



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

Proyecto de titulación:

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

AUTOR:

CHIPUGSI CALERO FREDDY JULIÁN

DIRECTOR:

ING. JIMÉNEZ MARIO

CODIRECTOR:

ING. ORTIZ, DIEGO

Latacunga-Ecuador

Agosto 2014





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.



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 monitoreo de la energía que producida por el mismo.



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

INTRODUCCIÓN



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

MARCO TEÓRICO



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 radiación solar o constante de radiación que llega a la atmosfera tiene un valor promedio de 1353 W/m^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.

En la ciudad de Latacunga el valor promedio de radiación es de 4,26 KWH/m².dia

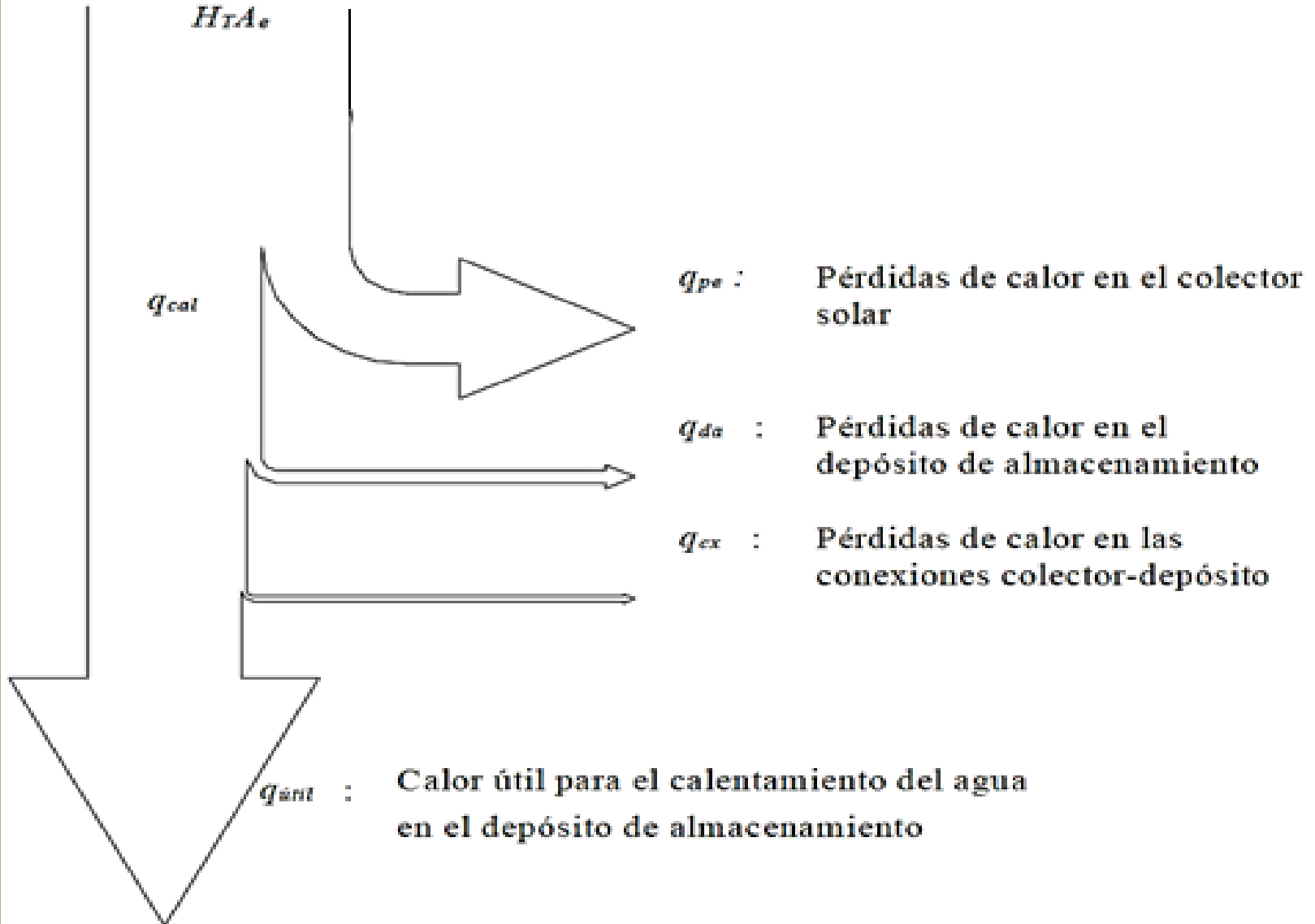


COLECTORES SOLARES

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.



BALANCE DE ENERGÍA EN EL CALENTADOR SOLAR





TIPOS DE COLECTORES

- Sin concentración

Colector de placa plana, Colector de aire, Colector de tubos de vacío, etc.

- Con concentración. Usan sistemas especiales con el fin de aumentar la cantidad de radiación. Concentradores cilíndricos y concentradores paraboloídes.



COLECTOR DE PLACA PLANA

- **ABSORBEDOR:**

Este consta de una lámina o de varias aletas metálicas, las cuales poseen muy buena conductividad térmica.

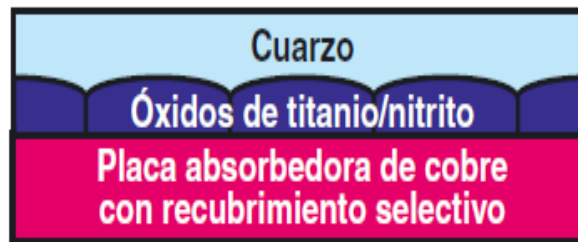
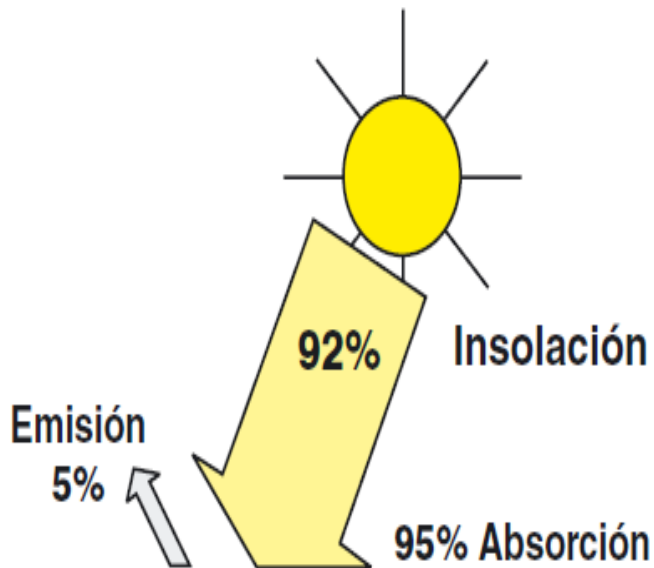
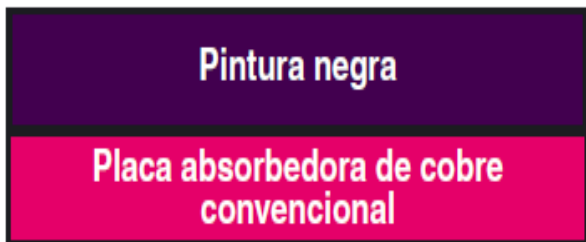
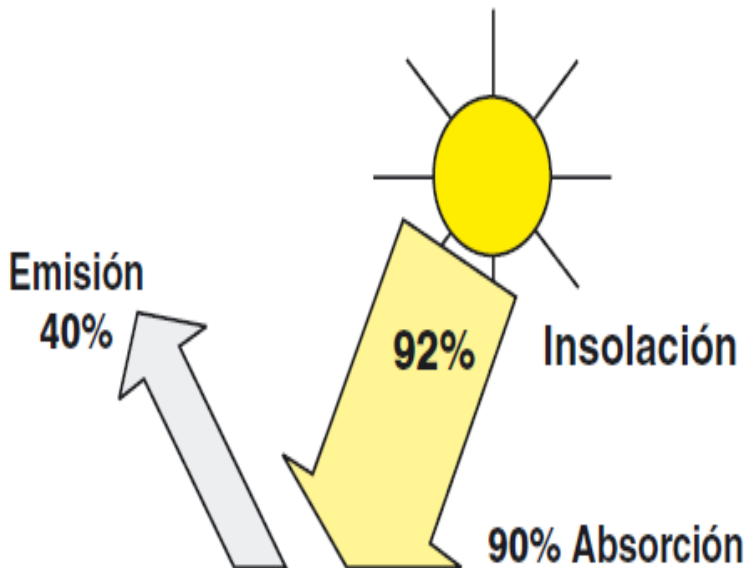
De toda la radiación incidente, una pequeña parte es reflejada y el resto es absorbido y transformado en calor, el cual se transporta por el fluido



COLECTOR DE PLACA PLANA

- **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.





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.



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



SISTEMA

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



- 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.



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.



MEDIDORES DE ENERGÍA TÉRMICA.

La mayor parte de medidores de energía térmica tienen las mismas características de funcionamiento.

Usan dos sensores de temperatura, un medidor de caudal y un integrador.

$$\text{Energía} = V * \Delta\Theta * k$$



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA



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 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.



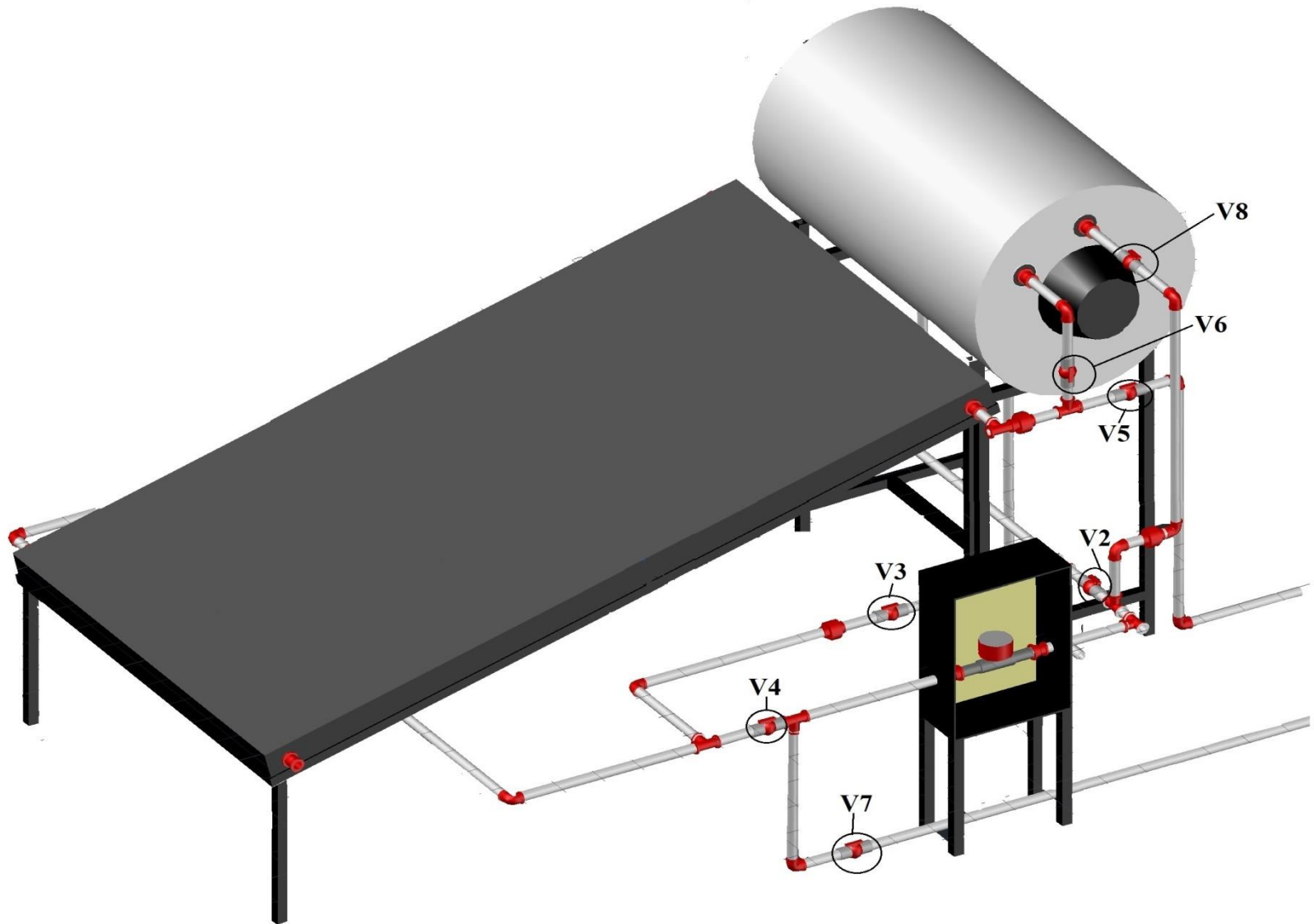
ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

ELEMENTOS USADOS PARA SU FUNCIONAMIENTO.

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 los distintos accesorios de conexiones.



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA





CAPTADOR

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

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



ACUMULADOR

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

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.



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la adquisición de las señales físicas necesarias para la obtención de la energía térmica producida por el sistema son indispensables 2 sondas de temperatura y un medidor de caudal.

SENSORES DE TEMPERATURA.

Los sensores de temperatura seleccionados son dos Pt-1000 de RESOL



TEMPERATURA		OHMIOS
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



SENSOR DE CAUDAL.

Para la medición del caudal se seleccionó el caudalímetro RESOL Modelo V40-0.6. 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.





SENSOR DE CAUDAL

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.

Modelo	V40-06
Versión	1
Frecuencia de impulsos I/Imp	1
Anchura nominal DN	20
Rosca del contador	1
Rosca de los racores	¾
	16
CONTINUA	
Presión máxima P _{máx} bar	
Modelo	V40-06
Temperatura máxima T _{máx} °C	120
Caudal nominal Q _n m ³ /h	0.6
Caudal máximo Q _{máx} m ³ /h	1.2



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

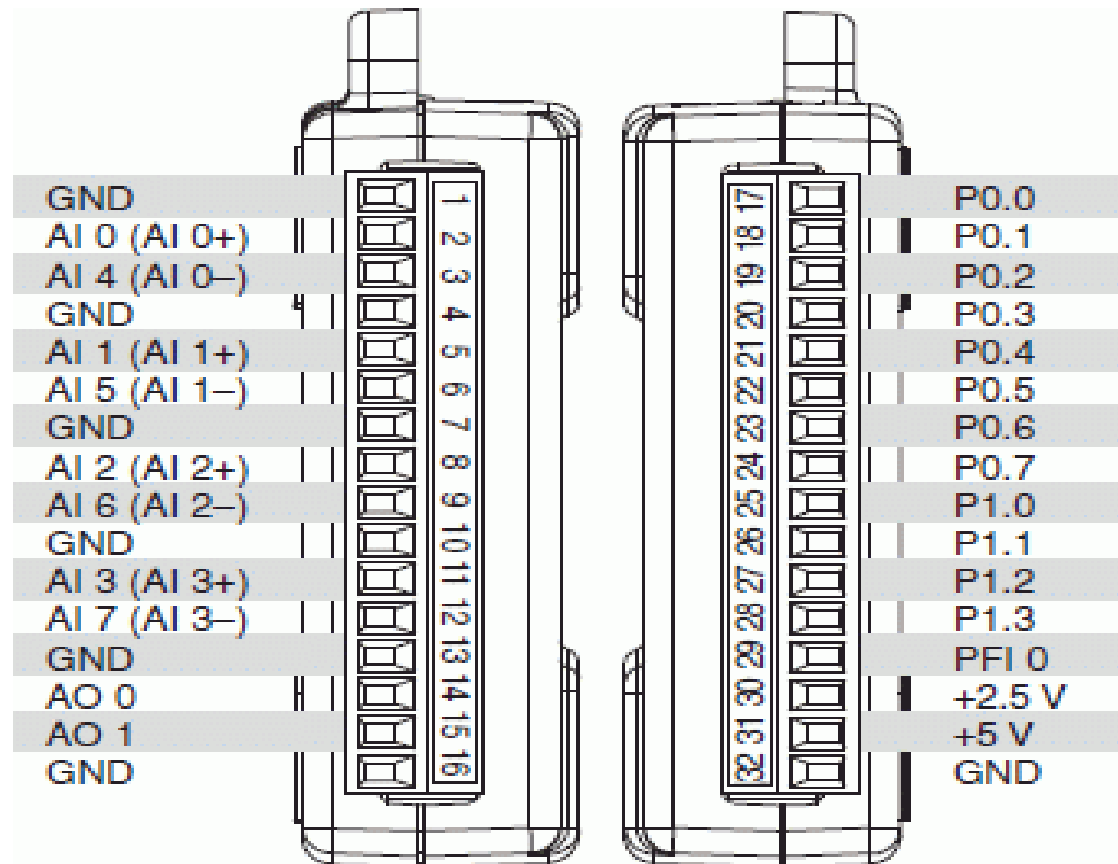
TARJETA DAQ

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.





NI USB-6008





RESUMEN DE LA SELECCIÓN DE SENSORES

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



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE

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



Pruebas de funcionamiento DAQ-6008

Test Panels : NI USB-6008: "AdquisiciónColector"

Analog Input | Analog Output | Digital I/O | Counter I/O

Channel Name: AdquisiciónColector/ai0

Mode: On Demand

Input Configuration: Differential

Max Input Limit: 10 | **Min Input Limit**: -10

Rate (Hz): 1000 | Samples To Read: 1000

Amplitude vs. Samples Chart

Auto-scale chart

4 103

-161u

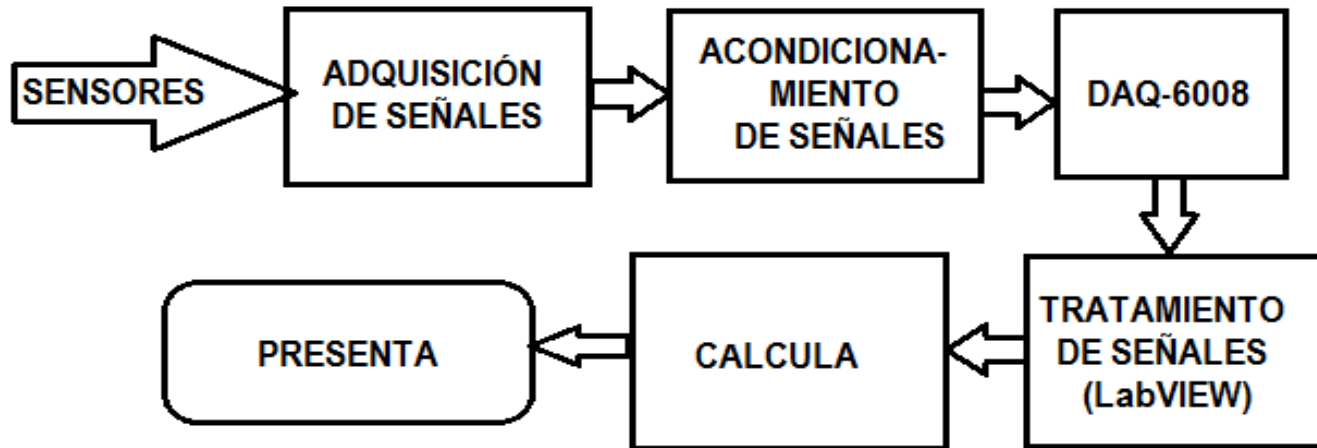
Start Stop

Close Help



DIAGRAMA DE BLOQUE

A continuación se muestra el diagrama de bloque a seguir para el Sistema de Adquisición de Datos.





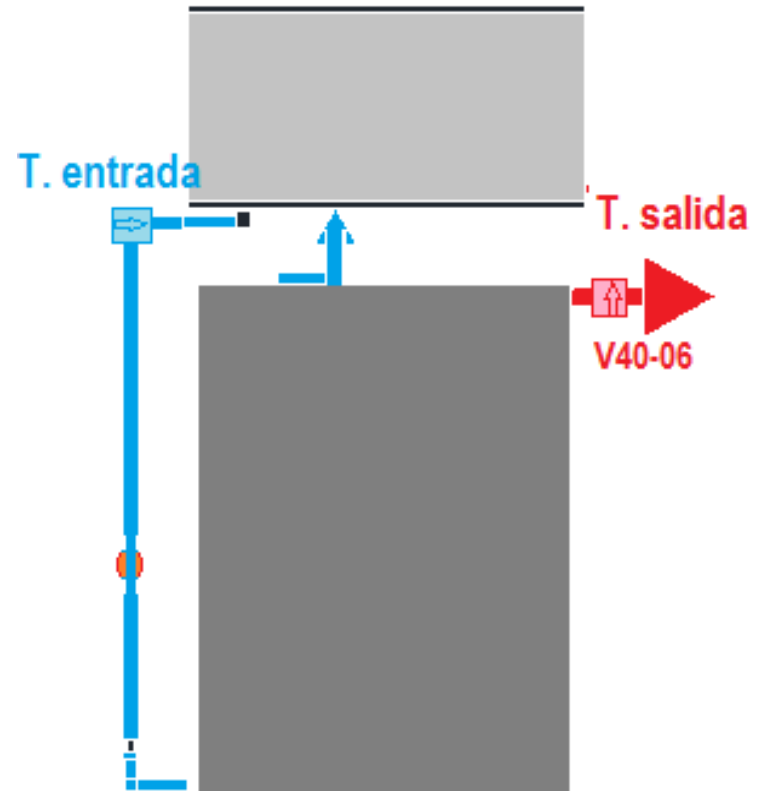
E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

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 Monitoreo de Energía producida por un colector solar plano empleando el software LabVIEW

APLICACIÓN 1

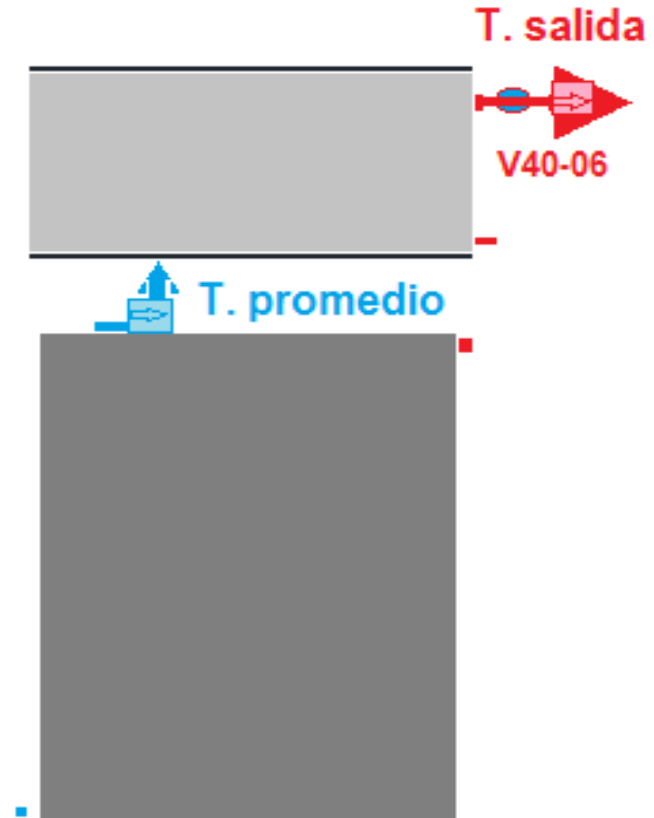
En esta aplicación se cuantificará la energía producida por el colector solar plano sin almacenamiento de energía en el termotanque.





APLICACIÓN 2

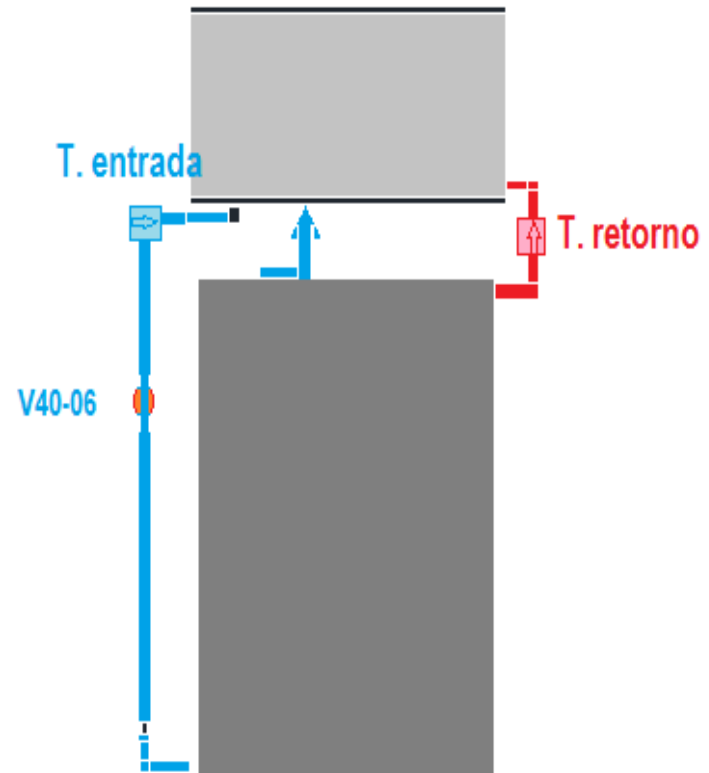
En esta aplicación se estudiará solo al termotanque de almacenamiento del sistema.





APLICACIÓN 3

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



ANÁLISIS

En la siguiente figura 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.





IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

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.



CONEXIONES DE GRIFERÍA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA

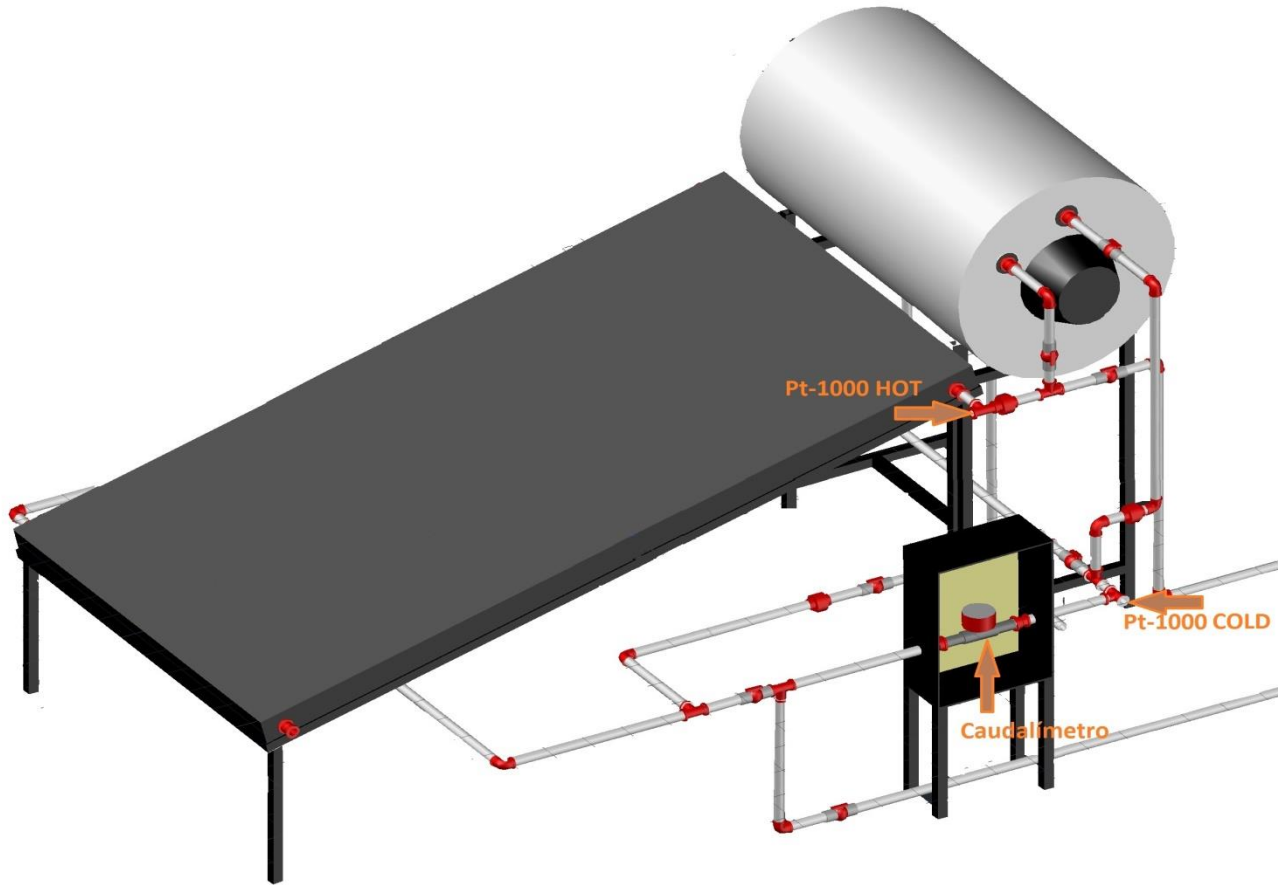
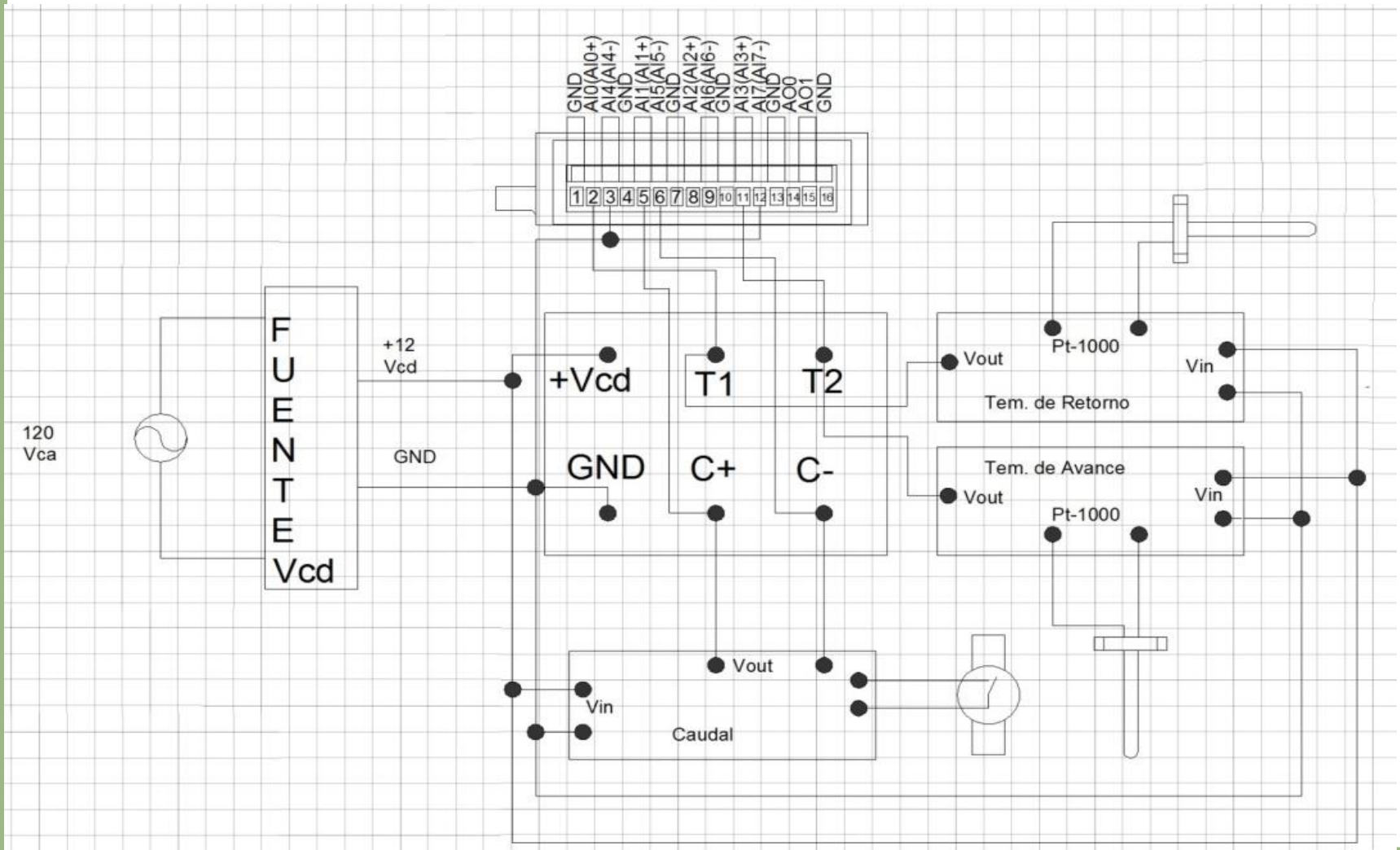




DIAGRAMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS





PRUEBAS

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

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.

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	96,525833
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
 E:\Calentador Solar\ builds\ MedirDeEnergiaTermi

Guardar

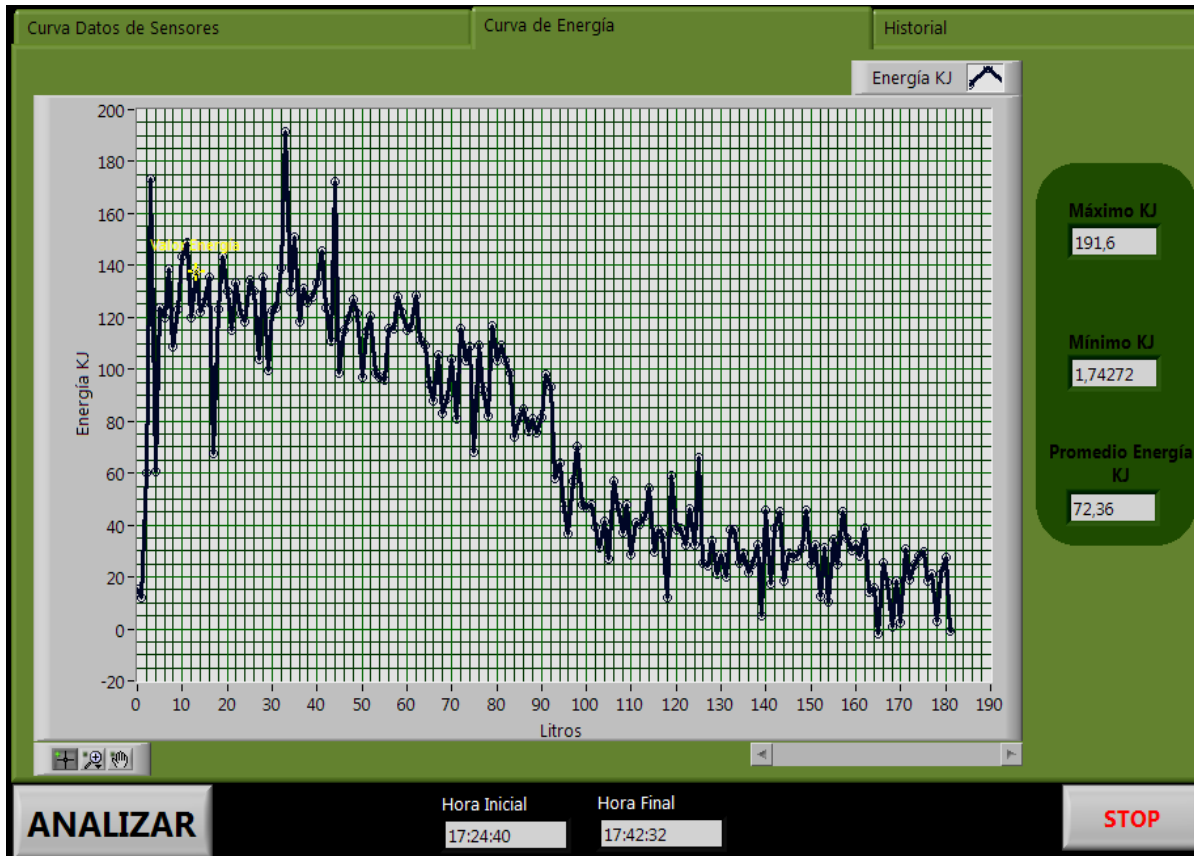
Fecha 07/08/2014
Hora 13:51:03
SALIR



PRUEBAS

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.





MEDICIÓN DE LA ENERGÍA ACUMULADA EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

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.

The screenshot displays a software interface with three tabs: 'Curva Datos de Sensores', 'Curva de Energía', and 'Historial'. The 'Historial' tab is active, showing a table with the following columns: Fecha, Hora, Tem. de Avance °C, Tem. de Retorno °C, and Energía KJ. The table contains 20 rows of data for the date 27/07/2014, with times ranging from 17:24:40 to 17:27:32. The temperature of advance is constant at 17,000000 °C, and the temperature of return varies between 19,824529 °C and 46,102879 °C. The energy values range from 11,806530 KJ to 121,650034 KJ. To the right of the table, there are two summary boxes: 'Energía Total KJ' with a value of 13169,5 and 'KW-h' with a value of 3,658. Below the table, there are fields for 'Hora Inicial' (17:24:40) and 'Hora Final' (17:42:32), and a 'STOP' button. At the bottom left, there is an 'ANALIZAR' button. The 'Caudal total en litros' is shown as 182.

Fecha	Hora	Tem. de Avance °C	Tem. de Retorno °C	Energía KJ
27/07/2014	17:24:40	17,000000	20,635378	15,195882
27/07/2014	17:25:23	17,000000	19,824529	11,806530
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	48,905682	133,365669
27/07/2014	17:27:26	17,000000	46,102879	121,650034
27/07/2014	17:27:32	17,000000	46,285844	118,734826



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

PRUEBAS

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

MEDICIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL COLECTOR SOLAR Y ALMACENADO EN EL TERMOTANQUE

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

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.



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.



- El rendimiento de los colectores solares planos relaciona la energía extraída por el agua y la recibida por el colector. El mismo no es constante sino que depende de la temperatura ambiente, velocidad del viento, intensidad de radiación y temperatura del agua por lo que se recomienda seguir con estudios a futuro con la implementación de los equipos necesarios.
- 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.



**GRACIAS POR
LA ATENCIÓN
PRESTADA**