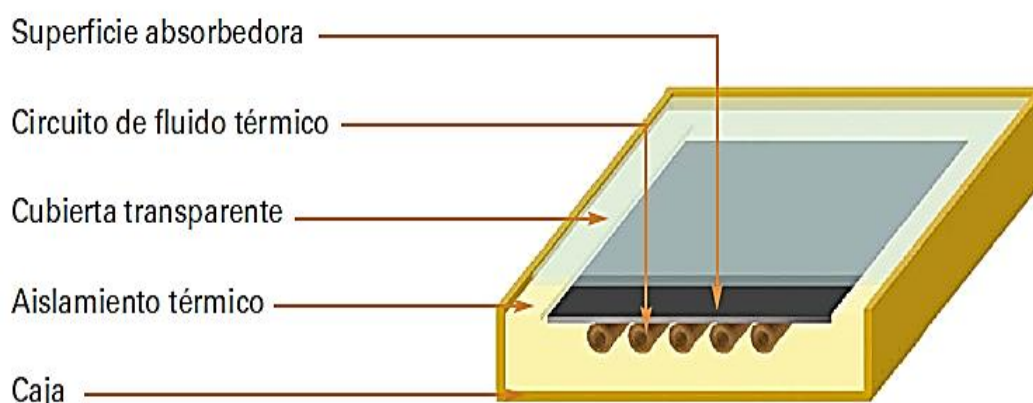
El calor útil que llega a ser aprovechado por el sistema despejado de la ecuación 1 es:

$$q_{\text{útil}} = H_T A_e - (q_{pe} + q_{da} + q_{cx}) \quad \text{Ec. 3}$$

### 2.3. DEFINICIÓN DE UN COLECTOR SOLAR

El colector se compone de cañerías de cobre unidas entre sí a través de canales paralelos de menor diámetro. Para obtener un óptimo rendimiento se apoya el conjunto sobre una lámina de cobre ennegrecida, que sirve para absorber la energía. Se estima que un acumulador de 200 litros, con una superficie de 4 metros cuadrados de placas solares, puede suministrar agua caliente a una familia de cuatro personas. La energía solar fotovoltaica es una gran salida para el abastecimiento de electricidad en zonas donde el suministro eléctrico no llega, como por ejemplo zonas rurales, o en embarcaciones [3].

Para aprovechar al máximo esa radiación solar, la orientación de los captadores se hace hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur, es decir, siempre se instalaran mirando al Ecuador.



**Figura N° 2.3.** Constitución de un Colector Solar

**Fuente:** CLEANERGY SOLAR - Energía Solar Térmica – Tutorial

## 2.4. TIPOS DE COLECTORES SOLARES

Los colectores solares se dividen en dos grandes grupos:

- a. Los Colectores Solares sin concentración: Los cuales no superan los 70°C aproximadamente, por lo que son usados en las aplicaciones de la energía solar térmica de baja temperatura. Un ejemplo de aplicación sería la producción de agua caliente sanitaria.
- b. Los Colectores Solares de Concentración: Los cuales, haciendo uso de los métodos de concentración, de la óptica, son capaces de elevar la temperatura de fluido a más de 70° C. Estos se aplican en la energía solar térmica de media y alta temperatura [4].

### 2.4.1. LOS COLECTORES SOLARES SIN CONCENTRACIÓN

Estos colectores se caracterizan por no poseer métodos de concentración, por lo que la relación entre la superficie del colector y la superficie de absorción es prácticamente la unidad.

#### a. *Colector solar de Placa Plana:*

En general un colector de placa plana actúa como un receptor que recoge la energía procedente del Sol y calienta una placa. La energía almacenada en la placa es transferida al fluido.

Usualmente, estos colectores poseen una cubierta transparente de vidrio o plástico que aprovecha el efecto invernadero, formado por una serie de tubos de cobre, los cuales expuestos al sol absorben la radiación solar y se la transmiten al fluido que atraviesa su interior. Su aplicación es la producción de agua caliente sanitaria, climatización de piscinas y calefacción.

#### b. *Colectores de Aire:*

Son colectores de tipo plano cuya principal característica es tener como fluido calo-portador el aire. No tienen una temperatura máxima límite (los procesos convectivos tienen una menor influencia en el aire) y trabajan mejor en condiciones de circulación normal, pero en contraposición poseen una baja capacidad calorífica y el proceso de transferencia de calor entre placa y fluido es malo. Su aplicación principal es la calefacción.

*c. Colectores de Vacío:*

Van dotados de una doble cubierta envolvente, herméticamente cerrada, aislada del interior y del exterior, y en la cual se ha hecho el vacío. Su finalidad es la de reducir las pérdidas por convección. Son más caros, además de perder el efecto del vacío con el paso del tiempo. Su aplicación principal es la producción de agua caliente sanitaria y climatización de piscinas.

*d. Tubos de Calor:*

Poseen una simetría cilíndrica, formados por dos tubos concéntricos; uno exterior de vidrio y uno interior pintado de negro o con pintura selectiva. El fluido circula por el tubo del interno. Su aplicación principal es la calefacción.

*e. Colectores Cónicos o esféricos:*

Su principal característica es que constituyen simultáneamente la unidad de captación y de almacenamiento. Su superficie de captación es cónica o esférica con una cubierta de vidrio de la misma geometría. Con estas geometrías se consigue que la superficie iluminada a lo largo del día, en ausencia de sombra, sea constante. Su instalación es sencilla, pero presentan problemas de estratificación del agua y la superficie útil de captación es pequeña. Su aplicación principal es la producción de agua caliente sanitaria.

## **2.4.2. COLECTORES SOLARES DE CONCENTRACIÓN**

Usan sistemas especiales con el fin de aumentar la intensidad de la radiación sobre la superficie absorbente y de este modo conseguir altas temperaturas en el

fluido calo-portador. La principal complicación que presentan es la necesidad de un sistema de seguimiento para conseguir que el colector esté permanentemente orientado en dirección al Sol.

a. *Concentradores cilíndricos:*

Su superficie reflectora es la mitad de un cilindro. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica.

b. *Concentradores paraboloídes:*

Su superficie reflectora presenta una geometría de paraboloide de revolución. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica.



**Figura N° 2.4.** Concentrador Paraboloide

**Fuente:** <http://ciudadjuarez.olx.com.mx/concentrador-solar-cilindro-parabolico-para-200-litros-de-agua-iid-245184825>

## 2.5. COLECTORES SOLARES PLANOS

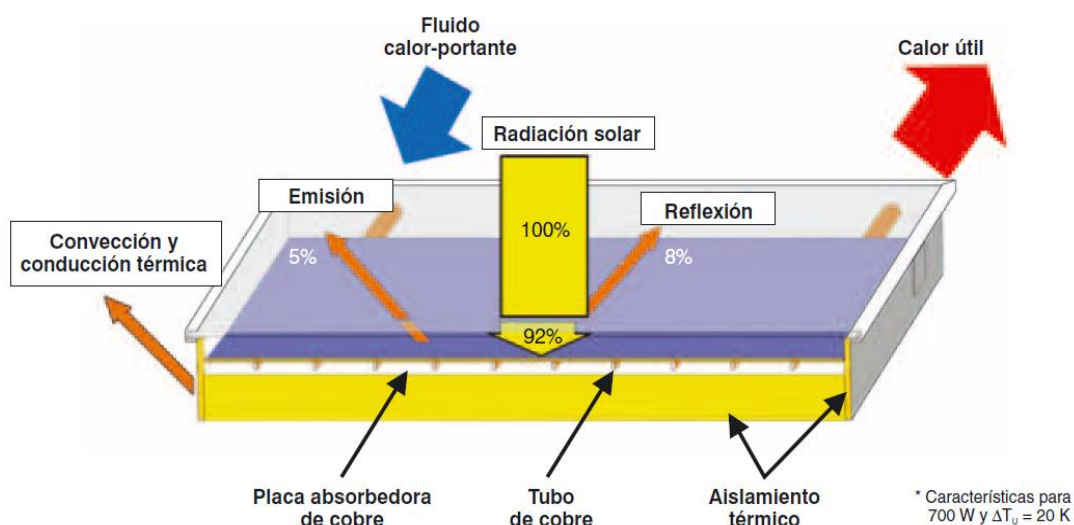
La inmensa mayoría de los captadores solares planos disponibles a la venta tiene una cubierta transparente, de material aislante térmico en la parte posterior y en los laterales, de un absorbedor metálico y de una carcasa exterior rectangular donde se ubican los elementos anteriores. Posee dos o cuatro conexiones hidráulicas, que se sitúan en el exterior. Estas son por las que entran y sale el fluido [3].



**Figura N° 2.5.** Colector Solar Plano

**Fuente:** SOLAR SALVADOR ESCODA - Catalogo 2009

Es adecuado para todos los sistemas, tanto de termosifón como de circulación forzada. En los captadores de mayor calidad se utiliza un vidrio de bajo contenido de hierro, de alta transmitancia y baja reflectancia.



**Figura N° 2.6.** Esquema básico de funcionamiento de un colector plano de energía solar térmica.

**Fuente:** MANUAL TÉCNICO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.

SALVADOR ESCODA S.A. 4ª Edición, Diciembre 2011.

### 2.5.1. LAS DIFERENTES ÁREAS DEL CAPTADOR

a) *Área total,  $A_t$ :*

Es la resultante de las dimensiones exteriores del captador, normalmente los bordes externos de la carcasa.

b) *Área de apertura,  $A_a$ :*

Es la de la superficie visible, normalmente coincide con el área del vidrio, sin considerar la junta. Para los de tubo de vacío, es el producto del diámetro interno del tubo, la longitud interna no sombreada y el número de tubos.

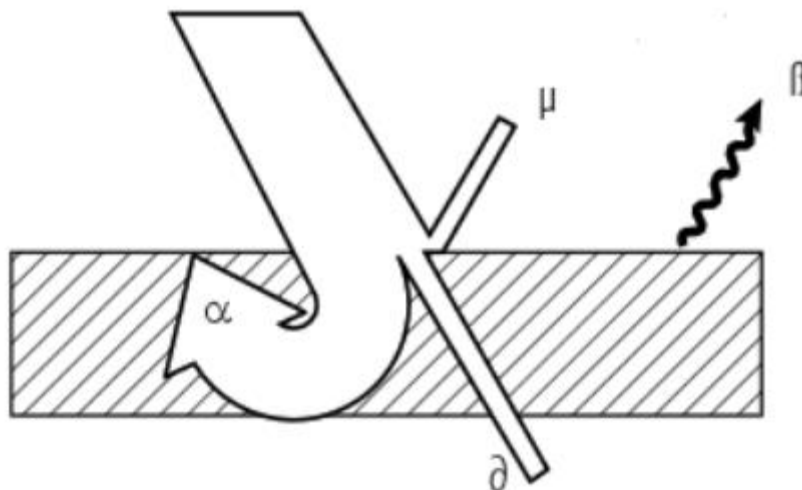
c) *Área del absorbadora,  $A_A$ :*

Tanto en los captadores planos, como en los tubulares, es la suma del área de las aletas y de las tuberías internas de distribución expuestas a la radiación solar [5].

### 2.5.2. ABSORBEDORES:

Este consta de una lámina o de varias aletas metálicas, las cuales poseen muy buena conductividad térmica. También posee unas tuberías metálicas por las que circula el fluido caloportador. Para mejorar el traspaso de calor, dichas tuberías metálicas deben presentar un buen contacto con la lámina metálica. Las láminas o aletas tienen revestimientos exteriores, cuyo objetivo es el de aumentar la relación entre el flujo de radiación absorbida y reducir la emisividad del absorbedor.

De toda la radiación incidente, una pequeña parte es reflejada y el resto es absorbido y transformado en calor, el cual se transporta por el fluido caloportador que circula por las tuberías. Este calor transportado es transmitido al agua contenida en los acumuladores, muchas veces de forma directa y otras de forma indirecta a través de un intercambiador. El absorbedor debe tener siempre mucha capacidad para absorber la radiación solar y muy poca para emitir, así se puede obtener un mayor rendimiento, la parte frontal del absorbedor se trata con un revestimiento selectivo que hace mínima la radiación térmica infrarroja y optimiza la transformación de radiación solar en energía térmica.



**Figura N° 2.7.** Representación del comportamiento de la radiación en un colector solar.

**Fuente:** Replanteo de Instalaciones solares térmicas – Ricardo Quintanilla Piña

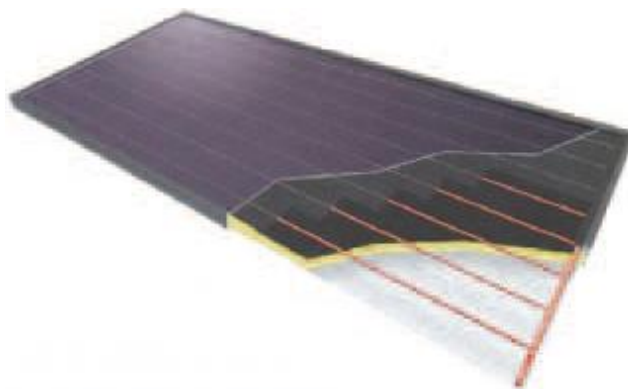
También, la cantidad de radiación reflejada depende, en el caso de las cubiertas de cristal, del ángulo de incidencia que éstas tengan con dicha radiación.

Reflectancia ( $\mu$ ): es la proporción de radiación solar reflejada hacia el exterior del colector. Es igual a la radiación reflejada dividido por la radiación incidente.

Absortancia ( $\alpha$ ): es la proporción que absorbe la superficie. Equivale a la radiación absorbida dividida por la radiación incidente.

Emisividad ( $\beta$ ): equivale a la radiación emitida dividida entre la radiación de un cuerpo negro a la misma temperatura.

Transmitancia ( $\delta$ ): es la proporción de radiación solar que atraviesa la superficie. Es igual a la radiación transmitida entre la radiación incidente.



**Figura N° 2.8.** Absorbedor tipo parrilla

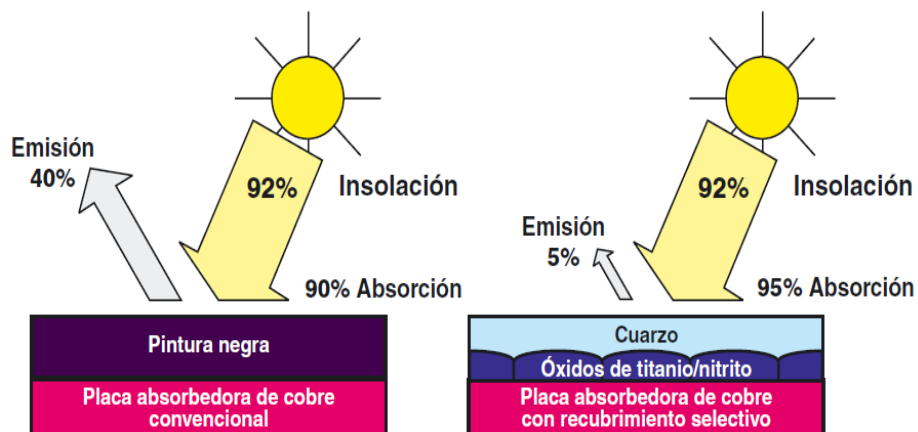
**Fuente:** MANUAL TÉCNICO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.  
SALVADOR ESCODA S.A. 4ª Edición, Diciembre 2011.

**a) RECUBRIMIENTOS DEL ABSORBEDOR:**

El recubrimiento del absorbedor, tiene una importancia capital en el funcionamiento del captador. Como las superficies de metal reflejan la luz en un grado importante, es necesario tratar los absorbedores de un recubrimiento específico. Por este motivo, lo más habitual es utilizar pintura solar negra (Figura N° 2.9), sin propiedades selectivas. Posteriormente se han ido utilizando los recubrimientos denominados selectivos.

La ventaja respecto a los de pintura negra es que tienen una emisividad térmica más reducida y por consiguiente menores pérdidas. Para entender el funcionamiento de una superficie selectiva hay que tener en cuenta que cuando llega la radiación a una determinada longitud de onda, a cualquier cuerpo, ésta se absorbe, se transmite o se reflejan. Por lo que si conseguimos un tratamiento que mejore la absorción y reduzca la reflexión (reflectancia), estaremos ante un tratamiento selectivo.



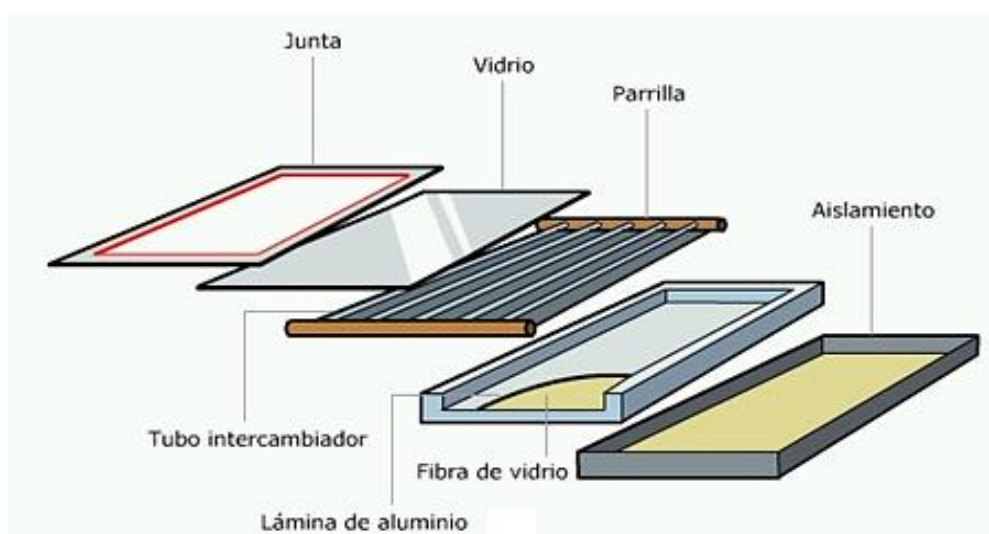


**Figura N° 2.9.** Ejemplos de recubrimientos.

**Fuente:** MANUAL TÉCNICO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.  
SALVADOR ESCODA S.A. 4ª Edición, Diciembre 2011.

## 2.6. COLECTORES PLANOS PROTEGIDOS

Son los más utilizados por tener la relación coste-producción de calor más favorable. En ellos, el captador se ubica en una caja rectangular (Figura N° 2.10), cuyas dimensiones habituales oscilan entre los 80 y 120cm de ancho, los 150 y 200cm de alto, y los 5 y 10cm de espesor (si bien existen modelos más grandes). La cara expuesta al sol está cubierta por un vidrio muy fino, mientras que las cinco caras restantes son opacas y están aisladas térmicamente.



**Figura N° 2.10.** Colector plano protegido

**Fuente:** CLEANERGY SOLAR - Energía Solar Térmica – Tutorial

Dentro de la caja, expuesta al sol, hay una placa metálica. Esta placa está unida o soldada a una serie de conductos por los que fluye un calo-portador (generalmente agua, glicol, o una mezcla de ambos). A dicha placa se le aplica un tratamiento superficial selectivo para que aumente su absorción de calor, o simplemente se la pinta de negro.

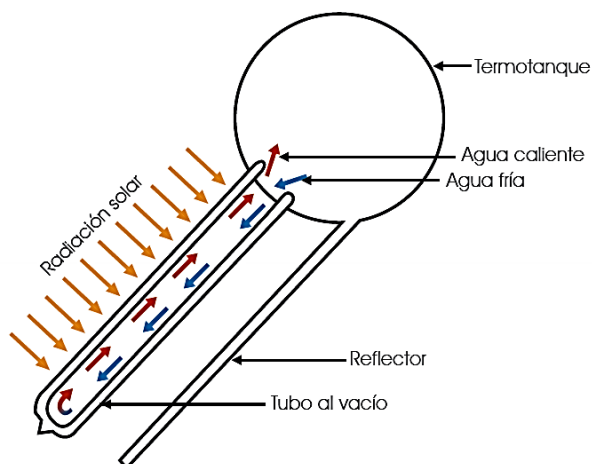
## **2.7. COLECTORES PLANOS NO PROTEGIDOS**

Son una variante económica de los anteriores donde se elimina el vidrio protector, dejando la placa expuesta directamente al ambiente exterior. Carecen también de aislamiento perimetral.

Dada la inmediatez y simplicidad de este tipo de paneles, existen multitud de subvariantes tanto en formas como en materiales: conceptualmente, una simple manguera enrollada y pintada de negro es, en esencia, un colector solar plano no protegido. Debido a su limitada eficiencia, necesitan una superficie más grande para conseguir las prestaciones deseadas, pero pueden compensarlo por su bajo coste.

## **2.8. FUNCIONAMIENTO DE LOS COLECTORES SOLARES PLANOS**

Los colectores solares planos funcionan aprovechando el efecto invernadero el mismo principio que se puede experimentar al entrar en un coche aparcado al sol en verano. El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar: deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente a las ondas infrarrojas de menor energía.



**Figura N° 2.11.** Funcionamiento de un Colector Solar

**Fuente:** <http://www.funcosa.com.mx/descargas/catalogos.html> [6]

El sol incide sobre el vidrio del colector, que siendo transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora que, a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga o (infrarrojos). Pero como el vidrio es opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, (el vidrio es un mal aislante térmico), el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior.

Al paso por la caja, el fluido calo-portador que circula por los conductos se calienta, y transporta esa energía térmica a donde se desee.

Para su funcionamiento el calentador solar tiene 4 componentes básicos: colector, contenedor (tanque de almacenamiento), sistema y sustancia de trabajo. (Figura N° 2.1).

### 2.8.1. COLECTOR

También llamado captador solar o panel termo-solar. Es el componente que se encarga de transferir la energía solar al agua. Consiste en un arreglo de tuberías o conductos por donde fluye el agua. El arreglo puede estar pintado de negro mate o cubierto con pinturas selectivas como el cromo negro para evitar reflejar la luz y así lograr una mayor absorción de calor.



**Figura N° 2.12.** Esquema de un colector

**Fuente:** <http://www.funcosa.com.mx/descargas/catalogos.html>

El colector suele estar contenido en una caja con paredes externas resistentes a la intemperie y con paredes internas dotadas de aislamiento térmico. La parte superior lleva uno o varios vidrios (cristal especial bajo en hierro) materiales transparentes capaces de dejar pasar la luz y proteger de la intemperie, utilizados para generar efecto invernadero dentro el colector.

### ➤ BALANCE DE ENERGÍA EN EL COLECTOR

La radiación global que incide sobre el colector solar  $H_T A_e$ , disminuye su valor como resultado de las características propias de reflexión y absorción de la cubierta del colector; de ahí que, este valor, es corregido por un factor  $(\tau\alpha)$ . Parte de esta radiación,  $H_T A_e (\tau\alpha)$ , es empleada como calor para calentar el agua  $q_{cal}$ ; la parte restante constituye el almacenamiento de energía en el colector mismo  $dU/dt$ , que usualmente es despreciable; así como, las pérdidas de calor hacia el ambiente por conducción, convección e irradiación  $q_{pa}$ .

$$H_T A_e (\tau\alpha) = q_{cal} + q_{pa} + \frac{dU}{dt} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

$$dU/dt \approx 0$$

Por lo que, la Ecuación 4 se transforma en:

$$H_T A_e (\tau \alpha) = q_{cal} + q_{pa} \quad \text{Ec. 5}$$

Para la determinación del calentamiento del agua en el colector solar es necesario determinar las pérdidas de calor en el colector mediante la siguiente ecuación:

$$q_{pe} = U_L A_{cs} (T_p - T_a) \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

$q_{pe}$  = pérdidas en el colector [KW]

$U_L$  = coeficiente total de transferencia de calor [KW/m<sup>2</sup> °C]

$A_{cs}$  = área del colector solar [m<sup>2</sup>]

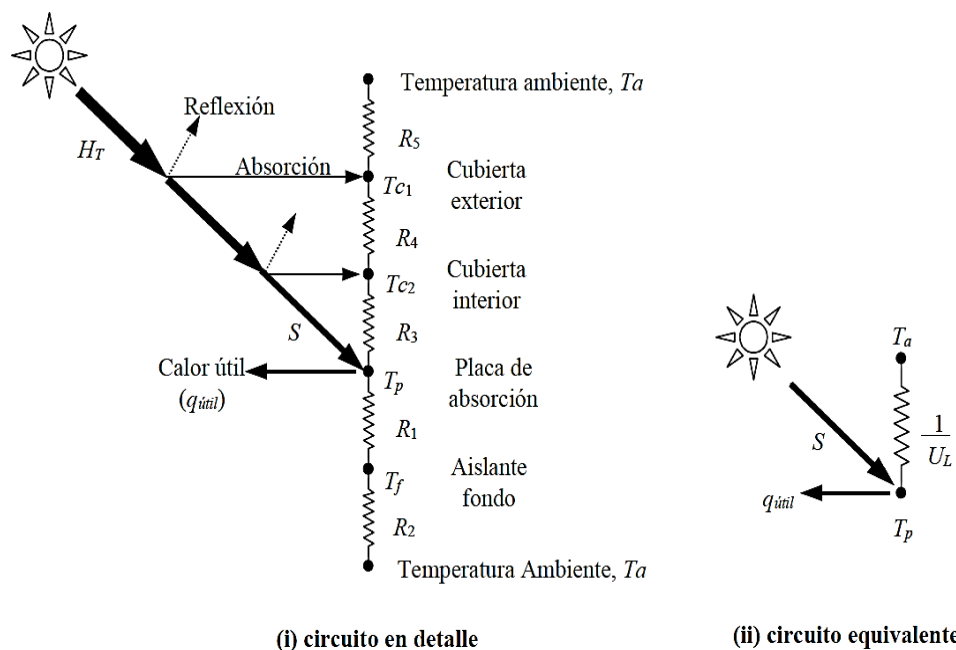
$T_p$  = temperatura promedio de la placa de absorción [°C]

$T_a$  = temperatura ambiental [°C]

El coeficiente total de transferencia de calor  $U_L$  se determina a partir de la temperatura promedio de la placa de absorción, la cual a su vez, requiere la determinación de la temperatura del tubo y del agua a lo largo de todo el tubo y del factor de remoción de calor.

La evaluación numérica del coeficiente total de transferencia de calor  $U_L$  requiere determinar las conductancias inferior, superior y lateral en el colector solar.

En la Figura N° 2.13 se muestra el circuito térmico de un colector solar plano que ayuda a visualizar los fenómenos físicos que se producen en el colector solar y así, a partir de este circuito se plantean las ecuaciones de las conductancias.



**Figura N° 2.13.** Circuito térmico de un colector solar plano con dos cubiertas

**Fuente:** Sixto Guevara Vásquez UNATSABAR – OPS/CEPIS - TEORÍA PARA EL DISEÑO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA

### 2.8.2. CONTENEDOR

Es el recipiente de almacenamiento del fluido. Se conecta con la entrada y la salida del colector. Durante el día, el agua se recircula una y otra vez entre el colector y el contenedor. Después de un tiempo y dependiendo de las dimensiones de los componentes, el agua se calentará para su uso posterior. La energía capturada en el colector se guarda en el tanque en forma de agua caliente. En el momento de requerir agua, se extrae del tanque y se rellena con agua fría. El tanque está aislado térmicamente para evitar pérdidas y mantener caliente el agua por más tiempo. En un sistema doméstico, el contenedor suele incorporar un calentador eléctrico de apoyo, que se activará en caso de no alcanzar la temperatura deseada.

En los calentadores solares de albercas o piscinas, el contenedor suele ser la alberca misma, y la caja aislante del colector puede no ser necesaria debido a la escasa diferencia entre la temperatura de trabajo (temperatura del agua) y la temperatura ambiente.

La conexión y la transferencia de calor entre el captador solar y el depósito se efectúan a través de un circuito hidráulico de acuerdo con una de las siguientes configuraciones:

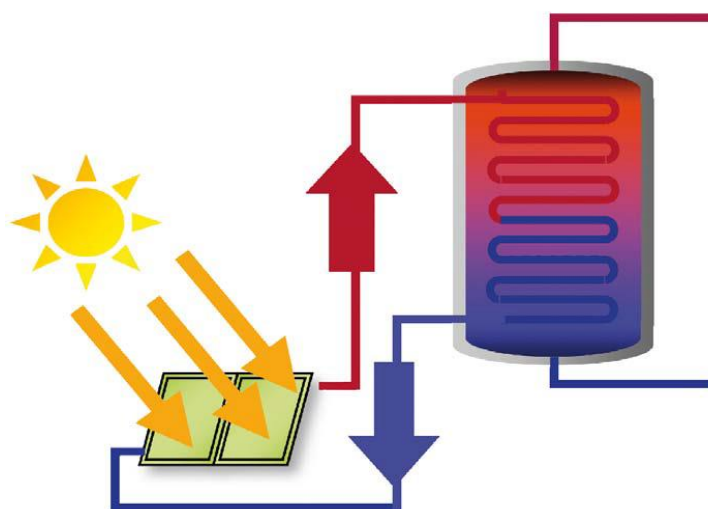
*a) Circuito directo*

El fluido que circula por los captadores solares es el agua de consumo.

Nota: el circuito directo acarrea problemas de corrosión y calcificación de las tuberías, por lo que sólo se instala en lugares con agua de red aceptable.

*b) Circuito cerrado*

Por los captadores circula un fluido térmico, en circuito cerrado (primario) y con intercambio térmico hacia el circuito de consumo (secundario) a través de un intercambiador de calor interior o exterior al depósito (Figura N° 2.14).



**Figura N° 2.14.** Circuito cerrado

**Fuente:** CLEANERGYSOLAR - Energía Solar Térmica – Tutorial

➤ **PÉRDIDAS DE CALOR EN EL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO**

Las pérdidas de calor en el depósito de almacenamiento se expresan como:

$$q_{da} = U_{da} A_{da} (\bar{T}_{fda} - T_a) \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

$q_{da}$  = pérdidas en el depósito [KW]

$U_{da}$  = coeficiente global de pérdidas de calor en el depósito de almacenamiento [KW/m<sup>2</sup> °C]

$A_{da}$  = área externa del depósito de almacenamiento [m<sup>2</sup>]

$\bar{T}_{fda}$  = temperatura promedio del agua dentro del depósito de almacenamiento [°C].

Estas fórmulas se aplican cuando el fabricante nos proporcione los datos necesarios, caso contrario el depósito de almacenamiento entre sus características presenta la pérdida de calor que se dará en el mismo por hora.

### 2.8.3. SISTEMA

El sistema son todas las tuberías, bombas, sistemas de control, llaves de paso, y accesorios con las que cuente el calentador solar. Conecta por medio de tuberías el colector con el contenedor, así como también el calentador con las tuberías de una casa.

#### a) TIPOS DE INSTALACIONES

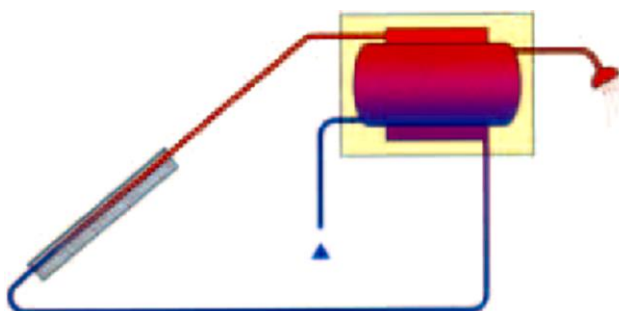
##### a.1) Sistemas por termosifón:

La circulación, en el circuito primario solar se efectúa por convección natural, debido a las diferencias de densidad entre el fluido calor-portante, caliente-frío. El fluido asciende al calentarse, al llegar al acumulador transfiere el calor al agua acumulada y vuelve, más frío al captador. Este principio se denomina circulación por termosifón. Las instalaciones por termosifón funcionan sin ningún tipo de control y/o regulación, o sea sin necesidad de energía eléctrica auxiliar.

Hay que distinguir dos sistemas, directos, el agua de consumo pasa directamente por el colector e indirectos, el acumulador incorpora un intercambiador, normalmente de doble envolvente, de manera que existe un circuito primario, colector-acumulador, y un circuito secundario, el agua acumulada.



Normalmente, son sistemas prefabricados que se montan en obra y que se suministran como un solo conjunto, con los diferentes componentes: 1 ó 2 colectores, el acumulador y los accesorios de conexión y seguridad.



**Figura N° 2.15.** Esquema básico funcionamiento por termosifón

**Fuente:** MANUAL TÉCNICO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.  
SALVADOR ESCODA S.A. 4ª Edición, Diciembre 2011.

b) Sistemas de circulación forzada

Nos referimos a sistemas solares para casas unifamiliares con un área de captación de hasta 10 m<sup>2</sup> y un volumen máximo de acumulación de 500 l. El sistema incorpora dos componentes básicos: una bomba circuladora y un termostato diferencial. La bomba se conecta cuando existe un diferencial positivo entre la temperatura del colector y la del acumulador, en el punto donde está ubicada la sonda, éste valor es programable y oscila entre 4 y 6 °C. Por el contrario, la bomba se desconecta cuando la temperatura del colector es inferior a la de la temperatura del agua acumulada, por ejemplo -3°C.

### 2.8.3. SUBSTANCIA DE TRABAJO

Si la circulación es directa, se emplea agua potable; la misma que se utilizará en regaderas, lavabos, lavadoras, albercas, etc. En este caso, el agua se hace pasar por el colector para ser guardada en el contenedor. Si se utiliza circulación indirecta existen dos circuitos: uno con agua potable para el consumo, y otro con un fluido caloportador, que usualmente es agua o una mezcla de agua y glicol. Los dos circuitos se ceden energía mediante un intercambiador de calor. En este sistema, el agua potable

no pasa por el colector, sino únicamente por el contenedor, que aloja un intercambiador de calor donde se transfiere la energía captada por el fluido caloportador. Este sistema es más conveniente si el calentador se encuentra en una localidad de clima frío, ya que el fluido caloportador que circula por el colector tiene propiedades anticongelantes, previniendo la ruptura de las tuberías por congelamiento.

## **2.9. APLICACIONES**

- Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- Climatización de piscinas
- Calefacción

Tanto a nivel doméstico como industrial.

Dependiendo de la estación del año, sea en viviendas unifamiliares como en edificios, las instalaciones de energía solar térmica pueden proporcionar entre el 30% y el 100% del agua caliente demandada, con medias anuales en torno al 40-100% (dependiendo de la zona geográfica), por lo que necesitan el apoyo de sistemas convencionales de producción de agua caliente.

Utilizados para calefacción sólo son indicados para sistemas de baja temperatura, como el suelo radiante, donde se emplean para precalentar el agua de la caldera.

El uso de paneles solares térmicos es particularmente adecuado para la climatización de piscinas, pues la baja temperatura de trabajo requerida permite incluso tipologías de colectores sin vidrio protector, lo que abarata enormemente tanto los costes como el impacto ambiental de la instalación.

Está en desarrollo el empleo de colectores para refrigeración con máquinas de absorción, pues al contrario que en calefacción, la mayor demanda de refrigeración coincide con el mejor rendimiento de los colectores.

## 2.10. SELECCIÓN DE COLECTORES SOLARES PLANOS PARA CALENTAR AGUA

Los colectores solares se seleccionan de acuerdo a varias especificaciones, entre las cuales podemos mencionar principalmente el tipo de circulación del fluido caloportante, el área de trabajo y su costo.

El colector seleccionado para el estudio de la energía producida por el mismo, es el colector solar plano de circulación por termosifón.

**Tabla N° 2.2.** Características de selección de colectores Planos

Colectores Planos	Características
Compactos por Termosifón	Más barato, no requiere mucho mantenimiento.
Colectores con tubos de vacío U PIPE	Caros, más eficiente, requiere de mucho mantenimiento y cuidado.
Compactos por termosifón con tubos de vacío	Medianamente caros, eficientes y mantenimiento continuo.

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Los colectores solares planos más usados y más convenientes para el uso doméstico son los Colectores Planos de Circulación Normal (Termosifón) que aprovechan el principio de la circulación natural, sin ayuda de bombas de circulación ni equipamientos eléctricos o mecánicos. Además, estas instalaciones son particularmente simples y fiables, exentas de mantenimiento a través del tiempo.

## 2.11. EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR

La eficiencia del colector está dada por el cociente entre la energía adquirida por el fluido en su paso por el colector y la energía total solar disponible en el área del colector.

Los colectores solares se utilizan en conjunto con otros componentes, formando sistemas solares. Estos sistemas pueden utilizarse para calentamiento de agua para uso doméstico, calefacción, calentamiento de piscinas y usos industriales.

Entre las principales ventajas de los colectores se pueden nombrar que se utiliza una energía limpia y renovable, se pueden instalar en lugares aislados donde la gente no posee la capacidad de tener agua caliente con un combustible convencional y poseen larga vida útil (unos 40 años).

Entre las desventajas se encuentran los altos costos iniciales en los que se debe incurrir para poseer un sistema solar. Cabe decir, sin embargo, que estos altos costos iniciales se recuperarían dentro de unos 8 años, si se compara con un calentador de agua a gas. De ahí en adelante la energía sería totalmente gratuita (salvo costos de mantención y operación que son bajos para estos sistemas).

La eficiencia del calentador se define, entonces, como el porcentaje de la radiación solar global incidente sobre la superficie efectiva del colector y que es aprovechado como calor útil.

$$\eta_c = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{radiación solar incidente}} \quad \text{Ec.8}$$

$$\eta_c = \frac{q_{\text{útil}}}{H_T A_e} \quad \text{Ec. 9}$$

En la práctica la eficiencia se determina experimentalmente en un intervalo finito de tiempo; para fines de diseño el período de evaluación  $t$  puede ser de un día o un tiempo mayor. Así, los valores puntuales obtenidos durante el periodo de evaluación son integrados mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_c = \frac{\int_0^t q_{\text{útil}} dt}{\int_0^t H_T A_e dt} \quad \text{Ec. 10}$$

Según la norma NTE INEN 2 507:2009, Para determinar la eficiencia instantánea del colector solar y garantizar su comportamiento bajo un amplio rango

de temperaturas de operación, se debe obtener una representación. Para ello se debe tomar valores de radiación incidente, temperatura ambiente, y de temperatura del agua a la entrada y a la salida del colector solar, según la siguiente ecuación.

$$\eta_g = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fi}) dt}{A_g \int_{t_1}^{t_2} G dt} \quad \text{Ec. 11}$$

Dónde:

$\dot{m}$  = flujo de masa del fluido de transferencia de calor, en [kg/s].

$C_p$  = calor específico del fluido de transferencia de calor, en [J/kg. °C].

$T_{fs}$  = temperatura del fluido de transferencia de calor a la salida del colector, en [°C].

$T_{fi}$  = temperatura del fluido de transferencia de calor que ingresa al colector, en [°C].

$A_g$  = área de colección del colector, en [m<sup>2</sup>]

$G$  = radiación solar, en [W/m<sup>2</sup>]

$t_1, t_2$  = tiempo al principio y final de un período de ensayo, en horas.

## 2.12. MEDIDORES DE ENERGÍA TÉRMICA.



**Figura N° 2.16.** Medidor de Energía Térmica

**Fuente:** KAMSTRUP - Manual de uso e instalación del Multical 401-402-601

Todos los medidores de energía térmica para colectores solares planos usan el mismo principio, estos constan de un contador de caudal (caudalímetro) que registra de manera continua el paso de agua de la instalación, de dos sondas de temperatura

que miden la diferencia entre las temperaturas del agua de impulsión y retorno del circuito de climatización y de un sistema electrónico que integra en el tiempo la energía consumida en la vivienda o local.

Se calcula la energía según la fórmula dada en la norma EN 1434-1

$$\text{Energía} = V * \Delta\theta * k \quad \text{Ec.12}$$

Dónde:

V = es el volumen de agua suministrado [Kg].

$\Delta\theta$  = es la diferencia de temperatura medida (salto térmico) [°K].

k = es el cociente térmico del agua (4,18 [KJ/(Kg °K)]).

### 2.12.1. CARACTERÍSTICAS DE UN MEDIDOR DE ENERGÍA TÉRMICA

Entre las características más importantes tenemos las condiciones nominales de operación/rangos de medición, por ejemplo:

Integrador  $\theta$ : 2°C...160°C  $\Delta\theta$ : 3K...150K

Sondas de temperatura (pareja)  $\theta$ : 10°C...150°C  $\Delta\theta$ : 3K...140K

Caudalímetro (calor) qp: 0,6 m³/h.....15 m³/h

### 2.12.2. PARTES DEL CALORÍMETRO

#### a) *Sondas de temperatura*

Se utilizan Pt-100, Pt-500 o Pt-1000 de 2 o 4 hilos. En la mayoría de sus circuitos de medición incluyen un conversor analógico/digital de alta resolución, con rangos de temperaturas variantes, dependiendo de la aplicación en la que se vaya a utilizar.

Variación de los rangos de medida de las Sondas de Temperatura (pareja),

$\theta$ : 10°C...150°C  $\Delta\theta$ : 3K...140K

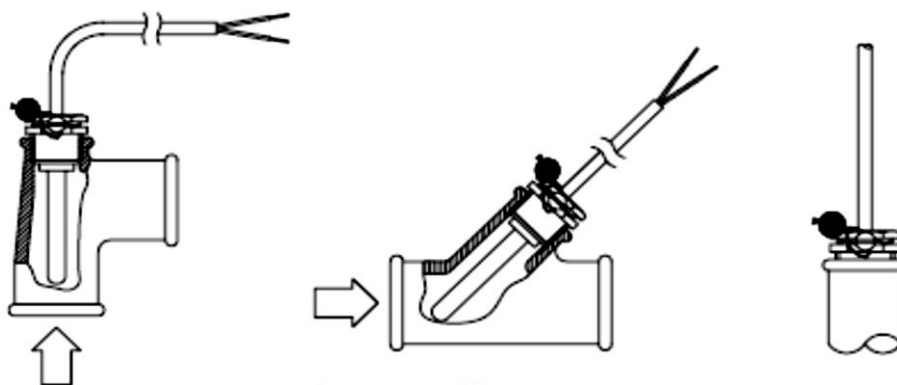


**Figura N° 2.17.** Sonda de Temperatura

Las sondas se ubican en la cañería, para lo cual se utilizan portasondas adecuados para la aplicación.

La posición óptima de montaje de los portasondas son los empalmes en T o las derivaciones laterales a 45°. La punta del portasondas debe quedar situada en el centro del caudal, orientada en dirección contraria a la del flujo de agua.

Los sensores de temperatura deben quedar bien encajados en el interior del portasondas. Si se requiere una respuesta rápida de temperatura, puede utilizarse una pasta conductora de calor que no se endurezca.



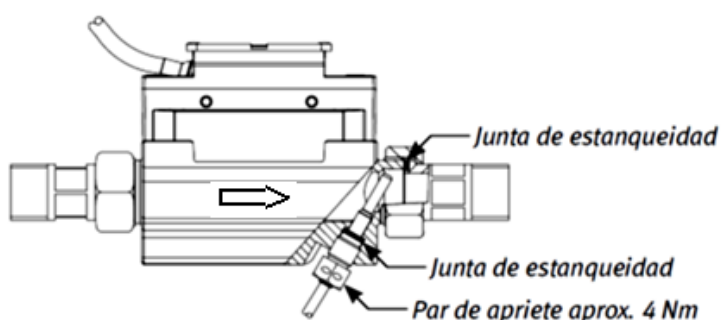
**Figura N° 2.18.** Ubicación de portasondas

**Fuente:** KAMSTRUP - Manual de uso e instalación del Multical 401-402-601

### *b) Caudalímetro*

El caudalímetro registra la cantidad de agua caliente centralizada que circula por la instalación. La mayoría de caudalímetros que se usan para esta aplicación son ultrasónicos para evitar falsas medidas por turbulencias, el caudal mínimo admisible para medir la energía térmica en todos los tipos de medidores de energía térmica es de  $0,6\text{m}^3/\text{h}$ .

La ubicación correcta del caudalímetro (en tubería de impulsión o de retorno) aparece indicada en la etiqueta frontal del mismo (Figura N° 2.19). La dirección del flujo se indica con una flecha marcada en el lateral del caudalímetro.



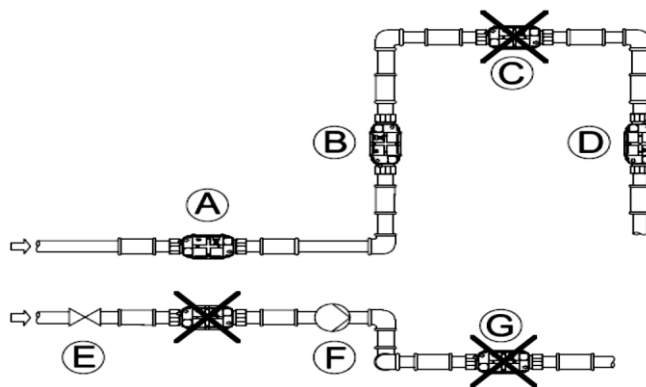
**Figura N° 2.19.** Montaje del Caudalímetro

**Fuente:** KAMSTRUP - Manual de uso e instalación del Multical 401-402-601

Las uniones roscadas y las juntas de estanqueidad deben ser montadas tal como se muestra en el diagrama anterior.

Algunas recomendaciones para el montaje del caudalímetro:





**Figura N° 2.20.** Recomendaciones para el montaje del caudalímetro

**Fuente:** KAMSTRUP - Manual de uso e instalación del Multical 401-402-601

A Posición recomendada para el caudalímetro.

B Posición recomendada para el caudalímetro.

C Posición inapropiada debido al riesgo de cavitación.

D Posición aceptable en sistemas cerrados. Posición inaceptable en sistemas abiertos debido al riesgo de formación de aire.

E Un caudalímetro no debe ser instalado inmediatamente después de una válvula, excepto en el caso de válvulas de corte (válvula tipo bola), que debe encontrarse completamente abierta cuando no se necesite el corte.

F Nunca instale un caudalímetro a la entrada (impulsión) de una bomba.

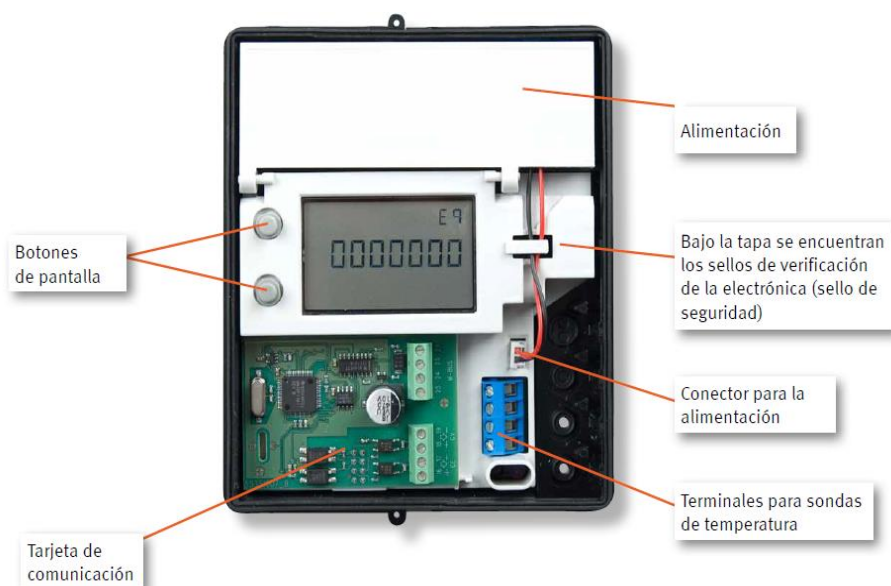
G Un caudalímetro no debe ser instalado después de un doble codo en dos niveles.

### c) *Integrador*

Es el que recibe los datos medidos por las sondas de temperatura y por el caudalímetro.

Disponiendo de esta información (caudal de agua y salto térmico) se calcula energía consumida por el sistema

## c.1.) Diseño del integrador



**Figura N° 2.21.** Diseño del Integrador

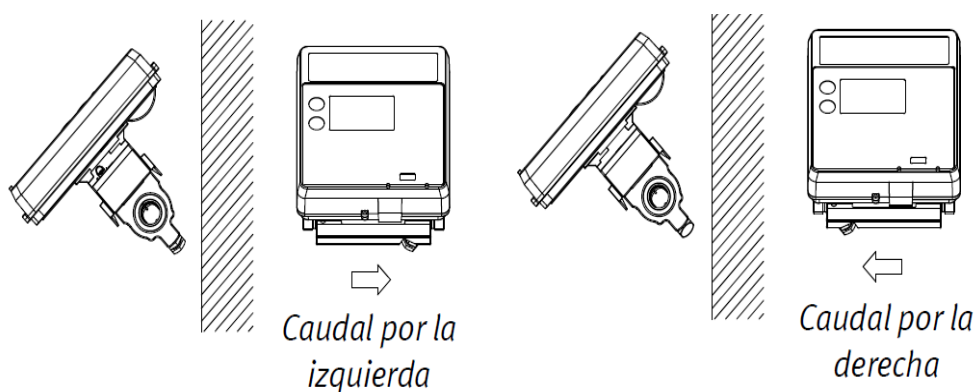
**Fuente:** KAMSTRUP - Manual de uso e instalación del Multical 401-402-601

## c.2) Montaje del Integrador

Existen varias formas de montar el integrador, dependiendo el modelo del mismo.

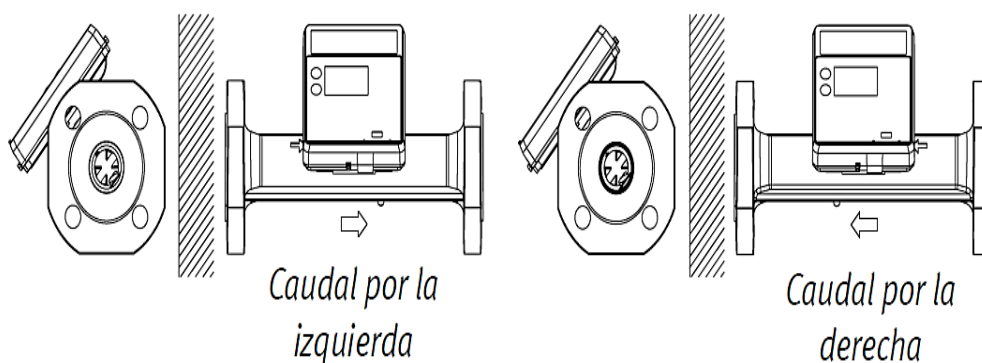
## ➤ Montaje Compacto.

El integrador se monta directamente sobre el caudalímetro, utilizando un adaptador en caso necesario.



**Figura N° 2.22.** Caudalímetros roscados

**Fuente:** KAMSTRUP - Manual de uso e instalación del Multical 401-402-601

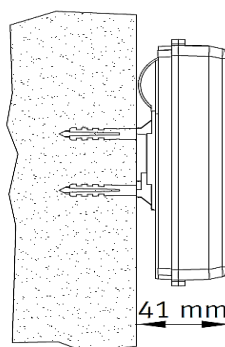


**Figura N° 2.23.** Caudalímetros embridados

**Fuente:** KAMSTRUP - Manual de uso e instalación del Multical 401-402-601

➤ Montaje en pared

El integrador se puede montar directamente sobre una pared lisa.



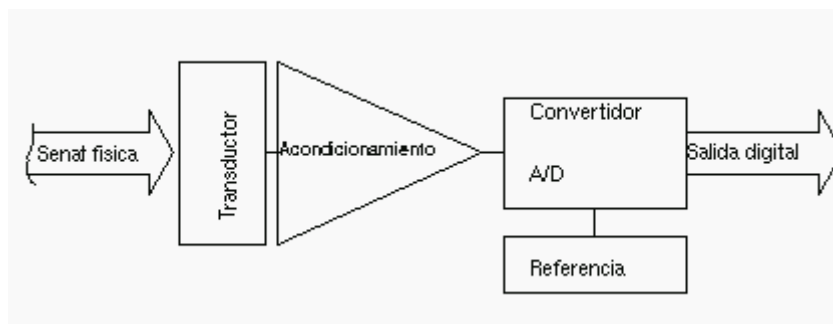
**Figura N° 2.24.** Integrador montado en pared

**Fuente:** KAMSTRUP - Manual de uso e instalación del Multical 401-402-601

## 2.13. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

### 2.13.1. DEFINICIÓN

La adquisición de datos consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital.



**Figura N° 2.25.** Esquema de Adquisición de Datos

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n\\_de\\_datos](http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos)

El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

### 2.13.2. SENSORES

La medida de un fenómeno físico, como la temperatura de una habitación, la intensidad de una fuente de luz o la fuerza aplicada a un objeto, comienza con un sensor, una parte fundamental en todo sistema de adquisición de datos encargado de percibir la magnitud a medir. En la Figura N° 2.26 se muestra una sonda Pt-100.



**Figura N° 2.26.** Sensor- Sonda Pt-100

**Fuente:** <http://spanish.alibaba.com/product-gs/embeded-probe-sensor-pt100-for-waterproof-385290170.html>

Los sensores son dispositivos capaces de convertir una magnitud física, como puede ser la temperatura, la presión, el valor de pH, etc., en una diferencia de

potencial o una variación de intensidad. Es decir, realizan una conversión de energías y suministran información sobre el estado y tamaño de la magnitud.

Los sensores informan de su entorno y además esa información es cuantificable, es decir, medible por algún instrumento. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ.

### ➤ Sensores Comunes

Dentro de la alta gamma de sensores existentes, a continuación se muestra una tabla con los más comunes de ellos.

**Tabla N° 2.3.** Sensores comunes

Sensor	Fenómeno
Termopar, RTD, Termistor	Temperatura
Foto-sensor	Luz
Micrófono	Sonido
Galga Extensiométrica, Transductor Piezoeléctrico	Fuerza y Presión
Potenciómetro, LVDT, Codificador Óptico	Posición y Desplazamiento
Acelerómetro	Aceleración
Electrodo pH	pH

**Fuente:** <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

#### a) SENSOR DE TEMPERATURA

La temperatura es un parámetro medido desde la antigüedad, para ello se aplican diferentes métodos. Los sistemas de medida de temperatura han sufrido una gran evolución a lo largo del tiempo para adaptarse a las demandas del mercado. Hoy se producen modelos portátiles para el uso en industria como los sensores tipo termopar y las variedades de RTD.

### ➤ **SENSORES RTD**

Entregan una variación de resistencia dependiendo de la temperatura a la que se encuentre, por ejemplo; Pt 100 (Figura N° 2.26). Es una resistencia de platino de 100 Ohm a 0°C, que varía con la temperatura a razón de 0.328 Ohm/°C. La Pt-1000, resistencia de platino de 1000 Ohm a 0°C, que varía con la temperatura a razón de 3.28 Ohm/°C.

Es muy necesario tener en cuenta que la variación de temperatura no suele ser lineal con respecto a la resistencia de la Pt-1000, por lo tanto para el sistema de adquisición de datos tendremos que utilizar el comportamiento real de la Pt-1000 y el desplazamiento de la temperatura.

Para calcular la temperatura respecto de la resistencia de la Pt-1000 existen varias ecuaciones dadas. Por ejemplo:

$$RTD(T) \approx RTD_0(1 + T \times \alpha) \quad \text{Ec.13}$$

Dónde:

$RTD(T)$  = la resistencia de la RTD [ $\Omega$ ],

$RTD_0$  = la resistencia de la RTD a 0°C [ $\Omega$ ],

$T$  = la temperatura según la resistencia de la RTD [°C],

$\alpha = 0.00385 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$

Esta ecuación en la práctica no resulta ser tan exacta, por lo que no suele ser muy usada, por otra parte tenemos la ecuación 14, que viene a ser más recomendable para un sistema de adquisición de datos.

$$RTD(T) = RTD_0(1 + AT + BT^2 + CT^3(T - 1000)) \quad \text{Ec. 14}$$

$RTD(T)$  = la resistencia medida [ $\Omega$ ],

$RTD_0$  = la resistencia a °C [ $\Omega$ ],

$T$  = temperatura [°C],

A, B, C = constantes derivadas de las mediciones de resistencias a múltiples temperaturas.

Los ITS-90 (Escala internacional de Temperatura) estándar son:

$$RTD_0 = 1000 [\Omega] \text{ (para la Pt-1000),}$$

$$A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

$$B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2},$$

$$C = -4.185 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}, T < 0^\circ\text{C}$$

$$C = 0, T \geq 0^\circ\text{C}.$$

#### b) SENSOR DE FLUJO

El caudal másico se puede obtener alternativamente midiendo el caudal volumétrico y conociendo la temperatura del fluido y sus propiedades de densidad, las cuales generalmente vienen especificadas.



**Figura N° 2.27.** Caudalímetros

**Fuente:** KAMSTRUP - ULTRAFLOW® 54 DN15-125 – Especificaciones técnicas

Los sensores de flujo (caudalímetro) pueden medir el caudal en conducciones cerradas, y consiste en la determinación de la cantidad de masa o volumen que circula por la conducción por unidad de tiempo.

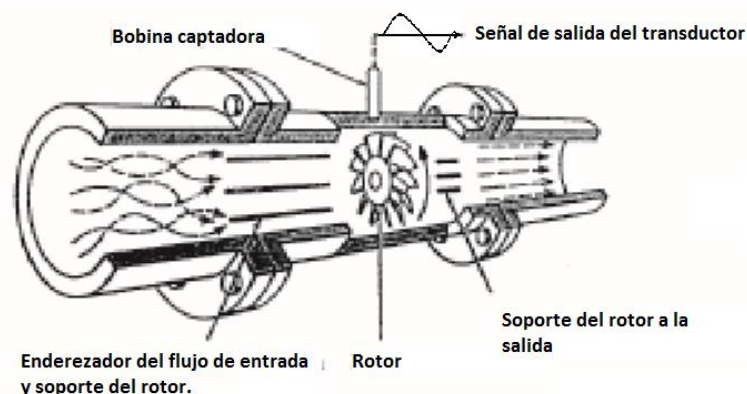
Principalmente miden el volumen de caudal, en combinación con medidores de energía.

Los medidores de caudal volumétrico pueden determinar el caudal de volumen de fluido de dos formas:

- directamente, mediante dispositivos de desplazamiento positivo, o
- indirectamente, mediante dispositivos de: presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, etc.

Los caudalímetros ultrasónicos se usan para circuitos cerrados como para la medición de energía en un sistema de calefacción de agua.

Por otra parte también tenemos a los medidores tipo turbina, este tipo de caudalímetro consta de una longitud de tubería en el centro de la cual hay un rotor de paletas múltiple, montado sobre cojinetes, para que pueda girar con facilidad, y soportadas aguas arriba y aguas abajo por un dispositivo de centrado tipo cruceta que, habitualmente, incorpora un enderezador de la vena fluida. La energía cinética del fluido circulando hace girar el rotor con una velocidad angular que, en el margen lineal del medidor, es proporcional a la velocidad media axial del fluido y, por tanto, al caudal volumétrico. La Figura N° 2.28 muestra un caudalímetro tipo turbina.



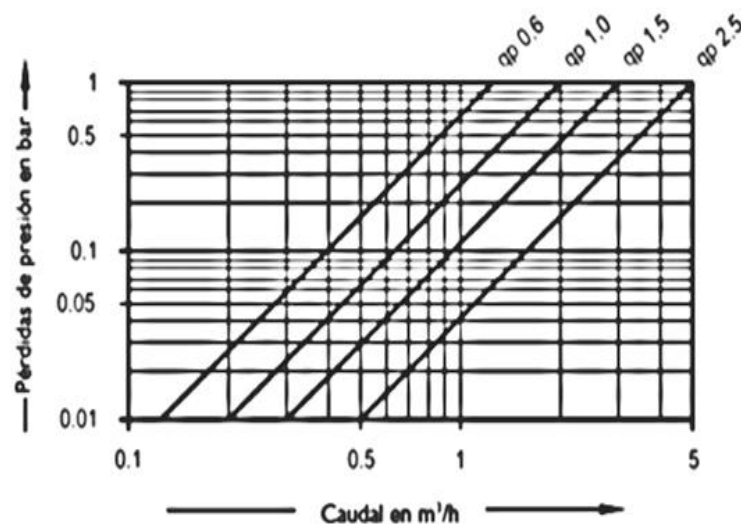
**Figura N° 2.28.** Caudalímetro tipo turbina

**Fuente:** Medida y evaluación de las extracciones de agua subterránea. ITGE-  
Luis García Gutiérrez



Este tipo de caudalímetros suelen ser muy usados en las instalaciones solares. La velocidad de giro del rotor proporciona el caudal volumétrico que circula en el sistema.

En este tipo de caudalímetros representan pérdidas de presión por el paso del fluido por la turbina.



**Figura N° 2.29.** Pérdidas de presión Caudalímetro tipo turbina Resol V40

**Fuente:** Catalogo PRLES de RESOL

En la figura anterior (Figura N° 2.29) se muestra la pérdida de presión que tendremos al usar el caudalímetro qp-0.6, si tenemos un caudal de 0.5 m<sup>3</sup>/h se tendrá una pérdida de presión de 0.12 bar.

## 2.14. ACONDICIONADOR DE SEÑAL

El objetivo del acondicionador de señal es generar, a partir de lo obtenido por los sensores, una señal que sea aceptable por las tarjetas de adquisición de datos. Las tarjetas de adquisición de datos suelen admitir niveles de tensión que van entre unos márgenes determinados: -10V a 10V, 0 a 10V, 0 a 5V.

Las funciones principales que va a tener que realizar el acondicionador de señal son las siguientes:

- Transformación
- Amplificación
- Conversión por medio de opto-acopladores

## 2.15. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital).

Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PAC (Control de Automatización Programable). Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital [7].

El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).



**Figura N° 2.30.** Adquisición de datos DAQ

**Fuente:** <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

## **2.16. FUNCIÓN DE LA PC EN UN SISTEMA DAQ**

Una PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar datos de medida. Diferentes tipos de PC's son usadas en diferentes tipos de aplicaciones. Una PC de escritorio se puede utilizar en un laboratorio por su poder de procesamiento, una laptop se puede utilizar por su portabilidad o una PC industrial se puede utilizar en una planta de producción por su robustez.

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA**

En este capítulo se pretende diseñar un sistema monitoreo lo suficientemente útil para el estudio y análisis de la energía térmica generada por un colector solar plano.

Las variables que tendrán nuestro sistema serán los cambios de temperatura tanto en la entrada como en la salida del colector de placa plana, y el caudal que circulara dentro del sistema de calentamiento de agua.

Se presentará también un diagrama de flujo claro para que el usuario pueda manejar y usar todas las aplicaciones posibles en el programa diseñado.

#### **3.1. SELECCIÓN DEL COLECTOR SOLAR Y DE LOS DISPOSITIVOS A USAR PARA EL SISTEMA DE MONITOREO.**

Con el estudio de los diferentes Colectores Solares en el Capítulo II, se puede notar que el calentador compacto con tubos de vacío es el más recomendable para la implementación, ya que consigue un mayor rendimiento que los equipos convencionales con colector plano, gracias a las propiedades aislantes del vacío; pero, también hay que tomar en cuenta que necesitan de mayor mantenimiento y que su costo es muy alto. Si estos sufren algún daño no se puede encontrar los repuestos ni accesorios adecuados en nuestro país.

Por lo tanto el Calentador Solar seleccionado es el de Placa Plana, el cual no necesita de mayor mantenimiento y está de acuerdo con el presupuesto.

El Monitoreo se dará gracias a un Sistema de Adquisición de Datos, el cual usará una tarjeta DAQ (detallada en el Capítulo II) y el software LabVIEW.

### **3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL COLECTOR SOLAR PLANO.**

En el capítulo II, se presentó cada una de las partes constituyentes de un calentador de agua solar. Ahora veremos más puntualmente las características de estos equipos; efectivamente de los seleccionados para la implementación del proyecto.

#### **3.2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE COLECTORES SOLARES PLANOS.**

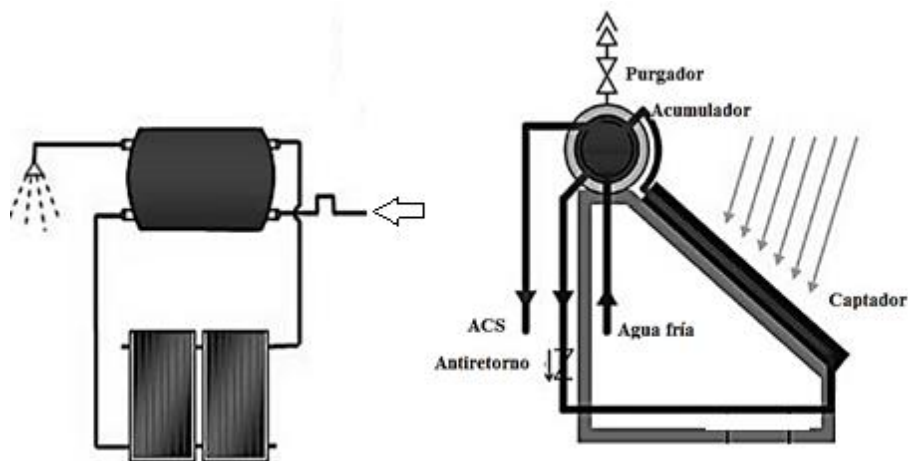
Para el diseño de un sistema solar hace falta conocer primero algunas informaciones básicas que permitan determinar el sistema solar más adecuado para la aplicación. Estas informaciones básicas, comunes para el correcto diseño de cualquier sistema solar, se refieren a los datos relativos a:

- Las necesidades del usuario y las condiciones de montaje,
- la orientación e inclinación de las superficies disponibles para la instalación,
- las condiciones climáticas del lugar, y
- la globalidad del proyecto.

En la implementación se usará un colector de placa plana con sistema de circulación por termosifón que está de acuerdo con el presupuesto calculado para el proyecto y funciona bien para la aplicación didáctica.

#### **3.2.2. ELEMENTOS USADOS PARA SU FUNCIONAMIENTO.**

En la Figura N° 3.1 se presenta el sistema de termosifón a implementarse para la medición de la energía entregada por el colector solar y los elementos a usarse para su funcionamiento.



**Figura N° 3.1.** Sistema de calentamiento solar operando en circuito por termosifón

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Los elementos principales en el sistema de calentamiento de agua son: el captador solar, el acumulador o termo-tanque, el tanque de reserva de agua (no siempre presente) y distintos accesorios.

#### **a) CAPTADOR SOLAR.**

Es la zona que se expone al sol, cuya función es recolectar los rayos solares para transferir su calor al agua.

Es la parte principal del sistema de calentamiento de agua, que en nuestro caso será un captador solar de Placa Plana como se muestra en la Figura N° 3.2.



**Figura N° 3.2.** Colector solar Chromagen

**Fuente:** <http://www.solartown.com/store/product/chromagen-solar-collector-4-ft-x-7-ft/>

A continuación, en la Tabla N° 3.1 , se muestran las especificaciones técnicas del Colector que se usará en la implementación. En el ANEXO 1 se muestra la hoja técnica.

**Tabla N° 3.1.** Características del Colector

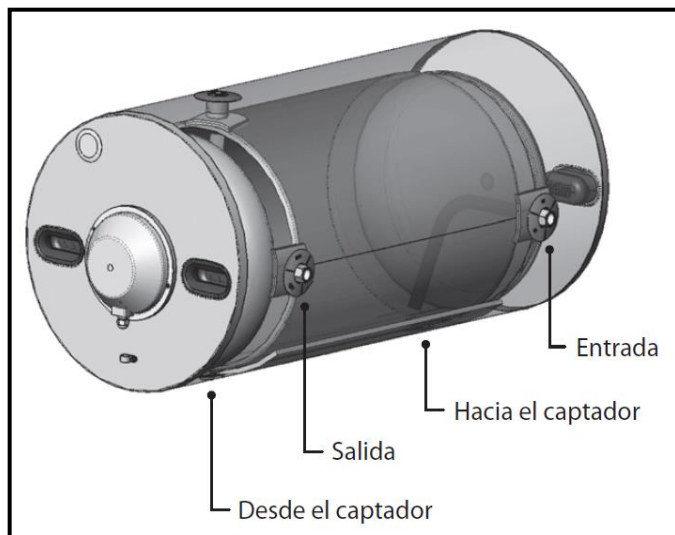
Area bruta (m <sup>2</sup> )	2,02
Area del absorbedor (m <sup>2</sup> )	1,87
Peso (Kg)	33
Capacidad de fluido (l)	1,18
Presión de prueba (bar)	16
Presión de operación (bar)	6

**Fuente:** Manual de instalación del fabricante

Otras características: Tubería de cobre, suelda ultrasonido, vidrio especial solar antirreflejo templado de 3,2mm, marco galvanizado y con pintura al horno, aislamiento de poliuretano 4cm.

## b) ACUMULADOR

El acumulador es un tanque térmico que recibe y mantiene el agua caliente, sirve como un acumulador de calor.



**Figura N° 3.3.** Tanque térmico

**Fuente:** Manual de instalación CHROMAGEN

### **Características del Acumulador:**

Termotanque de 150 litros horizontal, porcelanizado completo en su interior, aislamiento de poliuretano, auxiliar eléctrico 220V/2500W, presión de prueba 16 bar, presión de trabajo 6 bar, ánodo de magnesio, peso neto vacío 56 Kg.

## c) ACCESORIOS DE INSTALACIÓN PARA LA ACOMETIDA, COLECTOR Y ACUMULADOR.

Para la instalación se necesitan los accesorios mostrados en la Tabla N° 3.2, y se los ubica como se muestra en la Figura N° 3.4.

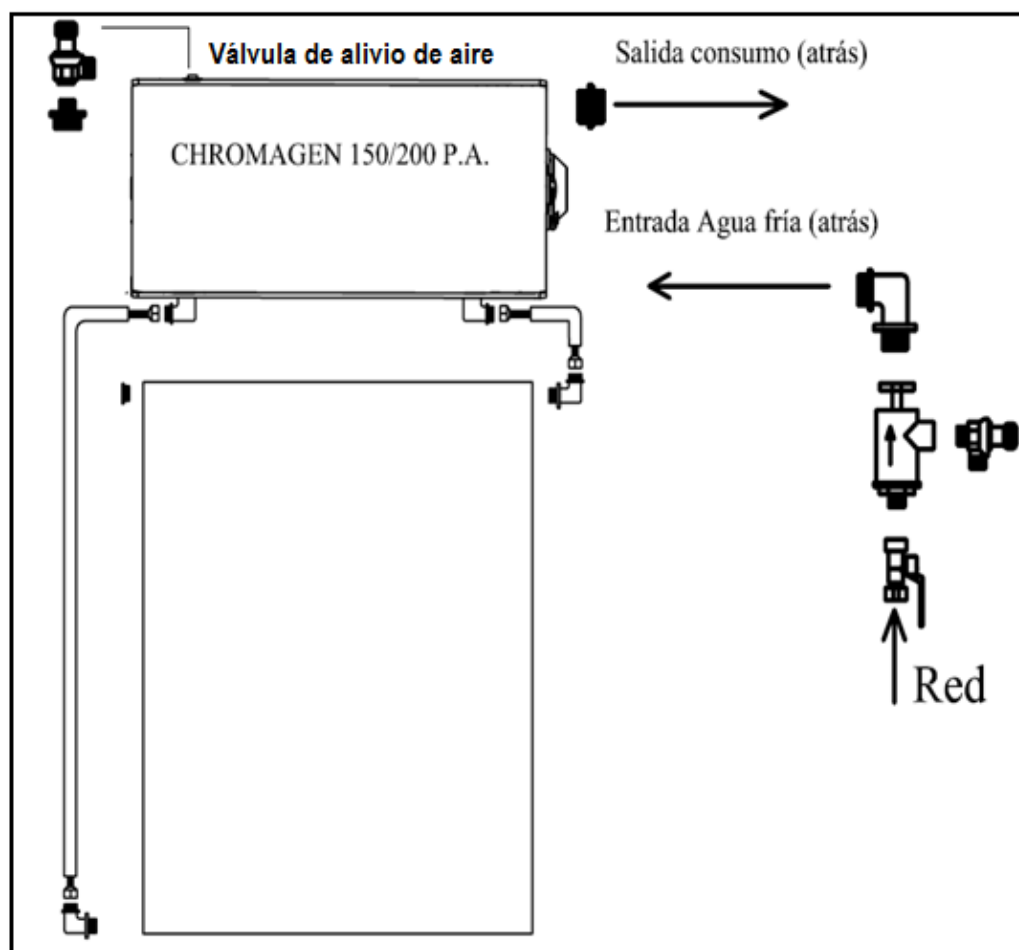


**Tabla N° 3.2.** Accesorios de Conexión

Descripción	150 l Cantidad
Codo $\frac{3}{4}$ in	5
Reductor $\frac{3}{4}$ - $\frac{1}{2}$ in	2
Acople $\frac{3}{4}$ - $\frac{3}{4}$ in	1
Tapón $\frac{3}{4}$ in	2
Válv. Seguridad 8 ATM	1
Válv. Antirretorno	1
Válv. Esfera $\frac{1}{2}$ in	2
Vlv. Seguridad 3 ATM	1

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

En la Figura N° 3.5 se muestra el diagrama de conexiones con la ubicación de los sensores necesarios para la implementación del sistema de adquisición de datos de la energía producida por el colector solar plano y otras aplicaciones mostradas posteriormente en los siguientes capítulos:

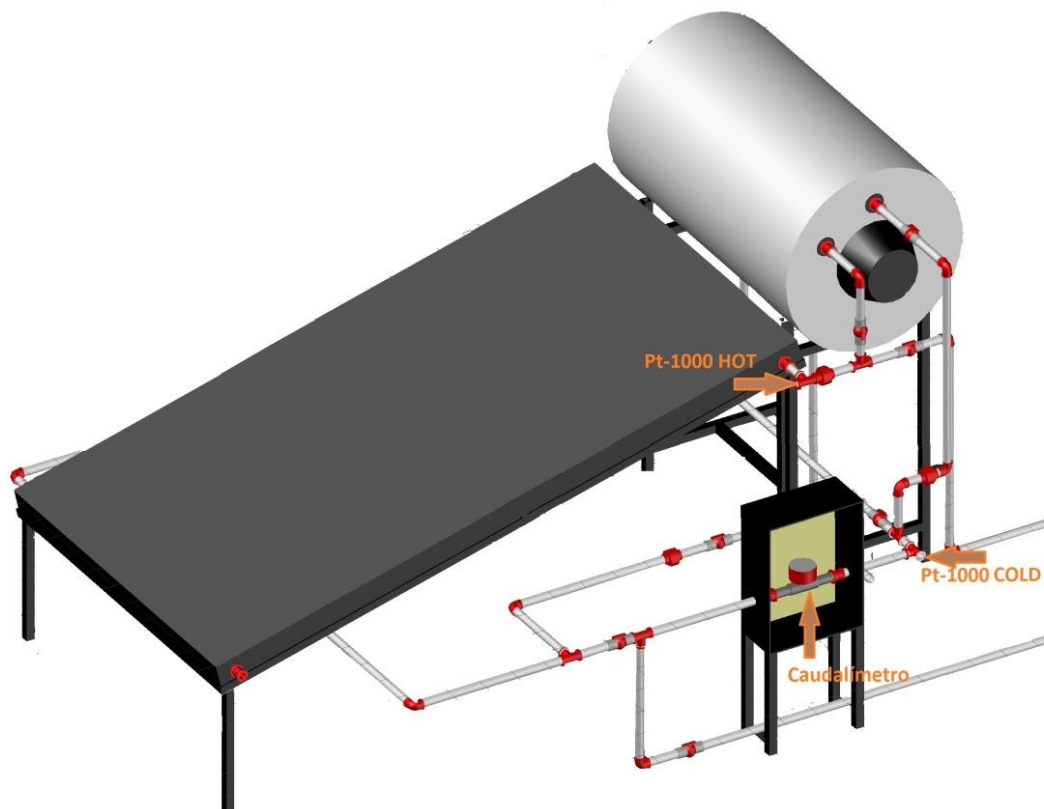


**Figura N° 3.4.** Accesorios para la instalación

**Fuente:** Manual de instalación CHROMAGEN

### 3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para el sistema de adquisición de datos se usará dos sensores Pt-1000 los mismos que son seleccionados para la medición de temperatura y un caudalímetro RESOL V40-0.6. También usaremos una tarjeta de adquisición de datos DAQ y el software LabView.



**Figura N° 3.5.** Disposición de los sensores de temperatura y caudal en el Sistema Calentador de Agua

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

En la Figura N° 3.5 se muestra la disposición de los sensores de temperatura de avance, retorno y el sensor de flujo de caudal; que se usaran para la obtención de los datos necesarios para las mediciones y cálculo de la energía producida por el colector solar.

### **3.3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.**

Como se mencionó anteriormente son necesarios dos sensores de temperatura y un medidor de caudal, los cuales no deben presentar problemas para adquisición de medidas de los mismos.

En los sensores de temperatura se debe considerar, el rango de temperatura que pueden medir y la señal que nos dan por cada variación de temperatura, y en el sensor de flujo (caudal), se toma en cuenta el rango de medida que tienen, la presión de trabajo, y también la señal de salida. Todos estos datos son necesarios para no tener problemas con la adquisición de datos que se la realiza con la DAQ 6008.

#### a) **SENSORES DE TEMPERATURA.**

Los sensores de temperatura seleccionados son dos Pt-1000 de RESOL Figura N° 3.6.



**Figura N° 3.6.** Sensor de temperatura Pt-1000

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Las sondas Pt-1000 entregan una variación de resistencia de acuerdo a la temperatura a la que se encuentran, esta resistencia puede ser medida por un ohmímetro con las sondas desconectadas.

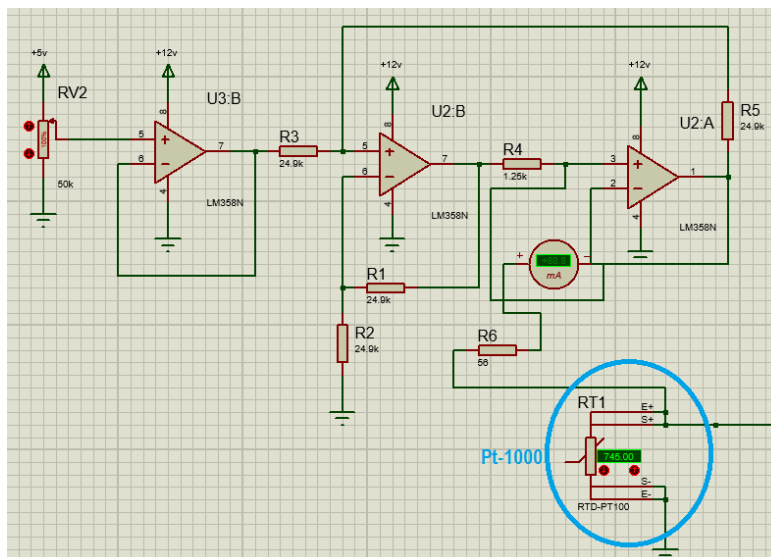
La siguiente tabla indica los valores de resistencia según la temperatura a la que se encuentran las sondas.

**Tabla N° 3.3.** Resistencia y temperatura de una Pt-1000

TEMPERATURA		OHMIOS
°C	°F	$\Omega$
-10	14	961
-5	23	980
0	32	1000
5	41	1019
10	50	1039
15	59	1058
20	68	1078
25	77	1097
30	86	1117
35	95	1136
40	104	1155
45	113	1175
50	122	1194
55	131	1213
60	140	1232
65	149	1252
70	158	1271
75	167	1290
80	176	1309
85	185	1328
90	194	1347
95	203	1366
100	212	1385
105	221	1404
110	230	1423
115	239	1442

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Para la adquisición de los datos entregados por las Pt-1000 se transformará la señal de resistencia entregada por la misma a una señal de voltaje variable, esto se lograra con la creación de una fuente de corriente que estará conectada a cada una de las Pt. La fuente recomendada para este tipo de sonda es de 1mA, en la Figura N° 3.7 se presenta el circuito para crear la fuente de corriente.



**Figura N° 3.7.** Fuente de corriente Pt-1000

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

El rango de temperatura especificado para el cálculo de la energía producida por él colector va de 0 a 115 °C, para estas temperaturas tenemos los valores de 1000 ohm a 0 °C y 1442 ohm a 115 °C, según la Tabla N° 3.3.

Al crear la fuente de corriente de 1 mA recomendada para las Pt-1000 tendremos como rango de medición en voltaje:

$$V_{inferior} = R * I$$

$$V_{inferior} = 1000\Omega * 1mA$$

$$V_{inferior} = 1 V$$

y,

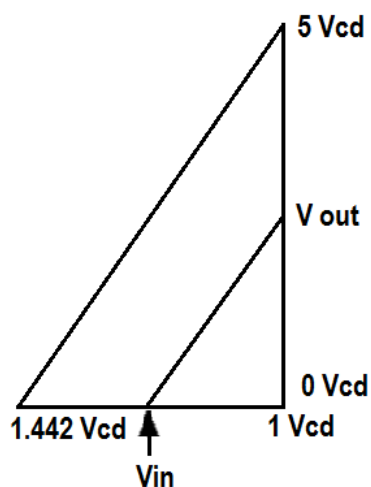
$$V_{superior} = R * I$$

$$V_{superior} = 1442\Omega * 1mA$$

$$V_{superior} = 1.442 V$$

Al tener un rango de variación tan pequeña de voltaje (de 1 a 1.442 V) no se podrá obtener una buena lectura o apreciación de los valores entregados por la Pt-1000, por lo que se amplifica a una señal de 0 a 5 V.

Para obtener la señal amplificada de 0 a 5 V tenemos:



**Figura N° 3.8.** Cambio de voltaje para amplificar

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

La pendiente de la recta “m”:

$$m = \frac{5-0}{1.442-1} = 11.31$$

De aquí partimos para hallar el voltaje amplificado  $V_{out}$  según el voltaje inicial  $V_{in}$ ;

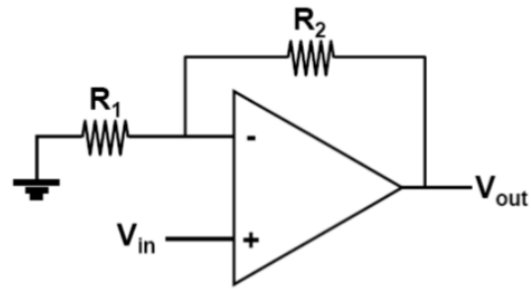
$$V_{out} = 11.31V_{in} - 11.31 \quad \text{Ec. 15}$$

Un amplificador operacional puede amplificar una señal dentro del rango de su alimentación mínima y máxima.

En la implementación se tendrá una fuente de 0 a 12 Vcd que alimentara a los amplificadores operacionales, por lo que no se podría obtener el voltaje restante (-11.31) de la Ec. 15. Por este motivo se empezará dividiendo la ecuación anterior para 2 con lo que tendría una fuente positiva y negativa dentro del rango de alimentación de los amplificadores operacionales, resultando de la Ec. 15.

$$V_{out1} = 5.65V_{in} - 5.65 \quad \text{Ec. 16}$$

Para obtener esta ecuación con amplificadores operacionales se necesita un amplificador no inversor (Figura N° 3.9) con una ganancia inicial de 5.65V.

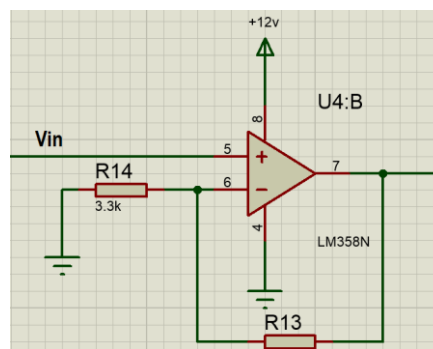


**Figura N° 3.9.** Amplificador no inversor

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

En un amplificador inversor la ganancia está representada por  $\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$ , a partir de esta seleccionamos las resistencias adecuadas para obtener el valor de 5.65 V.

$$R_{13} = 15.33 \text{ K}\Omega, R_{14} = 3.3 \text{ k}\Omega$$

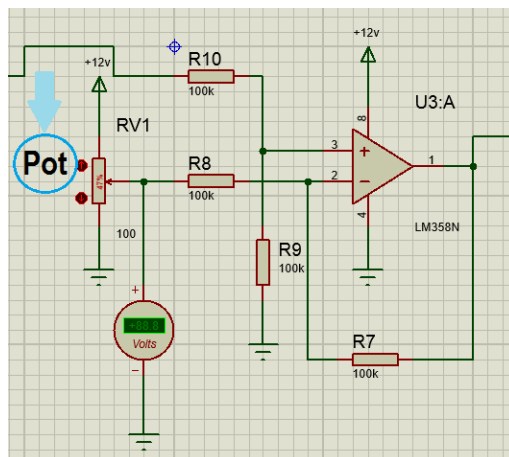


**Figura N° 3.10.** Amplificador no inversor Acondicionamiento.

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Para obtener el voltaje constante (-5.64), partir de la salida del amplificador no inversor Figura N° 3.10 se ubica un amplificador diferencial para completar el valor requerido de la Ec. 16.





**Figura N° 3.11.** Amplificador diferencial

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

El potenciómetro POT indicado en la Figura N° 3.11, nos ayuda al contraste de la adquisición del dato de voltaje final, este viene a ser el voltaje variable cercano a 5.65 Vcd, del cual se tendrá control para el contraste de la señal de salida Ec. 16.

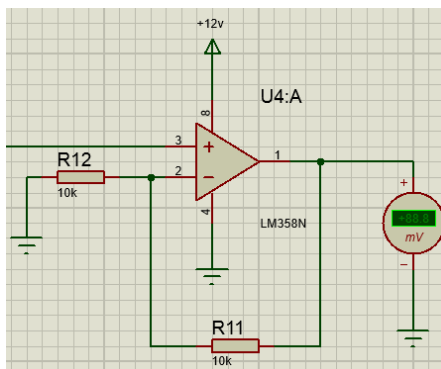
Con este procedimiento se obtiene el valor de la  $V_{out1}$ .

El valor final  $V_{out}$  requerido del acondicionamiento inicial, se obtiene al amplificar a  $V_{out1}$  con una ganancia de 2, con la cual se obtiene el valor de la Ec. 15, aquí se usará un amplificador no inversor.

Sabiendo que la ganancia de un amplificador no inversor es  $G = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$ , tendría que R1 y R2 son iguales.

$$R_1=10K$$

$$R_2=10K$$



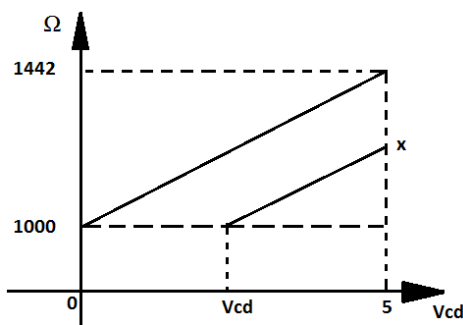
**Figura N° 3.12.** Amplificador inversor final

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

La señal de salida la obtendremos en voltaje en un rango de 0 Vcd a 0°C y 5 Vcd a 115 °C, para la adquisición en la tarjeta DAQ-6008.

Con lo estudiado en el capítulo II acerca del comportamiento de las RTD o Pt encontramos la necesidad de hallar la resistencia de nuestras RTD a partir del voltaje entregado por nuestro acondicionamiento y posteriormente usar la Ec. 14 para obtener la temperatura a la que se encuentra el punto de estudio.

A continuación se presentan los cálculos a seguir para encontrar nuestra temperatura a partir de la salida análoga de nuestro acondicionamiento Figura N° 3.13:



**Figura N° 3.13.** Salida análoga de voltaje

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

$$\frac{1442 - 1000}{x - 1000} = \frac{5}{Vcd}$$

$$x = \frac{442Vcd}{5} + 1000 \quad \text{Ec.17}$$

A partir de la ecuación 17 podremos conocer la resistencia de nuestra Pt-1000 a partir del voltaje entregado por el acondicionamiento.

El segundo paso a seguir es la transformación de señal de resistencia a la señal de temperatura, que es la que necesitamos para nuestra implementación. Esto se consigue con el uso de la ecuación 14 mostrada en el capítulo II.

$$RTD(T) = RTD_0(1 + AT + BT^2 + CT^3(T - 1000))$$

Tomando en cuenta que no mediremos temperaturas inferiores a los 0 °C nos quedaría que:

$$RTD(T) = RTD_0(1 + AT + BT^2) \quad \text{Ec. 18}$$

Despejando T (temperatura buscada) de la ecuación 18 y reemplazando el valor de la RTD (T) = x de la ecuación 17 tendremos que:

$$T = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B\left(1 - \frac{x}{1000}\right)}}{2B} \quad \text{Ec. 19}$$

Dónde:

$$A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

$$B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

Tanto la ecuación 17 y 19 serán usadas en el desarrollo de las aplicaciones de nuestro sistema de adquisición de datos.

## **b) SENSOR DE CAUDAL.**

Para la medición del caudal se seleccionó el caudalímetro RESOL modelo V40-0.6 (Figura N° 3.14). El RESOL V40-0.6 es un instrumento de medición equipado con un emisor de impulsos para medir el caudal del agua o de las mezclas de agua glicol. Después de circular un determinado volumen de líquido, el V40 le envía un impulso que indica la cantidad de litros que paso por el caudalímetro.



**Figura N° 3.14. RESOL V40-06**


**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Cuando se monte este modelo de caudalímetro en el sistema, tenga en cuenta el sentido del flujo indicado en el caudalímetro. Para estabilizar el régimen del flujo en la tubería, deje un espacio de entrada y salida de 30 cm como mínimo en cada lado del caudalímetro.

La frecuencia de impulso indica cuantos litros circularon por el caudalímetro, es decir que el pulso enviado indicara el volumen de caudal circulado por el mismo.

Los datos técnicos se muestran en la Tabla N° 3.4:

**Tabla N° 3.4. Datos técnicos del caudalímetro RESOL Modelo V40-0.6**

<b>Modelo</b>	<b>V40-06</b>
<b>Versión</b>	1
<b>Frecuencia de impulsos l/Imp</b>	1
<b>Anchura nominal DN</b>	20
<b>Rosca del contador</b>	1
<b>Rosca de los racores</b>	$\frac{3}{4}$
<b>Presión máxima bar</b>	<b>Pmáx</b> 16
	CONTINUA 

<b>Modelo</b>	V40-06
<b>Temperatura máxima T<sub>máx</sub></b> °C	120
<b>Caudal nominal Q<sub>n</sub></b> m <sup>3</sup> /h	0.6
<b>Caudal máximo Q<sub>máx</sub></b> m <sup>3</sup> /h	1.2

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

En el caso del caudalímetro RESOL Modelo V40-06, con los datos técnicos indicados en la Tabla N° 3.4, se entiende que cada pulso indica el paso de un litro por el sistema.

El tratamiento de la señal de caudal se dará mediante la cuenta de pulsos que el sensor envía, así por cada pulso que reciba la tarjeta DAQ sabremos que ha circulado el volumen de un litro de fluido (agua).

### **3.3.2. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.**

Aquí se mostrará el equipo necesario para el monitoreo a partir de la adquisición de datos y un software a para el desarrollo de las distintas aplicaciones.

#### **a) TARJETA DAQ**

Las innovadoras tecnologías del hardware DAQ y del controlador NI-DAQmx le brindan mejor precisión y mayor rendimiento. Sin importar el tipo de aplicación, ya sea para medidas básicas o sistemas complejos, NI tiene las herramientas adecuadas para este proyecto.




**Figura N° 3.15.** Tarjeta DAQ 6008

**Fuente:** <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-218/lang/es>

En la siguiente tabla se mostraran sus características técnicas:

**Tabla N° 3.5.** Características de la DAQ 6008

Tipo de convertidor	Aproximación sucesiva
Entradas analógicas	8, 4 diferenciales, seleccionable por software de una sola terminal
NI USB-6008	12 bits diferencial, 11 bits de una sola terminal-
NI USB-6008	10 kS / s
Tipo de convertidor	<b>Aproximación sucesiva</b>
FIFO AI	512 bytes
Resolución del tiempo	41.67 ns (24 MHz base de tiempo)
Precisión de tiempo	100 ppm de tasa de muestra real
Unipolares	$\pm 10$ V
Diferencial	$\pm 20$ V $\underline{2}$ , $\pm 10$ V, $\pm 5$ V, $\pm 4$ V, $\pm 2.5$ V, $\pm 2$ V, $\pm 1.25$ V, $\pm 1$ V $\underline{-}$
	CONTINUA 

Tipo de convertidor	Aproximación sucesiva
Voltaje de funcionamiento	$\pm 10$ V
Impedancia de entrada	144 k $\Omega$
Protección contra sobretensiones	$\pm 35$
Fuente de disparo	Software o trigger digital externo
$\pm 10$ V gama	5 mVrms
$\pm 20$ V gama	5 mVrms

**Fuente:** <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/es/nid/201986>

En la Tabla N° 3.5 podemos notar que tenemos todas las entradas analógicas necesarias para la adquisición de datos, también tenemos que notar que el voltaje máximo que puede admitir la tarjeta DAQ es de 10 V, esta es una característica importante que se debe tomar en cuenta para la selección de los sensores a usar.

En la Tabla N° 3.6 se muestra el resumen de los sensores seleccionados y sus características relevantes para el sistema de adquisición de datos.

**Tabla N° 3.6.** Resumen de la selección de sensores.

Variable	Sensor	Rango de medición	Señal de voltaje
<b>Temperatura de entrada (Te)</b>	Pt-1000	0-115°C	0-5Vcd
<b>Temperatura de salida (Ts)</b>	Pt-1000	0-115°C	0-5Vcd
<b>Caudal (Q)</b>	V40-60	0-20 l/min	2Vcd

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

### 3.3.3. SOFTWARE A USAR PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.

El software seleccionado para la adquisición de datos es LABVIEW, el mismo que nos ayudará en el monitoreo, cálculo y el almacenamiento de los datos adquiridos con los sensores.

También es necesario el Driver Software NI-DAQmx™ el control de los datos recibidos por la tarjeta de adquisición de datos DAQ NI-USB 6008.

### 3.3.4. PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE

Antes de iniciar con la programación se necesita instalar el Software LABVIEW y el Driver Software NI-DAQmx™.

Iniciaremos con la configuración de la tarjeta de adquisición DAQ NI-USB 6008.

#### a) INSTALACIÓN DEL CONTROLADOR NI-DAQMX™ Y LABVIEW.

Paso 1. Insertar el CD del controlador y dar Click en Ejecutar autorun.exe

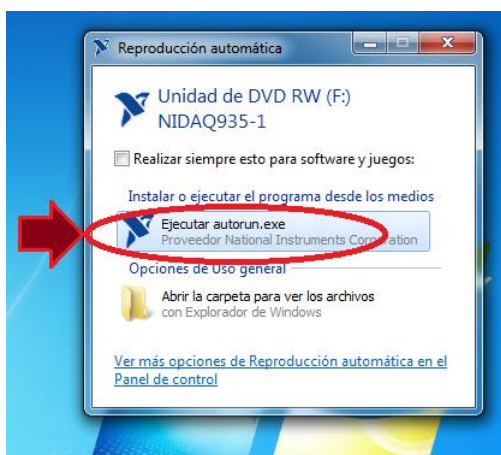
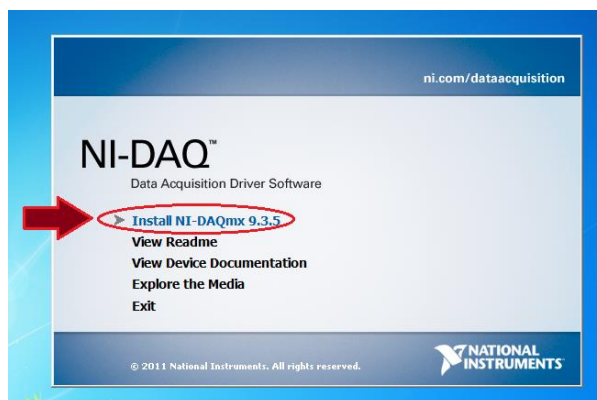


Figura N° 3.16. Paso 1(Instalación de NI-DAQmx™)

Elaborado por: Freddy Chipugsi

Paso 2. Dar click en Install NI-DAQmx 9.3.5, y continuamos con los pasos que nos indican las ventanas del instalador.





**Figura N° 3.17.** Paso 2(Instalación de NI-DAQmx™)

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

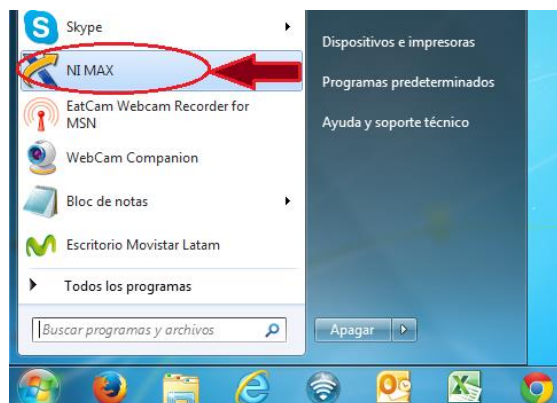
A continuación instalar el Software LabVIEW siguiendo los pasos que nos indique el proveedor del software.

Después de haber concluido con la instalación de los dos Software se debe comprobar la conexión con la tarjeta de adquisición de datos DAQ NI-6008.

## **b) PRUEBA DE CONEXIÓN DE LA TARJETA DAQ NI-6008**

Paso 1. Conectar la tarjeta a la PC con el cable USB.

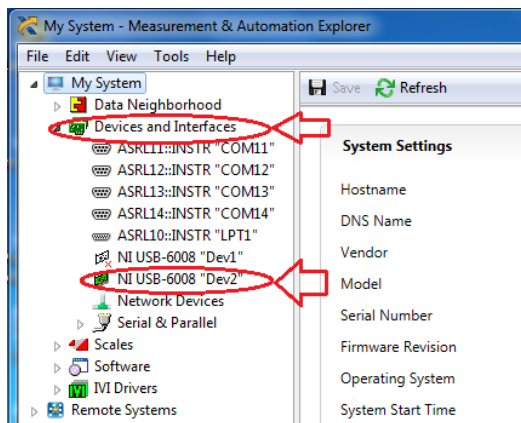
Paso 2. Buscar en Programa NI MAX y lo abrirlo.



**Figura N° 3.18.** Paso 2 (Conexión con la tarjeta DAQ).

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

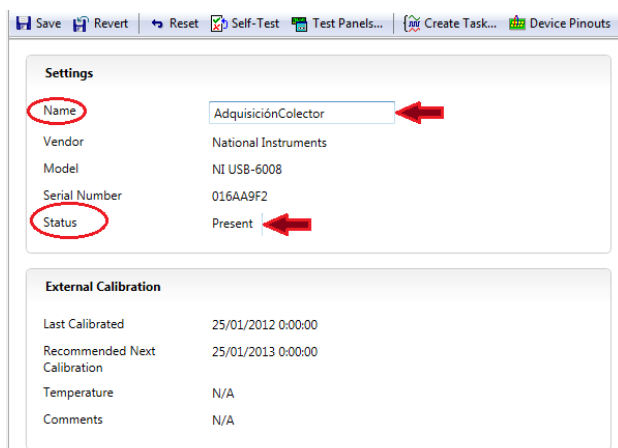
Paso 3. En la ventana principal del programa ingresar a Device and Interfaces y localizar a la tarjeta DAQ, en este caso la NI USB-6008 “Dev2”.



**Figura N° 3.19.** Paso 3 (Conexión con la tarjeta DAQ)

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

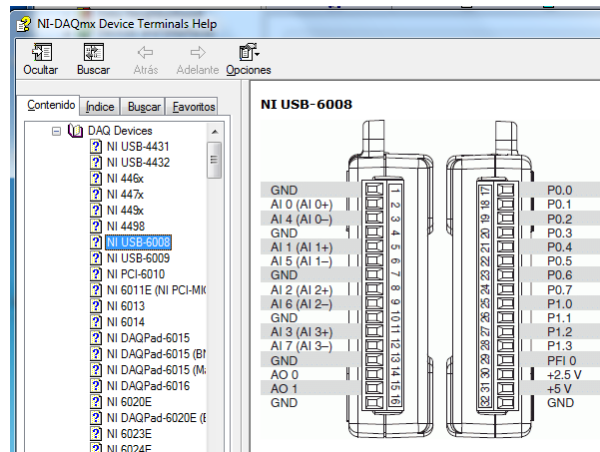
Paso 4. E la Figura N° 3.20 se puede ver el estado de la tarjeta y sus características.



**Figura N° 3.20.** Paso 4 (Conexión con la tarjeta DAQ)

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

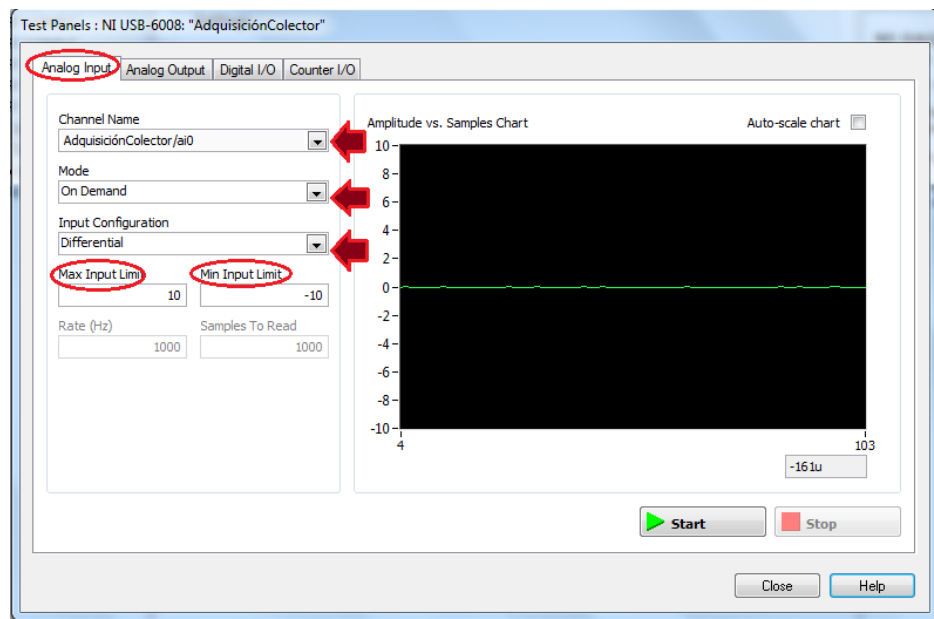
Paso 5. En la ventana anterior (Figura N° 3.21) empezaremos seleccionando el último submenú Device Pinouts, esto es muy importante para notar la configuración de las entradas/salidas análogas y digitales de nuestra tarjeta.



**Figura N° 3.21.** Paso 5 (Conexión con la tarjeta DAQ)

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Paso 6. En el submenú (Figura N° 3.22), seleccionamos Test Panel, aquí podemos ver claramente el estado y configuración de cada una de las entradas análogas para el uso en el proyecto.



**Figura N° 3.22.** Paso 6 (Conexión con la tarjeta DAQ)

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

En el software LabVIEW se realizará e indicara las configuraciones necesarias para la correcta adquisición de los valores de las variables a medir.

### **3.3.5. PROGRAMACIÓN DEL HMI.**

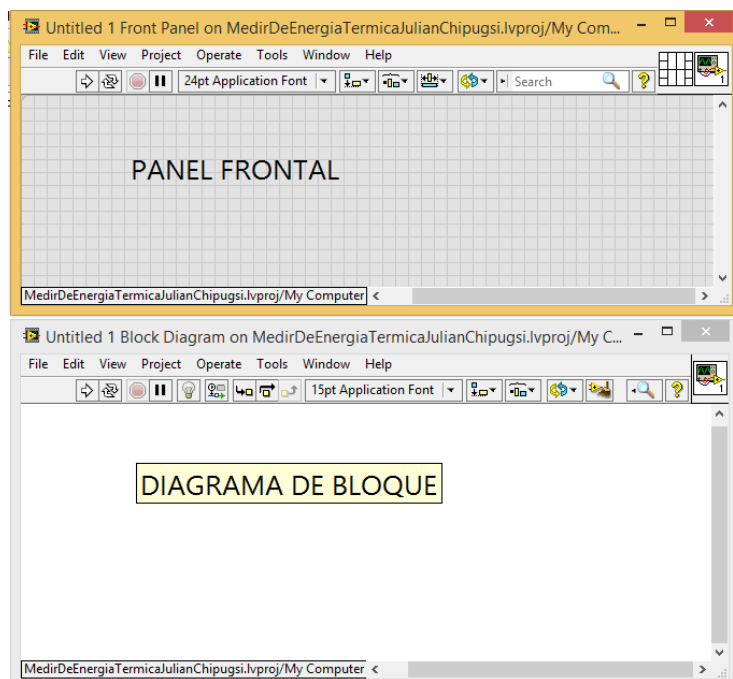
El software en el que se realizará la programación del HMI (Interface Hombre-Máquina) para el monitoreo de la Energía producida por el Colector Solar Plano es LabVIEW 2013.

### **3.3.6. INTRODUCCIÓN LABVIEW**

LabVIEW es una plataforma de programación gráfica que ayuda a ingenieros a escalar desde el diseño hasta pruebas y desde sistemas pequeños hasta grandes sistemas. Ofrece integración sin precedentes con software legado existente, IP y hardware al aprovechar las últimas tecnologías de cómputo. LabVIEW ofrece herramientas para resolver los problemas de hoy en día y la capacidad para la futura innovación, más rápido y de manera más eficiente [8].

Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VI's ya que su apariencia y operación generalmente imitan a los instrumentos físicos, como osciloscopios y multímetros. LabVIEW contiene una extensa variedad de herramientas para adquirir, analizar, visualizar y almacenar datos, así como herramientas para ayudarle a solucionar problemas en el código que escriba.

Consta de un Panel Frontal y un Diagrama de Bloque (Figura N° 3.23).



**Figura N° 3.23.** Entorno de LabVIEW

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

El Panel frontal se usa para la visualización, aquí podemos ubicar controles e indicadores.

El Diagrama de Bloque se usa para desarrollar la programación.

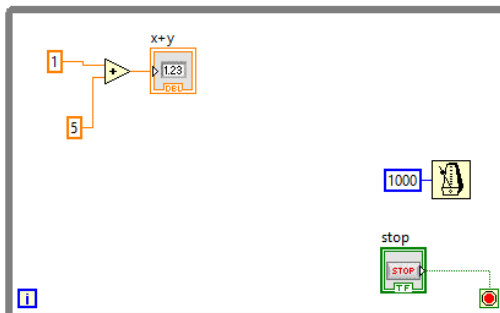
### 3.3.7. LAZOS EN LABVIEW

Para empezar a desarrollar cualquier VI es necesario conocer los lazos principales usados en LabVIEW, indicaremos los lazos o estructuras usados en el desarrollo de nuestro sistema de adquisición de datos.

#### a) While Loop

Es muy similar a un Ciclo Do o a un Ciclo Repeat-Until en lenguajes de programación basados en texto, un Ciclo While Loop (Figura N° 3.24), ejecuta el código que contiene hasta que ocurre una condición.

Es muy importante tomar en cuenta que LabVIEW se ejecuta de afuera hacia dentro.



**Figura N° 3.24.** Lazo While Loop

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

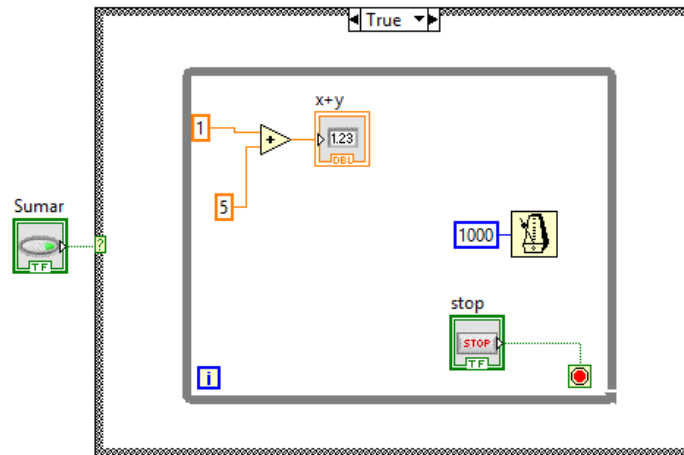
El Ciclo While Loop está ubicado en la paleta Structures. Seleccione el Ciclo While en la paleta, después use el cursor para arrastrar una selección rectangular alrededor de la sección del diagrama de bloques que desea repetir. Cuando suelte el botón del mouse, un borde del Ciclo While encierra la sección que seleccionó.

El Ciclo While ejecuta el código que contiene hasta la terminal condicional, una terminal de entrada, recibe un valor Booleano específico.

### **b) Case Structure**

Una estructura de Casos (Figura N° 3.25) tiene dos o más subdiagramas o casos.

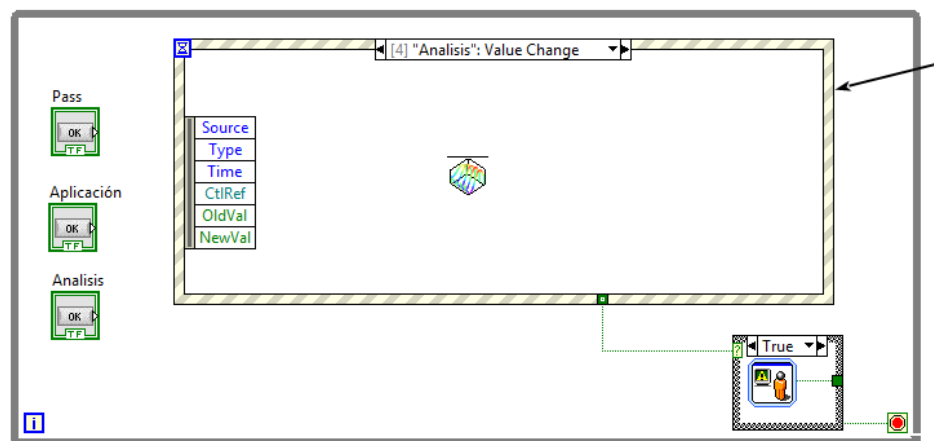
Solamente un subdiagrama es visible a la vez y la estructura ejecuta solamente un caso a la vez. Un valor de entrada determina cual subdiagrama se ejecuta. La estructura de Caso es similar a las instrucciones del interruptor o las instrucciones si...después... en lenguajes de programación basados en texto.



**Figura N° 3.25.** Case Structure  
**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

### c) Event Structure

La estructura de eventos (Figura N° 3.26) espera hasta que un evento ocurra, ejecuta cada caso que sea seleccionado. La estructura de eventos puede tener uno o varios subdiagramas.



**Figura N° 3.26.** Event Structure  
**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Las estructuras mostradas anteriormente son las que usaremos para el desarrollo de las aplicaciones para la cuantificación y monitoreo de la energía producida por un colector solar plano.

La adquisición de datos se la realiza con la tarjeta DAQ NI-6008 y se conectará con el HMI mediante un puerto USB.

El HMI tendrá las siguientes funciones.

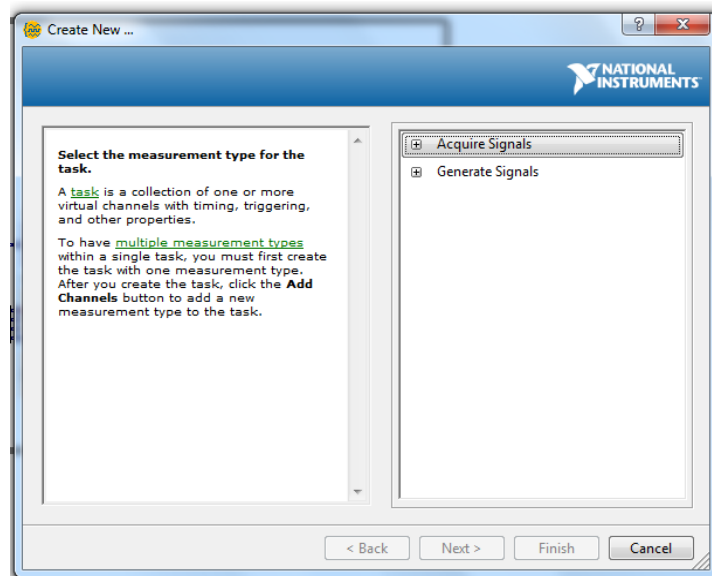
- Ingreso al software
- Mostrar los datos adquiridos por la DAQ NI-6008
- Mostrar la energía que se va produciendo en el sistema
- Guardar los datos adquiridos en archivos de Excel.
- Permitir la descarga de datos almacenados anteriormente en Excel para su posterior análisis.

### **3.3.8. PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

Para iniciar con la programación de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), usaremos la herramienta de LabView DAQ Assistant (Asistente de programación de la DAQ).

Al ingresar al asistente de programación se desplegara la ventana “Create New” (Figura N° 3.27), en la que seleccionaremos la opción “Acquire signals”, para la selección el tipo de señal que adquiriremos para usar en la adquisición de datos del sistema.

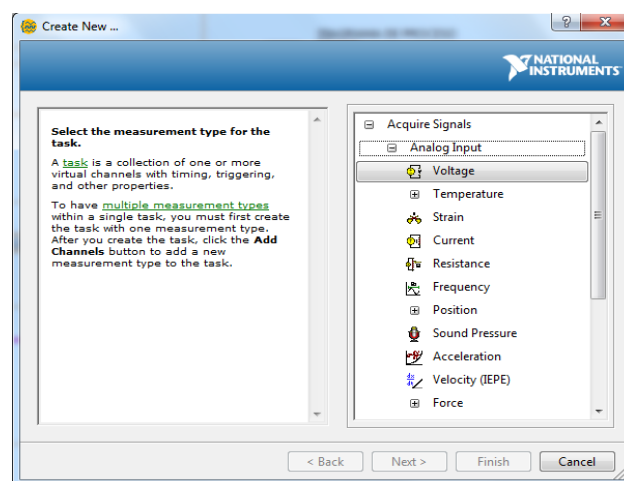




**Figura N° 3.27. DAQ Assistant**

**Elaborado por: Freddy Chipugsi**

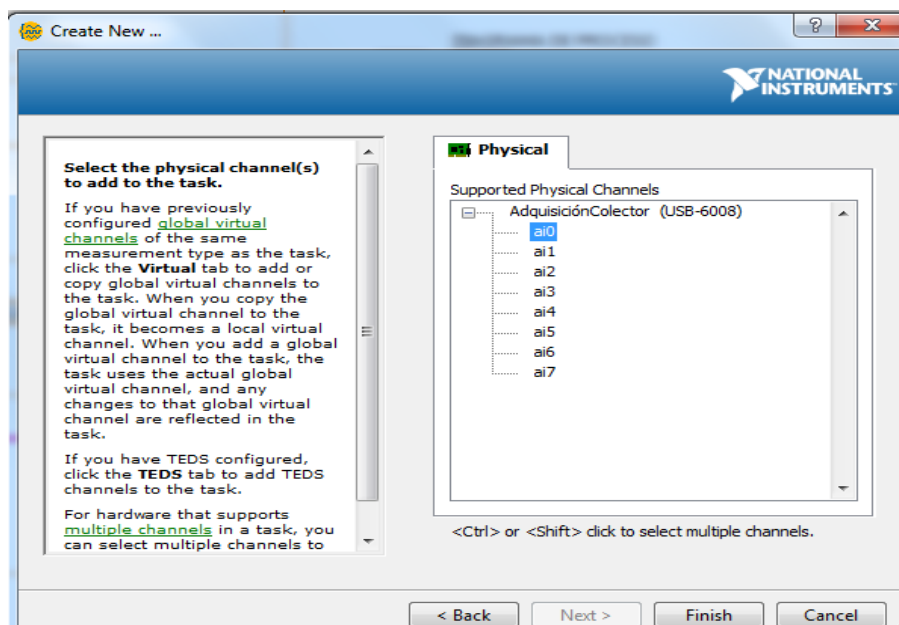
A continuación se selecciona la opción “Analog Input”, aquí se configurará el tipo de señal analógica de voltaje que se usará en el sistema (Figura N° 3.28).



**Figura N° 3.28. Analog Input**

**Elaborado por: Freddy Chipugsi**

Al ingresar a la opción “Voltage” se desplegará la ventana (Figura N° 3.29), en la cual se irá seleccionando una a una las entradas a ser usadas para la adquisición de los datos entregados por los sensores.



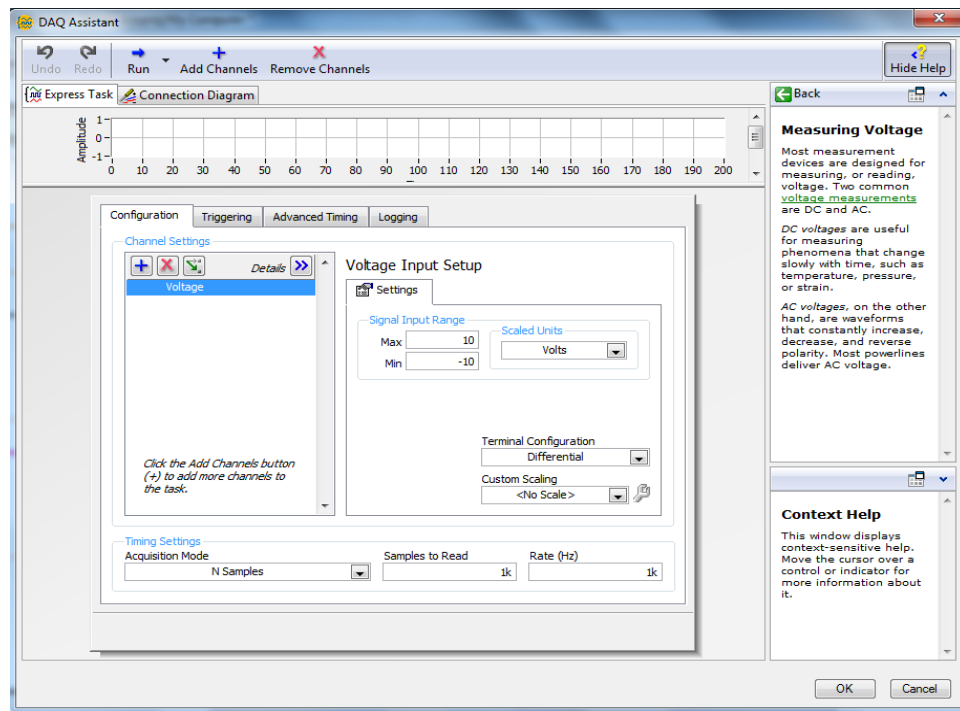
**Figura N° 3.29. Physical Channels**

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

A continuación la ventana DAQ Assistant nos ayudará a realizar la configuración las entradas análogas a ser usadas, dentro de esta ventana podremos ir añadiendo las entradas que deseemos usar.

Por problemas representados con la entrada análoga AI2, no será usada para la adquisición de señales.

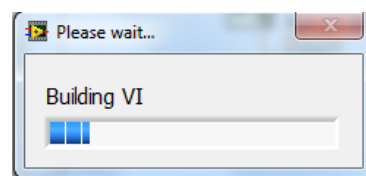
Es muy importante que antes de ejecutar el programa se verifique una a una las entradas análogas de la tarjeta DAQ-6008 (Figura N° 3.22).



**Figura N° 3.30.** Asistente de programación de la tarjeta DAQ

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Al finalizar la configuración de las entradas análogas se cargarán los cambios en la tarjeta DAQ (Figura N° 3.31) estaremos listos para la programación de nuestro HMI.

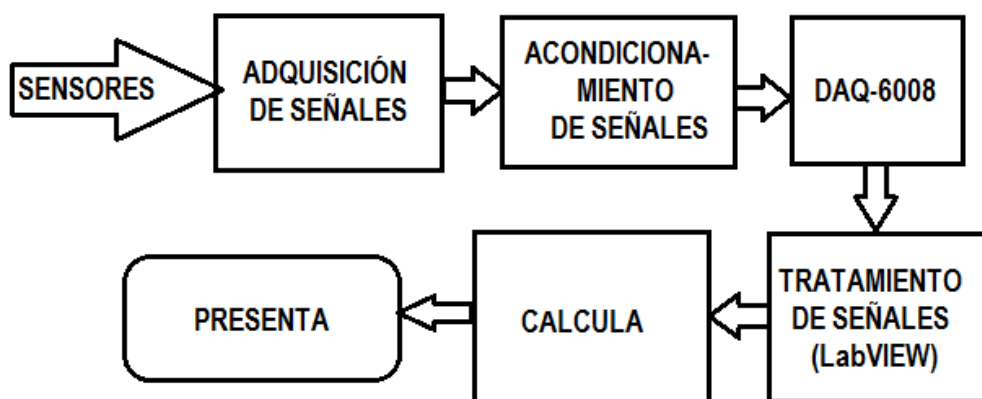


**Figura N° 3.31.** Configuración Terminada de la tarjeta DAQ

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

### 3.4. DIAGRAMA DE BLOQUE

A continuación en la Figura N° 3.32, se muestra el diagrama de bloque a seguir para el Sistema de Adquisición de Datos.



**Figura N° 3.32.** Diagrama de Bloque

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

- **SENSORES:** Las Pt-1000 y el Caudalímetro V40-0.6 se conectan en el sistema de calentamiento solar de agua para enviar las señales físicas tomadas.
- **ADQUISICIÓN DE SEÑALES:** Se conectan los sensores al tablero de adquisición de señales físicas del sistema.
- **ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES:** Se realiza el acondicionamiento de las señales físicas entregadas por nuestros sensores a señales eléctricas.
- **DAQ-6008:** Adquisición de señales eléctricas.
- **TRATAMIENTO DE SEÑALES (LabVIEW):** Se realiza el acondicionamiento de las señales eléctricas de entrada a la tarjeta DAQ.
- **CALCULA:** Se procede al cálculo de la energía producida por el sistema con las señales tratadas anteriormente.

Para el cálculo de la Energía Producida por el Colector Solar se usará la siguiente ecuación:

$$E_{total} = \sum C_p \dot{m} (T_s - T_e) \quad \text{Ec. 20}$$

Dónde:

$E_{total}$  = Energía total generada por el sistema [KJ].

$C_p$  = Capacidad calorífica del agua (4,18[KJ/Kg °C])

$\dot{m}$  = masa de agua que circula [Kg]

$T_s$  = temperatura de salida [°C]

$T_e$  = Temperatura de entrada [°C]

$\dot{m} = V \cdot \rho$  [Kg]

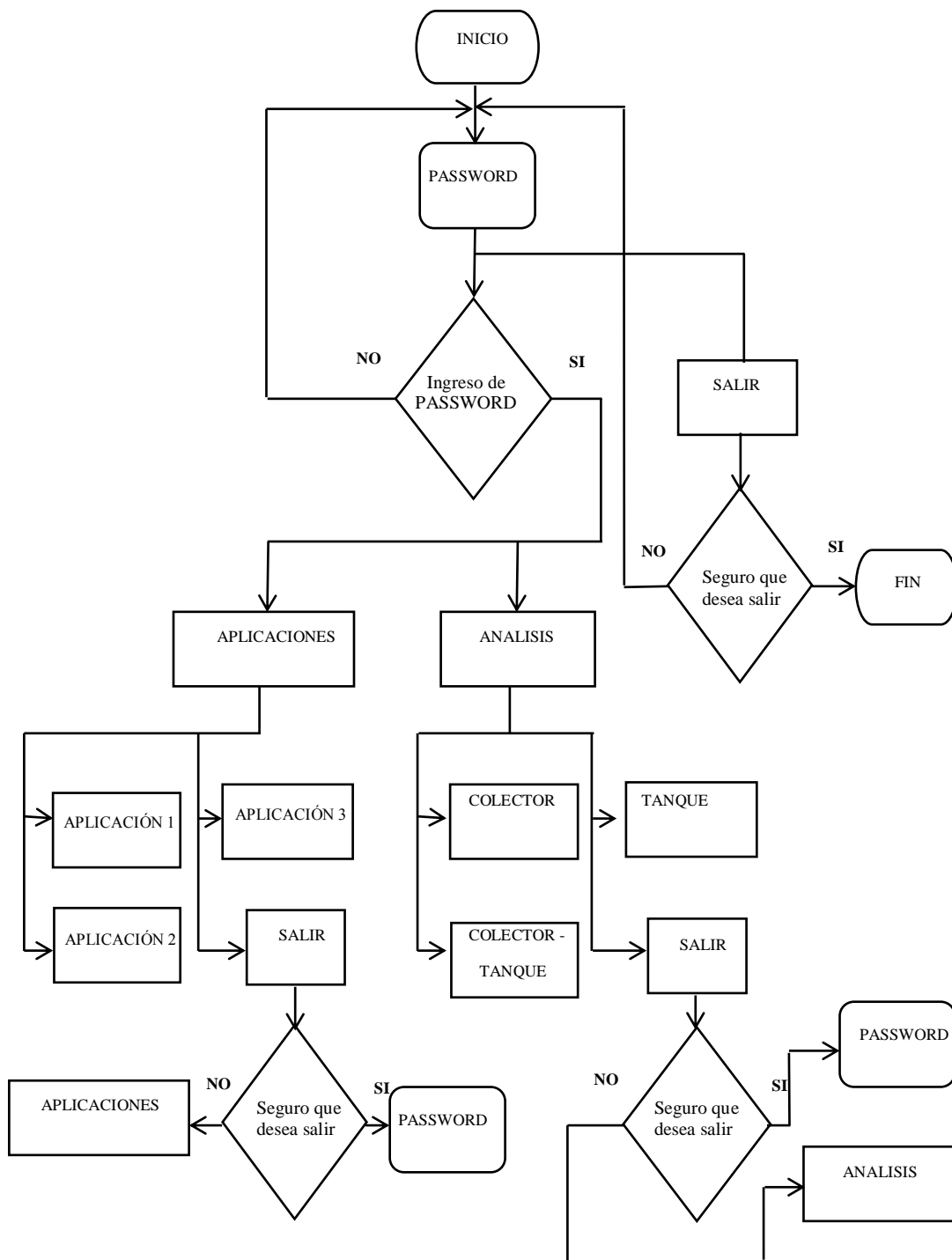
$V$  = volumen de agua [litros]

$\rho$  = densidad del agua (1 Kg/litro)

- PRESENTA: Se monitorea el comportamiento de las señales y el cálculo de la energía generada por el sistema de calentamiento solar de agua.

### 3.5. DIAGRAMA DE SECUENCIA DEL PROGRAMA HMI

En el diagrama que se presenta a continuación se muestra la secuencia de programación para implementar el Sistema de Adquisición de Datos para el Monitoreo de Energía producida por un colector solar plano empleando el software LabVIEW.

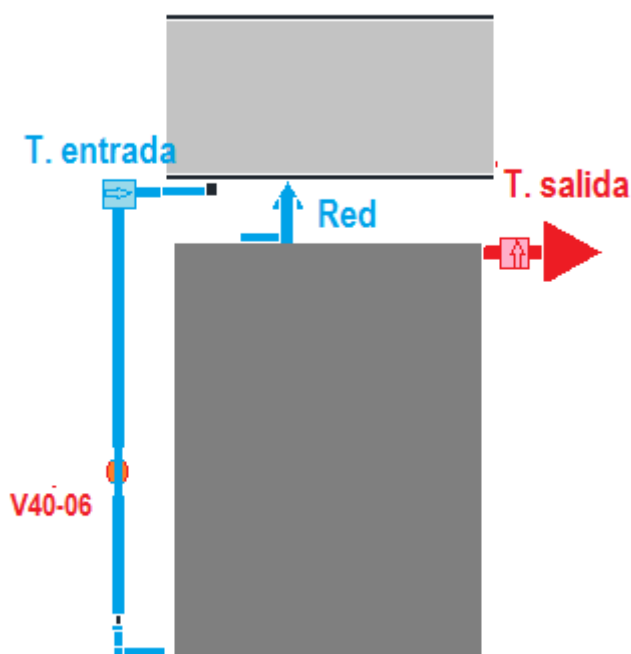


### 3.5.1. APLICACIÓN 1

En esta aplicación se cuantificará la energía producida por el colector solar plano sin almacenamiento de energía en el termotanque.

En las ventanas de aplicación se podrá visualizar el diagrama de conexiones, el diagrama de proceso de adquisición de los datos entregados por los sensores, la energía instantánea por cada unidad de volumen (litros) que pase por el sistema, y la energía total acumulada en KJ o KW-h.

Las distintas ventanas de la aplicación se presentan en el ANEXO A.



**Figura N° 3. 33.** Conexiones Aplicación 1

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

### 3.5.2. APLICACIÓN 2

En esta aplicación se estudiará solo al termotanque de almacenamiento del sistema.

El termotanque debe ser desconectado del sistema de calentamiento de agua. Con la temperatura promedio de entrada al sistema, tomada de la aplicación anterior

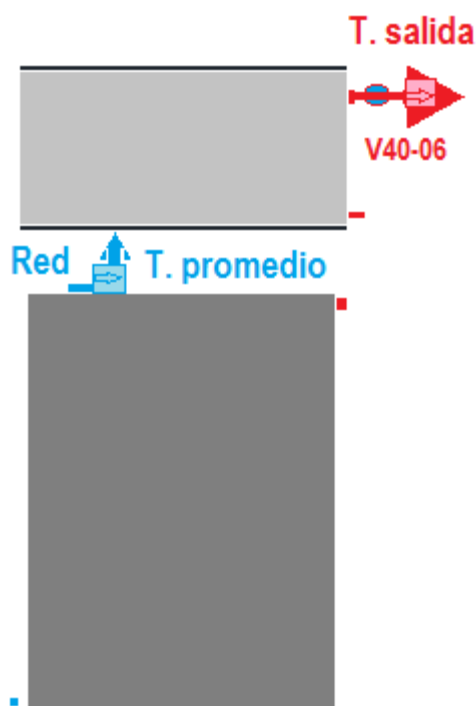
se obtiene el valor del salto térmico necesario para el cálculo de la energía almacenada en el tanque.

Para este caso la energía acumulada se calculara con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{total}} = \sum C_p * \dot{m} * (T_{\text{salida}} - T_{\text{promedio}}) \quad \text{Ec. 21}$$

La aplicación se desarrollara hasta que la  $T_{\text{salida}} = T_{\text{promedio}}$ , con esto sabremos el total de energía que el tanque pudo acumular en un periodo de calentamiento continuo.

Las distintas ventanas de la aplicación se presentan en el ANEXO B.



**Figura N° 3. 34.** Conexiones Aplicación 2

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

### 3.5.3. APLICACIÓN 3

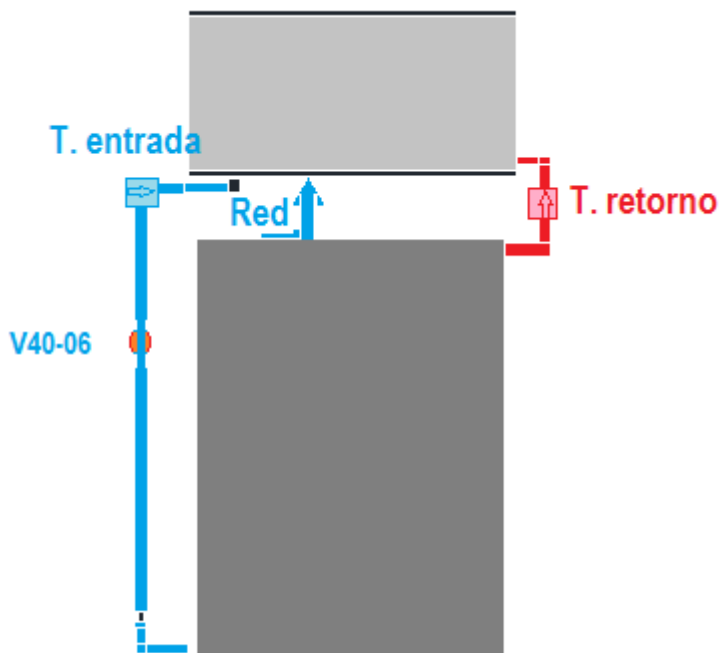
En esta aplicación podremos monitorear la energía producida por todo el sistema de calentamiento solar de agua.



El presente proyecto de investigación tiene como principal objetivo estudiar el comportamiento total del sistema.

Tendremos acceso a los diagramas de proceso adquiridos de los sensores usados en la aplicación.

Las distintas ventanas de la aplicación se presentan en el ANEXO C.

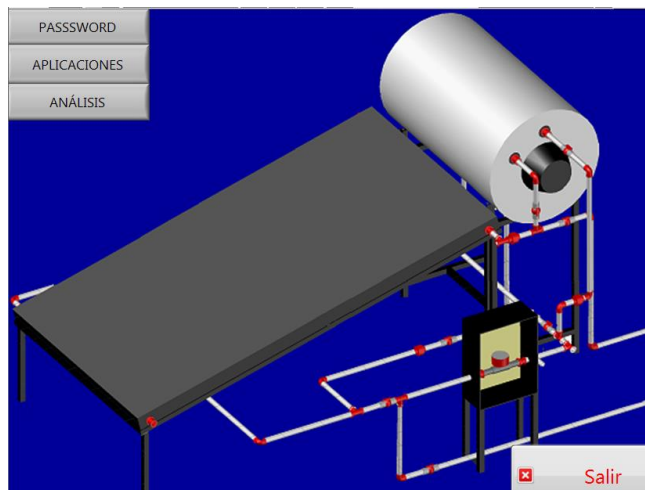


**Figura N° 3. 35.** Conexiones Aplicación 3

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

#### **3.5.4. PANTALLA DE INICIO AL SOFTWARE.**

Cuando iniciemos la aplicación del software aparecerá la siguiente ventana (Figura N° 3.36), para tener el ingreso se debe iniciar con la inserción de la contraseña (“PASSWORD”), así se desbloquearán las entradas a las aplicaciones del monitoreo y a la ventana de análisis de la adquisición de datos.



**Figura N° 3.36** Pantalla Inicio de Aplicación

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Con el botón 1 “PASSWORD” se ingresa a la ventana de diálogo para el ingreso de la contraseña.

La contraseña es: espe

En el botón 2 “APLICACIONES” ingresamos a la ventana de proceso. Para poder ingresar a esta ventana es necesario que primero se haya ingresado la contraseña correcta.

En el botón 3 “ANÁLISIS” ingresamos a la ventana de análisis de datos y medidas. Para el ingreso a esta ventana también es necesario el ingreso de la contraseña correcta.

En el botón 4 “SALIR” se encuentra la opción de salida de toda la aplicación.

Cada una de las ventanas mencionadas se las detallará a continuación.

### **3.5.5. CONTRASEÑA**

En la Figura N° 3.37 se muestra la ventana que se desplegará al presionar el botón “CONTRASEÑA”.

En la parte superior se debe ingresar la contraseña correcta y presionar el botón “OK”, si no deseamos ingresar la contraseña o no la sabemos debemos presionar “Cancelar” para poder regresar a la ventana de Menú y salir de toda la aplicación.



**Figura N° 3.37.** Ventana Contraseña

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

### 3.5.6. APLICACIONES

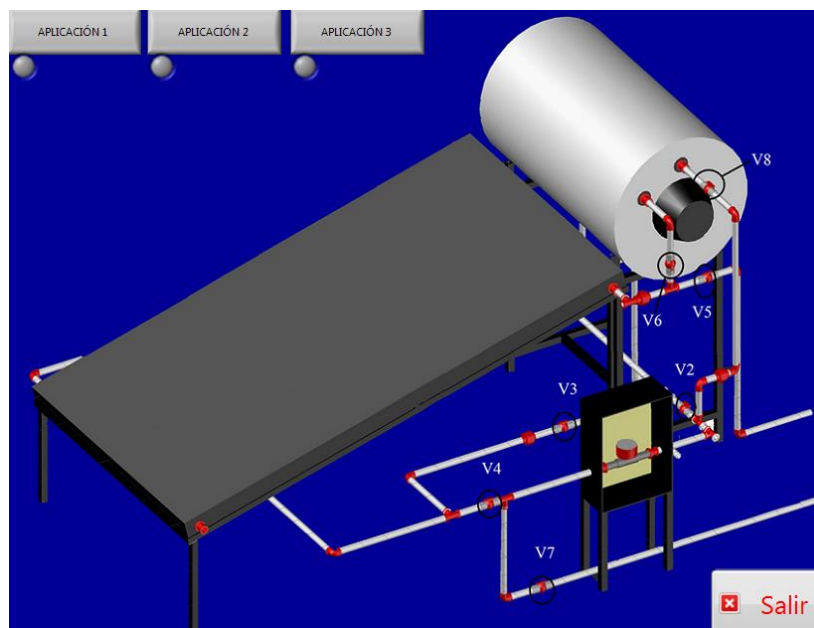
En la Figura N° 3.38 se muestra la ventana de aplicaciones, en la cual tenemos el acceso a tres submenús los mismos que se usaran para distintas aplicaciones posibles con el sistema de calentamiento de agua solar.

Aquí también se pueden notar las válvulas que usa nuestro sistema, antes de iniciar cualquiera de las aplicaciones el programa le indicará que válvulas deben estar abiertas y que válvulas deben estar cerradas para el correcto funcionamiento de la aplicación.

La “APLICACIÓN 1”, permite realizar la cuantificación de la energía producida al pasar el fluido por el colector solar.

La “APLICACIÓN 2”, permite realizar la cuantificación de la energía que fué almacenada en el termotanque durante un período de acumulación de energía producida por el colector.

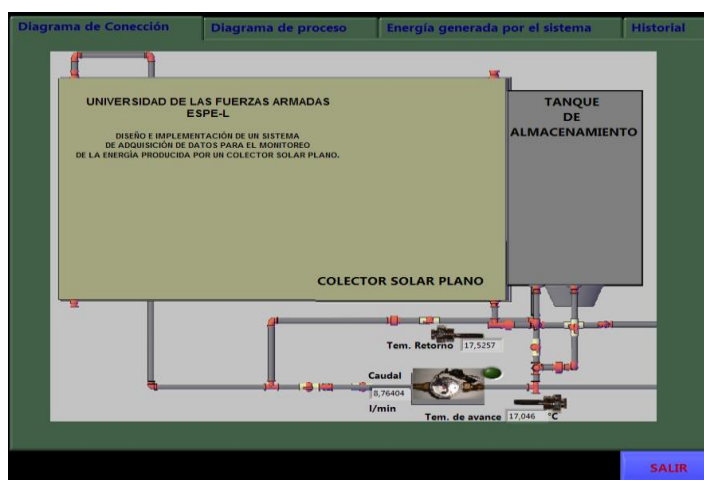
La “APLICACIÓN 3”, permite realizar la cuantificación de la energía producida por el colector solar mientras recircula el agua dentro del colector y el termotanque, esta es la aplicación más referente al proyecto en desarrollo.



**Figura N° 3.38.** Submenús de la Ventana Aplicaciones

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Dentro de cada aplicación se presenta el acceso al diagrama de conexión, proceso, curva de energía generada por el sistema y al historial generado durante el tiempo que dure la aplicación (Figura N° 3.39).



**Figura N° 3.39.** Ventana Principal de la Aplicación

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Cada una de las aplicaciones tiene ventanas similares, el cambio se da en el proceso de la adquisición de las señales físicas del sistema.

Al finalizar cada una de las aplicaciones se generará un libro de Excel (Figura N° 3.40) automáticamente para que se pueda apreciar de mejor manera los datos obtenidos por la aplicación y, si se requiere darle otro uso práctico de estudio al mismo.

	A	B	C	D	E	F
	Fecha	Hora	Tem. Avance °C	Tem. Retorno °C	Caudal (l/min)	Energía generada KJ
2	03/08/2014	16:50:29	14,847875	19,02918	15	13,126977
3	03/08/2014	16:50:37	15,426178	14,751864	10	30,60483
4	03/08/2014	16:50:44	15,079185	17,756978	9,473684	30,60483
5	03/08/2014	16:50:52	15,657527	18,797835	8,888889	41,798006
6	03/08/2014	16:50:59	17,161683	16,832042	8,823529	54,924491
7	03/08/2014	16:51:07	16,93023	18,219541	8,571429	54,924491
8	03/08/2014	16:51:14	15,541851	22,269686	8,571429	60,31381
9	03/08/2014	16:51:22	17,508891	23,543596	8,421053	88,43616
10	03/08/2014	16:51:30	17,856135	23,427766	8,307692	113,661229
11	03/08/2014	16:51:37	16,467374	22,964486	8,333333	136,950648
12	03/08/2014	16:51:45	17,045955	20,533312	8,25	164,108578
13	03/08/2014	16:51:52	17,277415	18,682168	8,275862	178,685733
14	03/08/2014	16:52:00	13,691567	18,797835	8,210526	184,557602
15	03/08/2014	16:52:07	17,740383	18,566505	8,235294	205,901799
16	03/08/2014	16:52:15	16,467374	16,485256	8,181818	209,35499
17	03/08/2014	16:52:22	17,508891	16,485256	8,205128	209,429739
18	03/08/2014	16:52:30	17,393151	19,260541	8,16	209,429739
19	03/08/2014	16:52:35	15,194845	20,301863	8,307692	217,235431
20	03/08/2014	16:52:40	16,583082	20,417586	8,444444	238,582767
21	03/08/2014	16:52:51	17,277415	21,922339	8,219178	254,610994
22	03/08/2014	16:52:57	14,616582	22,038117	8,289474	274,026778
23	03/08/2014	16:53:02	15,079185	20,880515	8,407643	305,048795

**Figura N° 3.40.** Libro de Excel Autogenerado

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

### 3.5.7. ANÁLISIS

En la Figura N° 3.41 se presenta la ventana que se desplegará de la opción ANÁLISIS, en la que se muestra un submenú con tres opciones para el análisis de los datos adquiridos con cada una de las aplicaciones antes mencionadas.

La primera opción “ANALIZAR COLECTOR”, sirve para realizar el análisis de los datos obtenidos con la aplicación “APLICACIÓN 1”.

La segunda opción “ANALIZAR TANQUE”, sirve para realizar el análisis de los datos obtenidos con la aplicación “APLICACIÓN 2”.

La tercera opción “ANALIZAR COLECTOR - TANQUE”, sirve para realizar el análisis de los datos obtenidos con la aplicación “APLICACIÓN 3”.



**Figura N° 3.41.** Ventana principal de Análisis

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Estas aplicaciones nos servirán para estudiar y analizar los datos almacenados en las diferentes pruebas realizadas al sistema de calentamiento solar de agua.

Es importante poner especial atención a los enunciados ubicados a la derecha de la ventana anterior (Figura N° 3.41), ya que estos nos ayudaran a ubicar correctamente que tipo de prueba quiero analizar.

Dentro de cada aplicación para analizar tenemos el acceso a la curva del comportamiento de la señal entregadas por las Pt-1000, la curva de energía instantánea y el historial de los datos analizados.

Las principales ventanas de análisis se encuentran en el ANEXO D.

## **CAPITULO 4**

### **IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS**

En el presente capítulo se mostrará los diferentes diagramas de conexiones, tanto de grifería como de conexiones eléctricas para la implementación y pruebas de las aplicaciones que el sistema de adquisición de datos de la energía producida por un colector solar plano.

Con la implementación del sistema de calentamiento de agua sanitaria partiremos a las conexiones de los distintos sensores a usar para la obtención de datos físicos necesarios para el estudio: temperatura de avance, temperatura de retorno y señal de caudal.

Posteriormente se realizará las pruebas de las distintas aplicaciones posibles mencionadas en el capítulo III.

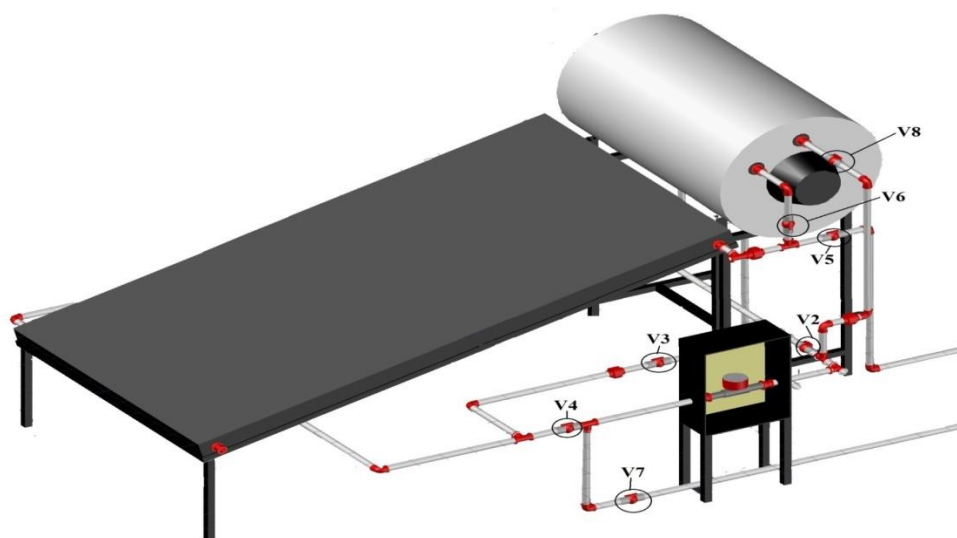
Con la adquisición de los datos de cada una de las aplicaciones se partirá al análisis de estos en cada caso.

#### **4.1 CONEXIONES DE GRIFERÍA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA.**

En el capítulo III, se enumeró cada uno de los accesorios necesarios para las conexiones de grifería, Figura N° 4.1.

El **ANEXO 3** muestra el plano de la instalación y la disposición de cada una de las válvulas así como también las medidas de la tubería usadas en cada tramo de conexión.

Siempre será necesario comprobar que no exista ningún tipo de fuga antes de realizar cualquiera de las aplicaciones mencionadas anteriormente para así evitar pérdidas de caudal y consecuentemente datos incorrectos en la adquisición de los mismos.



**Figura N° 4.1.** Diagrama de Conexión de la Grifería

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

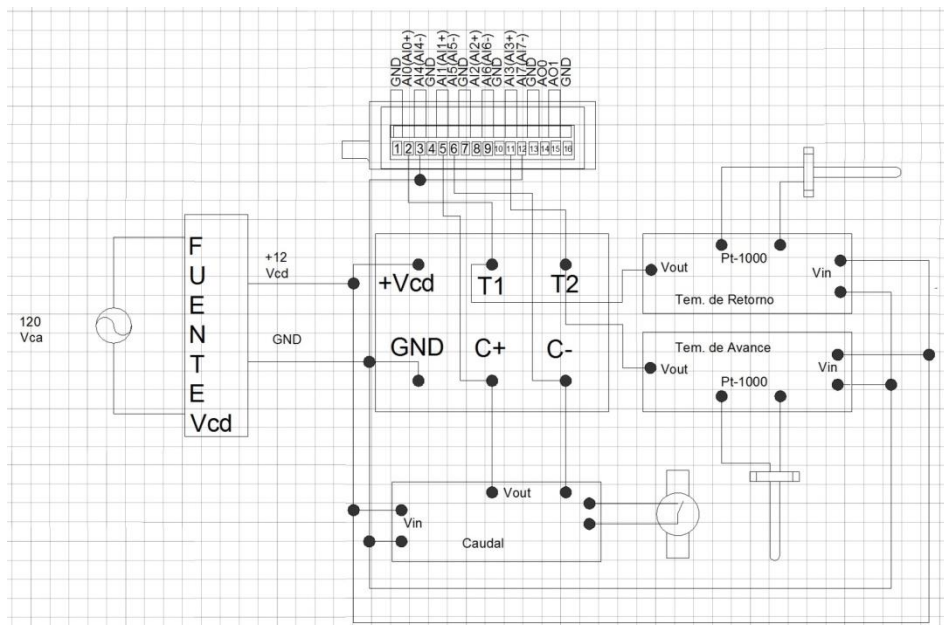
#### **4.2. DIAGRAMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS**

En el diagrama mostrado a continuación se presenta la conexión de los sensores a cada una de las entradas de los acondicionamientos y la conexión de la tarjeta de adquisición de datos DAQ-6008.

Se tiene que prestar mucha atención al diagrama para tener un correcto funcionamiento del HMI.

En el **ANEXO 4** se visualizará de mejor manera el plano de conexión eléctrica necesaria para el sistema.





**Figura N° 4.2.** Diagrama Eléctrico

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Las entradas análogas usadas para la adquisición de datos son: AI0, AI1 y AI3 en modo diferencial.

### 4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL HMI

Dentro de la implementación del HMI están la conexión de las entradas físicas de cada una de las señales entregadas por los sensores usados.

La conexión de estos sensores ira hacia la tarjeta de adquisición de datos DAQ-6008, en el capítulo III se mostró la configuración de cada una de estas entradas.

En la Figura N° 4.3 se muestra un ejemplo de la conexión de los sensores a cada una de las entradas análogas de nuestra tarjeta.



Se tiene dos acondicionamientos para cada sensor Pt-1000.

El primero permite encontrar la resistencia entregada a la tarjeta en función del voltaje de entrada, como se indicó en el capítulo III.

Como segunda parte del acondicionamiento se tiene el cambio de resistencia a señal de Temperatura en °C, esto se logra con el uso de la Ec. 19.

La adquisición de datos referente a la energía se presenta en base al caudal ingresado al sistema, esto quiere decir; cada vez que se detecte el ingreso de un pulso a la tarjeta DAQ se realizara el cálculo correspondiente de energía en ese instante, ya que este nos indica el paso de un litro de fluido (caudal másico).

#### **4.5.PRUEBAS**

Cada una de las siguientes pruebas fue realizada en días diferentes con el fin de tener medidas exactas y concretas para cada caso, (Manual de Operaciones, ANEXO E).

Antes de iniciar con las pruebas es necesario conocer la disposición de las válvulas en el sistema de calentamiento de agua. Para cada una de las aplicaciones generadas en el HMI es necesaria una configuración diferente, para que se obtengan buenos resultados de cada prueba se debe prestar atención a la disposición correcta de cada una de las válvulas antes de iniciar con la aplicación (Figura N° 4.1).

Las pruebas a realizar son:

- a. Medición de la energía instantánea generada por el colector solar plano.
- b. Medición de la energía acumulada en el tanque de almacenamiento.
- c. Medición de la energía generada y almacenada en el Termotanque.

#### 4.5.1. MEDICIÓN DE LA ENERGÍA INSTANTÁNEA GENERADA POR EL COLECTOR, SIN LA CONEXIÓN O USO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

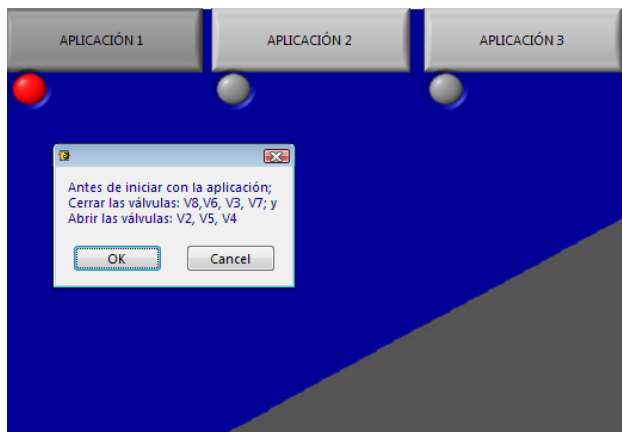
El objetivo de esta práctica es realizar la cuantificación de la energía producida por el colector solar plano sin la presencia del termostanque, se dará inicio con esta aplicación. Aquí se puede visualizar los datos obtenidos con la Aplicación 1 y realizar el análisis concreto de esta.

Antes de realizar esta prueba dispone la configuración de las válvulas de la siguiente manera;

Válvulas abiertas: V2, V4, V5, y

Válvulas cerradas: V3, V6, V7, V8.

Nuestra aplicación generada en LabVIEW también nos indica con anterioridad la disposición de las válvulas en el sistema Figura N° 4.5.



**Figura N° 4.5.** Estado de válvulas Aplicación 1

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

a) **INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE DATOS ADQUIRIDOS EN LA APLICACIÓN.**

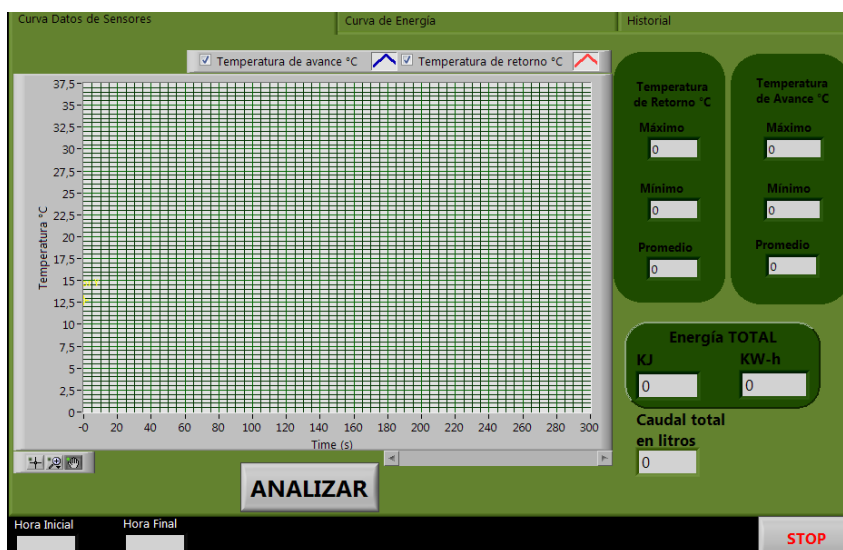
Para el análisis de los resultados obtenidos de la prueba se usó la opción ANÁLISIS ubicada en el menú principal del HMI y posteriormente la opción ANALIZAR COLECTOR ubicada en el submenú de ANÁLISIS.



**Figura N° 4.6. Submenú ANÁLISIS**

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Al ingresar a la opción ANALIZAR COLECTOR se desplegará la ventana de ésta (Figura N° 4.7), aquí iniciaremos con un click en el botón ANALIZAR.



**Figura N° 4.7. Ventana ANALIZAR COLECTOR**

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Al realizar este procedimiento se generarán automáticamente todos los valores necesarios para el análisis, extraído del historial generado con la Aplicación 1. Figura N° 4.8.

Diagrama de Conexión		Diagrama de proceso		Energía generada por el sistema		Historial
HISTORIAL						
Fecha	Hora	Tem. de Avance °C	Tem. de Retorno °C	Caudal l/min	Energía KJ	
07/08/2014	13:43:22	17,393151	22,964486	0,000000	0,000000	
07/08/2014	13:43:57	16,004580	21,112004	7,500000	23,288182	
07/08/2014	13:44:13	16,351669	22,269686	5,000000	44,637211	
07/08/2014	13:44:28	19,708709	22,153899	4,615385	69,374520	
07/08/2014	13:44:43	16,235969	20,764777	4,444444	79,595416	
07/08/2014	13:44:58	15,426178	24,933868	4,347826	98,525833	
07/08/2014	13:45:13	17,393151	21,922339	4,285714	138,267978	
07/08/2014	13:45:27	15,888892	22,038117	4,285714	157,199985	
07/08/2014	13:45:42	15,541851	20,996257	4,247788	182,903747	
07/08/2014	13:45:57	16,698794	24,238660	4,218750	205,703167	
07/08/2014	13:46:14	17,624635	23,659430	4,137931	237,219809	
07/08/2014	13:46:30	17,508891	24,122806	4,099379	262,445254	
07/08/2014	13:46:48	12,651229	24,122806	4,022346	290,091420	
07/08/2014	13:47:06	12,651229	21,227754	3,959391	338,042612	
07/08/2014	13:47:24	12,651229	21,343508	3,906977	373,892485	
07/08/2014	13:47:41	13,344752	22,964486	3,879310	410,226211	
07/08/2014	13:47:57	17,856135	21,112004	3,870968	450,436698	
07/08/2014	13:48:13	16,004580	22,153899	3,863636	464,046229	
07/08/2014	13:48:30	13,691567	23,080300	3,843416	489,750383	
07/08/2014	13:48:48	18,782294	22,385476	3,812709	528,995286	
07/08/2014	13:49:05	16,351669	20,880515	3,797468	544,056584	
07/08/2014	13:49:21	15,541851	20,301863	3,795181	562,987160	
07/08/2014	13:49:37	17,624635	23,427766	3,793103	582,884013	
07/08/2014	13:49:52	17,045955	24,933868	3,801653	607,141102	
07/08/2014	13:50:08	17,393151	24,933868	3,799472	640,112582	
07/08/2014	13:50:25	15,194845	24,933868	3,787879	671,632780	
07/08/2014	13:50:41	16,467374	24,933868	3,786408	712,341897	
07/08/2014	13:50:57	16,004580	23,659430	3,785047	747,731845	

Volumen total de fluido en litros: 28

Energía generada KJ: 779,73

Ubicación: En Calentador Solar (builds) MedirDeEnergiaTermi

Guardar

Fecha: 07/08/2014 Hora: 13:51:03 SALIR

Figura N° 4.8. Historial generado de la Aplicación 1.

Elaborado por: Freddy Chipugsi

## b) ANÁLISIS DE DATOS ADQUIRIDOS EN LA APLICACIÓN.

Para esta prueba se procedió hacer circular agua por el colector a un caudal promedio de 4 litros por minuto, y se determinó la energía para el volumen de 28 litros en las condiciones climatológicas de ese periodo.

La energía total medida por el sistema durante la prueba llegó a ser de 779.73 KJ equivalente a 0.22 KW-h.

La temperatura promedio de avance del sistema es de 17.09 °C y la temperatura promedio de retorno es de 22.59 °C lo que nos indica que el colector nos dio un salto térmico promedio de 6.6 °C.

#### 4.5.2. MEDICIÓN DE LA ENERGÍA ACUMULADA EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

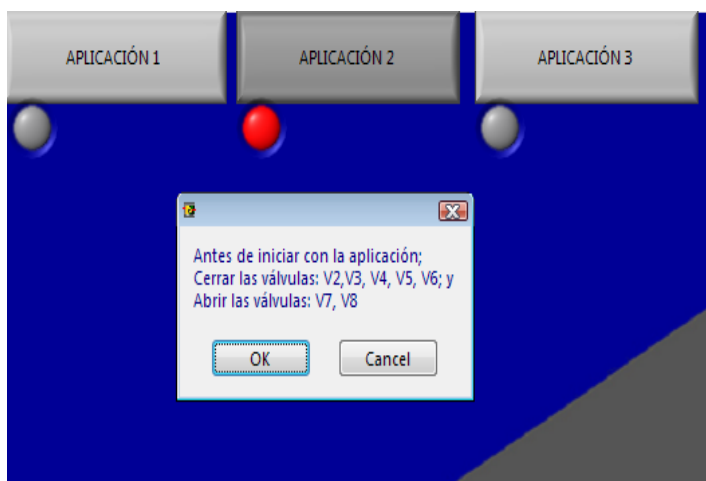
En esta aplicación se pretende estudiar la energía producida por el colector solar plano y acumulado en el tanque de almacenamiento durante un período de tiempo. Aquí se visualizan los datos obtenidos con la Aplicación 2 con lo que se puede realizar el análisis concreto de esta.

Antes de realizar esta prueba se verifica la configuración de las válvulas de la siguiente manera;

Válvulas abiertas: V8, V7, y

Válvulas cerradas: V2, V3, V4, V6, V5.

La aplicación generada en LabVIEW también indica con anterioridad la disposición de las válvulas en el sistema.



**Figura N° 4. 9.** Estado de válvulas Aplicación 2

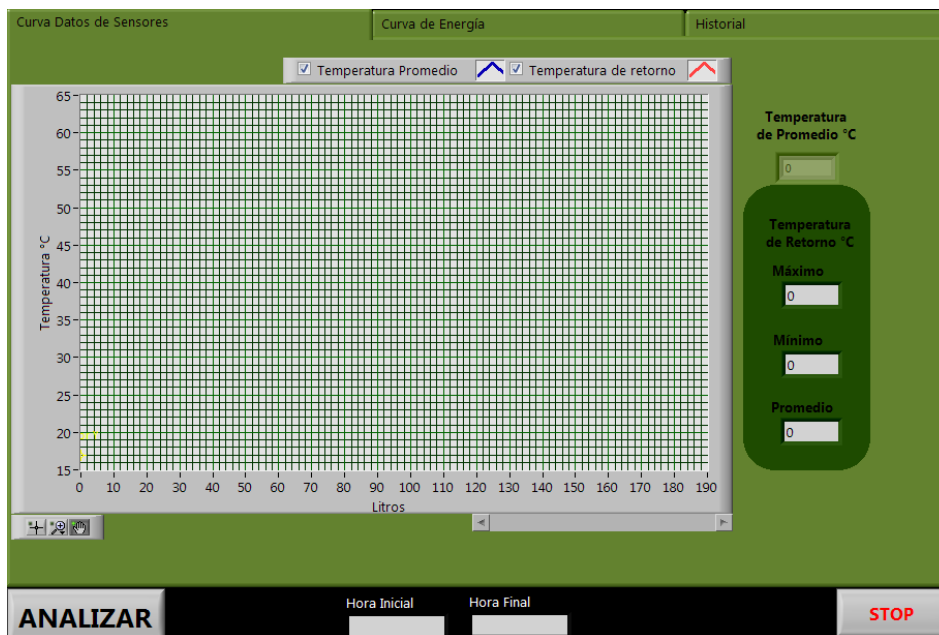
**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

a) **INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE DATOS ADQUIRIDOS EN LA APLICACIÓN 2.**

Para el análisis de los resultados obtenidos de la prueba usamos la opción ANÁLISIS ubicada en el menú principal del HMI y posteriormente escogemos la opción ANALIZAR TANQUE ubicada en el submenú de ANÁLISIS Figura N° 4.6.

Al ingresar a la opción ANALIZAR TANQUE se desplegará la ventana de ésta (Figura N° 4.10), aquí iniciaremos con un click en el botón ANALIZAR.

Se desplegará una ventana de dialogo en la que buscaremos la ubicación del historial generado con la aplicación correspondiente.

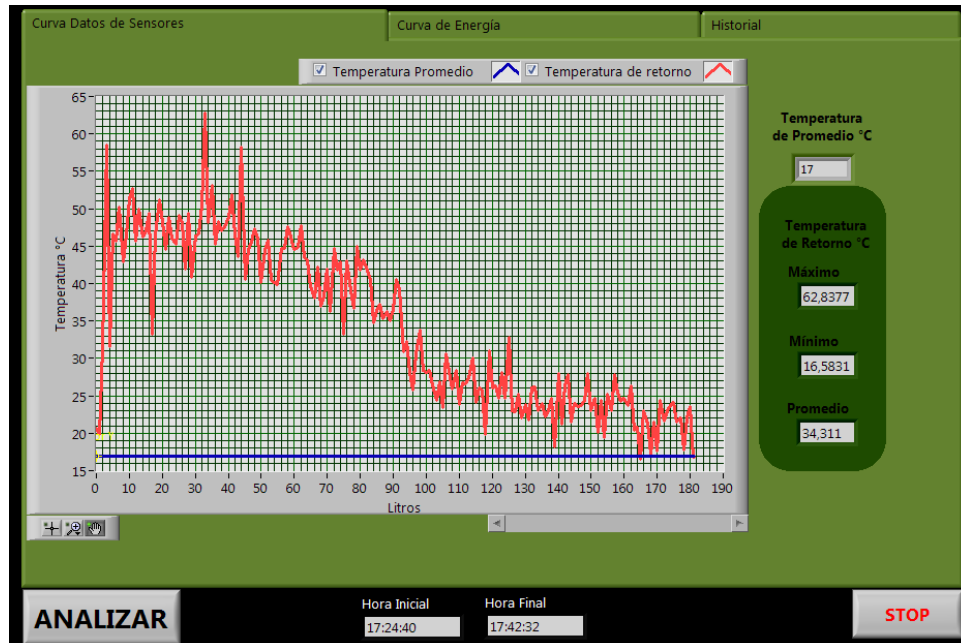


**Figura N° 4.10. Ventana ANALIZAR TANQUE**

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Al realizar este procedimiento se generarán automáticamente todos los valores necesarios para el análisis Figura N° 4.11.





**Figura N° 4.11.** Ventana Curva de Sensores generada 2.

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Como ventana principal se tiene la Curva de Datos de Sensores, en esta se presenta el comportamiento de las temperaturas promedio y la obtenida en la salida del tanque de almacenamiento por las Pt-1000.

Como se puede notar en la parte derecha de la pantalla se muestran automáticamente los valores máximos, mínimos y promedios de la señal de temperatura de salida del tanque de almacenamiento; también el total de energía producida por el Colector Solar Plano y total de caudal que paso por el sistema.

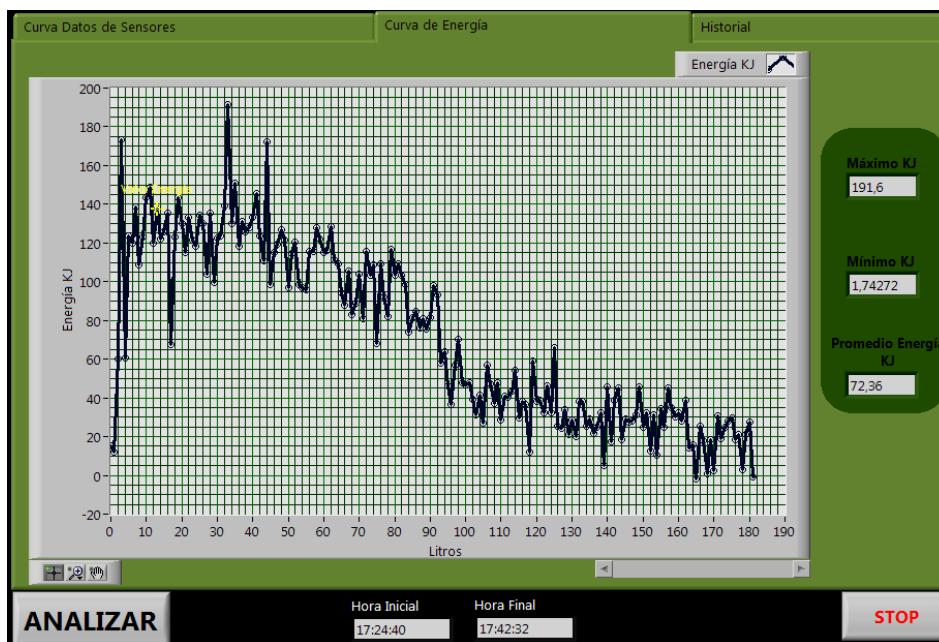
En la parte inferior izquierda tenemos las distintas opciones para desplazarnos en el diagrama para obtener una mejor: visualización, estudio y análisis del comportamiento de cada una de las señales.

En la parte derecha de la ventana se puede notar el valor de la temperatura promedio con la que se calculó la energía producida por el colector. Esta temperatura promedio fue tomada de la primera aplicación (Aplicación 1) en la cual el sistema circulaba normalmente por el colector sin conexión al tanque de almacenamiento.

En el eje “y” del diagrama tenemos los valores de temperatura en °C, y el eje “x” está dividido en tantos puntos como pulsos o indicadores de paso de fluido se dieron,

esto se puede notar con el caudal total que paso en el sistema en la parte inferior derecha de la ventana principal.

En la segunda opción de la carpeta de contenidos esta la Curva de Energía (Figura N° 4.12). En este diagrama podremos apreciar la curva de energía producida por el colector solar plano y almacenado en el Termotanque en KJ.



**Figura N° 4.12. Ventana CURVA DE ENERGÍA (Análisis 2)**

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Como tercera opción de la carpeta de contenidos tenemos al Historial (Figura N° 4.13). En esta ventana podemos visualizar el historial generado durante la aplicación con la fecha y hora de la obtención de los datos.

Fecha	Hora	Tem. de Avance °C	Tem. de Retorno °C	Energía KJ
27/07/2014	17:24:40	17,000000	20,835378	15,195882
27/07/2014	17:25:23	17,000000	19,824529	11,808530
27/07/2014	17:25:28	17,000000	31,426709	60,303645
27/07/2014	17:25:34	17,000000	58,499664	173,468595
27/07/2014	17:25:40	17,000000	31,542934	60,789464
27/07/2014	17:25:45	17,000000	46,569846	123,601956
27/07/2014	17:25:51	17,000000	45,635977	119,698384
27/07/2014	17:25:57	17,000000	50,191059	138,738627
27/07/2014	17:26:02	17,000000	42,952558	108,481692
27/07/2014	17:26:08	17,000000	46,453098	123,113950
27/07/2014	17:26:13	17,000000	51,360032	143,624933
27/07/2014	17:26:19	17,000000	52,646376	149,001850
27/07/2014	17:26:25	17,000000	45,635977	119,698384
27/07/2014	17:26:30	17,000000	49,957314	137,761571
27/07/2014	17:26:36	17,000000	46,219614	122,137989
27/07/2014	17:26:41	17,000000	47,036878	125,554152
27/07/2014	17:26:47	17,000000	49,373022	135,319232
27/07/2014	17:26:52	17,000000	33,170502	67,592696
27/07/2014	17:26:58	17,000000	46,453098	123,113950
27/07/2014	17:27:04	17,000000	51,243116	143,136225
27/07/2014	17:27:09	17,000000	48,087941	129,947592
27/07/2014	17:27:15	17,000000	44,585687	115,308170
27/07/2014	17:27:20	17,000000	48,905662	133,365669
27/07/2014	17:27:26	17,000000	46,102879	121,650034
27/07/2014	17:27:32	17,000000	45,286844	118,274836

**Energía Total KJ**  
13169,5

**KW-h**  
3,658

**Caudal total en litros**  
182

**ANALIZAR** Hora Inicial: 17:24:40 Hora Final: 17:42:32 **STOP**

**Figura N° 4.13. Ventana HISTORIAL**

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Con la barra de desplazamiento vertical podemos ver cada uno de los datos adquiridos con la fecha y hora de estudio de la aplicación.

	A	B	C	D	E
	Fecha	Hora	Tem. Promedio	Tem. Salida	Energía Instantanea KJ
1					
2	27/07/2014	17:25:23	17	19,824529	11,80853
3	27/07/2014	17:25:28	17	31,426709	60,303645
4	27/07/2014	17:25:34	17	58,499664	173,468595
5	27/07/2014	17:25:40	17	31,542934	60,789464
6	27/07/2014	17:25:45	17	46,569846	123,601956
7	27/07/2014	17:25:51	17	45,635977	119,698384
8	27/07/2014	17:25:57	17	50,191059	138,738627
9	27/07/2014	17:26:02	17	42,952558	108,481692
10	27/07/2014	17:26:08	17	46,453098	123,113950
11	27/07/2014	17:26:13	17	51,360032	143,624933
12	27/07/2014	17:26:19	17	52,646376	149,001850
13	27/07/2014	17:26:25	17	45,635977	119,698384
14	27/07/2014	17:26:30	17	49,957314	137,761571
15	27/07/2014	17:26:36	17	46,219614	122,137989
16	27/07/2014	17:26:41	17	47,036878	125,554152
17	27/07/2014	17:26:47	17	49,373022	135,319232
18	27/07/2014	17:26:52	17	33,170502	67,592696
19	27/07/2014	17:26:58	17	46,453098	123,113950
20	27/07/2014	17:27:04	17	51,243116	143,136225
21	27/07/2014	17:27:09	17	48,087941	129,947592
22	27/07/2014	17:27:15	17	44,585687	115,308170
23	27/07/2014	17:27:20	17	48,905662	133,365669

**Figura N° 4.14. Datos Excel-Energía Almacenada en el Termotanque**

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Si resulta mejor se puede hacer el análisis con los datos el archivo de Excel (Figura N° 4.14) generado automáticamente al finalizar cada una de las aplicaciones.

## **b) ANÁLISIS DE DATOS ADQUIRIDOS EN LA APLICACIÓN 2.**

Con las mediciones obtenidas en esta prueba se determinó que la energía acumulada en el tanque durante el periodo de prueba fue de 13169.3 KJ que equivale a 3.658 KW-h.

Se puede apreciar claramente que el Termotanque va perdiendo calor durante la aplicación, esto se debe a que el colector no está conectado al tanque. La aplicación o la prueba la hemos finalizado después de notar que la temperatura de salida del tanque es igual o menor a la temperatura promedio de entrada del sistema,

En la curva de energía también se puede notar que tenemos una constante de ganancia de energía bastante alta hasta llegar a los 90 litros de caudal másico, después de este volumen de caudal la energía entregada empieza a decrecer hasta llegar a cero debido a que está ingresando agua desde la red.

Como parte final del análisis debemos mencionar que la temperatura promedio de salida del fluido fue de 34.31 °C, temperatura adecuada para cualquier uso doméstico o sanitario.

### **4.5.3. MEDICIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL COLECTOR SOLAR Y ALMACENADO EN EL TERMOTANQUE.**

En esta aplicación se pretende analizar la energía producida por el colector y acumulada en el tanque de almacenamiento durante un período de tiempo. El sistema de calentamiento de agua estará cerrado, solo existirá circulación de caudal dentro del sistema. Aquí visualizaremos los datos obtenidos con la Aplicación 3 y realizamos el análisis concreto de esta.

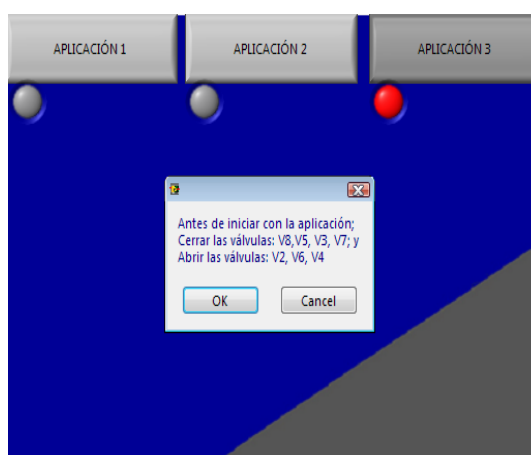
En esta vez nuestra aplicación nos generará un historial que nos entrega el valor de energía producida al recircular cada litro en el sistema, el caudal es bajo ya que usamos el sistema de termosifón.

Antes de realizar esta prueba disponemos la configuración de las válvulas de la siguiente manera;

Válvulas abiertas: V2, V4, V6, y

Válvulas cerradas: V3, V5, V7, V8.

Nuestro programa también nos presenta una subventana en la que se indica la disposición de cada una de las válvulas para no cometer errores en la Prueba.



**Figura N° 4.15.** Estado de válvulas Aplicación 3

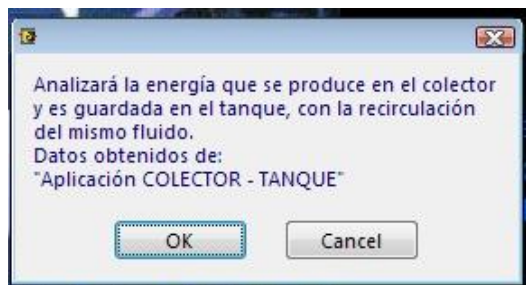
**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

### **a) INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE DATOS ADQUIRIDOS EN LA APLICACIÓN 3.**

Relacionaremos los datos obtenidos en cada iteración de nuestro programa con los datos generados al paso de un cierto caudal por el sistema.

Para el análisis de resultados de esta prueba nos ayudaremos de cada una de las ventanas generadas por la aplicación ANALIZAR COLECTOR – TANQUE ubicado en la ventana de submenú de análisis (Figura N° 4.6).

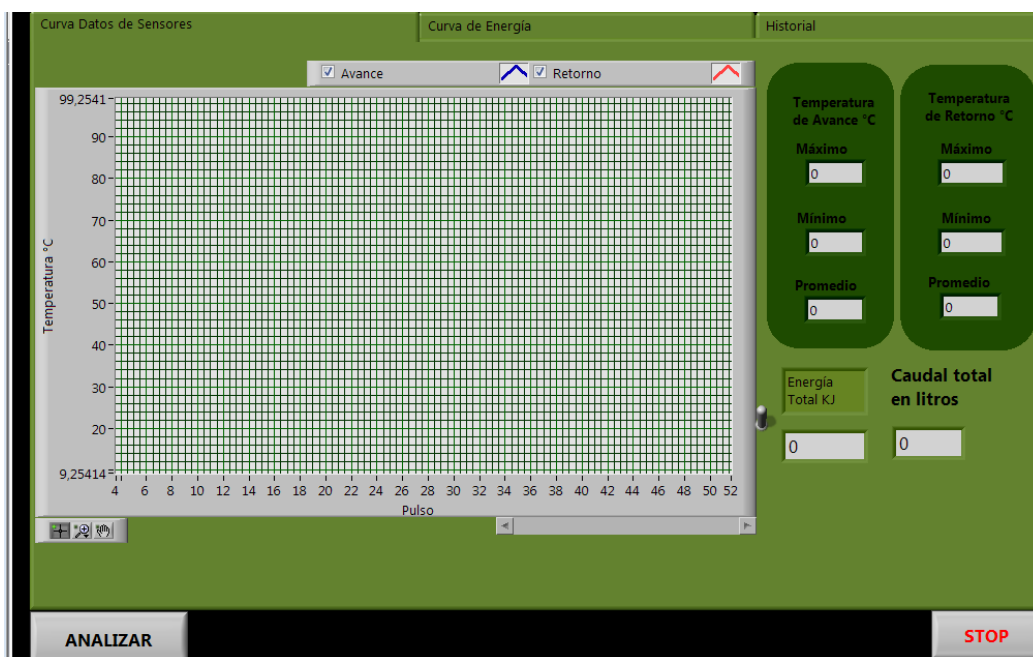
Antes de iniciar con esta aplicación se desplegará un aviso (Figura N° 4.16), en el cual nos indica cuales datos podemos analizar con la misma.



**Figura N° 4.16.** Aviso Análisis COLECTOR - TANQUE

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Al aceptar en la ventana menciona anteriormente se desplegará la ventana principal de esta aplicación (Figura N° 4.17).



**Figura N° 4.17.** Ventana principal ANALIZAR COLECTOR - TANQUE

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Para iniciar con el análisis y visualización de los datos obtenidos de esta prueba se tiene la opción “ANALIZAR”

Con esta opción se tendrá acceso a los datos de los sensores de temperatura y caudal, con el cálculo de la energía que se produjo.

La ventana principal (Figura N° 4.18), se muestran los datos de temperatura obtenidos en el paso de cada litro nuevo al sistema.



**Figura N° 4.18.** Ventana principal Análisis 3

**Elaborado por:** Freddy Chipugsi

Los datos de temperaturas adquiridas y la energía que se produce al mantener el sistema como un circuito cerrado en recirculación, es decir; que el fluido que está almacenado en el tanque recirculará por el colector y así se obtendrá una producción de energía térmica.

La figura anterior (Figura N° 4.18), nos muestra que la energía generada por la aplicación al recircular 49 litros en el sistema llego a ser de 8007.343 KJ, con un salto térmico promedio de 39 °C.

### **b) ANÁLISIS DE DATOS ADQUIRIDOS EN LA APLICACIÓN 3.**

Al funcionar el sistema mediante el principio de termosifón, el fluido recirculará solo por la diferencia de densidades producida por el agua fría a caliente, el caudal total que recirculara en el sistema será bajo.

La diferencia de temperatura o salto térmico promedio producido entre el avance y retorno es de 39 °C aproximadamente, que representa una ganancia de calor sumamente grande. Esto nos hace notar que el recirculamiento de fluido en el sistema durante un periodo de tiempo ayuda a obtener una mejor producción de energía térmica.



## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La energía solar como fuente principal de vida del planeta puede ser aprovechada directamente por los colectores solares planos, los cuales aprovechan el efecto invernadero para calentar agua para uso doméstico o industrial.
- Los sistemas de medición de energía térmica requieren para su operación la medición de caudal, la medición del salto térmico entre la entrada y salida del agua y un sistema electrónico que registra la energía. Para nuestra aplicación la medición de caudal se efectuó con el caudalímetro RESOL modelo V40-06, el salto térmico se determinó con dos sondas Pt-1000 y la determinación de la energía una tarjeta DAQ y el programa desarrollado en LabVIEW.
- Se consiguió el principal y fundamental objetivo del proyecto que fue el diseñar e implementar un sistema para el monitoreo y cuantificación de energía térmica y que se encuentra instalado en un sistema de calentamiento de agua por energía solar.
- En el programa desarrollado en LabVIEW se diseñó tres opciones para el cálculo de la energía. La primera de estas nos permite cuantificar la energía producida por el sistema sin almacenamiento del agua circulante. La segunda opción nos permite cuantificar la energía almacenada en el tanque durante un período de trabajo continuo y la tercera opción nos permite cuantificar la energía producida al trabajar con el agua en recirculación.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Cuando se desee poner en marcha cada una de las aplicaciones para la medición de la energía térmica entregada por el sistema de calentamiento de agua poner especial cuidado en la disposición de las válvulas, las mismas que son indicadas en el capítulo IV y también mostradas en las ventanas de diálogo de cada una de las aplicaciones.
- Seguir cada uno de los pasos dados en el proyecto para la instalación y conexión de la tarjeta de adquisición de datos DAQ, que es lo principal en el desarrollo de cualquiera de las pruebas o aplicaciones que se quiera realizar.
- El lugar de ubicación del medidor de caudal debe ser en posición horizontal y en un lugar cerrado debido a que puede sufrir daños por su grado de protección.
- El sistema implementado, es un módulo didáctico creado para la realización de prácticas con los estudiantes por lo que se recomienda seguir el manual de operación provisto para su funcionamiento.
- El uso y mantenimiento necesario para el sistema de calentamiento de agua resulta poco complejo para el usuario, ya que viene a ser un sistema totalmente independiente después de su correcta instalación sin embargo, se recomienda realizar una revisión periódica de las conexiones de grifería.
- En el sector industrial gran parte de la energía primaria consumida se destina al calentamiento de fluidos, como agua caliente, vapor o aceite térmico, en calderas cuyos rendimientos energéticos son de vital importancia por lo que se recomienda continuar la temática de la energía térmica de dichos sectores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. G. Vásquez, TEORÍA PARA EL DISEÑO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA, Lima, 2003.
- [2] C. C. E. E. C. C. E. LA, ENERGÍA RENOVABLE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR PARA USO SANITARIO EN EL ECUADOR, 2011.
- [3] R. Q. Piña, Replanteo de instalaciones solares térmicas, INNOVA, 2011.
- [4] ©. S. Energy, «Energía Solar,» © Striatum Energy, 2010. [En línea]. Available: [http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/11\\_Coletores\\_solares.html](http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/11_Coletores_solares.html). [Último acceso: 12 Noviembre 2013].
- [5] S. E. S.A., MANUAL TÉCNICO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA., 2011.
- [6] F. S. d. C.V., «FUNCOSA,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.funcosa.com.mx/descargas/catalogos.html>. [Último acceso: 14 Agosto 2013].
- [7] N. I. Corporation, «National Instruments Corporation,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>. [Último acceso: 13 Enero 2014].
- [8] N. I. Corporation, «National Instruments Corporation,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/labview/esa/>. [Último acceso: 15 Febrero 2014].

# ANEXOS