

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

**Sección de Posgrado y Segunda Especialización Profesional**



**Tesina para Optar el Título de Segunda Especialización  
Profesional en Energía Solar**

**“Diseño, Construcción y Evaluación de un Solarímetro  
Portátil Basado en una Celda Fotovoltaica, para la Medición  
de la Irradiancia Solar Instantánea y del Acumulado  
Integrado sobre el Tiempo en kWh/m<sup>2</sup>”**

**Presentada por:**

**Julio César Valencia Bardales**

**Asesor**

**Mg. Germán Cómina Bellido**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

En memoria de mi abuela Isolina y de mis  
padres, quienes desde niño han sabido  
conducirme por el camino del estudio y la  
superación.

A mi adorada Beatriz, quien me apoyó y  
brindó la fortaleza para seguir adelante  
y ahora se ha convertido en el motor de  
mi superación.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional de Ingeniería, Sección de Post Grado de la Facultad de Ciencias, que me acogió y brindó las facilidades, que me permitieron lograr el objetivo deseado.

A la Plana Docente del Programa de la Segunda Especialización en Energía Solar, quienes supieron transmitirnos sus conocimientos y experiencias.

Al Dr. Manfred Horn, Coordinador del Programa de la Segunda Especialización en Energía Solar, quien me brindó su apoyo en la elección del tema y demás facilidades para su desarrollo.

Al Lic. Germán Comina Bellido, en calidad de asesor y revisor.

Al Ing. electrónico José Olidén Martínez, quien muy presto de voluntad de servicio, brindó su apoyo profesional en momentos de dificultad.

Finalmente, al Ing. José Augusto Arias Pittman, Docente de la Universidad José Faustino Sánchez Carrión, gran amigo y compañero de trabajo, por sus valiosos aportes y sugerencias a la presente investigación.

EL AUTOR

## RESUMEN

Alumno: Lic. JULIO CÉSAR VALENCIA BARDALES

Título: Diseño, construcción y evaluación de un solarímetro portátil basado en una celda fotovoltaica, para la medición de la irradiancia solar instantánea y del acumulado integrado sobre el tiempo en kWh/m<sup>2</sup>

Dadas las condiciones actuales, de demanda de mediciones de las variables solares en todo el Perú, sobre todo en aquellas zonas o centros poblados para los cuales no se cuentan con registros ni data histórica; es que surge este proyecto como tema de investigación de la presente Tesina, con la finalidad de desarrollar y aportar con un prototipo de medidor solar que permita a los interesados usuarios, cuantificar el recurso solar de aquellos lugares donde han planeado implementar las aplicaciones de la energía solar.

Se ha diseñado y construido un solarímetro basado en una celda fotovoltaica conectada con una resistencia de carga como sensor y un circuito basado en un microcontrolador. El instrumento mide y presenta a la vez, en la pantalla LCD, la intensidad de la radiación solar incidente con un valor máximo de hasta 1500 W/m<sup>2</sup> y también la energía acumulada por unidad de área, con un valor de hasta 999,99 kWh/m<sup>2</sup>.

Aunque el sensor utilizado, es sensible solamente a un 66% del espectro solar debido a la celda fotovoltaica que utiliza como sensor, puede considerarse eficiente en comparación con el instrumento patrón relativo (HAENNI SOLAR 118) el cual también es de tipo fotovoltaico.

El solarímetro presenta a la vez, los valores de la radiación solar y de la energía por unidad de área acumulada en el tiempo mientras que el instrumento patrón solo muestra una de estas medidas, además en el instrumento patrón debe cambiarse manualmente la escala, para observar los valores de la energía por unidad de área entre la escala de 99,99 kWh/m<sup>2</sup> y la de 999,9 kWh/m<sup>2</sup>.

De la evaluación efectuada respecto de su funcionamiento se ha encontrado que las medidas del acumulado de energía solar por día respecto del patrón, tienen un error del 2% con presencia de radiación solar directa y con radiación difusa puede llegar hasta un 10%, debido a la diferencia de diseño en los sensores. Sin embargo es posible hacer mejoras en el equipo para reducir los márgenes de error indicados.

En cuanto a consumo de energía, con una previa optimización de recursos efectuada, se ha estimado experimentalmente que trabajando a plena carga, el consumo máximo de energía por sesión de 1,30 Wh/día, con una capacidad extraída de batería de 0,150 Ah/día (entre las 10:00 y las 18:00 aprox.). Además con la batería que utiliza, el equipo tiene una autonomía máxima de 03 días o sesiones de trabajo de 8 horas/día.



El costo de desarrollo del solarímetro bordea los U.S.\$ 1 300,00; mientras que el costo de producción, con una adecuada sustitución de dispositivos y mejoras en la circuitería del sistema podría llegar a ser, según se ha estimado, de unos U.S.\$ 260,00.

Los inconvenientes principales que se presentaron y retrasaron el trabajo por espacio de seis meses, fueron: primero, fallas del equipo al procesar el acumulado de energía solar debido a problemas de software y de programación, y segundo relacionado con la escasa y esporádica incidencia solar directa en el segundo periodo del año 2009, que no favorecieron mucho en la toma de los datos experimentales. Felizmente con apoyo profesional recibido, y perseverancia estos inconvenientes fueron superados.

El tiempo dedicado al trabajo ha sido de aproximadamente de un año y ocho meses por los inconvenientes antes indicados.

Finalmente, podemos concluir que hemos construido un equipo para la medición de la energía solar diaria con un buen promedio elevado de los parámetros: velocidad de respuesta, tamaño, aparente bajo consumo de energía y alimentación, acorde con los dispositivos que lo conforman y que será de gran utilidad para todo usuario e instituciones involucradas con las aplicaciones de la energía solar y la medida de este importante recurso energético.

# CONTENIDOS

	Pag.
DEDICATORIAS	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
CONTENIDOS	
INTRODUCCIÓN	
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>01</b>
<b>PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>01</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES</b>	<b>01</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>06</b>
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	<b>08</b>
1.3.1. GENERAL	08
1.3.2. TECNOLÓGICO	09
<b>1.4. ALCANCE</b>	<b>09</b>
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA</b>	<b>09</b>
<b>1.6. APORTES</b>	<b>10</b>
<b>1.7. LOCALIDAD E INSTITUCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>1.8. METODOLOGÍA DE DESARROLLO</b>	<b>11</b>
1.8.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	11
1.8.2. REGIMEN DE LA INVESTIGACIÓN	11
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>12</b>
<b>ASPECTOS GENERALES DE LA SITUACIÓN SOCIO ECONÓMICA Y ENERGÉTICA DEL PERÚ</b>	<b>12</b>
<b>2.1. REALIDAD SOCIO ECONÓMICA Y ENERGÉTICA DEL PERÚ</b>	<b>13</b>
2.1.1. REALIDAD SOCIO ECONÓMICA	14
2.1.2. REALIDAD ENERGÉTICA	17
2.1.2.1. Estado de los combustibles	17
2.1.2.2. Estado de la electricidad	18
2.1.2.3. Energía rural	20
2.1.2.4. Estado de la energía solar	23
<b>2.2. LA ENERGIA SOLAR ALTERNATIVA ENERGÉTICA DEL FUTURO</b>	<b>25</b>
<b>2.3. ESTADO DE LAS MEDICIONES SOLARES</b>	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>31</b>
<b>FUNDAMENTOS FÍSICOS Y TECNOLÓGICOS DEL SOLARÍMETRO</b>	<b>31</b>

<b>3.1. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA DE MEDIDA</b>	<b>32</b>
3.1.1. VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA Y APLICACIONES EN INSTRUMENTACIÓN	35
3.1.2. SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE MEDIDA	35
3.1.3. SEÑALES ANALÓGICAS DEL MUNDO FÍSICO	36
3.1.4. CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA	36
3.1.5. FUNCIONES DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE MEDIDA	37
3.1.6. PROCESAMIENTO ANALÓGICO DE SEÑALES ELÉCTRICAS	38
3.1.7. TRANSDUCTORES, ACONDICIONADORES Y ACTUADORES	39
3.1.8. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES ELÉCTRICAS	44
3.1.9. DESARROLLO DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA UTILIZANDO MICROCONTROLADORES	44
<b>3.2. INSTRUMENTACIÓN SOLAR</b>	<b>47</b>
3.2.1. INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE LA RADIACIÓN SOLAR	47
3.2.1.1. Principios involucrados en instrumentos de medición solar	47
3.2.1.2. Tecnología de los instrumentos de medición solar	50
<b>3.3. LA CELDA FOTOVOLTAICA COMO DISPOSITIVO SENSOR</b>	<b>54</b>
3.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	54
3.3.2. CARACTERÍSTICAS DE CORRIENTE – VOLTAJE (I-V)	56
3.3.3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA	59
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>61</b>
<b>DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DEL SOLARÍMETRO</b>	<b>61</b>
<b>4.1. SELECCIÓN DEL INSTRUMENTO PATRÓN RELATIVO</b>	<b>63</b>
4.1.1. CARACTERÍSTICAS	63
4.1.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SOLARÍMETRO PATRÓN	64
4.1.3. MAGNITUDES DE MEDIDA Y RANGOS	65
<b>4.2. DISEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA</b>	<b>66</b>
4.2.1. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	66
4.2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES	67
<b>4.3. DETECCIÓN DE LA SEÑAL</b>	<b>69</b>
4.3.1. OBJETO	69
4.3.2. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS	69
4.3.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SENSOR	69
4.3.4. CONVERSIÓN DE LA SEÑAL FÍSICA EN SEÑAL ELÉCTRICA	69
4.3.5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	70
<b>4.4. PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL</b>	<b>70</b>
4.4.1. PROCESAMIENTO ANALÓGICO	71
4.4.1.1. Objeto	71
4.4.1.2. Funciones de acondicionamiento necesarias	71
4.4.1.3. Conversión de la señal de corriente en señal de voltaje	71

4.4.1.4. Amplificación de la señal de voltaje	80
4.4.1.5. Acoplamiento de los circuitos de Detección y de Acondicionamiento	87
4.4.2. CONVERSIÓN ANALÓGICA – DIGITAL	88
4.4.2.1. Objeto	88
4.4.2.2. Procedimiento	89
4.4.3. PROCESAMIENTO DIGITAL	89
4.4.3.1. Objetivos	89
4.4.3.2. El Problema	90
4.4.3.3. La solución	91
4.4.3.4. Tecnologías utilizadas	91
4.4.3.5. Construcción del Algoritmo de Medida	100
4.4.3.6. Implementación del Algoritmo de Medida	102
4.4.3.7. Implementación virtual y física de la Etapa de Procesamiento Digital	102
<b>4.5. ETAPA DE COMUNICACIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	107
4.5.1. OBJETIVO	107
4.5.2. DISPOSITIVOS UTILIZADOS Y CONEXIONES	107
<b>4.6. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA</b>	108
4.6.1. CONEXIONES FINALES	108
4.6.2. DIAGRAMAS DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDIDA.	110
<b>4.7. PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN</b>	113
4.7.1. OBJETIVOS DE LA CALIBRACIÓN	114
4.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS	114
4.7.3. METODOLOGÍA	115
4.7.4. PROCEDIMIENTO GENERAL	115
4.7.5. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE CALIBRACIÓN	118
4.7.6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CALIBRACIÓN	123
4.7.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CALIBRACIÓN	126
4.7.8. CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS DE CALIBRACIÓN	126
<b>4.8. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA</b>	127
4.8.1. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO	128
4.8.1.1. Objetivos Generales	128
4.8.1.2. Objetivos Específicos	128
4.8.1.3. Equipos y Materiales	129
4.8.1.4. Metodología	129
4.8.1.5. Procedimiento General	130
4.8.1.6. Pruebas Experimentales realizadas para evaluar el funcionamiento del solarímetro	131
4.8.1.7. Resultados de las pruebas de funcionamiento	140
4.8.1.8. Análisis de resultados de las pruebas de funcionamiento	140
4.8.1.9. Conclusiones de las pruebas de funcionamiento	141
4.8.2. EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO DEL SOLARÍMETRO	144

4.8.2.1. Objetivos Generales	145
4.8.2.2. Objetivos Específicos	145
4.8.2.3. Equipos y Materiales	145
4.8.2.4. Metodología	146
4.8.2.5. Procedimiento General	147
4.8.2.6. Pruebas experimentales efectuadas para evaluar el consumo eléctrico del equipo	148
4.8.2.7. Resultados de las pruebas efectuadas para evaluar el consumo eléctrico del equipo	156
4.8.2.8. Análisis de los resultados de las pruebas efectuadas para evaluar el consumo eléctrico del equipo	156
4.8.2.9. Conclusiones de las pruebas efectuadas para evaluar el consumo eléctrico del equipo	163
<b>CAPÍTULO V</b>	167
<b>COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS, FUNCIONAMIENTO Y COSTOS DEL PROTOTIPO DE SOLARÍMETRO</b>	167
<b>5.1. COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	168
5.1.1. EL CIRCUITO ANALÓGICO	168
5.1.1.1. Especificaciones genéricas de la unidad	168
5.1.1.2. Especificaciones técnicas de componentes internos	169
5.1.2. EL CIRCUITO DIGITAL	170
5.1.2.1. Especificaciones genéricas de la unidad	170
5.1.2.2. Especificaciones técnicas de componentes internos	171
5.1.3. EL CABLE DE ENLACE	172
<b>5.2. CRITERIOS DE INSTALACIÓN Y RECOMENDACIONES DE USO</b>	172
<b>5.3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SOLARÍMETRO</b>	174
<b>5.4. MANTENIMIENTO DEL EQUIPO</b>	176
<b>5.5. COSTOS</b>	177
5.5.1. COSTOS DE DESARROLLO	177
5.5.2. COSTOS DE PRODUCCIÓN	177
<b>CONCLUSIONES</b>	179
<b>RECOMENDACIONES</b>	183
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	185
<b>ANEXOS</b>	188

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los objetivos del trabajo, inicialmente nos planteamos tomar amplio conocimiento sobre el desarrollo de equipos de instrumentación científica y tecnológica, de manera particular, para la medición de la radiación solar incidente. Para desarrollar el tema en referencia se ha encontrado suficiente bibliografía principalmente extranjera y pocos trabajos nacionales que aborden específica y sistemáticamente el tema.

Definimos el problema de la siguiente manera: en primer lugar analizamos los resultados de la proposición “necesidad de investigación para el desarrollo de instrumentación científica y/o tecnológico para la medida de las variables solares en el Perú”; que en realidad es rama de un árbol de problemas que tienen como necesidad central, revertir problemas de crisis energética en nuestro país; y en segundo lugar se ha precisado en forma concreta esos antecedentes y los diversos efectos que harán posible los beneficios en la práctica. Además se ha complementado con la definición de términos básicos es decir la aclaración del sentido en que se usan las palabras o conceptos empleados en la identificación y formulación del problema.

El objetivo que se ha estructurado es el siguiente: desarrollar un prototipo de instrumento para la medida de la irradiancia solar y el acumulado de energía, eficiente en condiciones de operación, comparado con el instrumento utilizado como patrón relativo; para ponerlo al servicio de la ciencia como un producto tecnológico confiable y funcional; todo ello, gracias a una metodología empleada que nos asegura su desarrollo desde la detección de la señal a medir hasta su evaluación como producto terminado. Objetivo, que ha tenido que ver con realidades que se describen en los capítulos primero y segundo del trabajo; luego sobre disponibilidades de recursos y de tecnologías para su viabilidad, así como del desarrollo mismo del proyecto, los resultados y las perspectivas de la investigación desarrollada.

El trabajo se ha organizado de la siguiente manera:

**CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.** Tratándose el trabajo de una creación tecnológica en él se expone los antecedentes, la formulación del problema, objetivos, alcance, justificación e importancia, aportes, localidad e institución, metodología de desarrollo.

**CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES.** En esta parte exponemos los hallazgos que la información nos proporciona sobre la realidad socio económica de los pobladores urbano y rural, la

situación energética del país, de la energía solar y el estado de las mediciones; que de algún modo refuerzan la importancia para la ejecución del proyecto.

CAPÍTULO III: FUNDAMENTOS FÍSICOS Y TECNOLÓGICOS. Aquí se describen los principios físicos y tecnológicos involucrados tanto en la metodología de desarrollo del proyecto de solarímetro y en el funcionamiento de los componentes utilizados para su construcción.

CAPÍTULO IV: DISEÑO CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DEL SOLARÍMETRO. En esta parte del trabajo se describe la metodología que se empleará para desarrollar el solarímetro etapa por etapa, el diseño e implementación física de tales etapas incluyendo las pruebas experimentales parciales y final que validan el funcionamiento de cada etapa y como equipo terminado, respectivamente.

CAPÍTULO V: COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS, FUNCIONAMIENTO Y COSTOS. Con la finalidad de facilitar la reproducción del equipo y utilización en campo, en este capítulo se resumen el listado de sus componentes y se describe su funcionamiento. Así mismo se hace referencia a los costos de desarrollo y de producción.

Finalmente, las conclusiones, parte en la cual destacamos que la metodología utilizada en el diseño y construcción de instrumentos de medición y el uso de la tecnología electrónica digital programable basada en un microcontrolador han rendido sus frutos, porque han permitido obtener un medidor de las variables solares, irradiancia y energía diaria acumulada; confiable, con muy buenos otros argumentos a favor: tamaño, velocidad, alimentación, consumo aún por optimizar y bajo costo entre otros; por supuesto con las limitaciones que tiene como solarímetro dentro de la clasificación a la cual pertenece, un piranómetro que utiliza una celda fotovoltaica como sensor.

**LIC. JULIO VALENCIA BARDALES**

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

La realización del presente trabajo encontró sus antecedentes, por un lado en hechos y por otro, en trabajos realizados por autores y entidades que han realizado trabajos en el campo de las mediciones solares.

Entre los hechos que se han considerado como antecedentes se mencionan:

- 1) El reconocimiento desde los años 80 al presente, de muchos lugares, centros poblados y zonas rurales en varios departamentos de la costa peruana, ubicados en zona yunga, en los primeros contrafuertes de la cordillera de los Andes, casi todos ellos caracterizados porque presentan incidencia de rayos solares durante todo el año y con mayor intensidad en los meses de enero a marzo. Lugares que han sido favorecidos con un clima suavemente cálido y



seco creando condiciones excelentes para la vida y la salud de sus pobladores; así como también para el desarrollo de las actividades agrícolas pecuarias y agroindustriales.

Entre esos lugares visitados se pueden mencionar: Fala, San Isidro de Mamape, Ahuamantanga y la Juanita (a 10 km aproximadamente de la ciudad de Chiclayo, Departamento de Lambayeque), Tembladera y Chilete en las márgenes del río Magdalena y otros del valle del Jequetepeque (Departamento de Cajamarca), Imbal y Poroto en las márgenes del río Moche (Provincia de Trujillo – Departamento de La Libertad), Yangas y Santa Rosa de Quives en las márgenes del río Chillón (Provincia de Canta – Departamento de Lima); y particularmente, Quintay, Tre Montones, Ibis, San Jerónimo entre otros; centros poblados vecinos, ubicados en la zona media central de las cuencas del río Huaura y del río Chico, se encuentran dentro de la jurisdicción del distrito de Sayán (685 m.s.n.m.) (Provincia de Huaura – Departamento de Lima), en la zona de influencia de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión de Huacho (30 m.s.n.m.).

Con esas características climáticas casi similares, particularmente en la zona del valle de Huaura, se dedican por tradición al cultivo de productos de pan llevar como: maíz amarillo, maíz morado, frijol papa, vainita, paltas, vid; también caña de azúcar y algunos frutales como: naranjas, melocotones, mangos, mandarinas, producción de vinos y de miel de abejas entre otros productos y a la crianza de algunas especies de ganado menores; para satisfacer el auto sostenimiento.

in embargo pese a los beneficios climáticos y condiciones propicias para su desarrollo, muchos de e tos pueblos y centros poblados no han sido atendidos en sus servicios básicos de agua, luz, alcantarillado, limpieza pública y de atención de salud inclusive y hoy presentan problemas de contaminación de aguas originados por los relaves mineros de las alturas, por acumulación de basura y desechos orgánicos, por consumo considerable de la leña para el cocido de sus alimentos, por los grandes torrentes de humo que la población recibe por la quema de caña de los ingenios azucareros y finalmente la amenaza que se cierne sobre sus terrenos de cultivo que por falta de financiamiento de sus dueños hoy están siendo captados por las empresas azucareras para el cultivo de la caña de azúcar, trayendo consigo el deterioro progresivo de dichos suelos no más aptos para el cultivo de sus productos tradicionales.

Por las actividades productivas que desarrollan, los beneficios climáticos que poseen, y la problemática que enfrentan en mayor proporción unos que otros, constituyen lugares excelentes, para las aplicaciones de las energías renovables no convencionales (todos ellos poseen un gran potencial en energía solar, hídrico y en algunos casos eólico como en los departamentos del norte y también del valle de Huaura según se ha constatado) y que podrían representar una solución parcial para parte de esa problemática que los aqueja, incidiendo indirectamente en un mejoramiento del nivel de vida de sus pobladores. Entre las aplicaciones con energías renovables que podrían tener protagonismo son: las aplicaciones del secado solar que podría solucionar problemas de sobreproducción y favorecer a las actividades de la agroindustria

y la agro exportación, las técnicas de los biodigestores sobre los desechos orgánicos animales y vegetales, sistemas modulares de generación eléctrica eólico, solar y mixtos, cocinas solares, destiladores solares, entre otros.

Lamentablemente en muchos de estos lugares como en el caso del Centro poblado de Quintay, no existen datos históricos ni registros del potencial energético solar, que permitan cuantificarlo, no más información que la heliofanía diaria y temperaturas descritas por sus testigos presenciales, la población. Es más, no figuran en la relación de localidades con datos del “Promedio anual de la irradiación solar diaria en el Perú”.

- 2) La falta de acceso a información meteorológica clasificada (eólica y solar) para un determinado lugar del Perú en la década de los 90, mientras se realizaba los estudios de la Segunda Especialización en Energía Solar, luego su venta con factura por parte del ENAMHI (por cierto útil en algunos casos e inútil en otros); realidades, que desde entonces hicieron pensar, en la posibilidad de gestionar el montaje de una estación meteorológica en la universidad de origen de los futuros egresados o de adquirir sus propios instrumentos portátiles para obtener sus propias mediciones en lugares donde se pensarán realizar aplicaciones con las energías renovables señaladas.
- 3) El déficit de instrumentación científica, de manera particular para las mediciones solares, una realidad por la que atraviesan la mayoría de universidades del país.

4) Por otra parte, dentro de los estudios y trabajos realizados por autores e instituciones abocados en la empresa de las mediciones solares y la construcción de instrumentos para tal fin, se han encontrado los siguientes:

- El trabajo “Diseño y construcción de un solarímetro tipo termopila de alta eficiencia y economía”, realizado por Wilder Aldama Reyna, año 1983, dentro del Programa de la Segunda Especialización en Energía Solar (SEPES-UNI) [SOC 83].
- Los trabajos en instrumentación solar destinados a la medida de la intensidad de la radiación solar incidente, realizados por el Centro de Energías Renovables (CER) y el Programa de la Segunda Especialización en Energía Solar (SEPES) de la UNI, desde la década de los 70 y cuyo registro y procesamiento de los datos a evolucionado desde los métodos manuales con calculadora, luego el uso de programas en Pascal, y hasta la fecha utilizando una computadora y aplicaciones en LABVIEW, en forma automatizada.
- El Trabajo “Estudio comparativo de sistemas de adquisición de datos” (tipo electrónico) de Hugo Solís y Miguel Magos de la Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzaico, México [MEM 95].
- Parte del Trabajo “Radiómetro para Satélite Spot” (electrónico), de Julio Forcada y Rossen Petrov de la Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzaico, México [MEM 95].
- Trabajos de construcción de solarímetros, basados en tecnología electrónica y que utilizan como dispositivos de salida un multímetro digital, para el Proyecto “100 AÑOS – 100 COLEGIOS”, ejecutado por el

Departamento de Física de la Universidad de Santiago de Chile. Proyecto que estratégicamente involucra a docentes y alumnos de 100 colegios en el proceso de medición del recurso solar y envío de los consolidados vía internet a la central de acopio y procesamiento de la información; actividades que tienen como objetivo de fondo contribuir con mediciones para la elaboración del Mapa Solar de Chile [UCH 05].

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La topografía muy variada y la gran diversidad climática que caracteriza al territorio peruano originada por la presencia de la Cordillera de los Andes, ha dado lugar a la aparición de lugares propicios para las aplicaciones de la energía solar debido a que son poseedoras de un gran potencial solar. Potencial energético solar que requiere ser cuantificado en la forma de “energía disponible” para sustentar técnicamente los proyectos relacionados con esas aplicaciones.

Esta diversidad climática, tan cercana entre un lugar y otro obligan a tener que considerar redes más densas y estratégicamente distribuidas, de estaciones meteorológicas en todo el Perú, que permitan obtener medidas más precisas del recurso solar.

La información bibliográfica revisada tal como se verá más adelante solamente publica datos de los promedios anuales de la irradiación solar diaria en el Perú, para ciertas localidades donde existe una estación meteorológica o en muchos casos estos valores promedio han sido obtenidos por métodos estimativos en base a otras variables meteorológicas, que no son variables solares precisamente;

realidad que es corroborada por el mismo SENAMHI, cuando reconoce de las limitaciones que tiene la institución en cuanto a número de estaciones meteorológicas y de instrumentación meteorológica solar de precisión [GAM 90].

También se ha encontrado indicios, que en estos momentos nuestro país está atravesando por una crisis energética, tanto en combustibles hidrocarburos (demanda insatisfecha equilibrada actualmente en un 8% con gas natural y el 27% restante con petróleo y carbón importado) como en electricidad (demanda de crecimiento anual del 9% en generación eléctrica, y obras para mejorar la capacidad de transmisión de 200kV a 800kV). En ambos casos ocasionado por la falta de previsión para el corto y el largo plazo de los diversos escenarios de oferta y demanda de energía, y de buenas Políticas de Estado con proyectos que permitan revertir los desequilibrios negativos y los porcentajes de reserva respectivos, requeridos para casos de emergencia; con responsabilidad no solo de este gobierno sino también de los anteriores (Diarios: Gestión de 09/09/09 y Perú 21 del 11/08/08).

Con respecto a la crisis energética Jorge Manco Zaconetti, investigador de la UNMSM (04/06/2008), reitera las recomendaciones que se han planteado como solución para el caso peruano están en buscar la independencia energética en base a proyectos encaminados a explotar masivamente las fuentes energéticas interna limpias y no contaminantes como son la generación hidroeléctrica, la generación eléctrica en base a sistemas eólico solares y en combustibles al gas en sus diferentes presentaciones.

De ser esto una realidad tal y como el gobierno parece ya lo está considerando en la nueva matriz energética para el futuro, aunque sin dejar de lado al petróleo; en el caso de las energías renovables no convencionales eólico y solar, será necesario contar con información energética para sustentar técnicamente no solamente proyectos de generación solar sino también que utilicen la energía del viento, y por otra parte de mas estaciones meteorológicas y mayor demanda de instrumentos de medición destinados para su observación.

Por tanto la realidad deducida a partir de los antecedentes expuestos hasta esta parte del trabajo, sumando además de la crisis energética evidente que afronta el país, la necesidad de revertir la matriz energética en base a fuentes energéticas propias; se llega a la conclusión de que cualquier trabajo de investigación científica o tecnológica que se encamine por el desarrollo de instrumentación para la medida de las energías renovables, está justificado.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 GENERAL**

Proponer una metodología de desarrollo, para el diseño y construcción de un solarímetro con las características y especificaciones requeridas por el usuario, de modo que en ella se combinen coherentemente los principios de la Física, las metodologías tecnológicas involucradas y las especificaciones de los dispositivo utilizados de la electrónica moderna (digitalizada y programable), que aseguren el desarrollo de un producto terminado, confiable y funcional.

### **1.3.2. TECNOLÓGICO**

Poner al servicio de la ciencia un producto, fruto del desarrollo de esta investigación y que es un prototipo de solarímetro portátil destinado para la medida de la intensidad de radiación solar incidente y del acumulado de energía, eficiente en condiciones de operación, comparado con el instrumento utilizado como patrón.

### **1.4. ALCANCE**

Por la importancia del tema, el aporte tecnológico que representa, y la metodología simple que se ha adoptado para lograr su desarrollo, se ha considerado como alcance a la universidad peruana, instituciones y grupos de investigación estatales y privados, también a profesionales, técnicos y aficionados individuales que están involucrados en el campo de las mediciones solares, y con el desarrollo de sistemas que utilizan la energía solar.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La realización del presente trabajo es importante por las razones siguientes:

- 1) El producto logrado con el desarrollo del presente trabajo va a permitir cuantificar la radiación solar incidente, una de las variables más importantes, fuente de energía utilizada en la gran mayoría de procesos del planeta.
- 2) La metodología utilizada en el trabajo para llevar a cabo el desarrollo del prototipo de solarímetro puede utilizarse para desarrollar otros instrumentos de medida de la radiación solar basados en otros tipos de sensores y también



para la medida de variables asociadas con otro tipo de energías renovables como la eólica.

- 3) La metodología de desarrollo que integra a varias disciplinas del saber entre ellas la Física con sus bases teóricas y técnicas para el procesamiento e interpretación de datos, la electrónica analógica y la electrónica moderna digitalizada con sus métodos, herramientas y tecnología basadas en tecnología de la información (hardware y software), la Ingeniería Física y la Ingeniería de Sistemas; fusionándolas en cuerpo coherente de teoría y práctica.
- 4) Con el producto obtenido, será posible sustentar técnicamente con instrumentación y datos de energía disponible, proyectos relacionados con la diversidad de aplicativos solares.
- 5) La metodología utilizada demuestra que la investigación en la acción permite realizar, simultáneamente, una investigación básica y una aplicada.
- 6) Acumular y sistematizar información referencial y/o contar con un inventario de datos sobre el potencial solar importantes de lugares visitados, para los cuales no existe información oficial de este recurso y/o corroborar datos de registros ya existentes actuales o del pasado, ello, gracias a la portabilidad del instrumento.
- 7) Marcar el inicio para el desarrollo de nuevos proyectos con características afines u otros más ambiciosos en el campo de la meteorología en general y de la Energía Solar Aplicada.

## **1.6. APORTES**

Con un producto tecnológico, fácil de reproducir impactando en el desarrollo de la Instrumentación Solar en nuestro país, el cual constituirá un aporte para el registro

y acopio de información meteorológica solar; también para el desarrollo de la investigación científica y tecnológica de la física con el uso de energía solar.

## **1.7. LOCALIDAD E INSTITUCIÓN**

- Facultad de Ciencias – Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Facultad de Ciencias e Ingeniería – Universidad Nacional José F. Sánchez Carrión, Huacho

## **1.8. METODOLOGÍA DE DESARROLLO**

### **1.8.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente, es una investigación aplicada en el campo de la Energía Solar.

### **1.8.2. REGIMEN DE LA INVESTIGACIÓN**

ORIENTADA: Sirve para ser emulada por cualquier otra universidad o institución educativa que trabajan con los conocimientos de la ciencia física, la electrónica de punta y los sistemas de información, siendo el prototipo desarrollado un patrimonio intelectual exclusivo de la Facultad de Ciencias de la UNI.

LIBRE : irve para consolidar y aplicar los conocimientos adquiridos en los estudios de la segunda Especialización en Energía Solar y las investigaciones seguidas en la cátedra universitaria.

## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DE LA SITUACIÓN SOCIO ECONÓMICA Y ENERGÉTICA DEL PERÚ**

En los momentos actuales en que la economía peruana, se dice ha encontrado un desarrollo significativo durante los últimos años y por ende ésta ha repercutido en la mejora significativa en la calidad de vida de las personas, el presente capítulo justamente está enfocado a investigar sobre esas evidencias de cómo esos progresos de la economía peruana han incidido en la situación socio económica real del poblador peruano urbano y rural. También investigar someramente sobre la realidad energética y de los esfuerzos que se están haciendo, para lograr revertir con obras y proyectos a futuro, el estado de la supuesta crisis energética que vive nuestro país, tema del que se vienen ocupando muy a menudo los entendidos en temas de economía y energética peruana.

Finalmente establecer los nexos entre las conclusiones de estas realidades con la realización del presente trabajo.

## **2.1. REALIDAD SOCIO ECONÓMICA Y ENERGÉTICA DEL PERÚ**

El Perú es un país con un gran potencial, tanto en abundancia como en variedad, de recursos animales y vegetales, fuentes energéticas naturales y fuentes de energía renovables no convencionales, pero existen señales de que estamos empezando a vivir un escenario de crisis energética debida a una mala política económica y a la falta de una buena planificación energética.

A continuación resumiremos como la economía peruana, es vista desde el exterior por analistas de la economía mundial globalizada:

Según el Economista español Xavier Sala-i-Martin, basado en los resultados Foro Económico Mundial del 2006 – 2007, indicó que al año 2007 el Perú se encontraba en el nivel promedio mundial de competitividad global y que mientras la rentabilidad de la economía mundial se había duplicado, el Perú en este aspecto solo se había recuperado. Además, no aseguró que esta recuperación sea una tendencia en el largo plazo por las razones siguientes: porque el Perú carece de infraestructura, tiene problemas institucionales, porque carece de innovación y disponibilidad tecnológica; sin embargo destacó como aspectos positivos la sólida situación del sector financiero, facilidades para la inversión extranjera, flexibilidad del mercado laboral y estabilidad económica, en resumen un buen manejo macroeconómico a favor del Perú (Trujillo, XLV Conferencia Anual de Ejecutivos CADE 2007).

Para el año 2008, se destaca que gracias al crecimiento económico del Perú en un 9.8% en el año 2008, es considerado dentro de los países de rápido crecimiento en

la región. Aunque de manera similar se reconocen aspectos positivos como: la política monetaria y fiscal, bajos niveles de deuda, liberalización de mercados; el Perú debe superar la recesión, necesita enfatizar mejoras en el clima institucional, estándares educativos, ser más innovadores y reducir los niveles de pobreza y desigualdad. Agregando a este diagnóstico tenemos ciudades y ecosistemas altamente contaminados, crecimiento de la delincuencia y falta de apoyo decidido por parte del gobierno al desarrollo de la ciencia y tecnología en nuestro medio (Boletín INCAE BUSINESS SCHOOL, Reporte del Foro Económico Mundial sobre la Competitividad Global 2009 – 2010).

A propósito, las posiciones que el Perú ha venido escalando en el ranking de competitividad global, entre 133 países inscritos, son en el año 2007 (86), en el 2008 (83) y en el 2009 (78) en el mundo y (5) en Sudamérica. Por su parte nuestro vecino del sur, Chile, ocupa el puesto 30 en el mundo y es líder en América del Sur, seguido de Brasil (56), Uruguay (65), Colombia (69) y Perú (78).

### **2.1.1. REALIDAD SOCIO ECONÓMICA**

Una breve revisión de algunos indicadores económicos nos darán un panorama de cuál es la realidad socio económica de nuestro país:

La economía peruana, se ha establecido, está creciendo desde el 2007 entre el 8% y el 9%, que la pobreza ha caído en 10% desde el 2006 y el 5% en el 2007, que a fines de los 90 más del 50% de peruanos vivían en la línea de la pobreza y que al 2011 se espera reducirla al 30% y efectivamente al parecer datos sobre la realidad de la pobreza en el Perú en los años 2006 y 2007, de la TABLA 2.1 muestran que del año 2006 al 2007 el mejor nivel de vida de la población peruana ha mejorado, favorecido por la dinámica

en los sectores construcción, agro-exportación y manufacturera; con generación de empleo.

TABLA 2.1  
DATOS DE POBREZA AÑOS 2006 Y 2007

POBREZA	2006	2007
	%	%
EN GENERAL	40.0	39.3
EXTREMA	16.1	13.7
EN EL ÁREA URBANA	31.2	25.7
EN EL ÁREA RURAL	69.3	64.6
EN LA COSTA RURAL	49.0	38.1
EN LA SIERRA RURAL	-----	42.4

Fuente: Datos sobre pobreza en el Perú - F. Verdana

Según el último censo poblacional, indica que el Perú cuenta con una población de 28 220 764 personas, la cual seguirá creciendo con un incremento poblacional del 1,6% al año, a partir del año 1993. También se ha establecido que la inflación es una realidad en nuestro país y que no es importada, pues hace seis años fue del 1,5% y al culminar el 2008 fue del 6,65%, a consecuencia de la expansión indisciplinada de la demanda interna (restrictiva desde el punto de vista monetario y desordenadamente expansivo desde el punto de vista fiscal). Respecto al ingreso, se ha difundido que el crecimiento del Producto Bruto Interno per cápita entre los años 2003 y 2004 fue del 4,2% y el Banco Mundial ha estimado que para el 2008 (4043) sería 6,4% y para el 2009 (4255 dólares) del 6,1% y analistas de la economía peruana estiman de solo el 1,34% del ingreso; pero sea cualesquiera de estas cifras, no se sabe quiénes se benefician y quienes se perjudican con la distribución real del PBI, síntoma de la

existencia de sectores de la población con pobreza extrema sobre todo de las zonas rurales.

Si bien es cierto que la promoción de la inversión privada ha conducido a un crecimiento vertiginoso de ciudades importantes y lugares turísticos de algunas regiones del país, la diversidad de oportunidades de trabajo (con remuneraciones aceptables), no ha satisfecho la demanda de la población en edad de trabajar que ha crecido hasta el 2007 en un 65%, y más bien ha ocasionado efectos secundarios como: el crecimiento vertiginoso del parque automotor (del 2007 al 2008 en un 54% y del 2007 al 2008 en un 80% en la ciudad de Trujillo), altos índices de contaminación, mayor demanda de energía combustible y de electricidad, expansión de las ciudades sacrificando cada vez mas terrenos de cultivo, crecimiento de la delincuencia, entre otros.

Por tanto la pobreza y la desigualdad social son dos fenómenos coexistentes en nuestro país. La pobreza rural originada por la concentración de la tierra y sus bajos rendimientos técnicos, y en muchos casos la no disponibilidad de energía más de la que disponen de su ambiente natural; y en el medio urbano explicado por el comportamiento de la demanda de trabajo, por su baja intensidad de empleo y la baja productividad en los sectores intensivos en empleo.

Por citar un ejemplo zonas rurales de regiones pobres de los departamentos de Huancavelica, Cusco, Apurímac, Huánuco y Puno donde el 40% de niños afrontan problemas de desnutrición crónica.

Pobreza en suma, que es necesario revertirla con vías de comunicación, con mercado, con electrificación, con educación, con crédito, con apoyo técnico y con salud.

## **2.1.2 REALIDAD ENERGÉTICA**

### **2.1.2.1. Estado de los combustibles**

Como se advirtió líneas arriba, hemos expuesto que el Perú pese a contar con un gran potencial en energético, está empezando a experimentar una verdadera crisis energética.

Pues se ha establecido que cuenta aproximadamente con las siguientes reservas: 11 billones de pies cúbicos de gas, 600 mil millones de barriles de líquidos de gas natural, 400 millones de barriles de petróleo, más un potencial hidroenergético de 206 107 MW, con una actividad exploratoria del gas y petróleo de cuatro pozos por año en la década del 90 y una explotación de 2000 MW del potencial hidroenergético. En la TABLA 2.2 se aprecia las reservas probadas de energía comercial en unidades Tera joule.

Lamentablemente existe una dependencia en demasía con los derivados de esta fuente de energía. Pues si observamos las TABLAS 2.3 y 2.4 se nota claramente que el petróleo lidera la producción de energía primaria en el Perú, pero además importamos más de 100 mil barriles diarios de crudo que en energía representa aproximadamente el 40% del consumo anual nacional (150163,86 TJ en promedio) tal como se aprecia en los cuadros de “Producción de Energía Primaria 1996 – 2002” dada en porcentajes y “Producción Primaria de Energía Comercial 1996 – 2006” dada unidades



Tera joule, dadas a continuación. Pues a pesar de estas reservas probadas de crudo pesado en nuestro país, a pesar del número de contratos petroleros firmados seguimos siendo dependientes de los altos precios internacionales del petróleo.

TABLA 2.2  
RESERVAS PROBADAS DE ENERGÍA COMERCIAL (TJ)

FUENTE	RESERVAS PROBADAS	%
GAS NATURAL	8541765	38.0
LÍQUIDOS DE GAS NATURAL	3068824	13.6
HIDROENERGÍA	5965666	26.5
CARBÓN MINERAL	1718670	7.6
PETRÓLEO	2313712	10.3
URANIO	878639	3.9

Fuente: Balance Energético Nacional del 2002

También se observa de que la producción nacional de crudo en los lotes 1-AB y lote 8 de la selva en vez de aumentar está disminuyendo año a año y en el presente la producción conjunta no supera los 77 mil barriles con altos costos en las operaciones de la selva nororiental.

#### **2.1.2.2. Estado de la electricidad**

Por una parte, el desarrollo económico que registró el país en los últimos años, especialmente 2007 y 2008, motivó que muchas empresas del sector industrial mejoren su capacidad de producción, lo que generó un mayor consumo de energía. La demanda al 2008 se incrementó en un 10% previéndose para el 2009 en un 5%, en contraparte la producción eléctrica habría registrado un crecimiento del 10% respecto a los resultados en el 2007.

TABLA 2.3  
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA EN (TJ)

AÑO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>ENERGÍA COMERCIAL</b>							
PETRÓLEO CRUDO	253508	249199	239139	216690	202044	196843	196085
GAS NATURAL + LGN	34016	36903	49009	61649	64736	67514	69470
CARBÓN MINERAL	628	628	616	644	487	552	647
HIDROENERGÍA	59915	59455	62111	65401	72756	79228	81141
<b>SUB TOTAL</b>	<b>348067</b>	<b>346185</b>	<b>350875</b>	<b>344384</b>	<b>340023</b>	<b>344137</b>	<b>347343</b>
<b>ENERGÍA NO COMERCIAL</b>							
LEÑA	78368	77305	76395	75177	74425	75108	74100
BOSTA, YARETA Y BAGAZO	23857	26028	23028	23593	24274	25036	26700
ENERGÍA SOLAR	0	0	2143	2180	2217	2249	2283
<b>SUB TOTAL</b>	<b>102225</b>	<b>103333</b>	<b>101566</b>	<b>100950</b>	<b>100916</b>	<b>102393</b>	<b>103083</b>
<b>TOTAL</b>	<b>450292</b>	<b>449518</b>	<b>452441</b>	<b>445334</b>	<b>440939</b>	<b>446530</b>	<b>450426</b>

PETRÓLEO CRUDO (IMP)	118533	168489	199595	122629	129267	156664	155970
PETRÓLEO CRUDO (EXP)	78659	96065	90563	61322	28737	39526	45277

FUENTE: Balance Nacional de Energía 2002

TABLA 2.4  
PRODUCCIÓN PRIMARIA DE ENERGÍA COMERCIAL 1996 – 2006

AÑO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2005	2006
<b>ENERGÍA COMERCIAL</b>	%	%	%	%	%	%	%	%	%
PETRÓLEO CRUDO	72.83	71.98	68.16	62.92	59.42	57.20	56.45	42.84	40.92
GAS NATURAL + LGN	9.77	10.66	13.97	17.90	19.04	19.62	20.00	35.1	36.31
CARBÓN MINERAL	0.18	0.18	0.18	0.19	0.14	0.16	0.19	0.34	0.38
HIDROENERGÍA	17.21	17.17	17.70	18.99	21.40	23.02	23.36	21.72	21.99

FUENTE: Balance Nacional de Energía 2002 y 2006

Un periodo bastante bueno para el sector energético caracterizado porque la demanda superó la oferta.

Las características demográficas actuales, económicas y de impacto que se viven en el Perú debe afrontar en el futuro cercano demandan un mayor consumo de energía.

Por otra parte; existen causas inmediatas que en repercutido en la crisis energética actual, entre las cuales se mencionan las siguientes:

- Falta de generación para el Sistema Interconectado Nacional.
- Las líneas de transmisión del SIN se encuentran al máximo de su capacidad.
- La postergación por parte del Estado de las obras de generación hidroeléctrica por más de 10 años a favor de los generadores compradores del gas de Camisea.
- Insuficiencia de la demanda del gas de Camisea debido a la utilización de un solo ducto para su transporte desde las zonas fuente.
- Poca capacidad de reserva (sólo del 6% según Rafael Laca, Marzo 10 del 2009), debiendo ser ésta, mínimamente del 20%
- Mala planificación del desarrollo energético en el largo plazo.

Esta crisis debe ser revertida ya que se requieren de 350 MW/año el crecimiento en la demanda energética del 9%, y la capacidad de transmisión requiere cambiar de nivel de 220 kV a niveles como de 500 kV o 800 kV.

#### **2.1.2.3. Energía rural**

La TABLA 2.5, que se muestra a continuación nos informa que al año 2000 y por consiguiente a la fecha, en pleno siglo XXI, la utilización de

los recursos bioenergéticos para consumo como energía final sigue siendo significativo, esto debido a que tanto en la costa, sierra y selva este recurso se encuentra disponible en su medio ambiente de forma gratuita frente a la no disponibilidad de otros servicios de infraestructura, falta de electricidad, de educación y cultura limitados; en suma de limitadas oportunidades para desarrollarse económicamente. Destacando que en el Perú seguimos siendo grandes consumidores de energía a partir de la leña en las tres regiones de costa sierra y selva, también de bosta, yareta y bagazo.

Particularmente, la leña sea en forma natural o como carbón vegetal, tiene como destino de utilización en el sector industrial (industrias de productos alimenticios, fábricas de ladrillos y alfarerías), en el sector comercial (restaurantes y panaderías), también en el sector residencial y doméstico sobre todo en los centros poblados de la sierra del país y en la selva sin restricciones.

Así mismo la TABLA 2.6, nos muestra también el aporte que los recursos bioenergéticos han tenido para el consumo de energía final en el año 2002.

También es una realidad en nuestro país que más del 90% de la población rural de las zonas andinas, ceja de selva y selva, que cocinan con leña obtenida de diversidad de variedades forestales y de la bosta en ciertas regiones, utilizando fogones y cocinas rústicas no adecuadas, en las que al quemar los recursos forestales devienen en procesos de combustión incompleta con generación de humos y hollín, altamente contaminantes.

Un atentado contra el medio ambiente, la salud de las familias y al equilibrio de los ecosistemas debido a la tala indiscriminada de los bosques, sin control alguno (XV Simposio Peruano de Energía Solar – Cajamarca, Noviembre del 2008).

TABLA 2.5  
CONSUMO FINAL DE ENERGÉTICOS EN (TJ)

ENERGÍA PRIMARIA	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
CARBÓN MINERAL	8577	9958	10460	9791	10847	11431	12976	12763	15948	13775	17746
LEÑA	81957	78976	76517	74245	72818	71630	70621	69326	68541	69192	68221
BOSTA/YARETA	10750	10741	10732	10724	10719	10715	10710	10703	10692	10782	10752
BAGAZO	4937	4100	4602	5607	5271	5962	4889	5433	6169	6388	7281
SOLAR	0	0	0	0	0	0	2143	2180	2217	2249	2283
NO ENERGÉTICOS	5816	5230	4100	5648	5904	7138	5615	5818	5143	5516	5989
<b>TOTAL</b>	<b>112037</b>	<b>109005</b>	<b>106411</b>	<b>106015</b>	<b>105559</b>	<b>106876</b>	<b>106954</b>	<b>106223</b>	<b>108710</b>	<b>107902</b>	<b>112272</b>

Fuente: Balance Nacional de Energía 2002

TABLA 2.6  
PRODUCCIÓN/CONSUMO: LEÑA, BOSTA, YARETA Y BAGAZO

	10 <sup>6</sup> kg	
PRODUCCIÓN DE LEÑA	4920	
* Consumo de carbón	390	* CONSUMO TOTAL
	86	* S. Residencial/comercial
	304	* Otros
* Consumo directo como leña	4529	* CONSUMO TOTAL
	4511	* Sector Residencial
	18	* Otros
DISPOSICIÓN DE BOSTA Y YARETA	714	
* Consumo directo	714	* Sector Residencial
PRODUCCIÓN DE BAGAZO	2541	
* Consumo directo	427	* Centrales térmicas
	1160	* Calderos y hornos
	954	* Otros

Fuente: Tabla elaborada por el Autor en base a datos del documento, Balance Nacional de Energía 2002

Otra realidad de las zonas aisladas de las poblaciones serranas de nuestro país como Cajamarca en primer lugar y otros departamentos como Ayacucho, Huancavelica y Amazonas entre el 50% y el 65 % de su población se iluminan con velas o kerosene.

Sin embargo en lo que respecta a electrificación rural, de acuerdo a informes del MEM, en el año 2007 se ejecutaron 234 obras de electrificación rural y que dotó de energía a un total de 89 mil viviendas, en 800 localidades rurales y con la elaboración del Plan nacional de Electrificación Rural, Periodo 2008 – 2017, por la DGER y la ejecución de sus obras más inmediatas, se vaya mejorando la calidad de vida por años anhelada por los peruanos de estas regiones del país.

#### **2.1.2.4. Estado de la energía solar**

Es importante destacar, el impulso que se está dando a la utilización de las energías renovables en nuestro país con la participación, en proyectos de investigación y de desarrollo, de personas ligada a instituciones académicas de nuestro país , ONGs internacionales y el mismo Estado a través del Ministerio de Energía y Minas, conducentes al aprovechamiento de estas energías alternativas, sobre todo de la energía solar.

La TABLA 2.2, también nos muestra como el recurso solar utilizado como fuente de energía primaria a través sistemas aplicativos fotovoltaicos y térmicos con una producción y consumo ascendente en los sectores comercial, residencial y público; desde el año 1999 a la fecha. Como también es importante destacar el hecho de que por lo menos esta fuente

energética, ya aparezca con cifras ascendentes en las matrices energéticas de nuestro país (balance Energético Nacional 2002).

Sin embargo, es loable destacar que el Estado Peruano tenga entre sus metas para el periodo 2008 al 2017, invertir 1332 millones de dólares americanos para la ejecución de proyectos tendientes a favorecer a 5,6 millones de habitantes de las zonas rurales con obras de electrificación en todo el país, incluyendo a pobladores de zonas remotas y aisladas.

Entre estas obras se mencionan: en líneas de transmisión para ampliar la cobertura del Sistema Interconectado Nacional para suministrar con energía eléctrica a los sistemas eléctricos rurales de localidades con acceso al SIN, la adquisición de esos Sistemas Eléctricos Rurales; por otra parte, la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas, grupos electrógenos térmicos, la utilización de paneles solares y sistemas eólicos para favorecer con electricidad a localidades aisladas sin acceso al SIN. (Plan Nacional de Electrificación Rural, Periodo 2008 – 2017)

Del presente capítulo podemos concluir que, desde hace 40 años la política energética en nuestro país sigue privilegiando el consumo de petróleo y derivados, y su importación a altos precios internacionales (al 2008 estuvo entre los 100 y los 130 dólares el barril, luego el presidente de la OPEP pronosticó que el precio podría alcanzar los 200 dólares), con un promedio anual del 40%; de manera obligada para mantener la economía peruana, originando grandes pérdidas al Estado por el subsidio de los mismos; frente a una producción interna de petróleo y de electricidad cada vez más insuficientes.

La falta de una buena planificación energética, basada en el autoabastecimiento, por parte de los gobernantes del pasado y actual que nos conduzca hacia el logro de una autonomía alimentaria y energética, tan recomendada desde la década de los 90 por la Organización de las Naciones Unidas a los países latinoamericanos para su crecimiento y desarrollo y como previsión a futuro.

## 2.2. ENERGÍA SOLAR, ALTERNATIVA ENERGÉTICA DEL FUTURO

Ante la evidente crisis energética que vive nuestro país, analistas en energética como Jorge Manco Zaconetti, entre otros, han opinado que urge una masificación del gas natural y diversificación de otras fuentes de energía como las renovables no convencionales (eólica y solar entre otras); que el futuro energético debiera estar basado en las energías renovables no convencionales cuyos costos de generación son cada vez menores (Artículo de la Red, “¿Que hacer para alcanzar la autonomía energética?” de Jorge Manco Zaconetti, 04/06/08).

TABLA 2.7  
COSTO DE INVERSIÓN DE PROYECTOS CON ENERGÍAS RENOVABLES

PROYECTO CANDIDATO	COSTO DE INVERSIÓN PROMEDIO PONDERADO, INSTALADO (U.S.\$/kW)
HIDROELÉCTRICO (PLAN 2005-2014)	1076
BASADO EN AEROGENERADORES	1275
ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA	5000

Fuente: Tabla elaborada por el autor en base a datos extraídos del artículo “¿Que hacer para alcanzar la autonomía energética?” y Diario Gestión del 30/04/08



Siendo el patrón recomendado de consumo energético razonable, sustentable en el largo plazo y ambientalmente sano, en cuanto a generación, el siguiente:

- Un tercio de la producción en base a hidroelectricidad
- Un tercio en el gas natural.
- Un tercio en las energías renovables no convencionales

- 1) Porque representantes del mismo gobierno han comprendido y a la vez reconocido, con respecto en concordancia con los datos de la TABLA 2.7, que el costo de generación eólico es 15% superior al generado con recurso hídrico, pero más barato que la generación con petróleo (Declaraciones del Arquitecto Juan Valdivia, Vice Ministro de Energía y Minas del Perú, Diario Gestión del 30/04/08).
- 2) Porque la diversidad geográfica y de climas del Perú favorecen la utilización de la energía solar y demás formas alternativas, sea para fines de investigación o para el desarrollo de las aplicaciones solares y demás formas alternativas. Sin embargo es discutible la forma como se llevará a cabo la producción de energía a partir de la utilización de los biocombustibles.
- 3) Frente a otro de los factores, cuyos efectos potenciales se están empezando a manifestar no solamente en la crisis energética sino también en la salud humana, en la alimentación y la economía de los países en general, se presume con mayor énfasis en las próximas décadas por lo que es motivo de gran preocupación. Aún en estas circunstancias, mientras la vida progresa en este mundo, será necesario la utilización de fuentes de energía ante la pérdida de otras; siendo una vez más la utilización de la energía solar una alternativa de solución al problema de escasez de energía.

### **2.3. ESTADO DE LAS MEDICIONES SOLARES**

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, es la institución con autoridad a nivel nacional encargada de consolidar los datos meteorológicos históricos plasmándolos en tablas, mapas u otros instrumentos de presentación. De hecho le corresponde realizar el procesamiento, consolidados y presentación de la información obtenida a partir de los datos dispersos existentes y medidos de la radiación solar incidente.

Aunque en el pasado, por la década de los 90, SENAMHI vendía la información meteorológica de la que disponía a la fecha, por encargo y en trabajo coordinado con la Dirección Ejecutiva del Ministerio de Energía y Minas, su servicio ha mejorado, haciéndolo más abierto y accesible a los interesados a través de la red de internet.

Para citar un ejemplo como parte del contenido del documento ATLA MINERÍA Y ENERGÍA EN EL PERÚ 2001, se ha encontrado una tabla en la cual se registran los promedios anuales de la irradiación solar diaria en el Perú por departamento y que a continuación se ha reproducido.

Dos trabajos importantes que el SENAMHI, ha desarrollado por encargo de la Dirección Ejecutiva del MEM es la elaboración del MAPA SOLAR y la publicación del ATLA DE ENERGÍA SOLAR DEL PERÚ. El primero una herramienta muy importante que va a permitir cuantificar el potencial disponible y para la elaboración de Proyectos relacionados con las aplicaciones de la energía solar, y el segundo que contiene los consolidados de los datos históricos y recientes de la irradiación solar en el Perú.

Por otra parte, pese a los esfuerzos realizados por el SENAMHI para desarrollar todo el trabajo que le compete, ha reconocido lo siguiente:

- Que las mediciones de la radiación solar en el Perú son insuficientes.
- Que para zonas donde no existen estaciones de observación de esta variable han tenido que utilizar métodos de estimación en función de otras variables meteorológicas.
- Que la instrumentación solar de precisión y su mantenimiento son de alto costo y que la red de medición en nuestro país como en muchos otros es limitada.

En cuanto a instrumentación solar, SENAMHI solo cuenta con 15 estaciones meteorológicas para la medición de la radiación solar en todo el Perú, distribuidas de la siguiente manera:

- 10 estaciones equipadas con piranómetros (de mayor precisión que acarrear medidas con un error del 3% en los acumulados de energía).
- 05 estaciones equipadas con actinógrafos (de menor precisión que los anteriores).
- Muchas estaciones con heliógrafos (solo miden horas de sol diaria).
- Zonas meteorológicas automáticas, cuyos datos se han utilizado para validar datos históricos existentes, así como para levantar datos de zonas carentes de datos.
- Software y métodos para levantar, procesar y estimar la irradiación solar a partir de otros datos como la heliofanía (horas de Sol) y las temperaturas (como la máxima y la mínima).

TABLA 2.8

## PROMEDIO ANUAL DE LA IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA EN EL PERÚ

N°	LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	IRRADIACION SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> día)
1	IQUITOS	IQUITOS	MAYNAS	LORETO	73° 15 27	03° 44 47	125	3.73
2	EL CENEPÁ	EL CENEPÁ	CONDORCANQUI	AMAZONAS	78° 09 36	04° 27 45	240	2.89
3	REQUENA	REQUENA	REQUENA	LORETO	73° 50 51	05° 03 14	180	3.66
4	HAD. EL VALOR	EL MILAGRO	UTCUBAMBA	AMAZONAS	78° 38 36	05° 39 33	121	4.49
5	YURIMAGUAS	YURIMAGUAS	ALTO AMAZONAS	LORETO	76° 06 17	05° 53 26	185	4.14
6	JUAN GUERRA	JUAN GUERRA	SAN MARTÍN	SAN MARTÍN	76° 19 44	06° 34 46	330	3.95
7	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	78° 30 58	07° 09 06	2640	4.47
8	PADRE ABAD	PADRE ABAD	PADRE ABAD	UCAYALI	75° 30 27	09° 01 58	270	4.02
9	TINGO MARIA	RUPA RUPA	LEONCIO PRADO	HUANUCO	75° 59 41	09° 17 30	640	4.02
10	HUANUCO	HUANUCO	HUANUCO	HUANUCO	76° 14 25	09° 55 27	1895	4.52
11	HUMAYA	LEONCIO PRADO	HUAURA	LIMA	77° 00 00	11° 06 00	750	4.65
12	SAN RAMÓN	SAN RAMÓN	CHANCHAMAYO	JUNÍN	75° 21 04	11° 07 05	800	3.98
13	IBERIA	IBERIA	TAHUAMANU	MADRE DE DIOS	69° 32 21	11° 23 17	350	3.68
14	HUACHAC	HUACHAC	CHUPACA	JUNÍN	75° 20 29	12° 00 60	3350	4.97
15	SANTA ANA	SANTA ANA	LA CONVENCION	CUSCO	72° 41 30	12° 51 37	920	4.01
16	AYACUCHO	AYACUCHO	HUAMANGA	AYACUCHO	74° 13 25	13° 09 26	2760	4.89
17	SAN JERÓNIMO	SAN JERÓNIMO	CUZCO	CUSCO	71° 52 59	13° 32 34	3220	4.69
18	ABANCAY	ABANCAY	ABANCAY	APURIMAC	72° 52 30	13° 38 02	2376	4.75
19	MANRIQUE	INDEPENDENCIA	PISCO	ICA	76° 01 52	13° 41 18	200	4.52
20	PARCONA	PARCONA	ICA	ICA	75° 42 04	14° 02 29	389	5.04
21	ICA	ICA	ICA	ICA	75° 43 24	14° 03 60	390	4.89
22	HAD. MAJORO	NAZCA	NAZCA	ICA	74° 58 19	14° 50 20	410	5.02
23	MARCONA	MARCONA	NAZCA	ICA	75° 06 34	15° 12 31	620	4.91
24	HUARAYA	MOHO	MOHO	PUNO	69° 28 14	15° 23 25	3890	5.16
25	SIBAYO	SIBAYO	CAYLLOMA	AREQUIPA	71° 27 16	15° 28 54	3847	4.94
26	PUNO	PUNO	PUNO	PUNO	70° 01 38	15° 50 08	3875	5.19
27	JULI	JULI	CHUCUITO	PUNO	69° 27 26	16° 12 39	3852	5.05
28	PAMPA DE MAJES	STA. ISABEL DE SIGUAS	AREQUIPA	AREQUIPA	72° 11 42	16° 19 32	1440	5.61
29	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	71° 31 60	16° 23 49	2350	5.31
30	CHARACATO	CHARACATO	AREQUIPA	AREQUIPA	71° 28 55	16° 28 01	2451	5.32
31	MOQUEGUA	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	MOQUEGUA	70° 55 58	17° 11 27	1412	5.36
32	PAUCARANI	PACHIA	TACNA	TACNA	69° 16 09	17° 30 12	1541	5.41
33	CALANA	CALANA	TACNA	TACNA	70° 11 08	17° 56 17	675	4.99

Fuente: Atlas Minería y Energía en el Perú 2001 – Ministerio de Energía y Minas

En la TABLA 2.8 se evidencia claramente que hay zonas del Perú cercanas a las estaciones meteorológicas de SENAMHI que miden la radiación solar, pero a pesar de que distan de éstas tan solo unos pocos kilómetros, sus climas son totalmente diferentes. Ejemplo palpable, es el caso de los centros poblados de Quintay y Tres Montones en el valle de Huaura, distantes de la estación meteorológica de Humaya aproximadamente unos 20 km; y que a diferencia de ésta presentan con regularidad una incidencia de radiación solar directa durante todo el año sumándose a esto la ocurrencia de fuertes vientos que pueden ser aprovechados para la generación de energía eléctrica.

Finalmente, existen las estaciones meteorológicas del Servicio de la Marina de Guerra del Perú, ubicadas en las orillas del litoral peruano, en bahías o zonas bajas de modo que sus datos solares y de viento son válidos solamente a nivel del mar y de ningún modo para lugares ubicados en zona yunga.

**Como conclusiones del presente capítulo podemos establecer las siguientes:**

- Que la pobreza en el Perú es una realidad (estimadas al 2007 por INEI en un 39% y en estado de extrema en un 13,7%) en costa, sierra y selva y que por tanto para estas zonas se hace cada vez mas importante invertir en la provisión de la infraestructura básica tal como la electricidad como parte de la agenda para el desarrollo de la zona rural nacional.
- Que para masificar la utilización de energías propias, como estrategia para buscar reducir la dependencia energética en el Perú, existe hoy más que nunca la necesidad de masificar también la data eólica y solar en todas las regiones y zonas remotas del territorio nacional, por tanto de su explotación; para contribuir con energía limpia a este fin y al desarrollo nacional.

## **CAPÍTULO III**

### **FUNDAMENTOS FÍSICOS Y TECNOLÓGICOS DEL SOLARÍMETRO**

Cualquier desarrollo tecnológico considerado como un sistema tiene componentes y los componentes materiales con propiedades físicas, químicas o biológicas determinadas como también rangos para comportarse de una forma y no de otra frente a otras variables de estímulo; y que si bien son conocidas por el desarrollador entonces es factible el diseño y hace previsible las cualidades y comportamiento del logro tecnológico que va a conseguir al construir el nuevo sistema o prototipo tecnológico. Por otra parte en base a esas bases científicas el tecnólogo fabrica los materiales y dispositivos tecnológicos para la diversidad de aplicaciones requeridas del mercado.

El presente capítulo está destinado a presentar en forma sintética esas bases científicas y tecnológicas asociadas con los materiales y dispositivos que se van a utilizar para construir el solarímetro; así como también de las metodologías de desarrollo de sistemas

de medición pertenecientes a otras disciplinas aplicativas como la electrónica industrial y la tecnología de la información.

### **3.1. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA DE MEDIDA**

Las mediciones generalmente involucran la utilización de un instrumento como un medio físico para determinar una cantidad o variable; por tanto el medidor sirve como una extensión de las facultades humanas y en muchos casos habilita a una persona para determinar el valor de una cantidad desconocida, que con las facultades humanas innatas no podría medir.

Desde siempre, tanto el hombre de ciencias como el industrial estuvieron abocados en la búsqueda de métodos y técnicas que les permitieran cuantificar con acierto las variables de interés con las cuales trabajan en sus quehaceres diarios respectivos. Tal parece encontraron respuesta en las técnicas eléctricas para medir una gran variedad de fenómenos físicos y químicos tanto en investigación de laboratorio como en las aplicaciones al control industrial.

En la actualidad se acostumbra a convertir el fenómeno de interés en una señal eléctrica de manera que a partir de entonces pueda realizarse electrónicamente todo el proceso subsiguiente.

La gran versatilidad de los circuitos electrónicos para detectar, amplificar, registrar y procesar señales eléctricas constituye la principal razón de que sean tan empleados.

En estos sistemas, se consideran además, los problemas asociados con la transmisión de la señal desde su punto de origen hasta un circuito electrónico o desde un circuito a otro en un sistema completo de medida.

En todo este proceso de evolución de la instrumentación electrónica y control, desde los inicios a la fecha, han tenido protagonismo los siguientes sistemas de medida con sus respectivas bases de funcionamiento:

- Medidores básicos CD, basados en un GALVANÓMETRO DE BOBINA MÓVIL (sistemas de medida analógicos).
- Medidores básicos CD/CA que basan su funcionamiento en la utilización de dispositivos SEMICONDUCTORES (sistemas de medida digitales).
- Medidores y/o Sistemas de control basados en SISTEMAS DE MEDIDA DIGITALES, LÓGICA CABLEADA y el ALGEBRA DE BOOLE.
- Sistemas de medida y control basados en un MICROPROCESADOR (cerebro ejecutor de una serie de operaciones lógicas y aritméticas en base a instrucciones dadas), un PROGRAMA (son el listado de pasos e instrucciones a ejecutarse respecto a cada una de las tareas planteadas), MEMORIAS (dispositivos almacenadores de programa y datos) y un sistema mínimo de PERIFÉRICOS externos (otros circuitos que apoyan la labor del microprocesador).
- Sistemas de medida y/o control, basados en un MICROCONTROLADOR, un PROGRAMA y PERIFÉRICOS EXTERNOS en caso de necesidad. Un microcontrolador es un procesador con su sistema estándar de periféricos y recursos internos en un solo chip (incluye memoria para programa y datos,



periféricos de entrada y salida, conversores A/D y D/A, módulos especializados en la transmisión y recepción de datos) [PAL 04].

La tecnología de los microcontroladores, es la tecnología de moda por sus características y ventajas como son: su utilización especializada, sencillez en su manejo, la abundancia de información y herramientas de diseño existente en el mercado y un buen promedio elevado en los parámetros de velocidad, tamaño, consumo de energía, alimentación y costo; que han conducido a que su utilización para controlar cosas y sistemas sea cada vez mayor.

Los dispositivos de salida para la comunicación de los resultados de la medida, también han evolucionado como son: escalas con deflexión de aguja (medidores analógicos), pantallas de rayos catódicos, pantallas LCD (medidores digitales), servomecanismos mediante el uso de actuadores como los PLC [RAM 00].

A la fecha, las tendencias actuales han hecho que esas medidas electrónicas evolucionen como una instrumentación electrónica programable y virtual, cada vez más digitalizada y vista como el producto del estudio general de las arquitecturas, herramientas, hardware y software.

Por tanto, estando la tecnología de los microcontroladores en este rumbo de tendencias y por sus características y ventajas revisadas en la información, es que se ha puesto la mira en él para utilizarlo como componente principal en el desarrollo de este trabajo.

### **3.1.1. VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA Y APLICACIONES EN INSTRUMENTACIÓN**

La electrónica aplicada ha alcanzado un lugar importante en la tecnología moderna. Ha hecho posible automatizar muchos procesos, disponer de dispositivos de seguridad más efectivos y medir variables físicas (presión, temperatura, velocidad, etc.) con mayor exactitud que cualquier otro método disponible.

Estos instrumentos reducen el error humano y el tedio, elimina el paralaje y otros errores de lectura e incrementa la velocidad de obtención de los datos. Otras características adicionales de estos instrumentos es su polaridad automática, facilidad en el cambio de rango, reducen más los errores de medición, y el posible daño del instrumento causado por sobrecargas accidentales. Con los datos en forma digital se logra su procesamiento sin pérdida de exactitud.

### **3.1.2. SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE MEDIDA**

Es la combinación de dos o más elementos, subconjuntos y partes necesarias para asignar objetiva y empírica un número a una propiedad física o cualidad de un objeto o evento de tal forma que la describa. El resultado debe ser: independiente del observador (objetiva), basada en la experimentación (empírica), debe existir correspondencia entre relaciones numéricas y las relaciones entre las propiedades descritas.

### **3.1.3. SEÑALES ANALÓGICAS DEL MUNDO FÍSICO**

En Sistemas de medida de tipo electrónico generalmente se trabaja con señales analógicas de entrada al sistema, y que está constituida por la magnitud física, cuya naturaleza no es necesariamente eléctrica (también pueden ser químicas o biológicas) y cuya amplitud varía con el tiempo; pero que a la vez lleva información. Estas cantidades físicas pueden ser mecánicas, térmicas, eléctricas, magnéticas, ópticas, químicas o moleculares, entre otras. En cada cantidad de las antes mencionadas hay magnitudes específicas involucradas, para citar como ejemplo: volumen, presión, velocidad, etc. en las mecánicas; o como temperatura y flujo calórico en las térmicas [RAM 00].

En instrumentación electrónica se manejan otros términos importantes de tenerlos en cuenta, como: señal eléctrica, información, interferencia, y ruido. Señal eléctrica, es el voltaje o intensidad de corriente que varía con el tiempo y que es obtenida de procesos por medio de sensores o transductores y sus acondicionadores. Información, es el conocimiento que se obtiene mediante investigación. Interferencia, es una señal ajena al sistema considerado. Y ruido, es una señal interna indeseable [ALV 63].

### **3.1.4. CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA**

Puesto que la magnitud física que observa y desea medir lleva información sobre el proceso o sistema que la origina, luego hay que procesarla para

conocer su magnitud y en ese proceso están inmersas la ciencia y la tecnología de las medidas.

La ciencia, lo constituye el Algoritmo de Medida que se construye como la solución al problema de desconocimiento de la variable observable, objeto de medida. La tecnología, lo constituyen el circuito, o circuitos, equipos, etc., que harán posible la implementación del Algoritmo de Medida.

### 3.1.5. FUNCIONES DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE MEDIDA

[ALV 63] Las funciones que un Sistema de Medida Electrónico tiene son:

- 1). La adquisición de la Información
- 2). El Procesamiento
- 3). La presentación de los resultados

Las funciones de un Sistema Electrónico de Medida se han representado en el Diagrama de Bloques de la Fig. 3.1.

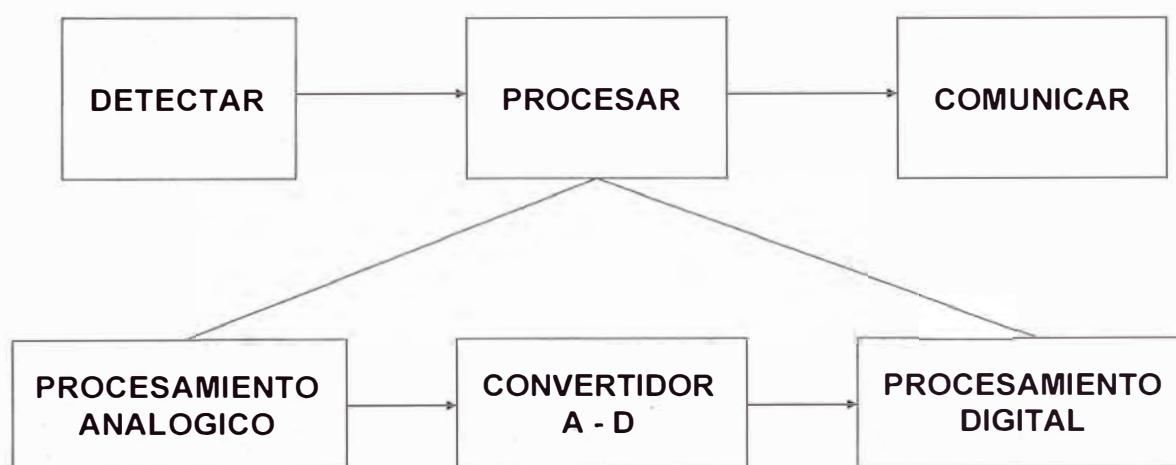


Fig. 3.1.- Funciones de un sistema electrónico de medida.

### 3.1.6. PROCESAMIENTO ANALÓGICO DE SEÑALES ELÉCTRICAS

[ALV 63] En el siguiente diagrama se muestra la estructura general de un sistema que obtiene un código “D” a partir de un mensurando “x”

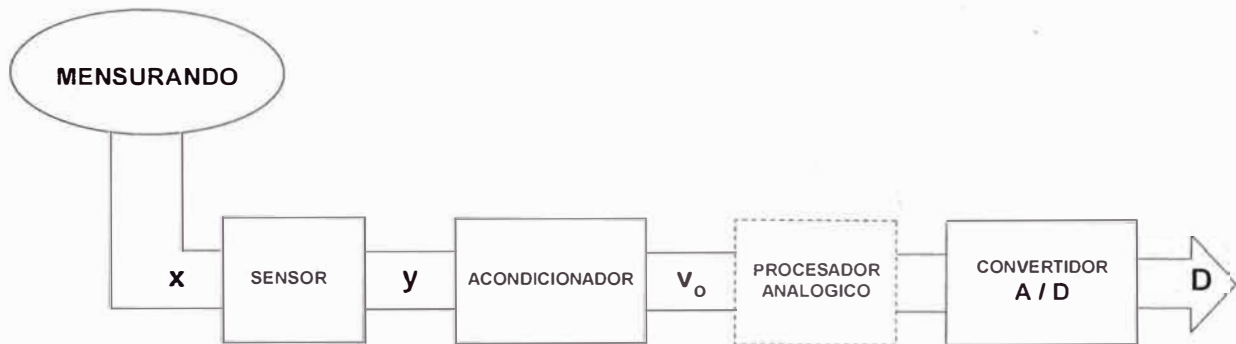


Fig. 3.2.- Estructura de un sistema para obtener un código D

De acuerdo con este diagrama la variable del mundo físico “x” es convertida por el sensor en una señal eléctrica “y”, la cual tiene que ser acondicionada hasta obtener una señal de voltaje de salida “Vo” apta para ser aceptada y ser convertida en códigos binarios para su procesamiento.

Este proceso de obtener el código “D” a partir de un mensurando “x”, que forma parte del proceso de diseño del sistema de medida es ejecutado utilizando los dispositivos descritos anteriormente como son los sensores, los acondicionadores y excepcionalmente los actuadores en el caso de que se trate de un proceso de control industrial. Sumándose a esto los cuatro requisitos que cumplir la señal analógica como producto del proceso de acondicionamiento para ser convertida al formato digital.

### 3.1.7. TRANSDUCTORES, ACONDICIONADORES Y ACTUADORES

El enlace entre los sistemas electrónicos de medida y las señales analógicas del mundo físico necesitan de ciertos dispositivos para ser detectadas, convertidas y preparadas antes de ser procesadas. Estos dispositivos se denominan transductores, sensores, acondicionadores y actuadores.

A. LOS TRANSDUCTORES DE ENTRADA O SENSORES.- Son dispositivos que transforman cantidad física cualquiera en otra cantidad física equivalente. También se dice que es un dispositivo que a partir de la energía del medio ambiente donde se mide, da una señal transducible que es función de la variable de medida.

[RAM 00] La bibliografía revisada refiere que existen varios tipos de sensores como aquellos para sistemas de control de movimiento, otros sensores de fuerza, sensores de presión y otros parámetros de fluidos, de temperatura, de humedad, de punto de rocío, magnéticos, ultrasónicos, de gases: pero para fines de este trabajo solo los eléctricos tienen especial relevancia.

**El sensor eléctrico.-** Son aquellos dispositivos que tienen como salida una señal eléctrica de corriente o voltaje, codificada en forma analógica o digital.

B. LOS ACONDICIONADORES Y FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO.- Son elementos de un sistema de control que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor electrónico una señal apta para ser presentada, registrada o procesada mediante un equipo o instrumento estándar; generalmente un Sistema de Adquisición de Datos (DAQ), un Controlador Lógico Programable (PLC) o una computadora.

Además de manejar sensores específicos, los acondicionadores de señales realizan también una gran variedad de funciones de acondicionamiento de propósito general, cuyo objeto, es mejorar la calidad, la flexibilidad y la confiabilidad de los sistemas de medición. Estas se muestran en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1  
FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO COMÚN

01	* Conversión de voltaje a voltaje	07	* Pre procesamiento
02	* Amplificación	08	* Conversión de corriente a voltaje
03	* Filtrado	09	* Conversión de Resistencia a voltaje
04	* Comparación	10	* Conversión de capacitancia a voltaje
05	* Aislamiento	11	* Conversión de energía a voltaje
06	* Multiplexaje		

**Sistemas de Adquisición de Datos (DAQ) .-** Son sistemas constituidos por hardware y software encargados de capturar la señal asociada con el fenómeno físico observable, previamente preparada o acondicionada para su procesamiento por el controlador. En este proceso los acondicionadores de señales son una parte importante para estos sistemas.

La adquisición de datos, es el proceso de convertir una cantidad física, digamos la temperatura o radiación solar incidente, en una señal eléctrica con el fin de extraer información, para presentarla, registrarla o actuar sobre un proceso. De la conversión de la variable observada en señal eléctrica se encarga el sensor. Una vez en el dominio eléctrico, esta señal se mide u utilizando circuitos de acondicionamiento, así como sistemas DAQ, para posteriormente ser procesada por el controlador del sistema.

Así el propósito primario de un circuito acondicionador en un sistema DAQ, es modificar la salida del sensor en una forma que pueda ser óptimamente convertida aun formato digital por su Convertidor Analógico Digital. Para ello, el acondicionador debe garantizar que en la entrada del Convertidor A/D se cumplan los requisitos siguientes:

- 1). La señal de entrada debe ser una forma de onda de voltaje. Puesto que muchos dispositivos suministran una señal de corriente y el acondicionador debe convertirla a una señal de voltaje. Esta



conversión de corriente a voltaje puede ejecutarse fácilmente utilizando una resistencia de precisión adecuada entre los terminales de salida del dispositivo, en paralelo con él. Mas luego, este voltaje generalmente de valores muy pequeños al igual que la señal de corriente, puede ser amplificado y terminar de ser acondicionado para finalmente ser digitalizado.

2). El rango dinámico de la señal de entrada deberá ser igual al rango dinámico del sistema DAQ y de este modo maximizar la resolución del Convertidor A/D.

3). La impedancia de la fuente de la señal de entrada debe ser lo suficientemente baja para que los cambios en la impedancia de entrada del sistema DAQ no afecten esa señal.

4). El ancho de banda de la señal de entrada debe ser limitado a menos de la mitad de la rata de muestreo de la conversión A/D. Así, para una frecuencia de muestreo ( $f$ ), el acondicionador debe incluir un filtro pasa bajo “anti-alias” que limite el ancho de banda de la señal de entrada del ADC por debajo del valor ( $f / 2$ ).

**Amplificadores.-** Un problema que existe en instrumentación electrónica es que las señales del mundo real transducidas en señales eléctricas son frecuentemente muy pequeñas en magnitud y es por eso que requieren ser acondicionadas utilizando circuitos de amplificación. Así, la utilización de estos circuitos permite reforzar el nivel de una señal eléctrica y conseguir que se acople mejor al rango del Convertidor A/D del sistema de adquisición de datos DAQ. De este

modo se incrementa la exactitud, la resolución, la sensibilidad y la relación señal a ruido de la medida.

Es importante mencionar a dos circuitos amplificadores usados comúnmente en estos menesteres: el amplificador inversor y el amplificador no inversor y en particular el segundo de mayor importancia en el desarrollo de este trabajo.

**Amplificador no inversor.-** Tiene una ganancia de voltaje  $A = (V_o / V_i) = (1 + R_1/R_2)$ , una impedancia de entrada casi infinita y una impedancia de salida casi cero. El circuito es ideal para sensores que tienen una alta impedancia de fuente como es el caso de una celda fotovoltaica. [ANG 02], [SEM 06].

#### C. LOS ACTUADORES O TRANSDUCTORES DE SALIDA.-

Conocidos también con el nombre de transductores de accionamientos, son una parte muy importante de los sistemas de control industrial, encargados de regular la potencia de la planta o proceso, así como de amplificar las señales de mando de la misma de un sistema de control. Los actuadores mas comunes utilizados en aplicaciones industriales son los destinados a producir movimiento (motores y cilindros), transvasar fluidos (bombas y válvulas), y manipular calor (hornos, intercambiadores, etc.). Ejemplos: relés, contactores, motores, motores paso a paso, válvulas, cilindros, ventosas de sujeción por vacío, bombas centrífugas, hornos y sistemas de enfriamiento, entre otros.

### **3.1.8. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES ELÉCTRICAS**

Un gran avance ha significado en la evolución de la instrumentación científica y del control de procesos el reemplazo de la electrónica analógica por la electrónica digital; debido a que los sistemas digitales son mas flexibles (los sistemas digitales son fáciles de reconfigurar a diferencia de los analógicos), son versátiles, de bajo costo y que en ellos existe la posibilidad de eliminar el ruido casi por completo.

También en el campo del control de procesos esto ha cambiado, pues las señales analógicas que antes se transmitían entre los sistemas de control y los dispositivos actuadores en las áreas donde tienen lugar los procesos y donde las distancias para la transmisión de las señales cuentan, hoy se transmiten esas señales analógicas convertidas en señales digitales y en algunos casos a control remoto.

### **3.1.9. DESARROLLO DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA UTILIZANDO MICROCONTROLADORES**

El microcontrolador, referido al finalizar la sección (3.1.) como dispositivo de control de sistemas en aplicaciones específicas, que tiene como función principal procesar las señales digitales que él mismo convierte a través de su periférico denominado convertidor A/D y finalmente preparar los resultados en forma digital o realizando la conversión inversa para presentarlos al operador vía sus periféricos de salida.

[ANG 02] En la tecnología actual existen gran variedad de microcontroladores y marcas: pero es de especial interés para este trabajo ocuparnos de aquellos pertenecientes a la serie PIC16F87X, producidos por MICROCHIP.

De acuerdo con el Diagrama de bloques del microcontrolador PIC16F877 del Anexo N° 03, el convertidor analógico digital (A/D) del sistema forma parte de su hardware.

## **EL HARDWARE**

Cabe señalar que el aumento progresivo de la escala de integración y las técnicas de fabricación hacen que aparezcan microcontroladores más poderosos y rápidos.

En la Tabla 3.2 se dan las diferencias más importantes entre estos dos dispositivos. Ver Anexo N° 02, la arquitectura del microcontrolador.

Una arquitectura abierta permite el microprocesador, sumar nuevos dispositivos en hardware en función a las necesidades que la aplicación demande, mientras que en una tecnología cerrada no está permitido.

**TABLA 3.2**

**DIFERENCIAS ENTRE MICROPROCESADOR Y MICROCONTROLADOR**

<b>N°</b>	<b>MICROPROCESADOR</b>	<b>MICROCONTROLADOR</b>
01	ARQUITECTURA ABIERTA	ARQUITECTURA CERRADA
02	GRAN CANTIDAD DE INSTRUCCIONES	REDUCIDO NÚMERO DE INSTRUCCIONES
03	ARQUITECTURA VON NEWMAN	ARQUITECTURA HARVARD
04	DE USO GENERALIZADO	USO EN APLICACIONES INDUSTRIALES ESPECIFICAS

Arquitectura Von Newman, significa que tiene una sola memoria dividida en Memoria de Programa (ROM) y Memoria de Datos (RAM) con un único bus de direcciones y de datos (bidireccional). Bus de datos de 8 bits.

Arquitectura Harvard, significa la existencia de dos Bloques de Memoria separadas. Un bloque para Instrucciones y otra para Datos, con dos buses independientes de direcciones para Instrucciones y para datos y dos buses para datos (bidireccionales). Bus de datos de 14 bits.

Aplicaciones industriales específicas, significa pequeñas aplicaciones de acuerdo con el reducido número de instrucciones y que pueden tener cierta independencia [ANG 06].

## **EL SOFTWARE**

Una aplicación empieza con una idea o planteamiento cuyo algoritmo que será la solución del problema se puede plasmar en un diagrama de flujo o autómatas tal como el que se muestra en la Fig. 3.3. Superado este punto se procede a utilizar un editor de texto para codificar el algoritmo a través de las instrucciones con que cuenta el microcontrolador.

[ANG 06] El MPLAB es un entorno de desarrollo (Conjunto de Programas: MPASMWIM, MPSIM, del ICD, NOPPP; archivos: C, ASM, EX y hardware: ICD y hardware para grabación) creado por Microchip para sus productos de microcontroladores, que a la vez es un recipiente que incluye varias herramientas, que permite elaborar el algoritmo y

después de editarlo en Lenguaje C, editarlo nuevamente en el editor propio del PIC, compilarlo, ensamblarlo, simularlo y depurar los errores antes de grabarlo en el microcontrolador, luego grabarlo en la memoria del PIC. Sin embargo gracias a la flexibilidad de trabajar con estos dispositivos, existe la alternativa de hacer casi lo mismo utilizando otros software con programas afines como el MIKRO C y el CCS como se verá más adelante en el desarrollo mismo del trabajo.

El Algoritmo de Medida construido como la solución del problema, entonces le indica al microcontrolador que debe hacer con la señal digitalizada ingresada al microcontrolador.

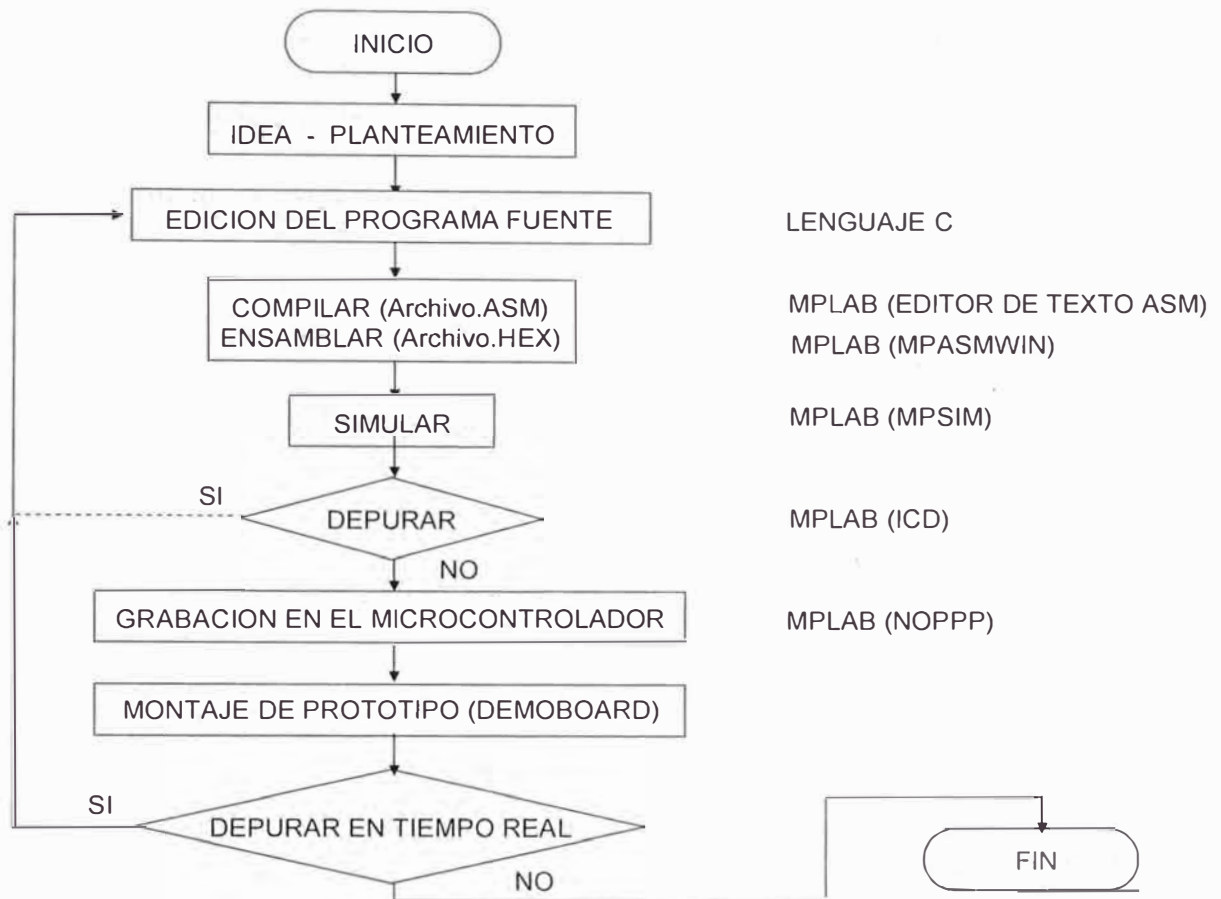
## **3.2. INSTRUMENTACIÓN SOLAR**

Las mediciones de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre son cada vez mas importantes y de interés para las aplicaciones solares y para otros fines de investigación asociados con su variabilidad.

### **3.2.1. INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE LA RADIACIÓN SOLAR**

#### **3.2.1.1. Principios involucrados en los instrumentos de medición solar**

Dependiendo del principio en el cual están basados, los instrumentos de medición de la radiación solar pueden ser clasificados como: termales, termoeléctricos, fotoeléctricos, fotoquímicos, entre otros.



El espectro de la radiación solar que llega a la superficie terrestre está comprendido en el rango de  $0,27 \mu\text{m}$  a  $5 \mu\text{m}$  y comprende una parte del espectro ultravioleta entre  $0,27 \mu\text{m}$  a  $0,4 \mu\text{m}$ , el espectro visible entre  $0,4 \mu\text{m}$  y  $0,7 \mu\text{m}$  y también el infrarrojo comprendido entre  $0,7 \mu\text{m}$  y  $5 \mu\text{m}$  [LOR 94].

Por ello, cuando se utiliza un instrumento de medida cualquiera, el operador debe estar conciente que por una parte está obteniendo el resultado de la medida de la energía asociada con la radiación solar incidente sobre un plano de orientación determinada y por otra parte saber cual es la distribución espectral y espacial de esa energía.

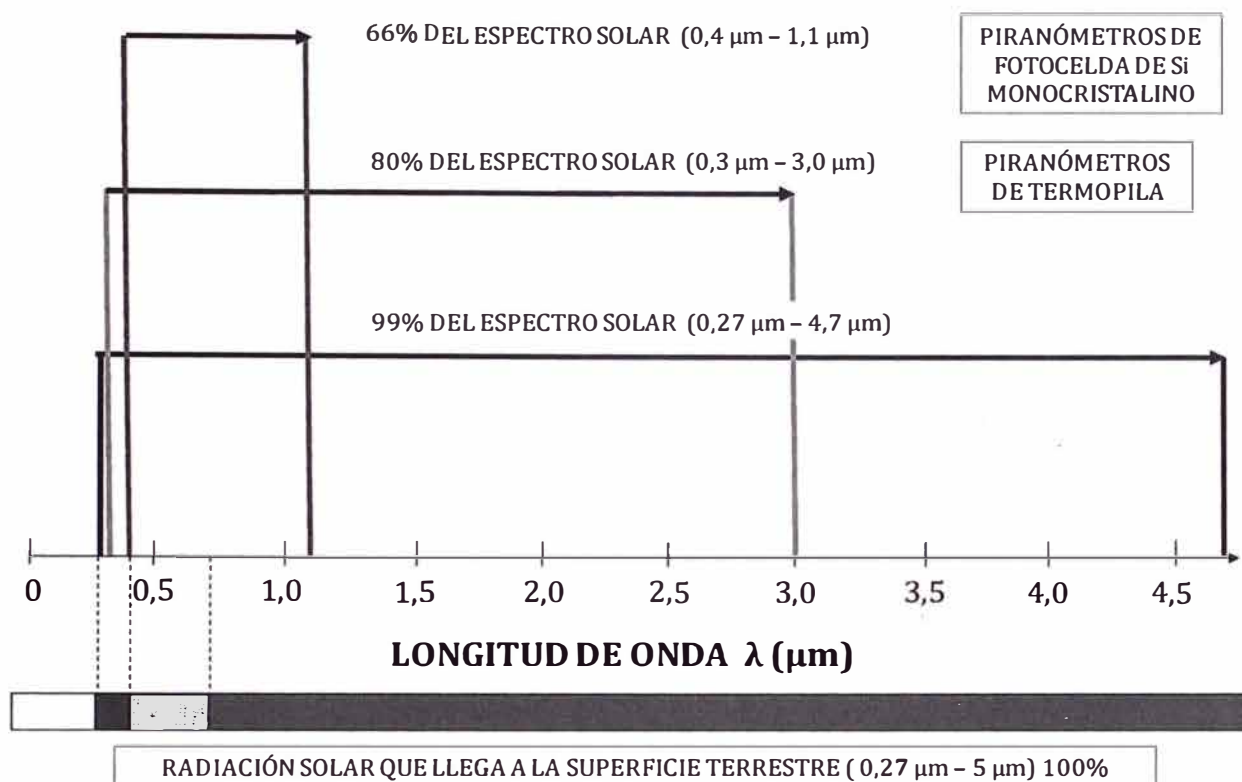
[GAM 90] PRINCIPIOS TERMOELÉCTRICOS.- Este principio está inmerso en instrumentos que utilizan como receptor un sensor tipo termopila que mide la diferencia de temperatura entre dos superficies pintadas de negro y blanco e igualmente iluminadas. La ventaja principal de la termopila es su respuesta uniforme a las longitudes de onda.

PRINCIPIOS FOTOELÉCTRICOS.- En la fabricación de piranómetros generalmente se utilizan fotoceldas, entre ellas las fotovoltaicas de silicio monocristalino, comparativamente de menor costo que una termopila. Su mayor limitación es la no uniformidad de respuesta espectral en una región limitada de longitudes de onda en la cual la fotocélula es sensible.

La Fig. 3.4 muestra la sensibilidad de los sensores de estos instrumentos basados en una termopila y una celda fotovoltaica de silicio monocristalino.

Como se observa en la figura 3.4, un piranómetro de termopila es sensible al espectro de la radiación solar incidente en un intervalo de  $0,3 \mu\text{m}$  a  $3 \mu\text{m}$ , mientras que la sensibilidad de un instrumento que utiliza una fotocelda de silicio está en el rango de  $0,4 \mu\text{m}$  y  $1,1 \mu\text{m}$ , correspondiendo al intervalo de sensibilidad de la fotocelda solamente el 66% de la radiación solar incidente [LOR 94].





Fuente: Diagrama elaborado por el Autor en base a información recopilada

Fig. 3.4.- Sensibilidad espectral de piranómetros de termopila y fotocelda de Si

### PRINCIPIOS PIROELÉCTRICOS O TERMALES

Estos principios, están presentes en instrumentos que utilizan sensores basados en la expansión diferencial de un par bimetálico, provocada por una diferencia de temperatura entre dos superficies de color negro y blanco. Donde la expansión del sensor moviliza una pluma la cual registra un valor instantáneo de la radiación solar.

#### 3.2.1.2. Tecnología de los instrumentos de medición solar

Puesto que la radiación solar global se compone de la radiación directa más la difusa, luego las componentes de la radiación solar incidente que

comúnmente son objeto de medida para fines meteorológicos, son las siguientes [FAR 82]:

- Radiación solar directa captada en un plano normal al rayo incidente.
- Radiación solar global recibida en una superficie horizontal.
- Radiación solar (directa, difusa y global) mediada en porciones restringidas del espectro.

Correspondientemente la tecnología ha desarrollado instrumentos solares de medida y registro son de varios tipos y se pueden clasificar en:

- Instrumentos de medidas instantáneas.
- Instrumentos de medidas integradas por periodos de una hora o de un día.
- Instrumentos que miden la radiación total (directa + difusa).
- Instrumentos que miden solo radiación directa.

Los solarímetros pueden clasificarse en dos grupos de instrumentos, ellos son: Los Pirheliómetros, los piranómetros y heliógrafos.

### **Los Pirheliómetros:**

Son solarímetros que miden la componente directa de la radiación solar en una superficie receptora perpendicular al rayo solar. Tales instrumentos utilizan un tubo en cuyo fondo se encuentra el receptor protegido de la radiación indirecta, son muy precisos en la medida del nivel de radiación solar y se utilizan para calibrar pirheliómetros.

### **Los Piranómetros:**

Son instrumentos que miden la radiación solar global en un plano horizontal. En estos instrumentos el elemento receptor debe estar dispuesto horizontalmente y libremente expuesto al cielo, protegido de la radiación reflejada de obstáculos y paredes de los alrededores.

Los receptores de los piranómetros generalmente son sensores termoeléctricos, fotoeléctricos y piroeléctricos o elementos bimetálicos. Dentro de sus propiedades destacan: su sensibilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, respuesta cosenoidal, respuesta azimutal linealidad, respuesta de temperatura y respuesta espectral.

**El Piranómetro fotovoltaico.-** Es aquel que utiliza como elemento sensor una celda fotovoltaica de silicio monocristalino. Dicha fotocelda tiene la propiedad de producir una intensidad de corriente cuando es iluminada, siendo esta corriente en condiciones de cortocircuito, proporcional a la intensidad de la radiación incidente. En ella, los fotones energéticos que no son absorbidos generan una energía que es disipada en forma de calor.

Su comportamiento selectivo frente al espectro solar, es un fenómeno inherente al sensor y por tanto incorregible. Sin embargo sus ventajas en costo y facilidad de uso los muestra como instrumentos secundarios; pero por otra parte son recomendados para integraciones diarias de la radiación solar global sobre un plano horizontal, a cuyos resultados se les asigna un error dentro del intervalo entre el 1% y 3% dependiendo del procedimiento

realizado para la toma de las lecturas. Finalmente, su gran sensibilidad y respuesta casi instantánea, lo hacen útil para observar pequeñas fluctuaciones de radiación.

**El Piranómetro termoelectrico.-** Es aquel que utiliza como sensor una termopila constituida por termopares en serie. Tales termopares generan una tensión termoeléctrica proporcional a la diferencia de temperaturas entre sus uniones, las cuales se encuentran en contacto térmico con placas metálicas que se calientan de manera diferente cuando están iluminadas. Así, una diferencia de potencial medida en la salida del instrumento puede ser relacionada con el nivel de radiación incidente.

Existen piranómetros cuyas uniones calientes de termopila están en contacto con superficies negras altamente absorbentes y las frías en contacto con superficies blancas de gran reflectividad. Mientras tanto otros, en los que las superficies de contacto para las uniones calientes y frías son ambas de color negro; pero las frías protegidas del Sol y generalmente se encuentran a la temperatura ambiente.

Una variedad de piranómetros son los actinómetros y actinógrafos cuyo sensor está basado en pares de láminas bimetálicas que al deformarse de manera diferente con el calor que incide sobre ellas, son capaces de activar un sistema de palancas para amplificar y registrar vía una pluma terminal, en una carta, cualquier cambio en el nivel de radiación incidente.

### **Los heliógrafos:**

Son una creación tecnológica utilizada para medir la cantidad de horas de Sol durante el día en un lugar determinado.

De todos estos tipos de instrumentos son famosos, los pirheliómetro Eppley, Kip & Zonen, los piranómetros Eppley PSP, el Kip & Zonen, el de Bellani y el Actinógrafo de Robitzsch, presentados en la bibliografía diversa.

### **3.3. LA CELDA FOTOVOLTAICA COMO DISPOSITIVO SENSOR**

Por razones que interesan para el desarrollo del presente trabajo, es conveniente traer a memoria aspectos teóricos importantes asociados con la celda fotovoltaica y que tienen que ver con su comportamiento como sensor de un instrumento electrónico para la medida de la radiación solar incidente. Entre esos aspectos están el estudio de sus características de corriente – voltaje y por otro lado tener en cuenta la influencia del incremento de la temperatura que podrían acarrear errores en las lecturas de la data y su propagación en la determinación de la energía solar diaria.

#### **3.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

[LOR 94] La celda fotovoltaica es a la vez un sensor óptico porque responde ante un tipo de radiación óptica, la solar, y es un sensor eléctrico porque convierte a la señal óptica en señal de corriente eléctrica y por ello se dice que se comporta como un generador de corriente, su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico y su comportamiento es

imilar al de un clásico diodo de unión del tipo p-n. Ante la incidencia de la luz solar de un cierto nivel de energía, nos permite trabajar para un amplio rango de voltajes.

El funcionamiento de la celda fotovoltaica depende de la formación de una barrera de potencial en una unión p-n. Cuando ésta se irradia con una radiación visible o invisible de capacidad energética suficiente para superar la anchura de banda prohibida. La corriente generada cuando la radiación ioniza la barrera de potencial, se denomina efecto fotovoltaico.

Cuando la luz es absorbida por la unión, la energía de los fotones absorbidos es transferida al sistema de electrones del material, trayendo consigo la creación de portadores de carga que son separados por la unión. Los portadores de carga pueden ser pares electrón-ión en un electrolito líquido, o pares electrón-hueco en un sólido de material semiconductor. Los portadores de carga en la región de la unión crean un gradiente de potencial y son acelerados bajo la acción del campo eléctrico y circulan como una intensidad de corriente en un circuito externo. El cuadrado de la intensidad de corriente por la resistencia del circuito da la potencia convertida en electricidad. La potencia remanente del fotón eleva la temperatura de la fotocelda.

La bibliografía diversa nos indican que las celdas fotovoltaicas pueden ser fabricadas sobre una matriz de metal semiconductor sea de selenio o de silicio, dependiendo del tipo de unión. En una fotocelda de silicio, la unión p-n la forman una capa de material tipo “n” depositada sobre un

sustrato metálico y una capa de material tipo “p” difundida en el silicio. Esta última actúa como superficie fotosensible, generando voltajes de salida del orden de 0,27 V a 0,6 V

### **3.3.2. CARACTERÍSTICAS DE CORRIENTE VOLTAJE (I – V)**

Para propósitos de fundamentar la realización del presente trabajo, cabe traer a recuerdo que el parámetro más importante de una celda fotovoltaica son sus curvas características de Intensidad de corriente – Voltaje (I - V) para diferentes niveles de iluminación. La intensidad de corriente neta, puede ser expresada como la suma de sus componentes fotogenerada  $I_L$  y de diodo  $I_D$  respectivamente o también en términos de la intensidad de corriente de cortocircuito  $I_{cc}$  y de su voltaje en circuito abierto  $V_{ca}$ .

Las ecuaciones (3.1.) y (3.2.) son válidas para una celda fotovoltaica ideal. Sin embargo para aplicaciones prácticas una celda fotovoltaica real de silicio puede ser representada por su circuito equivalente dado en la Fig. 3.5 , donde la Intensidad de corriente neta  $I$  de la fotocelda viene dada como la suma algebraica de la corriente fotogenerada  $I_L$ , la corriente de diodo  $I_D$  y la corriente  $I_P$  que pasa por la resistencia paralelo de la celda. Así, al circuito ideal de una celda fotovoltaica ideal se le adiciona dos resistencias, una en paralelo  $R_P$  y otra en serie  $R_S$ .  $R_P$ , generalmente de valor grande, ocasionada por pequeños circuitos abiertos en el interior de la estructura del material de la celda, al movimiento de los portadores a través de dislocaciones presentes en el material, etc. Y la resistencia  $R_S$ , generalmente de valor pequeño, debida al aumento de la resistencia de la

celda ocasionada por el cableado de las conexiones adicionales que se tiene en la celda para acoplarlas a otras etapas de un sistema de aplicación (para una celda ideal,  $R_p = \infty$  y  $R_s = 0 \Omega$ ).

Las ecuaciones de la corriente neta de una celda fotovoltaica real son:

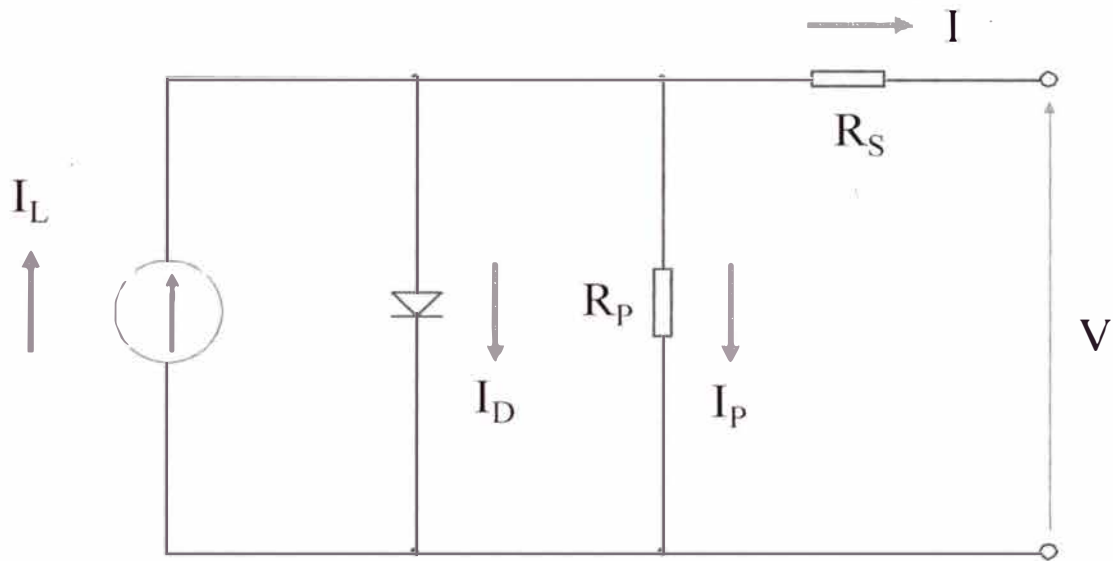


Fig. 3.5. Circuito equivalente de una celda fotovoltaica real

ECUACIONES DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE NETA DE UNA FOTOCELDA IDEAL CON  $R_p = \infty$  Y  $R_s = 0$ .

$$I = I_L - I_D \quad (3.1.a)$$

$$I = I_L - I_o \left[ e^{\left( \frac{eV}{kT} \right)} - 1 \right] \quad (3.1.b)$$



Donde  $I_D$  expresada en la ecuación (3.2), representa a la intensidad de corriente de diodo o corriente de oscuridad e  $I_o$  la intensidad de corriente de saturación característica de la celda.

$$I_D = I_o \left[ e^{\left(\frac{eV}{kT}\right)} - 1 \right] \quad (3.2)$$

ECUACIONES DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE NETA DE UNA FOTOCELDA REAL  $R_p$  GRANDE Y  $R_s$  PEQUEÑO.

Ecuación (3.3.a) o (3.3.b)

$$I = I_L - I_o \left[ e^{\left(\frac{eV}{kT}\right)} - 1 \right] - \frac{V + I R_s}{R_p} \quad (3.3.a)$$

$$I = \left[ \frac{R_p}{R_p + R_s} \right] \left[ \left( I_L + I_o - \frac{V}{R_p} \right) - I_o e^{\left(\frac{eV}{kT}\right)} \right] \quad (3.3.b)$$

Y considerando que generalmente  $R_p$  es grande y  $R_s$  pequeña, las ecuaciones (3.3) pueden aproximarse a la forma

$$I \approx \left( I_L + I_o - \frac{V}{R_p} \right) - I_o e^{\left(\frac{eV}{kT}\right)} \quad (3.4)$$

En estas ecuaciones  $I_{CC0}$  y  $V_{CA0}$  son la corriente de corto circuito y el voltaje de circuito abierto de la fotocelda a la temperatura  $T_0$ , mientras que  $I_{CC}$  y  $V_{CA}$  son los respectivos valores de dichos parámetros cuando la temperatura ha cambiado al valor  $T$ , siendo  $\Delta T = T - T_0$ .

Tal como se observa en estas ecuaciones ante un incremento de temperatura la corriente de corto circuito se altera, medida que está asociada con la medida de la radiación solar incidente y por otra parte la potencia de la celda disminuye.

Por tanto, la influencia de la temperatura sobre la celda fotovoltaica es otro factor que debe tenerse en cuenta en el diseño, construcción y evaluación del prototipo de solarímetro.

## **CAPÍTULO IV**

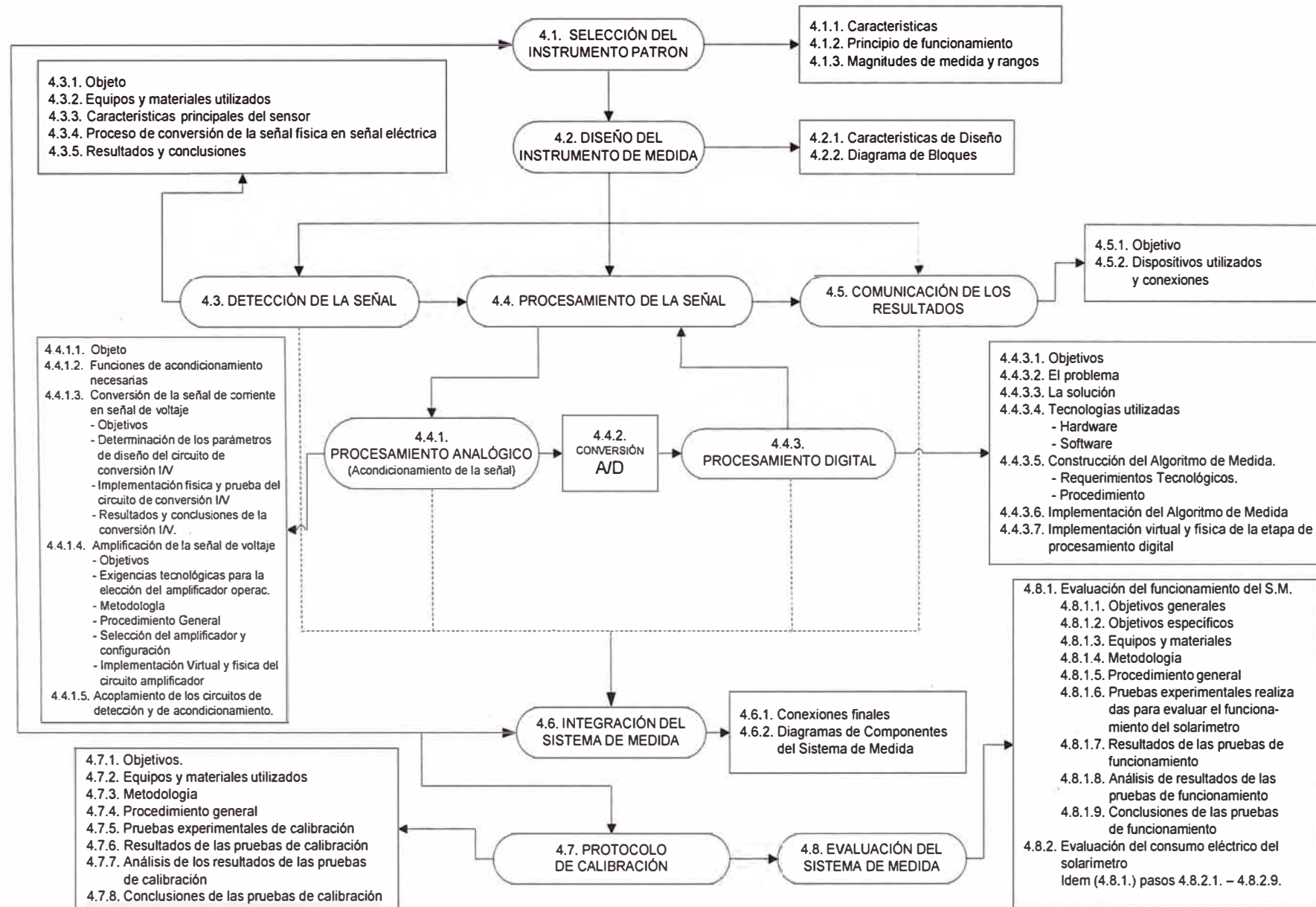
### **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DEL SOLARÍMETRO**

De aquí en adelante llamaremos Sistema de Medida o Solarímetro UNI, al Proyecto de instrumento que con este trabajo se busca desarrollar, el cual consta de varios subsistemas y partes que realizan diferentes funciones y que finalmente integrados proporcionarán al usuario la medida de la radiación solar.

En la Fig. 4.1 se muestra un diagrama que muestra toda la metodología a seguir para lograr el desarrollo del prototipo de solarímetro, etapa a etapa, desde la detección de la señal hasta la evaluación del funcionamiento del sistema como producto tecnológico terminado. Metodología, que se ha tenido a bien exponerlo como contenido del presente capítulo.

Dicha metodología, no es más que una adaptación de la metodología de desarrollo de Sistemas Electrónicos de Medición Industrial, al diseño y construcción del proyecto de solarímetro.

Fig. 4.1. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL SOLARÍMETRO



## 4.1. SELECCIÓN DEL INSTRUMENTO PATRÓN RELATIVO

### 4.1.1. CARACTERÍSTICAS

El instrumento que se consiguió para ser utilizado como modelo o patrón, para la comparación con el medidor construido, es el solarímetro HAENNI SOLAR 118, de tecnología alemana, el cual consta de dos unidades modulares, uno de ellos el circuito del sensor y el otro del procesador o circuito electrónico (analógico – digital). El primero, en una caja de material aluminio torneado contiene al circuito del sensor y la otra caja de material plástico color crema contiene al circuito electrónico, ambos relativamente pesados como para soportar los embates del viento cuando son expuestos a pruebas de medición; además ambas circuitos están interconectados entre sí mediante un cable de enlace de aproximadamente cinco metros de longitud.

El módulo electrónico de color crema muestra en su parte superior el panel de control con los conmutadores que permiten seleccionar las funciones a medir, encender y apagar el sistema, también el display a través del cual se visualiza la medida de la función seleccionada. En la parte posterior muestra el orificio de inserción para el cable de enlace y los contactos para la reinicialización del sistema. En la parte inferior de la unidad, se encuentra una cajuela en la cual se insertan seis pilas de 1,5 voltios que el sistema utiliza como fuente de alimentación para su funcionamiento.

#### 4.1.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SOLARÍMETRO PATRÓN

El sistema de medida patrón es un solarímetro del tipo piranómetro fotovoltaico porque utiliza como transductor de la magnitud observable de interés una celda fotovoltaica de silicio, que la convierte en una señal eléctrica, una intensidad de corriente eléctrica. Dicha señal pasa por dos etapas previas de procesamiento, la primera analógica y la otra en formato digital; antes de llegar a la etapa final de comunicación de los resultados.

TABLA 4.1.  
CARACTERÍSTICAS DEL SOLARÍMETRO HAENNI SOLAR 118

CIRCUITO DEL SENSOR (envoltura metálica torneada)	
Color	Aluminio
Peso	165,2 g
Dimensiones:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro del sensor</li> <li>• Diámetro intermedio</li> <li>• Diámetro externo</li> <li>• Altura</li> </ul>	2,1 cm 5,9 cm 8,0 cm 3,0 cm
Resistencia interna: $R_i$	500 $\Omega$
Voltaje de señal de salida: $V_{out}$	100 mV/1000 W/m <sup>2</sup>
Longitudes de onda que detecta: $\lambda$	0,4 ... 1,1 $\mu\text{m}$
CIRCUITO ELECTRÓNICO (Envoltura plástica, color crema)	
Color	Amarillo crema
Peso:	386 g
Dimensiones:	15,4 cm x 8,9 cm x 4,5 cm
Selector de escala de Radiación Solar:	Hasta 1500 W/m <sup>2</sup>
Selector 01 de escala de Energía por unidad de área:	Hasta 99,99 kWh/ m <sup>2</sup>
Selector 02 de escala de Energía por unidad de área:	Hasta 999,9 kWh/ m <sup>2</sup>
Selector de apagado	OFF
PANTALLA LCD:	
Tipo	No luminoso
Color de segmentos	Negro
CABLE DE ENLACE:	
Longitud	05 m

Fuente: Placas impresas en las envolturas del sensor y circuito electrónico, y otras evaluadas por el autor

Los resultados de la medida se visualizan en una pantalla LCD no luminosa.

#### **4.1.3. MAGNITUDES DE MEDIDA Y RANGOS**

El sistema de medida patrón mide la radiación solar incidente a través de dos cantidades físicas, una de ellas la intensidad de radiación solar incidente en unidades de watts por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ ), la otra, la energía acumulada por metro cuadrado en unidades kilowatt hora por metro cuadrado ( $\text{kWh/m}^2$ ) o intensidad de radiación solar incidente integrada para un intervalo de tiempo. Cada función de salida, antes indicada, es visualizada en la misma pantalla, según sea seleccionada mediante un conmutador giratorio.

Si se desea; reiniciar una nueva medida de la energía por unidad de área acumulada para otro intervalo de tiempo, se reinicializa el sistema borrando de su memoria la información guardada de observaciones anteriores. Esto se consigue uniendo, con un desarmador los dos contactos metálicos que se encuentran en la parte posterior izquierda del instrumento.

Las especificaciones técnicas del instrumento patrón indican que la medida de la intensidad de radiación solar incidente está comprendido entre cero y un máximo de  $1500 \text{ W/m}^2$  y la energía acumulada por unidad de área hasta un máximo de  $999,9 \text{ kWh/m}^2$ .

## 4.2. DISEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA

### 4.2.1. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

El Solarímetro a implementar tiene que ser semejante en su funcionamiento, al instrumento modelo o patrón, es decir que su diseño y construcción deben desarrollarse bajo el mismo principio de funcionamiento y características del patrón, debido a que éste último se utilizará como instrumento de comparación para su calibración.

Así, el nuevo sistema de medida, estará basado en una celda fotovoltaica como elemento transductor de la señal de entrada o propiedad física observable de interés y por otra parte siendo de tipo electrónico se considerará en su diseño las etapas de detección de la señal, de procesamiento analógico, de procesamiento digital y de comunicación de los resultados; recomendada por la teoría encontrada sobre desarrollo de proyectos en instrumentación electrónica vista en el capítulo anterior.

La novedad en este proyecto es la utilización de un microcontrolador, dispositivo de la tecnología electrónica moderna, como elemento principal en la etapa de procesamiento digital y que en la actualidad tiene una gran variedad de aplicaciones. Este dispositivo a su vez será gobernado por un algoritmo de medida, elaborado por el usuario en concordancia con las necesidades y soluciones que espera obtener.

Por tanto, como Sistema de Medida de tipo electrónico, el solarímetro desarrollado tendría las características de ser controlable, de alta precisión, gran sensibilidad y portátil. Así mismo estará constituido por componentes



y partes necesarias para cumplir las funciones indicadas anteriormente como detectar la data o información primaria, procesarla y comunicar los resultados al usuario.

#### **4.2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES**

El diagrama de Bloques de la Fig.4.2 del proyecto de solarímetro muestra las diferentes etapas que fueron consideradas inicialmente para efectos de su desarrollo.

Según este diagrama, el desarrollo del proyecto comprende las etapas siguientes:

- 1). **ETAPA DE DETECCIÓN.-** Constituido por el circuito del sensor o en este caso de la celda fotovoltaica.
- 2). **ETAPA DE PROCESAMIENTO.-** Comprende tres sub-etapas, una de ellas la etapa de procesamiento analógico, la segunda de conversión de la señal analógica en señal digital y la tercera la etapa de procesamiento digital. A su vez, la etapa de procesamiento analógico comprenderá a los circuitos de acondicionamiento de la señal detectada, los cuales se implementan de acuerdo a necesidad, hecho que se tratará con mayor detalle más adelante.
- 3). **ETAPA DE COMUNICACIÓN.-** Constituida físicamente por un dispositivo de salida de tipo digital como una pantalla LCD o display. Alternativamente se puede utilizar como dispositivo de salida adicional, una computadora personal, con una aplicación de software.

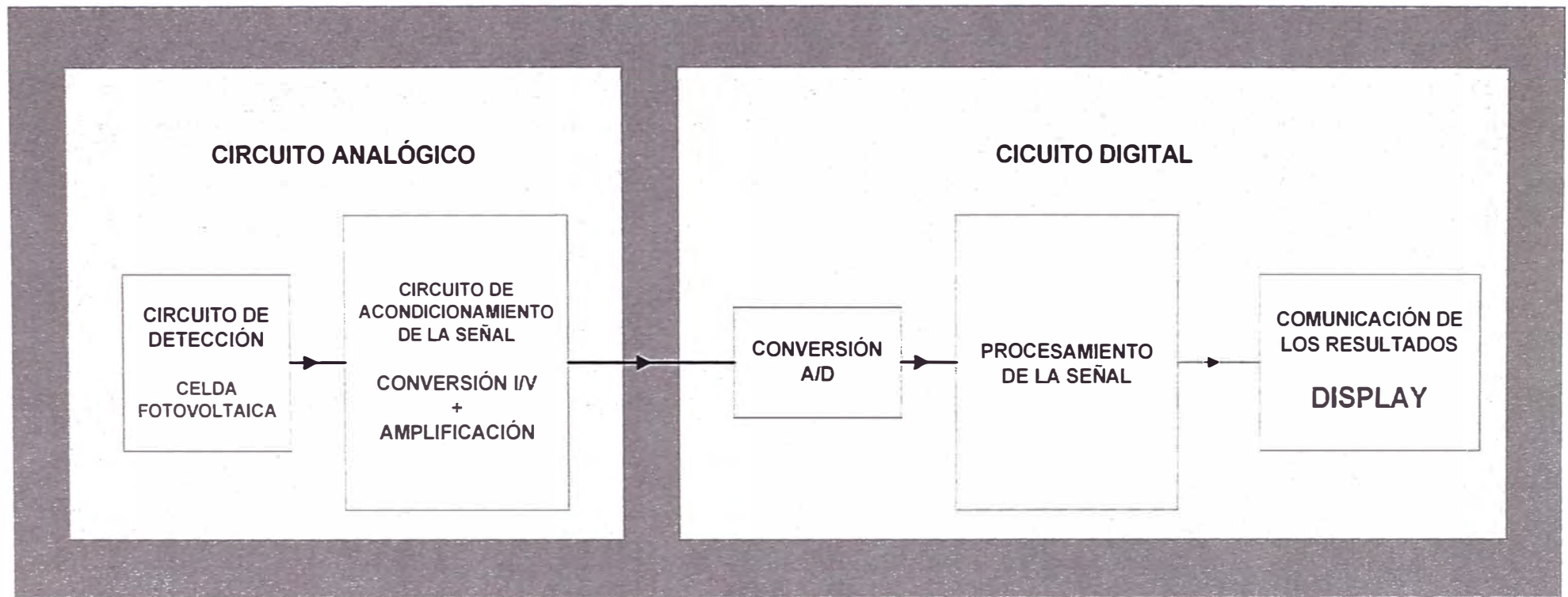


Fig. 4.2. Diagrama de Bloques del Sistema de Medida

### **4.3. DETECCIÓN DE LA SEÑAL**

#### **4.3.1. OBJETO**

Convertir la señal observable del mundo físico, esto es la radiación solar incidente, en una señal de salida de tipo eléctrico que sea proporcional a su magnitud.

#### **4.3.2. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS**

- Una celda fotovoltaica como elemento sensor.
- 01 voltímetro CD (0 V – 12 V).
- 01 miliamperímetro DC (0 mA – 300 mA).
- Conectores.

#### **4.3.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SENSOR**

La celda fotovoltaica utilizada tiene un área de exposición de forma rectangular de aproximadamente treinta y ocho centímetros cuadrados, ensamblada dentro de un marco de plástico color crema y protegida del exterior por una cubierta de vidrio transparente liso. Por su fabricación, es una celda fotovoltaica de silicio amorfo con una eficiencia de conversión entre 8% y 9%. De procedencia Taiwán y sin marca.

#### **4.3.4. CONVERSIÓN DE LA SEÑAL FÍSICA EN SEÑAL ELÉCTRICA**

- 1). LUGAR : Facultad de Ciencias de la UNJFSC – Huacho
- 2). CLIMA : Día soleado de verano, sin nubes o neblinas.
- 3). FECHA Y HORA : 20 de febrero del 2008 – 12:00
- 4). PROCEDIMIENTO:

De modo rápido y sencillo se implementó un circuito para medir la intensidad de corriente de cortocircuito de la celda fotovoltaica insertando entre los terminales de la misma el miliamperímetro. Acto seguido, se reemplazó el miliamperímetro por el voltímetro, para medir el voltaje de la celda en circuito abierto. Estas pruebas se llevaron a cabo a cielo abierto, promediando el medio día con incidencia de la radiación solar sobre la celda fotovoltaica.

#### **4.3.5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Para un cierto nivel de irradiancia solar del día 20 de Febrero del 2008, se detectó una corriente de cortocircuito (proporcional al nivel de irradiación) de 85 miliamperios y un voltaje de circuito abierto de 4 voltios, en un día soleado y con atmósfera despejada.

Es de esperar que con una atmósfera en mejores condiciones meteorológicas y en un lugar donde la intensidad de radiación solar incidente se aproxime a los  $1000 \text{ W/m}^2$ , la intensidad de corriente de cortocircuito se aproxime a los 100 miliamperios.

#### **4.4. PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL**

De acuerdo con la metodología de trabajo planteado en la Fig. 4.1 para el desarrollo del nuevo Sistema de Medida, después de un procesamiento analógico prosigue un procesamiento digital, pasando por una etapa intermedia de conversión de la señal al formato digital.

## **4.4.1. PROCESAMIENTO ANALÓGICO**

### **4.4.1.1. Objeto**

Acondicionar la señal eléctrica analógica obtenida a la salida del circuito de la etapa de detección.

### **4.4.1.2. Funciones de acondicionamiento necesarias**

De acuerdo con la fundamentación teórica vista en el capítulo III el proceso de acondicionamiento de la señal, implica para nuestro trabajo, llevar a cabo en secuencia dos funciones de acondicionamiento común que son:

- 1). La conversión de la intensidad de corriente del circuito de la celda en señal de voltaje.
- 2). La amplificación de la señal de voltaje obtenida en 1), que por lo general sus valores son del orden de los milivoltios, al rango de los voltios.

### **4.4.1.3. Conversión de la señal de corriente en señal de voltaje**

#### **A. OBJETIVOS:**

- a). Modificar la señal a la salida del sensor (señal de corriente eléctrica) a la forma de voltaje.
- b). Determinar los parámetros de diseño del circuito para la conversión de la señal de corriente en señal de voltaje.
- c). Implementar el circuito físico que haga posible dicha conversión utilizando tecnología electrónica.

#### **B. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONVERSIÓN I/V:**

- a). Metodología:

La conversión de la señal de corriente transducida en señal de voltaje tiene relación con el estudio de las características de Intensidad de CORRIENTE–VOLTAJE de la celda fotovoltaica que se va a utilizar.

Por teoría vista en el capítulo anterior se conoce que la relación  $I = f(V)$  iluminada con una luz de potencia constante, es de tipo exponencial y que para voltajes muy pequeños la intensidad de corriente que se genera en la celda tiende a ser constante y proporcional intensidad de la fuente luminosa. En este rango de voltajes se produce la linealidad que relaciona las magnitudes intensidad de corriente (I), voltaje (V) y resistencia (R) ; la Ley de Ohm pero gobernada por corriente. Así cada voltaje de este rango nos proporciona un valor de resistencia eléctrica que podemos elegir por observación como resistencia de diseño del instrumento en proyecto.

Por tanto la metodología que nos va a permitir averiguar los parámetros de diseño del circuito de conversión de la señal de corriente en voltaje, consiste primero en determinar las curvas  $I - V$  de la celda fotovoltaica y del análisis de éstas decidir cuáles serán esos parámetros y sus valores correspondientes.

La implementación de esta metodología implica realizar un trabajo de campo con la celda expuesta al Sol (fuente de iluminación), instalar un circuito experimental apropiado y un procedimiento, el cual se describe líneas adelante.

b). Equipos y Materiales:

- \* Una celda fotovoltaica de silicio amorfo, de lados de 7 cm de largo por 5 cm de ancho, referida en la sección 4.3.3.
- \* Un voltímetro analógico de 0 V a 60 V.
- \* Un miliamperímetro analógico.
- \* Una caja de resistencias (entre 0  $\Omega$  a 1 000 000  $\Omega$ ).
- \* Un puente de Wheatstone (0,09  $\Omega$  – 100 000  $\Omega$ )

c). Procedimiento:

- 1). Elegir un día soleado a cielo abierto (libre de nubosidades o neblinas) preferentemente en día de verano costero. Alternativamente puede ser un lugar de ceja de sierra donde la insolación es permanente durante todo el año.
- 2). Elegir un espacio abierto a la atmósfera como por ejemplo una azotea, libre de obstáculos a fin de eliminar los efectos de reflexión.
- 3). Sobre una mesa instalar el circuito experimental de la Fig. 4.3, utilizando la celda fotovoltaica, el voltímetro, el miliamperímetro y la caja de resistencias.
- 4). Observar en el miliamperímetro un nivel de intensidad elegido de corriente eléctrica la cual es proporcional al nivel actual de radiación incidente cuando se coloca la resistencia variable al valor de cero (0) como punto de partida.
- 5). Buscando el estado del paso (4.-) es decir observando el mismo nivel de intensidad de corriente inicial en el miliamperímetro, cambiar muy rápidamente la resistencia del valor de 0 ohm al valor de 1 ohm, registrando este valor, y los correspondientes de voltaje y la nueva corriente en la fila 2 de una tabla habilitada para el registro de datos.

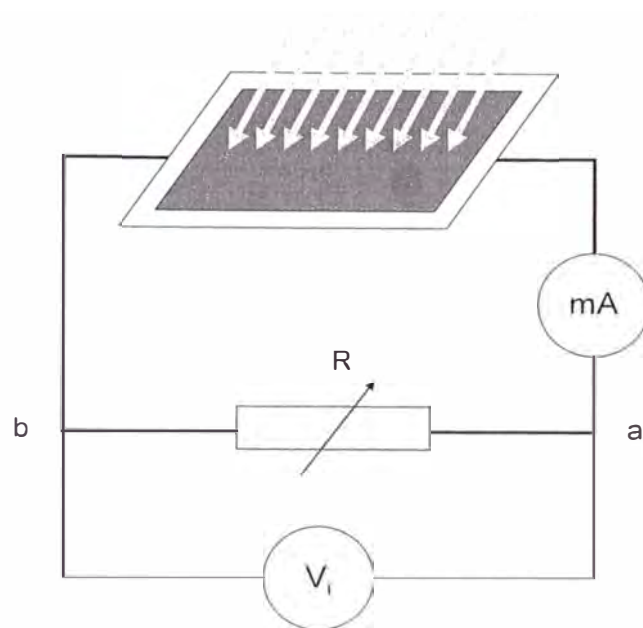


Fig. 4.3.  
Circuito  
Experimental

6). Seguidamente volver al paso (4) y repetir el paso (5) pero cambiando el valor de la resistencia del valor de cero (0) al valor de 2 ohm y lo que sigue del paso (5) en una fila 3 de la tabla.

7). Repetir el paso (6) de forma repetida variando la resistencia de la caja a otros valores como se indica en la serie  $R = 3 \Omega, 4 \Omega, 5 \Omega, 6 \Omega, 7 \Omega, 8 \Omega, 9 \Omega, 10 \Omega, 20 \Omega, 30 \Omega, \dots, 100 \Omega, 200 \Omega, 300 \Omega, \dots, 1000 \Omega, 2000 \Omega, 3000 \Omega, \dots, 10000 \Omega$ ; hasta la intensidad de corriente del miliamperímetro se aproxime al valor de cero.

d). Registro y Procesamiento de Datos:

Siguiendo el procedimiento anterior para dos días de verano 28 de febrero y 01 de marzo del 2008, se registraron datos para tres niveles de intensidades de corriente diferentes (85 mA, 70 mA y 50 mA) y que se muestran en las tablas 4.2 ; 4.3 y 4.4



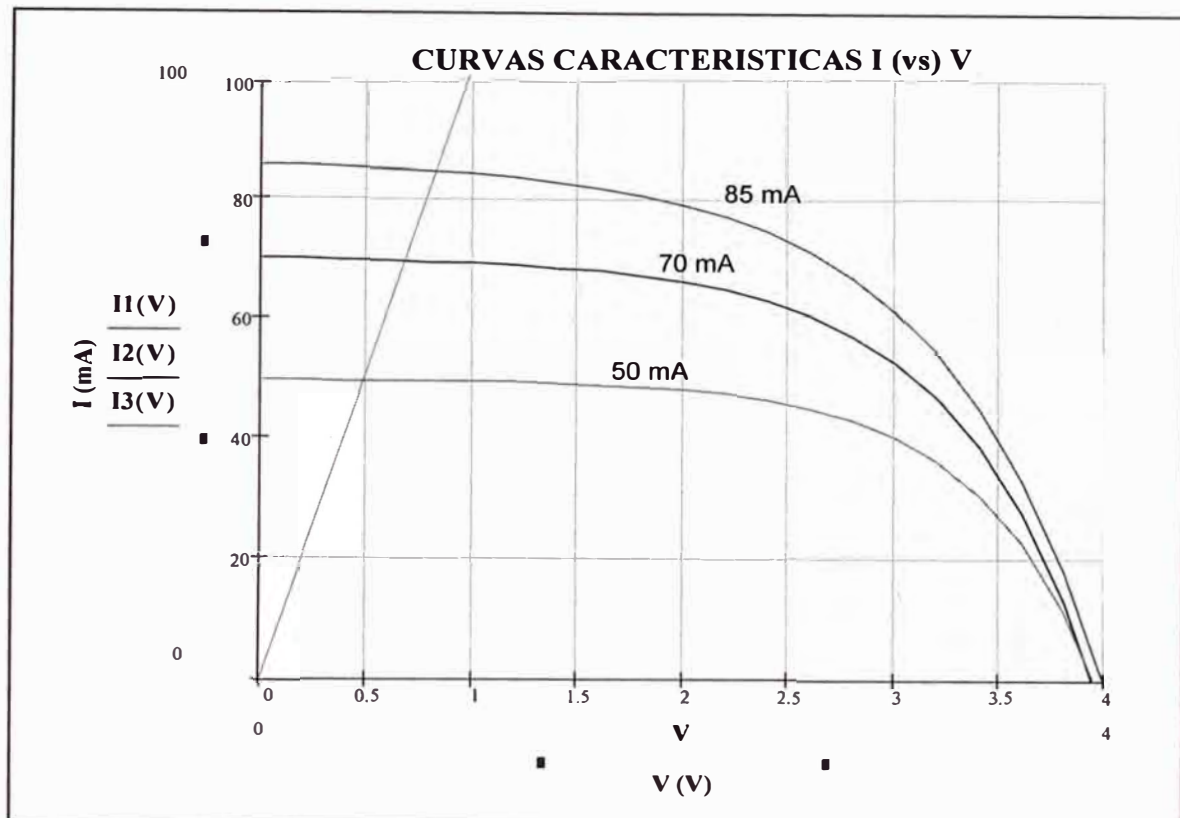


GRÁFICO 4.1. — Curvas superpuestas ( I – V ) de la celda fotovoltaica para tres niveles de radiación, elaboradas utilizando las ecuaciones de las curvas experimentales obtenidas con el software Logger Pro.

Sin embargo se pueden considerar voltajes de valores más pequeños cercanos el valor de cero y por ende las resistencias  $R$  correspondientes que nos aseguren que la señal de voltaje obtenida es proporcional a la medida de la señal física, objeto de medición.

2). Del mismo modo las ecuaciones de las curvas ajustadas nos indican que para valores pequeños de voltaje, las intensidades de corriente tienden a ser constantes, cumpliéndose en este rango la Ley de Ohm. Ver ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3

TABLA 4.6  
CONSTANTES DE LAS CURVAS AJUSTADAS

N°	(mA)	(mA)	(1/V)
1	$A1 = 86,4 \pm 0,9$	$B1 = 0,56 \pm 0,12$	$C1 = 1,26 \pm 0,06$
2	$A2 = 70,3 \pm 0,5$	$B2 = 0,20 \pm 0,04$	$C2 = 1,48 \pm 0,04$
3	$A3 = 49,8 \pm 0,5$	$B3 = 0,46 \pm 0,02$	$C3 = 1,77 \pm 0,12$

Fuente: Valores de las constantes A, B y C, obtenidas con el software Logger Pro

3). Del circuito experimental de la Fig. 4.3, de la observación de las curvas I–V del GRÁFICO 4.1 y ecuaciones correspondientes obtenidas para los niveles de radiación o de corriente consideradas en el experimento, se deduce que el principal parámetro de diseño del circuito convertidor de voltaje es el valor de la resistencia R que se va a conectar en paralelo con las resistencias  $R_S$  y  $R_P$  del circuito real de la celda fotovoltaica de modo que nos genere para cualquier nivel de radiación solar incidente, una corriente similar a la de cortocircuito de la celda y por tanto un voltaje de salida entre sus terminales proporcional a la intensidad de radiación solar que se pretende medir.

4). Los resultados anteriores indican que la mejor resistencia de diseño del solarímetro está comprendida entre los valores de 0 ohm a 1 ohm, mucho mejor si este valor se aproximara a cero.

### C. IMPLEMENTACIÓN FÍSICA Y PRUEBA DEL CIRCUITO DE CONVERSIÓN CORRIENTE / VOLTAJE:

a). Procedimiento:

Considerando la conclusión 2) anterior, mediante asociaciones de resistencias en paralelo con resistencias de valor  $1\Omega$ , se construyó una equivalente de valor  $0,2\text{ ohm}$  en serie con una resistencia variable puesta al valor de cero. Esta última para utilizarla posteriormente en el proceso de calibración.

La resistencia de diseño antes de ser conectada al circuito de la celda fue medida por el Puente de Wheatstone, pero su valor cambió al valor de  $0,38\text{ ohm}$  cuando se añadió el cableado para ser conectada al circuito de la celda y para el acoplo con la etapa siguiente.

#### D. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA CONVERSIÓN I/V:

##### a). Resultados:

La resistencia neta de diseño considerada de valor de  $0,38\ \Omega$  nos genera voltajes de salida inferiores a los  $0,05\text{ voltios}$ , según se visualiza en la TABLA 4.7, a la vez que nos asegura una corriente equivalente a la de cortocircuito de la celda.

**TABLA 4.7**  
**VOLTAJES GENERADOS POR LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $R = 0,38\ \Omega$ ,  
PARA LOS TRES NIVELES DE INTENSIDAD DE CORRIENTE**

N°	R ( $\Omega$ )	I (mA)	V (V)
01	0,38	50	0,019
02	0,38	70	0,027
03	0,38	85	0,032

Fuente: Curvas I-V del GRÁFICO 4.1

El circuito de la celda incluída la resistencia de diseño fue probada con incidencia solar y utilizando como dispositivo de salida un multímetro digital. De acuerdo con teoría, se verificó que dichas lecturas eran pequeñas del orden de los milivoltios, por cierto muy inestables debido posiblemente al tiempo de respuesta de multímetro.

b). Conclusiones:

- 1). El circuito de detección del sistema, es de tipo analógico y consta de un transductor de entrada representado por la celda fotovoltaica, que convierte la radiación solar incidente en una señal eléctrica proporcional a ésta y que está representada por la intensidad de corriente en miliamperios que aparece en el circuito de la celda.
- 2). En segundo lugar el circuito convertidor de voltaje, consta de la resistencia R de diseño que se conecta en paralelo con la celda y cuyo valor medido es de 0,38 ohm y de cuyos extremos se obtiene la señal analógica de salida traducida en voltaje del orden de los milivoltios.
- 3). Puesto que la señal a la salida del circuito acoplado de detección y de conversión a voltaje, es del orden de los milivoltios y por principio la etapa de conversión A/D solo acepta valores del orden de los voltios o mayores desde la etapa anterior; por tanto se concluye que esta señal se tiene que ser amplificada.

#### **4.4.1.4. Amplificación de la señal de voltaje**

##### **A. OBJETIVOS:**

- a). Elevar el nivel de voltaje de la señal a la salida del circuito de la primera etapa de acondicionamiento, al nivel de voltaje requerido para su reconocimiento y conversión al formato digital.
- b). Asegurar que la señal a la salida de este circuito se encuentre en fase con la señal a la entrada del mismo (diferentes sólo en amplitud).
- c). Implementar físicamente el circuito eléctrico que haga posible la amplificación de la señal de voltaje obtenido en la etapa anterior.

## B. EXIGENCIAS TECNOLÓGICAS PARA LA ELECCIÓN DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

La metodología está sujeta a ciertas exigencias tecnológicas concordantes con las bases teóricas, como son:

- a). El amplificador elegido debe tener un voltaje de alimentación de 5V, que son los voltajes de trabajo disponibles a partir del Sistema de Alimentación de la tarjeta de desarrollo de proyectos electrónicos.
- b). El amplificador elegido debe proporcionar una ganancia de 1000, para convertir las lecturas en milivoltios obtenidas a la salida del circuito de conversión I/V al orden de los voltios.

## C. METODOLOGÍA:

Teniendo en cuenta que en los tiempos modernos el diseño virtual precede a la implementación física, luego se ha considerado como metodología, primero con el amplificador elegido implementar el circuito de esta etapa en forma virtual con su prueba de simulación respectiva y luego llevar a cabo la implementación física.

#### D. PROCEDIMIENTO GENERAL:

- a). Realizar un breve estudio de los fundamentos para la amplificación de señales eléctricas.
- b). Buscar en la bibliografía, manuales técnicos, en las bases de datos de dispositivos electrónicos de la red de internet, toda información relacionada con la existencia tecnológica de amplificadores operacionales, sus propiedades, posibles configuraciones, ganancia y voltajes de trabajo y elegir aquel que se adapte a la exigencias tecnológicas que se requiere para el caso.
- c). Elegir una herramienta tecnológica o software de simulación en electrónica entre los existentes, que permita diseñar y probar por computadora el circuito amplificador para esta parte del proyecto.
- d). Si el diseño, implementación y prueba virtuales funcionan correctamente, proceder a implementarlo físicamente, con la adquisición en el mercado del amplificador deseado, dispositivos y materiales complementarios respectivos.

#### E. SELECCIÓN DEL AMPLIFICADOR Y CONFIGURACIÓN:

El resultado de la indagación teórica y tecnológica sobre amplificadores, se encontraron dos amplificadores operacionales variables del tipo no inversor y sus configuraciones; que satisfacen las exigencias tecnológicas anteriormente indicadas. Ellos fueron los integrados MAXIM 478 y el LM324; finalmente se descartó el primero por no ser tan común y no estar disponible en el mercado.

Del mismo modo, la configuración elegida es la que se muestra en la Fig. 4.5 que va a permitir obtener una señal eléctrica semejante y en fase con la real detectada.

#### F. IMPLEMENTACIÓN VIRTUAL DEL CIRCUITO AMPLIFICADOR:

El circuito de la etapa de amplificación está determinado por la configuración que se muestra en la Fig. 4.5 con su elemento principal el amplificador LM324 seleccionado y otros elementos que a continuación se señalan y que servirán tanto para el diseño virtual como para la implementación física del circuito amplificador:

##### a). Requerimientos:

- \* Un amplificador operacional LM324.

Cuya alimentación de operación varía de 3,0 V a 32 V y su presentación comercial es tal que, cuatro de estos amplificadores vienen encapsulados en un solo chip.

- \* Resistencia variable  $R1 = 1\text{ M}\Omega$  (deducida de la ganancia).
- \* Resistencia fija  $R2 = 1\text{ k}\Omega$  (deducida de la ec. De la ganancia).
- \* Fuente de alimentación  $V = 5\text{ V}$
- \* Conexión a tierra.
- \* Una computadora personal.
- \* Software PROTEUS 6 Profesional

El software PROTEUS 6 profesional, es una herramienta de diseño y prueba de proyectos electrónicos muy adecuado para nuestro propósito ya que dentro de su librería tiene incluidos a diferentes elementos y dispositivos de la tecnología electrónica disponible en

el mercado y los reconoce por sus códigos, con sus características y propiedades respectivas en el momento del trabajo virtual con ellos como si se estuviera trabajando físicamente en el laboratorio.

b). Procedimiento:

- 1). En la PC instalar el software PROTEUS 6 Profesional.
- 2). Instalado este software cargar el Programa ISIS profesional.
- 3). Estando en la pantalla de trabajo de este programa:

Activar el ícono de menú PICK DIVICES, y jalar al área de diseño los siguientes elementos:

- \* Un amplificador operacional LM324.
- \* una batería (BATTERY B1) de voltaje  $E = 5 \text{ VCD}$ .
- \* dos potenciómetros (POT LIN) con valores de resistencias variables:  $R = 0 \Omega - 100 \text{ k} \Omega$  y  $R1 = 0 \Omega - 1 \text{ M}\Omega$
- \* Una resistencia fija (3WATT1K) de valor  $R2 = 1 \text{ k}\Omega$ ,

- 4). Estando en la pantalla de trabajo de este programa:

Activar el ícono VIRTUAL INSTRUMENTS y jalar al espacio de diseño:

02 voltímetros virtuales  $V_i$  (señal de entrada) y  $V_o$  (señal de salida).

- 5). Finalmente:

Activar el ícono INTER SHEET TERMINAL y jalar al área de diseño:

Los terminales DEFAULT (conector), INPUT (entrada), OUTPUT (salida), POWER (alimentación), GROUND (tierra).



- 6). Con estos elementos edificar el circuito amplificador, tipo no inversor, con resistencia variable de acuerdo con el circuito de la Fig. 4.4 , dado a continuación:

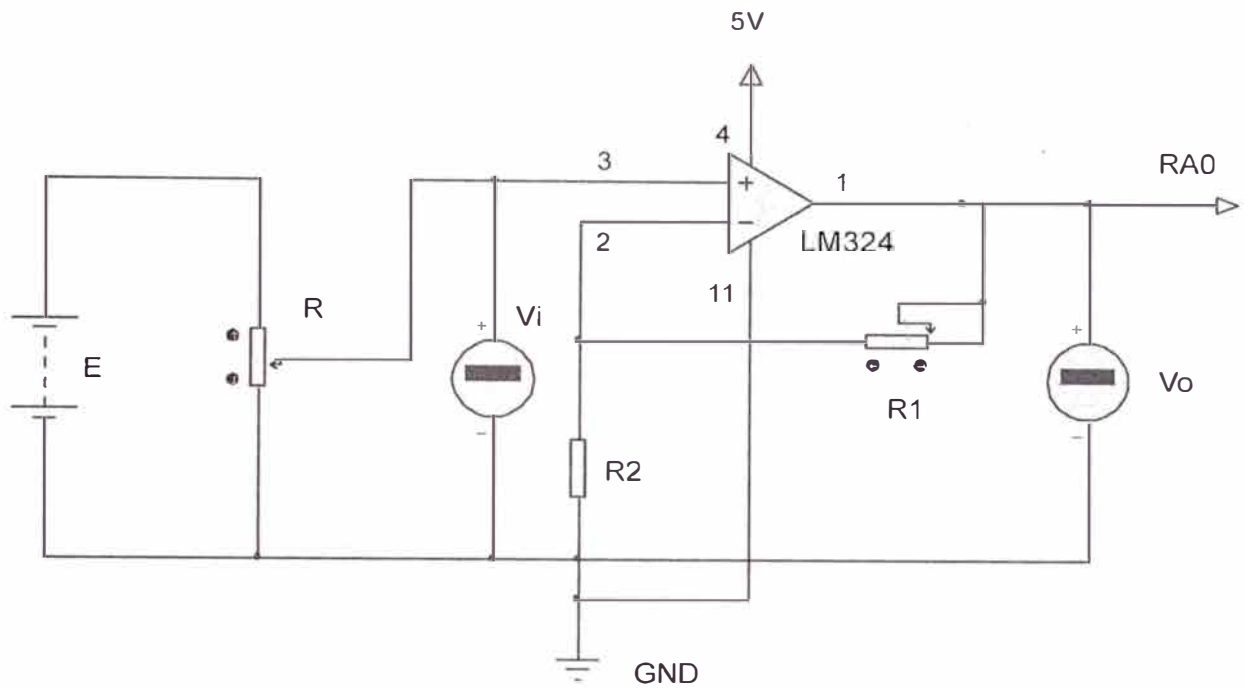


Fig. 4.4. - Circuito amplificador para propósitos de prueba por simulación

- 7). Dar valores arbitrarios a la resistencia variable R hasta conseguir un rango de resistencias de modo que en el voltímetro Vi se tenga lecturas de voltajes del orden de los milivoltios. Dichas lecturas se observan mediante la activación del simulador, presionando con el Mouse el botón triangular de activación y luego desactivarlo con el botón cuadrado de desactivación, para continuar con el trabajo de exploración.
- 8). Logrado el objetivo buscado en el paso 5, asignar a la resistencia fija R2 el valor referencial de  $1000\ \Omega$  y luego variando la

resistencia R1, encontrar un rango de valores que den lecturas en el voltímetro Vo del orden de los voltios. Es mas, ajustar el valor de la resistencia variable R1 al valor que permita amplificar los valores de entrada Vi (del orden de los milivoltios) a los mismos valores pero multiplicados por 1000, esto es al orden de los voltios o sea los valores Vo a la salida del amplificador. En otras palabras verificar con el simulador la ecuación de la ganancia del amplificador implementado y que está dado por:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \approx 1000 \quad (4.4)$$

c). Resultados:

El diseño virtual implementado funcionó correctamente dando los resultados esperados, por tanto los valores de las resistencias que formarán parte de la configuración en el circuito del amplificador son los siguientes:

- 1). El resistor variable R se encuentra en el rango de 0  $\Omega$  y 100 k $\Omega$ .
- 2). El resistor variable R1 se encuentra en el rango de 0  $\Omega$  y 1 M $\Omega$ .

#### G. IMPLEMENTACIÓN FÍSICA DEL CIRCUITO AMPLIFICADOR:

El circuito del amplificador se instaló en el lado opuesto del circuito de detección de la señal pero dentro de la misma tarjeta, utilizando los elementos físicos de la relación de materiales dada anteriormente pero con la resistencia variable en el rango R1 = 0  $\Omega$  – 1 M $\Omega$  y de acuerdo con el esquema de la Fig. 4.5.

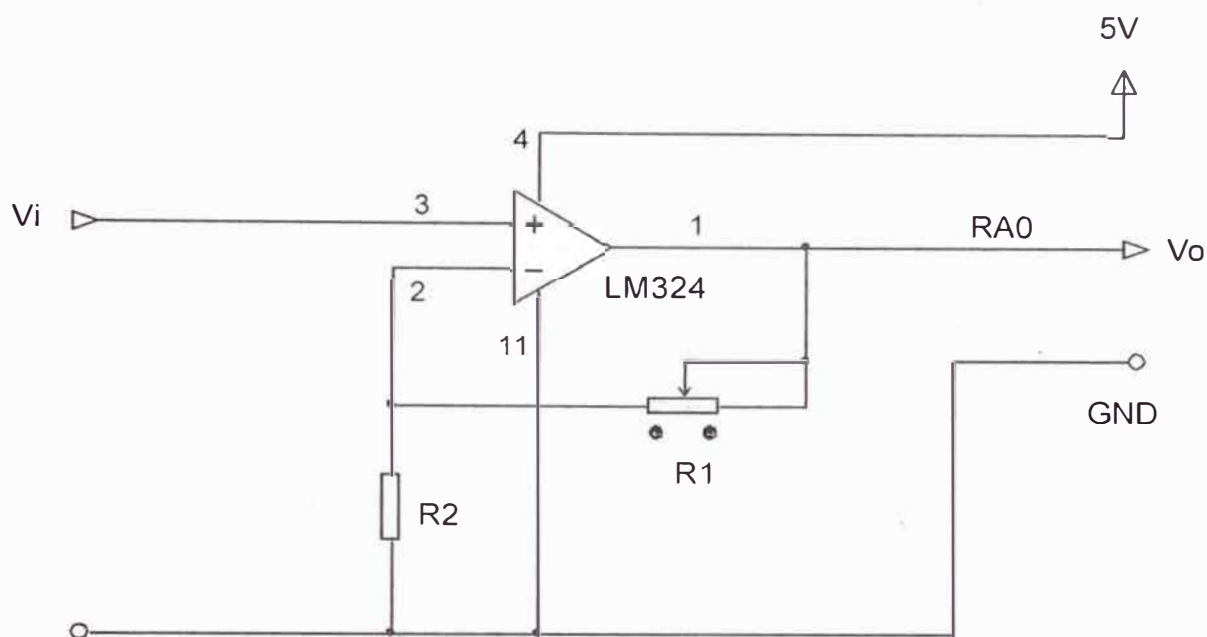


Fig. 4.5. - Esquema del Circuito del amplificador para su implementación física

#### 4.4.1.5. Acoplamiento de los Circuitos de Detección y de Acondicionamiento

Consiste en el acoplamiento secuencial de los tres circuitos: de detección, de conversión I/V y del amplificador. Esto se consigue conectando los terminales de la señal de salida del circuito de conversión I/V con el terminal de entrada del circuito amplificador; del mismo modo uniendo los terminales GND de dichos circuitos en uno común al bloque; todo ello dentro de la unidad analógica. Ver el circuito de la Fig. 4.6

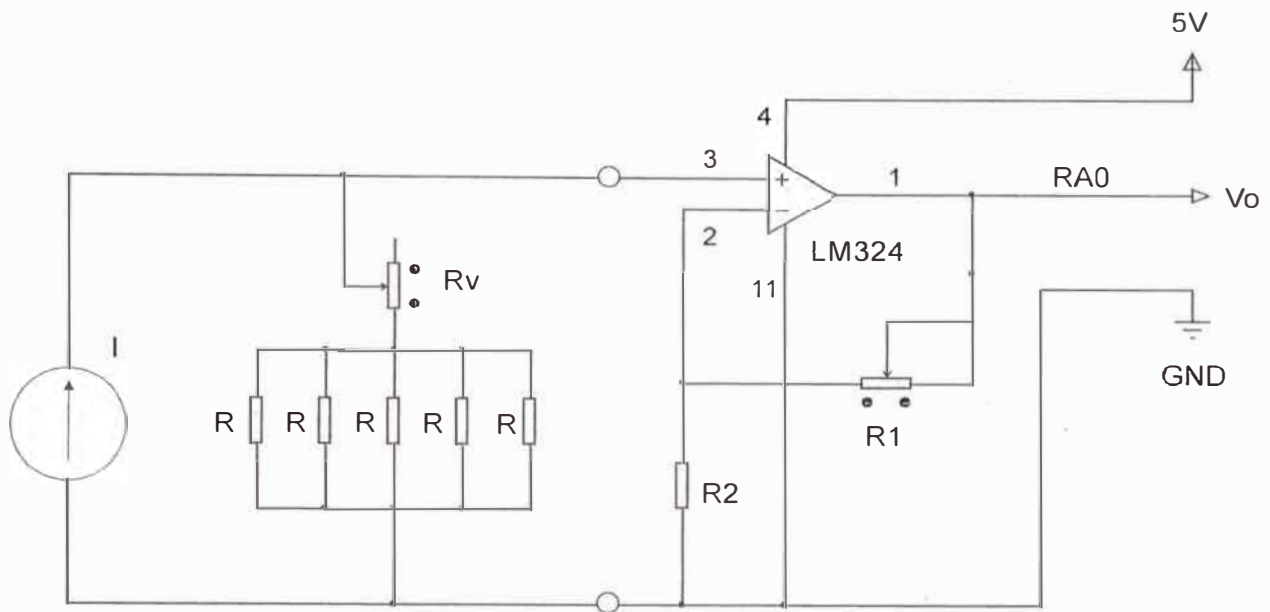


Fig. 4.6. - Acoplamiento de las etapas de Detección y Procesamiento Analógico

Como se observará de este nuevo bloque salen tres terminales que se dirigen hacia la unidad digital. El primero de ellos, que lleva la tensión de alimentación de 5 voltios desde la unidad digital al amplificador LM324 en la unidad analógica. El segundo, que lleva la señal de interés hacia el microcontrolador vía el pin RA0 para su lectura y procesamiento digital respectivo. Y el tercero, que aterriza al bloque acoplado con el punto GND del sistema en la unidad digital.

## 4.4.2. CONVERSIÓN ANALÓGICA DIGITAL

### 4.4.2.1. Objeto

Convertir la señal analógica obtenida a la salida del circuito acoplado de las etapas de Detección y de Procesamiento analógico en señal digital mediante el Convertidor Analógico Digital (A/D) del microcontrolador.

#### **4.4.2.2. Procedimiento**

Para que la conversión A/D sea posible, el cable a la salida de la etapa de amplificación que lleva la señal desde la unidad analógica a la unidad digital, debe ser conectada al puerto RA0/NA0 del microcontrolador a través del cual su periférico el Convertidor A/D la reconoce y captura y finalmente se encarga de hacer la conversión al formato digital. Ver Diagrama de Componente del solarímetro Fig. 4.13

Recuérdese que con las funciones de acondicionamiento que se practicaron con la señal, en las etapas anteriores, se ha logrado que el rango dinámico de la señal sea igual o mayor que el rango dinámico a la entrada de cualquier sistema de adquisición de datos, hecho que va a maximizar la resolución del Convertidor Analógico Digital. Ver pag. 42

### **4.4.3. PROCESAMIENTO DIGITAL**

#### **4.4.3.1. Objetivos**

##### **A. OBJETIVOS GENERALES:**

- a). Llevar a cabo el procesamiento digital de la señal eléctrica de interés, captada desde la unidad analógica, expresar los resultados a través de dos magnitudes físicas útiles para el usuario, una de ellas la Intensidad de Radiación Solar (medida instantánea) y la Energía por unidad de Área (medida acumulativa), asignándoles en cada caso, un número y sus unidades correspondientes de ( $W/m^2$ ) y ( $kWh/m^2$ ).

- b). Garantizar con el formato digital que los resultados del procesamiento, sean una medida fidedigna de los valores reales de la variable de entrada.
- c). Controlar la comunicación de los resultados a través del dispositivo o dispositivos de salida elegidos.

#### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a). Tomar conocimiento de las características y propiedades de los diferentes dispositivos y componentes que van a constituir el hardware de la solución.
- b). Construir el Algoritmo de Medida acorde con la tecnología utilizada, que gobierne el funcionamiento del Sistema.
- c). Implementar la etapa de procesamiento digital del sistema de medida en forma virtual y física integrando las componentes de ciencia y la tecnología.
- d). Simular el funcionamiento del sistema de medida.

#### 4.4.3.2. El Problema

El problema consiste entonces en como constituir un sistema que a las dos propiedades observables de salida: la Intensidad de Radiación Solar (potencia por unidad de área) en unidades de watts por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ ), y la Energía acumulada por unidad de área (intensidad de radiación solar integrada en un periodo de tiempo) en unidades de kilowatt hora por metro cuadrado ( $\text{kWh/m}^2$ ), de interés para el usuario, les asigne un valor numérico respectivo, seguido de sus correspondientes unidades, que

se visualicen en el dispositivo de salida elegido y que estas cantidades constituyan una medida fidedigna de su magnitud real.

#### **4.4.3.3. La solución**

La solución del problema demanda constituir un sistema en base a software y hardware que trabajando sintonizada y armónicamente den respuesta a los requerimientos del usuario, sobre la medida de la radiación solar expresada a través de las dos funciones físicas señaladas en la parte del problema.

El algoritmo de medida o parte inteligente, que finalmente quedará traducido en un programa que gobierne el funcionamiento del sistema de medida en proyecto, está estrechamente relacionado con la tecnología del circuito electrónico en el cual se implementará dicho algoritmo.

#### **4.4.3.4. Tecnologías utilizadas**

##### **A. HARDWARE**

Después de realizar un estudio de la tecnología y aplicaciones prácticas que tienen los microcontroladores en los momentos actuales y las necesidades que tenemos para implementar nuestro sistema de medida, llegamos a la conclusión de que podíamos utilizar para nuestro propósito al PIC16F877A fabricado por Microchip y de otros requerimientos que a continuación se señalan:

- a) UNA TARJETA COMERCIAL PARA DESARROLLO DE PROYECTOS ELECTRÓNICOS CP-PIC877 V1.0, ETT CO., LTD.

Esta fue adquirida por importación vía comercio electrónico y es una tarjeta de circuitería impresa y que tiene varios componentes entre ellos al más importante, el microcontrolador, y espacio adicional que permite al usuario hacer otras instalaciones adicionales de acuerdo a necesidad.

Componentes principales de la tarjeta:

- El Microcontrolador PIC16F877, de Microchip.
- El circuito regulador de la Fuente de Alimentación.
- Puertos de entrada y salida.
- Zócalos para otros circuitos integrados varios como memorias EEPROM, externa, de reloj, convertidores de niveles TTL a niveles RS232 y viceversa, etc.

Ver Diagramas de bloques de la Tarjeta de Desarrollo de Proyectos Electrónicos CP PIC877 V 1.0, de los Anexos N° 01-A y N° 01-B

#### b) BATERÍA DURACELL – 9 VDC

Es la fuente primaria que va a alimentar el sistema y que se conecta al Circuito Regulador que se encuentra en la tarjeta CP-PIC877 V1.0.

#### c) CIRCUITO REGULADOR DE LA FUENTE DE PODER

Como se describió en el párrafo anterior, éste es un circuito que viene implementado de fábrica sobre la tarjeta PIC877 V1.0 y que conjuntamente con la batería conforman el sistema de alimentación del solarímetro. Este circuito, va a transformar el voltaje  $VDC = 9\text{ V}$  de la batería al voltaje de salida de  $V_{cc} = 5\text{ V}$ , que a su vez es el voltaje de trabajo para todos los dispositivos de la tarjeta CP-PIC877 V1.0



Cabe indicar que la FEM de la fuente primaria del sistema de alimentación del equipo, la puede proporcionar otra batería o dispositivo de voltajes VDC comprendidos entre los 0V y los 12V.

Ver Fig. 4.7

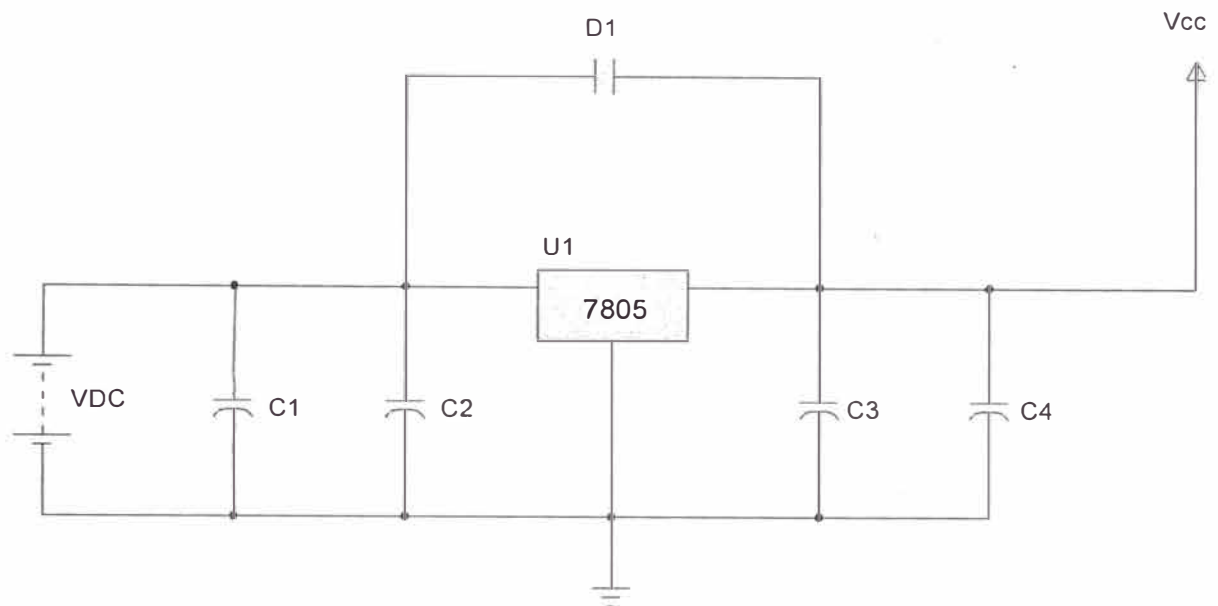


Fig. 4.7. Fuente de Alimentación del Solarímetro (Batería VDC + Regulador)

#### d) EL MICROCONTROLADOR PIC16F877

[ANG 06] y Es el dispositivo principal de la tarjeta de desarrollo, es intercambiable y es común encontrarlo en el mercado nacional como internacional Su uso se hace interesante ya que se adapta con la abundante información y herramientas de diseño existente en el mercado en aplicaciones especializadas. Por otra parte su manejo es sencillo y tiene un buen promedio elevado en los parámetros: velocidad, consumo, tamaño, alimentación, etc.

El microcontrolador PIC16F877 de 40 pines, perteneciente a la familia PIC16F87X, es muy potente en recursos y tiene como características más relevantes: a) dispone de 5 puertos (PA, PB, PC, PD, PE) de Entrada/Salida con un total de 33 líneas para conectar a periféricos exteriores; b) Su Convertidor A/D tiene 8 canales de entrada; c) sólo los de esta especie integran una puerta paralela esclava y d) en este modelo existen 15 causas de interrupción.

Internamente el microcontrolador posee varios elementos como son: el procesador, memoria de programa, memoria de datos, periféricos, contadores entre otros. El procesador viene representado por la Unidad Aritmético Lógica (ALU) y su Registro de trabajo (W). Ver diagrama de bloques del microcontrolador PIC16F87X, Anexo N° 02.

### **1). Características del Microcontrolador PIC16F877**

- Posee un procesador de arquitectura RISC (con un número reducido de instrucciones, las cuales casi todas las realiza en el mismo tiempo), Tiene dos bloques de memoria separadas para instrucciones y para datos (arquitectura Harvard) trabajándolas por separado, por tanto tiene dos buses independientes de direcciones y también de datos. Tiene un ancho de banda mejorado en virtud de que el bus de datos es de 14 bits frente al bus de datos de 8 bits de un bus tradicional de la arquitectura Von Newman. [ANG 06]. Ver Anexo N° 03.

- Posee un juego de 35 instrucciones con 14 bits de longitud.  
Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, las de salto tardan dos.
- Frecuencia de 20 MHz.
- Posee hasta 8 k palabras de 14 bits para la MEMORIA DE CODIGO, tipo FLASH.
- Hasta 368 bytes de Memoria de Datos RAM.
- Hasta 256 bytes de Memoria de Datos EEPROM.
- Hasta 15 fuentes de interrupción internas y externas.
- Pila con 8 niveles.
- Modos de Direccionamiento Directo, Indirecto y Relativo.
- Perro Guardián (WDT).
- Código de protección programable.
- Modo SLEEP de bajo consumo.
- Programación serie en circuito con dos patitas.
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 V y 5,5 V.
- Bajo consumo (menos de 2 mA, a 5 V y 5 MHz).

## **2). Periféricos Internos del Microcontrolador PIC16F877**

- TIMER0: Temporizador – Contador de 8 bits, con predivisor de 8 bits.
- TIMER1: Temporizador – Contador de 16 bits, con predivisor.
- TIMER2: Temporizador – Contador de 8 bits, con predivisor y postdivisor.
- Dos módulos de Captura – Comparación – PWM.

- Convertidor Analógico Digital de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono (SSP) con SPI e I2C.
- USART
- Puerta Paralela Esclava (PSP).
- Módulos de Comparación Analógicos en el PIC16F877A

### **3). Pines más importantes:**

En la fig. 4.8, se visualiza al microcontrolador PIC16F877 con sus 40 pines.

OSCI1/CLKIN (13):

Es la entrada para el oscilador o cristal externo.

OSCI2/CLKOUT (14):

Es la salida para el oscilador o cristal externo.

MCLR/VPP/THV (01):

Es el pin de reinicialización del microcontrolador, también se usará como entrada o pulso de grabación al momento de programar el dispositivo.

RA0/AN0 (02):

Se utilizará como entrada analógica del Convertidor A/D del microcontrolador. Esto es, funcionará como la entrada de la señal que viene desde la etapa de detección hacia el microcontrolador para su procesamiento.

RB0/INT (33):

Funcionará como puerto B bidireccional o como entrada para solicitar una interrupción, específicamente para el borrado de la memoria externa EEPROM.

RC3/SCK/SCL (18) Y RC4/SDI/SDA/ (23)

Excepcionalmente podrían ser utilizadas como entradas o salidas digital de los módulos SPI o de memorias EEPROM externas.

RDO/PSP0 – RD7/PSP7 (19), (20), (21), (22), (27), (28), (29) Y (30):

Las 8 patitas de esta puerta se utilizarán como entradas o salidas digitales o como líneas para la transferencia de información hacia la etapa de la comunicación.

VDD (11) y (32):

Son las puertas de entrada para la fuente de alimentación de 5 V que necesita el microcontrolador.

VSS (12) y (31):

Son las salidas del microcontrolador para la conexión al punto de tierra general que se encuentra en la tarjeta de desarrollo.

Los recursos y periféricos internos del microcontrolador PIC16F877, se muestran en el Diagrama de Bloques de este integrado del Anexo N° 02



Fig. 4.8 Vista del microcontrolador PIC16F877 y sus 40 pines

#### 4). Periféricos externos más importantes:

EL OSCILADOR EXTERNO O CRISTAL DE 4 MHz:

Conectado al microcontrolador a través de los pines OSC1/CLKIN y OSC2/CLKOUT, es el dispositivo encargado de generar los pulsos (Q1, Q2, Q3 y Q4) , necesarios para que los procesos de búsqueda y ejecución de cada instrucción sea posible.

LAS MEMORIAS EXTERNAS EEPROM:

Las memorias eléctricamente borrables, cumplen la función de leer y almacenar la data para su procesamiento luego almacenar la información procesada.

EL INTEGRADO MAXIM 232CPE 0723

Muy utilizado para efectos de comunicar el Sistema de Medida con una PC.

## B. SOFTWARE

Aunque como se trató en el Capítulo II, Microchip no solamente es fabricante de sus microcontroladores como dispositivos físicos sino que también para ellos ha creado el Entorno de Desarrollo MPLAB y sus herramientas, para efectuar las tareas de edición y ensamblaje del programa fuente codificado en lenguaje C, luego la simulación, depuración de errores y finalmente la grabación de la solución en el microcontrolador.

Otra vez, la flexibilidad que se tiene de trabajar con sistemas digitales programables, todas aquellas tareas desde la codificación del programa hasta la simulación y prueba es posible efectuarlo utilizando versiones especializadas del lenguaje C como son el software MIKRO C o el CCS 4.057. Para la grabación de la solución en el microcontrolador se utiliza el software WINPIC – 800.

Así mismo, el diseño de una aplicación es factible realizarlo utilizando software de simulación electrónica como es el caso del Proteus 6.2 (Ventajas: Diseño del circuito y prueba de su funcionamiento en modo virtual utilizando su base actualizada de dispositivos electrónicos, equivalentes a los físicos que se ofertan en el mercado, y que posee dicho software).

#### 4.4.3.5. Construcción del Algoritmo de Medida

##### A. REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS

- a). Tomar conocimiento del funcionamiento y utilidad de los diferentes recursos y periféricos internos que apoyan el trabajo del microprocesador (ALU) dentro del microcontrolador como son (Puertos de E/S, Memoria de programa, Memoria RAM, Memorias EEPROM, buses, multiplexores, osciladores, timers, etc.), así como de los periféricos externos al mismo; para efectos de tenerlos en cuenta durante la elaboración del programa que constituye el algoritmo de medida.
- b). Software VISIO para la elaboración de Diagramas de Flujo.
- c). Software MIKRO-C para la codificación, compilación, depuración de errores y prueba del programa elaborado.

##### B. PROCEDIMIENTO

La construcción del Algoritmo de Medida final, está representado y resumido en los Diagramas de Flujo elaborados como solución del Sistema, utilizando el software VISIO. Ver Figs. 4.9 y 4.10

Como se observa en estos diagramas, se encuentra involucrada la tecnología utilizada para implementar dicho algoritmo. Además de que en la elaboración del programa se han incluido algunas operaciones matemáticas, conversiones, asignación de unidades y los métodos de integración numérica como es la **Regla del**



**TRAPECIO** para el cálculo de la energía acumulada por unidad de área [CAR 07].

En una primera instancia el Programa fuente del Algoritmo, en una primera etapa del trabajo, fue codificado, y compilado utilizando el software MIKRO C. Después de depurar los errores sintácticos, se procedió a simularlo verificando la validez de la solución.

Finalizando el año 2008, esta configuración y el Programa Solución, codificado en MIKRO-C, habían satisfecho las pruebas de calibración, así como la captura y procesamiento de la data para las curvas de Intensidad de Radiación; pero lamentablemente el programa no funcionó normalmente para el procesamiento que el sistema debería realizar con la variable Energía acumulada por unidad de área; por esta razón el programa solución tuvo que ser reconfigurado codificándolo en el software CCS 4.057. Con esta solución el sistema viene funcionando a satisfacción para las dos funciones de interés, sumado a otros reajustes en hardware que se han tenido que efectuar en esta etapa de desarrollo del prototipo.

En esta oportunidad, se han elaborado dos diagramas de flujo, uno de ellos corresponde al Programa Principal y el otro secundario correspondiente de Sub-rutina y que se muestran en las Figs. 4.9. y 4.10.

#### **4.4.3.6. Implementación del Algoritmo de Medida**

Finalmente la solución deseada, plasmada en el programa compilado, fue grabada en el microcontrolador haciendo uso de un dispositivo grabador electrónico y el software WINPIC – 800.

#### **4.4.3.7. Implementación virtual y física de la Etapa de Procesamiento Digital**

Tal y como se advirtió anteriormente, la implementación física de la Etapa de Procesamiento Digital va de la mano con la construcción del Algoritmo de Medida (Programa), el cual es grabado en la Memoria de Programa del microcontrolador; es decir que para que el programa se ejecute correctamente deben estar conectados, acompañando al microprocesador del microcontrolador, todos los periféricos internos y externos, que estén involucrados con las tareas que éste tendrá que realizar.

##### **A. REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN FÍSICA DEL CIRCUITO**

Los dispositivos y componentes electrónicos principales que finalmente sirvieron para la implementación de este circuito son:

- **Tarjeta Comercial para Desarrollo de Proyectos Electrónicos CP – PIC877 V1.0, ETT CO., LTD.-** Con conexiones internas de fábrica, y dispositivos electrónicos base ya indicados anteriormente. Ver Anexos, Pag. 213.

Fig. 4.9. Diagrama de Flujo del programa Principal

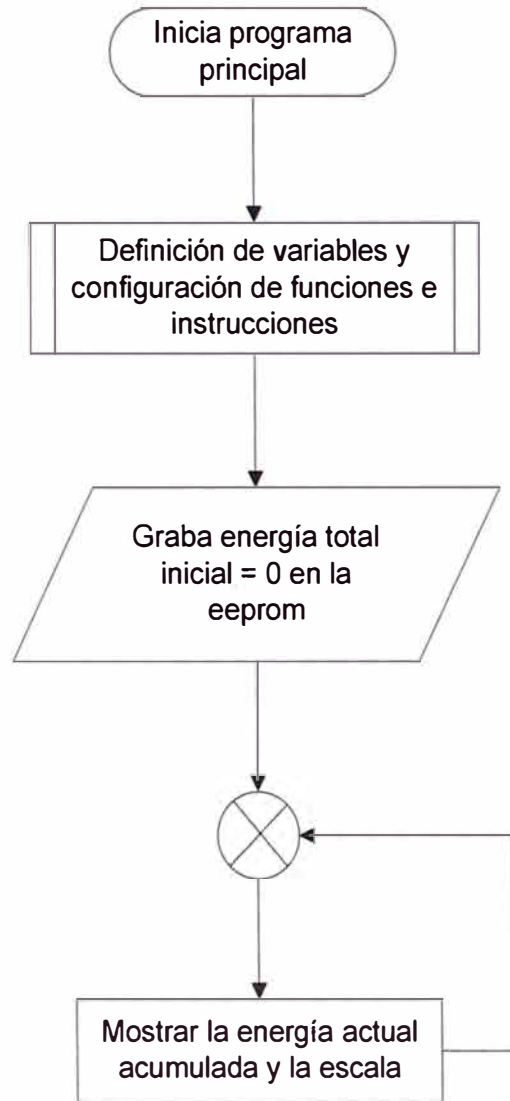
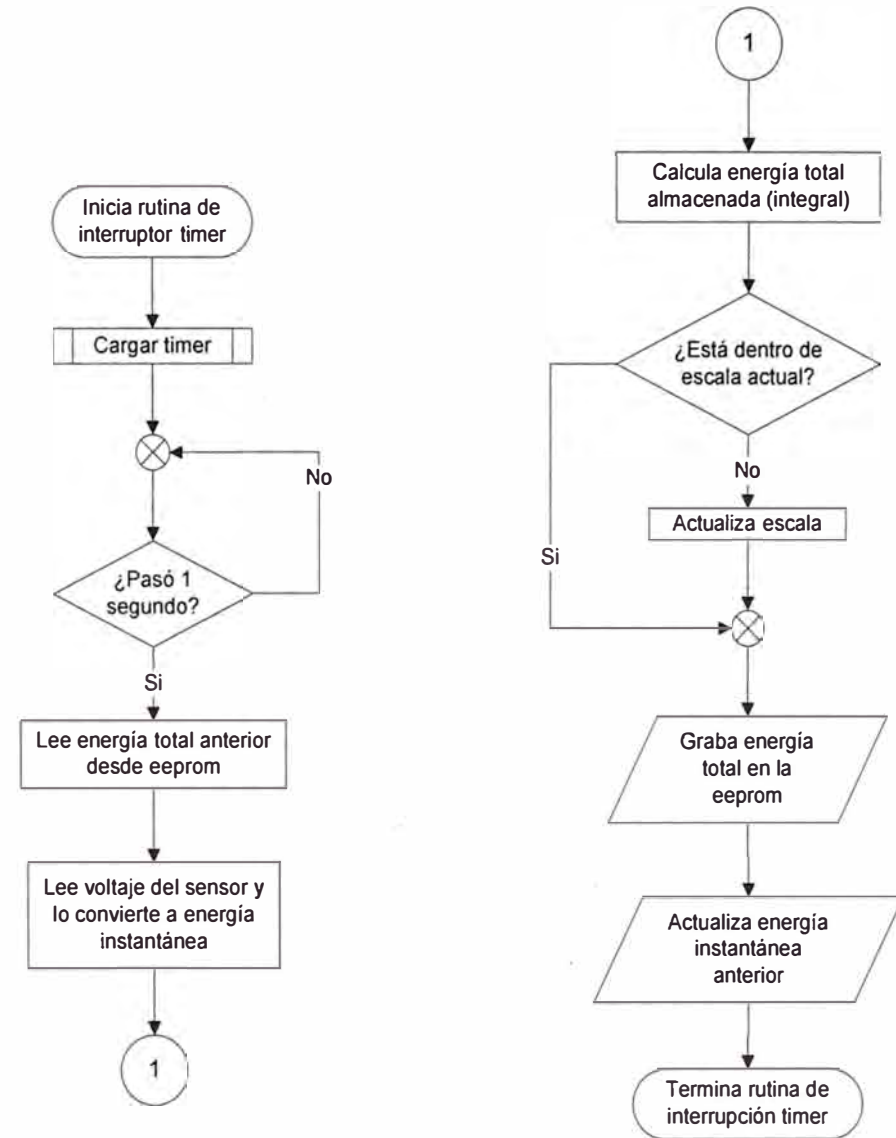


Fig. 4.10. Diagrama de Flujo del programa sub-rutina



Por tanto, de esta tarjeta se requieren:

- El Microcontrolador PIC16F877 (Integrado de 40 pines).
- La Memoria EEPROM interna del microcontrolador.
- Cristal de  $f = 4 \text{ MHz}$ .
- Fuente de alimentación con voltaje de salida  $V_{cc} = 5 \text{ V}$ .
- Sistema de Reinicialización de Memoria (para instalar).
- El oscilador Externo o Cristal de 4 MHz.
- Integrado MAXIM 232CPE 0723.

También serán necesarios:

- Los Diagramas de Bloques de la Tarjeta CP PIC16F877 V1.0, obtenida del manual de la tarjeta.
- Software PROTEUS.

## B. PROCEDIMIENTO

Una vez grabado el Programa solución en la memoria de programa del Microcontrolador, para completar la implantación del algoritmo en el sistema, se tuvieron que realizar las acciones siguientes:

- La implementación física del Sistema de Reinicialización de Memoria.
- Elaboración del Diseño esquemático del Circuito del Sistema de Medida.
- Simulación y Prueba del funcionamiento del Sistema.

### **a) Implementación física del Sistema de Reinicialización de Memoria**

### OBJETO:

Es una instalación adicional que se tuvo que implementar físicamente en la tarjeta de desarrollo con la finalidad de borrar de la memoria EEPROM toda la información (Energía por unidad de área) almacenada producto de mediciones anteriores, para empezar una nueva desde cero.

### DISPOSITIVOS Y MATERIALES:

- Software PROTEUS 6.2
- Los Diagramas de Bloques de la Tarjeta CP PIC16F877 V1.0, obtenida del manual de la tarjeta.
- Resistencia fija,  $R = 12\text{ k}\Omega$
- Memoria interna EEPROM del Microcontrolador
- Punto de Alimentación  $V_{cc} = 5\text{ V}$
- Pulsador o jumper.
- Pin RB0 (33) del microcontrolador
- Punto de tierra.
- Pantalla LCD.
- Cable, cautín y soldadura de estaño.

### PROCEDIMIENTO

La instalación se muestra en la parte superior izquierda tanto del Diagrama de Componentes del Sistema, Fig.4.12.

Según este circuito, la información grabada en la memoria se mantiene mediante el voltaje  $V_{cc} = 5\text{ V}$  a través del resistor  $R$  y se borra manualmente descargándola a tierra mediante el

cambio de posición del jumper de la posición (1-2) a la (2-3) para volverla de inmediato a la posición original (1-2) y dar inicio al nuevo proceso de medición.

**b) Elaboración del Diseño esquemático del Circuito del Sistema de Medida.**

Instalado el Software PROTEUS 6.2, se ingresó al entorno de diseño ISIS, luego utilizando sus recursos de sus menues, se jalaron desde su base de datos, al área de trabajo todos los elementos y dispositivos señalados en la parte de requerimientos de la sección 4.4.3.7; luego con la ayuda de los Diagramas de bloques de la tarjeta de Proyectos CP PIC16F877 , se realizaron las conexiones indicadas entre el Microcontrolador y todos sus periféricos externos involucrados en el sistema incluida la pantalla LCD.

Finalmente, se efectuaron las conexiones físicas correspondientes tal y como se muestran en la Fig. 4.12.

**c) Simulación y Prueba del funcionamiento del Sistema.**

Realizadas todas las conexiones entre el microcontrolador y los periféricos externos, la simulación se llevó a cabo activando la opción de simulación del software, enviando como señal voltajes variables generados por la variación de una resistencia variable.

Luego utilizando el equipo físico conectada a una computadora implementada con una aplicación en LABVIEW; quedando probado el funcionamiento correcto equipo como sistema.

## **4.5. ETAPA DE COMUNICACIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **4.5.1. OBJETIVO**

Comunicar los resultados de la data procesada o información de salida a través de los dispositivos de salida.

### **4.5.2. DISPOSITIVOS UTILIZADOS Y CONEXIONES**

Para visualizar los resultados de la solución se ha utilizado como dispositivo de salida propio del equipo una pantalla LCD, digital no luminoso y los puertos de E/S del microcontrolador RDO, RD4, RD5, RD6, y RD7, además los puntos de alimentación y tierra VDD y VSS respectivamente (pines 19, 27, 28, 29, y 30 en el microcontrolador y pines 1, 2, 3, 4, 11, 12, 13 y 14 en la pantalla LCD).

Conexiones en la Pantalla LCD: 1-VSS ; 2-VDD ; 3-VEE ; 4-RS ; 5-RW ; 6-E ; 11-D4 ; 12-D5 ; 13-D6 y 14-D7

Como se indicó en la sección 4.4.3.7, B, b); las conexiones físicas se realizaron después del diseño del circuito esquemático del sistema y con la ayuda de los diagramas de bloques de la Tarjeta de Desarrollo de Proyectos CP-PIC16F877.

Alternativamente, el sistema puede interactuar con una computadora personal para efectos de edición y grabado del programa en el microcontrolador o si se desea monitorear los datos a través de la computadora usando una aplicación en LABVIEW; enlace que se establece a través del integrado MAXIM 232 y su cable RS232.

#### **4.6. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA**

Es de esperar que el Algoritmo de Medida elaborado como la solución esperada por el usuario, no pueda funcionar aisladamente si el Sistema de Medida no está integrado físicamente desde la Etapa de Detección de la señal hasta la Etapa de Comunicación de los resultados. Luego en esta parte del trabajo se ha tratado de mostrar las conexiones finales realizadas que permiten integrar al Sistema de Medida en todas sus etapas y partes componentes.

##### **4.6.1. CONEXIONES FINALES**

El Sistema de Medida que se ha venido conformando por etapas finalmente quedará constituido por el acoplamiento de las Unidades Modulares, el Circuito Analógico y el Circuito Digital y su sub circuitos respectivos, además de la inserción de la BATERÍA DURACELL 9 VDC en la Tarjeta de Desarrollo de Proyectos Electrónicos.

##### **1). LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA**

La Fuente de Alimentación del Solarímetro se completa cuando la BATERÍA DURACELL 9 VDC, se acopla a la Tarjeta CP-PIC877, tal y como se explicó en la sección de implementación física del



algoritmo de medida y esquematizada en la Fig. 4.7. Alternativamente, la BATERÍA DURACELL 9V puede ser reemplazada por otra similar recargable, si el trabajo con el solarímetro se realiza en zona urbana.

## 2). CONEXIÓN ENTRE LOS CIRCUITOS ANALÓGICO Y DIGITAL

Del circuito analógico emergen tres vías de conexión. El primero que trae la tensión de alimentación desde el circuito digital al amplificador del circuito analógico. El segundo, que lleva la señal analógica de interés acondicionada hacia el Convertidor A/D del microcontrolador a través del Pin RA0/NA0. Finalmente, el tercero que conecta al circuito analógico del Sistema de Medida con el punto de tierra de la Tarjeta CP PIC877 V1.0 en el circuito digital.

Esta implementación finalmente fue posible efectuarla con éxito utilizando un CABLE DE ENLACE TIPO AUDIO HURRICANE ESTANDAR de alta calidad, mellizo y cuatro vías en total, dos vías por envoltura. El primer par de vías de una de las envolturas tienen acopladas a sus extremos dos conectores macho de color rojo y que conectan a los circuitos analógico y digital a través de dos conectores hembra correspondientes en cada circuito, también de color rojo; y por sus vías viajan la tensión de alimentación para el amplificador y la conexión de tierra del circuito analógico hacia el sumidero en el circuito digital, indicados anteriormente. El segundo par de vías de la otra envoltura melliza de manera semejante acopla a los circuitos analógico y digital a través de conectores macho y hembra de color

negro, habiéndose utilizado solamente una vía que lleva la señal observable acondicionada desde el circuito analógico hacia el circuito digital para su conversión al formato digital y procesamiento respectivo.

Este cable conector tiene la cualidad de ser bastante ligero de peso y por tanto ofrece seguridad en las conexiones; por ello sustituyó al cable estéreo para micrófono utilizado inicialmente.

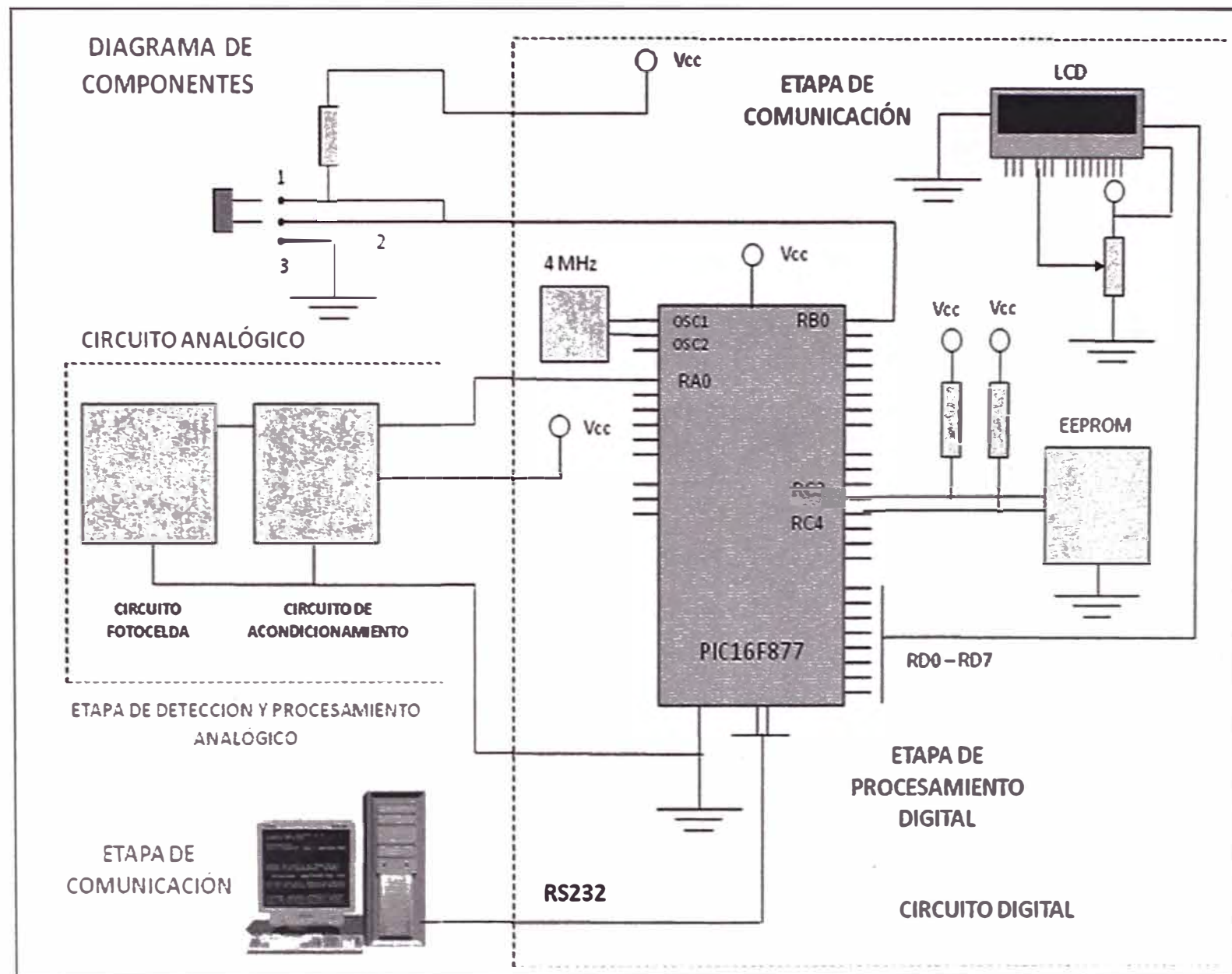
#### 4.6.2. DIAGRAMAS DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDIDA

##### SISTEMA DE MEDIDA: SOLARÍMETRO UNI

01 CIRCUITO ANALÓGICO	1.1 Etapa de Detección	1.1.1 Celda fotovoltaica
	1.2 Etapa de Procesamiento Analógico o de Acondicionamiento	1.2.1 Circuito de Conversión corriente – voltaje
		1.2.2 Circuito amplificador de voltaje
02 CABLE DE ENLACE: DE AUDIO HURRICAIN ESTANDAR		
03 CIRCUITO DIGITAL	3.1. Batería DURACELL 09 VDC y conectores	
	3.2 Tarjeta de Desarrollo de Proyectos Electrónicos CP PIC877 V 1.0	3.2.1 Microcontrolador PIC16F877
		3.2.2 Periféricos externos
		3.2.3 Puertos E/S
		3.2.4 Fuente de Alimentación
		3.2.5 Circuito de Reinicialización
3.3. Pantalla LCD – Computadora Personal		

Fig. 4.11. Diagrama de Componentes principales del Sistema de Medida

Fig. 4.12.  
Diagrama de Componentes  
del Sistema de Medida





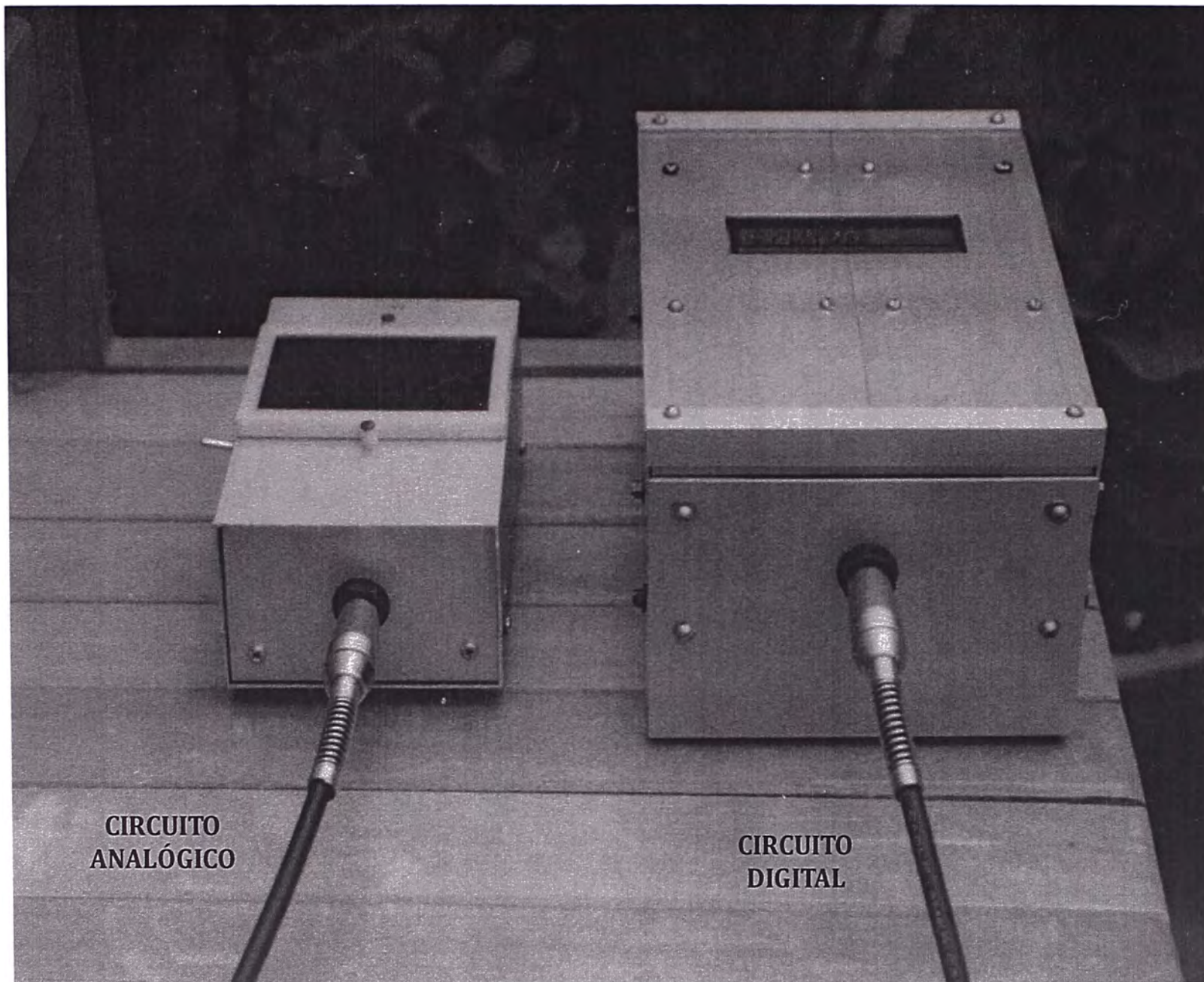


Fig. 4.13 Prototipo de Solarímetro UNI – Modelo terminado

Implementado físicamente el solarímetro se procedió a confeccionar sus Diagramas de Componentes, en forma gráfica donde se muestran las diferentes Etapas del Instrumento de Medida y sus componentes principales. Ver diagramas de las Figs. 4.11 y 4.12; finalmente la fotografía del prototipo terminado Fig. 4.13.

#### **4.7. PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN**

Este protocolo toma en cuenta que la intensidad de radiación solar incidente sobre la superficie terrestre, deberá ser detectada, leída y procesada, en condiciones idénticas, por ambos solarímetros, el construido y el patrón relativo. Luego, los gráficos de intensidad de radiación que generen los datos arrojados por éstos deberán ser funciones de la misma amplitud y que estarán en fase con respecto al tiempo.

De igual modo debe ocurrir con los gráficos de evolución de la acumulación de energía. Es decir, ser funciones idénticas o coincidentes al superponerse.

Por tanto calibrar el instrumento de medida construido, consiste en hacer los ajustes necesarios en éste, para que las lecturas de intensidad de radiación solar sean iguales o semejantes a las observadas en el patrón.

La igualdad o semejanza de las lecturas del acumulado de energía en ambos instrumentos será consecuencia del éxito obtenido en el paso anterior, asumiendo que la implementación del algoritmo de medida en el sistema está funcionando correctamente.

#### **4.7.1. OBJETIVOS DE LA CALIBRACIÓN**

- 1). Lograr que las lecturas discretas de la intensidad de radiación solar incidente, observadas en ambos instrumentos, dentro el intervalo de variación elegido, sean iguales o en todo caso muy semejantes, para que las curvas de intensidad de radiación que se elaboren a partir de esos datos, sean también semejantes o parecidas.
- 2). Evaluar la energía acumulada por ambos instrumentos a partir de la integración de las curvas de Intensidad de Radiación Solar y comparar los resultados.
- 3). Visualizar las lecturas finales para un intervalo de tiempo transcurrido, la energía por unidad de área acumulada, leída en las pantallas de ambos instrumentos y compararlas.

La similitud o semejanza de los resultados que se obtengan para los objetivos 1), 2) y 3), constituirán indicadores de la calidad de trabajo realizado en el proceso de calibración y buen funcionamiento del equipo.

#### **4.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS**

- Equipo solarímetro HAE I SOLAR 118.
- Equipo Solarímetro UNI V 1.0
- Cable conector estéreo para micrófono ( 2 m ).
- Reloj de pulsera.
- Un desarmador tipo relojero.
- Una computadora personal.
- Software: Excel, Logger Pro

#### **4.7.3. METODOLOGÍA**

La Organización de Meteorología Mundial, refiere que hay cinco metodologías diferentes para calibrar un piranómetro usando como fuente el Sol y los recursos de laboratorio. Para este trabajo se ha adoptado el de “dos piranómetros que trabajan bajo el mismo principio, uno de ellos en observación para ser calibrado y el otro utilizado como patrón, en condiciones naturales diversas” [GAM 90].

Complementan esta metodología, la utilización de métodos matemáticos y estadísticos para el procesamiento de información entre los cuales podemos destacar los métodos numéricos como LA REGLA DEL TRAPECIO para evaluar áreas bajo una curva (utilizado para procesar la integral a partir del conjunto de datos discretos capturados de la intensidad de radiación y obtener la energía acumulada durante un intervalo de horas de trabajo) y los métodos estadísticos para el cálculo de errores. Sin embargo la realización de este trabajo extenso y tedioso es facilitada por los software EXCEL y LOGGER PRO que se han utilizado en este proyecto [CAR 07].

#### **4.7.4. PROCEDIMIENTO GENERAL**

- 1). Pruebas preliminares de calibración y que se han descartado de este informe, nos han alertado que para efectos de calibración del solarímetro construido, debe elegirse un día soleado, libre de nubosidades y en un intervalo de horas alrededor del medio día; pues

las horas extremas, al comenzar el día y del atardecer dan lugar a errores de calibración, razones que se explicarán más adelante.

- 2). Como segundo paso, elegir la parte más alta del pabellón, edificio o lugar donde se va a realizar el proceso de calibración, lejos del alcance de otros edificios, objetos y personas, de modo que sus efectos de reflexión de la radiación no alteren irregularmente las lecturas de intensidad de radiación en uno u otro equipo.
- 3). En esa zona elegida, crear el espacio de trabajo adecuado que garantice la integridad y buena instalación de los equipos y de otro modo permita operarlos con comodidad.
- 4). Seguidamente instalar ambos solarímetros, colocando en la parte central del espacio de trabajo a las unidades de los sensores de ambos equipos, próximos entre sí pero a la vez a una distancia prudencial evitando que el uno o el otro puedan influir con efectos reflexivos sobre sus respectivos sensores. En un extremo alejado de la zona central y a una distancia de aproximadamente 2,5 m (longitud del cable conector del solarímetro UNI), colocar juntos, lado a lado, los circuitos con los pantallas LCD de ambos instrumentos de modo que permitan la observación y comparación en simultáneo de sus lecturas.
- 5). Poner en funcionamiento a ambos instrumentos de medida y observar por varios minutos la variación en las lecturas de intensidad de radiación solar. Si éstas no fueran iguales o semejantes, coger el pequeño desarmador para proceder a realizar la operación de calibración.



- 6). Para calibrar el instrumento construido ubicarse frente a la unidad del sensor (celda fotovoltaica o sensor ubicada en el extremo opuesto al operador) con la totalidad del cuerpo por debajo del nivel en que se encuentra dicha unidad y solo la mano y el desarmador deben estar trabajando sobre la cabeza del perno de calibración del instrumento, girándolo en sentido anti horario u horario según necesidad. En sentido anti horario para amplificar la señal u horario para disminuir su amplitud.

Esta operación la puede realizar un solo operador o en menor tiempo con la participación de una segunda persona. Cada giro en el perno, implica una observación y comparación de lecturas en los LCD de ambos equipos; operación que se repite y que se va afinando a medida que las diferencias de las lecturas en ambos instrumentos tienden a cero.

- 7). Terminada la operación de calibración del paso (04), reinicializar ambos instrumentos (borrado de los valores almacenados en las memorias respectivas y colocándolos al valor cero) utilizando los dispositivos de RESET respectivos.
- 8). Seguidamente, volver a poner en operación a ambos instrumentos de medida y observar las lecturas tanto de intensidad de radiación solar en ( $\text{W/m}^2$ ) y energía acumulada en ( $\text{kWh/m}^2$ ) en sus pantallas LCD respectivas y verificar que los valores de estas funciones en ambos instrumentos son iguales o casi aproximadas. De ser cierto este paso, la operación de calibración del instrumento construido habrá

terminado con éxito, caso contrario afinar el proceso, repitiendo el paso anterior.

#### **4.7.5. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE CALIBRACIÓN**

En pro de este objetivo se efectuaron varias pruebas experimentales previas, cuyos resultados fueron los no esperados pero que sirvieron para sacar conclusiones respecto a las mejores condiciones en las cuales debería realizarse el proceso de calibración del instrumento.

Fueron dos las pruebas más representativas que se efectuaron respecto a la calibración, en circunstancias de que el sistema de integración del instrumento relacionado con la medida del acumulado de energía no estaba funcionando correctamente.

##### **PRUEBA DE CALIBRACIÓN N° 01:**

- 1). FECHA : 25 de noviembre del 2008
- 2). LUGAR : Huacho, U.N. José F. Sánchez Carrión.
- 3). INSTALACIÓN : 11:00
- 4). CALIBRACIÓN : 11:15 – 11:40
- 5). HORAS DE PRUEBA : 11:40 – 18:00
- 6). DURACIÓN : 06 horas, 20 minutos
- 7). CONDICIONES ATMOSFÉRICAS: Día soleado y tarde con vientos.
- 8). MATERIAL Y EQUIPOS: Los indicados en el ítem 4.7.2.
- 9). PROCEDIMIENTO:

El procedimiento de esta prueba está enmarcada dentro del procedimiento general establecido en la parte introductoria (4.7.4.)

#### 10). REAJUSTES:

En momentos de la instalación, debido al peso del cable conector estéreo, se tuvo la precaución de colocarlo en posición horizontal con la finalidad de evitar desconexiones internas ocasionadas en las uniones de acoplamiento del cable con las unidades analógica y digital del Solarímetro respectivamente.

#### 11). REGISTRO DE DATOS:

Se realizaron observaciones de la variable:

- Irradiancia solar o Intensidad de Radiación Solar incidente.
- Energía por unidad de área acumulada, leída de los LCD

Datos que se reportan en la TABLA A-1, del ANEXO N° 04

#### 12). INCONVENIENTES:

La operación de procesamiento digital para la variable “Energía por unidad de área acumulada” no funcionó correctamente para el solarímetro de prueba por tanto los datos para esta variable no han sido considerados en el reporte de datos de la TABLA A-1 indicada.

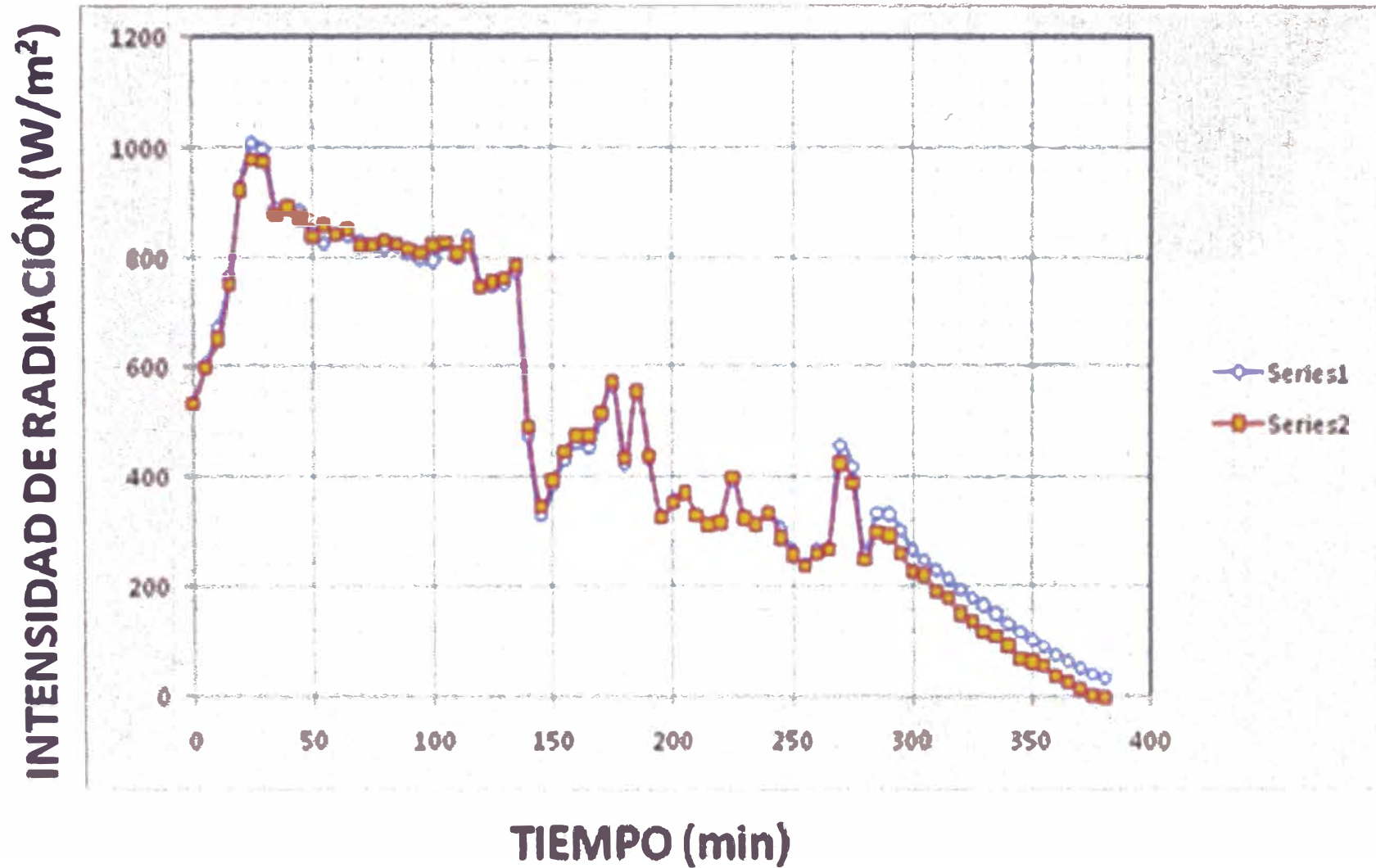
#### 13). PROCESAMIENTO DE DATOS:

Con los datos de la TABLA A-1, indicada anteriormente, utilizando el programa EXCEL se elaboró el GRÁFICO 4.2 y con el LOGGER PRO se elaboraron los GRÁFICOS 4.3 y 4.4. En el primero, se han superpuesto las curvas de intensidad de radiación observada por ambos instrumentos y en los dos gráficos siguientes se han evaluado por integración la energía acumulada por unidad de área para ambos instrumentos.

#### GRÁFICO 4.2.

CURVAS SUPERPUESTAS DE INTENSIDAD DE RADIACIÓN SOLAR - HUACHO 25-11-08 (11:40 - 18:00)

**SERIE 01:** SOLARÍMETRO HAENNI - **SERIE 02:** SOLARÍMETRO UNI



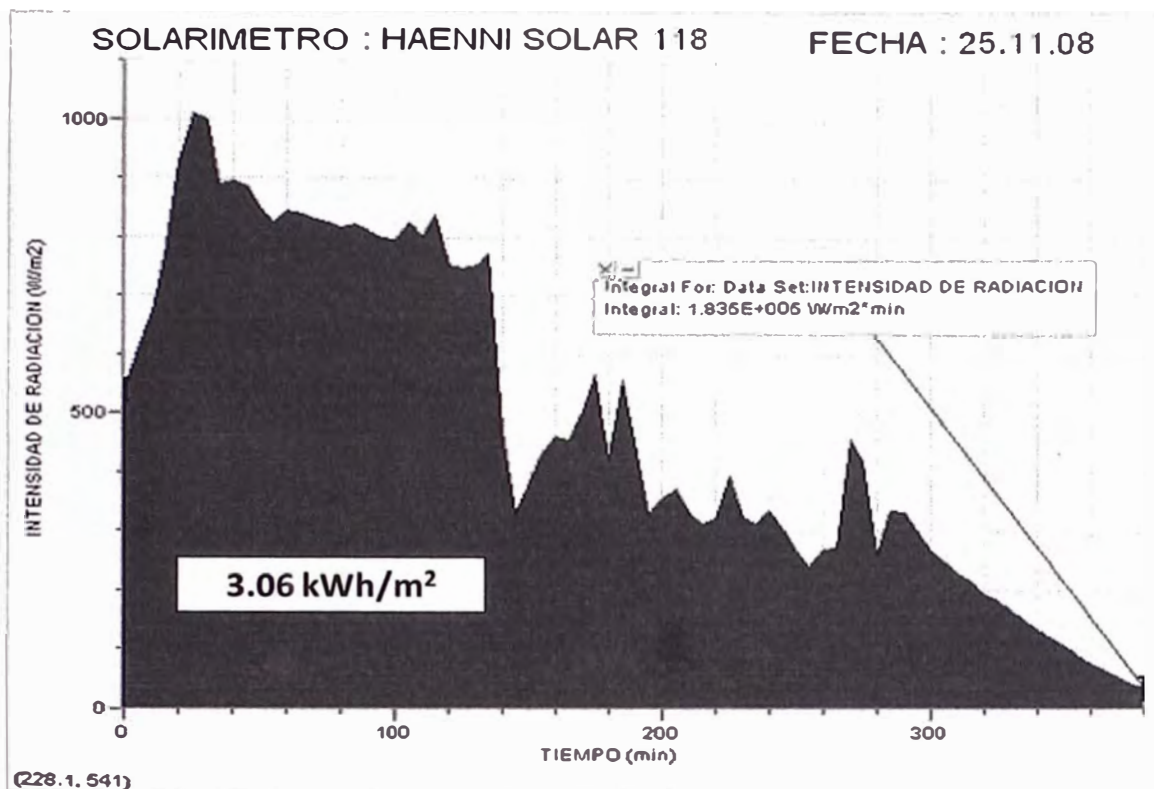


GRÁFICO 4.3. Curva de Intensidad de Radiación Solar – Evaluación de la Energía (11:40 – 18:00)

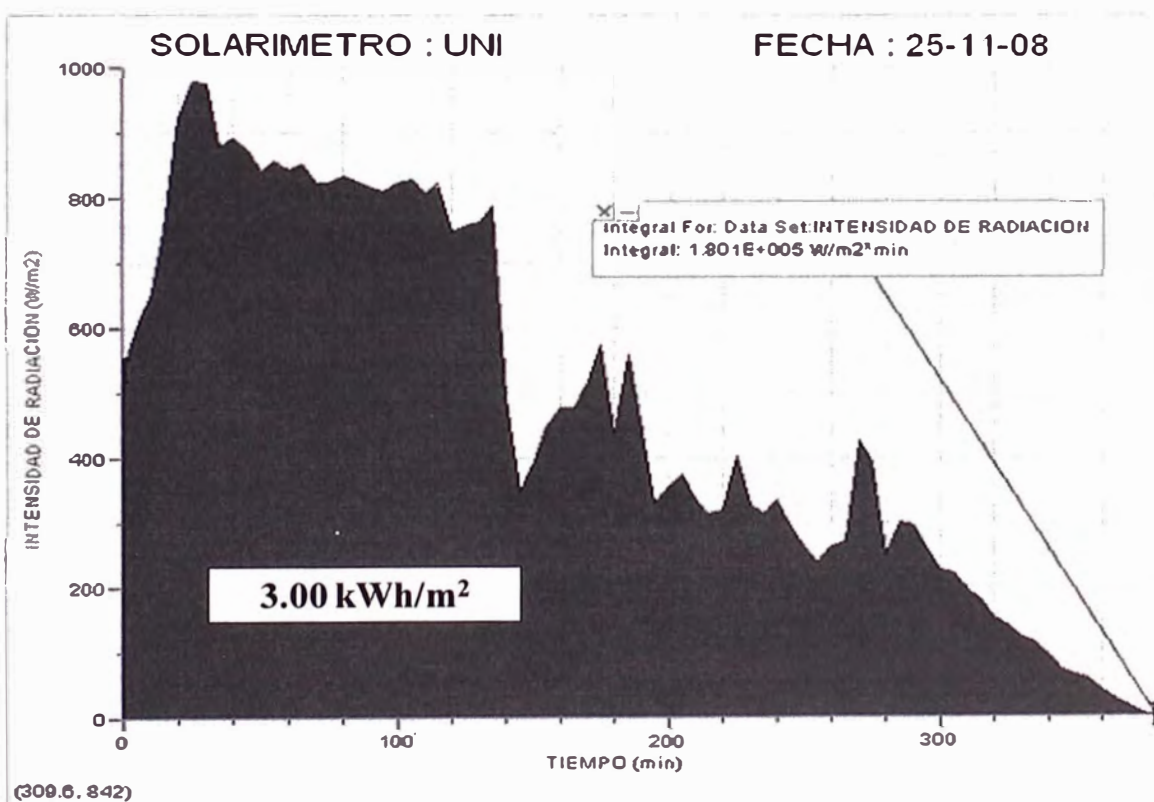


GRÁFICO 4.4. Curva de Intensidad de Radiación Solar – Evaluación de la Energía (11:40 – 18:00)

#### 14). RESUMEN DE RESULTADOS:

Los resultados del procesamiento de los datos observados se resumen en la TABLA 4.8

##### **PRUEBA DE CALIBRACIÓN N° 02:**

- 1). FECHA : 30 de noviembre del 2008.
- 2). LUGAR : Huacho, U.N. José F. Sánchez Carrión”
- 3). INSTALACIÓN : 08:15
- 4). CALIBRACIÓN : 08:30 – 11:35
- 5). HORAS DE PRUEBA : 11:35 – 17:15
- 6). DURACIÓN : 05 horas, 40 minutos
- 8). MATERIAL Y EQUIPOS: Los indicados en el ítem 4.7.2.
- 9). PROCEDIMIENTO:

El procedimiento de esta prueba está enmarcada dentro del procedimiento general establecido en la parte introductoria (4.7.4.), y PRUEBA DE CALIBRACIÓN N° 01, pero teniendo en cuenta lo siguiente:

Puesto que en días anteriores se había manipulado el equipo para hacer algunos reajustes entonces se tuvo que efectuar una segunda calibración mediante observaciones en el intervalo de horas de las 08:30 a 11:35, considerando las mismas precauciones de la prueba 01.

#### 10). REGISTRO DE DATOS:

Se realizaron observaciones de la variable:

- Irradiancia solar o Intensidad de Radiación Solar incidente.
- Energía por unidad de área acumulada, leída de los LCD

Datos que se reportan en la TABLA A-2, del ANEXO N° 05

12). INCONVENIENTES:

Los mismos de la PRUEBA DE CALIBRACIÓN N° 01.

13). PROCESAMIENTO DE DATOS:

Con los datos de la TABLA A-2, indicada anteriormente, utilizando el programa EXCEL se elaboró el GRÁFICO 4.5 y con el LOGGER PRO se elaboraron los GRÁFICOS 4.6 y 4.7. Gráficos elaborados con las mismas características de la PRUEBA DE CALIBRACIÓN N° 01.

11). RESUMEN DE RESULTADOS:

Los resultados del procesamiento de los datos observados de esta prueba se resumen conjuntamente con los de la PRUEBA DE CALIBRACIÓN N° 01, en la misma TABLA 4.8.

#### 4.7.6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CALIBRACIÓN

TABLA 4.8.

RESUMEN COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CALIBRACIÓN N° 01 Y N° 02 DEL SOLARÍMETRO DE PRUEBA

N°	FECHA	HORAS	DURACIÓN	ENERGÍA (E/A) (kWh/m <sup>2</sup> )		E.P. %	OBSERV. CALIBR.
				S-HAENNI	S-UNI		
01	25/11/08	11:40 18:00	06h, 20min	3,06	3,00	2,0	OK
02	30/11/08	11:35 17:15	05h, 40min	3,17	3,16	0,3	Deficiente Antes de 11:35

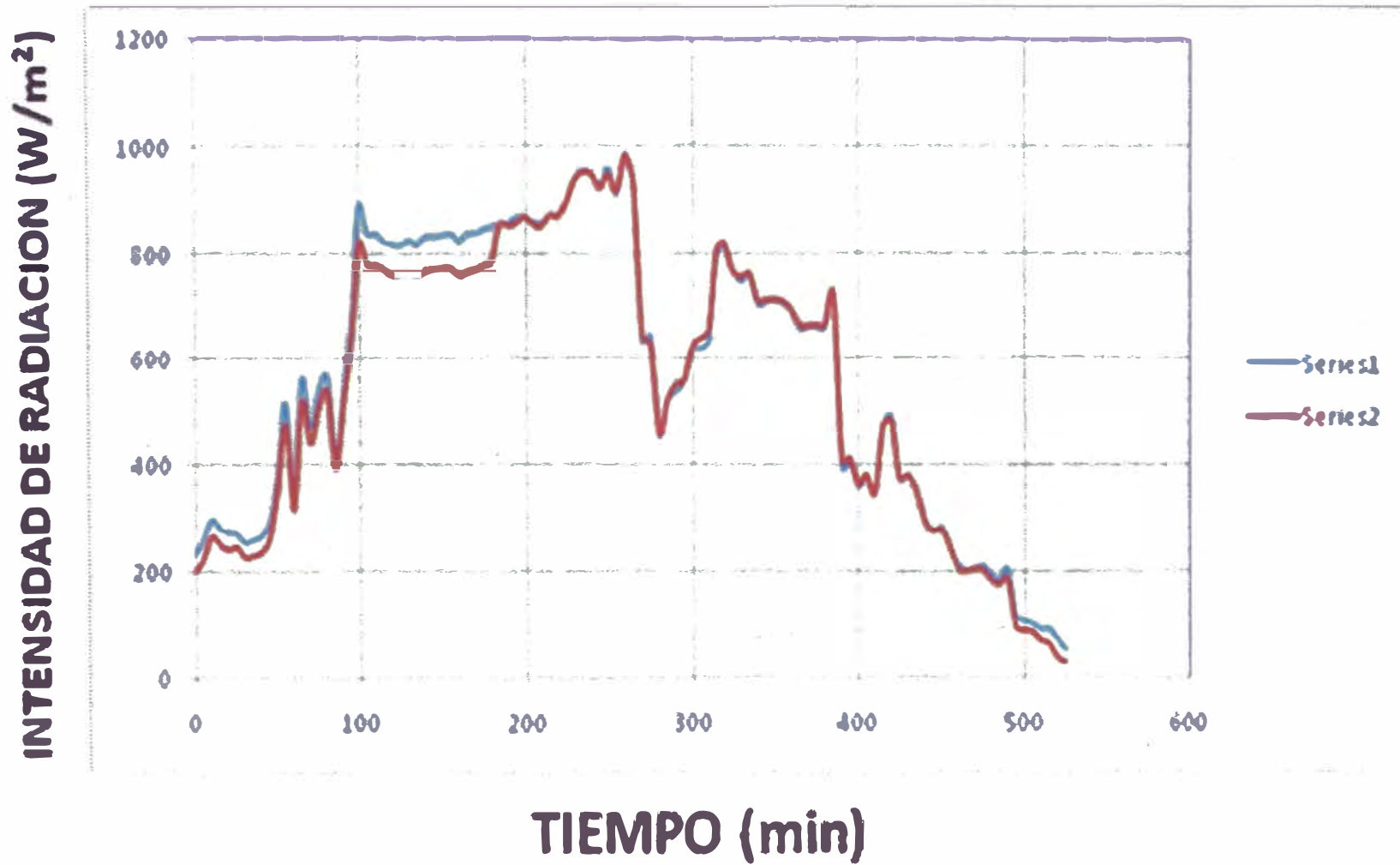
Fuente: Gráficos 4.3; 4.4; 4.6 y 4.7 correspondientes a las Pruebas de calibración



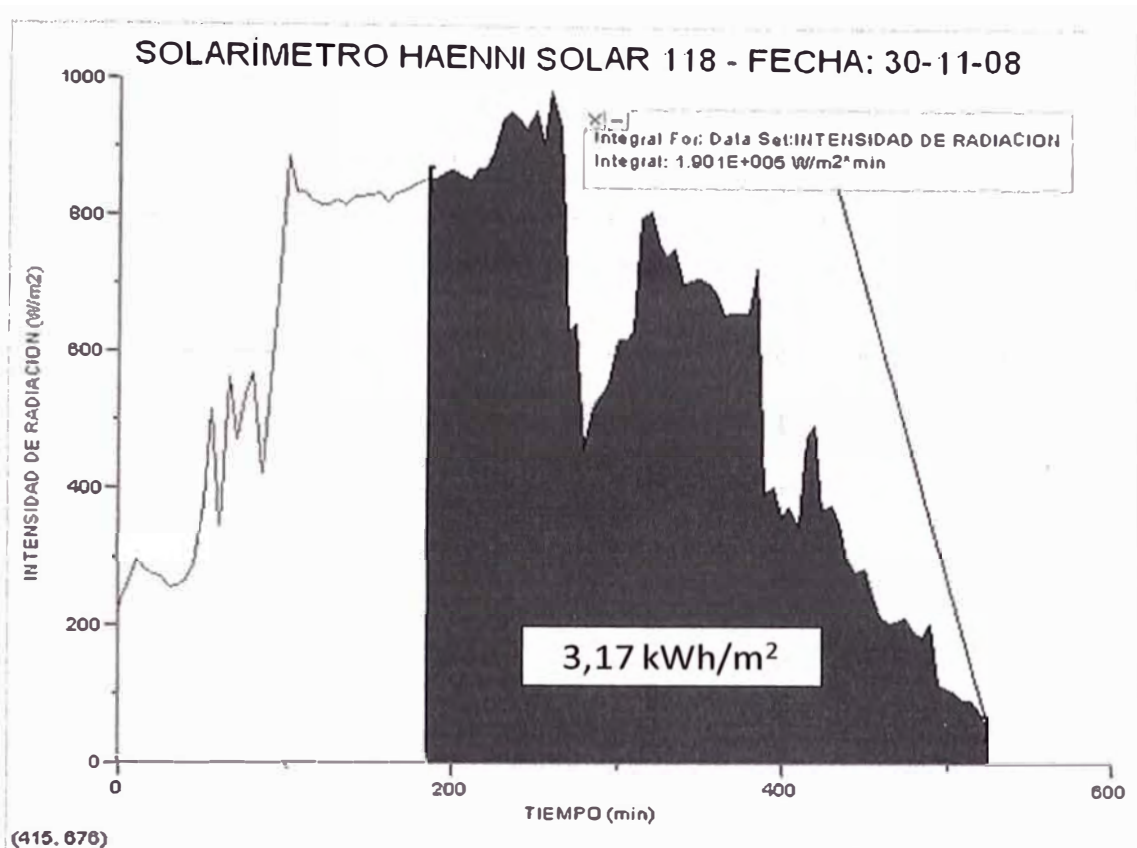
**GRÁFICO 4.5.**

CURVAS SUPERPUESTAS DE INTENSIDAD DE RADIACIÓN SOLAR - HUACHO 30-11-08 (08:30 – 17:15)

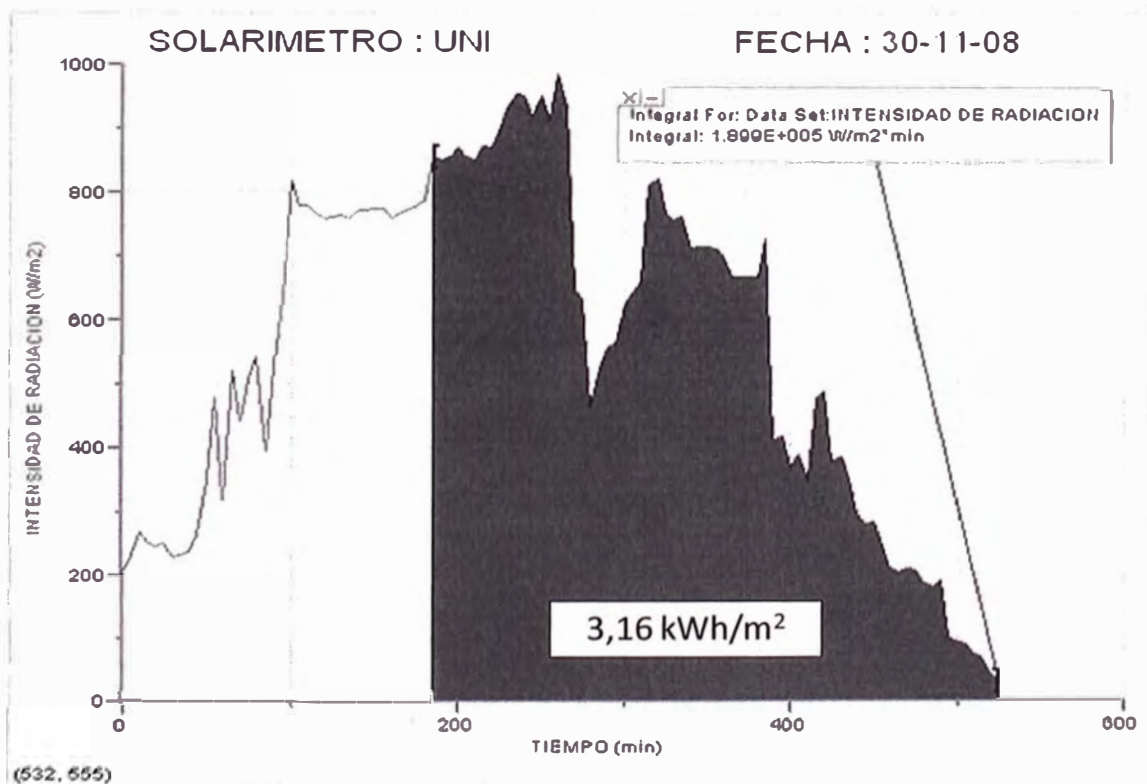
SERIE 01: SOLARÍMETRO HAENNI – SERIE 02: SOLARÍMETRO UNI







**GRÁFICO 4.6. Curva de Intensidad de Radiación Solar – Evaluación de la Energía (11:35 – 17:15)**



**GRÁFICO 4.7. Curva de Intensidad de Radiación Solar – Evaluación de la Energía (11:35 – 17:15)**

#### **4.7.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DEL SOLARÍMETRO**

- 1) En los GRÁFICOS 4.3 Y 4.5, se observan que las funciones de Intensidad de radiación solar superpuestas son semejantes, pues están en fase y casi tienen la misma amplitud en los intervalos de prueba considerados para el registro de datos y evaluación, lo que demuestra que el proceso de calibración, con un poco mas de cuidado es posible mejorarlo. Sin embargo, existen espacios de tiempo en las horas terminales del atardecer, en los que el solarímetro patrón capta mayor radiación que el solarímetro construido.
- 2) En la TABLA 4.8 se observa que en ambas pruebas, la energía registrada por unidad de área es ligeramente mayor en el solarímetro patrón que en el construido con un error comparativo máximo del 2% en días soleados.

En ambas pruebas se realizó una calibración diferente por presentarse problemas de desconexiones.

#### **4.7.8. CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS DE CALIBRACIÓN**

- 1). De las observaciones previas realizadas y de estas pruebas últimas se concluye que antes de ser utilizado el instrumento con el propósito de evaluar su funcionamiento o con fines de realizar tareas de medición real, tiene que hacerse una buena calibración del instrumento en un día previo y exclusivo para este fin. Este proceso de calibración debe considerar un intervalo de una hora aproximadamente alrededor del medio día (12:00), intervalo de tiempo suficiente para hacer las

observaciones comparativas de lecturas en ambos instrumentos y las regulaciones necesarias correspondientes con la ayuda del pequeño desarmador sobre el tornillo de calibración del amplificador.

- 2). Por lo general, con una buena calibración debe esperarse tener dos curvas de intensidad de radiación superpuestas (correspondientes al solarímetro HAENNI y el UNI) con la misma fase y amplitud en las horas centrales del día; pero de menor amplitud en las horas iniciales de la mañana y finales del atardecer. Esto debido a que el sensor del instrumento patrón está diseñado para captar rayos solares muy inclinados así como radiación difusa lateral, mientras que el sensor del construido es plano y está cubierto por una lámina de vidrio transparente liso muy reflexivo para los rayos solares con mucha inclinación.
- 3). Es de esperarse también que en un registro de data en un periodo largo del día con Sol (entre las 08:00 y las 18:00) la evaluación de la energía registrada por unidad de área, para el solarímetro UNI sea menor que para el patrón y muy semejante si el intervalo de horas de registro de data considera las horas centrales del día (ejemplo entre las 10:00 y las 14:00).

#### **4.8. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA**

Para realizar la evaluación completa del Solarímetro UNI, se tuvo un periodo de espera de algunos meses hasta lograr que el sistema más importante del equipo que registra la energía por unidad de área sea puesto en operación, hecho que fue

logrado con apoyo profesional, cambio de software (CCS en vez de MIKRO C), además de otros reajustes efectuados en cuanto a hardware como el cambio del cable conector entre los circuitos analógico y digital.

La evaluación del Sistema de Medida comprende dos aspectos, la evaluación de su funcionamiento y la evaluación del consumo eléctrico.

#### **4.8.1 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO**

##### **4.8.1.1. Objetivos Generales**

- 1). Afinar el proceso de calibración del Sistema de Medida construido en base a la experiencia obtenida y agotando la vía del experimento.
- 2). Evaluar el funcionamiento correcto del Sistema de Medida construido, verificando que las medidas de las funciones Intensidad de Radiación Solar en ( $\text{W/m}^2$ ) y Energía registrada por unidad de área ( $\text{kWh/m}^2$ ) sean similares o semejantes a los registrados por el instrumento patrón.

##### **4.8.1.2. Objetivos Específicos**

- 1). Comprobar que las curvas de intensidad de radiación solar generadas por la data de ambos instrumentos, sean producto de una buena calibración efectuada.
- 2). Evaluar la Energía por unidad de área acumulada para ambos instrumentos, por integración de las curvas de intensidad de radiación respectiva.

- 3). Registrar los últimos datos de la energía acumulada por unidad de área en las pantallas LCD de ambos instrumentos al término del periodo de cada prueba de evaluación.
- 4). Hacer un análisis comparativo de los resultados de la energía acumulada obtenida en los pasos anteriores.

#### **4.8.1.3. Equipos y Materiales**

- \* Equipo Solarímetro HAENNI SOLAR 118
- \* Equipo Solarímetro UNI V 1.0
- \* Cable conector de audio Hurricane estándar de alta calidad (2,5 m).
- \* Reloj de pulsera.
- \* Un desarmador tipo relojero.
- \* Una computadora personal.
- \* Software: Excel, Logger Pro

#### **4.8.1.4. Metodología**

Análogamente a las pruebas de calibración la metodología utilizada en la evaluación del sistema de medida, se encuentra inmerso en el software que se va a utilizar y que nos van a ayudar a validar o no los resultados.

En esta oportunidad también la utilización de tecnología de información (hardware y software) ofertado en el mercado para la enseñanza de las ciencias, que con ventajas de rapidez deberán hacer el trabajo por nosotros. Estos software con la ayuda de una PC operan mediante algoritmos basados en métodos numéricos (por ejemplo el método del trapecio que se utilizan tanto el software LOGGER PRO y el mismo

equipo construido para evaluar la integral a partir del conjunto de datos capturados de la intensidad de radiación), los métodos estadísticos para el cálculo del errores, entre otros. Métodos que tendríamos que utilizar.de no contar con esta tecnología.

#### **4.8.1.5. Procedimiento General**

- 1). Para efectos de efectuar la calibración del instrumento, asumir el procedimiento establecido en el ítem (4.7.3) y las recomendaciones finales efectuadas en esa parte del trabajo.
- 2). Utilizando el software Excel y los datos de las de intensidad de radiación para los instrumentos patrón y el evaluado, elaborar las curvas superpuestas correspondientes a esta función.
- 3). Utilizando el software LOGGER PRO, y la data respectiva de intensidad de radiación solar correspondientes a ambos instrumentos elaborar sendas curvas de intensidad de radiación solar aplicándoles la opción INTEGRAL del menú para evaluar la Energía por unidad de área acumulada de cada instrumento.
- 4). Con la finalidad de resumir los resultados y facilitar su análisis, elaborar una tabla donde queden registrados: el número de prueba, la fecha de su realización, intervalo de horas de trabajo, tiempo de duración de la prueba, energía acumulada por los instrumentos evaluada por integración de las curvas de intensidad de radiación respectivas y su error comparativo, finalmente las lecturas de la energía acumulada por unidad de área registradas al finalizar la prueba

del día (leídas en las pantallas LCD o cuaderno de registro de datos) y su error comparativo correspondiente.

#### **4.8.1.6. Pruebas Experimentales realizadas para evaluar el funcionamiento del Solarímetro**

##### **EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO - PRUEBA N° 01**

- 1). FECHA : 30 de junio del 2009.
- 2). LUGAR : Huacho, U.N. José F. Sánchez Carrión.
- 3). INSTALACIÓN : 10:45
- 4). CALIBRACIÓN : 10:55 – 11:05
- 5). HORAS DE PRUEBA : (11:05 – 12:00) y (12:40 – 18:00).
- 6). DURACIÓN : (01 hora, 05min) y (05 horas, 20 min)
- 7). CONDICIONES ATMOSFÉRICAS: Día soleado.
- 8). MATERIAL Y EQUIPOS: Los indicados en el ítem 4.8.1.3
- 9). PROCEDIMIENTO:

El procedimiento seguido para realizar esta prueba fue la misma establecida en la sección (4.8.1.5), solamente que dicha prueba fue desdoblada en dos momentos debido a una desconexión de un cable en la unidad analógica, demandando algunos minutos para su reparación forzando a la Reinicialización de la prueba en segundo momento.

- 10). REGISTRO DE DATOS:

Durante el intervalo de tiempo de observación se registraron datos, desde los LCD de ambos solarímetros, de las siguientes variables:

\* Datos de Intensidad de Radiación Solar

\* Datos de energía acumulada al finalizar el periodo de observación.

Los datos de esta prueba se registran en las TABLAS Se muestran en las **TABLAS A-3 y A-4 del Anexo N° 06**

11). PROCESAMIENTO DE DATOS:

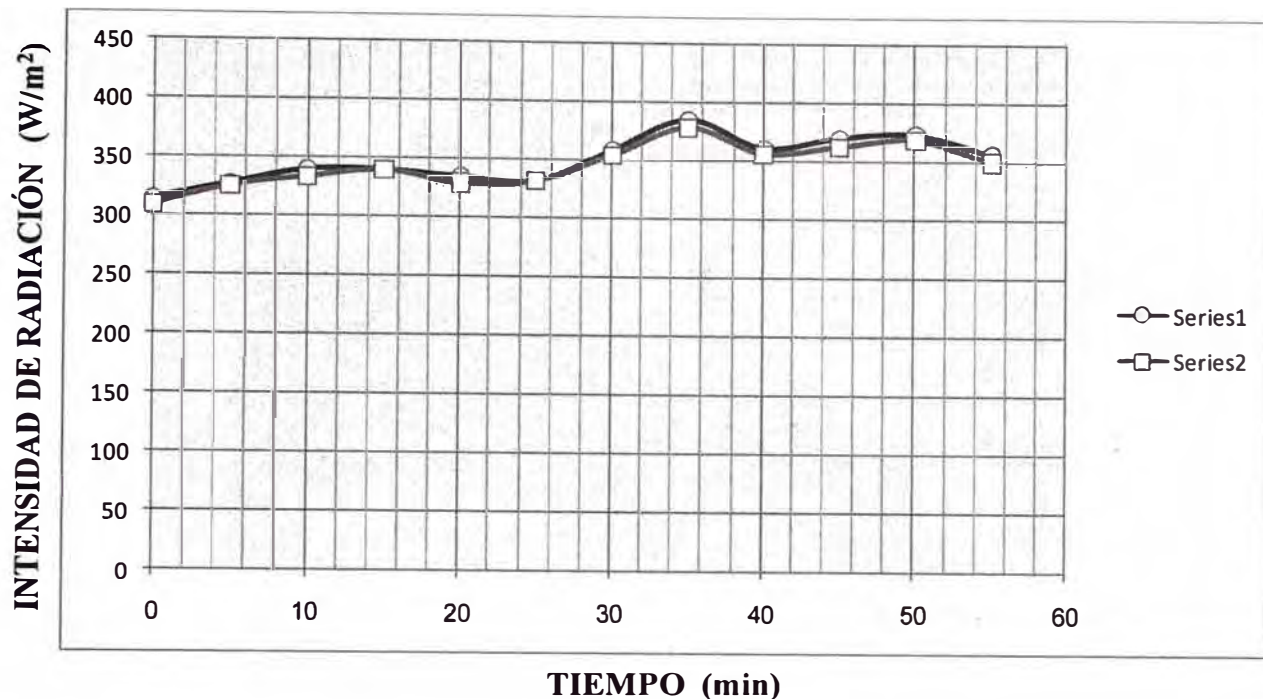
Utilizando el programa EXCEL, se han generado los GRÁFICOS 4.8 y 4.9 y con el programa LOGGER PRO los GRÁFICOS 4.10 y 4.11.

Los dos primeros representan a las curvas de intensidad de radiación superpuestas observadas con el Solarímetro de prueba y el patrón para dos intervalos de tiempo del mismo día, y los dos segundos, muestran la evaluación de la energía acumulada diaria medida por los dos instrumentos a partir de la integración de sus respectivas curvas de intensidad de radiación, para el intervalo de las 12:40 a 18:00 del día.

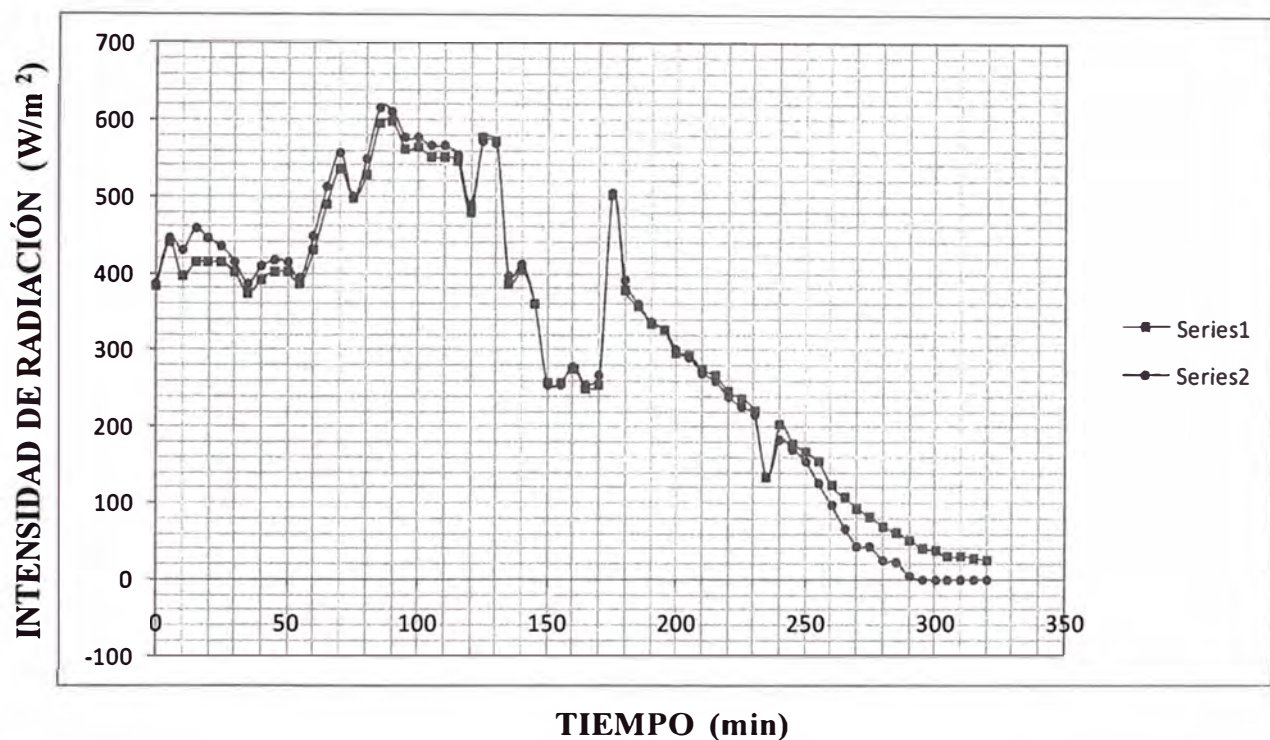
12). RESUMEN DE RESULTADOS:

Se resumen en las TABLAS 4.9 y 4.10

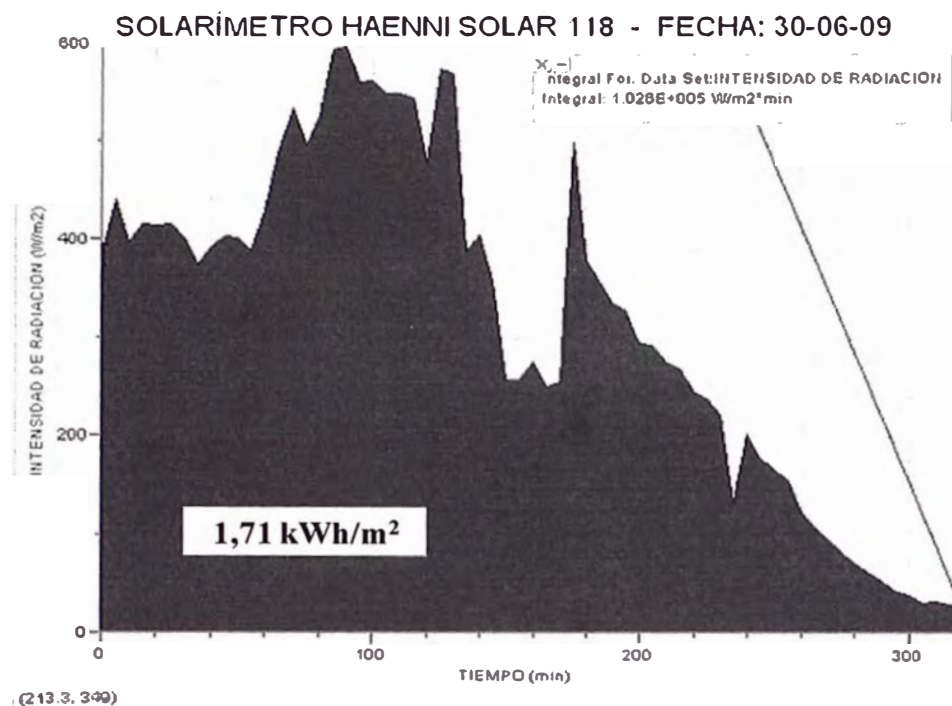




**GRÁFICO 4.8. Prueba N°01**  
**CURVAS SUPERPUESTAS DE RADIACIÓN SOLAR – HUACHO 30-06-09**  
**SERIE 1: SOLARÍMETRO HAENNI – SERIE 2: SOLARÍMETRO UNI**  
**11:05 – 12:00**

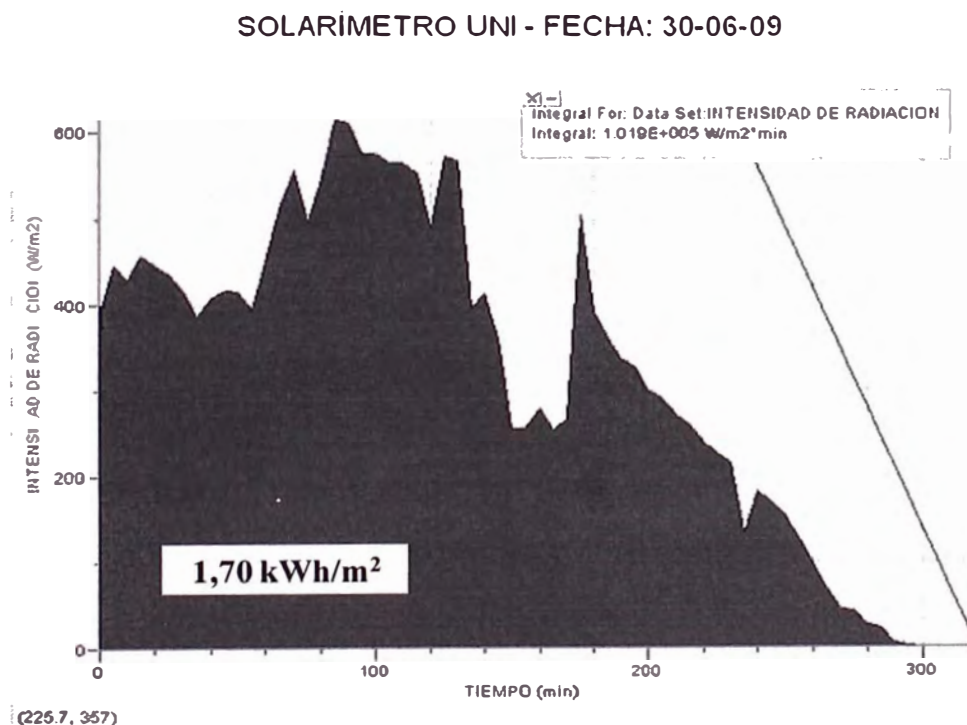


**GRÁFICO 4.9. Prueba N°01**  
**CURVAS SUPERPUESTAS DE RADIACIÓN SOLAR – HUACHO 30-06-09**  
**SERIE 1: SOLARÍMETRO HAENNI – SERIE 2: SOLARÍMETRO UNI**  
**12:40 – 18:00**



**GRÁFICO 4.10. Prueba N° 01**

**Curva de Intensidad de radiación solar –Evaluación de energía diaria**  
**SOLARÍMETRO HAENNI - HUACHO 30-06-09 – HORAS: 12:40 – 18:00**



**GRÁFICO 4.11. Prueba N° 01**

**Curva de Intensidad de radiación solar – Evaluación de energía diaria**  
**SOLARÍMETRO UNI - HUACHO 30-06-09 – HORAS: 12:40 – 18:00**

## EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO - PRUEBA N° 02

- 1). FECHA : 07 de julio del 2009.
- 2). LUGAR : Huacho, U.N. José F. Sánchez Carrión.
- 3). INSTALACIÓN : 10:30
- 4). CALIBRACIÓN : 10:30 – 10:45
- 5). HORAS DE PRUEBA : 10:45 – 18:00
- 6). DURACIÓN : 07 horas, 15 minutos
- 7). CONDICIONES ATMOSFÉRICAS: Día soleado.
- 8). MATERIAL Y EQUIPOS: Los indicados en el ítem 4.8.1.3
- 9). PROCEDIMIENTO:

El procedimiento seguido para realizar esta prueba fue la misma establecida en la sección (4.8.1.5), sin inconvenientes.

- 10). REGISTRO DE DATOS:

Durante el intervalo de tiempo de observación se registraron datos, desde los LCD de ambos solarímetros, de las siguientes variables:

- \* Datos de Intensidad de Radiación Solar

- \* Datos de energía acumulada al finalizar el periodo de observación.

Los datos de esta prueba se registran en las TABLAS Se muestran en las **TABLAS A-5 del Anexo N° 07**

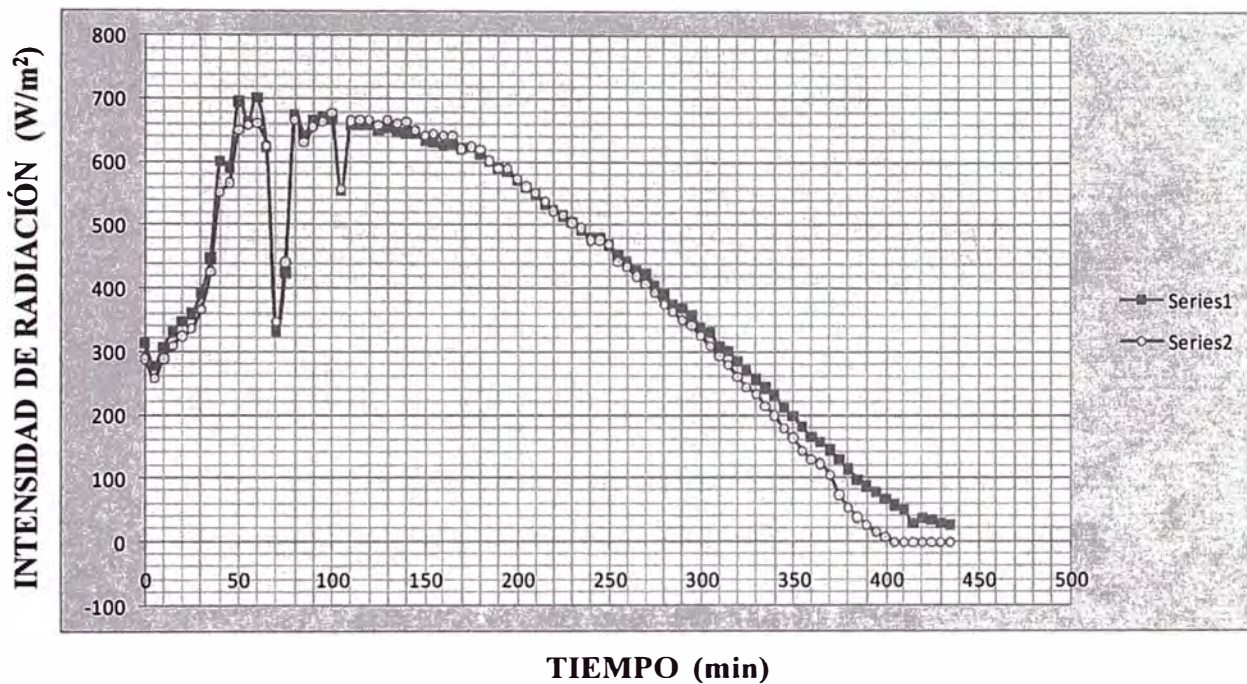
- 11). PROCESAMIENTO DE DATOS:

Utilizando el programa EXCEL, se ha generado el GRÁFICO 4.12 y y con el programa LOGGER PRO los GRÁFICOS 4.13 y 4.14. El primero representa a las curvas de intensidad de radiación superpuestas observadas con el Solarímetro de prueba y el patrón, y los dos segundos, muestran la evaluación de la energía acumulada

diaria medida por los dos instrumentos a partir de la integración de sus respectivas curvas de intensidad de radiación.

## 12). RESUMEN DE RESULTADOS:

Se resumen en las TABLAS 4.9 y 4.10



**GRÁFICO 4.12. Prueba N° 02**

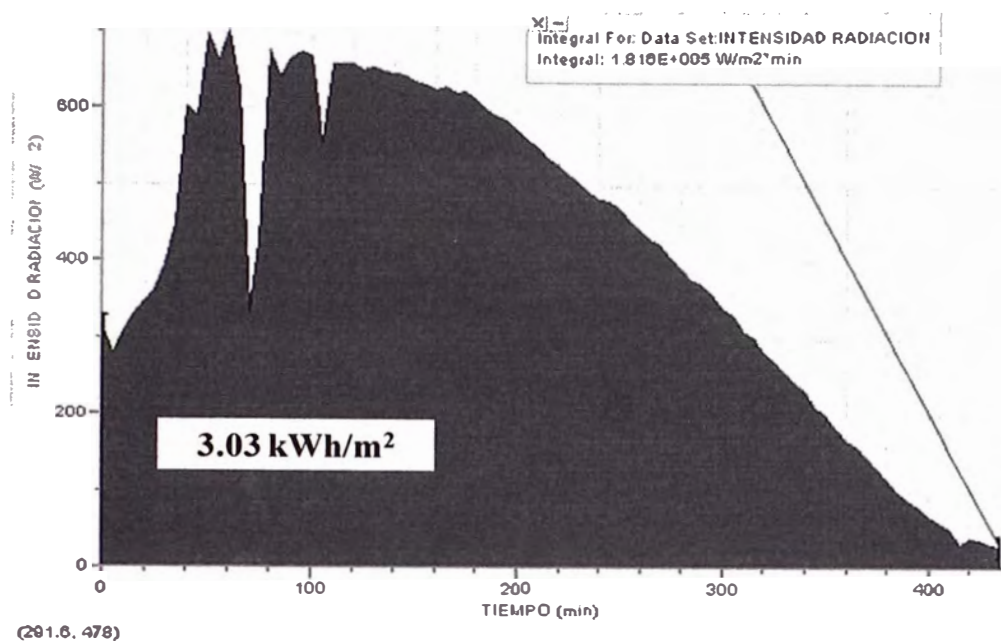
**Curvas superpuestas de radiación solar – Huacho 07-07-09**

**SERIE 1: SOLARÍMETRO HAENNI – SERIE 2: SOLARÍMETRO UNI**

**10:45 – 18:00**



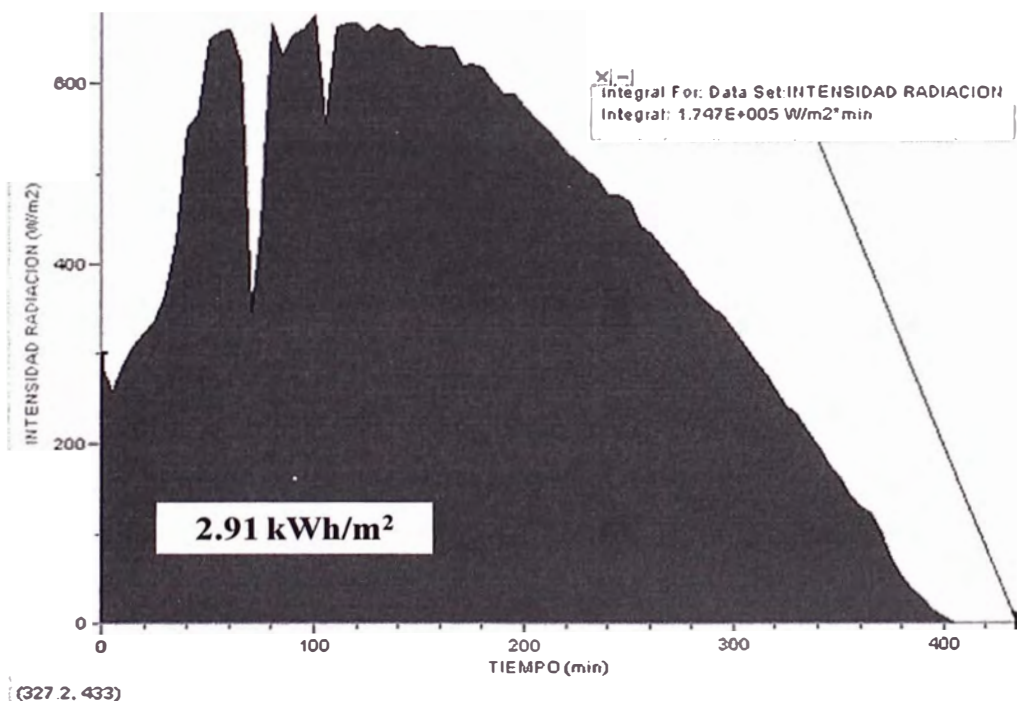
SOLARÍMETRO HAENNI SOLAR 118 - FECHA: 07.07.09



**GRÁFICO 4.13. Prueba N° 02**

**Curva de Intensidad de radiación solar –Evaluación de energía  
SOLARÍMETRO HAENNI - HUACHO 07-07-09 – HORAS: 10:45 – 18:00**

SOLARÍMETRO UNI - FECHA: 07.07.09



**GRÁFICO 4.14. Prueba N° 02**

**Curva de Intensidad de radiación solar – Evaluación de energía diaria  
SOLARÍMETRO UNI - HUACHO 07-07-09 – HORAS: 10:45 – 18:00**

### **EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO - PRUEBA N° 03**

- 1). FECHA : 12 de julio del 2009.
- 2). LUGAR : Huacho, U.N. José F. Sánchez Carrión.
- 3). INSTALACIÓN : 10:30
- 4). CALIBRACIÓN : afinación
- 5). HORAS DE PRUEBA : 10:50 – 18:00
- 6). DURACIÓN : 07 horas, 10 minutos.
- 7). CONDICIONES ATMOSFÉRICAS: Día nublado.
- 8). MATERIAL Y EQUIPOS: Los indicados en el ítem 4.8.1.3
- 9). PROCEDIMIENTO:

El procedimiento seguido para realizar esta prueba fue la misma establecida en la sección (4.8.1.5), sin inconvenientes.

- 10). REGISTRO DE DATOS:

Durante el intervalo de tiempo de observación se registraron datos, desde los LCD de ambos solarímetros, de las siguientes variables:

\* Datos de Intensidad de Radiación Solar

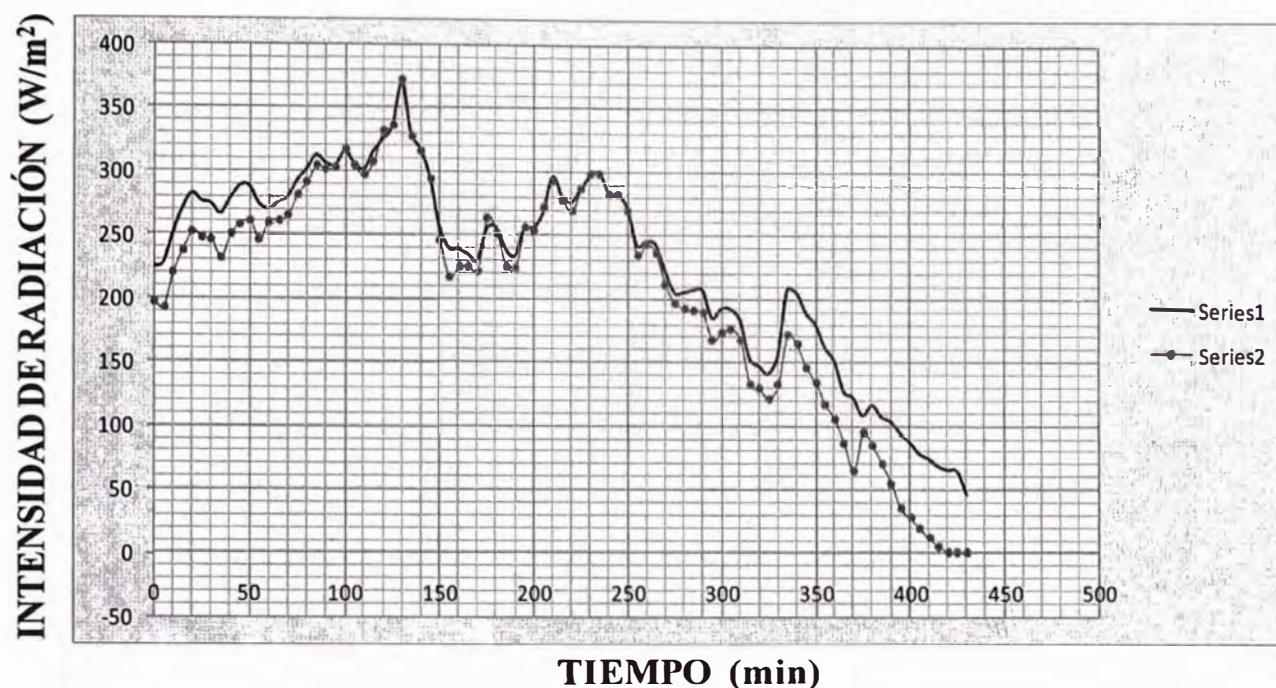
\* Datos de energía acumulada al finalizar el periodo de observación.

Los datos de esta prueba se registran en las TABLAS Se muestran en las **TABLAS A-6 del Anexo N° 08**

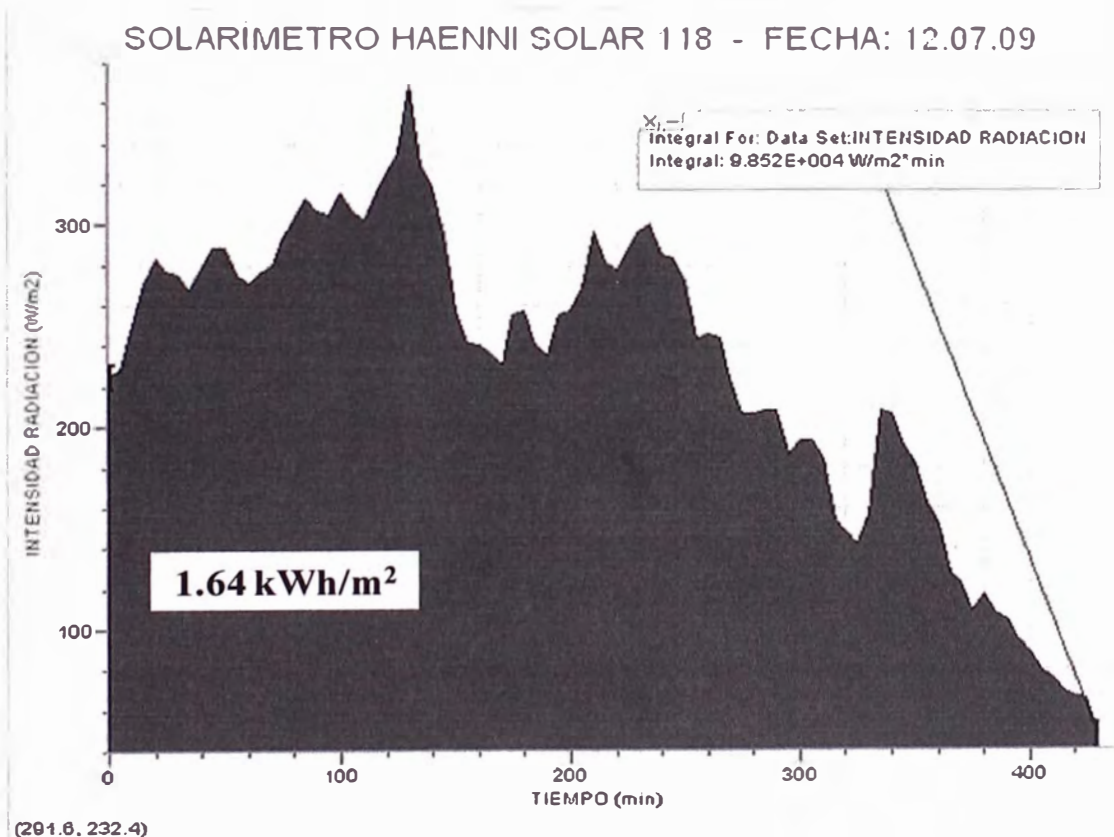
- 11). PROCESAMIENTO DE DATOS:

Utilizando el programa EXCEL, se ha generado el GRÁFICO 4.15 y y con el programa LOGGER PRO los GRÁFICOS 4.16 y 4.17. Los gráficos son similares a lo que expresan los gráficos análogos de las Pruebas de Funcionamiento N° 01 y N° 02.

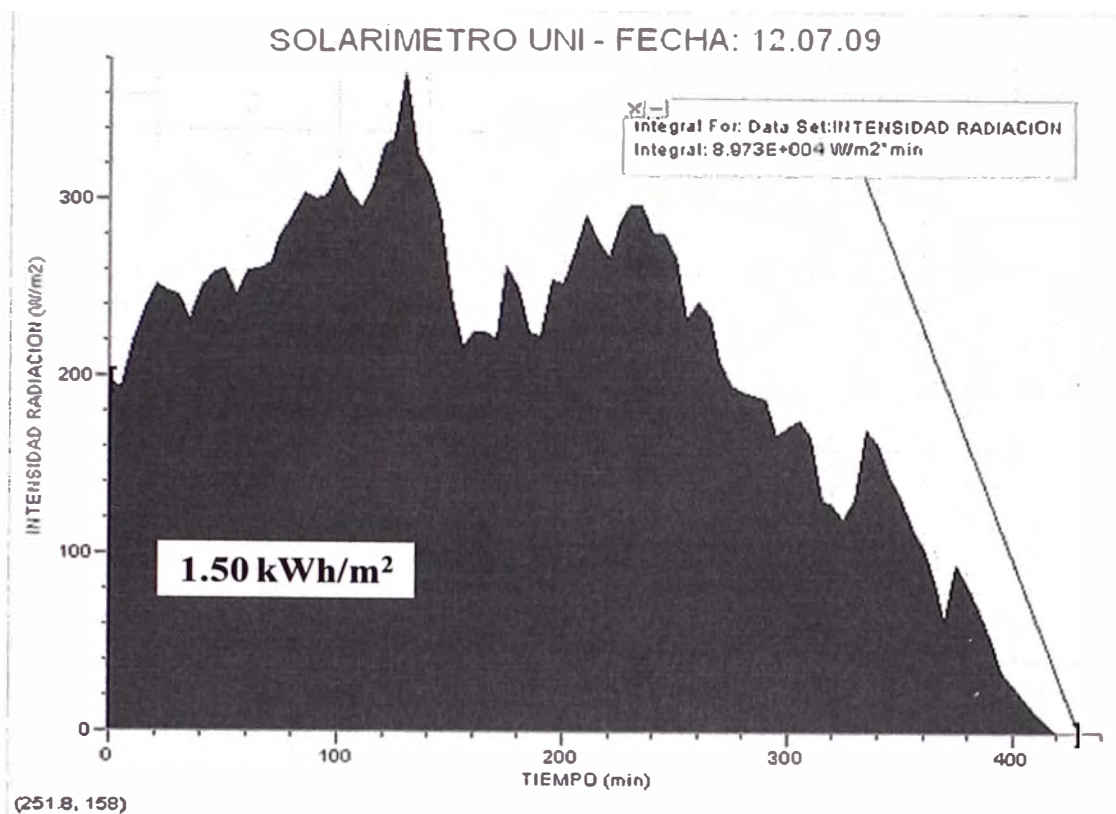
- 12). RESULTADOS: Se resumen en las TABLAS 4.9 y 4.10



**GRÁFICO 4.15. Prueba N° 03**  
**Curvas superpuestas de radiación solar – Huacho 12-07-09**  
**SERIE 01: SSOLARÍMETRO HAENNI – SERIE 02: SOLARÍMETRO UNI**  
**10:50 – 18:00**



**GRÁFICO 4.16. Prueba N° 03**  
**Curva de Intensidad de radiación solar –Evaluación de energía**  
**SOLARÍMETRO HAENNI - HUACHO 12-07-09 – HORAS: 10:50 – 18:00**



**GRÁFICO 4.17. Prueba N° 03**

**Curva de Intensidad de radiación solar –Evaluación de energía diaria**

**SOLARÍMETRO UNI - HUACHO 12-07-09 – HORAS: 10:50 – 18:00**

#### **4.8.1.7. Resultados de las Pruebas de Funcionamiento**

Los resultados de la evaluación del Sistema de Medida se resumen en las TABLAS 4.9. y 4.10.

#### **4.8.1.8. Análisis de Resultados de las Pruebas de Funcionamiento**

- 1). Si se observan las curvas superpuestas de intensidad de radiación para las dos primeras fechas de prueba, éstas son casi similares para las pruebas 01 y 02, salvo en las horas finales del atardecer, presentándose mayores diferencias en la prueba 03, cuando el día está nublado. Esto quiere decir que los solarímetros tienen comportamiento



similar en los días soleados, acentuándose las diferenciaciones en los días nublados.

- 2). Asumimos haber cometido un leve error de calibración en la prueba 01, pues con la finalidad de afinar la calibración nos excedimos observándose en el Gráfico 4.9 que la curva de radiación correspondiente al solarímetro UNI a partir de las 12:40 supera ligeramente en amplitud a la del patrón (hecho que no debe darse) en la zona de mayor captación de energía. Esta ganancia se compensa con la falta de captación de energía en las horas finales del atardecer dando lugar a un error comparativo bajo (1%).

#### **4.8.1.9. Conclusiones de las Pruebas de Funcionamiento**

- 1). Los mejores días que van a permitir efectuar una buena calibración del instrumento de medida construido son aquellos con incidencia de rayos solares a cielo abierto, sin nubes o neblinas, realizando observaciones y ajustes en el intervalo de una hora y alrededor del medio día, cuando el Sol se encuentra en la parte más alta del firmamento. De otro modo se podría tener errores de calibración y por ende en las mediciones que se realicen.
- 2). Los errores en la medida de la energía acumulada deben ser mínimos en días soleados que en días nublados.
- 3). La medida de la energía acumulada en periodos largos del día incluyendo las horas tempranas de la mañana y finales del atardecer, debe ser un valor ligeramente menor en el solarímetro UNI debido al efecto de los sensores y su comportamiento en estas horas.

**TABLA N° 4.9**

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO - SOLARÍMETRO UNI**

**RESUMEN COMPARATIVO DE ENERGÍA ACUMULADA DIARIA**

(Fechas diferentes e intervalos horarios diferentes)

N° PRUEBA	FECHA	HORAS	DURACIÓN	ENERGÍA (E/A)		E.P. %	ENERGÍA (E/A)		E.P. %	CLIMA	OBSERVACIONES EN LA CALIBRACIÓN
				Valores de la integral			Lecturas de los LCD				
				S-HAENNI (kWh/m²) ± 0,01	S-UNI (kWh/m²) ± 0,01		S-HAENNI (kWh/m²) ± 0,01	S-UNI (kWh/m²) ± 0,01			
01	30/06/09	11:05 12:00	01h, 05min	0,37	0,39	5	0,31	0,31	0	Día soleado	Exceso en Amplitud
01	30/06/09	12:40 18:00	05h, 20min	1,71	1,70	1	1,70	1,72	1	Día soleado	Exceso en Amplitud
02	07/07/09	10:45 18:00	07h, 15min	3,03	2,91	4	3,00	2,95	2	Día soleado	OK
03	12/07/09	10:50 18:00	07h, 10min	1,64	1,50	9	1,61	1,50	7	Día nublado	OK
30/06/2009		DÍA SOLEADO, Curvas de Intensidad semejantes, Curvas de Energía semejantes; ambas con diferencias en el ocaso solar									
07/07/2009		DÍA SOLEADO, Curvas de Intensidad semejantes, Curvas de Energía semejantes; ambas con diferencias en el ocaso solar									
12/07/2009		DÍA NUBLADO, Curvas de Intensidad con ciertas diferencias, Curvas de Energía semejantes con separación en el ocaso solar									

**TABLA N° 4.10**

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO - SOLARÍMETRO UNI**

**RESUMEN COMPARATIVO DE ENERGÍA ACUMULADA DIARIA**

(fechas diferentes e intervalos horarios iguales)

N° PRUEBA	FECHA	HORAS	DURACIÓN	ENERGÍA (E/A)		E.P. %	ENERGÍA (E/A)		E.P. %	CLIMA	OBSERVACIONES EN CALIBRACIÓN
				Valores de las integrales			Lecturas de los LCD				
				S-HAENNI (kWh/m²) ± 0,01	S-UNI (kWh/m²) ± 0,01		S-HAENNI (kWh/m²) ± 0,01	S-UNI (kWh/m²) ± 0,01			
01	30/06/09	12:40 18:00	05h, 20min	1,71	1,70	1	1,70	1,72	1	Día soleado	Exceso en Amplitud
02	07/07/09	12:40 18:00	05h, 20min	2,02	1,93	4	1,98	1,94	2	Día soleado	OK
03	12/07/09	12:40 18:00	05h, 20min	1,12	1,01	10	1,10	1,01	8	Día nublado	OK.
30/06/2009		DÍA SOLEADO, Curvas de Intensidad semejantes, Curvas de Energía semejantes; ambas con diferencias en el ocaso solar									
07/07/2009		DÍA SOLEADO, Curvas de Intensidad semejantes, Curvas de Energía semejantes; ambas con diferencias en el ocaso solar									
12/07/2009		DÍA NUBLADO, Curvas de Intensidad con ciertas diferencias, Curvas de Energía semejantes con separación en el ocaso solar									

Sin embargo para aplicaciones prácticas este intervalo de medida puede reducirse considerando las horas centrales del día, desde las 10:00 hasta las ~~15:00~~ (horas de mayor captación de energía) y los errores de la medición en ambos instrumentos serán mínimos y las lecturas de sus pantallas muy similares.

- 4). Las diferencias de diseño de los sensores de los solarímetros HAENNI y UNI, el primero probablemente con mayor ángulo sólido para la captación de radiación solar, dan lugar a que en las horas tempranas del día y próximas al ocaso solar no tengan la misma amplitud. Esto es, que las lecturas del solarímetro patrón sean mayores que las del construido.

CONCLUSIÓN FINAL: Una mejora que se puede hacer en el equipo construido es agregar al sensor un difusor ligeramente en alto relieve y realizando el ajuste de calibración respectivo.

#### **4.8.2. EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO DEL SOLARÍMETRO**

El dispositivo que va a suministrar la energía para el funcionamiento del Sistema de Medida, es una Batería DURACELL – 9 VDC; luego es interesante averiguar cuál es la potencia de trabajo del equipo, el consumo promedio de energía por sesión y la vida útil de la batería en relación con el equipo trabajando a plena carga. Por ello es necesario implementar un circuito con la finalidad de investigar sobre estas interrogantes.

Las pruebas experimentales anteriores, desde luego, han indicado que la batería utilizada como fuente de alimentación del equipo, tendrá una vida útil con éste, hasta que su pantalla LCD permita visualizar con comodidad, la información de salida que muestra.

#### **4.8.2.1. Objetivos Generales**

- 1). Evaluar el consumo eléctrico del Sistema de Medida.
- 2). Evaluar la vida útil de la batería y la autonomía del equipo

#### **4.8.2.2. Objetivos Específicos**

- 1). Determinar la curva de descarga de la batería utilizada trabajando a carga completa.
- 2). Determinar la curva de corriente drenada de la batería mientras dura el proceso de descarga.
- 3). Determinar la curva de evolución de la potencia suministrada al equipo.
- 4). Estimar la capacidad utilizada desde la batería.
- 5). Estimar el consumo de energía del equipo, según condiciones establecidas.
- 6). Estimar las horas de autonomía del equipo.

#### **4.8.2.3. Equipos y Materiales**

- \* Equipo Solarímetro HAENNI SOLAR 118
- \* Equipo Solarímetro UNI V 1.0
- \* Cable conector de audio Hurricane estándar de alta calidad (2,5 m).

- \* Reloj de pulsera.
- \* 05 Baterías nuevas DURACELL – 9 VDC, codificadas  
CODIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS: B-01, B-02, B-03, B-04, B-05.
- \* Multímetro analógico SANWA.
- \* Multímetro digital PRASEK PR-36
- \* Bananas macho y hembra.
- \* Cables de conexión.
- \* Una computadora personal.
- \* Software: Excel, Logger Pro

#### **4.8.2.4. Metodología**

La metodología consiste primero en implementar un circuito destinado a medir la potencia suministrada al equipo basado en el método del voltímetro y el amperímetro insertados a la salida de la batería y entrada del solarímetro en pleno funcionamiento, trabajando a plena carga.

A continuación con los registros de corriente y voltaje elaborar gráficos en función del tiempo de las magnitudes voltaje, intensidad de corriente, potencia, y las áreas bajo estas curvas para su análisis respectivo, teniendo que utilizar para ello técnicas de ploteo de gráficos, métodos numéricos (método del trapecio) y estadísticos para la estimación de errores. Finalmente, en el uso de las bases teóricas de la física y la electrotecnia para la interpretación de los gráficos elaborados.

#### **4.8.2.5. Procedimiento General**

- 1). Para efectos de llevar a cabo esta evaluación se implementó el circuito de la Fig. 4.14, el que sería utilizado durante las pruebas experimentales en esta parte del trabajo.
- 2). Llegado el momento de la prueba experimental, en el espacio de trabajo elegido, instalar el circuito anteriormente indicado haciendo uso de los materiales y equipos involucrados.
- 3). Efectuada la instalación activar el interruptor de la unidad analógica a la posición ON (hacia arriba) para el ingreso de la señal, haciendo lo propio con la unidad digital e iniciar con el registro de datos para las variables tiempo, intensidad de corriente, voltaje y si fuera posible las lecturas de intensidad de radiación solar y energía acumulada, si es que así se ha establecido.
- 4). Terminada la prueba del día (o intervalo de tiempo establecido para la prueba) en lo que corresponde al registro de datos, iniciar el trabajo de gabinete utilizando el software EXCEL e ingresando los datos de hora, tiempo (min), voltaje (V) e intensidad de corriente (mA) y creando otra columna más para la variable potencia (mW).
- 5). Las columnas de voltaje y tiempo transportarlas al software LOGGER PRO y construir el GRÁFICO DE DESCARGA DE LA BATERÍA  $V(VS) t$ .
- 6). Repetir el paso 5, con las columnas de intensidad de corriente y tiempo, luego las columnas de potencia y tiempo; para obtener en sendos gráficos las CURVAS DE EVOLUCIÓN de las variables INTENSIDAD DE CORRIENTE y POTENCIA respectivamente.

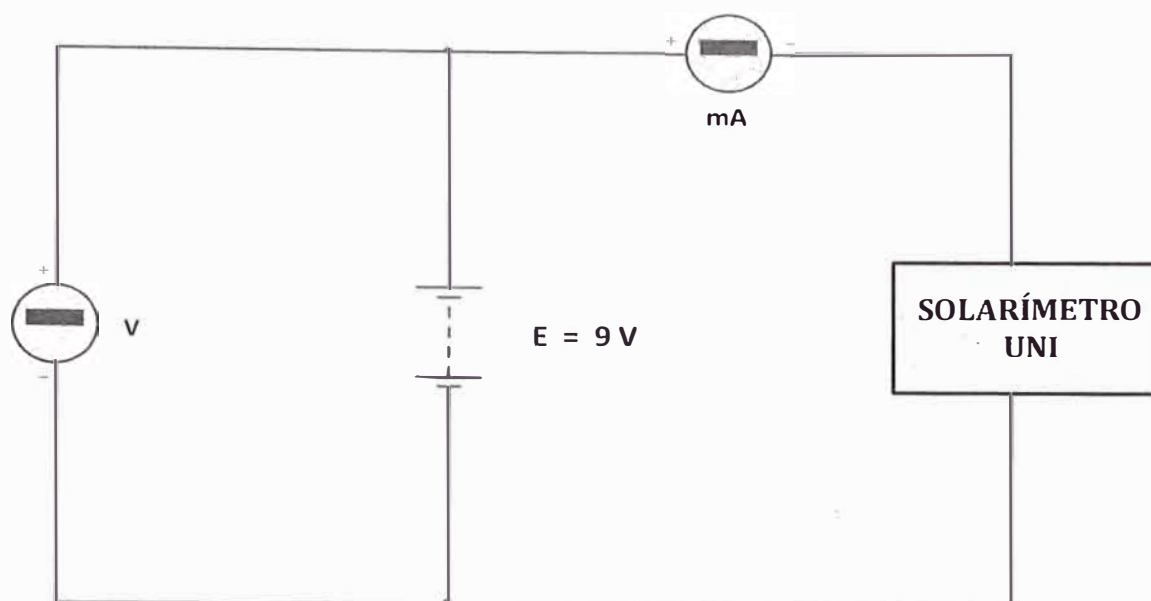


Fig.4.14. Circuito implementado para la Evaluación del Consumo Eléctrico

- 7). Utilizando la opción INTEGRAL del software LOGGER PRO determinar el área bajo las curvas de intensidad de corriente y potencia para obtener por separado los gráficos de CAPACIDAD DE BATERÍA y de CONSUMO ELÉCTRICO, respectivamente.
- 8). En la información procesada realizar las conversiones de unidades que sean pertinentes para su análisis y finalmente resumir los resultados elaborando tablas convenientemente diseñadas para su fácil interpretación y análisis correspondiente.

#### 4.8.2.6. Pruebas experimentales efectuadas para evaluar el consumo eléctrico del equipo



## **EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO - PRUEBA N° 01**

### **BATERÍA B-01**

- 1). FECHA : 30 de junio del 2009
- 2). LUGAR : Huacho, U.N. José F. Sánchez Carrión.
- 3). INSTALACIÓN : 10:45
- 4). CALIBRACIÓN : 10:55 – 11:05
- 3). HORAS DE PRUEBA : (11:05 – 12:00) y (12:40 – 18:00)
- 4). DURACIÓN : (01hora, 05min) y (05 horas, 20 min)
- 5). CONDICIONES ATMOSFÉRICAS: Día soleado
- 6). MATERIAL Y EQUIPOS:

Circuito de la figura 4.14 con sus componentes:

- \* Fuente de alimentación : BATERÍA B-01
- \* Un Miliamperímetro : Multímetro Digital PR-36 PRASEK
- \* Un voltímetro : Multímetro Analógico SANWA
- \* La carga : Solarímetro UNI, funcionando

Los demás materiales y equipos mencionados en la sección 2.8.2.3.

### **7). PROCEDIMIENTO:**

El procedimiento seguido para realizar esta prueba fue la misma establecida en la sección (4.8.1.5), solamente que dicha prueba fue desdoblada en dos momentos debido a una desconexión de un cable en la unidad analógica, demandando algunos minutos para su reparación forzando a la Reinicialización de la prueba en segundo momento.

### **8). REGISTRO DE DATOS:**

Se registraron datos de las variables: voltaje, intensidad de corriente y potencia generadas durante la descarga de la batería en el tiempo; datos que se han registrado en la TABLA A-7 del ANEXO N° 09

9). PROCESAMIENTO DE DATOS:

Con los datos anteriores, utilizando el software LOGGER PRO, se elaboraron los gráficos:

- Curva de descarga de la batería.
- Curvas de intensidad de corriente, evaluando al mismo tiempo la Capacidad utilizada de batería, para dos periodos de tiempo.
- Curvas de Potencia, evaluando al mismo tiempo el consumo de energía de la batería.

Dichos Gráficos 01; 02; 03; 04 Y 05, se visualizan en el ANEXO 10

10). RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA – PRUEBA N° 01:

Estos se resumen en las TABLAS 4.11 y 4.12

## **EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO - PRUEBA N° 02**

### **BATERÍA B-02**

- 1). FECHA : 07 de julio del 2009
- 2). LUGAR : Huacho, U.N. José F. Sánchez Carrión.
- 3). INSTALACIÓN : 10:30
- 4). CALIBRACIÓN : 10:30 – 10:45
- 3). HORAS DE PRUEBA : 10:45 – 18:00
- 4). DURACIÓN : 07 horas, 15 minutos
- 5). CONDICIONES ATMOSFÉRICAS: Día soleado
- 6). OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL EQUIPO:

En esta prueba se extrajeron de la unidad digital del equipo algunos periféricos externos al microcontrolador que no estaban siendo utilizados y que estaban colocados en sus zócalos respectivos en la tarjeta CP PIC877, con la finalidad optimizar el consumo eléctrico. Estos fueron los siguientes integrados.

- Integrado MAXIM 232 (16 pines)
- Integrado 65ECYTK<sup>E4</sup> 5N74LS07N
- Integrado ATMEL 542 24C32A
- Integrado ATMEL 338 24C04C

7). MATERIAL Y EQUIPOS:

Los mismos utilizados en la Prueba de Evaluación N° 01

8). PROCEDIMIENTO:

El procedimiento seguido para realizar esta prueba fue la misma establecida en la sección (3.8.1.5), sin inconvenientes.

9). REGISTRO DE DATOS:

Se registraron datos de las variables: voltaje, intensidad de corriente y potencia generadas durante la descarga de la batería en el tiempo; datos que se han registrado en la TABLA A-8 del ANEXO N° 11

10). PROCESAMIENTO DE DATOS:

Con los datos anteriores, utilizando el software LOGGER PRO, se elaboraron los gráficos:

- Curva de descarga de la batería.
- Curvas de intensidad de corriente, evaluando al mismo tiempo la Capacidad utilizada de batería, para dos periodos de tiempo.

- Curvas de Potencia, evaluando al mismo tiempo el consumo de energía de la batería.

Dichos Gráficos 01; 02; 03; 04 Y 05, se visualizan en el ANEXO 12

11). RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA – PRUEBA N° 02:

Estos se resumen en las TABLAS 4.11 y 4.12

## **EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO - PRUEBA N° 03**

### **BATERÍA B- 03**

- 1). FECHA : 12 de julio del 2009
- 2). LUGAR : Huacho, U.N. José F. Sánchez Carrión.
- 3). INSTALACIÓN : 10:30
- 4). CALIBRACIÓN : algo fina
- 3). HORAS DE PRUEBA : 10:50 – 18:00
- 4). DURACIÓN : 07 horas, 10 minutos
- 5). CONDICIONES ATMOSFÉRICAS: Día nublado
- 6). OBSERVACIONES:  
Sin los periféricos de la PRUEBA 01
- 7). MATERIAL Y EQUIPOS:  
Los mismos utilizados en la Prueba de Evaluación N° 01
- 8). PROCEDIMIENTO:  
El procedimiento general establecido.
- 9). REGISTRO DE DATOS:  
Se registraron datos de las variables: voltaje, intensidad de corriente y potencia generadas durante la descarga de la batería en el tiempo; datos que se han registrado en la TABLA A-9 del ANEXO N° 13

10). PROCESAMIENTO DE DATOS:

Con los datos anteriores, utilizando el software LOGGER PRO, se elaboraron los gráficos:

- Curva de descarga de la batería.
- Curvas de intensidad de corriente, evaluando al mismo tiempo la Capacidad utilizada de batería, para dos periodos de tiempo.
- Curvas de Potencia, evaluando al mismo tiempo el consumo de energía de la batería.

Dichos Gráficos 01; 02; 03; 04 Y 05, se visualizan en el ANEXO 14

11). RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA – PRUEBA N° 03:

Estos se resumen en las TABLAS 4.11 y 4.12

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO - PRUEBA N° 04**

**BATERIA B-04**

- 1). FECHA : 30 de julio y 31 de julio del 2009
- 2). LUGAR : Huacho, Piso 3 - domicilio del tesista.
- 3). HORA DE PRUEBA : 09:30 del día 30/07/09 – 12:00 del día 31/07/09

- 4). DURACIÓN : 26 horas, 30 min – tiempo continuado

- 5). CONDICIONES ATMOSFÉRICAS: Día nublado

- 6). OBSERVACIONES:

Sin los periféricos de la PRUEBA 01

- 7). PROCEDIMIENTO:

El procedimiento general establecido, con el adicional de que la prueba fue continuada durante dos días, (día y noche de la primera

fecha y la mañana de la segunda) hasta que la pantalla LCD del equipo no permita visualizar la información de salida.

8). REGISTRO DE DATOS:

Se registraron datos de las variables: voltaje, intensidad de corriente y potencia generadas durante la descarga de la batería en el tiempo; datos que se han registrado en la TABLA A-10 del ANEXO N° 15

9). PROCESAMIENTO DE DATOS:

Con los datos anteriores, utilizando el software LOGGER PRO, se elaboraron los gráficos:

- curva de descarga de la batería.
- Curvas de intensidad de corriente, evaluando al mismo tiempo la Capacidad utilizada de batería, para dos periodos de tiempo.
- Curvas de Potencia, evaluando al mismo tiempo el consumo de energía de la batería.

Dichos Gráficos 01; 02; 03; 04 Y 05, se visualizan en el ANEXO 16

10). RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA – PRUEBA N° 04:

Estos se resumen en la TABLA 4.13

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO - PRUEBA N° 05**

**BATERÍA B-05**

- |     |                |   |
|-----|----------------|---|
| 1). | FECHAS         | : 01; 02 y 03 de agosto del 2009          |
| 2). | LUGAR          | : Huacho, Piso 3 - domicilio del tesista. |
| 3). | HORA DE PRUEBA | : 10:00 – 18:00 del día 01/08/09          |
|     |                | 10:00 – 18:00 del día 02/08/09            |
|     |                | 10:00 – 18:00 del día 03/08/09            |

4). DURACIÓN : 24 horas, en días diferentes

5). CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Día 01.08.09: nublado por la mañana, soleado por la tarde

Día 02.08.09: nublado todo el día

Día 03.08.09: nublado por la mañana, soleado por la tarde

6). OBSERVACIONES:

Sin los periféricos de la PRUEBA 01

7). PROCEDIMIENTO:

El procedimiento general establecido.

8). REGISTRO DE DATOS:

Se registraron datos de las variables: voltaje, intensidad de corriente y potencia generadas durante la descarga de la batería en el tiempo; datos que se han registrado en las TABLAS A-11; A-12 y A-13 del ANEXO N° 17

9). PROCESAMIENTO DE DATOS:

Con los datos anteriores, utilizando el software LOGGER PRO, se elaboraron los gráficos:

- 03 Curvas superpuestas de descarga de la batería, para tres fechas.
- 03 Curvas de intensidad de corriente, para tres fechas.
- 03 Curvas de potencia, para tres fechas.
- 03 Gráficos para la evaluación de la Capacidad utilizada de batería, para tres fechas.
- 03 Gráficos para la evaluación del consumo de energía para tres fechas.

Dichos Gráficos 01; 02; 03; 04; 05; 06; 07; 08 y 09, se visualizan en el Anexo N° 17.

10). RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA – PRUEBA N° 05:

Estos se resumen en la TABLA 4.14. Además de dos TABLAS 4.15 y 4.16 de evaluación de la visibilidad de la pantalla LCD.

**4.8.2.7. Resultados de las Pruebas efectuadas para evaluar del consumo eléctrico del equipo**

Los resultados de las pruebas de consumo eléctrico para las cinco baterías se resumen en las TABLAS 4.11; 4.12; 4.13; 4.14; 4.15 y 4.16.

**4.8.2.8. Análisis de los Resultados de las Pruebas efectuadas para evaluar del consumo eléctrico del equipo**

DE LAS TABLAS 4.11 y 4.12

Las tres baterías B-01, B-02 y B-03, siendo nuevas y diferentes tienen un funcionamiento con el equipo alrededor de las siete (07) horas, luego en estas condiciones:

- 1). Para las tres baterías el voltaje de descarga en cada sesión, es aproximadamente el mismo (8 voltios), mostrando con toda nitidez y “en negrita” la información en la pantalla LCD.
- 2). También se observa que con la batería B-01 se tiene un consumo de energía de 1,76 Wh. Asumiendo que este consumo equivale a un 100%, luego con las baterías B-02 y B-03 se tiene un ahorro de energía del 33% y 36% respectivamente; con un promedio del 35%. Por tanto,



**TABLA N° 4.11**

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO - SOLARÍMETRO UNI**

**RESUMEN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES 01, 02 y 03**

(03 baterías, fechas e intervalos horarios diferentes)

BATERÍA	FECHA	HORAS	DURACIÓN	VOLTAJE		CORRIENTE		POTENCIA		CAPACIDAD EXTRAÍDA (Ah)	%	CONSUMO ENERGÍA (Wh)	%
				MAX (V) ± 0,1	MIN (V) ± 0,1	MAX (mA) ± 0,04	MIN (mA) ± 0,04	MAX (mW) ± 0,01	MIN (mW) ± 0,01				
<b>B-01</b> (*)	30/06/09	11:05 18:00	06 h, 55min	9,0	7,8	34,11	27,92	306,99	217,78	0,210	100	1,76	100
<b>B-02</b>	07/07/09	10:45 18:00	07 h, 15min	9,2	8,0	18,69	17,36	171,95	138,88	0,139	66	1,17	67*
<b>B-03</b>	12/07/09	10:50 18:00	07 h, 10min	9,3	8,1	18,66	17,60	173,54	142,56	0,132	63	1,12	64*
TOTALES			14,42 h							0,271		2,29	
PROMEDIOS DIARIOS OBTENIDOS OPTIMIZANDO RECURSOS										0,136		1,14	
PROMEDIO DE AHORROS DIARIOS OBTENIDOS OPTIMIZANDO RECURSOS											36		34
CAPACIDAD EXTRAÍDA Y CONSUMO DE ENERGÍA: ESTIMADOS PARA 08 HORAS/DÍA										0,150		1,27	

(\*) PERIFÉRICOS EXTRAÍDOS: Integrados MAXIM 232, 5N74LS07N, EEPROM 24C32A Y EEPROM 24C04C – (LCD: Negrita)

### TABLA N° 4.12

## EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO - SOLARÍMETRO UNI

## RESUMEN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES 01, 02 y 03

(03 baterías, fechas diferentes e intervalos horarios iguales)

BATERÍA	FECHA	HORAS	DURACIÓN	VOLTAJE		CORRIENTE		POTENCIA		CAPACIDAD EXTRAÍDA (Ah)	%	CONSUMO ENERGÍA (Wh)	%
				MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN				
				(V) ± 0,1	(V) ± 0,1	(mA) ± 0,04	(mA) ± 0,04	(mW) ± 0,01	(mW) ± 0,01				
<b>B-01</b>	30/06/09	12:40 18:00	05 h 20 min	8,4	7,8	31,98	27,92	268,63	217,78	0,164	100	1,32	100
<b>B-02</b> *	07/07/09	12:40 18:00	05 h 20 min	8,6	8,0	19,61	17,36	168,65	138,88	0,102	62	0,85	64
<b>B-03</b> *	12/07/09	12:40 18:00	05 h 20 min	8,7	8,1	18,58	17,60	161,65	142,56	0,098	60	0,82	62
TOTALES			06 h							0,200		1,67	
PROMEDIOS DIARIOS OBTENIDOS OPTIMIZANDO RECURSOS										0,100		0,84	
PROMEDIO DE AHORROS DIARIOS OBTENIDOS OPTIMIZANDO RECURSOS											39		37
CAPACIDAD EXTRAÍDA Y CONSUMO DE ENERGÍA: ESTIMADOS PARA 08 HORAS/DÍA										0,150		1,25	

(\*) PERIFÉRICOS EXTRAÍDOS: Integrados MAXIM 232, 5N74LS07N, EEPROM 24C32A Y EEPROM 24C04C – (LCD: Negrita)

(01 Bateria, fechas diferentes e intervalo de tiempo continuado)

BATERÍA	FECHA	HORAS	DURACIÓN	VOLTAJE		CORRIENTE		POTENCIA		CAPACIDAD EXTRAÍDA (Ah)	%	CONSUMO ENERGÍA (Wh)	%
				MAX (V) ± 0,1	MIN (V) ± 0,1	MAX (mA) ± 0,04	MIN (mA) ± 0,04	MAX (mW) ± 0,01	MIN (mW) ± 0,01				
B-04	30/07/09	09:30	14 h	9,2	7,2	18,57	13,41	170,84	96,55	0,430	100	3,38	100
		00:00	30 min										
	31/07/09	00:00	12 h										
		12:00	00min										
TOTALES			26,5 h							0,430		3,38	
CAPACIDAD EXTRAÍDA: ESTIMADO PARA 08 HORAS/DÍA - (0,430 Ah)(08/26,5)										0,130			
CONSUMO DE ENERGÍA: ESTIMADO PARA 08 HORAS/DÍA - (3,38 Wh)(08/26,5)												1,02	
PANTALLA LCD: Invisible al finalizar la prueba													
Equipo operando en forma continua, de día con luz solar y de noche en oscuridad													
(*) PERIFÉRICOS EXTRAÍDOS: Integrados MAXIM 232, 5N74LS07N, EEPROM 24C32A Y EEPROM 24C04C													

(01 batería, fechas diferentes, horarios e intervalos de tiempo iguales)

BATERÍA	FECHA	HORAS	DURACIÓN	VOLTAJE		CORRIENTE		POTENCIA		CAPACIDAD EXTRAÍDA (Ah)	%	CONSUMO ENERGÍA (Wh)	%
				MAX (V) ± 0,1	MIN (V) ± 0,1	MAX (mA) ± 0,04	MIN (mA) ± 0,04	MAX (mW) ± 0,01	MIN (mW) ± 0,01				
B-05	01/08/09	10:00 18:00	08 h 00 min	9,2	8,0	18,56	17,28	170,75	138,24	0,146	36	1,24	39
	02/08/09	10:00 18:00	08 h 00 min	8,2	7,7	18,35	15,69	150,47	120,81	0,132	33	1,04	32
	03/08/09	10:00 18:00	08 h 00 min	8,0	7,4	17,42	14,34	139,60	106,12	0,123	31	0,93	29
TOTALES			24 h							0,401	100	3,21	100
PROMEDIOS OBTENIDOS PARA 08 HORAS/DÍA, OPTIMIZANDO RECURSOS										0,134		1,07	
PANTALLA LCD: Lecturas casi invisibles al finalizar las pruebas													
Equipo operando con luz solar difusa													
EQUIPO OPERANDO SIN LOS PERIFÉRICOS: Integrados MAXIM 232, 5N74LS07N, EEPROM 24C32A Y EEPROM 24C04C													

**TABLA 4.15**

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO – SOLARÍMETRO UNI**  
**PRUEBA EXPERIMENTAL N° 04 - VISIBILIDAD EN LA PANTALLA LCD**  
**BATERÍA B-04**

FECHA	HORAS	V (V) ± 0,1	I (mA) ± 0,04	P (mW) ± 0,01	COLOR LECTURA EN LCD	VISUALIZACIÓN DEL DATO
30/07/09	09:35	9,2	18,57	170,84	Negrita	Nítida
	18:45	8,0	16,87	134,96	Negrita	Nítida
	19:45	7,9	16,63	131,38	Negrita	Nítida
	20:00	7,9	16,59	131,06	Gris	Nítida
	00:00	7,8	15,82	123,40	Gris	Nítida
31/07/09	00:15	7,8	15,77	123,01	Gris	Nítida
	05:00	7,6	14,92	113,39	Gris claro	Visible
	05:45	7,6	14,83	112,71	Gris claro	Visible
	08:00	7,4	14,28	105,67	Gris pálido	Con acercamiento
	10:00	7,4	13,83	102,34	Gris pálido	Con acercamiento y esfuerzo
	11:00	7,3	13,68	99,86	Transparente	Invisible
	12:00	7,2	13,41	96,55	Transparente	Invisible

**TABLA 4.16**  
**EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO – SOLARÍMETRO UNI**  
**PRUEBA EXPERIMENTAL N° 05 - VISIBILIDAD EN LA PANTALLA LCD**  
**BATERÍA B-05**

FECHA	HORAS	V (V) ± 0,1	I (mA) ± 0,04	P (mW) ± 0,01	COLOR LECTURA EN LCD	VISUALIZACIÓN DEL DATO
01/08/09	10:00	9,2	18,56	170,75	Negrita	Nítida
	18:00	8,0	17,28	138,24	Negrita	Nítida
02/08/09	10:00	8,2	18,35	150,47	Negrita	Nítida
	13:00	7,9	16,62	131,30	Negrita	Nítida
	16:15	7,8	15,99	124,72	Gris	Visible
	18:00	7,7	15,69	120,81	Gris claro	Visible
03/08/09	10:00	8,0	17,42	139,36	Gris claro	Visible
	12:30	7,6	15,45	117,42	Gris pálido	Visible
	14:00	7,6	15,13	114,99	Gris pálido	Visible
	15:00	7,6	15,15	115,14	Gris pálido	Visible con acercamiento
	16:00	7,6	15,29	116,20	Gris pálido	Visible con acercamiento
	18:00	7,4	14,34	106,12	Gris pálido	Con acercamiento y esfuerzo

la optimización de recursos efectuada en el sistema con la extracción de cuatro periféricos de la tarjeta P PIC877 ha dado resultados favoreciendo en ahorros de energía y de capacidad utilizada de batería.

- 3). Justamente utilizando este de capacidad utilizada de las batería, si asumimos de acuerdo con los resultados de estas tablas, que este valor representa un 100% para la batería B-01, en las baterías B-02 y B-03 están representadas por el 66% y 63% respectivamente, con promedio un del 64%.

#### **4.8.2.9. Conclusiones de las Pruebas efectuadas para evaluar del consumo eléctrico del equipo**

##### **DE LA TABLA 4.11**

Estos resultados demuestran que la utilización de una batería nueva, garantiza el trabajo de 07 horas diarias por día con el equipo. Que, la optimización realizada por la extracción de periféricos inútiles de la tarjeta PC-PIC877 ha dado resultados; pues con ello, se tiene un consumo promedio diario de 1,14 Wh y una capacidad utilizada de batería de 0,136 Ah. Valores estimados para 08 horas diarias de trabajo arrojan un consumo máximo promedio diario de 1,30 Wh/día y una capacidad extraída de batería máxima de 0,150 Ah/día.

Los mismos efectos se observan la TABLA 4.12 pero con menos horas de trabajo.

#### DE LA TABLA 4.13

Los resultados de esta prueba en la cual el equipo trabaja durante dos días (la primera fecha día y noche) en tiempo continuado con un total de 26 horas con 30 minutos, hasta que la información de la pantalla se vuelva invisible al ojo del usuario; nos demuestran lo siguiente:

- 1). Finalizada la prueba se constata que el voltaje mínimo aplicado por la batería que alimenta al equipo debe estar por encima de los 7,2 voltios; y respecto a la potencia suministrada, ésta debe ser superior a los 97 mW. Hecho que lo confirma el manual de la tarjeta CP-PIC877, dada por el fabricante, al considerar que la batería que la alimente debe estar comprendida entre los 9 y los 12 voltios.
- 2). Que la energía consumida por el equipo hasta el límite de utilización de la batería es de 3,38 Wh, con una capacidad utilizada de batería de 0,43 Ah

#### DE LA TABLA 4.14

Recordando que en estas pruebas, el equipo trabaja con una batería nueva, la B-05 durante tres días diferentes de 08 horas diarias entre las 10:00 y las 18:00, con un total de 24 horas y con una visualización de la información de la pantalla LCD no del todo invisible, la Tabla 4.14 nos muestra los siguientes resultados:

- 1). Que el consumo de energía que tiene el equipo es de aproximadamente 3 Wh con una capacidad de batería utilizada de



0,40 Ah. Resultados algo semejantes a los obtenidos con la batería B-04 con dos horas más de trabajo.

- 2). Esta tabla también nos muestra que el voltaje mínimo de descarga que tiene la batería es de 7,4 voltios y la potencia suministrada superior a los 106 mW. Sin embargo por la baja visibilidad que muestra la pantalla LCD, estos valores deben ser de mayor magnitud para que el equipo trabaje normalmente.
- 3). Con esta última prueba efectuada se podría afirmar que el equipo, con la batería que utiliza, tendría aproximadamente una autonomía de 3 días, equivalente a 24 horas útiles de 8 horas por día. Que esta autonomía sería más real si solamente se consideran 7 horas por día, con una mejor visualización en la pantalla LCD.

#### DE LAS TABLAS 4.15 y 4.16

- 1). Estas dos tablas, confirman efectivamente considerando la visibilidad de la pantalla, que el voltaje y potencia mínimas requeridas por el equipo para funcionar normalmente son iguales o mayores a 7,6 voltios y 115 mW de potencia suministrada, respectivamente.
- 2). Finalmente, observando los datos de las tablas y curvas de corriente de las diferentes pruebas, se puede constatar también, que cuando la intensidad de radiación solar incidente aumenta los datos de intensidad de corriente drenada de la batería también sufren incrementos, lo que indica que el equipo podría tener un mayor consumo de energía en los meses de verano o en lugares caracterizados por tener altos niveles de radiación incidente y posiblemente también disminuyan las horas de

autonomía del equipo. Es probable que este mayor consumo ocurra en la etapa de amplificación, debido a que el amplificador tiene que realizar un mayor trabajo para elevar la señal de entrada a niveles más altos.

## **C A P Í T U L O V**

### **COMPONENTES, CARÁCTERÍSTICAS, FUNCIONAMIENTO Y COSTOS DEL PROTOTIPO DE SOLARÍMETRO**

Habiéndose logrado el objetivo de construcción del prototipo de solarímetro y definido la estructura del equipo y sus componentes, en este capítulo destacamos las características, funcionamiento y especificaciones técnicas tanto del equipo como sistema integrado así como de cada uno de sus componentes, detalles importantes para su manejo, reparación y posible reproducción.

También se ha tratado de consignar algunas instrucciones y recomendaciones para su manejo, uso y mantenimiento; para finalmente establecer y estimar los costos de desarrollo y de reproducción respectivamente, tomando como referencia los precios actuales de los diferentes componentes y dispositivos electrónicos, disponibles en el mercado local.

## **5.1. COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

El Prototipo de Solarímetro construido consta fundamentalmente de dos circuitos, uno analógico y el otro digital enlazados por un cable conector.

### **5.1.1. EL CIRCUITO ANALÓGICO:**

#### **5.1.1.1. Especificaciones genéricas de la unidad**

Está constituido por una caja metálica de aluminio en cuyo interior yacen los circuitos analógicos de detección, y de acondicionamiento de la señal.

us características técnicas son:

- 1). Dimensiones: 15,5 cm x 8,3 cm x 5,4 cm (9,5 cm es el nivel del sensor).

El sensor se encuentra en un tercer nivel en una plataforma tipo túnel para fines de enfriamiento ante posibles incrementos de la temperatura.

- 2). Peso aproximado: 543,5 g
- 3). Color: aluminio blanco la cubierta superior y aluminio negro la base.

En la parte superior de la cubierta, en un tercer nivel, se muestran al sensor del sistema representado por la celda fotovoltaica y un orificio utilizado para la calibración del equipo mediante un desarmador pequeño tipo relojero.

En el panel frontal muestra las bananas hembra color rojo y negro para el acoplamiento con la unidad digital mediante el cable conector.

En una de la paredes laterales de la caja se visualiza el interruptor ON (arriba) / OFF (abajo), que permite el ingreso de la señal observable externa para su detección y procesamiento por el sistema.

#### **5.1.1.2. Especificaciones técnicas de componentes internos**

Los elementos que forman la estructura de esta unidad por cada componente son los siguientes:

##### **1). CIRCUITO DE DETECCIÓN**

Una celda fotovoltaica de silicio amorfo, la cual presenta un área de exposición de  $37,8 \text{ cm}^2$  (superficie rectangular de lados 7,0 cm x 5,4 cm).

##### **2). CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO CORRIENTE/VOLTAJE**

- \* 05 resistencias de carbón de  $1\Omega$ .

- \* 01 resistencia variable de  $1 \text{ k}\Omega$

##### **3). CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO AMPLIFICADOR**

- \* 01 resistencia de carbón  $R2 = 1 \text{ k}\Omega$ .

- \* 01 resistencia variable  $R1 = 1 \text{ M}\Omega$

- \* 01 integrado LM324N (AMPLIFICADOR)

##### **4). OTROS**

- \* 01 interruptor ON / OFF, 3 A, 250 VAC – 6 A, 125 VAC

- \* 02 bananas hembra roja y negra para cable de audio.

- \* Cables conectores.

- \* Galleta perforada y cables conectores para la circuitería del circuito analógico.

### **5.1.2. EL CIRCUITO DIGITAL:**

El módulo digital del sistema de medida está constituido por otra caja metálica de aluminio cuyas características técnicas son las siguientes:

#### **5.1.2.1. Especificaciones genéricas de la unidad**

- 1). Dimensiones: 20,5 cm x 12,7 cm x 9,8 cm
- 2). Peso: 1,08 kg
- 3). Color: caja de aluminio de base y paredes laterales color negro, y cubierta de paneles de control de aluminio blanco.

En la cubierta se encuentra a la vista del usuario la pantalla LCD, en la cual se leerá los resultados de la medida de la radiación solar a través de las funciones intensidad de la radiación solar en ( $\text{W/m}^2$ ) y energía acumulada en ( $\text{kWh/m}^2$ ).

En el panel frontal se encuentran dos bananas hembra roja y negra respectivamente para el acoplamiento con la unidad analógica a través del cable conector.

En el panel posterior un interruptor ON/OFF para la puesta en funcionamiento de esta unidad. También en esta parte se muestra el conmutador manual del sistema de REINICIALIZACIÓN DE MEMORIA del Sistema.

Esta unidad contiene en su interior a los circuitos siguientes: fuente de alimentación, conversión A/D, de procesamiento digital, de comunicación de los resultados y el de Reinicialización de memoria.

### 5.1.2.2. Especificaciones técnicas de componentes internos

#### 1). BATERÍA DURACELL - 9VDC

#### 2). TARJETA PC PIC877 V 1.0

Contiene los zócalos para albergar a los siguientes dispositivos:

- MICROPROCESADOR PIC16F877-A
- Periféricos externos del Microprocesador.
- Puertos E/S: RS232, pantalla LCD, Alimentación, señal, tierra y otros.
- Circuito del regulador de la fuente de alimentación.
- Sección libre para implementación de otros circuitos requeridos por el usuario.

#### 3). CIRCUITO REGULADOR DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN:

Tiene por función convertir el voltaje de la fuente primaria VDC comprendida entre los (9 V – 12 V) al voltaje de salida de  $V_{cc} = 5\text{ V}$ .

Sus componentes son:

- U1 = integrado 7805.
- D1 = diodo 1N4001
- C1 = condensador 470  $\mu\text{F}$
- C2 = condensador de 0,1  $\mu\text{F}$
- C3 = condensador de 0,1  $\mu\text{F}$
- C4 = condensador de 10  $\mu\text{F}$  – 16V

#### 4). CIRCUITO DE CONVERSIÓN A/D

Periférico interno del Microcontrolador, accesible vía el pin RB0.

#### 5). CIRCUITO DE PROCESAMIENTO DIGITAL

Dado por la Unidad Aritmética Lógica del Microcontrolador, Memoria de Programa, Memoria RAM, Recursos internos, Periféricos internos; todos ellos componentes de este dispositivo.

6). CIRCUITO DE REINICIALIZACIÓN DE MEMORIA (EEPROM)

- R = resistencia de carbón de 12 kΩ.
- Conector manual: Posición almacenar (1-2), Posición borrado de Memoria (2-3).
- Puerto E/S RB0 del microcontrolador PIC16F877-A

7). CRISTAL X1 DE 4 MHz y sus condensadores C5 = C6 = 10 pF

8). PANTALLA LCD

- Display luminoso de 16 pines
- Conexiones: 1-VSS, 2-VDD, 3-VEE, 4-RS, 5-RW, 6-E, 11-D4, 12-D5, 13-D6 y 14-D7

### 5.1.3. EL CABLE DE ENLACE:

Consiste de un cable de audio HURRICANE estándar de alta calidad, de funda melliza y de doble vía por funda; de 2,5 m de longitud, provisto de un par de bananas macho color rojo y negro en cada extremo del cable para el acoplamiento con las bananas hembra también de color rojo y negro de las unidades analógico y digital respectivamente.

## 5.2. CRITERIOS DE INSTALACIÓN Y RECOMENDACIONES DE USO

Como el sensor de la unidad analógica tiene un área de exposición pequeña, no requiere de orientación, sin embargo hay otros criterios que se deben tener en cuenta para el momento de instalación del equipo, tales como:



- 1). En el lugar de observación debe elegirse la parte más alta libre de objetos, paredes y personas que puedan generar efectos reflexivos en el sensor del instrumento. En todo caso los obstáculos deben estar muy lejos del área de observación.
- 2). Si el centro de observaciones se fija en una azotea de un pabellón o edificio del lugar elegido, sería recomendable construir una pequeña cabina (tipo cabina telefónica con su mesita respectiva en el interior) para aprovechar el techo donde debe colocarse la unidad analógica del equipo con el sensor expuesto a la radiación solar y su interior para la instalación de la unidad digital conjuntamente con el observador, fuera del alcance de los rayos solares. La ubicación de esta cabina (de sección cuadrada o rectangular) podría ubicarse mejor con dos de sus lados paralelos orientados en la dirección norte sur para observar su sombra al medio día cuando se requiera calibrar el equipo; pues la usencia de sombras a ambos lados de la cabina nos indicará la posición del Sol en la parte más alta del firmamento.
- 3). Hay que tomar medidas de fijación para la seguridad del equipo sobre todo de la unidad del sensor y el cable de enlace, frente a los fuertes vientos que son frecuentes en ciertas temporadas; pues podrían provocar su caída o desconexiones en el sistema.
- 4). En lo posible asegurarse de que en los puntos del acoplamiento del cable conector con las unidades analógica y digital respectivamente, éste ingrese horizontalmente (no doblado en  $90^\circ$ ) con la finalidad de evitar desconexiones.
- 5). Si se requiere calibrar el equipo, considerar un día de la temporada de verano o de otra estación constatándose incidencia de rayos solares, sin nubes o neblinas como requisito para efectuar una calibración de calidad. Luego, en el

intervalo de una hora centrado en el medio día cuando el Sol ocupa la parte más alta del firmamento, realizar una serie de observaciones y ajustes en el perno de calibración de la unidad del sensor con ayuda de un pequeño desarmador, de modo que las lecturas observadas en las pantallas LCD del solarímetro construido y del patrón sean iguales o muy semejantes, registrando esos datos para su procesamiento y comparación como forma de verificación. Días nublados u horas alejadas del medio día no son recomendables para efectos de realizar una buena calibración del equipo.

- 6). Concluido el periodo de observaciones o de mediciones, desactivar los switch de las circuitos analógico y digital, llevándolos a la posición OFF (hacia abajo), antes de proceder a su desinstalación y guardado.
- 7). El solarímetro construido es portátil y tiene autonomía energética limitada, por tanto no puede ser activado ni dejado expuesto al medio ambiente, debido a que no se justifica su operación fuera de las horas útiles del día; luego tiene que ser desinstalado, limpiado y guardado como corresponde.

### **5.3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SOLARÍMETRO**

Para poner en funcionamiento el equipo seguir los siguientes pasos previos:

- 1). Después de haber instalado adecuadamente el equipo activar el circuito digital, colocando el switch del panel posterior a la posición ON (hacia arriba). De este modo la fuente de alimentación se ha activado para ponerlo en funcionamiento, quedando a la espera del ingreso de la señal de entrada para iniciar la tarea de procesamiento digital.
- 2). Para permitir el ingreso de la señal al equipo, activar el switch del circuito analógico colocándolo en la posición ON (hacia arriba). De este modo la

señal estará siendo detectada por el sensor (celda fotovoltaica) del equipo y a la vez transducida en una señal eléctrica en forma de una intensidad de corriente eléctrica pequeña en magnitud del orden de los miliamperios.

- 3). En caso sea necesario, antes de dar inicio al registro de datos o realizar una medición, borrar de la memoria EPROM del equipo toda información guardada de observaciones anteriores, operación que se realiza cambiando manualmente la posición del pequeño conector (jumper de RESETEO, que se encuentra en la posición superior derecha del panel posterior de la unidad digital) negro llevándolo de la posición (1-2) a la posición (2-3) y regresándolo a la posición (1-2) nuevamente. Con ello, el sistema borra de la memoria la energía por unidad de área registrada de fechas anteriores, colocándola al valor CERO, marcando el inicio para una nueva medición. Los resultados de lo efectuado son visibles en la pantalla LCD del equipo.

Realizadas estas tareas previas, la señal de intensidad de radiación convertida en intensidad de corriente eléctrica, según se explicó en la sección 4.3, ingresa a la primera etapa de acondicionamiento para su conversión de señal de corriente en señal de voltaje, también pequeña del orden de los milivoltios. Seguidamente la señal de voltaje es capturada por el circuito de la segunda etapa de acondicionamiento para su amplificación hasta el orden de los voltios. Esta señal de voltaje, ya preparada viaja desde la unidad analógica a la digital a través del cable conector de audio (cable con bananas color negro) y es capturada por convertidor A/D que yace dentro del microcontrolador para su conversión de señal analógica al formato digital. A partir de este momento la Unidad Aritmética Lógica (ALU) del microcontrolador interactúa con sus recursos internos,

memorias y periféricos (internos y externos) para realizar la tarea de procesamiento digital, ejecutando cada instrucción del programa grabado en la Memoria de Programa del microcontrolador. Finalmente los resultados esperados son enviados desde el microcontrolador hacia la pantalla digital LCD para su visualización por el usuario.

#### **5.4. MANTENIMIENTO DEL EQUIPO**

Para mantener el equipo en buen estado de funcionamiento, tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- 1). En cuanto a la batería, cambiarla por una nueva cuando las lecturas de la pantalla LCD, pierdan nitidez a la distancia (color gris tenue).
- 2). Revisar periódicamente el cableado tanto en la unidad analógica como en la unidad digital, podrían haber ocurrido desconexiones.
- 3). Realizar un proceso de calibración estableciendo periodos razonables, deducidos a partir de la experiencia y familiaridad con el equipo.
- 4). Para la limpieza interna del equipo sacar las cubiertas superiores, así como de las cabeceras frontal y posterior, según sea el equipo, removiendo los pernos de seguridad que se atornillan a las paredes laterales de los mismos y extraer el polvo si fuera posible con aire soplado.
- 5). En caso de que se requiera sustituir algún dispositivo, motivo de una reparación, extraerlo cuidadosamente de su zócalo y reemplazarlo por el nuevo. Cualquier otro problema de mal funcionamiento relacionado con dispositivos (sin zócalo) soldados directamente a la tarjeta comercial, es mejor acudir a un profesional experto en reparaciones para solucionar el caso.

## **5.5. COSTOS**

### **5.5.1. COSTOS DE DESARROLLO**

Los costos de desarrollo del prototipo de solarímetro bordean los U.S. \$ 1300,00 incluidos la compra de dispositivos y accesorios que finalmente se han descartado y no forman parte del equipo, otros opcionales para reemplazo en caso de fallas, compra de instrumentación adicional, periféricos de computadora y mano de obra.

### **5.5.2. COSTOS DE PRODUCCIÓN**

Por el momento, el costo de producción podrían reducirse a los U.S. \$ 314,13 considerando que los materiales y dispositivos que utiliza ya están determinados (incluido la tarjeta comercial CP-PIC877). Este costo podría ser menor alrededor de los U.S. \$ 260,00 si es que se decide prescindir de la tarjeta comercial implementando una propia (costo aprox. De S/. 90,00) con los dispositivos óptimos necesarios y suficientes requeridos para la aplicación.

**TABLA 5.1.**

**Relación de dispositivos componentes del equipo - Precios comerciales**

N°	CANT	DISPOSITIVO O ELEMENTO	PRECIO (S/.)
01	01	Celda fotovoltaica, silicio amorfo	25,00
02	05	Resistencia R = 1 $\Omega$ de precisión	15,00
03	01	Resistencia variable de Rv = 1 k $\Omega$ , 122 C – 102 M	2,50
04	01	Resistencia variable R1 = 1 M $\Omega$ , 126 C – 105 M	2,50
05	01	Resistencia de precisión R2 = 1 k $\Omega$	3,0
06	01	Integrado LM324N, GK7300HG + zócalo	2,00
07	02	Interruptor ON/OFF, 3A 250VAC – 6A 125VAC	3,00
08	02	Pares de bananas macho y hembra rojo para cable de audio	14,00
09	02	Pares de bananas macho y hembra negro para cable de audio	14,00
10	03	Metros cable mellizo de audio HURRICANE estándar	5,00
11	05	Batería DURACELL 9V	50,00
12	01	Tarjeta CP PIC877	240,00
13	01	R = resistencia de carbón de 12 k $\Omega$ .	1,00
14	01	Pantalla LCD, 2x16 CH	20,00
15	01	Cargador de batería TC 020B	35,00
16	01	Batería recargable 9V6F22RX22, 9V	28,00
17	01	Microcontrolador PIC16F877-A	27,00
18	01	Cristal de 4 MHz	2,50
19	02	Multímetro digital PR – 36, PRASEK	400,00
20	02	Envolturas de plástico blanco o crema	200,00
		T O T A L	1679,50

TOTAL: U.S. \$ 314,00 aprox. (incluido tarjeta comercial y mano de obra pero sin los 02 multímetros)

Tipo de cambio S/. 2,83 al 26 de Octubre del 2009.

## CONCLUSIONES

1. La metodología de desarrollo utilizada en el diseño y construcción de instrumentos de medición y la tecnología electrónica digital moderna programable basada en un microcontrolador, ha permitido obtener un equipo para la medida de la intensidad de radiación solar incidente y la medida del acumulado de energía diaria, con buenos argumentos a favor como: su tamaño que facilita su transporte, fácil manejo, su velocidad de respuesta, alimentación, aparente bajo consumo de energía, autonomía para tres días de mediciones con la batería que utiliza y un costo relativamente bajo (costo de producción estimado en 314 dólares americanos pudiendo reducirse éste hasta los 260 <sup>sds</sup> ~~dólares~~ prescindiendo de la tarjeta comercial por otra de fabricación nacional) y que de aprobarse su producción en serie podría estar al alcance de la mano de cualquier usuario interesado en su adquisición.
2. Aunque las metodologías para el desarrollo y evaluación del funcionamiento del solarímetro construido concuerdan con las leyes físicas que las sustentan, las mediciones del acumulado de la energía diaria con radiación solar directa es más precisa difiriendo en un 2% de aquellas obtenidas con el patrón, mientras que con radiación difusa este margen puede llegar hasta un 10%, debido a la diferencia de diseño en los sensores de uno y otro instrumento. Luego el diseño del sensor del patrón, puede ser emulado para dotar de un ángulo sólido mayor de detección en el solarímetro construido, capacitándolo para detectar rayos solares con bajos ángulos de inclinación y también de radiación difusa.

3. El SENAMIII, asigna un error del 3% a las medidas del acumulado de energía por unidad de área, proporcionada por piranómetros no basados en termocuplas y de acuerdo con los resultados observados hasta el momento, al Solarímetro UNI, le estimamos en un 5% para días soleados y hasta un 10% para días totalmente nublados, lo cual comprueba que es fiable para el primer caso; quedando pendiente realizar trabajos de mejoramiento en el equipo para reducir esos márgenes de error.
4. El prototipo de solarímetro desarrollado es aún más preciso cuando las mediciones con radiación solar directa se realizan en intervalos horarios diarios comprendidos en las horas centrales del día (entre las 10:00 y 15:00), intervalos de máxima captación de energía, lo que lo hace muy útil y confiable cuando se hacen mediciones de energía para sistemas tecnológicos que trabajan utilizando energía solar.
5. Las mismas ventajas de flexibilidad, versatilidad y bajo costo que se tiene cuando se trabaja con dispositivos de la tecnología electrónica digital programable, y que nos permitieron: a) obtener a partir de una sola señal de entrada dos funciones de salida asociadas con la primera que son las medidas de intensidad de radiación solar incidente y la energía registrada por unidad de área en una misma pantalla, b) reconfigurar el algoritmo de medida con otro software en cierta etapa del desarrollo, c) prescindir o de agregar con facilidad dispositivos en la tarjeta comercial; en pro de la mejor funcionalidad del equipo; harán posible, sobre la base de lo obtenido hasta ahora, mejorar el diseño y la eficiencia del instrumento construido sin cambios destructivos y sin otro costo adicional considerable.



6. Si por alguna circunstancia, el SOLARÍMETRO PATRÓN RELATIVO no estuviese bien calibrado, esto no sería problema para el SOLARÍMETRO UNI; primero debe calibrarse el patrón y luego el construido; pues el tornillo de calibración del equipo permite obtener otros niveles de amplificación de la señal.
7. De la obtención de un prototipo de solarímetro, debe desprenderse su mejoramiento en diseño y precisión, evaluación de calidad por alguna institución competente y autorización para su producción en serie y venta como producto tecnológico confiable para los propósitos que fue creado.
8. Dado el déficit de data solar real (como en otras energías renovables) en todo el territorio nacional, según SENAMHI, sería importante que la Facultad de Ciencias de la UNI como aporte y con la producción en serie del equipo construido y de otros afines en proyecto, establezca convenios con universidades de provincias, organismos del Estado y privados; para trabajar en proyectos piloto conjuntos relacionados con la masificación de las mediciones meteorológicas eólico solares en diferentes partes del país.
9. La metodología utilizada en el diseño y construcción del Solarímetro UNI, puede ser emulada para obtener otros desarrollos de prototipos de instrumentos de medición electrónicos importantes en meteorología, como son: anemómetros, medidores de temperatura comunes y de superficies y veletas o medidores de dirección de viento y porque no de otros prototipos de solarímetros basados en otros tipos de sensores (Ejemplo tipo termocupla). Todos ellos de gran utilidad para consolidar la información solar relacionada con las variables que miden y para evaluar sistemas que trabajan utilizando energía solar.

10. Las tecnologías de la información y de la electrónica moderna, basadas en hardware, software y metodologías consiguientes, que están disponibles en el mercado, constituyendo una oportunidad para ser aprovechada por la academia (universidades) y crecer generando nuevos conocimientos, como por ejemplo solucionar problemas de déficit en instrumentación científica.
11. La realización del presente trabajo ha permitido constatar que la crisis energética eléctrica (solo con 6% de reserva para casos de emergencia) y la pobreza (al 2007 de 39% y la extrema de 14% en departamentos de la sierra peruana, según INEI) son dos realidades en nuestro país; pero también es real la posibilidad de palearlas positivamente con energía masificando (vía proyectos debidamente sustentados con disponibilidad de energía y económicamente financiados por entidades estatales o privadas), la utilización de sistemas a energía solar y otras energías renovables no convencionales en todo el territorio nacional.
12. Con la realización de la presente investigación, referida en el capítulo II, se ha podido constatar in situ los efectos de la presencia de la Cordillera de los Andes en la costa peruana, generando microclimas diferentes, con condiciones meteorológicas diferentes de lugares cercanos entre sí. Tal es el caso de los pares Humaya – Quintay y Humaya – Playa el Paraíso en el valle de Huaura; climas de Humaya (donde se encuentra instalada la estación meteorológica de Alcantarilla, SENAMHI) totalmente nublado, de Quintay con incidencia solar durante todo el año y de Playa el Paraíso nublado pero con fuertes vientos sensorialmente perceptibles; observados en el mes de setiembre del 2009.

## RECOMENDACIONES

1. Incidir experimentalmente en un mayor número de observaciones con una sola calibración inicial, tanto para días con incidencia solar directa durante todo el día (especialmente en la temporada de verano), días con intervalos mixtos de radiación directa y difusa y días totalmente nublados; con la finalidad de:
  - a) Evaluar con mayor detenimiento el grado de la confiabilidad de las mediciones efectuadas con el equipo construido y de su funcionamiento como instrumento autónomo (no dependiente del patrón). Dicho de otro modo observar el tiempo de conservación o variabilidad de la calibración.
  - b) Evaluar estadísticamente los valores representativos de energía acumulada, el consumo de energía y la autonomía del equipo para cada condición climática.
  - c) Estandarizar el voltaje de descarga límite, y la potencia del equipo (potencia mínima suministrada) necesario para su normal funcionamiento.
  - e) Observar y evaluar los efectos del calor sobre el sensor.
2. Utilizar una PC con una aplicación LABVIEW, para automatizar las observaciones clasificadas indicadas anteriormente.
3. Optimizar el consumo de energía, intentando sustituir el microcontrolador PIC16F877-A por otro menos sofisticado (con menos recursos internos y periféricos), que demande un menor consumo de energía.
4. Implementar una circuitería impresa sobre pistas para los dispositivos de la unidad analógica, con la finalidad de reducir los efectos resistivos

adicionales originados por el cableado que actualmente tiene y utilizando zócalos para los integrados.

5. Como otro signo de mejoramiento, sustituir el sensor de silicio amorfo por una celda de silicio monocristalino para definir vía el experimento mejoras en estabilidad y duración en la calibración, por ende confiabilidad en las mediciones y mayor periodo de independencia respecto del patrón.
6. E tablecer convenio con una empresa, fabricante de productos electrónicos que se encargue de perfeccionar el diseño constructivo del solarímetro, la fabricación del prototipo final y si se decide, su producción en serie.
7. A la Facultad de Ciencias de la UNI, prevea la adquisición de otro solarímetro del mismo tipo de marca garantizada en el extranjero para ser utilizado como patrón secundario en caso de que el HAENNI SOLAR 118 sufra deterioro por tiempo de uso o por accidente.

## BIBLIOGRAFIA

1. [ALV 63] ALVARADO SERRANO, CARLOS, "Procesamiento Analógico de Señales", CINVESTAV, Trial Versión, [www.nuance.com](http://www.nuance.com)., 1963.
2. [ANG 02] ANGULO, JOSE, "Laboratorio de Prácticas de Microelectrónica", Vol. I, Ed. Mc Graw Hill – Interamericana de España, España, 2002.
3. [ANG 02] ANGULO, JOSE, "Laboratorio de Prácticas de Microelectrónica", Vol. II, Ed. Mc Graw Hill – Interamericana de España, España, 2002.
4. [ANG 06] ANGULO J. – ROMERO S. – ANGULO I., "Microcontroladores PIC : Diseño Práctico y Aplicaciones - Segunda Parte PIC18F87X, PIC18FX", Ed. Mc Graw Hill, 2da. Edición, España, 2006.
5. [BER 00] BERNAL, CESAR, "Metodología de La investigación", Ed. Pearson Educación Colombia, 2000.
6. [CAI 06], CAIRO, OSVALDO, "Metodología de la Programación: algoritmos, diagramas de flujo y programas", Grupo editor Alfaomega, México, 2006.
7. [CAR 07], CARRASCO, LUIS, "Métodos numéricos aplicados a la ingeniería", Ediciones R. Figueroa, Lima, 2007.
8. [ESP 92], ESPINOZA, RAFAEL – HORN, MAMFRED, "Curso Taller: Electrificación rural con sistemas fotovoltaicos – La tecnología de sistemas fotovoltaicos", CER-UNI – CONCYTEC, Lima, 1992.
9. [ETT 08] ETT CO LTD., "PIC16F877 Development Board V 1.0 Manual", PIC16F877V1.doc/Version 1.0, 2008.
10. [FAR 63] FARRINGTON D. – FURNAS C. – LUKAS G., "Introducción a la utilización de la Energía Solar", Ed. Mc Graw Hill, USA, 1963.
11. [FAR 82] FARRINGTON, DANIELS, "Uso directo de la Energía Solar", Ed. H. Blume, Madrid, España, 1982.
12. [GAM 90] GAMARRA, WILAR, "SENAMHI: Atlas de Energía Solar del Perú", Lima, 1990.

13. [INC 09] INCAE BUSINESS SCHOOL – WORLD ECONOMIC FORUM, “Lanzamiento del Informe Global de Competitividad 2009 – 2010 del Foro Económico Mundial”, 2009.
14. [LOR 94] LORENZO, EDUARDO, “Electricidad Solar : Ingeniería de los sistemas Fotovoltaicos”, Artes Gráficas Gala, España, 1994.
15. [MIC 01] MICROCHIP, PIC16F87X Data Sheet 28/40–Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers, Microchip Technology Inc., 2001.
16. [MIC 01] MICROCHIP, “Manual del Compilador MIKRO-C para microcontroladores PIC”, 2001.
17. [PAL 04] PALACIOS E. – REMIRO F. – LOPEZ L.,” Microcontrolador PIC16F84 : Desarrollo de Proyectos”, 2da. Edición, Ed. Alfaomega Rama, México, 2004.
18. [PAT 99] PATEL, MUKUND, “ sistemas de Energía de Viento y Solar”, Capítulo VI, CRC PRESS LLC, [www.crcpress.com](http://www.crcpress.com), Washington, USA, 1999
19. [RAM 00] RAMO GUILLERMO – HERNANDEZ JORGE – CASTAÑO JUAN (CEIKIT S.A.), “Curso Práctico de Electrónica Industrial y Automatización”, Editorial Conosur S.A., Gráfica Sampetro, Buenos Aires, Argentina, 2000.
20. [SEM 06] SEMICONDUCTOR COMPONENT INDUSTRIES “Manual del Amplificador Operacional LM324/D y familia”, <http://onsemi.com>, , USA, 2006.
21. [SOC 83] SOCIEDAD PERUANA DE FISICA, “Revista Peruana de Física”, Volumen II, Número 3, Lima, Perú, 1983.
22. [SUA 99] SUAREZ, GABINO, “Algoritmos y Diagramas de Flujo”, Editores Herrera, Lima, 1999.
23. [VAL 77] VALDIVIA, JORGE, “Meteorología General”, DUBP de la UNMSM, Lima Perú, 1977.
24. [VAL 93] VALERA, ANIBAL, “Energía Solar : Teoría y Práctica”, UNI, Lima Perú, 1993.

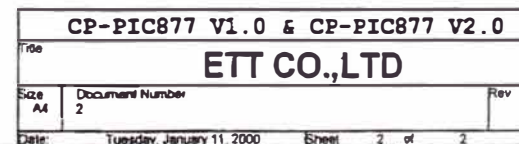
## **INFORMACION DE LA RED:**

25. “CADE 2007: Todo lo que nos falta para ser un país justo y próspero”, Edición especial: XLV Conferencia Anual de Ejecutivos CADE 2007, Edición SE 1098 25/11/2007.
26. “El Perú requiere US\$ 3065 millones para atender demanda de energía eléctrica al 2015”  
<http://mercadoenergia.com/mercado/2008/07/13/peru-requiere-us-3065-millones-para-atender-demanda-de-energia-eléctrica-al-2015.html>
27. En el 2008 se registró mayor demanda de energía eléctrica”  
<http://www.la/economía/08/01/2009/en-el-2008-se-registro-mayor-demanda-de-energia-electrica>
28. “El futuro ahora: desafíos energéticos para el Perú”, Gestión 09/09/2009  
<http://www.reddenergia.com/mostrarnoticia.php?idnoticia=15416>
29. “El Perú vive una crisis energética”, por Carlos Herrera, Sociedad, 11/08/08  
<http://peru21.pe/noticia/213717/carlos-herrera-peru-vive-crisi-energetica>
30. “Crisis energética”, Leonardo Sánchez Coello, [conocerciencia@yahoo.es](mailto:conocerciencia@yahoo.es)  
<http://pepascientificas.blogspot.com/2009/03/el-peru-y-la-crisis-energetica.html>
31. “Perú: Crisis energética y el fracaso del Libre Mercado”, 29/05/2009  
<http://www.bicusa.org/es/article.11222.aspx>
32. “CIP: Se asoma crisis energética en el Perú”, Maribel Huayhuas, Expreso 25/09/2009.  
<http://www.reddenergia.com/mostrarnoticia.php?idnoticia=16817>
33. “Perú: Crisis energética se agudiza cada día”, Jueves 10/03/2009  
<http://chile-hoy.blogspot.com/2009/03/peru-crisis-energetica-se-agudiza-cada.html>
34. [UCH 05] UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE, “Proyecto: 100 años - 100 colegios”, [www.fisica.usach.cl](http://www.fisica.usach.cl), Chile, 2005.
35. [INC 09] INCAE BUSINESS SCHOOL – WORLD ECONOMIC FORUM, “Lanzamiento del Informe Global de Competitividad 2009 – 2010 del Foro Económico Mundial”, 2009.
36. [INE 10] INEI, “Informe Técnico: La pobreza en el Perú en el año 2007”, Perú, 2010.

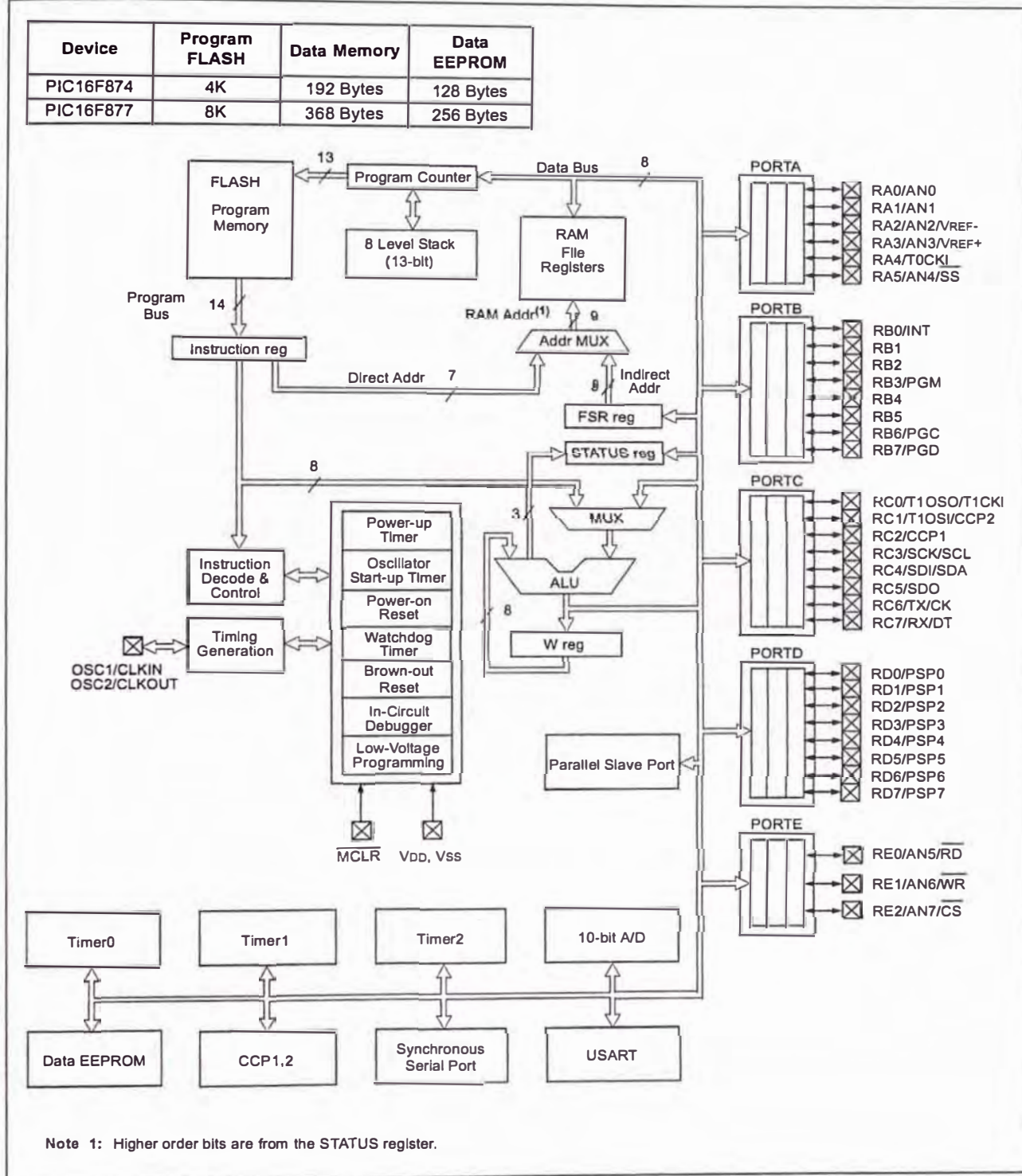
# ANEXOS



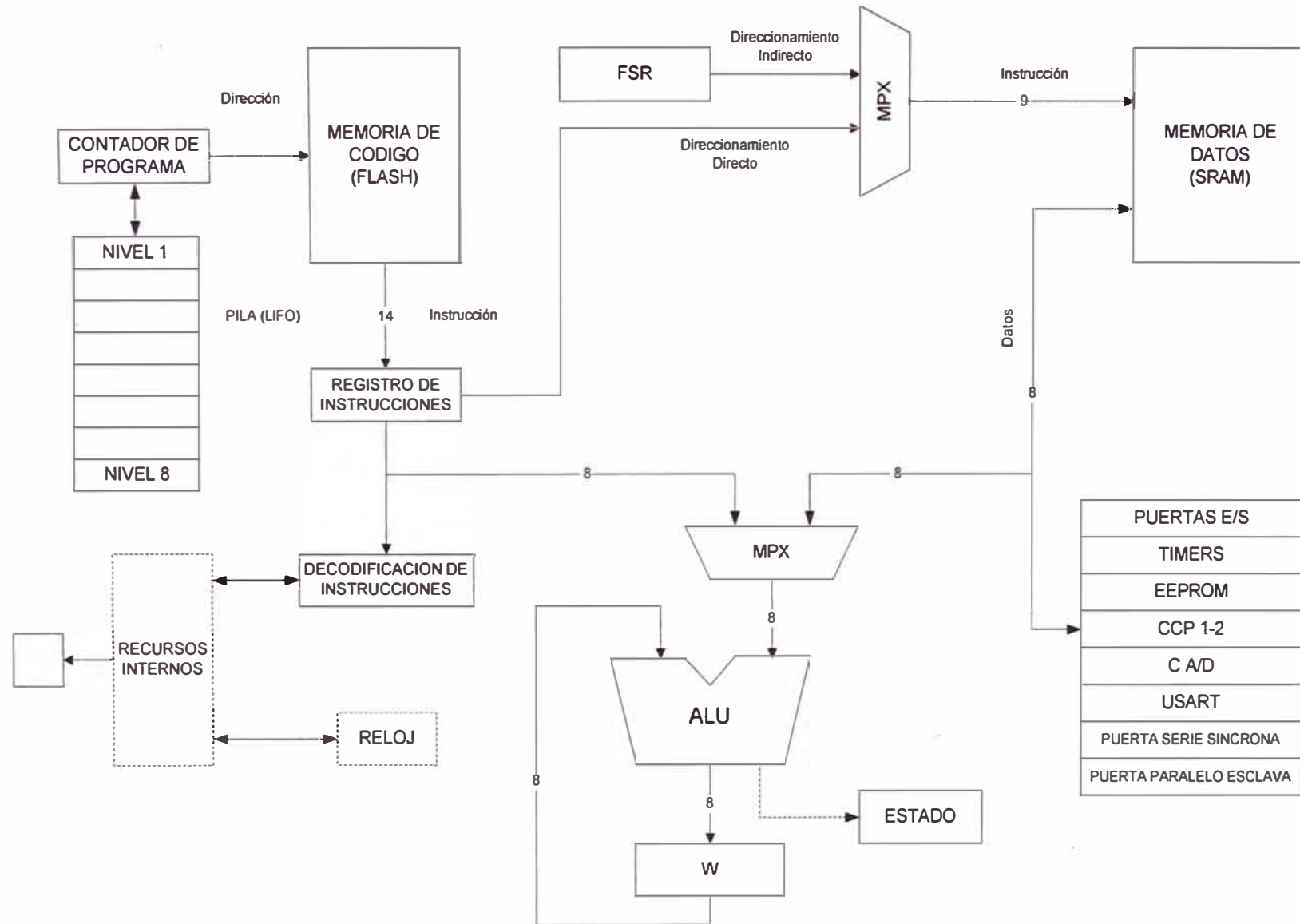




**FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM**



# ANEXO N° 03 - ARQUITECTURA TIPO HARVARD SIMPLIFICADA PARA EL MICROCONTROLADOR PIC16F877



## ANEXO N° 04

**TABLA-A1**

### PRUEBA DE CALIBRACIÓN N° 01

**25-11-08**

HORA	TIEMPO (min)	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-UNI	ENERGIA (kWh/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI LCD	HORA	TIEMPO (min)	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-UNI	ENERGIA (kWh/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI LCD
11:40	0	538	536	0.00	14:55	195	329	328	2.30
11:45	5	607	602	0.05	15:00	200	357	355	2.34
11:50	10	673	654	0.11	15:05	205	373	373	2.37
11:55	15	766	752	0.17	15:10	210	330	332	2.40
12:00	20	927	924	0.24	15:15	215	313	314	2.43
12:05	25	1009	979	0.32	15:20	220	320	319	2.46
12:10	30	998	977	0.39	15:25	225	393	402	2.49
12:15	35	888	880	0.47	15:30	230	323	326	2.52
12:20	40	895	893	0.54	15:35	235	312	314	2.55
12:25	45	887	874	0.61	15:40	240	335	335	2.57
12:30	50	847	842	0.68	15:45	245	305	291	2.60
12:35	55	826	859	0.75	15:50	250	266	260	2.62
12:40	60	844	845	0.81	15:55	255	241	240	2.64
12:45	65	839	852	0.88	16:00	260	269	262	2.66
12:50	70	832	823	0.96	16:05	265	273	270	2.69
12:55	75	824	824	1.02	16:10	270	458	426	2.72
13:00	80	817	834	1.09	16:15	275	420	391	2.75
13:05	85	822	826	1.16	16:20	280	261	250	2.77
13:10	90	810	817	1.23	16:25	285	335	301	2.80
13:15	95	798	810	1.29	16:30	290	333	295	2.83
13:20	100	796	824	1.36	16:35	295	303	262	2.85
13:25	105	826	829	1.41	16:40	300	268	227	2.88
13:30	110	802	808	1.48	16:45	305	249	222	2.90
13:35	115	839	824	1.54	16:50	310	230	194	2.92
13:40	120	752	748	1.59	16:55	315	216	181	2.93
13:45	125	747	758	1.65	17:00	320	195	153	2.95
13:50	130	753	763	1.72	17:05	325	181	140	2.97
13:55	135	774	786	1.78	17:10	330	166	121	2.98
14:00	140	472	493	1.83	17:15	335	151	112	2.99
14:05	145	331	347	1.88	17:20	340	133	95	3.00
14:10	150	384	396	1.92	17:25	345	118	71	3.01
14:15	155	431	448	1.96	17:30	350	104	64	3.02
14:20	160	461	477	2.01	17:35	355	91	58	3.03
14:25	165	454	476	2.04	17:40	360	76	39	3.04
14:30	170	508	518	2.09	17:45	365	63	27	3.04
14:35	175	568	575	2.13	17:50	370	52	17	3.05
14:40	180	424	437	2.17	17:55	375	41	4	3.05
14:45	185	558	558	2.22	18:00	380	34	1	3.06
14:50	190	435	440	2.26					



## ANEXO N° 05

### TABLA A-2

#### PRUEBA DE CALIBRACIÓN N° 02

30-11-08

HORA	TIEMPO (min)	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-UNI	ENERGIA (kWh/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI LCD	HORA	TIEMPO (min)	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-UNI	ENERGIA (kWh/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI LCD
08:30	0	231	202	0.00	12:55	265	933	933	3.07
08:35	5	258	225	0.12	13:00	270	633	644	3.14
08:40	10	298	269	0.14	13:05	275	646	631	3.19
08:45	15	282	253	0.17	13:10	280	459	462	3.23
08:50	20	274	244	0.19	13:15	285	522	525	3.27
08:55	25	272	249	0.21	13:20	290	540	555	3.32
09:00	30	255	229	0.23	13:25	295	557	561	3.39
09:05	35	259	232	0.26	13:30	300	620	624	3.43
09:10	40	266	238	0.28	13:35	305	621	641	3.48
09:15	45	289	262	0.30	13:40	310	635	657	3.52
09:20	50	379	350	0.33	13:45	315	799	811	3.59
09:25	55	517	480	0.36	13:50	320	811	820	3.66
09:30	60	346	319	0.40	13:55	325	766	767	3.72
09:35	65	563	521	0.43	14:00	330	746	755	3.78
09:40	70	472	443	0.47	14:05	335	755	761	3.85
09:45	75	537	508	0.51	14:10	340	703	711	3.91
09:50	80	568	541	0.56	14:15	345	707	713	3.97
09:55	85	420	395	0.60	14:20	350	710	713	4.02
10:00	90	556	528	0.65	14:25	355	704	710	4.08
10:05	95	678	635	0.69	14:30	360	689	695	4.14
10:10	100	887	818	0.76	14:35	365	657	666	4.19
10:15	105	835	779	0.82	14:40	370	661	665	4.25
10:20	110	835	779	0.89	14:45	375	660	666	4.30
10:25	115	822	769	0.95	14:50	380	660	667	4.35
10:30	120	816	758	1.02	14:55	385	726	725	4.41
10:35	125	815	760	1.09	15:00	390	395	411	4.45
10:40	130	823	764	1.16	15:05	395	405	416	4.49
10:45	135	816	758	1.22	15:10	400	360	366	4.52
10:50	140	830	770	1.29	15:15	405	377	386	4.55
10:55	145	830	771	1.36	15:20	410	348	348	4.58
11:00	150	832	773	1.43	15:25	415	479	477	4.62
11:05	155	835	773	1.50	15:30	420	494	486	4.65
11:10	160	822	758	1.56	15:35	425	372	376	4.68
11:15	165	835	767	1.63	15:40	430	380	385	4.71
11:20	170	836	770	1.70	15:45	435	352	351	4.74
11:25	175	844	780	1.77	15:50	440	297	294	4.77
11:30	180	849	788	1.83	15:55	445	278	279	4.79
11:35	185	854	854	1.90	16:00	450	284	281	4.82
11:40	190	855	851	1.98	16:05	455	246	246	4.84

HORA	TIEMPO (min)	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-UNI	ENERGIA (kWh/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI LCD	HORA	TIEMPO (min)	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI	INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) S-UNI	ENERGIA (kWh/m <sup>2</sup> ) S-HAENNI LCD
11:45	195	867	855	2.04	16:10	460	215	208	4.86
11:50	200	868	868	2.11	16:15	465	204	203	4.87
11:55	205	860	854	2.18	16:20	470	207	208	4.89
12:00	210	855	849	2.26	16:25	475	212	206	4.91
12:05	215	872	870	2.33	16:30	480	196	187	4.92
12:10	220	871	868	2.40	16:35	485	183	178	4.94
12:15	225	898	895	2.47	16:40	490	205	190	4.95
12:20	230	944	938	2.55	16:45	495	116	99	4.97
12:25	235	956	952	2.62	16:50	500	108	92	4.98
12:30	240	946	949	2.70	16:55	505	103	90	4.99
12:35	245	928	919	2.78	17:00	510	91	73	4.99
12:40	250	959	949	2.85	17:05	515	92	68	5.00
12:45	255	908	912	2.92	17:10	520	73	41	5.01
12:50	260	988	984	2.99	17:15	525	53	32	5.01

## ANEXO N° 06

**TABLA A-3**

**EVALUACIÓN DE FUNCIONAMIENTO – PRUEBA N° 01-A**  
**30-06-2009**

HORA	TIEMPO (min)	S HAENNI INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> )	S UNI INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> )	S HAENNI ENERGIA/A (kWh/m <sup>2</sup> ) LCD	S UNI ENERGIA/A (kWh/m <sup>2</sup> ) LCD
11:05	0	315	310	0.00	0.00
11:10	5	328	326	0.02	0.02
11:15	10	340	334	0.05	0.05
11:20	15	340	340	0.07	0.08
11:25	20	335	330	0.10	0.10
11:30	25	332	332	0.13	0.13
11:35	30	359	355	0.16	0.16
11:40	35	385	379	0.19	0.19
11:45	40	361	357	0.22	0.22
11:50	45	370	363	0.25	0.25
11:55	50	373	369	0.28	0.28
12:00	55	357	351	0.31	0.31



**TABLA A-4**

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO – PRUEBA N° 01-B**

**30-06-2009**

HORA	TIEMPO (min)	S HAENNI INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> )	S UNI INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> )	S HAENNI ENERGIA/A (KWh/m <sup>2</sup> ) LCD	S UNI ENERGIA/A (kWh/m <sup>2</sup> ) LCD	HORA	TIEMPO (min)	S HAENNI INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> )	S UNI INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> )	S HAENNI ENERGIA/A (KWh/m <sup>2</sup> ) LCD	S UNI ENERGIA/A (kWh/m <sup>2</sup> ) LCD
12:40	0	383	387	0.03	0.03	15:25	165	251	254	1.23	1.29
12:45	5	440	445	0.06	0.06	15:30	170	256	267	1.25	1.31
12:50	10	396	430	0.10	0.10	15:35	175	502	504	1.28	1.34
12:55	15	415	457	0.13	0.13	15:40	180	380	392	1.31	1.37
13:00	20	414	445	0.17	0.17	15:45	185	359	361	1.34	1.40
13:05	25	415	434	0.20	0.21	15:50	190	336	338	1.37	1.43
13:10	30	401	414	0.24	0.25	15:55	195	328	328	1.40	1.46
13:15	35	374	387	0.26	0.28	16:00	200	296	301	1.42	1.49
13:20	40	392	408	0.30	0.31	16:05	205	294	291	1.45	1.52
13:25	45	402	416	0.33	0.35	16:10	210	275	271	1.47	1.54
13:30	50	401	414	0.36	0.38	16:15	215	268	260	1.49	1.56
13:35	55	388	394	0.39	0.41	16:20	220	247	240	1.52	1.58
13:40	60	430	449	0.42	0.45	16:25	225	238	226	1.54	1.60
13:45	65	490	512	0.46	0.48	16:30	230	222	215	1.56	1.62
13:50	70	536	557	0.50	0.53	16:35	235	133	134	1.57	1.63
13:55	75	498	498	0.54	0.57	16:40	240	203	183	1.58	1.65
14:00	80	528	547	0.59	0.62	16:45	245	179	170	1.60	1.66
14:05	85	595	615	0.63	0.67	16:50	250	168	154	1.62	1.68
14:10	90	598	611	0.68	0.72	16:55	255	154	125	1.63	1.69
14:15	95	562	576	0.74	0.78	17:00	260	123	97	1.64	1.70
14:20	100	564	576	0.78	0.82	17:05	265	108	68	1.65	1.70
14:25	105	551	565	0.82	0.86	17:10	270	94	44	1.66	1.71
14:30	110	551	565	0.86	0.91	17:15	275	82	43	1.67	1.71
14:35	115	546	553	0.91	0.96	17:20	280	71	25	1.67	1.72
14:40	120	480	490	0.95	1.00	17:25	285	61	23	1.68	1.72
14:45	125	577	572	0.99	1.04	17:30	290	53	5	1.68	1.72
14:50	130	571	568	1.04	1.09	17:35	295	42	1	1.69	1.72
14:55	135	388	396	1.08	1.13	17:40	300	38	0	1.69	1.72
15:00	140	406	412	1.11	1.16	17:45	305	30	0	1.69	1.72
15:05	145	360	361	1.14	1.20	17:50	310	32	0	1.69	1.72
15:10	150	257	256	1.16	1.22	17:55	315	29	0	1.70	1.72
15:15	155	258	256	1.18	1.24	18:00	320	26	0	1.70	1.72
15:20	160	277	279	1.21	1.26						

# ANEXO N° 07

## TABLA A-5

### EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO – PRUEBA N° 02

07-07-2009

HORA	TIEMPO (min)	INTENSIDAD S HAENNI (W/m <sup>2</sup> )	INTENSIDAD S UNI (W/m <sup>2</sup> )	ENERGIA S HAENNI (kWh/m <sup>2</sup> )	ENERGIA S UNI (kWh/m <sup>2</sup> )	HORA	TIEMPO (min)	INTENSIDAD S HAENNI (W/m <sup>2</sup> )	INTENSIDAD S UNI (W/m <sup>2</sup> )	ENERGIA S HAENNI (kWh/m <sup>2</sup> )	ENERGIA S UNI (kWh/m <sup>2</sup> )
10:45	0	314	289	0.01	0.00	14:25	220	526	523	2.07	2.10
10:50	5	278	258	0.03	0.02	14:30	225	516	516	2.11	2.14
10:55	10	308	289	0.05	0.05	14:35	230	506	504	2.15	2.18
11:00	15	331	310	0.08	0.07	14:40	235	493	496	2.20	2.23
11:05	20	348	324	0.11	0.10	14:45	240	482	477	2.23	2.26
11:10	25	360	336	0.14	0.13	14:50	245	480	477	2.28	2.31
11:15	30	393	367	0.17	0.16	14:55	250	469	469	2.31	2.34
11:20	35	448	426	0.20	0.19	15:00	255	454	443	2.35	2.38
11:25	40	602	551	0.25	0.24	15:05	260	442	434	2.39	2.42
11:30	45	590	566	0.28	0.27	15:10	265	430	420	2.43	2.46
11:35	50	696	649	0.33	0.32	15:15	270	423	408	2.46	2.49
11:40	55	663	658	0.39	0.37	15:20	275	406	394	2.49	2.52
11:45	60	702	660	0.43	0.42	15:25	280	391	375	2.53	2.56
11:50	65	623	625	0.49	0.47	15:30	285	376	363	2.56	2.59
11:55	70	333	347	0.54	0.53	15:35	290	370	351	2.59	2.62
12:00	75	426	441	0.59	0.58	15:40	295	358	342	2.61	2.64
12:05	80	676	666	0.64	0.63	15:45	300	340	326	2.64	2.67
12:10	85	642	631	0.70	0.69	15:50	305	331	310	2.67	2.70
12:15	90	666	654	0.75	0.74	15:55	310	309	293	2.70	2.73
12:20	95	673	662	0.81	0.79	16:00	315	302	279	2.72	2.75
12:25	100	667	676	0.86	0.85	16:05	320	285	261	2.75	2.77
12:30	105	556	556	0.91	0.90	16:10	325	272	244	2.77	2.79
12:35	110	660	664	0.98	0.97	16:15	330	257	234	2.79	2.81
12:40	115	660	666	1.02	1.01	16:20	335	243	215	2.81	2.83
12:45	120	658	666	1.07	1.07	16:25	340	232	199	2.83	2.85
12:50	125	650	658	1.13	1.12	16:30	345	211	179	2.85	2.87
12:55	130	655	666	1.18	1.18	16:35	350	199	164	2.87	2.88
13:00	135	649	660	1.23	1.24	16:40	355	181	144	2.88	2.89
13:05	140	647	662	1.29	1.29	16:45	360	166	130	2.89	2.90
13:10	145	645	649	1.35	1.35	16:50	365	157	123	2.91	2.91
13:15	150	636	641	1.40	1.41	16:55	370	145	105	2.92	2.92
13:20	155	631	643	1.45	1.45	17:00	375	130	74	2.93	2.93
13:25	160	626	641	1.50	1.51	17:05	380	115	54	2.94	2.94
13:30	165	629	641	1.55	1.56	17:10	385	98	39	2.95	2.94
13:35	170	622	621	1.60	1.61	17:15	390	88	27	2.96	2.94
13:40	175	623	623	1.65	1.66	17:20	395	79	15	2.96	2.95
13:45	180	612	619	1.70	1.72	17:25	400	67	7	2.97	2.95
13:50	185	601	602	1.75	1.77	17:30	405	58	0	2.98	2.95
13:55	190	591	590	1.80	1.82	17:35	410	51	0	2.98	2.95
14:00	195	585	590	1.85	1.87	17:40	415	29	0	2.98	2.95
14:05	200	572	574	1.89	1.92	17:45	420	38	0	2.99	2.95
14:10	205	560	561	1.94	1.96	17:50	425	35	0	2.99	2.95
14:15	210	549	551	1.99	2.00	17:55	430	30	0	2.99	2.95
14:20	215	534	537	2.03	2.05	18:00	435	27	0	3.00	2.95

# ANEXO N° 08

## TABLA A-6

### EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO – PRUEBA N° 03

12-07-2009

TIEMPO (min)	INTENSIDAD S HAENNI (W/m <sup>2</sup> )	INTENSIDAD S UNI (W/m <sup>2</sup> )	ENERGIA S HAENNI (kWh/m <sup>2</sup> )	ENERGIA S UNI (kWh/m <sup>2</sup> )	HORA	TIEMPO (min)	INTENSIDAD S HAENNI (W/m <sup>2</sup> )	INTENSIDAD S UNI (W/m <sup>2</sup> )	ENERGIA S HAENNI (kWh/m <sup>2</sup> )	ENERGIA S UNI (kWh/m <sup>2</sup> )
0	225	197	0.01	0.01	14:30	220	277	269	1.01	0.99
5	228	193	0.02	0.02	14:35	225	287	287	1.03	1.01
10	251	220	0.04	0.04	14:40	230	297	299	1.06	1.04
15	271	238	0.06	0.05	14:45	235	300	299	1.08	1.06
20	283	252	0.09	0.08	14:50	240	285	283	1.11	1.09
25	277	248	0.11	0.10	14:55	245	283	283	1.13	1.11
30	275	246	0.13	0.12	15:00	250	272	269	1.16	1.14
35	267	232	0.15	0.14	15:05	255	243	234	1.18	1.16
40	279	250	0.17	0.16	15:10	260	246	244	1.19	1.18
45	289	258	0.20	0.18	15:15	265	244	236	1.22	1.20
50	289	261	0.22	0.20	15:20	270	223	211	1.23	1.21
55	275	246	0.24	0.22	15:25	275	206	197	1.25	1.23
60	271	260	0.27	0.25	15:30	280	206	193	1.27	1.24
65	276	261	0.29	0.26	15:35	285	208	191	1.28	1.26
70	280	265	0.31	0.29	15:40	290	208	189	1.30	1.28
75	293	281	0.34	0.31	15:45	295	186	168	1.32	1.29
80	302	291	0.36	0.33	15:50	300	193	173	1.33	1.31
85	313	304	0.38	0.36	15:55	305	193	177	1.35	1.32
90	307	301	0.41	0.38	16:00	310	184	168	1.37	1.34
95	305	303	0.44	0.41	16:05	315	154	132	1.38	1.35
100	316	318	0.46	0.43	16:10	320	148	129	1.39	1.36
105	307	304	0.49	0.46	16:15	325	142	121	1.40	1.37
110	302	297	0.51	0.49	16:20	330	156	132	1.41	1.38
115	316	308	0.54	0.51	16:25	335	208	172	1.43	1.39
120	326	332	0.56	0.54	16:30	340	206	164	1.44	1.40
125	336	336	0.59	0.57	16:35	345	190	146	1.46	1.42
130	370	373	0.62	0.60	16:40	350	181	134	1.48	1.43
135	330	328	0.65	0.63	16:45	355	163	117	1.49	1.44
140	318	316	0.67	0.65	16:50	360	152	105	1.50	1.45
145	295	295	0.70	0.68	16:55	365	128	86	1.51	1.46
150	257	246	0.72	0.70	17:00	370	123	64	1.52	1.46
155	241	217	0.74	0.72	17:05	375	109	95	1.53	1.47
160	240	226	0.76	0.74	17:10	380	117	84	1.54	1.48
165	236	226	0.78	0.76	17:15	385	108	70	1.55	1.49
170	231	222	0.80	0.78	17:20	390	104	54	1.56	1.49
175	256	264	0.82	0.79	17:25	395	95	35	1.57	1.49
180	257	252	0.84	0.82	17:30	400	88	27	1.57	1.50
185	240	226	0.86	0.84	17:35	405	79	19	1.58	1.50
190	235	224	0.88	0.86	17:40	410	75	11	1.59	1.50
195	256	256	0.90	0.88	17:45	415	69	5	1.59	1.50
200	257	254	0.92	0.90	17:50	420	66	0	1.60	1.50
205	269	273	0.94	0.92	17:55	425	65	0	1.60	1.50
210	297	293	0.97	0.94	18:00	430	47	0	1.61	1.50
215	282	279	0.99	0.97						



# ANEXO N° 09

## TABLA A-7

### CONSUMO ELÉCTRICO – PRUEBA N° 01

#### BATERÍA B-01

30-06-2009

HORA	TIEMPO (min)	TIEMPO (s)	TENSION (V) ± 0.1	CORRIENTE (mA) ± 0.04	POTENCIA (mW) ± 0.01	HORA	TIEMPO (min)	TIEMPO (s)	TENSION (V) ± 0.1	CORRIENTE (mA) ± 0.04	POTENCIA (mW) ± 0.01
11:05	0	0	9.0	34.11	306.99	14:35	210	12600	8.1	31.66	256.45
11:10	5	300	9.0	32.43	291.87	14:40	215	12900	8.1	31.66	256.45
11:15	10	600	8.9	32.40	288.36	14:45	220	13200	8.1	31.66	254.86
11:20	15	900	8.9	32.35	286.30	14:50	225	13500	8.0	31.56	253.43
11:25	20	1200	8.8	32.34	285.24	14:55	230	13800	8.0	31.53	253.19
11:30	25	1500	8.8	32.27	283.98	15:00	235	14100	8.0	31.52	252.79
11:35	30	1800	8.8	32.30	283.59	15:05	240	14400	8.0	31.39	251.12
11:40	35	2100	8.7	32.26	280.66	15:10	245	14700	8.0	31.35	250.80
11:45	40	2400	8.6	32.38	279.12	15:15	250	15000	8.0	31.24	249.92
11:50	45	2700	8.6	32.28	277.61	15:20	255	15300	8.0	31.13	249.04
11:55	50	3000	8.6	32.16	276.58	15:25	260	15600	8.0	31.00	248.00
12:00	55	3300	8.6	32.16	275.93	15:30	265	15900	8.0	30.91	247.28
12:05	60	3600	8.5	32.16	273.36	15:35	270	16200	8.0	30.82	246.56
12:10	65	3900	8.5	32.16	273.36	15:40	275	16500	8.0	30.74	245.31
12:15	70	4200	8.5	32.16	273.36	15:45	280	16800	8.0	30.70	244.99
12:20	75	4500	8.4	32.12	270.77	15:50	285	17100	8.0	30.68	244.83
12:25	80	4800	8.4	32.08	270.11	15:55	290	17400	8.0	30.64	244.51
12:30	85	5100	8.4	32.07	269.71	16:00	295	17700	8.0	30.57	243.95
12:35	90	5400	8.4	32.04	269.14	16:05	300	18000	8.0	30.50	242.78
12:40	95	5700	8.4	31.98	268.63	16:10	305	18300	8.0	30.46	242.46
12:45	100	6000	8.4	31.94	268.30	16:15	310	18600	8.0	30.44	242.30
12:50	105	6300	8.4	31.92	267.49	16:20	315	18900	8.0	30.41	241.76
12:55	110	6600	8.4	31.92	267.49	16:25	320	19200	8.0	30.28	240.73
13:00	115	6900	8.4	31.88	266.20	16:30	325	19500	8.0	30.17	239.85
13:05	120	7200	8.4	31.85	265.95	16:35	330	19800	7.9	30.06	237.47
13:10	125	7500	8.4	31.85	265.95	16:40	335	20100	7.9	29.81	235.50
13:15	130	7800	8.3	31.85	264.36	16:45	340	20400	7.9	29.50	233.05
13:20	135	8100	8.3	31.82	264.11	16:50	345	20700	7.9	29.28	231.31
13:25	140	8400	8.3	31.94	265.10	16:55	350	21000	7.9	29.16	230.36
13:30	145	8700	8.3	31.93	265.02	17:00	355	21300	7.9	29.02	228.10
13:35	150	9000	8.2	31.93	262.46	17:05	360	21600	7.9	28.90	226.87
13:40	155	9300	8.2	31.92	261.74	17:10	365	21900	7.9	28.80	226.08
13:45	160	9600	8.2	31.92	261.74	17:15	370	22200	7.8	28.68	223.70
13:50	165	9900	8.2	31.96	262.07	17:20	375	22500	7.8	28.57	222.85
13:55	170	10200	8.2	32.10	263.22	17:25	380	22800	7.8	28.48	222.14
14:00	175	10500	8.2	31.90	261.58	17:30	385	23100	7.8	28.35	221.13
14:05	180	10800	8.2	31.86	261.25	17:35	390	23400	7.8	28.26	220.43
14:10	185	11100	8.2	31.86	261.25	17:40	395	23700	7.8	28.26	220.43
14:15	190	11400	8.2	31.81	260.21	17:45	400	24000	7.8	28.26	220.43
14:20	195	11700	8.2	31.80	259.17	17:50	405	24300	7.8	28.26	220.43
14:25	200	12000	8.2	31.76	258.84	17:55	410	24600	7.8	28.08	219.02
14:30	205	12300	8.2	31.72	258.52	18:00	415	24900	7.8	27.92	217.78

## ANEXO N° 10

### CONSUMO DE ENERGÍA PRUEBA DE EVALUACIÓN N° 01

FUENTE DE ALIMENTACIÓN: BATERÍA B-01  
MARCA: DURACELL – 09 VOLTS

LUGAR: DISTRITO DE HUACHO – HUAURA

DÍA: 30-06-09

HORAS DE TRABAJO:  
11:05 – 18:00

GRÁFICO N° 01  
BATERÍA B-01 - CURVA DE DESCARGA – HUACHO 30-06-09  
11:05 – 18:00

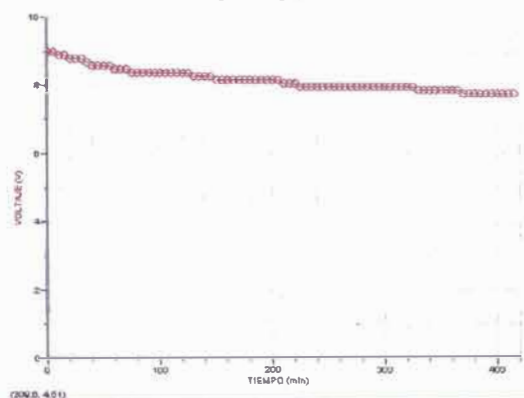


GRÁFICO N° 02  
BATERÍA B-01 - CAPACIDAD UTILIZADA – HUACHO 30-06-09  
11:05 – 18:00

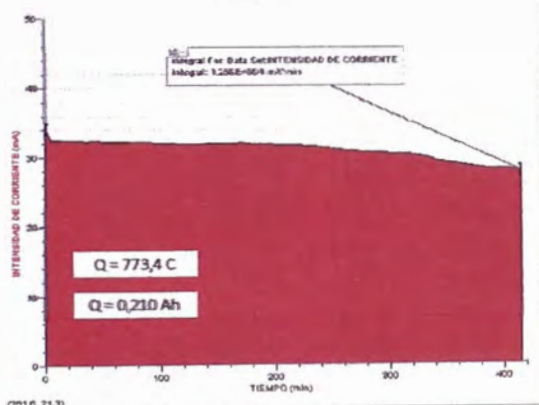


GRÁFICO N° 03  
BATERÍA B-01 - CONSUMO DE ENERGÍA – HUACHO 30-06-09  
11:05 – 18:00

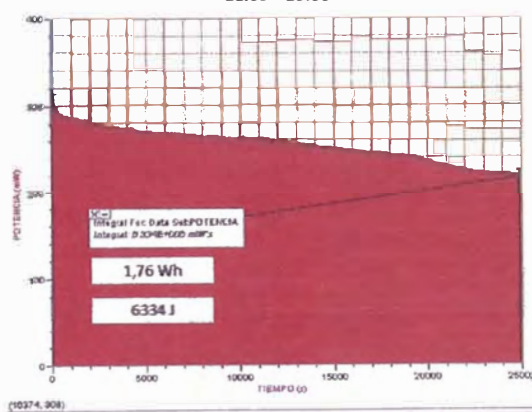


GRÁFICO N° 04  
BATERÍA B-01 - CAPACIDAD UTILIZADA – HUACHO 30-06-09  
12:40 – 18:00

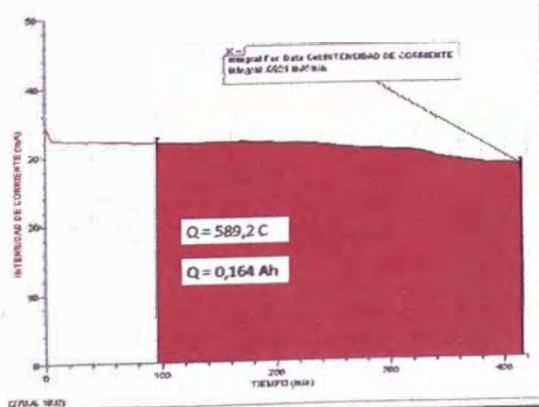
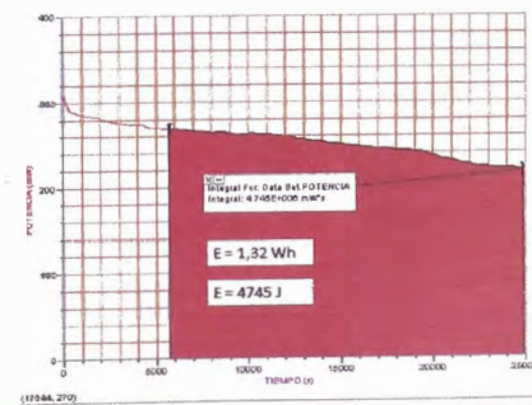


GRÁFICO N° 05  
BATERÍA B-01 - CONSUMO DE ENERGÍA – HUACHO 30-06-09  
12:40 – 18:00



## ANEXO N° 11

### TABLA A-8: CONSUMO ELÉCTRICO – PRUEBA N° 02

#### BATERÍA B-02

07-07-2009

HORA	TIEMPO (min)	VOLTAJE S UNI (V) ± 0.1	CORRIENTE S UNI (mA) ± 0.04	POTENCIA S UNI (mW) ± 0.01	HORA	TIEMPO (min)	VOLTAJE S UNI (V) ± 0.1	CORRIENTE S UNI (mA) ± 0.04	POTENCIA S UNI (mW) ± 0.01
10:45	0	9.2	18.69	171.95	14:25	220	8.4	19.51	163.88
10:50	5	9.2	18.66	171.67	14:30	225	8.4	19.51	163.88
10:55	10	9.2	18.66	171.67	14:35	230	8.4	19.50	163.80
11:00	15	9.0	18.69	168.21	14:40	235	8.4	19.48	163.63
11:05	20	9.0	18.67	168.03	14:45	240	8.4	19.47	163.55
11:10	25	9.0	18.67	168.03	14:50	245	8.4	19.47	163.55
11:15	30	9.0	18.69	168.21	14:55	250	8.4	19.47	163.55
11:20	35	8.9	18.80	167.32	15:00	255	8.4	19.44	163.30
11:25	40	8.9	18.79	167.23	15:05	260	8.3	19.42	161.19
11:30	45	8.8	19.09	167.99	15:10	265	8.3	19.42	161.19
11:35	50	8.8	19.20	168.96	15:15	270	8.3	19.41	161.10
11:40	55	8.8	19.30	169.84	15:20	275	8.3	19.36	160.69
11:45	60	8.8	19.40	170.72	15:25	280	8.3	19.39	160.94
11:50	65	8.8	19.43	170.98	15:30	285	8.3	19.36	160.69
11:55	70	8.8	19.50	171.60	15:35	290	8.3	19.33	160.44
12:00	75	8.7	19.57	170.26	15:40	295	8.3	19.32	160.36
12:05	80	8.7	19.62	170.69	15:45	300	8.2	19.30	158.26
12:10	85	8.7	19.63	170.78	15:50	305	8.2	19.28	158.10
12:15	90	8.7	19.63	170.78	15:55	310	8.2	19.28	158.10
12:20	95	8.7	19.61	170.61	16:00	315	8.2	19.28	158.10
12:25	100	8.6	19.61	168.65	16:05	320	8.2	19.26	157.93
12:30	105	8.6	19.63	168.82	16:10	325	8.2	19.24	157.77
12:35	110	8.6	19.60	168.56	16:15	330	8.2	19.19	157.36
12:40	115	8.6	19.61	168.65	16:20	335	8.2	19.20	157.44
12:45	120	8.6	19.61	168.65	16:25	340	8.2	19.16	157.11
12:50	125	8.6	19.59	168.47	16:30	345	8.2	19.12	156.78
12:55	130	8.6	19.60	168.56	16:35	350	8.2	19.10	156.62
13:00	135	8.6	19.60	168.56	16:40	355	8.2	19.11	156.70
13:05	140	8.6	19.58	168.39	16:45	360	8.2	19.06	156.29
13:10	145	8.5	19.60	166.60	16:50	365	8.2	19.02	155.96
13:15	150	8.5	19.59	166.52	16:55	370	8.2	18.97	155.55
13:20	155	8.5	19.59	166.52	17:00	375	8.2	18.93	155.23
13:25	160	8.5	19.59	166.52	17:05	380	8.1	18.88	152.93
13:30	165	8.5	19.58	166.43	17:10	385	8.1	18.83	152.52
13:35	170	8.5	19.58	166.43	17:15	390	8.1	18.67	151.23
13:40	175	8.5	19.58	166.43	17:20	395	8.1	18.26	147.91
13:45	180	8.5	19.57	166.35	17:25	400	8.1	17.86	144.67
13:50	185	8.4	19.57	164.39	17:30	405	8.1	17.61	142.64
13:55	190	8.4	19.56	164.30	17:35	410	8.1	17.54	142.07
14:00	195	8.4	19.54	164.14	17:40	415	8.1	17.62	142.72
14:05	200	8.4	19.57	164.39	17:45	420	8.1	17.51	141.83
14:10	205	8.4	19.54	164.14	17:50	425	8.1	17.46	141.43
14:15	210	8.4	19.55	164.22	17:55	430	8.0	17.40	139.20
14:20	215	8.4	19.51	163.88	18:00	435	8.0	17.36	138.88



## ANEXO N° 12

### CONSUMO DE ENERGÍA PRUEBA DE EVALUACIÓN N° 02

FUENTE DE ALIMENTACIÓN: BATERÍA B-02  
MARCA: DURACELL – 09 VOLTS

LUGAR: DISTRITO DE HUACHO – HUAURA

DÍA: 07-07-09

INTERVALO HORARIO:  
10:45 – 18:00

GRÁFICO N° 01  
BATERÍA B-02 - CURVA DE DESCARGA - HUACHO 07-07-09  
10:45 – 18:00

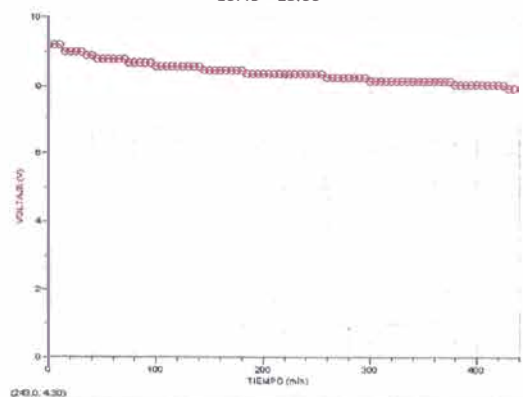


GRÁFICO N° 02  
BATERÍA B-02 - CAPACIDAD UTILIZADA - HUACHO 07-07-09  
10:45 – 18:00

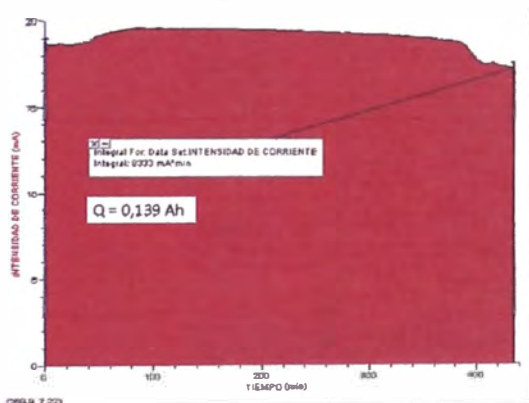


GRÁFICO N° 03  
BATERÍA B-02 - CONSUMO DE ENERGÍA - HUACHO 07-07-09  
10:45 – 18:00

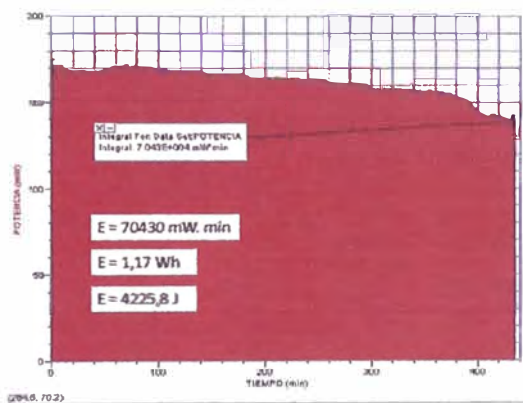


GRÁFICO N° 04  
BATERÍA B-02 - CAPACIDAD UTILIZADA - HUACHO 07-07-09  
12:40 – 18:00

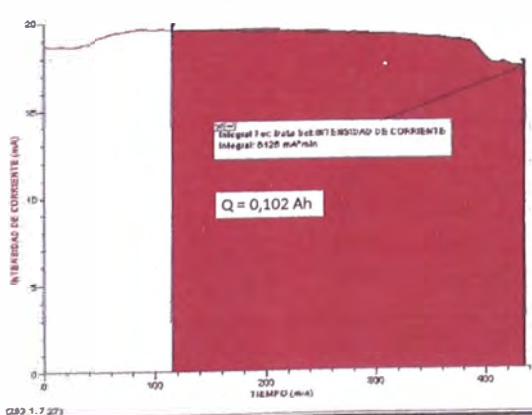
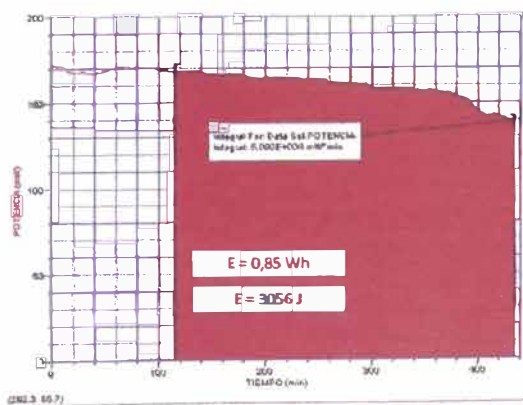


GRÁFICO N° 05  
BATERÍA B-02 - CONSUMO DE ENERGÍA - HUACHO 07-07-09  
12:40 – 18:00



# ANEXO N° 13

## TABLA A-9

### CONSUMO ELÉCTRICO – PRUEBA N° 03 - BATERÍA B-03

12-07-2009

HORA	TIEMPO	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	HORA	TIEMPO	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
	(min)	(V) ± 0.1	(mA) ± 0.4	(mW) ± 0.01		(min)	(V) ± 0.1	(mA) ± 0.4	(mW) ± 0.01
10:50	0	9.3	18.66	173.54	14:30	220	8.4	18.51	155.48
10:55	5	9.3	18.65	173.45	14:35	225	8.4	18.52	155.57
11:00	10	9.2	18.65	171.58	14:40	230	8.4	18.52	155.57
11:05	15	9.2	18.64	171.49	14:45	235	8.4	18.52	155.57
11:10	20	9.2	18.64	171.49	14:50	240	8.4	18.66	156.74
11:15	25	9.1	18.64	169.62	14:55	245	8.4	18.53	155.65
11:20	30	9.0	18.62	167.58	15:00	250	8.4	18.48	155.23
11:25	35	9.0	18.63	167.67	15:05	255	8.4	18.47	155.15
11:30	40	9.0	18.62	167.58	15:10	260	8.4	18.45	154.98
11:35	45	9.0	18.62	167.58	15:15	265	8.4	18.44	154.90
11:40	50	8.9	18.61	165.63	15:20	270	8.4	18.42	154.73
11:45	55	8.9	18.61	165.63	15:25	275	8.4	18.41	154.64
11:50	60	8.8	18.60	163.68	15:30	280	8.3	18.39	152.64
11:55	65	8.8	18.54	163.15	15:35	285	8.3	18.37	152.47
12:00	70	8.8	18.59	163.59	15:40	290	8.3	18.36	152.39
12:05	75	8.8	18.59	163.59	15:45	295	8.3	18.34	152.22
12:10	80	8.8	18.58	163.50	15:50	300	8.3	18.37	152.47
12:15	85	8.8	18.60	163.68	15:55	305	8.3	18.39	152.64
12:20	90	8.8	18.58	163.50	16:00	310	8.3	18.34	152.22
12:25	95	8.7	18.59	161.73	16:05	315	8.3	18.39	152.64
12:30	100	8.7	18.58	161.65	16:10	320	8.2	18.26	149.73
12:35	105	8.7	18.58	161.65	16:15	325	8.2	18.20	149.24
12:40	110	8.7	18.58	161.65	16:20	330	8.2	18.19	149.16
12:45	115	8.6	18.58	159.79	16:25	335	8.2	18.18	149.08
12:50	120	8.6	18.59	159.87	16:30	340	8.2	18.17	148.99
12:55	125	8.6	18.59	159.87	16:35	345	8.2	18.18	149.08
13:00	130	8.6	18.59	159.87	16:40	350	8.2	18.20	149.24
13:05	135	8.6	18.60	159.96	16:45	355	8.2	18.18	149.08
13:10	140	8.6	18.61	160.05	16:50	360	8.2	18.16	148.91
13:15	145	8.6	18.61	160.05	16:55	365	8.2	18.14	148.75
13:20	150	8.6	18.62	160.13	17:00	370	8.2	18.11	148.50
13:25	155	8.6	18.60	159.96	17:05	375	8.2	18.09	148.34
13:30	160	8.5	18.61	158.19	17:10	380	8.2	18.07	148.17
13:35	165	8.5	18.70	158.95	17:15	385	8.2	18.06	148.09
13:40	170	8.5	18.58	157.93	17:20	390	8.2	18.00	147.60
13:45	175	8.5	18.57	157.85	17:25	395	8.2	17.95	147.19
13:50	180	8.5	18.56	157.76	17:30	400	8.2	17.91	146.86
13:55	185	8.5	18.55	157.68	17:35	405	8.2	17.86	146.45
14:00	190	8.5	18.55	157.68	17:40	410	8.1	17.82	144.34
14:05	195	8.5	18.53	157.51	17:45	415	8.1	17.76	143.86
14:10	200	8.5	18.53	157.51	17:50	420	8.1	17.71	143.45
14:15	205	8.4	18.53	155.65	17:55	425	8.1	17.65	142.97
14:20	210	8.4	18.53	155.65	18:00	430	8.1	17.60	142.56
14:25	215	8.4	18.52	155.57					



## ANEXO N° 14

### CONSUMO DE ENERGÍA PRUEBA DE EVALUACIÓN N° 03

FUENTE DE ALIMENTACIÓN: BATERÍA B-03  
MARCA: DURACELL – 09 VOLTS

LUGAR: DISTRITO DE HUACHO – HUAURA

DÍA: 12-07-09

INTERVALO HORARIO:  
10:50 – 18:00

GRÁFICO N° 01  
BATERÍA B-03 - CURVA DE DESCARGA - HUACHO 12-07-09  
10:50 – 18:00

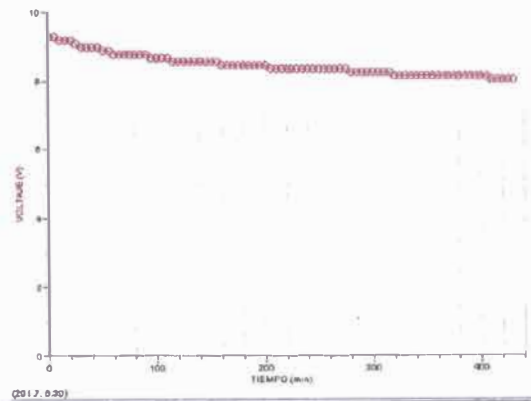


GRÁFICO N° 02  
BATERÍA B-03 - CAPACIDAD UTILIZADA - HUACHO 12-07-09  
10:50 – 18:00

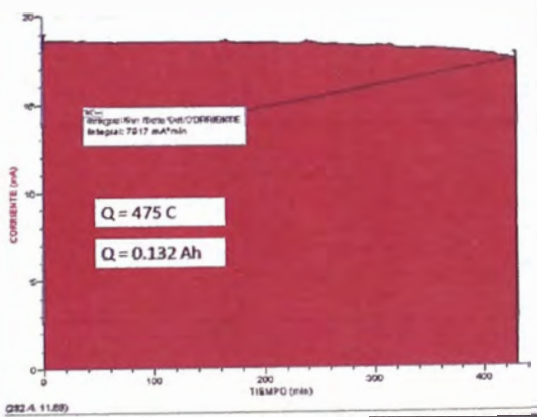


GRÁFICO N° 03  
BATERÍA B-03 - CONSUMO DE ENERGÍA - HUACHO 12-07-09  
10:50 – 18:00

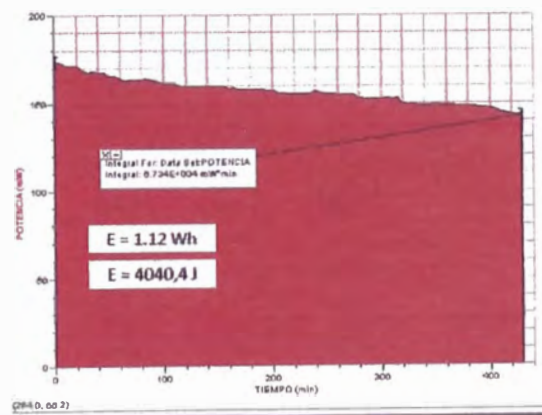


GRÁFICO N° 04  
BATERÍA B-03 - CAPACIDAD UTILIZADA - HUACHO 12-07-09  
12:40 – 18:00

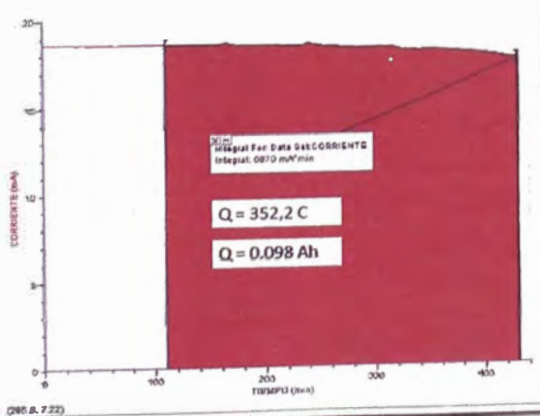
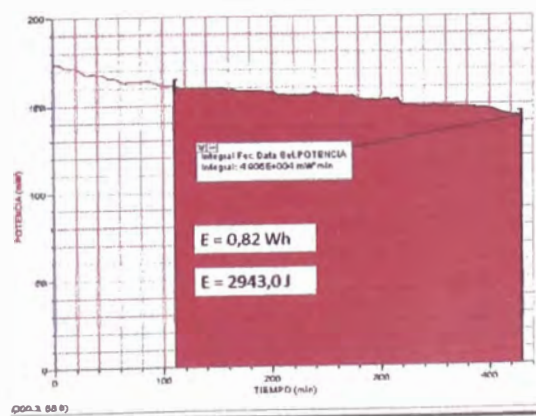


GRÁFICO N° 05  
BATERÍA B-03 - CONSUMO DE ENERGÍA - HUACHO 12-07-09  
12:40 – 18:00



## ANEXO N° 15

### TABLA A-10

#### CONSUMO ELÉCTRICO – PRUEBA N° 04 - BATERÍA B-04

30-07-2009 y 31-07-2009

HORA	TIEMPO (min)	VOLTAJE (V) ± 0.1	CORRIENTE (mA) ± 0.04	POTENCIA (mW) ± 0.01	HORA	TIEMPO (min)	VOLTAJE (V) ± 0.1	CORRIENTE (mA) ± 0.04	POTENCIA (mW) ± 0.01
09:30	0	9.2	18.57	170.84	23:00	810	7.8	15.99	124.72
09:45	15	9.1	18.56	168.90	23:15	825	7.8	15.96	124.49
10:00	30	9.0	18.54	166.86	23:30	840	7.8	15.92	124.18
10:15	45	8.9	18.53	164.92	23:45	855	7.8	15.87	123.79
10:30	60	8.8	18.52	162.98	00:00	870	7.8	15.82	123.40
10:45	75	8.8	18.50	162.80	00:15	885	7.8	15.77	123.01
11:00	90	8.7	18.48	160.78	00:30	900	7.7	15.74	121.20
11:15	105	8.6	18.49	159.01	00:45	915	7.7	15.69	120.81
11:30	120	8.6	18.50	159.10	01:00	930	7.7	15.66	120.58
11:45	135	8.5	18.48	157.08	01:15	945	7.7	15.62	120.27
12:00	150	8.5	18.46	156.91	01:30	960	7.7	15.58	119.97
12:15	165	8.4	18.46	155.06	01:45	975	7.7	15.52	119.50
12:30	180	8.4	18.42	154.73	02:00	990	7.7	15.48	119.20
12:45	195	8.4	18.37	154.31	02:15	1005	7.6	15.44	117.34
13:00	210	8.4	18.34	154.06	02:30	1020	7.6	15.40	117.04
13:15	225	8.4	18.27	153.47	02:45	1035	7.6	15.35	116.66
13:30	240	8.3	18.23	151.31	03:00	1050	7.6	15.31	116.36
13:45	255	8.3	18.17	150.81	03:15	1065	7.6	15.26	115.98
14:00	270	8.2	18.09	148.34	03:30	1080	7.6	15.22	115.67
14:15	285	8.2	18.06	148.09	03:45	1095	7.6	15.19	115.44
14:30	300	8.2	18.00	147.60	04:00	1110	7.6	15.15	115.14
14:45	315	8.2	17.96	147.27	04:15	1125	7.6	15.11	114.84
15:00	330	8.2	17.89	146.70	04:30	1140	7.6	15.06	114.46
15:15	345	8.2	17.89	146.70	04:45	1155	7.6	15.01	114.08
15:30	360	8.1	17.79	144.10	05:00	1170	7.6	14.96	113.70
15:45	375	8.1	17.79	144.10	05:15	1185	7.6	14.91	113.32
16:00	390	8.1	17.77	143.94	05:30	1200	7.6	14.87	113.01
16:15	405	8.1	17.72	143.53	05:45	1215	7.6	14.83	112.71
16:30	420	8.0	17.65	141.20	06:00	1230	7.5	14.79	110.93
16:45	435	8.0	17.59	140.72	06:15	1245	7.5	14.72	110.40
17:00	450	8.0	17.50	140.00	06:30	1260	7.5	14.69	110.18
17:15	465	8.0	17.30	138.40	06:45	1275	7.5	14.64	109.80
17:30	480	8.0	17.33	138.64	07:00	1290	7.5	14.56	109.20
17:45	495	8.0	17.18	137.44	07:15	1305	7.5	14.49	108.68
18:00	510	8.0	17.10	136.80	07:30	1320	7.4	14.40	106.56
18:15	525	8.0	16.99	135.92	07:45	1335	7.4	14.34	106.12
18:30	540	8.0	16.93	135.44	08:00	1350	7.4	14.28	105.67
18:45	555	8.0	16.87	134.96	08:15	1365	7.4	14.20	105.08
19:00	570	7.9	16.81	132.80	08:30	1380	7.4	14.11	104.41
19:15	585	7.9	16.76	132.40	08:45	1395	7.4	14.05	103.97
19:30	600	7.9	16.71	132.01	09:00	1410	7.4	13.99	103.53
19:45	615	7.9	16.63	131.38	09:15	1425	7.4	13.92	103.01
20:00	630	7.9	16.59	131.06	09:30	1440	7.4	13.88	102.71
20:15	645	7.8	16.54	129.01	09:45	1455	7.4	13.86	102.56
20:30	660	7.8	16.49	128.62	10:00	1470	7.4	13.83	102.34
20:45	675	7.8	16.43	128.15	10:15	1485	7.3	13.83	100.96
21:00	690	7.8	16.38	127.76	10:30	1500	7.3	13.79	100.67
21:15	705	7.8	16.32	127.30	10:45	1515	7.3	13.74	100.30
21:30	720	7.8	16.26	126.83	11:00	1530	7.3	13.68	99.86
21:45	735	7.8	16.23	126.59	11:15	1545	7.3	13.62	99.43
22:00	750	7.8	16.17	126.13	11:30	1560	7.3	13.58	99.13
22:15	765	7.8	16.13	125.81	11:45	1575	7.2	13.47	96.98
22:30	780	7.8	16.08	125.42	12:00	1590	7.2	13.41	96.55

## ANEXO N° 16

### CONSUMO DE ENERGÍA PRUEBA DE EVALUACIÓN N° 04

FUENTE DE ALIMENTACIÓN: BATERÍA B-04  
MARCA: DURACELL – 09 VOLTS

LUGAR: DISTRITO DE HUACHO – HUAURA

DÍAS: 30 y 31 DE JULIO DEL 2009

HORAS DE TRABAJO CONTINUADO:  
9:30 (DÍA 30-07-09) - 12:00 (DÍA 31-07-09)

GRÁFICO N° 01  
BATERÍA B-04 - CURVA DE DESCARGA - HUACHO  
9:30 (JUEVES 30-07-09) - 12:00 (VIERNES 31-07-09)

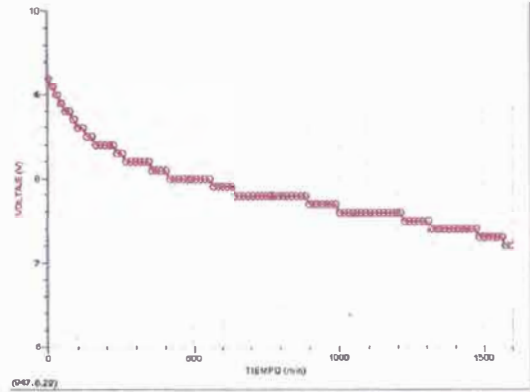


GRÁFICO N° 02  
BATERÍA B-04 - CURVA DE CORRIENTE - HUACHO  
9:30 (JUEVES 30-07-09) - 12:00 (VIERNES 31-07-09)

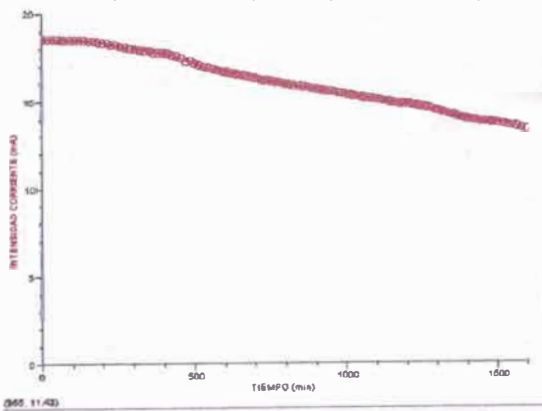


GRÁFICO N° 03  
BATERÍA B-04 - CURVA DE POTENCIA - HUACHO  
9:30 (JUEVES 30-07-09) - 12:00 (VIERNES 31-07-09)

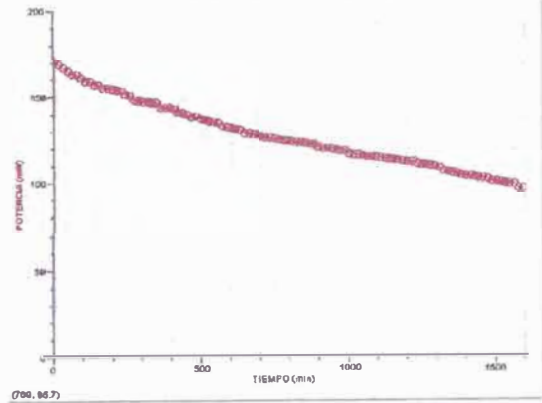


GRÁFICO N° 04  
BATERÍA B-04 - CAPACIDAD UTILIZADA - HUACHO  
9:30 (30-07-09) - 12:00 (31-07-09)

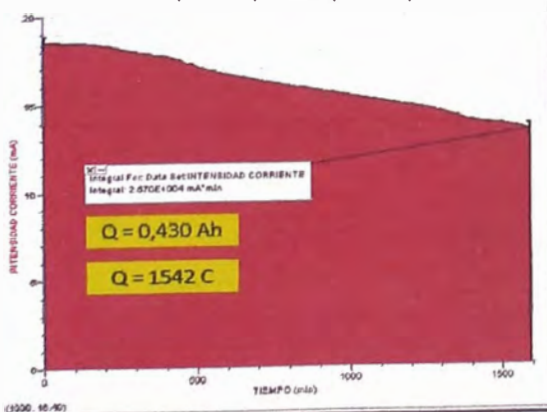
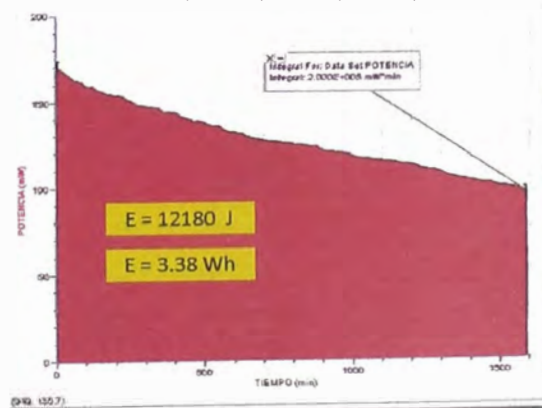


GRÁFICO N° 05  
BATERÍA B-04 - CONSUMO DE ENERGÍA - HUACHO  
9:30 (30-07-09) - 12:00 (31-07-09)



## ANEXO N° 17

### TABLA A-11

#### CONSUMO ELÉCTRICO – PRUEBA N° 05

#### BATERÍA B-05

SÁBADO 01 DE AGOSTO DEL 2009

HORA	TIEMPO (min)	VOLTAJE (V) ± 0.1	CORRIENTE (mA) ± 0.04	POTENCIA (mW) ± 0.01
10:00	0	9.2	18.56	170.75
10:15	15	9.2	18.56	170.75
10:30	30	9.1	18.55	168.81
10:45	45	9.0	18.53	166.77
11:00	60	8.9	18.52	164.83
11:15	75	8.8	18.49	162.71
11:30	90	8.8	18.48	162.62
11:45	105	8.7	18.46	160.60
12:00	120	8.6	18.47	158.84
12:15	135	8.6	18.47	158.84
12:30	150	8.6	18.47	158.84
12:45	165	8.5	18.46	156.91
13:00	180	8.5	18.40	156.40
13:15	195	8.4	18.42	154.73
13:30	210	8.4	18.38	154.39
13:45	225	8.4	18.36	154.22
14:00	240	8.4	18.32	153.89
14:15	255	8.4	18.26	153.38
14:30	270	8.3	18.23	151.31
14:45	285	8.3	18.25	151.48
15:00	300	8.3	18.24	151.39
15:15	315	8.3	18.26	151.56
15:30	330	8.3	18.39	152.64
15:45	345	8.2	18.47	151.45
16:00	360	8.2	18.29	149.98
16:15	375	8.2	18.23	149.49
16:30	390	8.2	18.14	148.75
16:45	405	8.2	18.00	147.60
17:00	420	8.1	17.77	143.94
17:15	435	8.1	17.64	142.88
17:30	450	8.0	17.51	140.08
17:45	465	8.0	17.39	139.12
18:00	480	8.0	17.28	138.24

**TABLA A-12**  
**CONSUMO ELÉCTRICO – PRUEBA N° 05**  
**BATERÍA B-05**  
**DOMINGO 02 DE AGOSTO DEL 2009**

HORA	TIEMPO (min)	VOLTAJE (V) ± 0.1	CORRIENTE (mA) ± 0.04	POTENCIA (mW) ± 0.01
10:00	0	8.2	18.35	150.47
10:15	15	8.2	18.16	148.91
10:30	30	8.1	17.91	145.07
10:45	45	8.0	17.58	140.64
11:00	60	8.0	17.36	138.88
11:15	75	8.0	17.18	137.44
11:30	90	8.0	17.08	136.64
11:45	105	7.9	16.95	133.91
12:00	120	7.9	16.89	133.43
12:15	135	7.9	16.82	132.88
12:30	150	7.9	16.73	132.17
12:45	165	7.9	16.67	131.69
13:00	180	7.9	16.62	131.30
13:15	195	7.8	16.56	129.17
13:30	210	7.8	16.50	128.70
13:45	225	7.8	16.45	128.31
14:00	240	7.8	16.40	127.92
14:15	255	7.8	16.34	127.45
14:30	270	7.8	16.29	127.06
14:45	285	7.8	16.23	126.59
15:00	300	7.8	16.18	126.20
15:15	315	7.8	16.13	125.81
15:30	330	7.8	16.10	125.58
15:45	345	7.8	16.06	125.27
16:00	360	7.8	16.03	125.03
16:15	375	7.8	15.99	124.72
16:30	390	7.8	15.93	124.25
16:45	405	7.8	15.90	124.02
17:00	420	7.8	15.87	123.79
17:15	435	7.7	15.83	121.89
17:30	450	7.7	15.77	121.43
17:45	465	7.7	15.73	121.12
18:00	480	7.7	15.69	120.81



**TABLA A-13**  
**CONSUMO ELÉCTRICO – PRUEBA N° 05**  
**BATERÍA B-05**  
**LUNES 03 DE AGOSTO DEL 2009**

HORA	TIEMPO (min)	VOLTAJE (V) ± 0.1	CORRIENTE (mA) ± 0.04	POTENCIA (mW) ± 0.01
10:00	0	8.0	17.42	139.36
10:15	15	7.9	17.04	134.62
10:30	30	7.8	16.35	127.53
10:45	45	7.8	16.02	124.96
11:00	60	7.7	15.86	122.12
11:15	75	7.7	15.73	121.12
11:30	90	7.6	15.68	119.17
11:45	105	7.6	15.61	118.64
12:00	120	7.6	15.56	118.26
12:15	135	7.6	15.50	117.80
12:30	150	7.6	15.45	117.42
12:45	165	7.6	15.39	116.96
13:00	180	7.6	15.35	116.66
13:15	195	7.6	15.29	116.20
13:30	210	7.6	15.25	115.90
13:45	225	7.6	15.17	115.29
14:00	240	7.6	15.13	114.99
14:15	255	7.6	15.08	114.61
14:30	270	7.6	15.04	114.30
14:45	285	7.6	15.04	114.30
15:00	300	7.6	15.15	115.14
15:15	315	7.6	15.17	115.29
15:30	330	7.6	15.22	115.67
15:45	345	7.6	15.28	116.13
16:00	360	7.6	15.21	115.60
16:15	375	7.5	15.08	113.10
16:30	390	7.5	15.01	112.58
16:45	405	7.5	14.87	111.53
17:00	420	7.5	14.75	110.63
17:15	435	7.4	14.63	108.26
17:30	450	7.4	14.51	107.37
17:45	465	7.4	14.42	106.71
18:00	480	7.4	14.34	106.12

## ANEXO N° 18

### CONSUMO DE ENERGÍA PRUEBA DE EVALUACIÓN N° 05

FUENTE DE ALIMENTACIÓN: BATERÍA B-05  
MARCA: DURACELL – 09 VOLTS

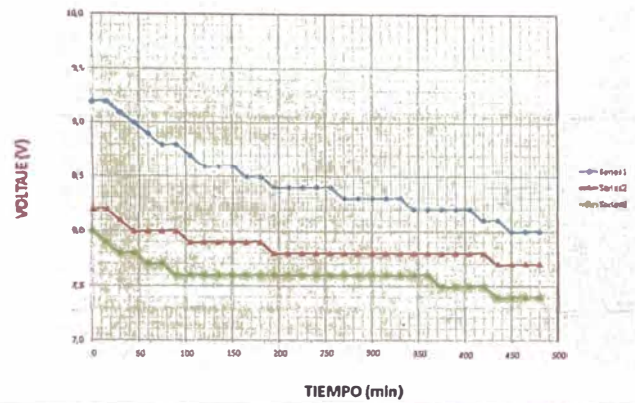
LUGAR : DISTRITO DE HUACHO – HUAURA

DÍAS : 01, 02 y 03 DE AGOSTO DEL 2009

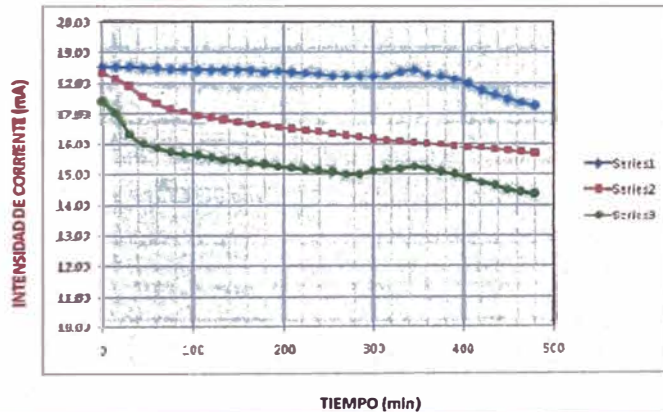
HORAS DE TRABAJO POR DÍA: 08

HORARIO: 10:00 – 18:00

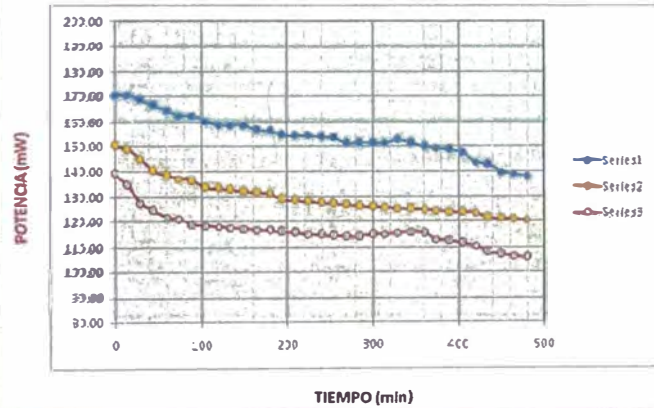
**GRÁFICO N° 01**  
BATERÍA B-05 - CURVAS DE DESCARGA – HUACHO - (10:00 – 18:00)  
SERIE 01: DÍA 01.08.09 – SERIE 02: DÍA 02.08.09 – SERIE 03: DÍA 03.08.09



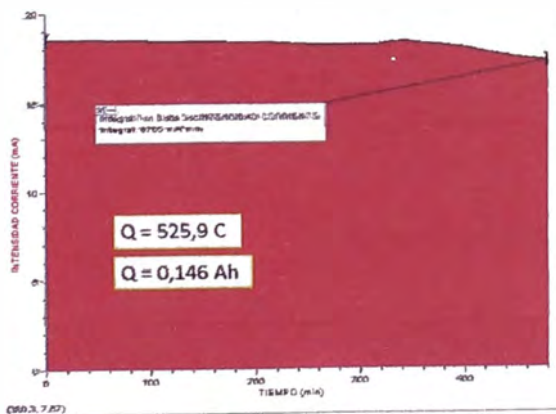
**GRÁFICO N° 02**  
BATERÍA B-05 - CURVAS DE CORRIENTE – HUACHO (10:00 – 18:00)  
SERIE 01: DÍA 01.08.09 – SERIE 02: DÍA 02.08.09 – SERIE 03: DÍA 03.08.09



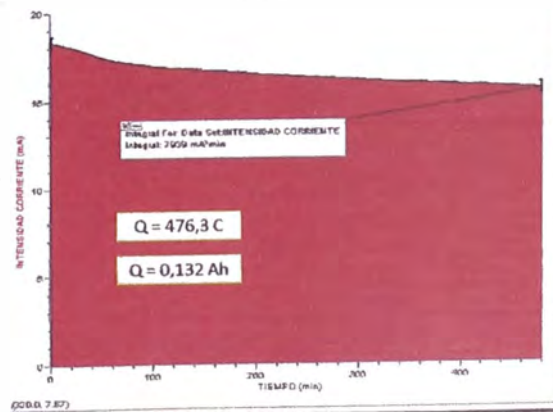
**GRÁFICO N° 03**  
BATERÍA B-05 - CURVAS DE POTENCIA – HUACHO (10:00 – 18:00)  
SERIE 01: DÍA 01.08.09 – SERIE 02: DÍA 02.08.09 – SERIE 03: DÍA 03.08.09



**GRÁFICO N° 04**  
BATERÍA B-05 - CAPACIDAD UTILIZADA – HUACHO 01-08-09  
10:00 – 18:00

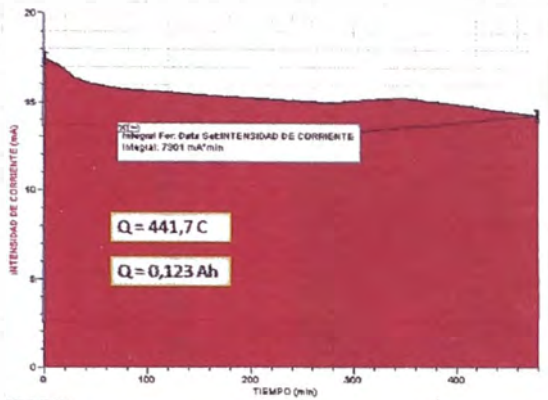


**GRÁFICO N° 05**  
BATERÍA B-05 - CAPACIDAD UTILIZADA – HUACHO 02-08-09  
10:00 – 18:00

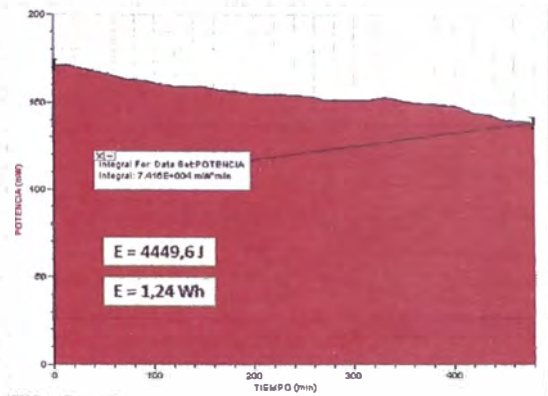


**GRÁFICO N° 06**

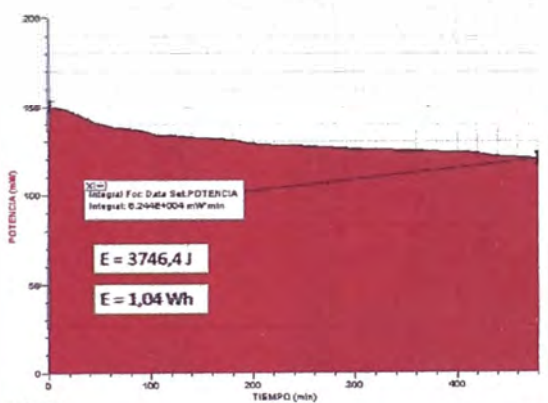
BATERÍA B-05 - CAPACIDAD UTILIZADA - HUACHO 03-08-09  
10:00 - 18:00

**GRÁFICO N° 07**

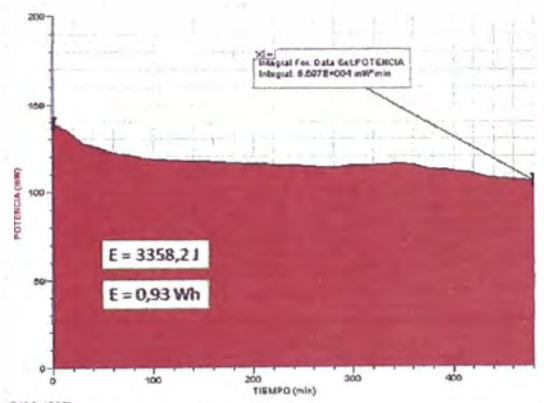
BATERÍA B-05 - CONSUMO DE ENERGÍA - HUACHO 01-08-09  
10:00 - 18:00

**GRÁFICO 08**

BATERÍA B-05 - CONSUMO DE ENERGÍA - HUACHO 02-08-09  
10:00 - 18:00

**GRÁFICO 09**

BATERÍA B-05 - CONSUMO DE ENERGÍA - HUACHO 03-08-09  
10:00 - 18:00





# TARJETA DE PROYECTOS ELECTRÓNICOS COMERCIAL CP-PIC877 V1.0

