

*“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”*



**Centro de investigación en materiales avanzados s.c.  
Departamento de estudios de posgrado**

**“Integración del control en un reactor  
electroquímico para producir hipoclorito de sodio  
utilizando energía fotovoltaica”**

**TÉSIS**

**Que para obtener el grado de:  
Maestro en energías renovables**

**PRESENTA:**

**SALVADOR HERNÁNDEZ GONZÁLEZ**

**Director de Tesis:**

**C. Dr. Pedro Sanchez Santiago**

**Co-director externo: Dr. Germán Orozco Gamboa**

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

**San Juan del Río Junio del 2014**

DEDICATORIAS: A mi esposa e hijos por su apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS: Al CIMAV Chihuahua y a todos sus Maestros por valioso apoyo, A la Universidad Tecnológica de San Juan del Río en especial al Dr Marco Antonio Zamora por darme la oportunidad de realizar estudios de Postgrado , Al CIDETEQ al Dr Germán Orozco Gamboa por su valiosa ayuda y aportación determinantes den el desarrollo de este trabajo.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Resumen.....                                                    | 6  |
| ABSTRACT .....                                                  | 7  |
| 1.1 Panorama energético actual.....                             | 7  |
| 1.2 Planteamiento del problema.....                             | 8  |
| 1.2 Objetivos generales.....                                    | 10 |
| 1.3 Objetivos específicos .....                                 | 11 |
| 1.4 Justificación.....                                          | 11 |
| CAPITULO 2 MARCO TEORICO DE REFERENCIA.....                     | 11 |
| 2.1 Antecedentes .....                                          | 11 |
| 2.1.1 Antecedentes constructivas reactor placas paralelas ..... | 12 |
| 2.1.2 Electrólisis.....                                         | 15 |
| 2.1.3 Reactor Integrado .....                                   | 16 |
| 2.2 Contexto Solar Energético.....                              | 17 |
| 2.2.1 Energía Solar .....                                       | 17 |
| 2.3 Contexto Tecnológico.....                                   | 20 |
| 2.3.1 Paneles fotovoltaicos .....                               | 22 |
| 2.3.2 Clasificación de instalaciones Fotovoltaicas .....        | 23 |
| 2.3.3 Controlador de Carga.....                                 | 23 |
| 2.3.4 Baterías.....                                             | 24 |
| 2.3.5 Inversor de Carga .....                                   | 25 |

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPITULO 3 MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....                             | 27 |
| 3 Metodología Experimental.....                                                    | 27 |
| 3.1 Radiación Solar .....                                                          | 28 |
| 3.1.1 Análisis estadístico de los datos de radiación solar .....                   | 28 |
| 3.1.2 Procedimiento de la determinación de la oferta de radiación solar .....      | 29 |
| 3.2 Determinación de la demanda de potencia eléctrica del sistema .....            | 30 |
| 3.2.1 Determinación de la demanda eléctrica del reactor de electrólisis.....       | 30 |
| 3.2.2 Determinación de la demanda eléctrica del sistema de bombeo hidráulico ..... | 30 |
| 3.2.3 Determinación de la demanda eléctrica del PLC .....                          | 31 |
| 3.2.4 Determinación de la demanda de la potencia eléctrica del inversor .....      | 32 |
| 3.2.5 Determinación de la demanda del Microcontrolador .....                       | 32 |
| 3.3 Balance entre la oferta y la demanda de potencia .....                         | 33 |
| 3.3.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico mediante un PLC.....               | 33 |
| 3.3.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico usando un Microcontrolador .       | 37 |
| 3.4 Control del sistema.....                                                       | 40 |
| 3.4.1 Control del sistema utilizando PLC .....                                     | 40 |
| 3.4.2 Control del sistema mediante un Microcontrolador .....                       | 42 |
| 3.5 Integración del sistema .....                                                  | 43 |
| CAPITULO 4 RESULTADOS y CONCLUSIONES .....                                         | 46 |
| 4.1 Resultados .....                                                               | 46 |
| 4.1.1 Evaluación de la cantidad de radiación disponible.....                       | 46 |
| 4.2 Determinación de la demanda energética del sistema .....                       | 48 |
| 4.3 Dimensionamiento sistema fotovoltaico .....                                    | 48 |
| 4.4 Control del sistema e integración .....                                        | 49 |

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5 Conclusiones.....                                                                                                         | 51 |
| 4.6 Trabajo a futuro .....                                                                                                    | 53 |
| REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                              | 54 |
| Apéndice A.....                                                                                                               | 55 |
| Generación de Electricidad .....                                                                                              | 55 |
| Energías alternativas.....                                                                                                    | 58 |
| Apéndice B.....                                                                                                               | 60 |
| Historia y Métodos de producción de cloro .....                                                                               | 60 |
| ✓ Comparación de los tres métodos:.....                                                                                       | 66 |
| Apéndice C.....                                                                                                               | 70 |
| Procedimiento del procesamiento de los datos para obtener la radiación promedio mediante el uso del software Origen Pro ..... | 70 |
| Apéndice D.....                                                                                                               | 79 |
| Componentes del proyecto integrado .....                                                                                      | 79 |

# ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

## **Resumen**

La presente tesis realiza el análisis y evaluación del control de un sistema fotovoltaico utilizado en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica. Uno de los problemas más frecuentes para realizar proyectos en energías renovables es como integrar equipos disponibles comercialmente para concretizar dichos proyectos y por otro lado existe incertidumbre de su manejo por parte de los usuarios al ser nuevas tecnologías, y también el gasto de inversión en energías renovables es alto al principio.

Al iniciar este trabajo se propusieron objetivos generales como desarrollar el control electrónico para integrar los sistemas de producción del desinfectante, determinar la cantidad de radiación solar en el sitio de trabajo, determinar las condiciones de operación del equipo y objetivos específicos como Construir un Rack portátil de fácil transporte y manejo, mejorar la eficiencia energética respecto al trabajo anterior elaborado por Rivera Morales [6] y aumentar la producción de hipoclorito de sodio de 0.160 Kg/litro a 1Kg/litro.

La realización de proyectos de esta naturaleza impacta directamente en ahorro de energía de las empresas, abatiendo costos de producción en beneficio del consumidor y por otro lado en la disminución de gases invernadero. Un aspecto también importante a considerar por las empresas es que generando una proporción de su energía eléctrica a través de energías renovables no están tan expuestas a problemas de apagones masivos.

El desarrollo del presente trabajo se fundamentó en 6 etapas experimentales que se describen a detalle en el Capítulo 3, Estudio de la radiación solar, Análisis estadístico de los datos, determinación de la demanda de potencia del sistema, Dimensionamiento del sistema, control del sistema, Integración de los equipos del sistema.

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

Se concluye que es factible construir un control para manipular la velocidad de la bomba para un caudal de 2 litros/minuto y un potencial de 8V aplicados a los electrodos del reactor usando tanto un PLC como con un Microcontrolador, utilizando un circuito de propósito específico llamado PWM. También se logra hacer un análisis exhaustivo de la energía disponible en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río de los años 2007 al 2013 encontrando un valor muy similar al calculado por la NASA. Y por último se logra integrar los equipos en un sistema fotovoltaico funcionando de manera satisfactoria durante 8 horas diarias.

### **ABSTRACT**

#### **1.1 Panorama energético actual**

Por casi un siglo el petróleo ha sido el recurso energético más utilizado en la generación de energía, la economía de muchos países depende de este recurso, el uso de este energético ha ocasionado en el hombre toda una forma de ser y de actuar, muchas actividades cotidianas no se conciben sin el uso de la electricidad, el uso del automóvil, el alumbrado público, el funcionamiento de un hospital, el bombeo de agua potable, el uso de máquinas eléctricas, la industria de la transformación, el uso doméstico, entre otras. La estadística a nivel mundial respecto a la producción de petróleo no es muy esperanzadora se habla algunos países tienen reservas probadas para los próximos 50 años, otros 40, algunos más 30, aunque se especula al respecto la cantidad de petróleo que realmente poseen, los indicadores demuestran que las reservas van a la baja, por lo que se percibe una crisis energética mundial en poco tiempo.

Por otro lado si bien es cierto que el uso del petróleo ha impulsado un gran desarrollo tecnológico, científico y social, utilizar combustibles fósiles para generar energía eléctrica, petróleo, diésel, coke, gas, carbón mineral, también ha generado grandes cantidades de subproductos como el CO<sub>2</sub>, generación de aguas residuales, producción de calor atmosférico, derrames de crudo por accidentes,

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

con consecuencias catastróficas, se observa cómo han desaparecido ríos, lagunas, lagos, fauna, flora y modificación de muchos entornos ecológicos, repercutiendo enormemente en los cambios climáticos, prolongadas sequías, fuertes inundaciones, lluvias atípicas, intensas heladas en climas templados, esta y otras facturas deberá cobrar la naturaleza por el daño que se le ha provocado.

El panorama a nivel internacional no es nada halagador en cuanto a la energía eléctrica generada de manera tradicional cada vez es más costosa y escasa. Por ejemplo en los años de 1930 en Texas se necesita invertir un barril de petróleo para extraer 100 barriles. En los años 1990 se invertía un barril de petróleo para extraer 20 en Arabia Saudita. Se espera que en un futuro por cada barril de petróleo invertido para extracción se obtengan 5 barriles. Existen alternativas como el gas de lutitas que parecen abundantes, sin embargo todos los combustibles fósiles seguirán siendo perjudiciales para el medio ambiente. El costo real de combustibles fósiles no es percibido a veces por los consumidores debido a los subsidios que los gobiernos otorgan a estos. Es importante entender que las empresas deben buscar ahorrar energía, no solo por una cuestión de compromiso social, sino porque el ahorro de energía impacta directamente sobre el costo de producción. Un aspecto también importante a considerar por las empresas es que generando una proporción de su energía eléctrica a través de renovables no están tan expuestas a problemas de apagones masivos (blackout). Por ejemplo en el año 2007, en la ciudad de Barcelona, la caída de la potencia eléctrica duró 58 horas.

### **1.2 Planteamiento del problema**

En la sociedad y en la academia existe un consenso sobre la importancia de introducir el uso de fuentes de energías renovables. Sin embargo, son varios los problemas para implantar estas fuentes en una escala que tengan impacto en la reducción de gases invernadero. A continuación enumeramos solamente tres problemas relevantes: 1) incertidumbre de uso por parte de los usuarios al ser nuevas tecnologías, 2) el gasto de inversión en renovables es alto al principio, 3) falta de integración de equipos con fuentes energías renovables. Un análisis más



***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

amplio de políticas públicas e investigación científica, para introducir a las energías renovables en México, lo realiza la Académica Mexicana de la Ciencia [1] y está más allá del contexto del presente trabajo. En el apéndice A se presentan un aspecto general de las energías convencionales y las fuentes de energías renovables.

La Universidad Tecnológica de San Juan del Río (UTSJR) ha promovido el uso de energías renovables para diferentes fines. Esta institución tiene los conocimientos y habilidades para incidir a resolver el problema 3) identificado en párrafos anteriores.

Por otra parte el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ) ha desarrollado tecnologías para el tratamiento y desinfección de agua. Una forma de potabilizar agua es añadiendo hipoclorito de sodio, el cual se puede obtener por cloro gaseoso o por procesos electroquímicos. Debido a la alta toxicidad del cloro gaseoso es preferible generar dentro del sistema de distribución de agua municipal un dosificador de hipoclorito de sodio. La producción de hipoclorito de sodio que utiliza electricidad por métodos electroquímicos, está muy extendida a nivel mundial y es una tecnología que se puede calificar como madura. Esta tecnología se ha desarrollado en el CIDETEQ desde el año 2000, colocando desde entonces varios equipos en operación en diferentes industrias mexicanas. En el apéndice B se detallan las tecnologías electroquímicas de producción de cloro. Si por alguna razón, en alguna comunidad llegarán a faltar agua potable y electricidad, ya sea por carencia de recursos para hacerlos llegar o por un desastre natural que interrumpiera estos suministros, la comunidad es afectada intensamente, la reactivación de estos podría tardar días o quizás hasta semanas. Una alternativa para solucionar la falta de electricidad es utilizar paneles fotovoltaicos, los cuales utilizan energía solar disponible en el lugar. Por esta razón el CIDETEQ solicito la ayuda a la UTSJR para integrar un equipo productor de hipoclorito de sodio utilizando módulos fotovoltaicos.

El presente proyecto desea empezar a resolver el problema de desinfección de agua con independencia de la red eléctrica convencional. El prototipo desarrollado

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

será totalmente independiente permitirá un significativo avance en el logro del objetivo global de desinfección de agua en zonas remotas.

Al iniciar el presente proyecto titulado INTEGRACIÓN Y CONTROL DE UN REACTOR ELECTROQUÍMICO PARA PRODUCIR HIPOCLORITO DE SODIO UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA se escogió utilizar un equipo del CIDETEQ que produce un 0.8 kg a 1Kg de cloro por día y se decidió ubicar en UTSJR, la cual solicitó recursos al gobierno estatal para crear una planta propia de tratamiento de aguas. De esta manera se espera que el prototipo desarrollado sea usado en esta institución. Es necesario también mencionar que este equipo es considerado como de una producción mediana respecto a los equipos comercializados por CIDETEQ. Al iniciar el proyecto se realizaron las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo modificar los equipos generadores de cloro del CIDETEQ para que usen fuentes de energía solar?

¿Qué cantidad de radiación solar cuenta UTSJR?

¿Será factible y rentable automatizar el equipo?

La modificación del equipo de CIDETEQ se realizará mediante su integración con módulos fotovoltaicos. Esta integración necesita un circuito de control que permite uso del equipo automatizado. Se sabe que los sistemas automatizados tienen algunas ventajas, como evitar que el trabajo humano se realice donde hay mucha humedad, altas temperaturas, donde se manejan sustancias peligrosas. La automatización de equipos aporta grandes beneficios económicos y confort, sin embargo es importante mencionar que estos sistemas demandan energía para su funcionamiento, por lo cual es necesario operarlos eficientemente.

### **1.2 Objetivos generales**

- ✓ Desarrollar el control electrónico para integrar los sistemas de producción del desinfectante.
- ✓ Determinar la cantidad de radiación solar en el sitio de trabajo.
- ✓ Determinar las condiciones de operación del equipo y su mantenimiento.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

### **1.3 Objetivos específicos**

Construir un Rack portátil de fácil transporte y manejo

Mejorar la eficiencia energética respecto al trabajo anterior elaborado por [6]

Aumentar la producción de hipoclorito de sodio de 0.160 Kg a 1Kg de hipoclorito de sodio del proyecto anterior.

### **1.4 Justificación**

El desarrollo de reactores electroquímicos de placas paralelas controlados electrónicamente utilizando energía fotovoltaica por parte del CIDETEQ, reúne las condiciones necesarias para realizar múltiples experimentos a nivel laboratorio, las observaciones que se deriven de la investigación del tema y por parte de los usuarios son oportunidades de mejora, en el control, la eficiencia y el funcionamiento de manera integrada con la intención de lograr la consolidación y construcción de reactores electroquímicos a nivel Industrial.

Por otro lado no son pocos los beneficios que brinda la construcción de hipocloradores que funcionen con energía fotovoltaica, entre otros, la continuidad en el suministro de energía, es decir no se está expuesto a apagones por tiempos prolongados, el abatimiento en el costo de los sistemas de producción, la disminución en la generación de gases de invernadero, producir hipoclorito de sodio en el lugar de requerimiento, clorar agua para uso doméstico y consumo humano en lugares siniestrados por sequías o inundaciones.

## **CAPITULO 2 MARCO TEORICO DE REFERENCIA**

### **2.1 Antecedentes**

CIDETEQ, es el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. El 26 de septiembre de 1991, fue creado como una sociedad civil

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

con el propósito de ser un Centro Público de Investigación, con el reto de responder a la necesidad de vinculación entre industriales e investigadores. Desde sus inicios, el CIDETEQ ha sido líder en la investigación y el desarrollo de tecnología en electroquímica, además proporciona diversos servicios a la industria; tales como análisis de metales, análisis de aguas, caracterización de materiales y análisis de fallas. Actualmente, el CIDETEQ se especializa en desarrollar proyectos y servicios de alto valor agregado a través de sus tres áreas estratégicas: Procesos, Ambiente y Materiales.

Como parte de los objetivos de creación del Centro, la Formación de Recursos Humanos es una actividad que nos ocupa. Una vez que se consideró, que nuestros investigadores y el propio CIDETEQ como institución, alcanzaban la madurez suficiente, en 1998 se iniciaron los trabajos para que en abril de 1999 atendiéramos a la primera generación de Maestros en Ciencias y Doctores en Electroquímica. Además, desde marzo de 2003, los estudiantes mexicanos tienen una opción más de estudio para obtener su grado de maestría o doctorado en ciencia y tecnología con orientación en Ingeniería Ambiental [8]



Figura 2.1 CIDETEQ

### **2.1.1 Antecedentes constructivas reactor placas paralelas**

Las celdas de flujo utilizando electrodos de placas paralelas son las más empleadas por la tecnología moderna, para la electrólisis, como para celdas de combustión. Los electrodos pueden ser horizontales (como la celda de mercurio para procesos de cloro-álcali) pero, en general, los arreglos verticales son más

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

convenientes. La geometría de placas paralelas es popular y conveniente para muchos de los procesos electroquímicos, debido a las siguientes características:

Simplicidad de construcción de las estructuras de celda, conexiones de electrodo y sellado de membranas, así como gran variedad de materiales de electrodo y separadores.

Las distribuciones de potencial y corriente son razonablemente uniformes.

El transporte de masa, puede ser ajustado y controlado usando una variedad de promotores de turbulencia y/o por control mecánico de la velocidad de flujo del electrolito.

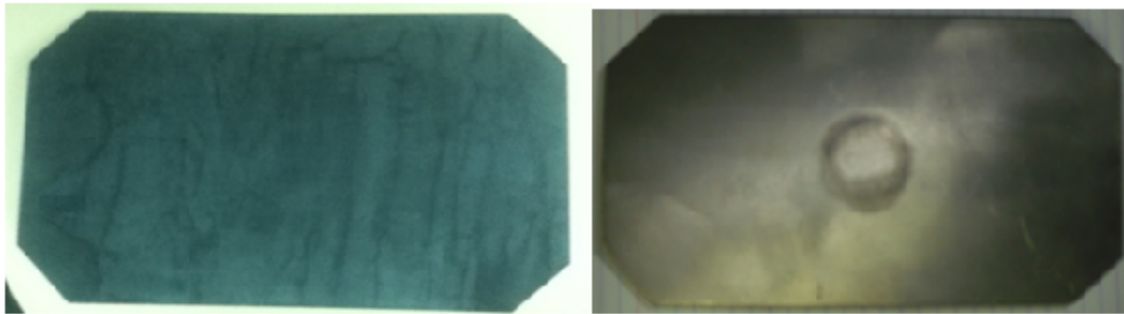
Las celdas de placas brindan una mayor área empacada del electrodo, por lo cual son las más ampliamente empleadas a escala industrial. Para la producción de soluciones de Hipoclorito de Sodio mediante celdas electroquímicas se pueden emplear dos materias primas: salmuera y agua de mar. Las celdas que utilizan agua de mar operan a mayores velocidades de flujo del electrolito, requieren un mayor diámetro de la cavidad para minimizar los efectos adversos causados por la formación de depósitos sobre el cátodo y conducen a la formación de un producto con baja concentración de Cloro disponible, de entre 0.5 y 4.0 g/L. Por su parte, las celdas en que se emplea salmuera como materia prima, producen soluciones con contenido de Cloro activo de 7 a 10 g/L para mantener un bajo costo al emplear este tipo de celdas, la velocidad de flujo de la solución de salmuera es menor, con el fin de maximizar la eficiencia a la mayor concentración de Cloro disponible Machorro López [5]

El equipo utilizado es un reactor de placas paralelas modelo DS-Asahi Glass “Clon” escala piloto<sup>[8]</sup>.

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

|                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Tamaño de Placas de apriete         | 30 x 20 cm                |
| Medida interior del marco de la     | 10.1 x 18.1 cm            |
| Área de electrodo.                  | 0.0178 m <sup>2</sup>     |
| Placa Electrónica Ánodo             | DSA. (formula de CIDETEQ) |
| Placa Electrónica Cátodo            | Acero inoxidable 316 L    |
| Medida de Electroodos.              | 18.1 x 10.1 cm            |
| Separador o Promotor de turbulencia | 0.75 mm de ancho          |

**Figura 2.1.1a Dimensiones del reactor**



**Figura 2.1.1b Cátodo y ánodo respectivamente**

Los electrodos se colocan en marcos que mantienen fijos a los electrodos, los cuales van sellados después por placas Nylamid de 310mm x 200mm x 25mm.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Figura 2.1.1c Placas de apriete**

### **2.1.2 Electrólisis**

El electrodo cargado negativamente se conoce como cátodo y el cargado positivamente se conoce como ánodo. Cada electrodo atrae a los iones de carga opuesta. Así los iones positivos, o cationes, son atraídos al cátodo, mientras que los iones negativos, o aniones, se desplazan hacia el ánodo. La energía necesaria para separar a los iones e incrementar su concentración en los electrodos, proviene de la fuente de poder eléctrica que mantiene la diferencia de potencial en los electrodos. En la figura 2.1.2 Se observa la reacción de la Salmuera (agua con sal) dentro del reactor.

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

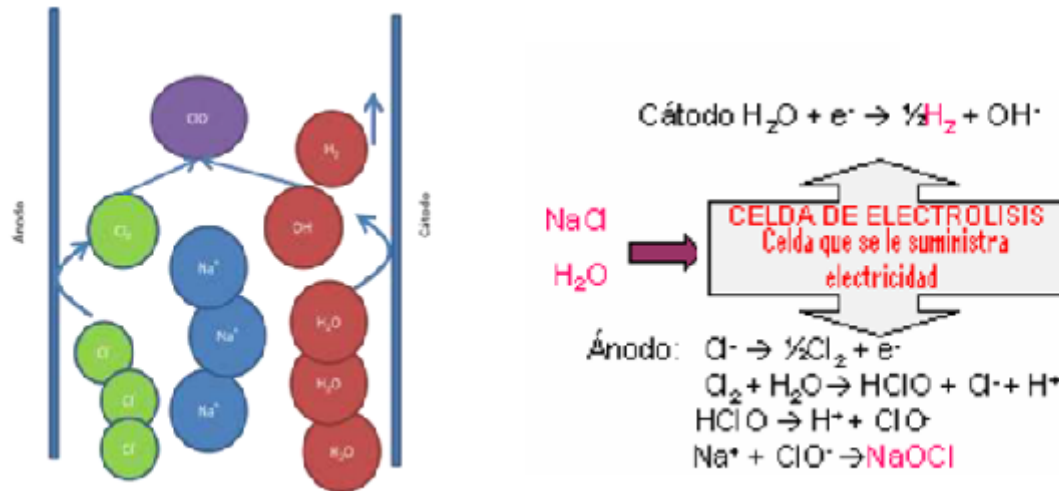


Figura 2.1.2 Reacción electrolítica

### 2.1.3 Reactor Integrado

El punto de partida para realizar este trabajo es el reactor que muestra en la figura 2.1.3. Consta de un gabinete metálico estructurado con ángulo de acero comercial de “1x 1/8”, 2 Bombas marca AEROMAG, Modelo AMU27SO45-T07TA01 alimentadas a una fuente de 127 V CA de CFE y 45W de potencia, 2 rotámetros analógicos marca Blue/White con una capacidad máxima de 8LPM, 2 válvulas de paso, conductos de pvc “1/2” cédula 80 y dos depósitos de acrílico de 6mm de espesor.



***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Figura 2.1.3 Reactor integrado**

## **2.2 Contexto Solar Energético**

### **2.2.1 Energía Solar**

La energía solar es la fuente de energía en forma de calor y de luz más abundante que recibe la tierra, el sol irradia la energía proveniente de la fusión de los núcleos atómicos que lo componen y como lo hace en todas direcciones, un porcentaje llega a la tierra, según los astrónomos el sol existe desde hace unos 4600 millones de años y que seguirá irradiando su energía durante el mismo periodo de años. La luz, sea esta de origen solar, o generada por una lámpara incandescente o fluorescente, está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia, que están agrupadas dentro de un cierto rango, llamado espectro luminoso como se muestra en la figura 2.2.1a

## **“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

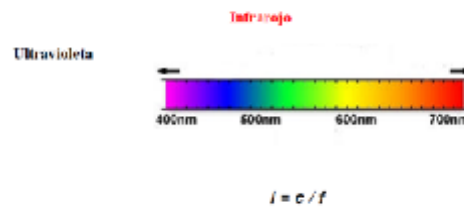


Figura 2.2.1a Espectro luminoso

La radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra tiene variaciones, estas variaciones se deben a tres factores importantes:

- Factores astronómicos
- Factores atmosféricos
- Factores de alineación y orientación

✓ Factores astronómicos

La tierra gira alrededor del sol en movimiento llamado movimiento de traslación dicho movimiento tarda un año terrestre que es igual a 365.25 días, la trayectoria que describe el planeta tierra es una elipse que se acerca a una trayectoria circular, como el sol está en uno de los focos de la elipse, el planeta está más cerca del sol en una época del año y más alejada en otra. La tierra alcanza su máxima aproximación al sol cuando se encuentra a  $1.45 \times 10^8$  Km posición llamada perihelio, ocurre aproximadamente el 4 de Enero de cada año y encuentra su posición más separada, su afelio, a  $1.54 \times 10^8$  Km de distancia aproximadamente la figura 2.2.1b describe el fenómeno.

## “Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”

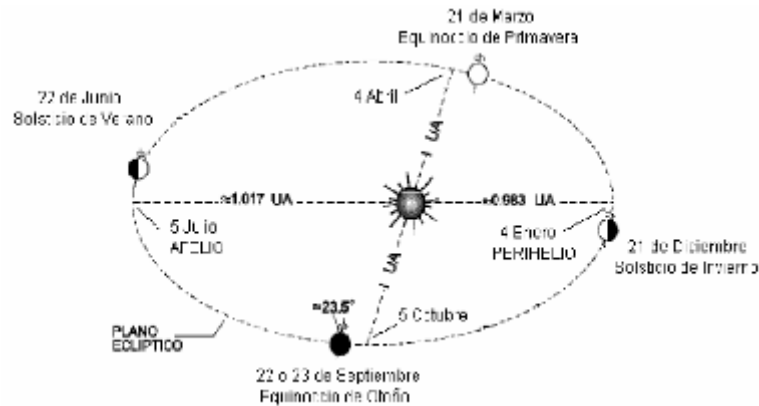


Figura 2.2.1b Factor astronómico de radiación solar

### ➤ Factores atmosféricos

La atmósfera de la tierra tiene aproximadamente una altura de dos mil kilómetros sobre la superficie de la tierra y está compuesta de diferentes capas como la troposfera, estratosfera, ionosfera y exosfera esta funciona como un gran almacén que guarda gran parte de la energía enviada por el sol.

Del 47% de la radiación que se encuentra en la superficie terrestre se divide en un 31% como radiación directa y el 15% como radiación difusa o indirecta y esta última puede ser por atenuación por causa de las nubes y por la reflexión del suelo a la nube y nuevamente a la superficie terrestre, conocida como radiación de Albedo. Del 47% se tiene que restar el 18% que es convertida en onda larga saliendo de la atmósfera, finalmente queda el 29% de la radiación total la figura 2.2.1c describe la situación.

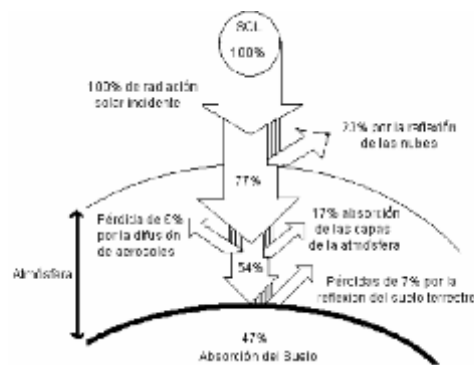


Figura 2.2.1c Radiación Solar

## **“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

### ➤ Factores de alineación y orientación

Debido a que la radiación solar es un fenómeno natural que no puede ser controlado, la única opción para lograr un máximo aprovechamiento de la energía solar disponible en un plano es la orientación y la inclinación del mismo, es decir su puede calcular la posición del sol en cualquier momento conociendo el ángulo y el ángulo de altura solar. Estudios sobre la disponibilidad de este recurso han mostrado que la orientación más adecuada para captar la energía solar si el dispositivo a conectar es un colector solar plano es la orientación norte sur si la localidad donde se requiere hacer uso de la radiación solar está en el hemisferio norte, el colector deberá orientarse hacia el sur geográfico, se recomienda colocar el colector a un inclinación para este caso equivalente  $\pm 15^\circ$  la latitud del lugar referido como se muestra en la Figura 2.2.1d

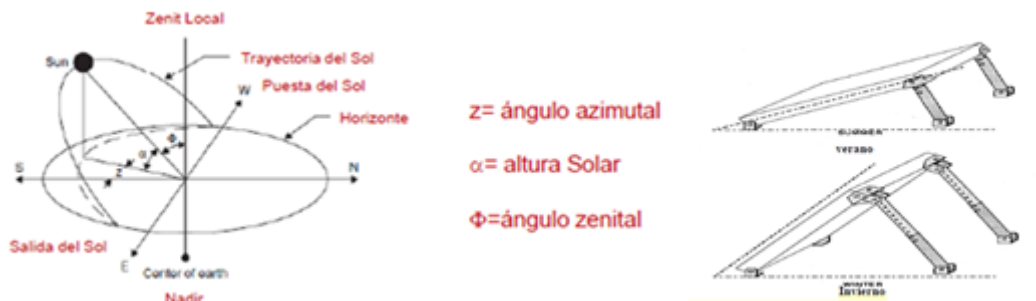


Figura 2.2.1d Orientación de los paneles

## **2.3 Contexto Tecnológico**

Para muchas aplicaciones prácticas no basta con calcular la radiación teórica que incide sobre un lugar o sobre un equipo solar determinado es necesario hacer las mediciones para tener los valores efectivos de energía disponible o incidente sobre un colector. Existen varios métodos para medir la radiación solar, el método más aceptado comúnmente, es el uso de un piranómetro. El piranómetro, es un instrumento para medir la irradiancia global (directa más difusa) usualmente sobre una superficie horizontal. El tipo más común de piranómetro, consiste en dos

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

sensores de temperatura, uno de ellos expuesto a la radiación solar y ennegrecido y el otro, protegido de la radiación. Si los dos sensores se encuentran en condiciones similares en todo, menos en el hecho de estar expuestos a la radiación, habrá una diferencia de temperaturas entre ellos. La hipótesis de trabajo de un piranómetro, es que la irradiancia es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos sensores. Para evitar lecturas erróneas por ruido causadas por el viento y otros factores meteorológicos el sensor expuesto a la radiación y a veces también el otro suelen estar protegidos por un hemisferio de vidrio. Este hemisferio de características ópticas adecuadas, permite el paso de la radiación, pero evita el enfriamiento por viento lo cual altera la lectura.

Otro instrumento para medir la radiación solar es el piroheliómetro. El piroheliómetro es un instrumento que se enfoca directamente al sol para medir exclusivamente la radiación que proviene de él y de sus alrededores cercanos. Es decir, es un instrumento que mide radiación directa. A diferencia del piranómetro, que suele instalarse fijo, el piroheliómetro debe contar con un sistema de movimiento de relojería para seguir el sol con gran precisión

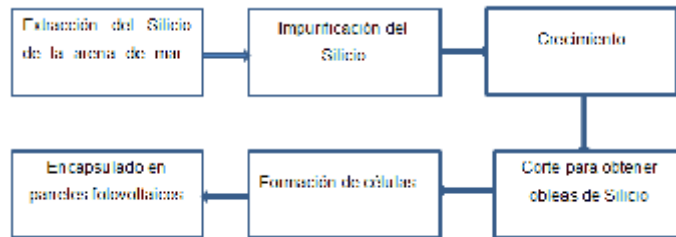
Para medir la radiación difusa, o radiación del cielo, se adapta al piranómetro una pantalla destinada a ocultar la radiación solar directa de forma que no se esconda una parte importante del cielo. Se puede utilizar un disco móvil dotado de un movimiento ecuatorial, en el que la sombra se proyecta permanentemente sobre la superficie sensible del piranómetro, o también se puede adaptar una banda parasol que se desplaza manualmente a lo largo del año.

La información generada por un piranómetro debe ser registrada, ya sea por un método gráfico o electrónico. Esto permite integrar las irradiancias en periodos dados para obtener la irradiación correspondiente. Los datos son proporcionados de un programa de computadora desarrollado en el grupo solar que permite recuperar la lectura del piranómetro, además de permitir el cálculo de la irradiancia en atmósfera clara y extraterrestre.

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

### **2.3.1 Paneles fotovoltaicos**

La construcción de paneles fotovoltaicos está basado en un material semiconductor llamado Silicio, el Silicio es abundante en la naturaleza, generalmente es extraído de la arena de mar, el proceso para la construcción de paneles fotovoltaicos se lleva a cabo en varias etapas como se muestra en el diagrama a bloques de la figura 2.3.1a



**Figura 2.3.1a** Etapas de construcción de paneles

Debido que la tecnología en la construcción de semiconductores con base en el Silicio está consolidada se ha investigado que es posible construir paneles fotovoltaicos con diferentes estructuras del Silicio, como las que se señalan enseguida:

#### ✓ Paneles monocristalinos

Se fabrican a partir de capas finas de un solo cristal de silicio, alcanzan una eficiencia de conversión actual de entre un 15% y un 19%.

#### ✓ Paneles policristalinos

Se fabrican a partir de un solo bloque de cristales, que incluyen otros materiales además de Silicio su eficiencia está entre 12% y 14%

#### ✓ Paneles de Silicio Amorfo

Se forman mediante el depósito de diferentes tipos de silicio tratado sobre un sustrato de vidrio, su eficiencia disminuye con el aumento de temperatura, la eficiencia de conversión está entre un 6% y un 9%

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

- ✓ Paneles Película Delgada

Se construyen depositando capas muy delgadas de Silicio amorfo sobre otros materiales Cadmio Telurio, Cobre Indio/Galio y otros lo que resulta menos costoso pero tiene el inconveniente de obtener bajas eficiencias.

### **2.3.2 Clasificación de instalaciones Fotovoltaicas**

- ✓ Instalaciones aisladas de la red
- ✓ Instalación con conexión a la red
- ✓ Instalación aislada hibrida
- ✓ Instalación aislada de corriente alterna

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó una instalación aislada de la red convencional de CFE como se muestra en la figura 2.3.2

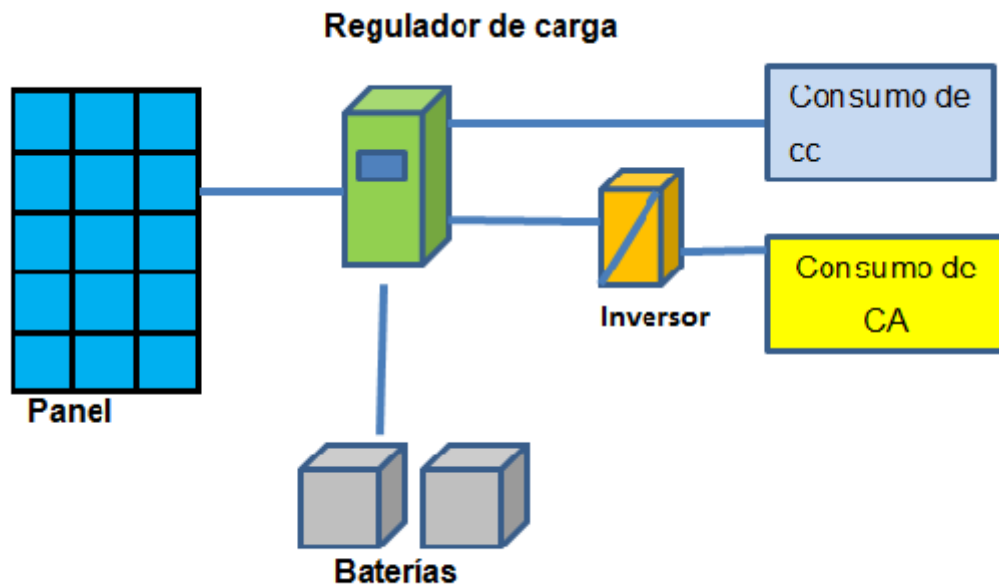


Figura 2.3.2 Instalación fotovoltaica aislada de la red

### **2.3.3 Controlador de Carga**

Si el panel fotovoltaico se conecta directamente a las baterías y estas a su vez alimentan a las cargas podría dar lugar a ciclos de sobrecarga y descarga diferentes a los requeridos, traerá como consecuencia un deterioro prematuro tanto de las baterías como del panel. Por esta razón en estos sistemas el

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

controlador de carga está conectado entre el panel fotovoltaico y las baterías con el objeto de mantener los dos ciclos en correspondencia con las características de carga/descarga mediante un algoritmo utilizando un programa de Microcontrolador.

Existe una amplia variedad de controladores de carga, desde los sencillos y económicos a los complejos con múltiples funciones las funciones más importantes se muestran a continuación:

- Estado de la batería. Indicación de la tensión de la batería y su estado, tal como la carga, situación de flotación, entre otras.
- Corriente. Indicador del valor de corriente generada por los paneles, la de consumo, la resultante entre la generación y consumo
- Alarmas. Es referido a las funciones automáticas que pueden incorporar los reguladores de carga con conexiones de salida para dispositivos externos. Las alarmas pueden activarse ante tensión alta o baja de la batería conectada al equipo, ante exceso de temperatura, ante el exceso de energía de entrada procedente del generador, entre otros. En la figura 2.3.3 se presenta un diagrama a bloques de la función del controlador de carga.

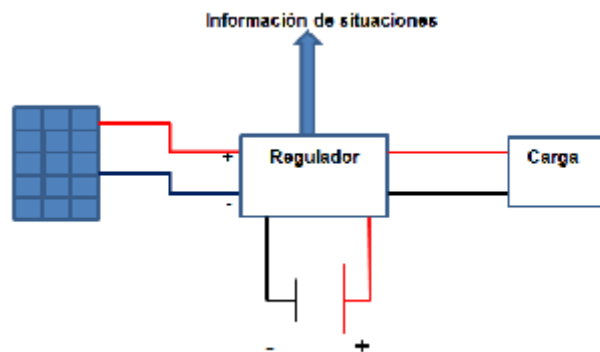


Figura 2.3.3 Regulador o controlador de carga

### **2.3.4 Baterías**

La generación de energía eléctrica de origen solar para satisfacer la demanda del usuario requiere un medio de acumulación llamada batería electroquímica estructurada con vasos electroquímicos dispuestos en células de carga de electricidad conectadas en serie para formar baterías. Este tipo de baterías deben



## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

reunir especificaciones muy concretas de capacidad, ciclos de carga/ descarga, entre otras.

Para el uso de estas baterías debe tenerse especial cuidado para evitar el deterioro prematuro, si el estado de carga de la batería está próxima al 100% y se mantiene la corriente de carga se produce gasificación por exceso de oxígeno, los separadores de las células se oxidan. Para la implementación de este proyecto se usaron baterías plomo ácido aunque existen otras baterías tecnologías en la construcción de baterías fotovoltaicas como las que se muestran en la figura 2.3.4



**Figura 2.3.4 Baterías para uso fotovoltaico**

Algunos parámetros importantes de las baterías son:

- ✓ Tensión
- ✓ Capacidad (Ah)
- ✓ Capacidad útil
- ✓ Estado de carga
- ✓ Profundidad de descarga (PD)
- ✓ Régimen de carga y descarga
- ✓ Ciclos de vida
- ✓ Autodescarga

### **2.3.5 Inversor de Carga**

La corriente continua puede ser utilizada para alimentar circuitos de alumbrado y diferentes equipos eléctricos en su mayoría de Corriente Alterna debido a esto en las instalaciones fotovoltaicas se incorpora el denominado Inversor el cual está configurado como un convertidor de corriente continua a alterna(DC/AC) con salida a 127V de CA o 240V de CA según su aplicación.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

El inversor está compuesto por tres bloques:

- ✓ Oscilador. Circuito que genera la frecuencia de la corriente alterna de salida la frecuencia de operación es de 60 Hz. Este circuito puede estar configurado con un circuito oscilador resonante utilizando un capacitor cerámico o similar de alta frecuencia.
- ✓ Convertidor DC/AC Este circuito recibe el voltaje de cc procedente de la batería conjuntamente con la frecuencia del oscilador resonante genera la señal de salida de corriente alterna.
- ✓ Protección. Circuito encargado de vigilar el consumo de corriente alterna para bloquear el convertidor ante un exceso a manera de protección.

## CAPITULO 3 MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 3 Metodología Experimental

En la capítulo 1 se presentaran los objetivos que en la investigación se desean alcanzar y las preguntas que originaron este trabajo. En este capítulo se presentan la experimentación realizada para alcanzar los objetivos planteados inicialmente. En la figura 1 se presenta la metodológica desarrollada para alcanzar estos objetivos. Inicialmente fue necesario determinar cantidad de radiación solar con que cuenta el sitio y compararla con los reportados en la literatura. En esta determinación se realizó un estudio estadístico de los datos de radiación y temperatura reportados durante los años 2007 a 2013. Una vez determinada la “oferta” de radiación solar se determinó la demanda de la potencia eléctrica de la celda de electrólisis y el bombeo hidráulico. Con base en las mediciones anteriores se pudo dimensionar el sistema fotovoltaico. Una vez calculada este sistema se diseñaron dos circuitos de control automatizado, que permite integrar los módulos fotovoltaicos, las baterías plomo ácido, la bomba de corriente directa y la celda de electrólisis.

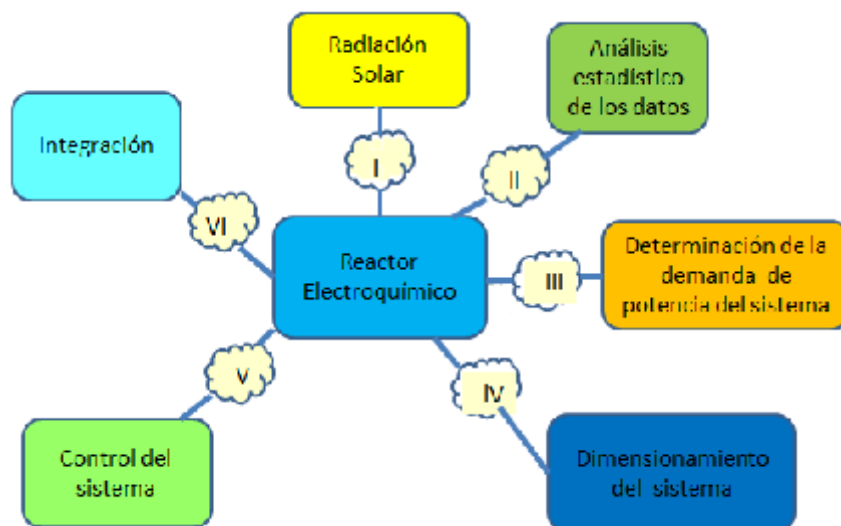


Figura 3.1 Metodología desarrollada en la experimentación. Los números indican las 6 etapas realizadas para integrar el equipo

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

### **3.1 Radiación Solar**

En la Universidad Tecnológica de San Juan del Río se tiene una estación meteorológica a cargo del Dr. Ángel Marroquín de Jesús, la estación cuenta con un conjunto de sensores versátil que combina sensores y anemómetro, colector de lluvia, temperatura y humedad en un solo paquete de computación. Se puede personalizar su Vantage Pro2 añadiendo las consolas o las opciones de propósito especial, disponible en dos versiones inalámbricas y cableadas. Todos los equipos de la estación meteorológica son marca **Davis** (Estados Unidos).

En primera instancia es necesario conocer la radiación incidente del lugar donde estará el equipo en operación, que en este caso en San Juan del Rio Qro; puesto que este dato es indispensable para conocer el número de módulos fotovoltaicos necesarios para cubrir la demanda eléctrica. Las coordenadas de la Ciudad de San Juan del Río son las siguientes:

Latitud: 20° 23' 19,83" Norte ; Longitud: 99° 59' 46,71" Oeste

En la estación meteorológica de USTJR se usó un Solarímetro Medidor digital de Radiación de energía solar modelo 6152 y 6153 Marca Davis. Las mediciones se realizan durante todo el día y los datos son registrados en una computadora. Se midió la temperatura ambiente utilizando un diodo de silicio de unión PN.

Los datos obtenidos cubren los meses de mayo a diciembre de 2007, de enero a diciembre de 2008, de enero a mayo de 2009, octubre a diciembre del 2011, de enero a diciembre del 2012 y de enero a diciembre del 2013.

Se comparan los datos obtenidos con los que emite la estación meteorología de campus UNAM Juriquilla y agencia NASA del gobierno de Estados Unidos, en las siguientes páginas web

<http://www.unam/campusjuriquilla.com>

[https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/global/text/%2520global\\_radiation](https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/global/text/%2520global_radiation)

#### **3.1.1 Análisis estadístico de los datos de radiación solar**

Para elaborar las gráficas de radiación se toman los datos de la estación meteorológica proporcionados en block de notas de Windows©. Los datos de la estación meteorológica están en forma de texto (data.txt) se trataron en una hoja

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

del programa Excel de Windows©. Este permitió tener una columna con datos de radiación solar, cuando en el texto (data.txt) original se tenían 20 columnas con datos complementarios como dirección del viento, índice de radiación ultravioleta, entre otros, Posteriormente en el paquete OriginPro8© se promedió la irradiancia por día, con lo que pudo calcular por mes. Cabe mencionar que los datos originales monitorean cada 10 minutos las variables, por lo que se promedió por hora inicialmente, consecutivamente por días se promedió el mes. De esta manera se puede conocer la irradiancia promedio por mes y se puede comparar entre años. En el apéndice C se muestra detalladamente como se analizaron los datos desde los archivos de computadora originales. Esta tarea fue necesaria para alcanzar una alta precisión, aunque consumió mucho tiempo.

### **3.1.2 Procedimiento de la determinación de la oferta de radiación solar**

El valor de la irradiación varía al variar la masa de aire, la que cambia constantemente desde el amanecer al anochecer. Para simplificar el cálculo de la energía eléctrica generada diariamente por un panel fotovoltaico, se acostumbra a definir el día solar promedio. Este valor es el número de horas entre el amanecer y el anochecer, durante el cual el sol irradia con una potencia luminosa de 1 SOL. El promedio de insolación diaria encontrado en la fase experimental anterior fue de 5.1416 KWh/m<sup>2</sup>. Si este valor es dividido por un SOL; 1Kw/m<sup>2</sup>, se obtiene el valor (en horas) del día solar promedio para nuestra locación.

$$\text{En este cálculo: DIA SOLAR} = \frac{5.1416 \text{ KWh/m}^2}{1 \text{ KW/m}^2} = 5.1416 \text{ Horas}$$

Por lo tanto se tienen 5.1416 horas promedio de máxima radiación, con este dato se dimensionaran los componentes del sistema fotovoltaico.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

### **3.2 Determinación de la demanda de potencia eléctrica del sistema**

Para determinar la demanda de cada uno de los componentes del sistema se procedió medir los valores de voltaje, de corriente de cada componente; celda de electrólisis, la bomba hidráulica, las baterías plomo-ácido, controlador de carga e inversor dc-ca.

#### **3.2.1 Determinación de la demanda eléctrica del reactor de electrólisis**

Se armó el reactor electrólisis con dos electrodos, cuya resistencia eléctrica medida de cada uno es  $0.9872 \Omega$ . Se alimentó con una salmuera de concentración de 16 g/l a un caudal de 2 L/min. El reactor opero aplicando un voltaje de 8 Volts y se midió la corriente generada en el reactor durante 8 horas. El promedio de la corriente observada en el reactor fue de 2.1A. Se utilizó un banco de dos baterías en paralelo como fuente de poder eléctrica al reactor. Para suministrar el voltaje al reactor (8 V) a partir 12 V de las baterías se usó un circuito comercial PWM (Modulador de Ancho de Pulso) cuya función es parte del Microcontrolador 16F877A de Microchip. Cabe mencionar que en este trabajo se programó el circuito comercial mediante un programa C microWin©. En estas mediciones de utilizó un multímetro marca Fluke modelo 114. Y Amperímetro de gancho Fluke 36

Tabla 3.2.1 Energía requerida por los dos reactores

| <b>Pares de electrodos por reactor</b> | <b>Corriente en Ampers</b> | <b>Voltaje en Volts (V)</b> | <b>Horas de trabajo</b> | <b>Energía demandante por hora</b> | <b>Total diarias</b> |
|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 2                                      | 2.1A                       | 8V                          | 8 Horas                 | 33.6WH                             | 268.8WH              |

#### **3.2.2 Determinación de la demanda eléctrica del sistema de bombeo hidráulico**

En la sección anterior se especificó que el caudal de alimentación de la salmuera fue de 2 litros/minuto. Este caudal su suministrado por una bomba de succión

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

marca SHURflo 2088-313-145 12V a 7 Ampers de corriente. La velocidad de la bomba para suministrar el caudal necesario se controló utilizando un Programa de PLC S7-200 en su modalidad de contador utilizando el compilador v4.0 STEEP 7 Micro Win SP8 (Siemens). En la tabla 3.2.2 se muestra cálculo de demanda diaria.

**Tabla 3.2.2 demanda de energía diaria de la bomba**

| <b>Bomba</b> | <b>Corriente en Ampers (A)</b> | <b>Voltaje en Volts (V)</b> | <b>Horas de trabajo</b> | <b>Energía demandante por hora</b>     | <b>Total diaria</b> |
|--------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------------------|---------------------|
| 1            | 2 A                            | 3 V                         | 8 Horas                 | 48W+ 2.22W<br>Por pérdidas de la bomba | 50.22<br>WH         |

Los 2.22W por perdidas por efecto Joule se estimaron a partir del gráfico de temperatura contra tiempo de operación en la sección en el capítulo 4 sección 4.4 se muestra la gráfica.

### **3.2.3 Determinación de la demanda eléctrica del PLC**

Se desarrollaron dos circuitos de control y en esta sección se describe el circuito controlado por un PLC marca siemens modelo S7-200 de corriente alterna, el cual controla las potencias eléctricas de la bomba y de la celda de electrólisis. A su vez para realizar esta operación el PLC consume potencia eléctrica, este consumo fue determinado mediante la medición de la corriente durante 8 horas de operación. Cabe mencionar que fue necesario usar un inversor de marca Truper modelo INCO-100 de 100W de potencia eléctrica valor nominal. La decisión de evaluar el uso de un PLC se debe a la posibilidad de controlar el equipo a distancia. En la tabla 3.2.3 se muestran los cálculos.

**Tabla 3.2.3 Cálculo de la energía diaria requerida por el PLC**

| PLC | Corriente en | Voltaje en | Horas de | Energía | Total |
|-----|--------------|------------|----------|---------|-------|
|-----|--------------|------------|----------|---------|-------|

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

|   | Ampers (A) | Volts (V) | trabajo | demandante por hora | diarias |
|---|------------|-----------|---------|---------------------|---------|
| 1 | 0.3 A      | 127 V CA  | 8 Horas | 38.1WH              | 304.8WH |

### 3.2.4 Determinación de la demanda de la potencia eléctrica del inversor

Si las cargas que debemos alimentar son a 127AC o 230VAC, necesitaremos un equipo que transforme la corriente continua procedente del regulador en corriente alterna para alimentar las cargas. Esta es la función del inversor. A la hora de dimensionar el inversor, se tendrá en cuenta la potencia que demanda la suma de todas las cargas de corriente alterna en un instante, de este modo se elegirá un inversor cuya potencia sea un 20% superior a la demandada por las cargas, suponiendo que demanda energía para su funcionamiento al mismo tiempo. En la tabla 3.2.4 se muestran los cálculos.

**Tabla 3.2.4 Cálculo del inversor**

| CALCULO DEL INVERSOR         |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|
| POTENCIA DE TRABAJO DEL PLC  | $1 * 38.1W + 0.2 * 38.1 = 45.72 W$    |
| POTENCIA DE TRABAJO INVERSOR | $1 * 10W = 10W * 1.2 = 12W$           |
| TOTAL                        | 57.72W                                |
| REDONDEO DEL INVERSOR        | 100W equipo comercialmente disponible |

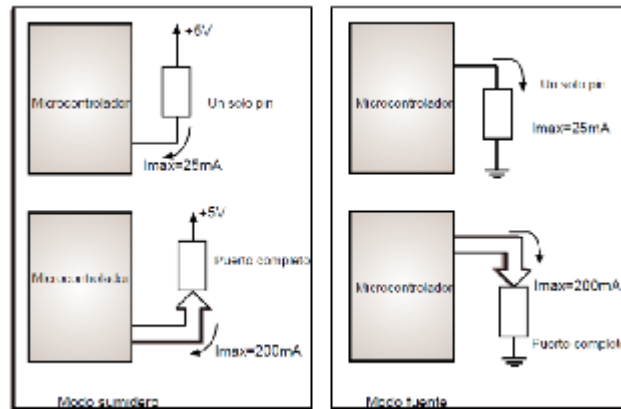
### 3.2.5 Determinación de la demanda del Microcontrolador

El segundo circuito de control desarrollado en este trabajo utilizó un Microcontrolador 16F877A en modalidad PWM utilizando el programa PIC C Compiler de Microchip. El consumo de corriente del Microcontrolador para su funcionamiento depende del voltaje de operación, la frecuencia y de las cargas conectadas en sus pines. Para este caso solo se están usando los pines de un puerto, por lo tanto la demanda total es de 200mA a 5V de CC. Dado estos valores de voltaje y corriente eléctrica se calculó la demanda del Microcontrolador



**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

considerando un tiempo de operación de 8 horas. En la tabla 3.2.5 se muestra el cálculo.



**Figura 3.2.5 demanda de corriente del Microcontrolador**

**Tabla 3.2.5 Cálculo de la demanda de energía diaria requerida por el Microcontrolador**

| Microcontrolador | Corriente en Ampers (A) | Voltaje en Volts(V) | Horas de trabajo | Energía demandante por hora | Total diarias |
|------------------|-------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------|---------------|
| 16F877A          | 0.2 A                   | 5 Volts             | 8 Horas          | 8 WH                        | 8WH           |

### 3.3 Balance entre la oferta y la demanda de potencia

#### 3.3.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico mediante un PLC.

En la sección 3.2 se determinó la demanda de energía diaria que debe suministrar el sistema fotovoltaico considerando celda de electrólisis, bomba hidráulica y sistemas de control. Debido a que la mayor demanda de energía diaria requerida se calculó con el uso de un PLC se presenta en la tabla 3.3.1 de máxima energía

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

requerida. Ahora bien el equipo no se puede operar sin controlador de carga, por lo tanto, se escogió un controlador de carga marca EPSOLAR modelo LS1024R, el cual evita cargas o descargas excesivas. De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor, cerrado y conectado en serie entre paneles y batería para el proceso de carga y abierto cuando la batería está totalmente cargada. Las intensidades máximas de entrada y salida del controlador de carga dependen de la corriente máxima que pueda producir el sistema de generación fotovoltaica para la entrada y la corriente máxima de las cargas para salida. Para tener en cuenta los posibles picos de irradiancia o los cambios de temperatura es recomendable que al momento de elegir el regulador se aquel con un 15-25% superior a la corriente de cortocircuito que le puede llegar del sistema de generación fotovoltaico corriente de entrada o bien, de la que puede consumir la carga del sistema corriente de salida. La elección del regulador será aquel que soporte la mayor de las dos corrientes calculadas.

El controlador de carga tenía valores nominales de corriente de 20 A y 12 V y se espera operador diario (8 horas). Por lo tanto su demanda total diaria será de 9.6 Wh. Por lo tanto, la demanda total del sistema 691.14 Wh.

En la Tabla 3.3.1 Se presentan energía diaria requerida de los dispositivos considerando 8 horas de operación (diaria) y mediante control electrónico con PLC.

**Tabla 3.3.1 Cálculo de cada componente del sistema usando un PLC**

| Equipo                 | Tabla de datos específicos | Potencia WH |
|------------------------|----------------------------|-------------|
| Reactor electroquímico | 3.2.1                      | 268.8       |
| Bomba hidráulica       | 3.2.2                      | 50.22       |
| PLC                    | 3.2.3                      | 304.80      |
| Inversor cd a ca       | 3.2.4                      | 57.72       |
| Controlador de carga   | Dato predeterminado        | 9.6         |
|                        | Total                      | 691.14      |

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

En la tabla 3.3.2 se presenta el cálculo de corriente diaria requerida, donde se usaron las fórmulas que relacionan potencia eléctrica, voltaje y corriente que en la mayoría de los casos son datos proporcionados por el fabricante, también se consideró un factor de seguridad de 1.2 y se obtuvo que la corriente diaria 8.63A

**Tabla 3.3.2 Cálculo de la corriente diaria requerida**

| CALCULO DE CORRIENTE DIARIA REQUERIDA VERSIÓN PLC                                             |                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| ENERGÍA TOTAL DIARIA REQUERIDA (CD <sub>1</sub> )                                             | 691.14WH                                                  |
| TENSION DE CC DEL SISTEMA, (CD <sub>2</sub> )                                                 | 12 V                                                      |
| CARGA DIARIA AH( CD <sub>3</sub> )                                                            | CD <sub>1</sub> /CD <sub>2</sub> = 691.14WH /12V=57.59 AH |
| FACTOR DE SEGURIDAD POR PERDIDA AL 20%(1.2), CARGA TOTAL DIARIA REQUERIDA, (CD <sub>4</sub> ) | (CD <sub>3</sub> )(1.2)= 57.59 AH*1.2= 69.10 AH           |
| PROMEDIO DE HORAS DE USO AL DÍA CD <sub>5</sub>                                               | 8 HORAS                                                   |
| CAPACIDAD DEL SISTEMA EN AMPERS,(CD <sub>6</sub> )                                            | CD <sub>4</sub> /CD <sub>5</sub> =69.10 AH/8H= 8.63 A     |

En la tabla 3.3.3 se presenta el cálculo de número de paneles <http://stores.erdmsolar.com/panel-solar/> El proveedor modulo fotovoltaico Panel SOLAR ERDM TOPLINE 145W(POL)145TP6 informa que el panel tiene las siguientes características eléctricas:

- ✓ Voltaje de circuito abierto 22.4 V (Voc),
- ✓ Voltaje de operación optimo 17.86 V (Vmp),
- ✓ Corriente de Cortocircuito 8.67 A (Isc),
- ✓ Corriente de operación optima 8.15 A (Imp),
- ✓ Potencia máxima STC 145 W(Pmax),
- ✓ Temperatura de operación -40 a 90 (°C),
- ✓ Máximo voltaje del sistema 1000V,
- ✓ Máximo valor del fusible 15 A,
- ✓ Tolerancia de potencia ± 3 %,
- ✓ Eficiencia 14.60

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

**Tabla 3.3.3 Cálculo del número de paneles**

|                                                                                     |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>CALCULO DE NÚMERO DE PANELES VERSIÓN PLC</b>                                     |                                  |
| 145 W, 100W                                                                         |                                  |
| AMPERAJE MÁXIMO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO (S <sub>1</sub> ) SEGÚN PROVEDOR            | 8.15 AMPERS                      |
| DIVIDIR AMPERAJE DEL SISTEMA ENTRE S <sub>1</sub> , CD <sub>6</sub> /S <sub>1</sub> | 8.63A/8.15A=1.05                 |
| SE REDONDEA A 2 PANELES DE 145 W S <sub>3</sub> o 1 PANEL DE 200W                   | =2 PANELES 145W o 1PANEL DE 200W |

Las baterías fotovoltaicas marca Cale no deben ser descargadas a un valor inferior al 80% por esta razón hay que tomar algunos factores de seguridad y 3 días de reserva sin Sol. En la tabla 3.3.4 se realizan los cálculos referentes al número de baterías.

**Tabla 3.3.4 Cálculo del número de Baterías**

|                                                                        |                                                         |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>CALCULO DEL NÚMERO DE BATERIAS</b>                                  |                                                         |
| CORRIENTE DIARIA REQUERIDA AH ( CD <sub>4</sub> )                      | 69.10 AH                                                |
| DIAS DE RESERVA SIN SOL (C <sub>2</sub> )                              | 3                                                       |
| CAPACIDAD NOMINAL DEL BANCO DE BATERIAS(C <sub>3</sub> )               | CD <sub>4</sub> *C <sub>2</sub> =(69.10AH)(3)= 207.3 AH |
| FACTOR DE PROFUNDIDAD DE DESCARGA (C <sub>4</sub> ) AL 80%             | 0.8                                                     |
| CAPACIDAD CORREGIDA DEL BANCO DE BATERIAS (C <sub>5</sub> )            | C <sub>3</sub> /C <sub>4</sub> =207.3/0.8=259.12 AH     |
| CAPACIDAD NOMINAL DE LAS BATERIAS DATO DEL FABRICANTE(C <sub>6</sub> ) | 115 AH                                                  |

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

|                                        |                                        |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| NÚMERO DE BATERIAS (C <sub>7</sub> )   | $C_5/C_6=259.12 / 115 = 2.25$ BATERIAS |
| REDONDEO DE BATERIAS (C <sub>8</sub> ) | 3 BATERÍAS DISPONIBLES COMERCIALMENTE  |

### 3.3.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico usando un Microcontrolador

En la sección 3.2.5 se hizo el cálculo de la demanda energética del Microcontrolador, el cual consume menos energía que el control con PLC. En la tabla 3.3.4 se muestra el cálculo de la demanda energética del equipo si es controlado por el Microcontrolador 16F877A de Microchip. Se observa que la demanda de energía se reduce al 54.41 % con respecto a la demanda de energía del Sistema controlado con PLC.

**Tabla 3.3.2 Cálculo de la demanda de energía diaria requerida usando Microcontrolador**

| POTENCIA DEMANDANTE DIARIA DEL SISTEMA ELECTROQUIMICO UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA.(VERSIÓN MICROCONTROLADOR) |          |           |         |              |            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|---------|--------------|------------|-----------|
| EQUIPO                                                                                                           | CANTIDAD | CORRIENTE | VOLTAJE | HORAS DE USO | POTENCIA   | TOTAL     |
| REACTORES                                                                                                        | 2        | 2.1 A     | 8V      | 8 H          | 33.6W      | 268.8 WH  |
| BOMBA                                                                                                            | 1        | 2 A       | 3 V     | 8 H          | 48W+2.22 W | 50.22 WH  |
| CONTROLADOR DE CARGA                                                                                             | 1        | 0.1 A     | 12 V    | 8 H          | 1.2 W      | 9.6WH     |
| MICRO 16F16877A                                                                                                  | 1        | 0.2 A     | 5V      | 8H           | 1W         | 8WH       |
| TARJETA ELECTRÓNICA                                                                                              | 1        | 0.5       | 8V      | 8H           |            | 32W       |
|                                                                                                                  |          |           |         |              | TOTAL      | 368.62 WH |

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

En la tabla 3.3.3 se realiza el procedimiento para calcular la corriente diaria requerida durante un periodo de 8 horas donde este dato se obtiene a partir el dato de energía diaria requerida 368.62WH Tomado de la tabla 3.3.2

**Tabla 3.3.3 Cálculo de la corriente requerida**

| CALCULO DE CORRIENTE DIARIA REQUERIDA VERSIÓN (MICROCONTROLADOR)                              |                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| ENERGÍA TOTAL DIARIA (CD <sub>1</sub> )                                                       | 230.32 WH<br>368.62 WH                                     |
| TENSION DE CC DEL SISTEMA, (CD <sub>2</sub> )                                                 | 12 V                                                       |
| CARGA DIARIA AH( CD <sub>3</sub> )                                                            | CD <sub>1</sub> /CD <sub>2</sub> = 368.62 WH/12V= 30.71 AH |
| FACTOR DE SEGURIDAD POR PERDIDA AL 20%(1.2), CARGA TOTAL DIARIA REQUERIDA, (CD <sub>4</sub> ) | (CD <sub>3</sub> )(1.2)= 30.71 AH *1.2 =36.85 AH           |
| PROMEDIO DE HORAS DE USO AL DÍA CD <sub>5</sub>                                               | 8 HORAS                                                    |
| CAPACIDAD DEL SISTEMA EN AMPERS,(CD <sub>6</sub> )                                            | CD <sub>4</sub> /CD <sub>5</sub> =36.85AH/8H= 4.60A        |

El cálculo del número de paneles que se realiza en la tabla 3.3.7 se justifica porque el control con Microcontrolador demanda menos cantidad de energía que el control con PLC se espera utilizar un panel fotovoltaico ERDM-SOLAR “M5” fabricado con 36 celdas mono cristalinas con potencia total de 100 W/p y una corriente de operación optima de 5.36 A. Estos paneles son laminados con celdas de 125 mm y están diseñados para sistemas aislados o de interconexión a la red <http://stores.erdm-solar.com/erdm100m5/>.

**Tabla 3.3.4 Cálculo de paneles**

| CALCULO DE NÚMERO DE PANELES VERSIÓN MICROCONTROLADOR |
|-------------------------------------------------------|
|-------------------------------------------------------|

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

|                                                                                     |                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| AMPERAJE MÁXIMO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO DE 100W (S <sub>1</sub> ) SEGÚN PROVEDOR    | 5.36 A                              |
| DIVIDIR AMPERAJE DEL SISTEMA ENTRE S <sub>1</sub> , CD <sub>6</sub> /S <sub>1</sub> | 4.60/5.36= 0.85                     |
| SE REDONDEA A 1 PANEL DE 100 W S <sub>3</sub>                                       | = 1 PANEL DISPONIBLE COMERCIALMENTE |

Una vez calculado el número de paneles necesarios se procedió a calcular el número de baterías necesarias para una operación sin radiación solar durante 3 días y considerando no descargar las baterías a un valor inferior al 80% de su capacidad de carga. En la Tabla 3.3.5 se muestra el cálculo y los resultados obtenidos

**Tabla 3.3.5 Cálculo del número de baterías**

|                                                                            |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>CALCULO DEL NÚMERO DE BATERIAS PARA CONTROLAR CON MICROCONTROLADOR.</b> |                                                         |
| CORRIENTE DIARIA REQUERIDA AH ( CD <sub>4</sub> )                          | 36.85 AH                                                |
| DIAS DE RESERVA SIN SOL (C <sub>2</sub> )                                  | 3                                                       |
| CAPACIDAD NOMINAL DEL BANCO DE BATERIAS(C <sub>3</sub> )                   | CD <sub>4</sub> *C <sub>2</sub> = 36.85*3= 110.55 AH    |
| FACTOR DE PROFUNDIDAD DE DESCARGA (C <sub>4</sub> ) AL 80%                 | 0.8                                                     |
| CAPACIDAD CORREGIDA DEL BANCO DE BATERIAS (C <sub>5</sub> )                | C <sub>3</sub> /C <sub>4</sub> =110.55 AH/0.8=138.18 AH |
| CAPACIDAD NOMINAL DE LAS BATERIAS DATO DEL FABRICANTE(C <sub>6</sub> )     | 115 AH                                                  |
| NÚMERO DE BATERIAS (C <sub>7</sub> )                                       | C <sub>5</sub> /C <sub>6</sub> =138.18AH/115AH = 1.20   |

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

|                                        |                                        |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| REDONDEO DE BATERIAS (C <sub>8</sub> ) | 2 BATERÍAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES. |
|----------------------------------------|----------------------------------------|

### 3.4 Control del sistema

#### 3.4.1 Control del sistema utilizando PLC

En el diagrama esquemático de control mostrado en la figura 3.4.1a se muestran las señales de entrada y de salida al PLC Siemens

El funcionamiento del PLC S7-200 está determinada por los botones de inicio y Reset, al presionar el botón de inicio se ejecuta el programa activando tres salidas digitales del PLC, estas salidas son dependientes de temporizadores en cascada, es decir se mantienen activas las salidas por el tiempo programado, al presionar el botón de Reset detiene la ejecución del programa y se mantendrá en espera hasta que se presione el botón de inicio nuevamente, este control está monitoreado en cada momento por un contador de eventos.

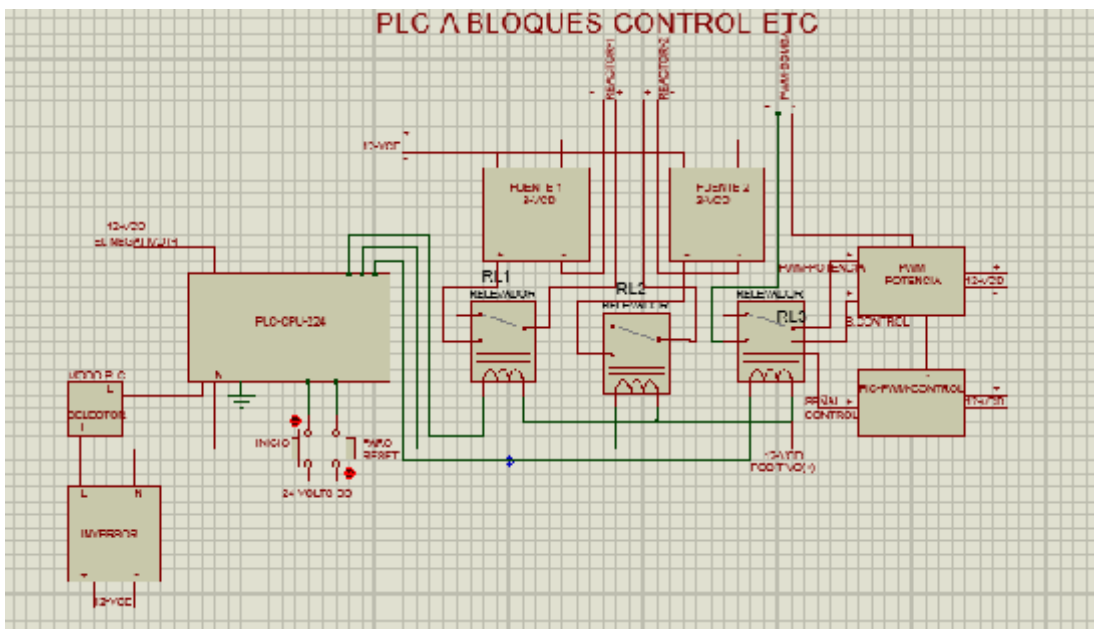


Figura 3.4.1a Diagrama a bloques del control PLC y Micro



**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

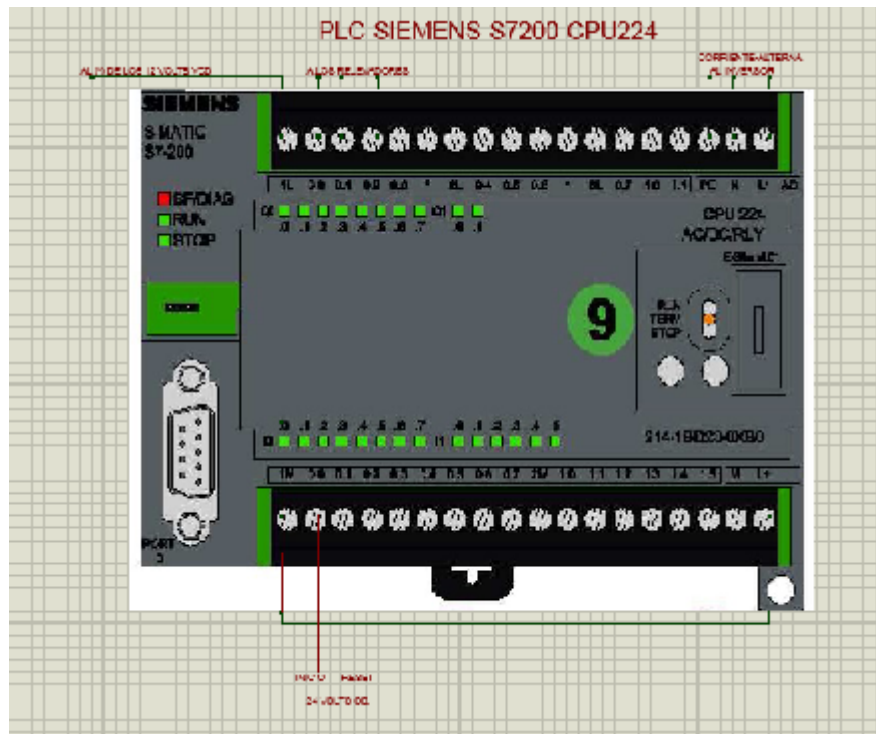
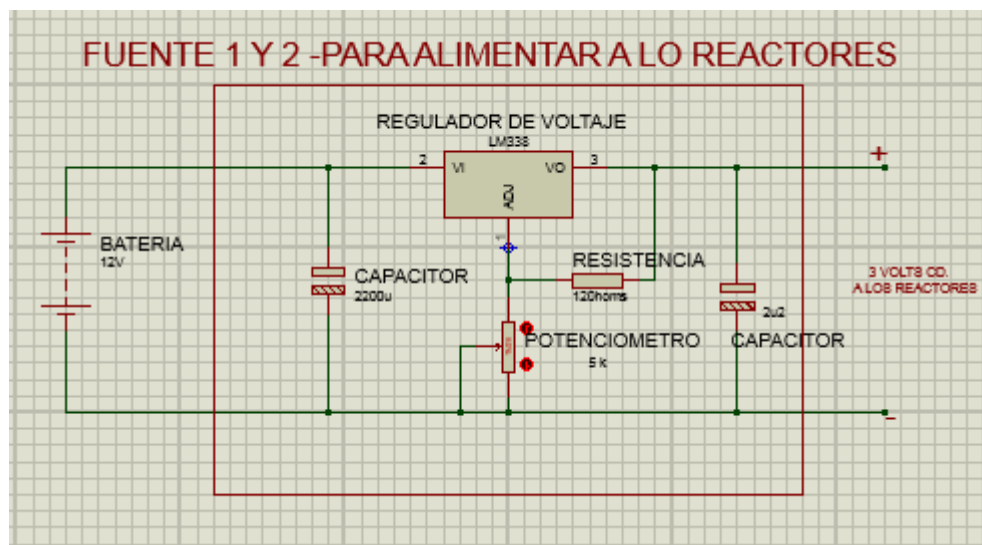


Figura 3.4.1b PLC



3.4.1c fuentes reguladas

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

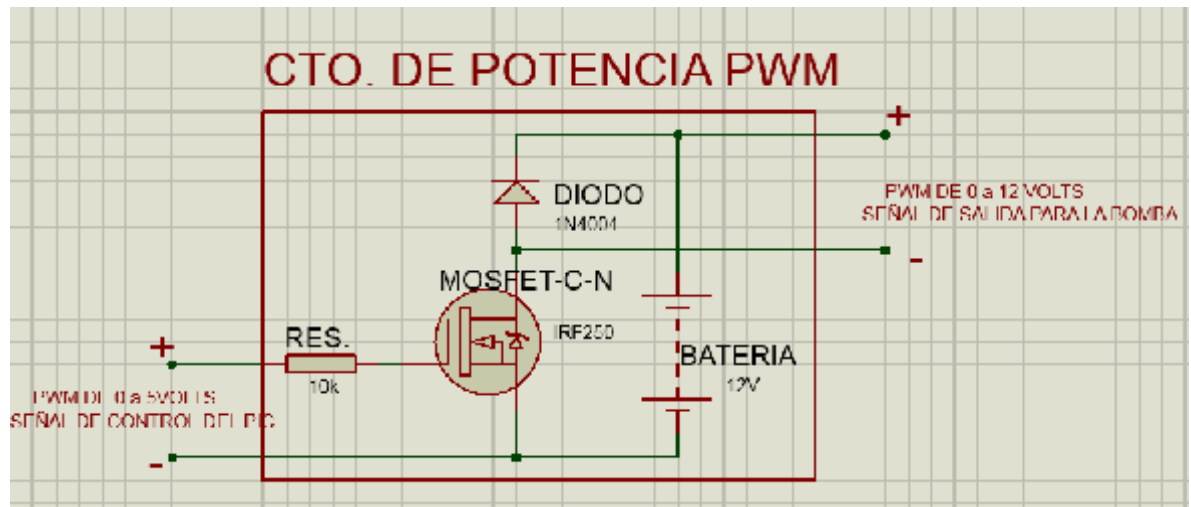


Figura 3.4.1d Fuente para PWM

### 3.4.2 Control del sistema mediante un Microcontrolador

El diagrama de control mediante el Microcontrolador 16F877A es mostrado en la figura 3.4.2 Al momento de seleccionar el modo PIC en el control general se enciende el Microcontrolador generando una salida PWM (Modulador de Ancho de Pulso) a través del pin 17, si se habilita el botón de inicio este es reconocido por el programa y activa tres salidas digitales con un 1 lógico, generando tres ciclos completos con un descanso de diez minutos, si se habilita el botón de Reset se detendrá la ejecución del programa no importa en qué línea de programación esté corriendo, el programa se mantendrá en espera hasta que se pulse nuevamente el botón de inicio. En el apéndice E se muestra el código del programa desarrollado en este trabajo.

## “Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”

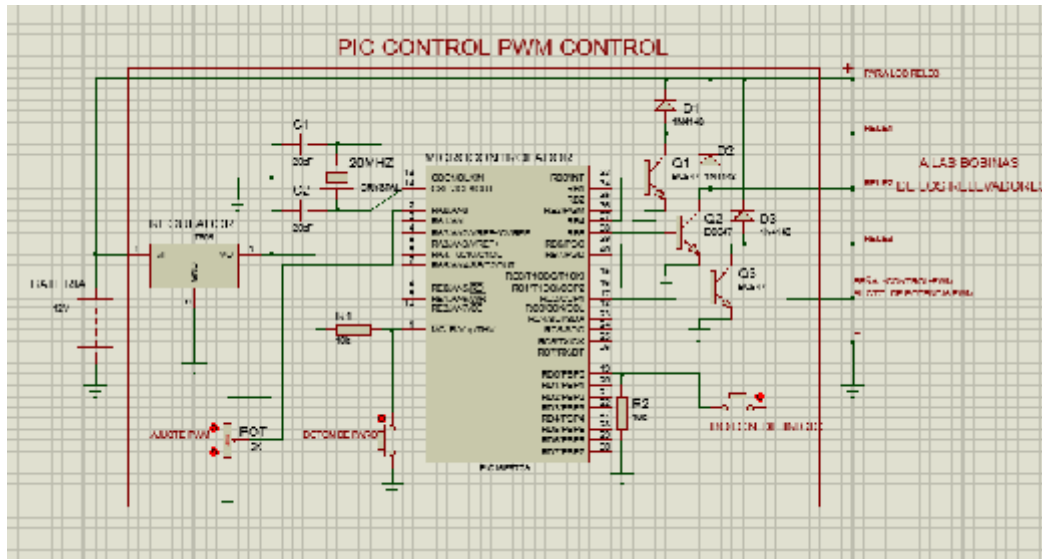


Figura 3.4.2 Diagrama esquemático del Microcontrolador

### 3.5 Integración del sistema

Se tienen dos reactores de placas paralelas con flujo en serie con la tubería de media pulgada pvc cedula 80 para que el fluido circule desde el tanque de almacenamiento al reactor y de regreso al tanque de almacenamiento en operación en lote (batch). En investigaciones anteriores del grupo de trabajo de CIDETEQ se observó que dos reactores de flujo en serie, para producir 1 kg  $Cl_2$ /día, necesitan un flujo de  $2 \pm 0.2$  L/min LPM. Por lo tanto, se determinó utilizar una demanda máxima de caudal de 2 L/min. Para lograr este caudal fue necesario modificar la velocidad de la bomba, situación factible debido a que su motor utiliza de corriente continua es decir, se puede variar la velocidad de rotación modificando el valor del voltaje aplicado a sus terminales de alimentación. En la Figura 3.5a se muestran los reactores y el tanque de almacenamiento. En esta figura se observa también un bastidor que se construyó con ángulo estructural para operar los reactores a la altura de las manos de una persona (1.20 m de altura), que aunque aumenta ligeramente la demanda eléctrica de la bomba es necesaria para que operador pueda tener un buen manejo del proceso y detectar fácilmente algunas fallas. Los electrodos se colocan en marcos que mantienen fijos a los electrodos, los cuales van sellados después por placas Nylamid de apriete, reactores con flujo en serie para operar la electrólisis, tanque de

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

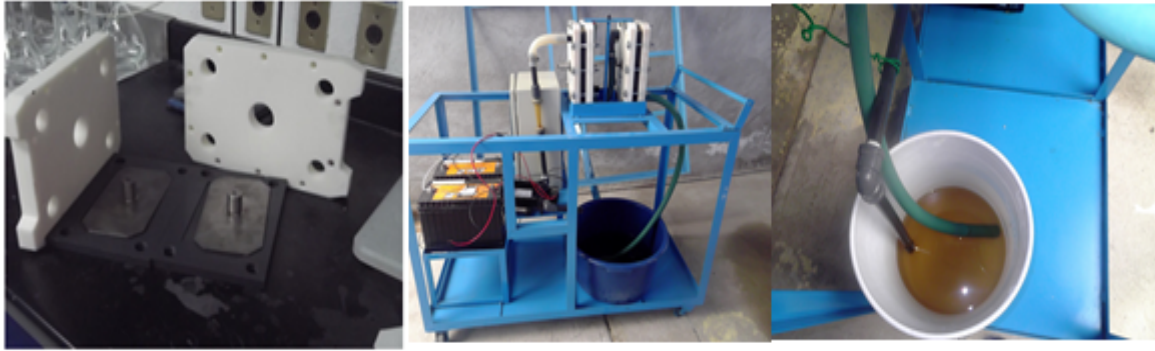
almacenamiento del fluido, bastidor (**Rack**) con ángulo de acero de “1 x 1 1/2 x 1/8” con dimensiones 0.60m (ancho) x 1.20m (alto) x 0.72m (largo) con espacio para instalar 2 bombas, 3 baterías, 3 depósitos para salmuera y un gabinete de control.

En el diagrama a bloques de la figura 3.5b se muestran los componentes utilizados en la implementación de este proyecto además de algunas gráficas del comportamiento de la bomba y los reactores.

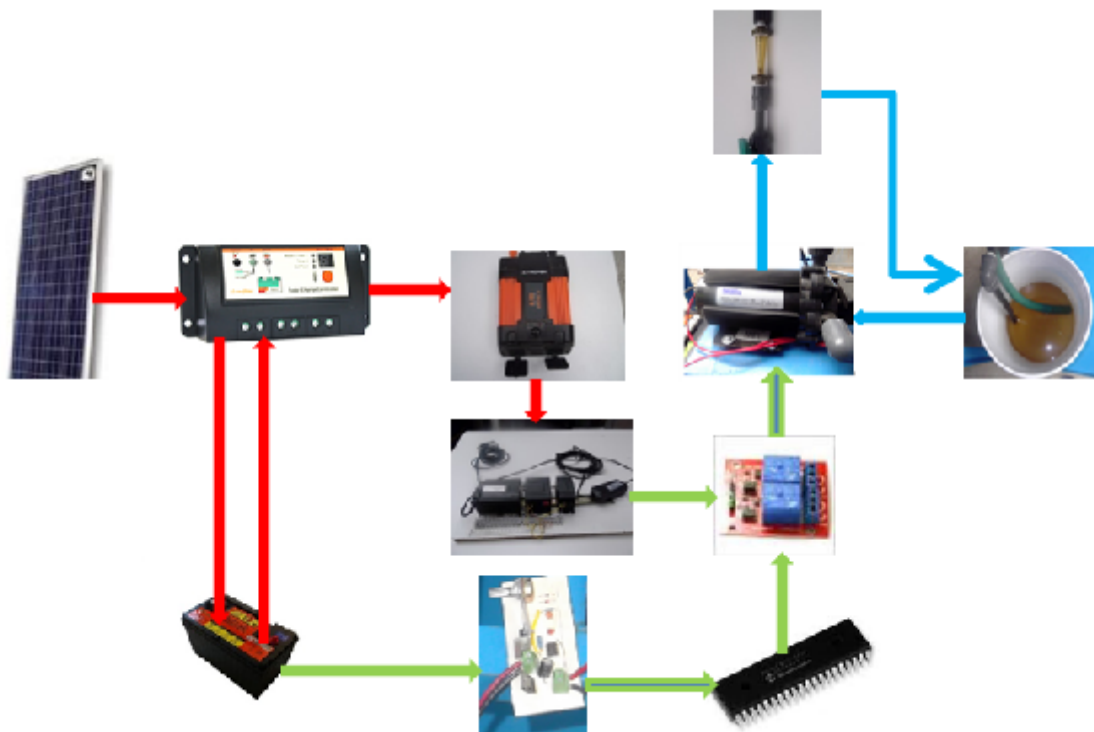
- ✓ PANEL SOLAR ERDM TOPLINE 145W(POL)145TP6
- ✓ Bomba Marca SHURflo Modelo 2088-313-145
- ✓ controlador de carga marca EPSOLAR modelo LS1024R
- ✓ Baterías marca CALE 115AH libres de mantenimiento
- ✓ PLC S7-200 SIEMENS
- ✓ Microcontrolador 16F877A
- ✓ Inversor marca Truper modelo INCO-100 de 100W
- ✓ Rotámetro Blue/White, serie 452, 10.3 Bar, graduado de 0 a 12 LPM

La variación de la temperatura de la bomba en operación se realizó mediante un termómetro óptico marca EXTECH IR THERMOMETER Modelo EX 570

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Figura 3.5a integración y funcionamiento de los equipos**



**Figura 3.5b esquema de integración y funcionamiento del equipo**

## **CAPITULO 4 RESULTADOS y CONCLUSIONES**

### **4.1 Resultados**

#### **4.1.1 Evaluación de la cantidad de radiación disponible**

La cantidad de radiación disponible diaria disponible en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río es de **DIA SOLAR=**

$\frac{5.1416 \text{ KWh/m}^2}{1 \text{ KW/m}^2} = 5.1416 \text{ Horas}$ . Este valor se obtuvo después de una evaluación

exhaustiva de los datos proporcionados por la estación meteorológica Wireless Vantage Pro2™ & Plus Stations, Marca Davis En la Tabla 4.1.1 Se muestran los promedios mensuales y anuales de radiación. Se observa la máxima radiación en el periodo de verano y la mínima radiación en el periodo de invierno como es común, sin embargo existe todo el año disposición de radiación solar a temperaturas donde los módulos fotovoltaicos pueden operar con eficiencia. En comparación de los países Europeos en Berlín Alemania se tiene una máxima radiación promedio de 4.8 Kwh/m<sup>2</sup>/Día y una mínima de 0.61 Kwh/m<sup>2</sup>/Día con una media de 2.78 Kwh/m<sup>2</sup>/Día este valor representa la mitad de la radiación que se tiene en San Juan del Río. En Londres se tiene de 2.81 Kwh/m<sup>2</sup>/Día de radiación promedio anual [.https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/](https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/), Dublín Irlanda 2.42 Kwh/m<sup>2</sup>/Día, España por su parte tiene una radiación media promedio anual de 4.40 Kwh/m<sup>2</sup>/Día es el país más soleado de Europa.

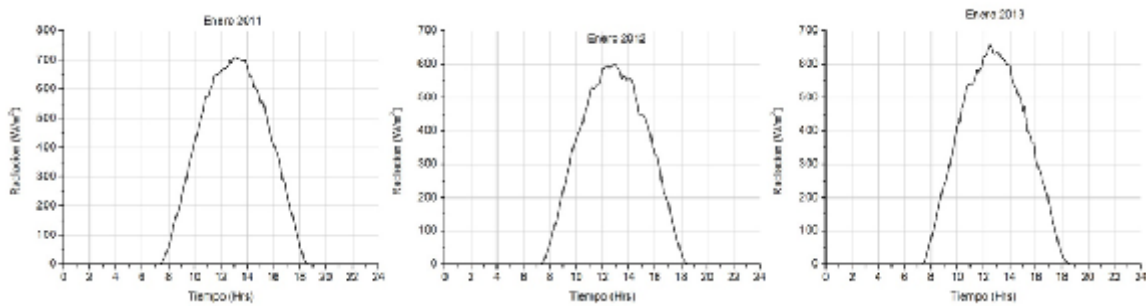
Esta evaluación de la radiación solar no está reportada por instituciones mexicanas y solamente la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio) de Estados Unidos reporta una radiación de 4.90 Kwh/m<sup>2</sup>/Día promedio anual muy cercana a la observada en este trabajo.

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

**Tablas 4.1.1 Radiación promedio mensual anual de 3 años consecutivos**

| Año 2011   |                                       |                     | Año 2012   |                                       |                     | Año 2013   |                                       |                     |
|------------|---------------------------------------|---------------------|------------|---------------------------------------|---------------------|------------|---------------------------------------|---------------------|
| Mes        | Irradiancia (KWh/m <sup>2</sup> /día) | Horas del día Solar | Mes        | Irradiancia (KWh/m <sup>2</sup> /día) | Horas del día Solar | Mes        | Irradiancia (KWh/m <sup>2</sup> /día) | Horas del día Solar |
| Enero      | 4.628                                 | 4.628               | Enero      | 3.868                                 | 3.868               | Enero      | 4.090                                 | 4.090               |
| Febrero    | 5.190                                 | 5.190               | Febrero    | 3.928                                 | 3.928               | Febrero    | 5.398                                 | 5.398               |
| Marzo      | 6.276                                 | 6.276               | Marzo      | 5.790                                 | 5.790               | Marzo      | 5.474                                 | 5.474               |
| Abril      | 6.513                                 | 6.513               | Abril      | 6.308                                 | 6.308               | Abril      | 6.388                                 | 6.388               |
| Mayo       | 6.374                                 | 6.374               | Mayo       | 6.436                                 | 6.436               | Mayo       | 5.988                                 | 5.988               |
| Junio      | 5.710                                 | 5.710               | Junio      | 5.539                                 | 5.539               | Junio      | 5.605                                 | 5.605               |
| Julio      | 5.117                                 | 5.117               | Julio      | 5.398                                 | 5.398               | Julio      | 5.311                                 | 5.311               |
| Agosto     | 5.528                                 | 5.528               | Agosto     | 5.118                                 | 5.118               | Agosto     | 5.193                                 | 5.193               |
| Septiembre | 5.313                                 | 5.313               | Septiembre | 5.097                                 | 5.097               | Septiembre | 4.198                                 | 4.198               |
| Octubre    | 5.113                                 | 5.113               | Octubre    | 5.357                                 | 5.357               | Octubre    | 4.582                                 | 4.582               |
| Noviembre  | 4.329                                 | 4.329               | Noviembre  | 3.997                                 | 3.997               | Noviembre  | 3.961                                 | 3.961               |
| Diciembre  | 4.279                                 | 4.279               | Diciembre  | 4.133                                 | 4.133               | Diciembre  | 3.592                                 | 3.592               |
|            | 5.361                                 | 5.361               |            | 5.081                                 | 5.081               |            | 4.980                                 | 4.980               |

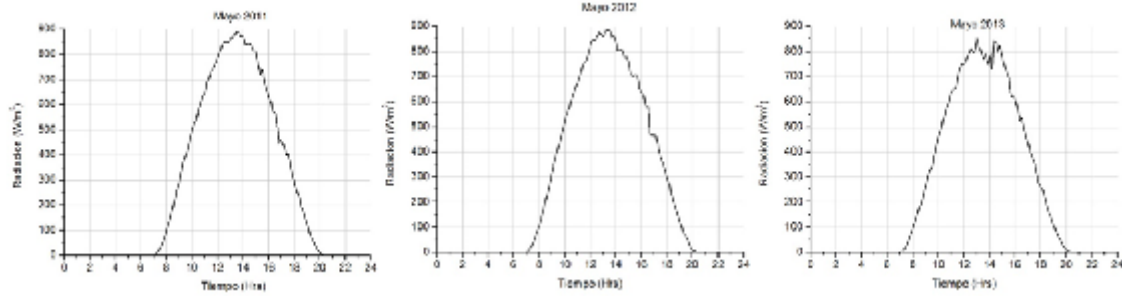
En las Figuras 4.1.1a se presentan los gráficos obtenidos respecto a los meses de enero de los años, 2011, 2012, 2013. Se observa que la radiación captada y registrada por la estación meteorológica de la UTSJR se encuentra en un intervalo de 700-750 W/m<sup>2</sup>. Cabe señalar que la irradiancia promedio diaria es menor en los meses de Invierno y mayor en los meses de verano.



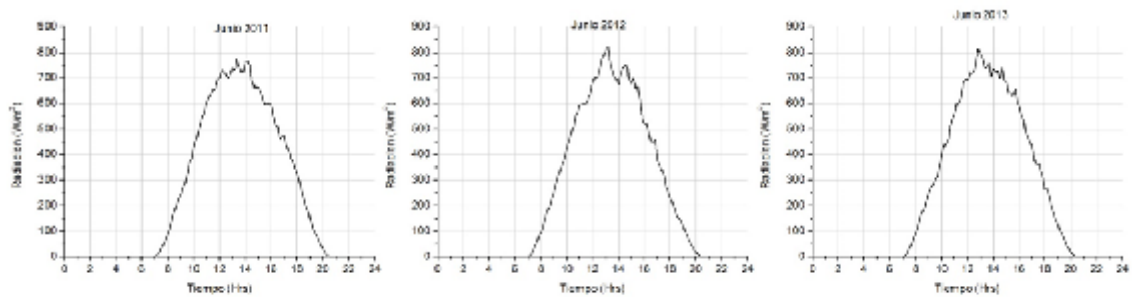
**Figura 4.1.1a Gráficas de radiación comparativas mes de Enero**

De igual manera se obtienen los gráficos obtenidos respecto a los meses de Mayo y Junio de los años, 2011, 2012, 2013. Como se muestran en la figura 4.1.1b y 4.1.1c

## **“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**



**Figura 4.1.1b Gráficas comparativas radiación mes de Mayo**



**Figura 4.1.1c Gráficas comparativas radiación mes de Junio**

### **4.2 Determinación de la demanda energética del sistema**

En la sección 3.3 se calculó la demanda del sistema de control utilizando un PCL y utilizando un Microcontrolador respectivamente. Se calculó que la demanda de energía de un PLC es 691.14WH, mientras que el Microcontrolador 368.62 WH, la decisión de desarrollar un equipo usando un PLC se debe a que posibilita un control a distancia usando un módulo de comunicación a distancia CP243-1 Ethernet module Este equipo presenta entonces una mayor versatilidad que un equipo controlado por un Microcontrolador, aunque el consumo de energía es 1.87 veces, mayor con la opción PLC. La decisión de utilizar un sistema u otro dependerá del usuario.

### **4.3 Dimensionamiento sistema fotovoltaico**

Se calculó el número de paneles fotovoltaicos en la sección 3.3 En caso de que use un control con PLC se necesitan dos paneles de 145 W o 1 Panel de 200W.

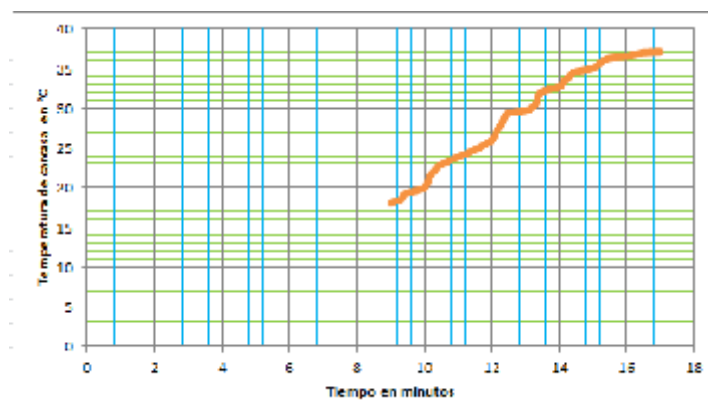


## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

Por el contrario cuando se utiliza un Microcontrolador se necesita un panel de 100W. El cálculo del número de baterías considero tres días de operación sin radiación solar. En caso de utilizar un control PLC se requieren dos baterías de 115AH mientras que en el caso de un control con Microcontrolador se necesita una batería de 115 AH En la tabla 3.3.3 de la sección se presentan los costos estimados de las opciones de control mediante un PLC y Microcontrolador.

### **4.4 Control del sistema e integración**

Se verificó el control del sistema en campo, donde en la operación de la bomba de hidráulica mediante un PLC esta mantuvo el flujo de  $2\text{L}/\text{min} \pm 0.01$  durante 8 horas, 9 de la mañana 5 de la tarde, la temperatura se tomó de la carcasa con un termómetro EXTECH IR THERMOMETER Modelo EX 570 donde  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatura inicial y  $37.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatura final. El calor específico de acero inoxidable de las aletas radiadoras con el que está construida la bomba es de  $0.1218\text{ cal}/\text{gr}^{\circ}\text{C}$ , la masa de la carcasa de la bomba es  $1.8\text{kg}$  y la diferencia de temperatura  $19.1^{\circ}\text{C}$  utilizando la formula  $Q=ce*m*\Delta t$  se obtuvieron pérdidas de  $4187.48$  Calorías esto a su vez se convierten a Joules,  $1001.79$  Joules y finalmente los Joules se convirtieron a WH y resultando  $2.22$  WH de pérdidas por efecto Joule en la figura 4.4a se muestra el comportamiento temperatura contra tiempo de la bomba.

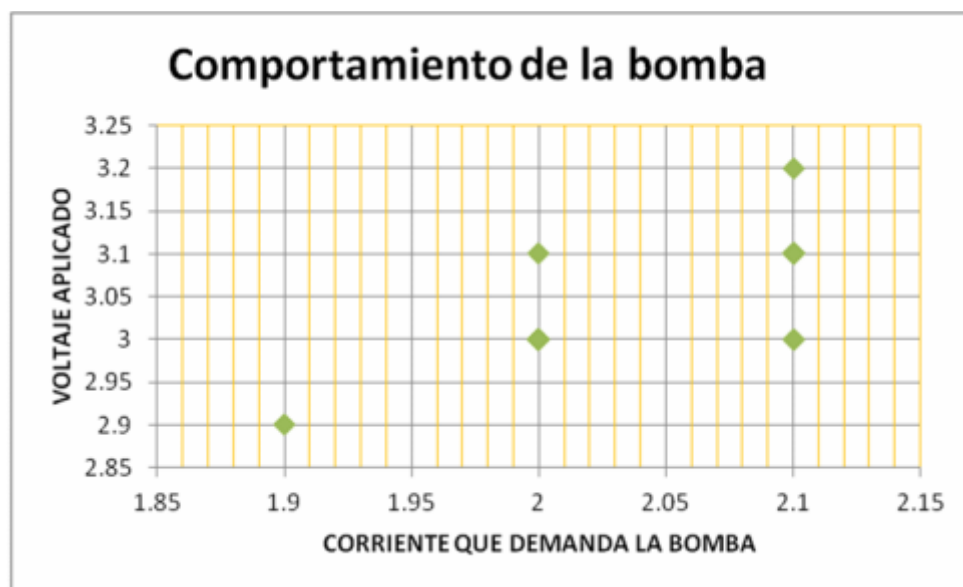


**Figura 4.4a Incremento temperatura de la bomba**

En campo se midió la corriente que fluida en el PLC durante 8 horas de operación a un voltaje nominal de  $127\text{ V CA RMS}$ . El valor obtenido de corriente eléctrica no

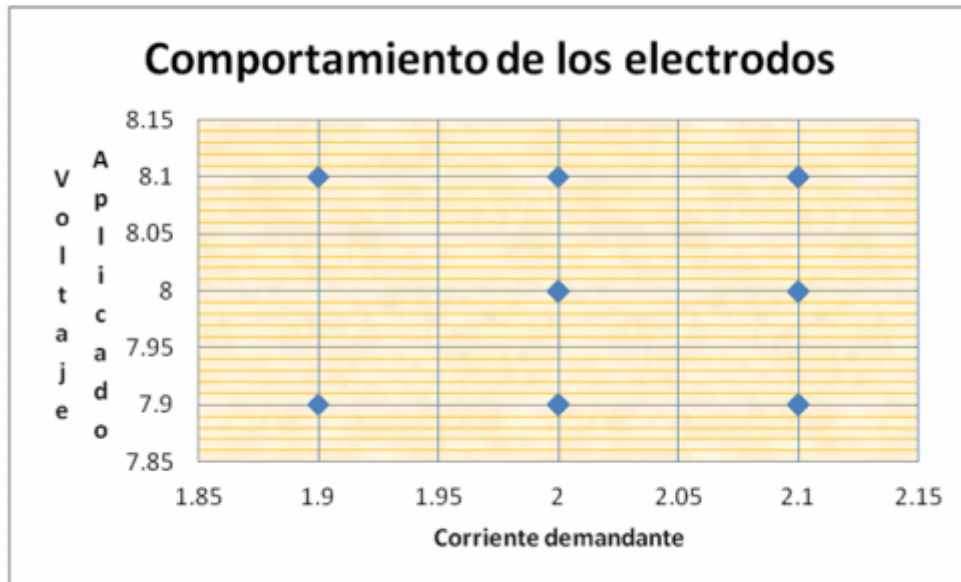
***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

varió en el tiempo significativamente y fue de 0.3 A. El comportamiento de la bomba no manifestó cambios significativos, durante un periodo de 8 horas como se muestra en la Figura 4.4b también se observa en la figura 4.4c que en los electrodos no hubo variaciones muy notorias en cuanto a corriente y voltaje de operación ni cambios en la temperatura. En general se observó que tanto el control con PLC como con el Microcontrolador pudieron efectivamente realizar la tarea de control de la velocidad de la bomba.



**Figura 4.4b voltaje- corriente de la bomba**

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Figura 4.4c** voltaje-corriente de los electrodos

## **4.5 Conclusiones**

Para entender las aportaciones de esta tesis conviene recordar los objetivos que se plantearon al inicio así como las preguntas hipotéticas, el primer objetivo que se planteó “DESARROLLO DE UN CONTROL ELECTRÓNICO PARA INTEGRAR LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL DESINFECTANTE” , al hacer análisis preliminares de equipos para uso fotovoltaico se encuentra que está muy difundido el uso de energía fotovoltaica para equipos de bombeo de agua potable y alumbrado para uso doméstico, aunque la mayoría de ellos carecen de un sistema de control, más bien están pensados para satisfacer demandas energía de valores no preestablecidos y por otra parte se encontró la poca disponibilidad de los equipos en el país pues la mayoría de ellos se adquieren en el extranjero, mientras que los equipos usados para corriente alterna hay diversos distribuidores, que se encuentran en cualquier ciudad de mediano crecimiento.

Se logra una producción 0.8 kg a 1kg de hipoclorito de sodio por día después de hacer múltiples pruebas conjuntamente con los investigadores del CIDETEQ se determina que el tiempo de residencia del fluido dentro de los reactores de tal

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

valor que se requiere un caudal de salmuera de 2 litros/minuto una vez obtenidos los valores citados se propuso encontrar una bomba comercialmente disponible para reemplazar a las 2 bombas marca Aro mag que operan a 127VCA usadas en el proyecto anterior, el resultado de la búsqueda es una bomba marca SHURflo 2088-313-145 voltaje de operación 12VCC de velocidad modificable mediante la variación del voltaje utilizando un PWM.

Por otra parte como resultado de las múltiples pruebas se determina que el potencial óptimo aplicado a las placas a través de los electrodos es de 8 VCC con una incertidumbre de  $\pm 0.1V$  también utilizando un PWM . se determina que se tienen las condiciones suficientes para implementar un control del sistema hipoclorador conjuntamente con los equipos auxiliares.

Como segundo objetivo se propuso encontrar la radiación solar del lugar donde se llevo a cabo el proyecto. Aunque la radiación solar de cada lugar la proporciona la NASA se logró hacer un estudio exhaustivo de la energía disponible de los años del 2007 al 2013. en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río con los datos proporcionados por Dr Ángel Marroquín de Jesús estos datos son guardados por el equipo de cómputo que forma parte de la estación meteorológica Vantage Pro2™ & Plus Stations, Marca Davis cada 10 minutos que originalmente se obtienen en bloc de notas de Microsoft®, se les dio un previo tratamiento en Excel de Microsoft® y finalmente a software Origen Pro®

La utilidad de este estudio es con fines académicos y científicos pues apoya a académicos y estudiantes de la carrera de energías renovables Realizando un cálculo final promedio de  $\frac{5.1416 \text{ KW}h/m^2}{1 \text{ KW}/m^2} = 5.1416 \text{ Horas}$  cabe aclarar que no se

tiene un estudio con estas características en la región el cual queda a disposición de la academia de la UTSJR. A pesar de las dificultades encontradas se lograron caracterizar la bomba y los electrodos de los reactores para que trabajaran de manera satisfactoria conjuntamente con los equipos auxiliares para integrar un control de lazo abierto que funcionó de manera satisfactoria por periodos largos de tiempo no sin antes haber hecho muchos intentos con otras alternativas de control

### ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

como PID, tarjetas de propósito específico diseñadas con VHDL pero que su control a distancia resultó muy costoso, se optó por construir un gabinete de control utilizando dispositivos confiables y versátiles de gran aceptación en el campo industrial como en el campo académico, como PLC's y Microcontroladores para controlar las operaciones de arranque, paro, opción microcontrolador se hizo un cálculo fotovoltaico para dimensionar cada uno de los componentes a partir de la carga diaria requerida, número de baterías, número de paneles, inversor de carga, controlador de carga. Se concluye que fue posible modificar los equipos ya existentes logrando una integración y un manejo seguro tanto para un operario como para el proceso. Se hizo un estudio de balance energético con el objeto de descartar fallas del equipo por exceso de calor y evitar fallas intermitentes a pesar del diseño de protecciones

#### **4.6 Trabajo a futuro**

A pesar de que se hicieron aportaciones adicionales al desarrollo de este proyecto como construir un par de reactores partiendo del original, construir un rack portátil, modular y de fácil transporte, el control automático que se ha manejado tiene sus limitaciones pues si bien el control de la velocidad de la bomba y el voltaje aplicado a los electrodos se trata de controles de lazo cerrado, no así el control del caudal manejado por un rotámetro marca blue White analógico, la presión del fluido, tampoco se tiene un control de temperatura para lograr manejar una reacción óptima de la sustancia se trata de un controles de lazo abierto, susceptible de algunas fallas para superar estas limitaciones se propone adquirir instrumentos digitales con el objeto de lograr un control del proceso a distancia. Estas mejoras pueden ser retomadas para una segunda etapa por becarios o investigadores interesados en este trabajo.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

## **REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA**

[1]Energías alternas: propuesta de investigación y desarrollo tecnológico para México

[2]Editores Claudio A. Estrada Gasca, Jorge Islas Samperio, Primera edición, Academia Mexicana de Ciencias, México DF, 2010.

[3]Control para un sistema de generación de hipoclorito de sodio con base en energía solar. Valdelamar Rodríguez José Luis Rodríguez

[4] Integración de Reactores electroquímicos y celdas fotovoltaicas  
Rivera Galván Aldo

[5] Integración de un reactor electroquímico con energías renovables, desarrollado en CIDETEQ S.C . Machorro López Josué Jonathan

[6]Evaluación de un reactor electroquímico, desarrollado en CIDETEQ S.C

Rivera Morales José Guadalupe

Páginas Webb

[7] [http://www.coniunctus.amc.edu.mx/libros/energias\\_alternas.pdf](http://www.coniunctus.amc.edu.mx/libros/energias_alternas.pdf)

[8] <http://www.cideteq.mx/es.html>

[9] [www.wikipedia.org/](http://www.wikipedia.org/)

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

## Apéndice A

### Generación de Electricidad

El fenómeno de la electricidad ha sido estudiado desde la antigüedad, pero su estudio científico sistemático no comenzó hasta los siglos XVII y XVIII. A finales del siglo XIX los estudiosos de la energía lograron aplicarla para uso doméstico e Industrial logrando una rápida transformación social económica a nivel mundial. La energía eléctrica es una de las formas más utilizadas por el ser humano esta es causada por el movimiento de las cargas eléctricas a través de los conductores, esta produce tres efectos principales térmico, luminoso y magnético, gracias a la energía eléctrica podemos utilizar un motor, alumbrar un hogar, La energía tiene diversas manifestaciones, cargas eléctricas, rayos, electricidad estática, calor, la corriente, campos electromagnéticos. La energía eléctrica se produce por diversos métodos tradicionales.

✓ Plantas termoeléctricas

Básicamente consiste en calentar agua para producir vapor sobrecalentado ese vapor hay que mezclarlo con el vapor sobrecalentado de un material fósil como diésel, coque, gas natural con el objeto de mover las turbinas y estas a su vez el grupo motor generador esto se hace de diversas formas

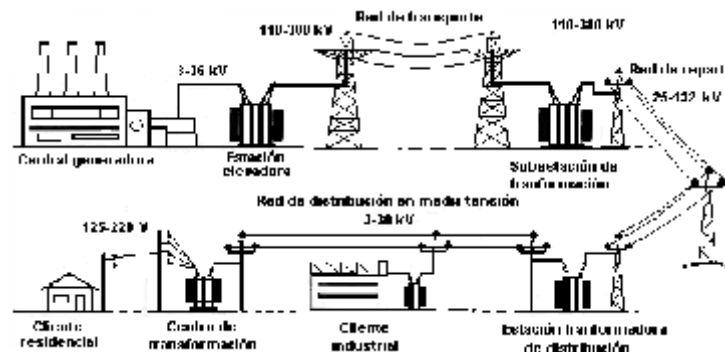


Ilustración A 1 [9]

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Ilustración A 2 [9]**

✓ Plantas Hidroeléctricas

La generación de energía hidroeléctrica consiste en aprovechar la energía potencial del agua de grandes embalses, presas, cascadas y ríos, el sureste mexicano hace una gran aportación en energía hidráulica utilizar el agua para impulsar a presión grandes grupos turbina generador.



**Ilustración A 3 [9]**

✓ Plantas nucleoelectricas

Las Plantas nucleoelectricas son muy similares a las plantas termoeléctricas la diferencia está en la manera en que se produce el vapor para accionar los turbogeneradores y producir energía eléctrica, en las centrales térmicas se usan combustibles fósiles, carbón, petróleo, gas natural y diésel por su parte las



***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

nucleoeléctricas producen vapor aprovechando el calor que se obtiene al fisionar con neutrones a los núcleos de los isotopos de  $^{92}\text{U}235$  y  $^{94}\text{Pu}239$ .



**Ilustración A 4 [9]**

✓ Plantas geotérmicas

La energía geotérmica es aquella energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. La tierra posee una importante actividad geológica

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Ilustración A 5 [9]**

## **Energías alternativas**

Se llaman fuentes de energía alternativas aquellas que se diseñan y construyen con la intención de reemplazar parcialmente a las fuentes de energía tradicionales.

### ✓ Energía Eólica

La energía Eólica es obtenida a través de corrientes del viento es decir la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y que es transformada a otras fuentes útiles de energía en la actualidad en México solo existe una zona en el Istmo de Tehuantepec Oaxaca que aporta al sistema Nacional

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



Ilustración A 6 [9]

✓ **Energía fototérmica**

La intensidad de energía utilizable una vez que la radiación solar atraviesa la atmosfera es muy baja, y su utilización está condicionada por la temperatura a la cual se va a aprovechar. La energía solar térmica, según su utilización, se puede clasificar en baja, media o alta temperatura. Solo esta última es válida para la producción de energía eléctrica

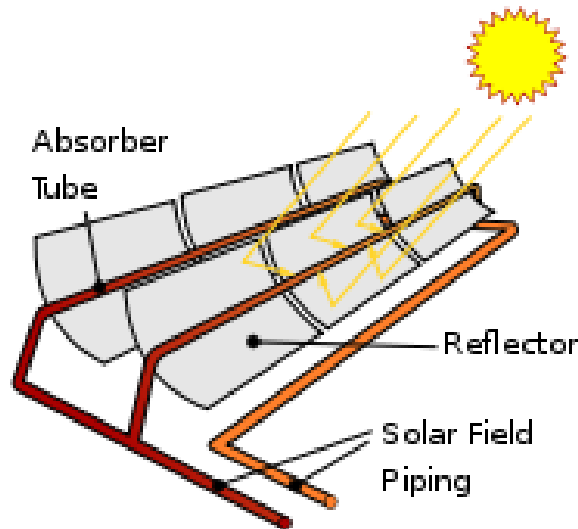


Ilustración A 7

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

### ✓ Biomasa

La biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica, esa energía se puede recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles de bosques, residuos agrícolas, desechos animal y vegetal entre otros.

## **Apéndice B**

### **Historia y Métodos de producción de cloro**

El cloro como desinfectante tiene la ventaja de que es simple y que la capacidad de desinfección residual del agua puede ser tratada. Otra ventaja es una fuente disponible en muchas comunidades en desarrollo. Este compuesto fue introducido como antiséptico en 1835 por Holmes en Boston y en 1847 por Semmelweis en Viena. Comúnmente el tratamiento para las aguas y aguas residuales siempre se ha asociado al empleo de gas cloro ( $\text{Cl}_2$ ), pero varias han sido las razones por la que el cloro gas se ha dejado de usar directamente para la desinfección. La primera y más contundente razón es la relación entre el gas cloro y la formación de trihalometanos (THMs), estos son considerados tóxicos y cancerígenos los cuales se encontraban en la red de distribución de agua potable y las descargas de aguas residuales tratadas que empleaba gas cloro para la desinfección, esto, además del riesgo de transportación y manejo han hecho del hipoclorito de sodio una solución para la potabilización del agua. El cloro gas burbujeado en agua forma hipoclorito, el cual es un ión de fórmula  $\text{ClO}^-$  generalmente asociado al catión “sodio” ( $\text{Na}^+$ ), forma el hipoclorito de sodio:  $\text{NaClO}$ . Se utiliza como desinfectante del agua a fin de potabilizarla, y se conoce comúnmente como lejía. En la producción de cloro que reacciona posteriormente para producir hipoclorito se tienen tres tecnologías. La producción industrial en México utiliza celdas de mercurio, la cual se describirá en párrafos posteriores. Esta forma de producir tiene el problema de utilizar mercurio que es un metal tóxico. Por lo que se han desarrollado tecnologías de celdas de diafragma y celdas de membrana. Las

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

celdas de diafragma tienen baja eficiencia comparadas con las celdas de membranas, que son las que CIDETEQ ha desarrollado desde hace 10 años. En la tabla 1 se presentan las características para la comparación de los tres métodos. Se puede concluir que se consume menos energía en el proceso de membrana.

Tabla 1. Tecnologías para producir cloro, Machorro López [9]

|                    | Celda de Mercurio                                                                                                                               | Celda de Diafragma                                                                                                                                                                    | Celda de Membrana                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ventajas</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-NaOH 50%</li> <li>-Cl<sub>2</sub> puro</li> <li>Consumo energético 3100 Kwh/t Cl<sub>2</sub></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Utiliza sales menos puras</li> <li>-Utiliza menos energía que el proceso de mercurio. Consumo energético 2900 Kwh/t Cl<sub>2</sub></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-NaOH puro (20-25 %)</li> <li>-Consume sólo el 77% de la energía que se consume en el proceso de Hg. Consumo energético 2700 Kwh/t Cl<sub>2</sub></li> <li>-No utiliza Hg o asbestos</li> </ul> |
| <b>Desventajas</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Hg tóxico-Más energía consumida (más del 10-15% que el proceso de diafragma)</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-NaOH de pureza media</li> <li>-El Cl<sub>2</sub> contiene O<sub>2</sub></li> <li>-Los asbestos son tóxicos</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>-El Cl<sub>2</sub> contiene O<sub>2</sub></li> <li>-Se necesita sal de alta pureza.</li> <li>-Alto coste de las Membranas</li> </ul>                                                            |

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

✓ Celda de Mercurio

Este proceso utiliza disoluciones concentradas del NaCl (salmuera). La celda de amalgama está constituida por un contenedor de acero alargado e inclinado por debajo del cual fluye una capa de mercurio que actúa de cátodo y absorbe el Na que se produce en la reacción:

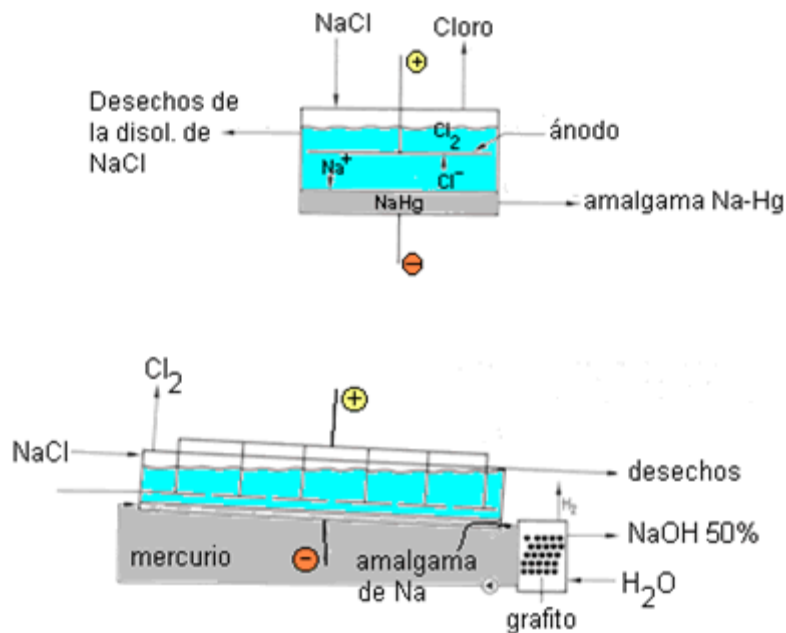
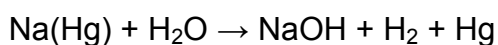


Ilustración B1 [5]

El cloro se produce en el ánodo que se puede ajustar en altura. La amalgama de Na que se obtiene se transfiere a un reactor donde se descompone, mediante hidrólisis con H<sub>2</sub>O, en Hg, NaOH (50%) e H<sub>2</sub>.



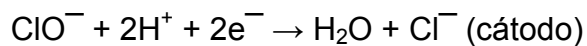
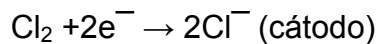
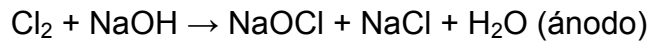
Durante la electrólisis se dan las siguientes reacciones:

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

Reacción en el ánodo:  $\text{Cl}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{Cl}_2 + 1\text{e}^- \dots\dots\dots E^\circ = 1.24 \text{ V}$

Reacción en el cátodo:  $x\text{Hg} + \text{Na}^+ + 1\text{e}^- \rightarrow \text{NaHg}_x \dots\dots\dots E^\circ = -1.66 \text{ V}$

Reacciones colaterales:



El rendimiento del proceso es del 94-97%. Una planta a gran escala produce de 50 a  $300 \times 10^3$  ton del  $\text{Cl}_2$ /año y de 56 a  $340 \times 10^3$  ton de  $\text{NaOH}$ /año. Machorro López[5]

✓ Celda de Diafragma

En este proceso se emplean disoluciones acuosas de  $\text{NaCl}$ . Las celdas industriales de diafragma consisten en un depósito en el cual los ánodos se montan verticalmente y paralelos unos a otros. Los cátodos se sitúan entre los ánodos, son planos y de acero, recubiertos por fibras de asbesto impregnados con resinas flúor-orgánicas.

La disolución salina entra en la celda, pasa a través del diafragma de asbesto y entra en la cámara catódica. El  $\text{Cl}_2$  que se produce en el ánodo sale por la parte superior mientras que el  $\text{H}_2$ ,  $\text{NaOH}$  y  $\text{NaCl}$  residual se producen en el cátodo y salen de la celda por el lateral. El diafragma de asbestos cumple dos funciones:

a) Evitar la mezcla de  $\text{H}_2$  y  $\text{Cl}_2$ . La estructura tan fina del material permite el paso de líquidos a través del mismo, pero impide el paso de las burbujas de gas. Un 4% del cloro (disuelto en la disolución) sí pasa a través del diafragma y se pierde en reacciones colaterales, disminuyendo el rendimiento.

b) Impedir la difusión de los iones  $\text{OH}^-$  formados del cátodo al ánodo.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

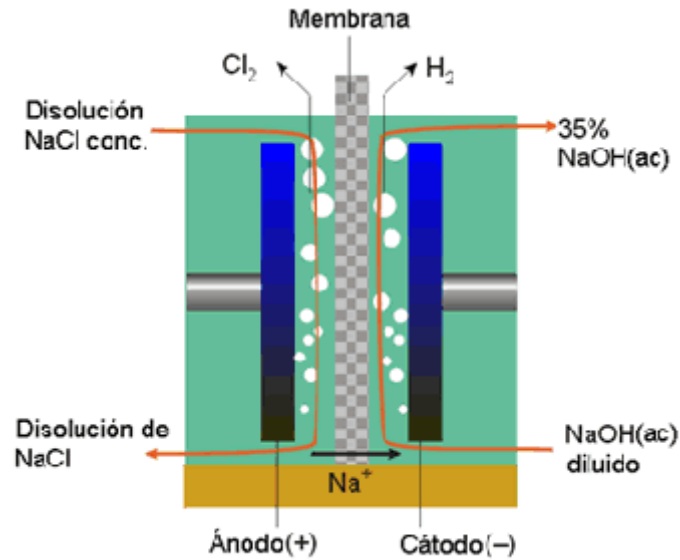
La disolución que sale de la celda contiene un 12% de NaOH y un 15% de NaCl. La capacidad de una planta puede ser de hasta  $360 \times 10^3$  ton de  $\text{Cl}_2$ /año, y de hasta  $410 \times 10^3$  ton de NaOH/año. Estas plantas consumen un 20% menos de energía que las plantas basadas en celdas de mercurio.

✓ Celda de membrana

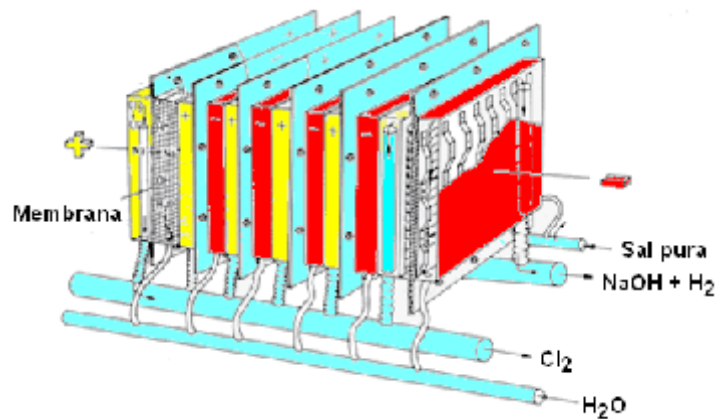
En este proceso el cátodo y el ánodo se encuentran separados por una membrana conductora iónica que es impermeable al agua, pero es permeable al paso de iones. El desarrollo de membranas que son estables bajo las condiciones de electrólisis (altas concentraciones de sales, alto pH, presencia de oxidantes fuertes como el  $\text{Cl}_2$  y el  $\text{ClO}^-$ ) ha supuesto muchos problemas. Un gran número de compañías como Du Pont, AsahiChemical, AsahiGlass, entre otras, han conseguido preparar membranas consistentes en un esqueleto de poli(perfluoroetano) con cadenas laterales que contienen grupos polares (sulfatos, carboxilatos).



**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**



**Ilustración B2 celda de membrana [5]**



**Ilustración B3 otra vista celda de membrana [5]**

Los procesos que se generan en el cátodo o en el ánodo son los mismos que los que se dan en el proceso de diafragma. Se emplean ánodos de Ti activado y cátodos de acero inoxidable o de Ni. En este proceso la sal debe ser más pura que en el proceso de diafragma.

Machorro López finaliza haciendo una tabla comparativa de los tres métodos

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

✓ Comparación de los tres métodos:

|                    | Celda de Mercurio                                                                                                               | Celda de Diafragma                                                                                                                                            | Celda de Membrana                                                                                                                                                                        |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ventajas</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-NaOH 50%</li> <li>-Cl<sub>2</sub> puro</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Utiliza sales menos puras</li> <li>-Utiliza menos energía que el proceso de mercurio.</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>-NaOH puro (20-25 %)</li> <li>-Consume sólo el 77% de la energía que se consume en el proceso de Hg</li> <li>-No utiliza Hg o asbestos</li> </ul> |
| <b>Desventajas</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Hg tóxico-Más energía consumida (más del 10-15% que el proceso de diafragma)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-NaOH de pureza media</li> <li>-El Cl<sub>2</sub> contiene O<sub>2</sub></li> <li>-Los asbestos son tóxicos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-ElCl<sub>2</sub> contiene O<sub>2</sub></li> <li>-Se necesita sal de alta pureza.</li> <li>-Alto coste de las Membranas</li> </ul>               |

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

| Parámetros.                                  | Celdas.                               |                  |                         |
|----------------------------------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------------|
|                                              | Diafragma                             | Mercurio         | Membrana                |
| Consumo energético. (Kwh/t Cl <sub>2</sub> ) | 2900                                  | 3100             | 2700                    |
| Concentración final de NaOH                  | 10-12                                 | 50               | 28-32                   |
| Calidad de sosa obtenida                     | Alto contenido de ion Cl <sup>-</sup> | Alta             | Alta                    |
| Calidad requerida de salmuera                | Normal                                | Pura             | Muy pura                |
| Requerimientos tecnológicos.                 | Cambio cada dos años.                 | Alto costo de Hg | Alto costo de membrana. |
| Impacto ambiental                            | Medio                                 | Alto             | Bajo                    |

✓ Caracterización del reactor

Las bombas que se utilizaron para hacer las primeras pruebas son de corriente alterna, el rotor funciona por principios magnéticos, aunque se force no hay daños significativos por bloqueo del flujo ni por calentamiento. Este tipo de bombas son bombas de paso o de nivel es decir la bomba debe estar por debajo del depósito del fluido logrando velocidades relativamente bajas a continuación se muestran sus características

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

Bomba Aro.Mag

Modelo: AMU27S045-T07TA01

Tamaño: NTP 3/4”

Voltaje: 110 V Frecuencia 50/60 Hz

Consumo energético: 45 W

Máximo cabezal en pies: 16.4-11.4 Metros: 5.0-3.5

Flujo máximo GPM: 9.7-7.6 Litros: 37-30.

Según Rodríguez J.L.[3] para la generación de hipoclorito con las características del equipo arriba descritas el mayor rendimiento obtenido fue con una concentración de salmuera de 16 gr/l con un caudal de alimentación de 0.6 l/min y voltaje de 6 V consiguiendo así una producción de cloro de 2811.48 mg/l ó 2.81 gr/l.

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos por Rodríguez J.L.[3] con la concentración de salmuera arriba descrita.

| Flujo (l/min) | Potencial total del equipo (Watts) | Consumo energético. (kWh/kg) |          |         |       |       |
|---------------|------------------------------------|------------------------------|----------|---------|-------|-------|
|               | Eficiencia de Faraday %            | NaOCl g/l                    | H2 (mol) | I (Amp) |       |       |
| 0.2           | 43.491                             | 27.474                       | 34.84    | 1.89    | 0.727 | 6.48  |
| 0.4           | 52.201                             | 23.821                       | 41.37    | 2.62    | 0.742 | 11.82 |
| 0.6           | 55.252                             | 23.583                       | 42.70    | 2.81    | 1     | 12.63 |
| 0.8           | 56.347                             | 30.764                       | 35.38    | 2.19    | 0.792 | 7.11  |

Figura 2.1.3 tabla de resultados

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

Los valores de la eficacia de Faraday, se basan en la cantidad de hipoclorito producido comparado con la energía eléctrica necesaria aplicada durante 6 horas. EL valor más alto obtenido fué 42.7 %. En experimentaciones previas hechas por Rodríguez, reporta lo siguiente.

| Condiciones de Operación. | Promedio de consumo kWh/Kg |
|---------------------------|----------------------------|
| 10 g/l, 0.55 LPM, 6 V     | 14                         |
| 4 g/l, 1 LPM, 4 V         | 15                         |
| 16 g/l, 0.1 LPM, 4 V      | 20                         |
| 16 g/l, 0.1 LPM, 8 V      | 31                         |
| 4 g/l, 1 LPM, 8 V         | 45                         |
| 4 g/l, 0.1 LPM, 8 V       | 45                         |
| 4 g/l, 0.1 LPM, 4 V       | 47                         |
| 16 g/l, 1 LPM, 4 V        | 48                         |
| 16 g/l, 1 LPM, 8 V        | 61                         |

Figura 2.1.3.2 Tabla de resultados

Tabla en el que Indica que los valores de 14, 15 y 20 kWh/kg son los valores donde se obtienen los mejores rendimientos. Sin embargo a palabras del autor se escogió la concentración de 16 g/l de sal, 1 l/min, 6 volts, debido a que los equipos desarrollados en el CIDETEQ están diseñados para esas condiciones, por lo que en este trabajo lo que se pretende es el de optimizar las condiciones de trabajo de estos equipos con el suministro de energía solar como fuente de energía alterna para las bombas. Por lo que se tratara en una primera etapa el obtener los resultados mencionados anteriormente.

# ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

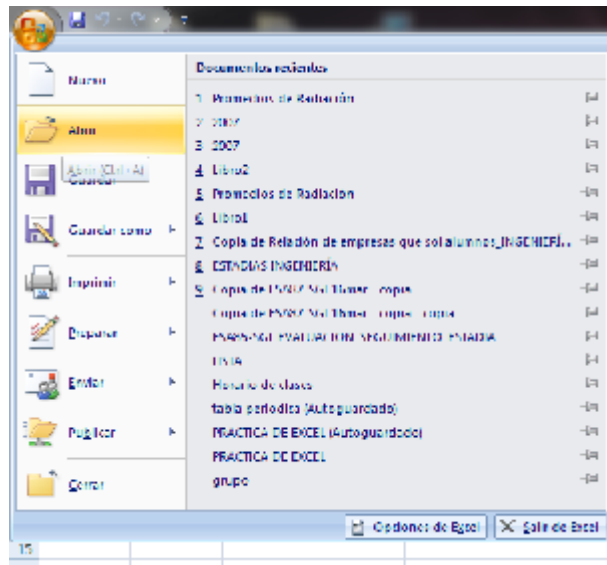
## **Apéndice C**

### **Procedimiento del procesamiento de los datos para obtener la radiación promedio mediante el uso del software Origen Pro**

1.- Presionar botón inicio



2.- Dar clic en “abrir”

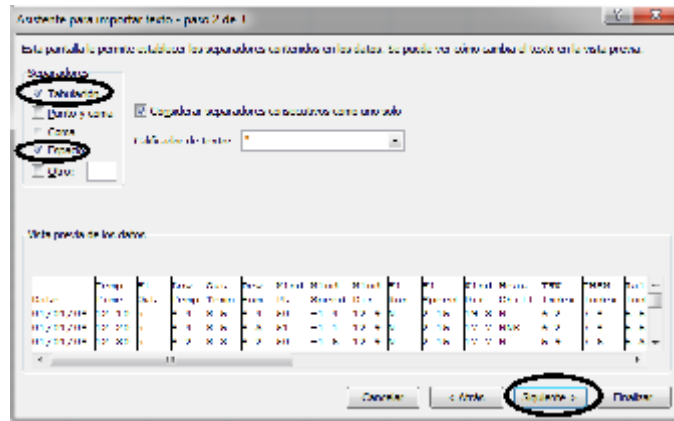


**Ilustración C 1**

3.-Se selecciona documento **2008**, según la carpeta en la que se encuentre y revisando que en la parte inferior estén seleccionados “todos los archivos”.

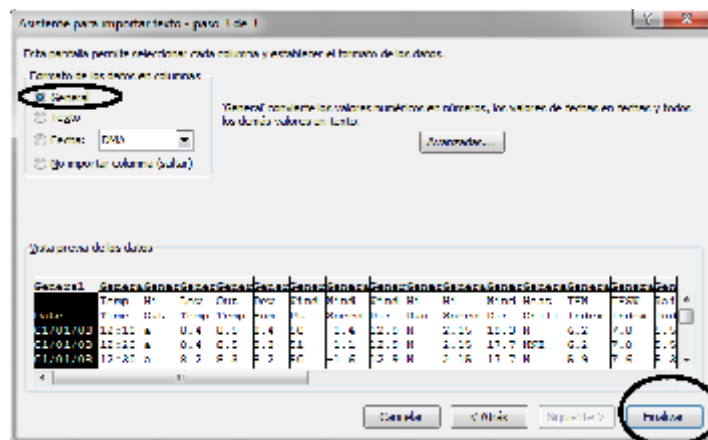


**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**



**Ilustración C 4**

6.- se selecciona el formato “general”, se da clic en finalizar.

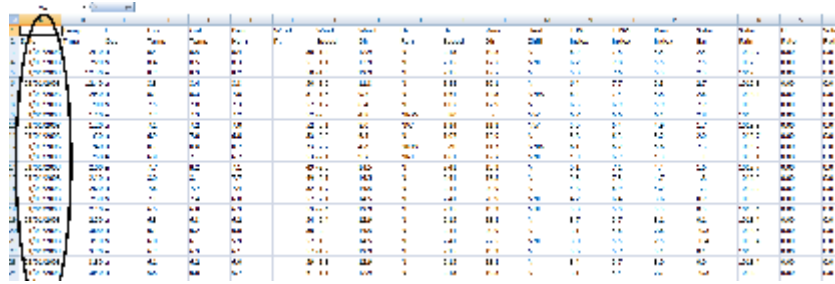


**Ilustración C 5**

7.- Se abre el archivo en Excel. Donde en la primera columna aparece la fecha año, mes, día, en la segunda columna la hora del día, cada 10 minutos desde las 24 horas de la noche hasta 11:50 horas de la noche del mismo día donde hubo días con valores nulos.



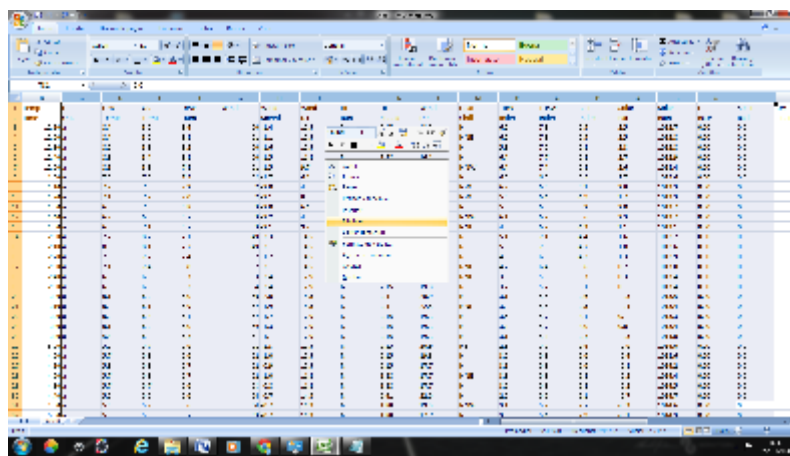
## **“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**



| A  | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

**Ilustración C 6**

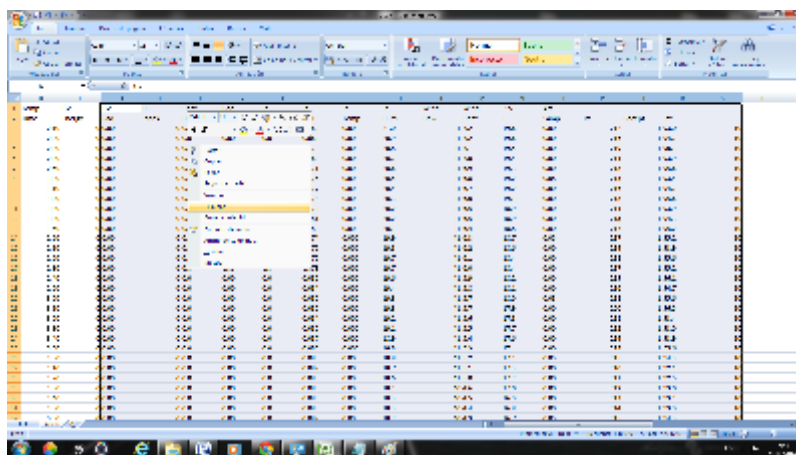
8.- Como solo se procesan datos de radiación se eliminan las columnas C desde C hasta T.



| A  | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

**Ilustración C 7**

9.- Nuevamente se eliminan las columnas de la D a la S para que quede la columna C.



| A  | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

**Ilustración C 8**

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

10.- Se eliminan las columnas que no se ocupan y quedan solo las columnas de datos, una con la fecha, una segunda columna con la hora y una tercera columna con los valores de la columna de solar energy.

|    | A          | B     | C      | D |
|----|------------|-------|--------|---|
| 1  |            | Temp  | UV     |   |
| 2  | Date       | Time  | Energy |   |
| 3  | 01/01/2008 | 12:10 | 0      |   |
| 4  | 01/01/2008 | 12:20 | 0      |   |
| 5  | 01/01/2008 | 12:30 | 0      |   |
| 6  | 01/01/2008 | 12:40 | 0      |   |
| 7  | 01/01/2008 | 12:50 | 0      |   |
| 8  | 01/01/2008 | 1:00  | 0      |   |
| 9  | 01/01/2008 | 1:10  | 0      |   |
| 10 | 01/01/2008 | 1:20  | 0      |   |
| 11 | 01/01/2008 | 1:30  | 0      |   |
| 12 | 01/01/2008 | 1:40  | 0      |   |
| 13 | 01/01/2008 | 1:50  | 0      |   |
| 14 | 01/01/2008 | 2:00  | 0      |   |
| 15 | 01/01/2008 | 2:10  | 0      |   |
| 16 | 01/01/2008 | 2:20  | 0      |   |
| 17 | 01/01/2008 | 2:30  | 0      |   |
| 18 | 01/01/2008 | 2:40  | 0      |   |
| 19 | 01/01/2008 | 2:50  | 0      |   |
| 20 | 01/01/2008 | 3:00  | 0      |   |
| 21 | 01/01/2008 | 3:10  | 0      |   |
| 22 | 01/01/2008 | 3:20  | 0      |   |
| 23 | 01/01/2008 | 3:30  | 0      |   |
| 24 | 01/01/2008 | 3:40  | 0      |   |

**Ilustración C 9**

11.- Se observan los datos en Excel del mes de Enero del 2008

|    | A | AA         | AB         | AC         | AD         | AE         | AF         | AG         | AH       |
|----|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| 1  |   |            |            |            |            |            |            |            |          |
| 2  |   | 25/01/2008 | 26/01/2008 | 27/01/2008 | 28/01/2008 | 29/01/2008 | 30/01/2008 | 31/01/2008 | Promedio |
| 3  |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 4  |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 5  |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 6  |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 7  |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 8  |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 9  |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 10 |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 11 |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 12 |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 13 |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 14 |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
| 15 |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |

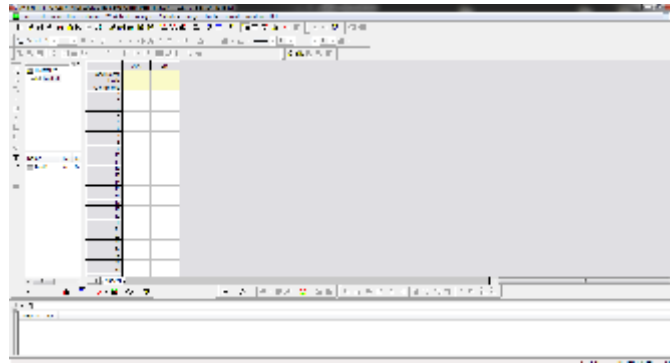
**Ilustración C 10**

12.-La siguiente imagen muestra el promedio mensual de las diferentes horas mes de Enero del 2008 elaborado en Excel.



***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

13.- Se abre el software **Origen** donde aparece la siguiente ventana.



**Ilustración C 13**

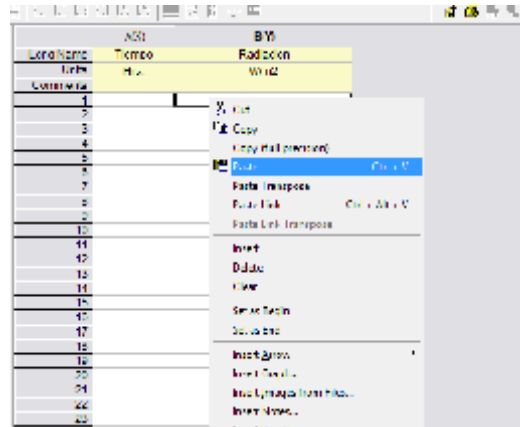
14.-En las celdas amarillas se escriben los datos.

|           | A(X)   | R(Y)       |
|-----------|--------|------------|
| Long Name | Tiempo | Radicacion |
| Units     | Hrs.   | W/m2       |
| Comments  |        |            |
| 1         |        |            |
| 2         |        |            |
| 3         |        |            |
| 4         |        |            |
| 5         |        |            |
| 6         |        |            |
| 7         |        |            |
| 8         |        |            |
| 9         |        |            |
| 10        |        |            |
| 11        |        |            |

**Ilustración C14**

15.- Se copian los datos de las columna de tiempo y la columna promedio que se obtuvo en Excel

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**



**Ilustración C15**

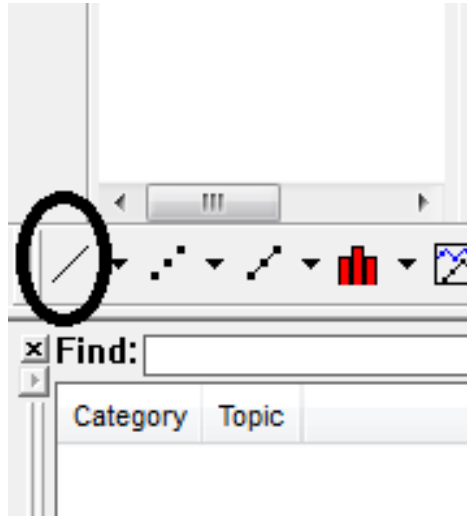
16.-Se realiza lo mismo para las columnas de tiempo y promedio

|           | A(X)    | B(Y)      |
|-----------|---------|-----------|
| Long Name | Tiempo  | Radiacion |
| Units     | Hrs.    | W/m2      |
| Comments  |         |           |
| 31        | 5       | 0         |
| 32        | 5,16667 | 0         |
| 33        | 5,33333 | 0         |
| 34        | 5,5     | 0         |
| 35        | 5,66667 | 0         |
| 36        | 5,83333 | 0         |
| 37        | 6       | 0         |
| 38        | 6,16667 | 0         |
| 39        | 6,33333 | 0         |
| 40        | 6,5     | 0         |
| 41        | 6,66667 | 0         |
| 42        | 6,83333 | 0         |
| 43        | 7       | 0         |
| 44        | 7,16667 | 0         |
| 45        | 7,33333 | 1,32258   |
| 46        | 7,5     | 9,3371    |
| 47        | 7,66667 | 24,93540  |
| 48        | 7,83333 | 42,41935  |
| 49        | 8       | 69,22581  |
| 50        | 8,16667 | 95,16129  |
| 51        | 8,33333 | 121,03226 |
| 52        | 8,5     | 145,96774 |
| 53        | 8,66667 | 171,16129 |
| 54        | 8,83333 | 204,03226 |
| 55        | 9       | 235,54839 |
| 56        | 9,16667 | 262,12903 |
| 57        | 9,33333 | 288,58065 |
| 58        | 9,5     | 313,3371  |

**Ilustración C16**

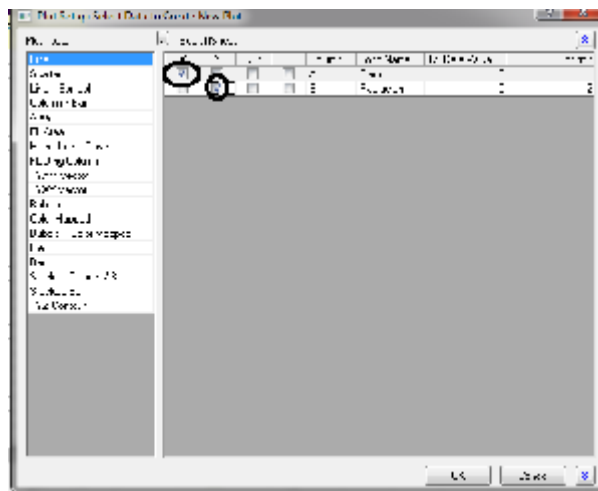
17.- Se selecciona la línea inclinada en la parte inferior izquierda de la ventana.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Ilustración C17**

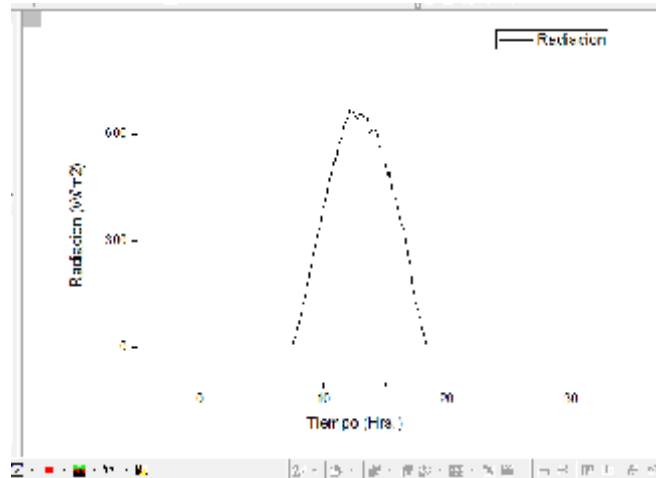
18.-Nos saldrá la siguiente ventana, donde se selecciona el eje X para el tiempo y el eje Y para la radiación.



**Ilustración C18**

19.-Se da Clic en “Ok”. y el Grafico obtenido de la radiación promedio del mes de enero del año 2008 es:

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Ilustración C19**

## **Apéndice D**

### **Componentes del proyecto integrado**

Reactores con flujo en serie para operar la electrólisis y b) tanque de almacenamiento del fluido. Bastidor (**Rack**) con ángulo de acero de “11/2x 1/8” con dimensiones 0.60m (ancho) x 1.20m (alto) x 0.72m (largo) con espacio para instalar 2 bombas, 3 baterías, 3 depósitos para salmuera y un gabinete de control.

En la figura 2.2 se muestra la bomba utilizada de alimentación eléctrica a corriente directa (Potencial de alimentación 12V, Corriente máxima 7 A). En la figura 2.3 se presenta la tabla de características que el fabricante indica y en la figura 2.4 se muestra las temperaturas a las que puede operar la bomba, siendo la temperatura máxima del motor admisible de 45°C. En la figura 2.5 se presenta el rotámetro y la tubería con sus características técnicas que fueron utilizadas en la experimentación.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



Ilustración D1 Bomba SHURflo 2088-313-145 12V



**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

# SHURflo®

First in Fluid Innovation

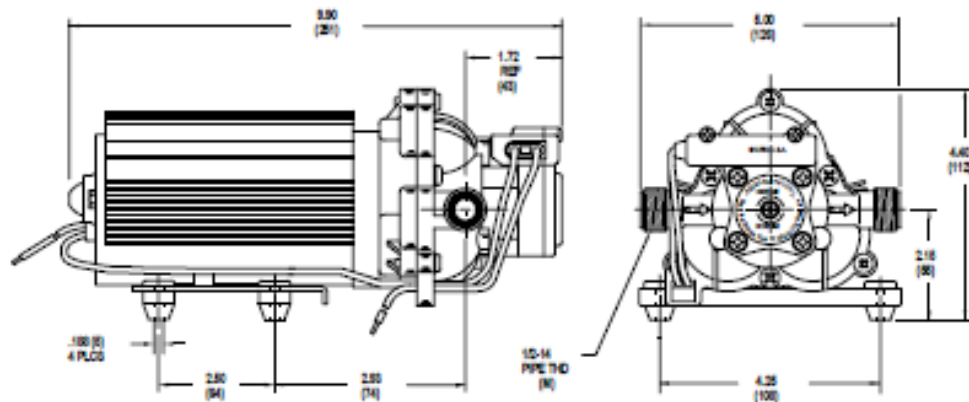
## PRODUCT DATA SHEET

MODEL: 2088-313-145

### SPECIFICATIONS:

MODEL NUMBER: 2088-313-145  
PUMP DESIGN: Positive Displacement 3 Chamber Diaphragm Pump  
CHECK VALVE: (1-Way Operation) Prevents Reverse Flow  
CAM: 3.0 Degree  
MOTOR: Permanent Magnet, P/N 11-185-06, Thermally Protected  
VOLTAGE: 12 VDC Nominal  
PRESSURE SWITCH: Adjustable from 30 to 50 PSI. Factory Set @ 45 PSI Shut-Off,  
Turn On 25 PSI  $\pm$  5 PSI  
LIQUID TEMPERATURE: 170 Degrees Fahrenheit (77 Degrees Centigrade) Max.  
PRIME: Self-Priming Up To 8.0 Ft. Vertical,  
Max. Inlet Pressure 30 PSI (2.1 Bar)  
PORTS: 1/2"-14 Male Parallel Thread  
MATERIAL OF CONSTRUCTION:  
PLASTICS- Polypropylene  
VALVES- Viton  
DIAPHRAGM- Santoprene  
FASTENERS- Stainless Steel  
NET WEIGHT: 6.8 Lbs (3.1 Kg)  
DUTY CYCLE: Continuous (See Temperature Rise Chart)  
TYPICAL APPLICATIONS: Agricultural Spraying

### DIMENSIONS:



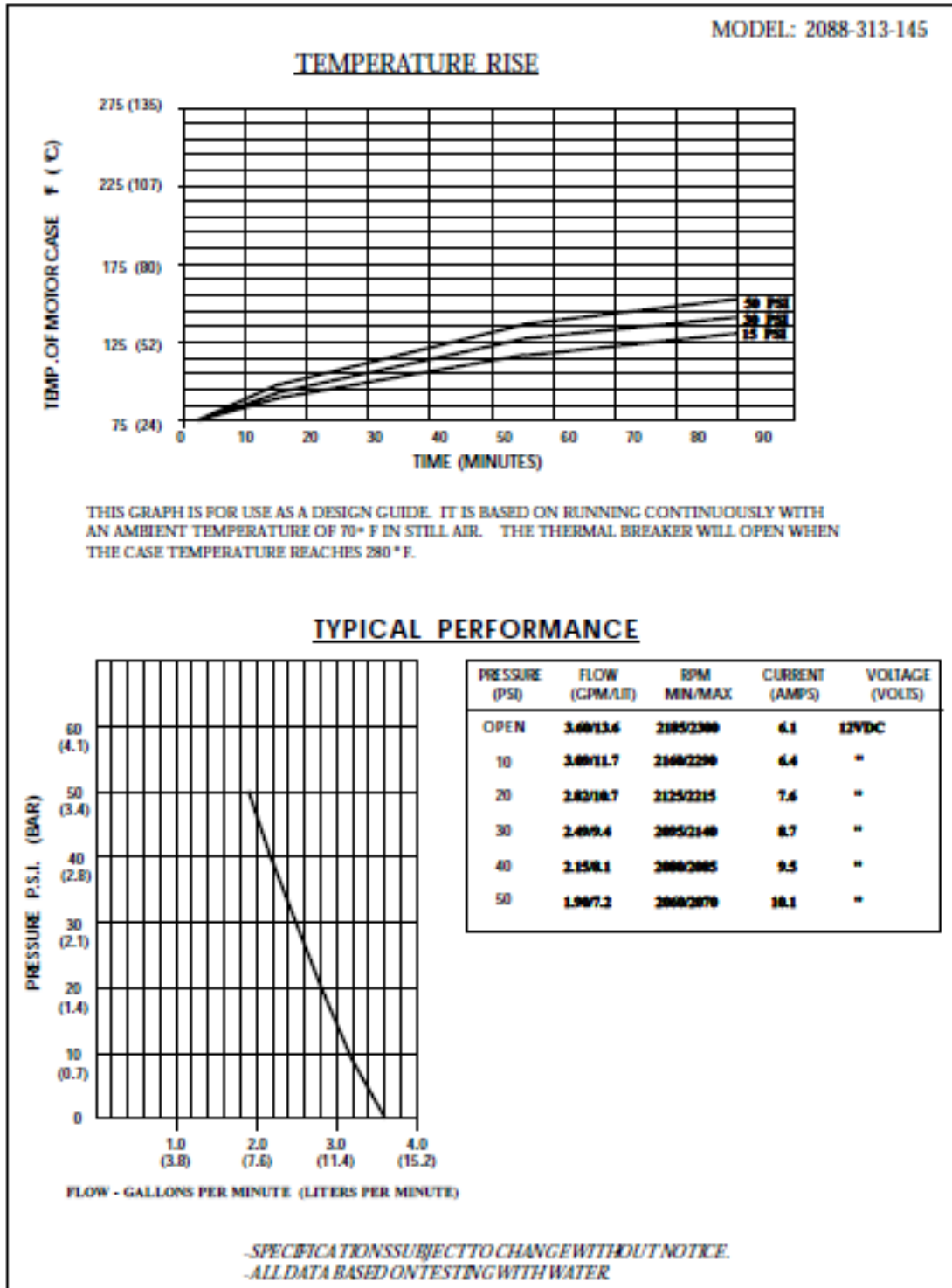
FILE #2088-313-145

REVISED: 11/02

ISSUED: 9/5/00

Ilustración D2 hoja de datos del fabricante

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**



5900 KATELLA AVENUE, CYPRESS CA. 90630 (562) 795 5200 (800) 854 3218 FAX (562) 795 7554  
 SHURIM EAST, 52748 PARK SIX COURT, ELKHART, IN 46514 (574) 262 0478/(800) 762 8096/FAX (574)264 2169 SHURIM LIMITED, UNIT 5, STERLING  
 PARK, GATWICK ROAD, CRAWLEY, WEST SUSSEX, RH10 2QT, UK 44 (0) 1293 424 000 FAX 44 (0) 1293 421 880

**Ilustración D3 variación de temperatura de la bomba según el fabricante**

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

- ✓ Regulador y controlador de carga.

Los sistemas fotovoltaicos utilizan un regulador que tiene la misión fundamental de evitar las sobrecargas y las descargas excesivas en las baterías produciendo daños irreversibles, también asegura que el sistema trabaje con la máxima eficiencia. Cabe mencionar que el regulador asegura que el voltaje de los módulos fotovoltaicos debe ser siempre mayor que el voltaje nominal de las baterías, esto para que puedan ser cargadas correctamente. Los reguladores pueden estar en serie o paralelo. En paralelo es para instalaciones pequeñas. El cálculo del regulador en este trabajo depende del número de paneles solares y del tamaño de las baterías, el relevador que interrumpe o permite el paso de corriente eléctrica de las baterías, el relevador que interrumpe o permite el paso de corriente eléctrica de los módulos a la batería deberá de tolerar la corriente eléctrica determinada por la siguiente fórmula:

$$I_{\text{REGULADOR}} = (\text{Número de módulos en paralelo})(\text{Intensidad del módulo})$$



**Ilustración D4 Controlador de carga**

- ✓ El rotámetro

El rotámetro es de la marca Blue/White, serie 452, 10.3 Bar, graduado de 0 a 12 LPM

- ✓ PANEL SOLAR ERDM TOPLINE 145W(POL)145TP6
- ✓ Bomba Marca SHURflo Modelo 2088-313-145
- ✓ controlador de carga marca EPSOLAR modelo LS1024R
- ✓ Baterías marca CALE 115AH libres de mantenimiento

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

- ✓ PLC S7-200 SIEMENS
- ✓ Microcontrolador 16F877A
- ✓ Inversor marca Truper modelo INCO-100 de 100W
- ✓ Rotámetro Blue/White, serie 452, 10.3 Bar, graduado de 0 a 12 LPM



**Ilustración D5 Rotámetro analógico**

- ✓ Baterías

Las Baterías marca CALE 115AH libres de mantenimiento para aplicaciones de ciclo profundo, diseñadas específicamente para aplicaciones de almacenamiento de energía, la orientación de las baterías es hacia arriba, estas baterías pueden ser conectadas en serie paralelo para obtener el voltaje y la intensidad requerida de descarga. El ciclo de vida depende de los parámetros de carga, la carga de igualación puede ser necesaria en intervalos mensuales si la intensidad de descarga es mayor que el 40% , las baterías deben ser protegidas del calor excesivo.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Ilustración D6 Baterías uso fotovoltaico**

✓ El Inversor

El inversor utilizado también llamado ondulator marca Truper modelo INCO-100 de 100W, es un circuito utilizado para convertir corriente continua en corriente alterna. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente directa a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Los inversores son utilizados en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para manejar alta potencia. Los inversores también son utilizados para convertir la corriente generada por paneles fotovoltaicos, acumuladores o baterías, entre otros, en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual es utilizado para interrumpir la corriente entrante y generar una onda cuadrada. Esta onda cuadrada alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario. Las formas de onda de salida del voltaje de un inversor ideal debería ser sinusoidal.

Los inversores modernos han comenzado a utilizar formas más avanzadas de transistores o dispositivos similares, como los tiristores, los triac's o los IGBT's

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

inversores más eficientes utilizan varios artificios electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda senoidal en la entrada del transformador, en vez de depender de éste para suavizar la onda.

Se pueden clasificar en general de dos tipos: 1) inversores monofásicos y 2) inversores trifásicos. Condensadores e inductores pueden ser utilizados para suavizar el flujo de corriente desde y hacia el transformador, además, es posible producir una llamada onda senoidal modificada, la cual es generada a partir de tres puntos: uno positivo, uno negativo y uno de tierra. Una circuitería lógica se encarga de activar los transistores de manera que se alternen adecuadamente. Inversores de onda senoidal modificada pueden causar que ciertas cargas, como motores, por ejemplo operen de manera menos eficiente.

Inversores más avanzados utilizan la modulación por ancho de pulsos con una frecuencia portadora mucho más alta para aproximarse más a la onda seno o modulaciones por vectores de espacio mejorando la distorsión armónica de salida. También se puede predistorsionar la onda para mejorar el factor de potencia.

Los inversores de alta potencia, en lugar de transistores utilizan un dispositivo de conmutación llamado IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor ó Transistor Bipolar de Puerta Aislada).

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



**Ilustración D7 Inversor de carga**

✓ Cargas eléctricas

Un sistema fotovoltaico incluye las cargas o aparatos eléctricos que se van a utilizar y que consumen la corriente generada o almacenada. Los ejemplos más comunes son lámparas, radios, televisores y teléfonos celulares para uso doméstico; y bombas y motores para usos productivos.

La selección de estas cargas es tan importante como la del resto de equipos fotovoltaicos; por ello hay dos aspectos por considerar cuando se utilizan aparatos que se energizarán a través de un sistema fotovoltaico.

El consumo diario de energía del conjunto de aparatos eléctricos no debe sobrepasar la energía diaria consumida por el sistema fotovoltaico. Es importante recordar que la disponibilidad diaria de energía eléctrica de los sistemas fotovoltaicos es variable pues depende de la radiación solar disponible, del estado de carga de la batería y de la capacidad total de los equipos fotovoltaicos por lo tanto, la energía disponible es limitada y hay que utilizar racionalmente los aparatos: Es recomendable hacer uso, en la medida de lo posible, de aparatos modernos de bajo consumo energético y alta eficiencia.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

Por ejemplo, se descarta el uso de lámparas incandescentes, planchas eléctricas y hornos de microondas.

La necesidad de utilizar aparatos a 120V determina la instalación o no de un inversor, es importante tener en cuenta el tipo de energía que necesitan los aparatos eléctricos que se van a utilizar con el fin de determinar si se necesita o no un inversor. En la decisión hay que tomar en cuenta que el inversor implica un costo adicional del sistema, y que en el mercado se ofrecen varios aparatos electrodomésticos que funcionan a 12V por ejemplo radios de vehículos, lámparas fluorescentes. La suma instantánea de las potencias individuales de cada uno de los aparatos por emplear no debe ser mayor que la capacidad máxima en watts del inversor, se recomienda utilizar inversores construidos especialmente para aplicaciones fotovoltaicas y sobredimensionar la capacidad de éstos en un 20-30 % para prevenir expansiones futuras en la instalación por ejemplo si se tiene un inversor de 300 W de potencia nominal es posible utilizar simultáneamente un máximo de 20 lámparas de 15W cada una, o emplear simultáneamente un televisor de 75W más 15 lámparas de 15W, o cualquier combinación de aparatos cuya suma de potencias se igual o menor que 300W.

La utilización de un inversor no imposibilita el uso de aparatos a 12V de corriente directa. Por lo tanto, una instalación fotovoltaica que disponga de un inversor puede proveer energía tanto a cargas de 12V como a cargas de un voltaje sumamente mayor.



***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

✓ El PLC

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en Inglés PLC (Programmable Logic Controller), en realidad es una computadora industrial utilizada en Ingeniería para automatizar procesos electromecánicos, tales como líneas de producción u otros procesos. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, de lo contrario no producirá el resultado deseado. El uso de los PLC's se remonta a finales de la década de 60's, cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional.

En la implementación de este proyecto se utilizó el PLC S7-200 de Siemens con el siguiente principio de funcionamiento:

❖ **El S7-200 relaciona el programa con entradas y salidas físicas**

- ✓ El S7-200 lee el estado de las entradas
- ✓ El programa almacenado en el S7-200 utiliza las entradas para evaluar la lógica. Durante la ejecución del programa el S7-200 actualiza los datos
- ✓ El S7-200 escribe los datos en las salidas.

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

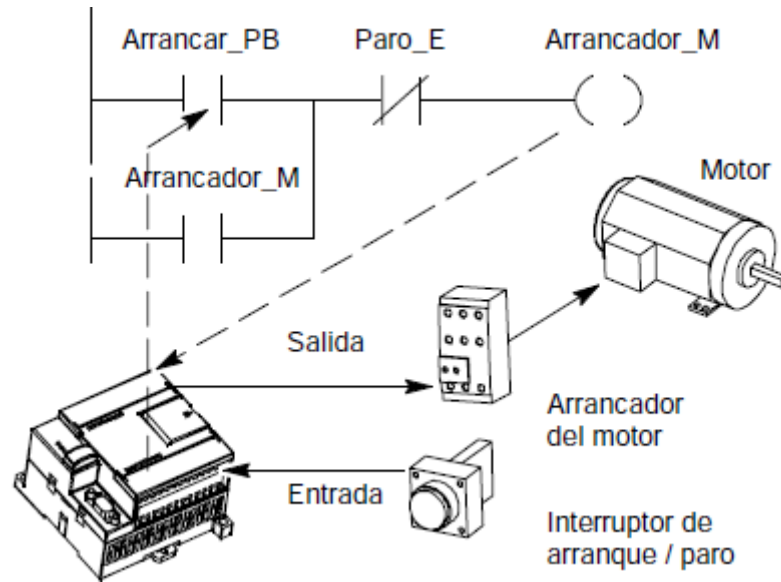


Ilustración D8 Esquema de funcionamiento

❖ **El S7-200 ejecuta las tareas en un ciclo**

- ✓ El S7-200 copia el estado de las entradas físicas en la imagen de proceso de las entradas
- ✓ El S7-200 ejecuta las operaciones del programa y guarda los valores en las distintas áreas de memoria.
- ✓ El S7-200 ejecuta las tareas necesarias para la comunicación
- ✓ El S7-200 verifica si el firmware la memoria del programa y los módulos de ampliación, están trabajando correctamente.
- ✓ Los valores almacenados en la imagen de proceso de las salidas se escriben en las salidas físicas.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

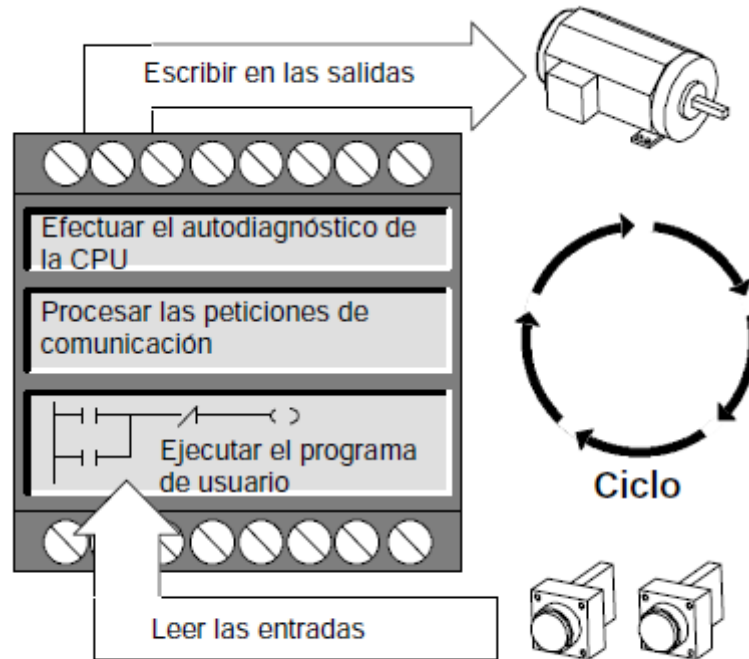


Ilustración D9 Ciclo de trabajo

❖ **Utilizar STEP 7- Micro/WIN para crear programas**

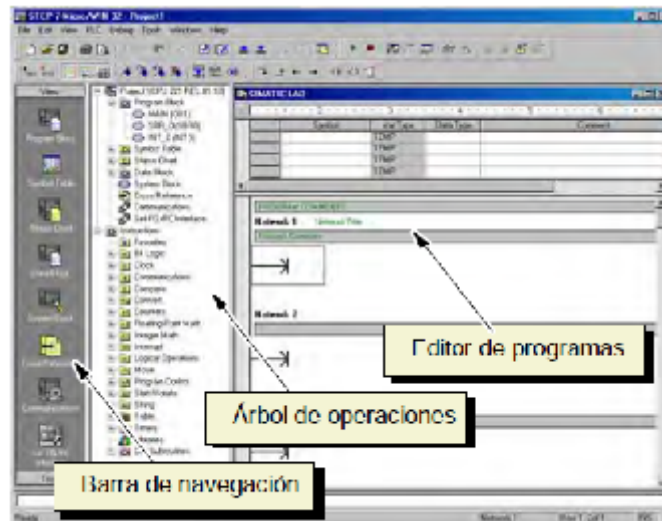
Para iniciar STEP 7- Micro/WIN haga doble clic en el icono de STEP 7- Micro/WIN O elija los comandos Inicio> SIMATIC>STEEP 7- Micro/Win V4.0 como muestra la figura. STEEP 7- Micro/Win ofrece una interfaz de usuario cómoda para crear el programa de control.

Las barras de herramientas contienen botones de método abreviado para los comandos de menú de uso frecuente estas barras se pueden mostrar u ocultar. La barra de navegación comprende iconos que permiten acceder a las diversas funciones de programación de STEEP 7- Micro/Win.

En el árbol de operaciones se visualizan todos los objetos del proyecto y las operaciones para crear el programa de control. Para insertar operaciones en el programa puede utilizar el método de “arrastrar y soltar” desde el árbol de operaciones, o bien hacer doble clic en una operación con el objeto de insertarla en la posición actual del cursor en el editor de programas el editor de programas

## ***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

contiene el programa y una tabla de variables locales donde se pueden asignar nombres simbólicos a las variables locales temporales. Las subrutinas y las rutinas de interrupción se visualizan en forma de fichas en el borde inferior del editor de programas, para acceder a las subrutinas de interrupción o al programa principal, haga clic en la ficha en cuestión.



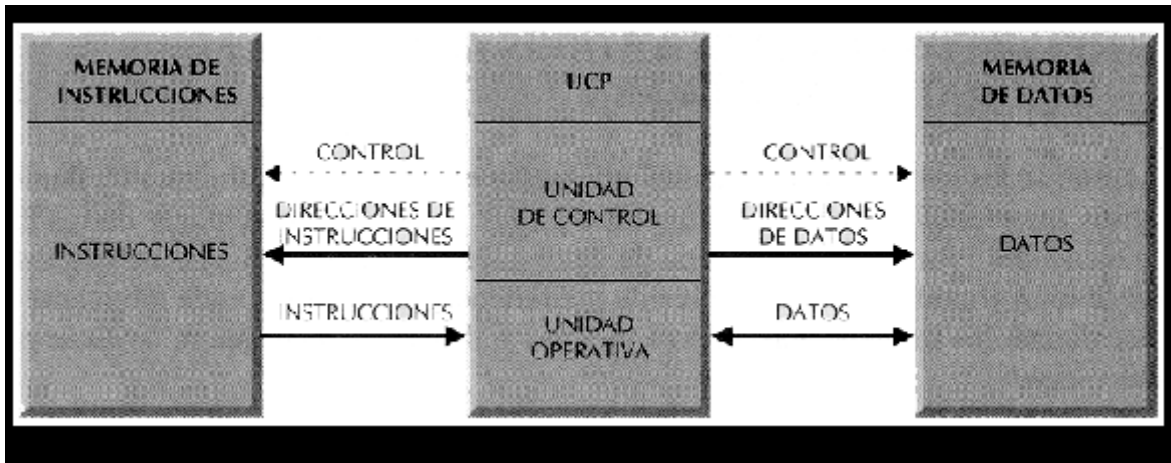
**Ilustración D10**

### ✓ Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador. Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes: Procesador o CPU (Unidad central de proceso), memoria RAM para almacenar los datos, memoria para el programa ROM, Y líneas E/S para comunicarse con el exterior

En un proceso industrial es necesario tener un registro y control eficiente sobre las variables que intervienen en el proceso, con el fin de conocer el comportamiento de las mismas de tal manera que esta información realiza las acciones necesarias para un control seguro y eficiente.

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***



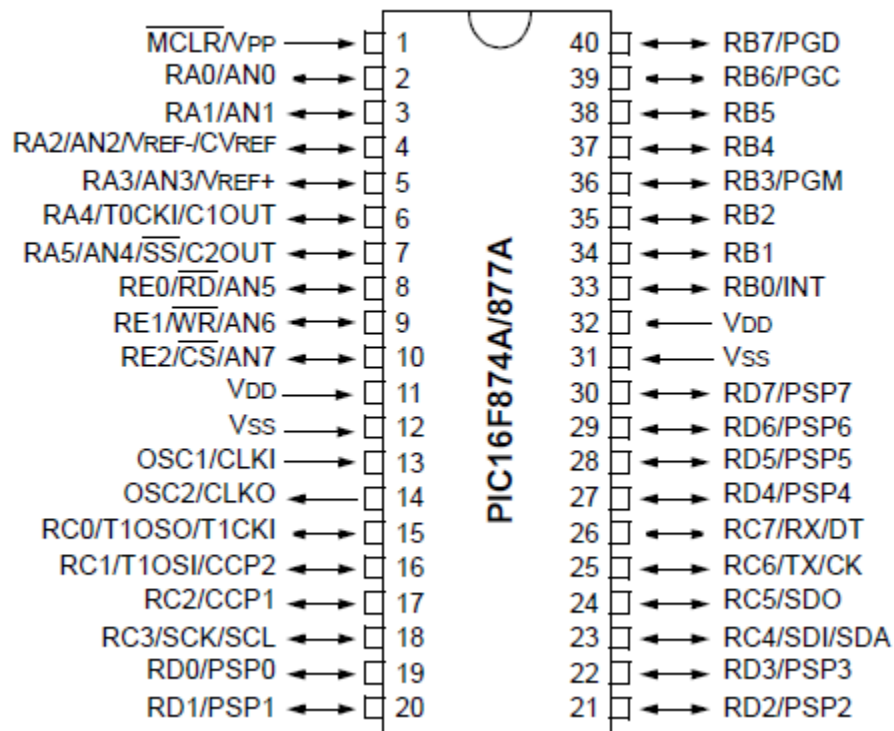
**Ilustración D11 Arquitectura de Microcontrolador**

Por necesidades del proyecto se utiliza el PIC 16F877A de la marca microchip. Este tipo de microcontrolador está estructurado con Arquitectura RISC con 35 instrucciones donde la mayoría se ejecutan en un ciclo de instrucción, cuenta también con una Arquitectura Harvard que separa un bus de programa de 14 bits y un bus de datos de 8 bits.

**Características:**

- 40 pines de encapsulado tipo SDIP
- 4 puertos de entrada/salida de 25mA
- Memoria de datos EEPROM de 256 bytes
- 368 bytes en RAM
- 2 Timers/contadores de 8 16 bits con prescaladores programables
- Timer de 16 bits con prescalador
- 8 convertidores analógico/digital de 10 bits
- 2 módulos PWM de 10 bits
- Puerto serial síncrono SPI e I<sup>2</sup>C
- Modo de reposo para bajo consumo de potencia
- Watchdog timer
- Código de protección programable
- Operación 2 a 5.5V

**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**



**Ilustración D12 Microcontrolador 16F877A**

**CODIGO DEL PROGRAMA PARA MICROCONTROLADOR**

```
#include <16f877a.h>

#device adc=10 //Resolución de la conversión de 10 bits. (0-1024)

#fuses NOWDT, XT, NOPROTECT

#use delay(clock=4000000)

#byte port_b = 0x06

#byte port_d = 0x08
```

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

```
void main()

{

    setup_adc_ports(AN0); //Configura RA0 como única entrada analógica, Donde
    AN0 puede ser,

    //NO_ANALOG, Ninguna entrada analógica

    //ALL_ANALOGS, Todas las entradas analógicas

    //AN0_AN1_AN3, Configura RA0, RA1 y RA3 como entradas analógicas

    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Reloj interno para la conv. Para fijar la
    señal de reloj utilizada en la conversión

    //Otros valores posibles son:

    //ADC_OFF, Para parar el conversor

    //ADC_CLOCK_DIV_32, Utiliza un divisor por 32 de la Fosc.

    set_tris_a(0xff);

    int16 a;

    // float b;

    output_low(PIN_C2); //CCP1

    setup_ccp1(CCP_PWM);

    setup_timer_2(T2_DIV_BY_16, 255, 1);
```

***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

```
set_tris_b(0x00);

set_tris_d(0xff);

port_b=0;

while(true)

{

    set_adc_channel(0);//Fijar el canal a leer:Canal AN0 seleccionado

    delay_us(20);//Retardo para asegurar la conversión,Tiempo empleado en la
conversión ~= 20us,Dato del datasheet de Microchip

    a=read_adc();//Guardar el valor leído en una variable de 16 bits: a

    //b=5.0*valor_leído/1024.0;Adicionalmente, si queremos pasar a voltios la lectura
obtenida:b

    set_pwm1_duty(a);

    delay_ms(50);

    if(input(PIN_D0)) //validando la entrada digital en el pin B0

    {

        port_b = 0b11100000;

        delay_ms(300000);

        port_b = 0b00000000;

        delay_ms(300000);
```



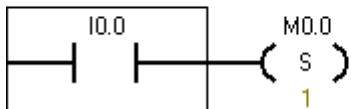
***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

```
port_b = 0b11100000;  
  
delay_ms(300000);  
  
port_b = 0b00000000;  
  
delay_ms(300000);  
  
port_b = 0b11100000;  
  
delay_ms(300000);  
  
}  
  
port_b = 0b00000001;  
  
}  
  
}
```

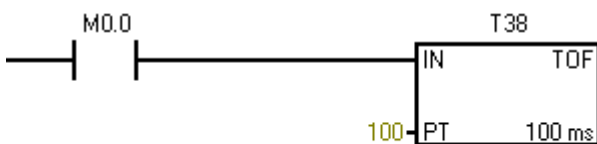
**CODIGO DEL PROGRAMA PARA PLC**

**Network 1** Título de segmento

Comentario de segmento

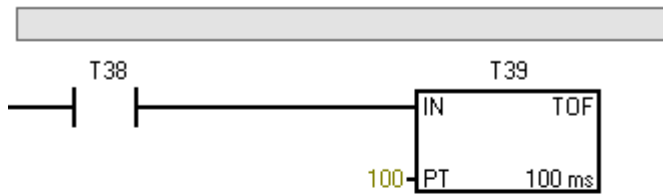


**Network 2**

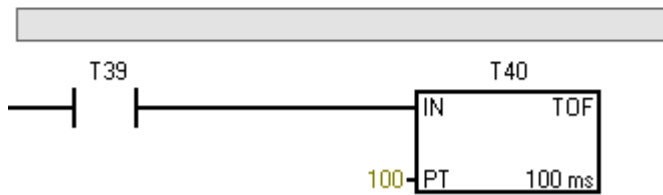


***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

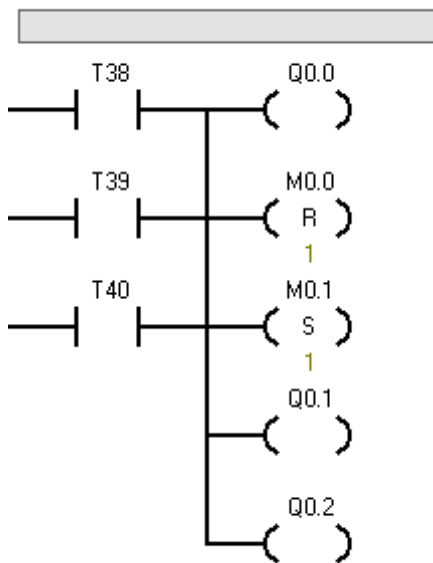
**Network 3**



**Network 4**

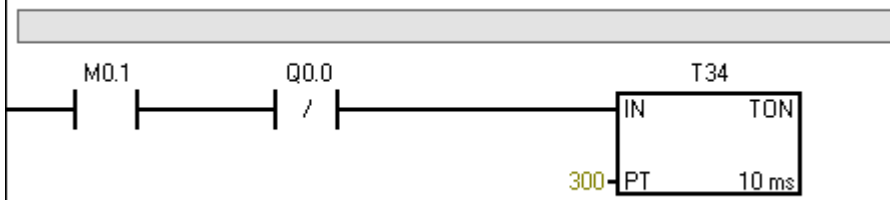


**Network 5**



**“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”**

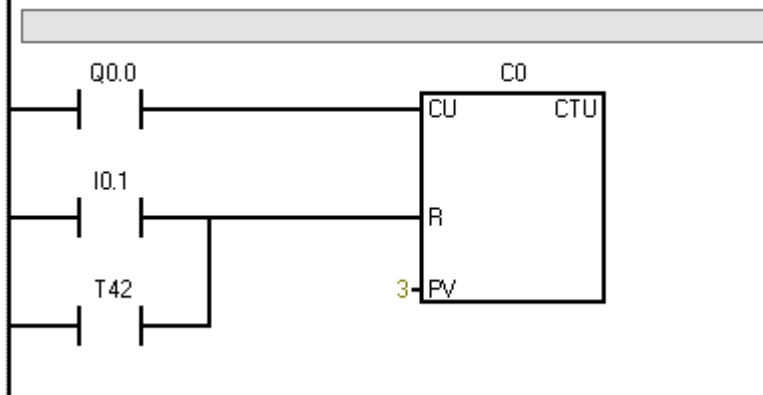
**Network 6**



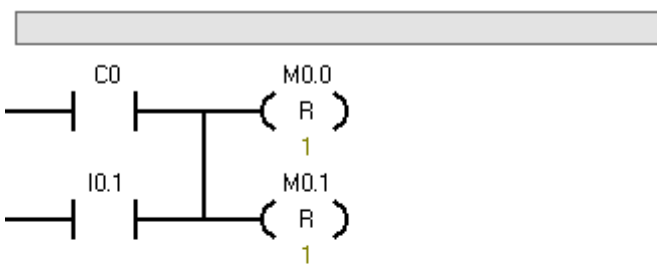
**Network 7**



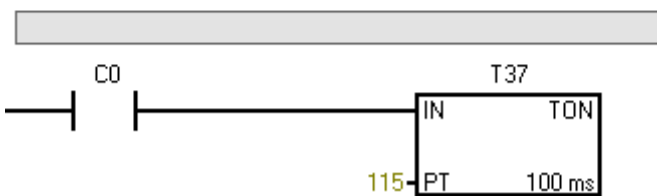
**Network 8**



**Network 9**

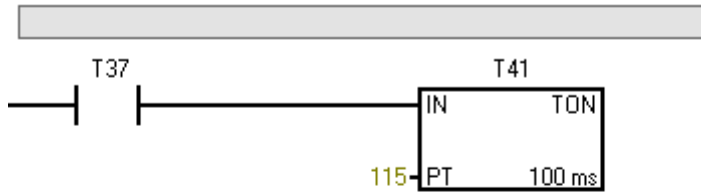


**Network 10**

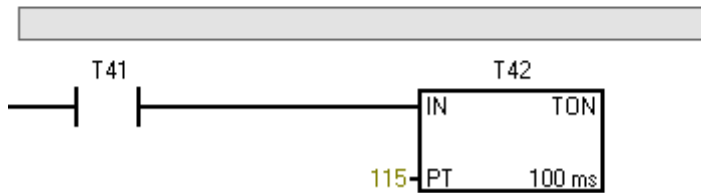


***“Integración del control en un reactor electroquímico para producir hipoclorito de sodio utilizando energía fotovoltaica”***

**Network 11**



**Network 12**



**Network 13**

