

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE
ENERGÍAS Y MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL
GENERADOR DE CLORO PARA DESINFECCIÓN DE AGUA A
PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

MILTON GERMAN AULESTIA CUEVA

WALTER ISAAC AUZ SAAVEDRA

DIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA

CODIRECTOR: ING. WILSON GARZÓN A.

Diciembre 20 del 2006

Sangolquí- Ecuador

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL GENERADOR DE CLORO PARA DESINFECCIÓN DE AGUA A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA” fue realizado en su totalidad por Milton German Aulestia Cueva y Walter Isaac Auz Saavedra, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

**Ing. José Guasumba
DIRECTOR**

**Ing. Wilson Garzón
CODIRECTOR**

Sangolquí, 2006-12-20

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL
GENERADOR DE CLORO PARA DESINFECCIÓN DE AGUA A
PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

ELABORADO POR:

Milton German Aulestia Cueva.

Walter Isaac Auz Saavedra.

DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS Y MECÁNICA

DIRECTOR

Sangolquí, 2006-12-20

DEDICATORIA

El proyecto realizado lo ofrezco a Dios, ya que sin la guía y cuidado de él nada puede existir ni nada se puede hacer.

A mis Padres, por ser tan generosos y buenos conmigo, que además de darme la vida, siempre están junto a mí en las buenas y en las malas, apoyándome siempre teniendo una frase de apoyo y esperanza con mucho cariño y amor.

A mis Hermanos que siempre han sido un apoyo en los momentos más difíciles, sabiendo dar su aliento y empuje para la culminación de esta empresa.

A mis amigos, que son parte muy importante en mi vida por la ayuda y la preocupación honesta que tienen hacia mí, demostrando la importancia que tiene una verdadera amistad.

Milton German Aulestia Cueva

DEDICATORIA

Gracias a DIOS por haberme brindado la oportunidad de poder llegar a culminar una etapa en mi vida y por poderla compartir.

Gracias a mi Padre, mi Madre, mi Hermano y sus hijos, por la enorme comprensión y apoyo en todas las etapas de mi desarrollo como ser humano y persona, ya que por ellos se llegaron a culminar todas las metas que he propuesto para mi vida.

Gracias a mi querida Esposa, por brindarme todo su apoyo para poder culminar este proyecto, el mismo que servirá para compartirlo en los éxitos como pareja por el resto de nuestras vidas.

Gracias a mis amigos por acompañarme y brindarme su apoyo en los momentos que más los necesite, sabiendo entender lo malo y bueno, durante nuestra vida como estudiantes para después seguir compartiendo nuestro desarrollo como profesionales.

Walter Isaac Auz Saavedra

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a DIOS por brindarnos la oportunidad de culminar uno de los peldaños más importantes, para lograr el éxito en nuestra vida, tanto en el hogar como en la vida profesional, por dejarnos compartir con nuestra familia y amigos el triunfo anhelado por todos.

Agradecemos a la Escuela Politécnica del Ejército por ser la facilitadora en nuestra formación tanto profesional como ética y moral.

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería Mecánica y a todos los elementos que la conforman, por haber prestado su apoyo cuando fue requerido y saber encaminar hacia una formación integral para ser buenos profesionales.

Agradecemos a los ingenieros José Guasumba y Wilson Garzón por todo el apoyo y valiosa colaboración para la realización y exitosa culminación de este proyecto.

Agradecemos a todos aquellos que nos apoyaron para la realización y culminación de este proyecto, logrando una buena influencia directa o indirecta muchas gracias.

RESUMEN

La universidad no solo debe generar profesionales plenamente capacitados en el ámbito intelectual sino también debe poner énfasis en el ámbito social, de manera que busque su bienestar y el bienestar de los demás mejorando en lo posible parte de la vida diaria de la gente al facilitar e implementar soluciones, en todos los ámbitos que la ingeniería lo permita.

Debido a la serie de necesidades de innovación en nuestro país, y la búsqueda de un bienestar común, vemos la falta de proveer uno de los mecanismos para proveer de una agua libre de microorganismos apto para el consumo humano, desarrollando un equipo experimental generador de hipoclorito de sodio mediante la electrolisis con el uso de energía solar fotovoltaica y cloruro de sodio “sal común”, especialmente en zonas que carecen de un sistema de desinfección adecuado.

En nuestros tiempos el desarrollo de maquinaria para la purificación del agua es muy costoso, por lo que se les localiza solo en sitios poblados, los cuales no son posibles de ubicar en zonas alejadas de los centros urbanos, lo que obliga a la gente de bajos recursos a utilizar agua contaminada de microorganismos, por lo que el equipo que se esta implantando nos da la opción de llegar a estas regiones, sirviendo como modelo de referencia para otras aplicaciones.

El uso de energías renovables en nuestro país tiene un retraso muy elevado con relación a los países más desarrollados, debido a la falta de una verdadera política, para el estudio e implementación de equipos y programas en la utilización de estas nuevas tecnologías.

La ESPE como uno de los logros al llegar a la excelencia académica en la formación de profesionales líderes en el desarrollo va guiando la utilización de energías alternativas, limpias y sustentables en el lapso de la vida humana, por lo que el desarrollo de nuestro proyecto se ve plenamente justificado.

INDICE GENERAL.

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO	I
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	li
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	lii
DEDICATORIA.....	iv, V
AGRADECIMIENTOS	Vi
RESUMEN	Vii
CAPITULO 1	1
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	1
1.1. ANTECEDENTES.	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.	3
1.4. OBJETIVOS.	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	4
1.5. ALCANCE.	4
CAPITULO 2	7
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1. GENERALIDADES, DEFINICIÓN E IMPORTANCIA DE LA UTILIZACIÓN DE AGUA LIBRE DE IMPUREZAS, CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA APTA PARA EL CONSUMO HUMANO.	7
2.1.1. TRATAMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE BACTERIAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL CLORO.	15
2.2. ENERGÍA SOLAR.	24
2.2.1. APLICACIONES.	26
2.2.2. ALTERNATIVAS DE UTILIZACIÓN.	28
2.2.3. CAPACIDAD Y RENDIMIENTO.	35
2.3. GENERALIDADES, DEFINICIÓN Y USOS ENERGÍA FOTOVOLTAICA.	37
2.4. DEFINICIÓN DE MATERIALES.	48
2.4.1. DISEÑO DEL PANEL SOLAR “FOTOVOLTAICO”	64
2.5. CELDA ELECTROQUÍMICA (CONCEPTO).....	67
2.5.1. DISEÑO DE CELDA ELECTROQUÍMICA.....	69

2.5.2. DISEÑO DE ELECTRODOS.....	69
2.5.3. CALIBRACIÓN DE LA CELDA Y LOS ELECTRODOS.....	80
2.6. DISEÑO DEL TANQUE RESERVORIO.....	81
2.7. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	85
2.8. DISEÑO DEL MODELO DE DESINFECCIÓN.....	85
2.9. INSTALACIÓN Y PRUEBAS.....	86
CAPITULO 3.....	87
3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA DE POZO.....	87
3.1. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DE POZO.....	87
3.1.1. TRATAMIENTO MICROBIOLÓGICO.....	87
3.1.2. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	87
3.1.2.2. PRUEBA MICROBIOLÓGICA DEL AGUA TRATADA NORMA INEN 1108.....	88
CAPITULO 4.....	91
4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE DESINFECCIÓN.....	91
4.1. ASPECTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	91
4.1.1. ESQUEMÁS, PLANOS DE FABRICACIÓN.....	93
4.1.2. ORGANIGRAMA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN.....	93
4.2. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE DESINFECCIÓN.....	94
4.3. CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.....	94
4.4. CUADRO DE ENSAMBLAJE.....	97
CAPITULO 5.....	99
5. PRUEBAS.....	99
5.1. PLAN DE PRUEBAS.....	99
5.1.1. MANEJO Y OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	100
5.1.1.1. SOLUCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO.....	100
5.1.1.2. AGUA OBTENIDA (CLORO RESIDUAL).....	100
5.1.2. PRUEBA DE CONCENTRACIÓN DE CLORO ACTIVO.....	101
5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	103
5.2.1. PRUEBAS REALIZADAS LABORATORIO PUENGASI EMAAP.....	104
CAPITULO 6.....	105
6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	105
6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	105
6.1.1. MATERIALES DIRECTOS.....	105

6.1.2. MANO DE OBRA DIRECTA.....	105
6.1.3. MATERIALES INDIRECTOS.....	107
6.1.4. MANO OBRA INDIRECTA.	107
6.1.5. LOGISTICA DE MATERIALES.....	107
6.1.6. GASTOS MISCELÁNEOS.....	108
6.1.7. COSTOS TOTAL DEL PROYECTO.....	108
6.2. ANÁLISIS FINANCIERO.	109
CAPITULO 7	113
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
7.1. CONCLUSIONES.....	113
7.2. RECOMENDACIONES.	114
BIBLIOGRAFÍA	115

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1.....	11
Ecuación 2.2.....	11
Ecuación 2.3.....	14
Ecuación 2.4.....	14
Ecuación 2.5.....	14
Ecuación 2.6.....	14
Ecuación 2.7.....	27
Ecuación 2.8.....	52
Ecuación 2.9.....	55
Ecuación 2.10.....	63
Ecuación 2.11.....	63
Ecuación 2.12.....	63
Ecuación 2.13.....	67
Ecuación 2.14.....	67
Ecuación 2.15.....	67
Ecuación 2.16.....	67
Ecuación 2.17.....	79
Ecuación 2.18.....	80
Ecuación 2.19.....	80
Ecuación 2.20.....	80
Ecuación 2.21.....	80
Ecuación 2.22.....	80
Ecuación 2.23.....	80
Ecuación 2.24.....	80
Ecuación 6.1.....	109

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estabilidad De Los Coloides.....	11
Figura 2.2. Coágulos	12
Figura 2.3. Floculos.....	12
Figura 2.4. Proceso De Potabilización De Aguas Crudas	14
Figura 2.5. Comprobación Del Panel Solar Antes De La Instalación.	35
Figura 2.6. Mirando Hacia El Futuro. Casa Techada De Paneles Solares.....	39
Figura 2.7. Los Electrones Son Forzados Hacia El Circuito Externo Por Los Fotonos Incidentes	41
Figura 2.8. Lingote De Monocristal De Silicio. Alrededor Obleas Y Células Completas	43
Figura 2.9. Material De Silicio Monocristalino (Izq.) Policristalino (Der)	44
Figura 2.10. Máquina De Alta Presión Para Cortar El Lingote De Silicio En Finas Obleas.	44
Figura 2.11. Deposito De Obleas Para Ingreso Del Horno De Difusión.	45
Figura 2.12. Cámara De Vacío Para La Deposición Por Evaporación Del Metal Conductor Sobre Las Superficies De Las Células.....	45
Figura 2.13. Proceso De Conversión De La Luz Solar En Electricidad En La Célula Fotovoltaica.....	46
Figura 2.14. Panel Fotovoltaico De 43 Wp.....	48
Figura 2.15. Cámara De Pruebas Para Los Módulos, Condiciones Extremás De Humedad Y Temperatura.....	49
Figura 2.16. Panel Fotovoltaico De 43 Wp Con Enfriamiento Por Aire.	50
Figura 2.17. Panel De Película Delgada De 5W De Potencia.	52
Figura 2.18. Curva I-V De Un Panel Fotovoltaico.....	54
Figura 2.19. Conexión De Cuatro Paneles En Paralelo Con Tensión De Salida 12 V. (Izquierda). Conexión De Dos Grupos En Paralelo, C/U Formado Por Dos Paneles En Serie Con Tensión De Salida 24 V. (Derecha).....	61
Figura 2.20. Campo De 100 Kw Formado Por 860 Módulos Agrupados En Unidades De 5 Kw. A Su Vez Formadas Por Varias Filas De Módulos Conectadas En Serie.....	61
Figura 2.21. Sistemás Fotovoltaicos	64
Figura. 2.22. Conexión En Serie De Las Células Fotovoltaicas.	66

Figura. 2.23. Sistema Fotovoltaico.....	66
Figura. 2.24. Celda Electroquímica Electrodo De Cobre Y Carbono.....	67
Figura. 2.25. Celda Electroquímica Disposición De Electrodo De Cobre Y Carbono.....	68
Figura 2.26. Carbono.....	71
Figura 2.27. Cobre.....	75
Figura 2.28. Tanque Reservorio.....	83
Figura.2.29. Modelo De Desinfección.....	85
Figura 3.1. Test Kit Par Cloro Y Ph.....	87
Figura 3.2. Coloración De La Prueba De Cloro Y Ph.....	88
Figura 4.1. Construcción Del Soporte.....	92
Figura 4.2. Pulido De Rebabas Del Soporte.....	92
Figura 4.3. Organigrama De Procesos De Construcción Del Equipo De Desinfección.....	93
Figura 4.4. Diagrama De Control De Calidad.....	95
Figura 5.1. Prueba Con Test Kit Cloro Residual Y Ph.....	100
Figura 5.2. Generación De Hipoclorito De Sodio.....	101
Figura 5.3. Concentración De Cloro Activo.....	103

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Bacterias Que Se Encuentran En El Agua Sin Desinfectar	8
Tabla 2.2. Parámetros Para El Agua Potable Dado Por El INEN.	8
Tabla 2.3. Especies Bacterianas, Virales Y Protozoicas Sensibles A La Acción Del Hipoclorito De Sodio	21
Tabla 2.4. Intensidad Total Sobre Superficie Horizontal En Un Día Típico Claro, Para Diversas Alturas Solares. Los Valores No Son Aptos Para Ser Usados En Cálculos Que Requieran Precisión.....	30
Tabla 2.5. Propiedades Químicas	70
Tabla 2.6. Propiedades Químicas Del Cobre	74
Tabla 3.1. Volúmenes Requeridos De La Solución De Hipoclorito De Sodio ...	89
Tabla 3.2. Pruebas Realizadas Laboratorio Puengasi EMAAP.	90
Tabla 4.1. Registro	96
Tabla 4.2. Informes E Indicadores.....	97
Tabla 5.1. Valores En Las Pruebas.....	99
Tabla 5.2. Concentración De Cloro Activo En La Solución De Hipoclorito De Sodio Obtenido En La Pruebas.	103
Tabla 6.1 Costos Directos De Los Materiales Utilizados	105
Tabla 6.2 Costos De La Mano De Obra Directa	106
Tabla 6.3 Costo De Los Materiales Indirectos Y/O Accesorios Utilizados En La Construcción Del Proyecto.....	106
Tabla 6.4. Costo Total De La Mano De Obra Indirecta.	107
Tabla 6.5. Costo De Logística De Materiales.	107
Tabla 6.6. Gastos Imprevistos.....	108
Tabla 6.7. Costos Totales Del Proyecto.....	108
Tabla 6.8. Ingresos Anuales Del Proyecto	110
Tabla 6.9. Egresos Anuales Del Proyecto	110
Tabla 6.10. Flujo De Caja Del Proyecto	111

CAPITULO 1.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. ANTECEDENTES.

La necesidad de reducir el uso de energías convencionales por causa de los contaminantes que producen, ha llevado a los países desarrollados a buscar nuevas tecnologías, que permitan aumentar el aprovechamiento de las energías no convencionales o renovables desarrollando equipos que ayuden a mejorar la calidad del agua y sean de mayor eficiencia.

El trabajo se realizará basándose en la necesidad de la población rural y destacamentos de frontera, que carecen de agua microbiológicamente pura, por lo que se utilizan métodos alternativos para purificación, los cuales producen un elevado riesgo ya que al no ser utilizados con precisión pueden causar daños a la salud, como por ejemplo al utilizar cloro líquido sin tener el conocimiento de la cantidad óptima para la desinfección del agua, lo que puede producir un exceso de cloro o una baja cantidad del mismo en el mejor de los casos.

En la actualidad el país está sufriendo cambios climáticos bruscos por la excesiva contaminación por el uso indiscriminado de energías no renovables, vemos la oportunidad de emprender el proyecto mediante el uso de las energías renovables y limpias, teniendo en cuenta que en nuestro país se está empezando a desarrollarlas y promocionarlas.

Se crea por lo tanto la necesidad de comprobar de una manera más confiable, que esta tecnología pueda ser sustentada con bases técnicas, utilizando las herramientas existentes hoy en día.

Con la construcción del modelo experimental se trata de resolver un problema, la falta de un sistema o método adecuado para la obtención de agua apta para

el consumo humano, implementando un equipo que elimine los microorganismos contaminantes del agua de los pueblos rurales, dándoles un sistema óptimo, por esta razón el método debe evolucionar conforme al desarrollo tecnológico.

Por lo tanto este proyecto esta encaminando a mejorar uno de los factores que padece la población rural actualmente, de esta manera se trata de ayudar en nuestra sociedad a los que son los más vulnerables.

Con la implementación de este proceso se trata de reducir el uso de las energías no renovables las cuales tienen un elevado efecto contaminante, por lo que las energías limpias vienen siendo un reemplazo importante tomando mayor importancia en los países que están en la necesidad de buscar alternativas nuevas de menor costo y mayor calidad.

Mediante el desarrollo de las etapas del proyecto se busca aprovechar la mayor cantidad de los recursos naturales con los que cuenta nuestro país, en las zonas especificadas para su uso y posterior implantación, dependiendo de los resultados prácticos que obtendremos a la culminación del presente proyecto para lo cual emplearemos las energías renovables que no son agotables en la escala de la vida humana.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

En el país se ve la falta de servicios básicos principalmente en las zonas rurales, uno de estos problemas radica en la falta de agua apta para el consumo humano, es bien conocido que uno de los procesos básicos de la desinfección del agua y tal vez el más caro es la clorificación.

Por lo cual, este proyecto nace de la necesidad de suplir de una solución (hipoclorito de sodio), más barata que el cloro comercial, mediante la utilización de energía solar fotovoltaica, proceso que reduce costos ya que se utiliza energía no convencional, y por medio de una reacción química la obtención de hipoclorito de sodio a partir de sal común.

Como se puede observar al obtener una solución a bajo costo la población puede acceder a un agua de mejor calidad de la que tienen actualmente,

puesto que en la mayor parte de poblaciones rurales tan solo cuentan con agua entubada.

Con este proyecto se dejara las bases para que en futuros proyectos se llegue a una desinfección completa del agua en dichos sectores.

Por otra parte al ser la ESPE una Institución de las Fuerza Terrestre, dentro de sus objetivos se encuentra el desarrollo que permita contribuir al beneficio de las unidades militares fuera de las zonas pobladas.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

Uno de los procesos básicos que debe cumplir la universidad, es el de Extensión aparte de la docencia e investigación.

Por tal motivo este proyecto tiene que ver con los tres procesos anteriormente mencionados; como va a ser de apoyo a la comunidad, en especial para la población rural y puestos de frontera de nuestro ejercito, se esta cumpliendo con la extensión; al utilizar una tecnología nueva, la que se basa en energías no renovables, se torna imprescindible realizar la respectiva investigación tanto sobre los procesos en si, como en el impacto ambiental que puede tener la realización de este plan.

El proyecto se basa en las necesidades de la gente de contar con agua de mejor calidad, es decir microbiologicamente pura, aumentando las posibilidades de una mayor producción al mantener a una población sana, dando un valor agregado a la utilización de energías alternativas.

Esto permitirá la utilización de tecnología alternativa no convencional de uso fácil, larga duración, no contaminantes y mantenimiento reducido, este servicio de orden social, ayudará a mantener una sociedad libre de enfermedades producidas por el agua contaminada.

Denotando que esto tratara de mejorar la calidad de vida en el campo y en los destacamentos de frontera.

Para comprobar la factibilidad y funcionalidad se realizará un modelo experimental el cual será construido y probado en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

- Desarrollar un Equipo Experimental Generador de cloro para la desinfección de agua a partir de Energía Solar Fotovoltaica.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Investigar el fundamento teórico relacionado con la purificación de agua y sus posibles aplicaciones.
- Aplicar la energía fotovoltaica.
- Utilizar los principios y fundamentos de la celda electrolítica

1.5. ALCANCE.

Disponer de un equipo para la desinfección de agua de bajo mantenimiento y fácil manejo. Con la implantación de este equipo se busca mejorar las condiciones del agua que se consume en el área rural y las bases militares de frontera, ya que en estos sectores no existe servicios básicos como es el agua potabilizada, sino que en el mejor de los casos se tiene solamente agua entubada, por lo que al proveer de una agua microbiológicamente pura se reduce de manera considerable gran parte de las enfermedades gastrointestinales producida por una agua de mala calidad.

Un beneficio adicional que se puede observar en este proyecto, es que no se requiere energía eléctrica ni del tendido domiciliario, ni de plantas móviles, ya que la energía requerida será dotada por un sistema de células fotovoltaicas, logrando que este sistema sea autónomo, por lo que da la facilidad de que puede funcionar en cualquier lugar donde exista la presencia de luz solar.

Al contar con modelo experimental se puede realizar las pruebas necesarias para tener una noción clara de factibilidad de la implementación de este equipo en las zonas antes indicadas viendo sus beneficios reales en condiciones normales de uso.

CAPITULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

2.1. GENERALIDADES, DEFINICIÓN E IMPORTANCIA DE LA UTILIZACIÓN DE AGUA LIBRE DE IMPUREZAS, CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA APTA PARA EL CONSUMO HUMANO.

El tratamiento del recurso agua se puede dividir en dos categorías, según sea si se trata de agua dulce que no ha sido utilizada para cubrir las necesidades del hombre, o de agua que éste ha emitido como residuo después de usarla.

- Tratamiento de aguas continentales de origen superficial o subterráneo.
- Tratamiento de aguas residuales de origen doméstico o industrial.

El agua pura no se encuentra en forma natural porque está normalmente contaminada por el aire y el suelo. Las impurezas pueden ser orgánicas y/o inorgánicas ya sea disueltas, o en forma de material particulado. Estas impurezas pueden provenir de la degradación biológica de sustancias orgánicas que producen ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; de sustancias inorgánicas como metales tóxicos, material particulado como arcillas y sedimentos y de microorganismos como bacterias, virus y protozoos.

Los contaminantes químicos corrientes son metales pesados como hierro, manganeso, plomo, mercurio, arsénico, cobre, cinc, compuestos nitrogenados tales como amoníaco, nitrito y nitrato, carbonato o bicarbonato de calcio y magnesio, aniones como cloruro, fluoruro, sulfato y silicatos y las mencionadas, sustancias orgánicas. Aparte de estas sustancias, existen otros contaminantes de carácter antropogénico tales como cianuros, fenoles, cromo y detergentes.

Los contaminantes biológicos del agua y sus efectos se dan en la siguiente tabla:

Tabla 2.1. Bacterias que se encuentran en el agua sin desinfectar

Microorganismo	Nombre	Enfermedad
Bacteria	Salmonella typhi	tifus
Bacteria	Vibrio cholerae	cólera
Bacteria	Shigellas	disentería
Bacteria	Grupo de salmonella	gastroenteritis
Virus	-	hepatitis
Ameba	Entamoeba histolytica	disentería amébrica
Lombriz	Taenia saginata	triquinosis

El agua para beber debe cumplir con una serie de requisitos de calidad física, química y biológica. Desde el punto de vista físico el agua debe ser traslúcida, con una turbiedad y color mínimo según normas sanitarias, inodora y de agradable sabor. Los requisitos de calidad química implican que el agua potable no debe contener los siguientes elementos o compuestos en concentraciones totales mayores que las indicadas en la tabla a continuación.

Tabla 2.2. Parámetros para el agua potable dado por el INEN.

PARAMETRO	UNIDAD	Limite máximo Permisible
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	No objetable
Sabor	--	No objetable
pH	--	6,5 -8,5

Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Inorgánicos		
Aluminio, Al	mg/L	0.25
Amonio, (N-NH ₃)	mg/L	1.0
Antimonio, Sb	mg/L	0.005
Arsénico, As	mg/L	0.01
Bario, Ba	mg/L	0.7
Boro, B	mg/L	0.3
Cadmio, Cd	mg/L	0.003
Cianuros ,CN	mg/L	0.0
Cloro libre residual*	mg/L	0.3-1.5
Cloruros, Cl	mg/L	250
Cobalto, Co	mg/L	0.2
Cobre, Cu	mg/L	1.0
Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/L	0.05
Dureza total,	mg/L	300
Estaño, Sn	mg/L	0.1
Flúor, F	mg/L	1.5
Fosforo, (P-PO ₄)	mg/L	0.1
Hierro, Fe	mg/L	0.3
Litio, Li	mg/L	0.2
Manganeso, Mn	mg/L	0,1
Mercurio, Hg	mg/L	0.0
Niquel, Ni	mg/L	0.02
Nitratos, N-NO ₃	mg/L	10
Nitritos, N-NO ₂	mg/L	0.0
Plata, Ag	mg/L	0.05
Plomo, Pb	mg/L	0.01

Potasio, K	mg/L	20
Selenio, Se	mg/L	0.01
Sodio, Na	mg/L	200
Sulfatos, SO ₄	mg/L	200
Vanadio, V	mg/L	0.1
Zinc, Zn	mg/L	3
Radiactivos		
Radiación total α**	Bq/l	0.1
Radiación total β***	Bq/l	1.0
* cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos		
** corresponde a la radiación emitida por los radionucleidos		
*** corresponde a la radiación emitida por los radionucleidos		

Fuente: INEN

AGUA POTABLE REQUISITOS

INEN 1108

2006-03

Para asegurar la salud de la población, al agua potable se le exige que no contenga microorganismos patógenos. Como no es práctico examinar todos éstos, se recurre a examinar bacterias del grupo coliforme, indicativa de la contaminación de animales y de la bacteria *Escherichia coli*, indicativa de contaminación fecal.

Muchas de estas impurezas, incluyendo los microorganismos patógenos, los ácidos húmicos que son corrientemente responsables del color, los ácidos fúlvicos y los complejos arcilla-metal están en el rango del tamaño coloidal: 1 µm a 10 µm (1 nanómetro = 10⁻⁹m; 1 micrómetro = 10⁻⁶m).

Los coloides¹ son partículas de tamaño intermedio entre las moléculas y las partículas suspendidas que tarde o temprano decantan por efecto de la

¹ www.Potabilizacióndeaguasnaturales.htm

gravedad. Es decir el estado coloidal está entre las soluciones y las suspensiones que terminan precipitando. Aunque las partículas coloidales son muy pequeñas, son lo suficientemente grandes como para dispersar la luz (efecto Tyndall) por lo que estas partículas comunican aspecto turbio u opaco del agua, a menos que estén muy diluidas. La mayoría de los coloides están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y por lo tanto no precipitan.

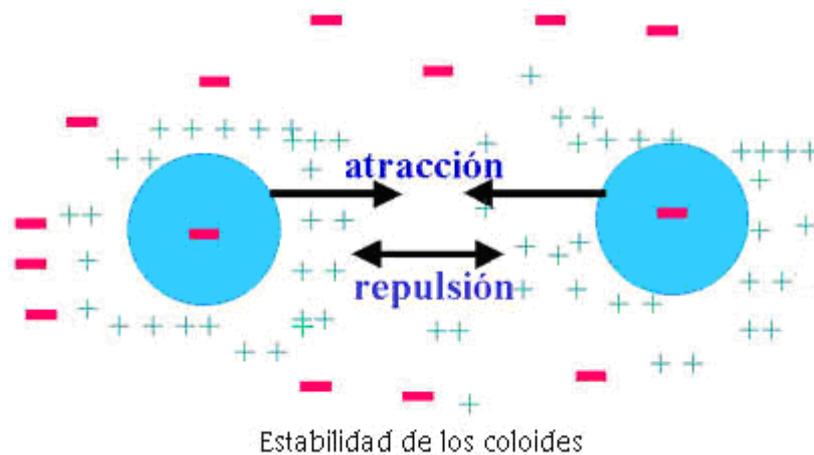


Figura 2.1. Estabilidad de los coloides

El objetivo para obtener un agua limpia y sana, potable, de un agua natural, es remover los sólidos suspendidos, aglomerar y decantar los coloides y desinfectarla de organismos patógenos.

El agua natural, cruda o impura, puede provenir de ríos, lagos, embalses o de fuentes subterráneas. El tratamiento de estas aguas suele constar de varias etapas. En el caso de aducción superficial, el tratamiento comprende las etapas de filtración gruesa, sedimentación mediante el proceso físico químico de coagulación - floculación, filtración por arena y desinfección. Después de la filtración gruesa a través de rejillas y mallas donde quedan piedras, ramas y otras impurezas que flotan o se arrastran, el agua se deja reposar en estanques desarenador en los cuales se asienta la arena fina y otras partículas pequeñas. Luego el agua se hace pasar a otros estanques en los cuales coagulan las partículas muy finas, como las arcillas coloidales, mediante la

adición de sulfato de aluminio o cloruro o sulfato férrico, sales que producen la aglomeración de los coloides con formación de agregados coloidales, o flóculos que pueden decantar debido a su mayor tamaño y peso.

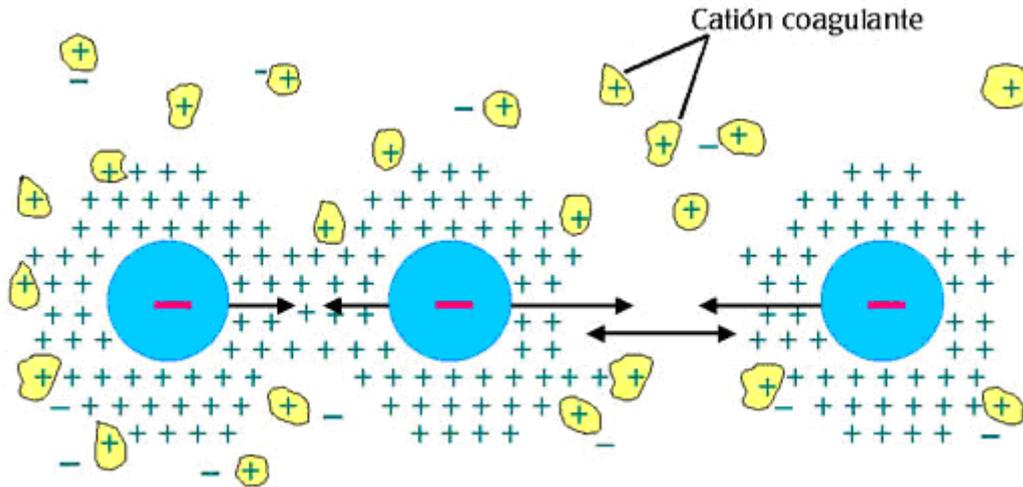


Figura 2.2. Coágulos

La coagulación implica tres etapas: adición de coagulante, desestabilización de la partícula coloidal y formación de flóculos. La adición de sales coagulantes como las ya dichas sulfato de aluminio, sulfato férrico o cloruro férrico, produce cationes poliméricos tales como $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{7+}$ y $[Fe_3(OH)_4]^{5+}$ cuyas cargas positivas neutralizan las cargas negativas de los coloides, permitiendo que las partículas se unan formando aglomerados pequeños denominados flóculos.

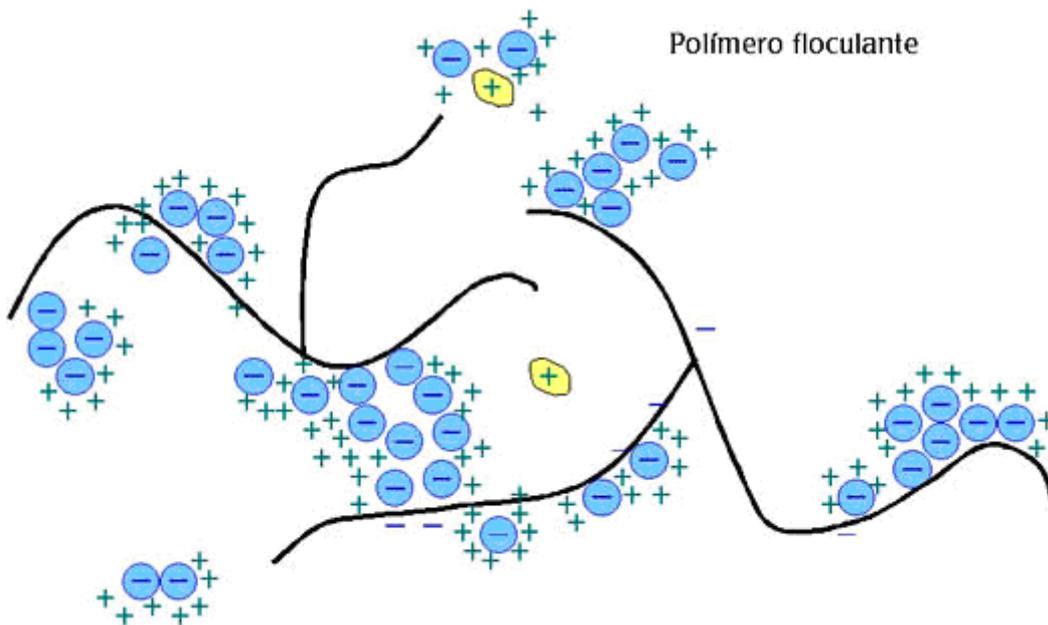
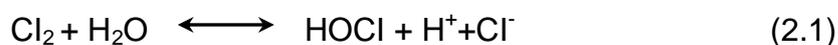


Figura 2.3. Floculos

La reunión de estos flóculos pequeños en conglomerados mayores (floculación) se realiza con ayuda de polímeros polielectrolíticos, que permiten la decantación a velocidades altas de sedimentación. Debido a que la coagulación y la inmediata etapa de floculación ocurren muy rápidamente, en la práctica poco se distinguen.

Las dosis de coagulantes son mayores a 0,03 milimoles/litro como Fe y mayores a 0,05 mmol/L como Al y el pH más cercano al neutro, es el más adecuado. Los polielectrolitos más usuales son las poliacrilamidas con grupos carboxilato.

Una vez decantados y filtrados los flóculos, a través de arena, el agua se somete a desinfección. El principal desinfectante que se emplea es el cloro. La disolución de este gas en agua a 25°C y 1 atmósfera de presión es aproximadamente 7g/L. Cuando el cloro se disuelve en agua, reacciona con ésta para formar ácido hipocloroso (HOCl):



A su vez el ácido hipocloroso se disocia parcialmente:



De todas estas especies que se generan por reacción con agua, sólo el ClO^- y HOCl son bactericidas, por lo que para cualquier tratamiento de desinfección es preciso operar a un pH que permita la máxima concentración de estas especies.

El agua desinfectada se filtra y debe quedar al menos con 0,2 mg/L de cloro residual para prevenirla de contaminación biológica en el camino de la planta al consumidor.

El siguiente esquema muestra el tratamiento para la potabilización de aguas crudas.

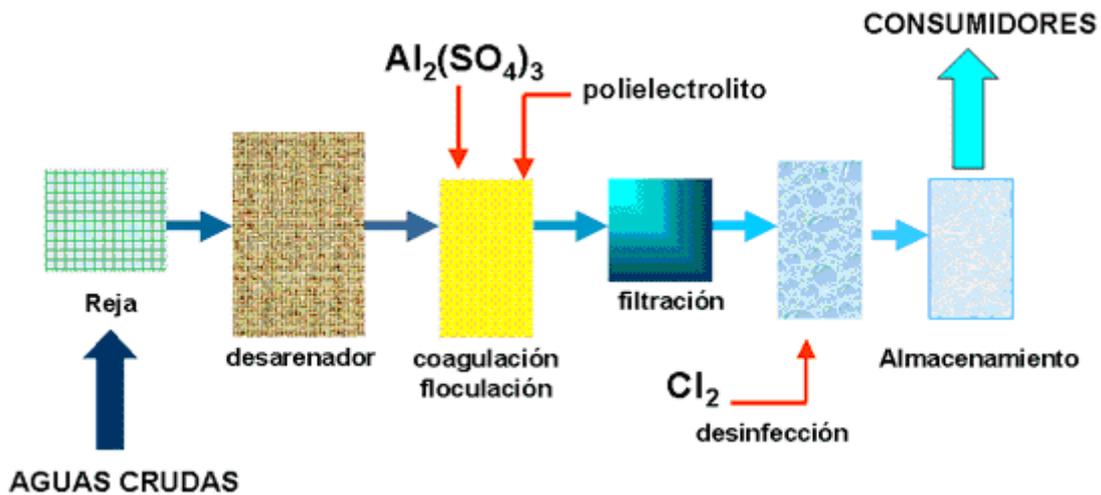


Figura 2.4. Proceso de potabilización de aguas crudas

El agua cruda que en un 85% es de origen superficial, se libera de piedras y otros materiales, para luego pasar a estanques desarenadores. El agua así tratada se conduce a la planta de coagulación y floculación donde el movimiento lento de ella ayuda a la formación de flóculos. El proceso de coagulación-floculación se repite por lo que luego de una segunda decantación, el agua se hace pasar por estaques, donde hay capas de arena y carbón. Finalmente se somete a cloración al yacimiento del agua

APLICACIONES DEL AGUA PURIFICADA

Las aplicaciones del agua purificada están dadas por las necesidades del ser humano, en el tratamiento de sus alimentos, la limpieza de sus cuerpos, utensillos de cocina, ropa y su aseo personal, la crianza más sana de animales al eliminar la parasitosis,

El agua tratada al permanecer en reservorios especiales para almacenamiento, se mantiene libre de microorganismos de tal manera que puede ser consumida a lo largo de un tiempo considerable evitando tratamientos posteriores, lo cual reduce el costo de mantenimiento.

2.1.1. TRATAMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE BACTERIAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL CLORO.

Cloro como desinfectante.

El cloro es uno de los desinfectantes² más utilizados. Es muy práctico y efectivo para la desinfección de microorganismos patogénicos. Cloro se puede utilizar fácilmente, medir y controlar. Es persistente en su justa medida y relativamente barato.

El cloro se ha utilizado en muchas aplicaciones, como la desactivación de patógenos en agua potable, piscinas y aguas residuales, para la desinfección de áreas domésticas y para el blanqueamiento de textiles, por más de doscientos años. Cuando se descubrió el cloro, todavía no se sabía que las enfermedades eran causadas por los microorganismos en el agua. Fue en el siglo XIX cuando doctores y científicos se dieron cuenta de que muchas enfermedades eran contagiosas y que el contagio de la enfermedad puede prevenirse mediante la desinfección de las áreas de hospitales. Pronto después, se empieza a experimentar con el cloro como agente desinfectante. En 1835 el doctor y escritor Oliver Wendel Holmes recomienda a las ama de casa el lavarse las manos con calcio hipoclorito ($\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) para prevenir el contagio de la fiebre del ama de casa.

De cualquier manera, solo comenzamos a utilizar desinfectante a escala general en el siglo XIX, después de que Louis Pasteur descubriera que los microorganismos son los responsables del contagio de muchas enfermedades. El cloro ha jugado un importante papel en alargar la esperanza de vida de los seres humanos.

² Manual de purificación de agua de EMAP.-001F
<http://www.lennotech.com/espanol/formulario-de-consulta.htm>

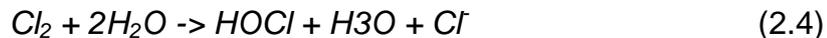
Como funciona la desinfección por cloro?

El cloro mata patógenos como las bacterias y los virus, rompiendo las uniones químicas moleculares. Los desinfectantes usados para esta aplicación consisten en compuestos de cloro que pueden intercambiar átomos con otros compuestos, como enzimas en bacteria y otras células. Cuando las enzimas entran en contacto con el cloro, uno o más de los átomos de hidrógeno es substituido por el cloro³. Esto provoca que la molécula se transforme o se rompa. Si la encima no funciona correctamente, causa la muerte de la célula o bacteria.

Cuando se añade cloro al agua, se forma ácido hipocloroso:



Dependiendo del valor de Ph, ácido hipocloroso en parte se descompone en iones de hipoclorito



Este se descompone en átomos de cloro y oxígeno:



Ácido hipocloroso (HOCl), que es eléctricamente neutral, y iones hipoclorito (OCl⁻), eléctricamente negativos, forman cloro libre que se combina junto. Esto es lo que provoca la desinfección.

Ambas sustancias tienen un comportamiento muy distintivo. Ácido hipocloroso es un agente más reactivo y más fuerte que el hipoclorito. El átomo de oxígeno es un desinfectante muy poderoso.

³ Chang, Raymond, *Química*, México, McGraw-Hill, 4a edición, 1992

Las propiedades de desinfección del cloro en agua se basan en el poder de oxidación de los átomos de oxígeno libre y reacciones de sustitución del cloro.

La pared celular de los microorganismos patógenos está cargada negativamente. De esta manera puede ser penetrado por el ácido hipocloroso neutro, en lugar del hipoclorito cargado negativamente.

Ácido hipocloroso puede penetrar capas limosas, paredes celulares y capas protectoras de microorganismos matando de manera efectiva los patógenos. Los microorganismos mueren o su actividad reproductiva se ve inhibida.

La efectividad de la desinfección se determina mediante el PH del agua. Desinfección con cloro tiene lugar a PH óptimo entre 5.5 a 7.5. Ácido hipocloroso (HOCl) reacciona más rápidamente que los iones de hipoclorito (OCl⁻); esto es un 80-100% más efectivo. El nivel de ácido hipocloroso disminuirá cuando el valor del PH sea más alto. Con un valor de PH de 6, el nivel de ácido hipocloroso es de un 80% y el resto son iones hipoclorito. Cuando el valor del PH es 8, ocurre lo contrario. Cuando el valor del PH es de 7.5 las concentraciones se igualan.

El hipoclorito de sodio o lejía representa seguramente uno de los más potentes y eficaces germicidas de amplio espectro descubiertos por el hombre, teniendo la capacidad de destruir hasta el 99.99% de los gérmenes, bacterias, virus, algas, huevos, esporas y protozoos, si se respetan las condiciones de uso correctas, como la concentración y el tiempo de contacto entre el desinfectante y el material a tratar.

El hipoclorito de sodio se utiliza en la mayor parte de los acueductos del norte de Europa y el Norte de América para garantizar la perfecta higiene del agua potable.

Un segundo uso conocido por todos consiste en la desinfección de las aguas de piscina, donde se conoce con el nombre genérico de "cloro", pero resulta igualmente empleado desde hace tiempo en la industria alimentaria o del tratamiento de las aguas residuales y en la desinfección en general.

El método de producción propuesto toma en esencia exactamente lo que las industrias químicas siguen para producir el valioso desinfectante en cantidades industriales, con la característica principal de utilizar, por elección precisa materiales pobres, localizables por tanto en cualquier lugar, incluso en países en vías de desarrollo.

La cantidad de hipoclorito de sodio que se consigue producir con el método propuesto y que permite obtener una concentración de producto activo semejante a la que se presenta normalmente en el comercio es notable si se considera que en una hora de tratamiento de electrolisis se consigue obtener una cantidad de desinfectante concentrado suficiente para convertir en agua libre de microorganismos, según los estándar higiénico sanitarios el agua para beber de un total de cerca de 500 - 800 personas por día, y es precisamente el agua destinada al consumo humano la que resulta responsable de la mayor parte de las epidemias como son el tifus, salmonelosis, cólera y gastroenteritis.

Con este dispositivo es por tanto posible obtener teóricamente la cobertura completa de las exigencias de desinfectante para cada una de las realidades locales pudiendo producir el agente con el empleo de materiales al alcance de todos y sin límites de cantidad o materia prima que tratar; constituida por agua salada.

Campos de aplicación del hipoclorito de sodio desinfectante

- Aguas para destino alimentario humano y animal
- Desinfección de carnes, hortalizas y fruta.
- Esterilización de biberones.
- Desinfección sistemática de sábanas, ropas y tejidos infectados.
- Desinfección de llagas y heridas.
- Tratamiento de micosis.
- Desinfección de instrumental quirúrgico.
- Desinfección de animales, paredes de establos y sus residuos.
- Partes anatómicas, sangre.
- Desinfección de cubiertos, platos, pucheros.

Cual es la dosis de cloro aplicable?

Cuando se aplica el cloro se tienen que tener en cuenta las reacciones que provocan con el agua. La dosis debe ser suficientemente alta para que exista una cantidad de cloro residual para la desinfección.

La cantidad de cloro necesario viene condicionada por la cantidad de materia orgánica en el agua, el PH del agua, el tiempo de contacto y la temperatura. El cloro reacciona con materia orgánica a subproductos de la desinfección, como trihalometanos (THM) y ácidos acéticos halogenados (HAA).

El cloro se puede utilizar como desinfectante en diferentes maneras. Cuando se aplica cloración ordinaria, el cloro simplemente es añadido al agua sin necesidad de pretratamiento. Pre y post cloración significa la adición de cloro antes de o después de otros pasos. Re-cloración significa la adición de agua tratada en uno o varios puntos del sistema de distribución para preservar la desinfección.

Cual es la concentración de cloro aplicable?

Cloro gas se puede obtener como gas fluido o como líquido en recipientes. El cloro es muy soluble en el agua (3 L cloro/ 1 L agua). La eliminación de bacterias requieren poca cantidad de cloro, alrededor de 0,2-0,4 mg/L. La concentración de cloro añadida en el agua es normalmente más alta. Actualmente el gas cloro se usa únicamente en grandes instalaciones de purificación del agua municipal e industrial a gran escala. Para pequeñas aplicaciones se añade generalmente hipoclorito de sodio o de calcio por ser más conveniente económicamente.

Que factores determinan la efectividad en la utilización del cloro como desinfectante?

Los factores que determinan la efectividad de la desinfección del cloro:
Concentración de cloro, tiempo de contacto, temperatura, PH, cantidad y tipos de microorganismos, concentración de materia orgánica en el agua.

Cuales son los efectos para la salud del cloro?

Las reacciones del cuerpo humano al cloro, depende de la concentración de cloro presente en el aire, y la duración y frecuencia de exposición. Los efectos dependen igualmente de la salud de cada individuo y condiciones ambientales durante la exposición.

Cuando cantidades pequeñas de cloro se respiran durante tiempos cortos de tiempo, esto puede afectar el sistema respiratorio. Los efectos varían entre la tos y dolores en el pecho, hasta la acumulación de fluidos en los pulmones.

El cloro puede provoca también la irritación de ojos y piel. Estos efectos no se producen en condiciones naturales. Cuando el cloro entra en el cuerpo no es muy persistente, debido a su reactividad.

Cloro puro es muy toxico, incluso en pequeñas cantidades. Durante la primera guerra mundial, el cloro gas se uso en grandes cantidades para matar los soldados enemigos, siendo los alemanes los primeros en utilizarlo.

El cloro es más denso que el aire, causando la formación de humo toxico sobre el suelo. Gas cloro afecta la membrana mucosa (nariz, garganta y ojos). El cloro es toxico en membranas mucosas porque las disuelve, de manera que el cloro gas termina en la sangre. Cuando se respira cloro gas, se provoca la liberación de fluidos en los pulmones, como si se tratara de un ahogo.

**Tabla 2.3. Especies Bacterianas, Virales y Protozoicas Sensibles a la
Acción del Hipoclorito de Sodio**

<ul style="list-style-type: none"> - Tifus abdominal Salmonella - Paratifus Salmonella para tipos A y B - Disentería bacteriana Shigella disenteriae - Disentería amébrica Entamoeba histolítica - Colera Vibrio colerae Vibrio El Tor - Poliometitis Poliovirus - Tuberculosis Microbacterium tuberculosis - Tétanos Clostridium tetani - Difteria Corynebacterium - Sífilis Treponema palidum - Blenorragia Neisseria ganorroae - Brucelosis Coccobacteris 	<ul style="list-style-type: none"> - Leptospirosis Leptospiras - Tox infecciones alimentarias Estafilococos - Hepatitis vírica A Virus hepatitis A - Hepatitis vírica B Virus Hepatitis B - Gastroenteritis virales Virus - Viruela Virus - Lepra Microbacterium leprae - Peste Pasteurella pestis - HIV Virus HIV - Carbunco Bacillus anthracis - Afta epizoica
--	---

Esta lista resulta, naturalmente, incompleta, se recuerda que la acción desinfectante del hipoclorito de sodio se orienta hacia cualquier especie microscópica y submicroscópica a condición de respetar los parámetros clave: la concentración del desinfectante, el tiempo de contacto y el perfecto contacto del producto con el material o líquido a tratar.

Desinfección del agua para consumo humano⁴:

En ausencia de sistemas analíticos de control de la concentración de desinfectante añadido al agua a tratar el problema principal consiste en conseguir saber si se ha añadido la cantidad suficiente de hipoclorito en el agua.

El procedimiento a seguir consiste simplemente en la prueba de sabor del agua de forma continuada a medida que se procede a la adición del desinfectante partiendo de una primera dosis igual a un litro de desinfectante por cada 300/500 litros de agua a tratar.

Efectuar la primera prueba después de al menos 10 min. de tiempo después de la adición del producto (con el fin de asegurar una cierta eliminación de posibles formas patógenas presentes); para las sucesivas adiciones de hipoclorito de sodio este tiempo de espera no es necesario.

Cuando se advierta un tenue y persistente sabor a "cloro" se habrá alcanzado una concentración de seguridad: se ha verificado repetidas veces que en estas condiciones empíricas de dosificación se alcanzan concentraciones de cloro activo iguales a aproximadamente 1-5 mg/litro en agua limpia.

Como término de comparación se recuerda que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda garantizar una dosificación de cloro activo igual a 0.5 mg/litro para un tiempo de contacto de al menos 30 minutos.

En estas condiciones se obtiene la destrucción del 99.99% de las especies bacterianas presentes (si se quiere incluir las especies virales el tiempo de contacto recomendado se elevará hasta una hora).

⁴ www.uca.potabilizacióndelagua.com.ar

IMPORTANTE:

La concentración inicial de cloro activo tiende rápidamente a bajar en el curso de los primeros minutos de la dosificación: hay que asegurarse por tanto, con la prueba del Test Kit, la continua presencia del desinfectante en el agua.

NOTAS:

- El tiempo de contacto con el desinfectante, una vez concluidas las adiciones, no deberá ser inferior a 30 minutos.
- Es de fundamental importancia remover continuamente la masa líquida durante las sucesivas adiciones.
- La turbiedad del agua a tratar reduce rápidamente la eficacia desinfectante del hipoclorito de sodio: utilizar, por tanto, en la medida de lo posible, aguas filtradas o de lluvia.
- Cuidar la perfecta limpieza mecánica de pozos o cisternas antes de empezar el tratamiento desinfectante. En caso contrario el cloro añadido será consumido principalmente por las sustancias orgánicas depositadas sobre las paredes.
- Una hipotética sobredosis de hipoclorito de sodio no causa ningún daño a la salud excepto un empeoramiento del gusto del agua. Se sugieren en este caso diluir el agua con otra no tratada respetando después el tiempo de acción en contacto.

Desinfección de heridas:

Diluir el producto concentrado 1:10 (1 litro + 9 litros de agua limpia).

Después del tratamiento desinfectante aclarar con la solución diluida de desinfectante (1:20) preparada algunas horas antes con el fin de eliminar la sal residual normalmente presente en el hipoclorito de la herida evitando así irritaciones locales.

Desinfección y lavado de alimentos:

La fruta y la verdura se pueden descontaminar sin dañar su calidad lavándolas con una solución diluida de hipoclorito de sodio (proporción 1:1000).

Pescados y moluscos de aguas contaminadas pueden ser tratados con el producto desinfectante (disolución 1:20)

Salpicaduras de sangre, excrementos y líquidos biológicos:

Utilizar el producto diluido (1:1) con tiempos de contacto de al menos 30 minutos.

Otros usos (desinfección de materiales quirúrgicos o para uso dental; tratamiento de suelos, superficies de trabajo. superficies lavables, muebles, cubiertos, ropas, establos o animales):

Diluir el producto concentrado 1:10 (1 litro + 9 litros de agua no turbia). Tiempo de contacto no inferior a 30 minutos.

2.2. ENERGÍA SOLAR.

El Sol⁵ es una de las innumerables estrellas que hay en nuestra galaxia, la más cercana y, sin duda, también la más importante para nosotros, ya que sin ella no existiríamos, ni existiría ninguna forma de vida sobre la Tierra. Es una estrella de tipo medio; su radio es de unos 700 000 Km. y su masa equivale a la que se obtendría juntando unos 300 000 planetas iguales a la Tierra. Brilla en el espacio desde hace más de 5000 millones de años y se calcula que el tiempo que le resta de vida es todavía mayor.

El origen de la energía que el Sol produce e irradia está en las reacciones nucleares que ininterrumpidamente se realizan en su interior. En ellas, los átomos de hidrógeno, que es el elemento más abundante en el Sol, se

⁵ Palz, Wolfgang, *Electricidad solar*, Barcelona Editorial Blume, UNESCO, 1980.

combinan entre sí para formar átomos de helio y, al mismo tiempo, una pequeña parte de la masa de dichos átomos se convierte en energía, de acuerdo con la famosa fórmula de Einstein $E = mc^2$, la cual fluye desde el interior hasta la superficie (fotosfera) y desde allí es irradiada al espacio en todas las direcciones.

Aunque el Sol también emite partículas materiales, la mayor parte de la energía irradiada es transportada en forma de ondas electromagnéticas (fotones) en una amplia gama de longitudes de onda diferentes, las cuales se desplazan en el espacio vacío a una velocidad de 300.000 Km./s, tardando solamente ocho minutos en recorrer los 150 millones de kilómetros que hay entre el Sol y la Tierra.

Cada segundo el Sol irradia en todas las direcciones del espacio una energía de 4×10^{26} julios, esto es, genera una potencia de $4 * 10^{23}$ kilovatios. Para hacernos una idea de la enorme magnitud que representan estas cifras, basta considerar que la potencia generada por todas las plantas industriales del mundo trabajando juntas sería unos doscientos billones de veces más pequeña.

En el breve lapso de tiempo de un solo segundo el Sol irradia mucha más energía que la consumida por todo el género humano desde sus albores hasta nuestros días.

Radiación Solar⁶.

Analizando los datos de la radiación emitida y aplicando las leyes de la Física, se deduce que la temperatura efectiva de la superficie del Sol es de unos 5900 K (la temperatura en su interior es muchísimo mayor, del orden de varios millones de grados). Esto significa que la emisión de radiación de un cuerpo negro ideal que se encontrará a 5900 K sería muy parecida a la del Sol.

Hemos visto anteriormente que dicha emisión se describe mediante un espectro de intensidad radiante que establece la proporción en que participan las diferentes longitudes de onda de las que está compuesta la radiación.

⁶ Progenssa. Instalaciones de Energía solar. 6ta ed. Sevilla España. Cuesta S.A. 2001. T 2

La mayor parte de los fotones emitidos por el Sol tienen una longitud de onda comprendida entre $0.3 \mu\text{m}$ y $3 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$), aunque solamente las que van desde 0.4 a $0.7 \mu\text{m}$ son susceptibles de ser captadas por el ojo humano, formando lo que se conoce como luz visible.

La luz "no visible" emitida por el Sol, esto es, la radiación con longitud de onda menor que $0.4 \mu\text{m}$ o mayor que $0.7 \mu\text{m}$, transporta también una considerable energía, que es preciso tener en cuenta.

2.2.1. APLICACIONES.

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener energía calórica y energía eléctrica.

El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación.

Hablemos primero de los sistemas de aprovechamiento térmico. El calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a nuestros hogares, hoteles, colegios, fábricas. Incluso podemos climatizar las piscinas y permitir el baño durante gran parte del año.

También, y aunque pueda parecer extraño, otra de las más prometedoras aplicaciones del calor solar será la refrigeración durante las épocas cálidas precisamente cuando más soleamiento hay. En efecto, para obtener frío hace falta disponer de una «fuente cálida», la cual puede perfectamente tener su origen en unos colectores solares instalados en el tejado o azotea. En los países árabes ya funcionan acondicionadores de aire que utilizan eficazmente la energía solar.

Las aplicaciones agrícolas son muy amplias. Con invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y, por citar algunas que, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible.

Las “células solares”, dispuestas en paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

La electricidad que así se obtiene puede usarse de manera directa (por ejemplo para sacar agua de un pozo o para regar, mediante un motor eléctrico), o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. También es posible inyectar la electricidad generada en la red general, obteniendo un importante beneficio.

Si se consigue que el precio de las células solares siga disminuyendo, iniciándose su fabricación a gran escala, es muy probable que, para la segunda década del siglo, una buena parte de la electricidad consumida en los países ricos en sol tenga su origen en la conversión fotovoltaica.

La energía solar puede ser perfectamente complementada con otras energías convencionales, para evitar la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación. Así, una casa *bien aislada* puede disponer de agua caliente y calefacción solares, con el apoyo de un sistema convencional a gas o eléctrico que únicamente funcionaría en los periodos sin sol. El costo de la «factura de la luz» sería sólo una fracción del que alcanzaría sin la existencia de la instalación solar.

2.2.2. ALTERNATIVAS DE UTILIZACIÓN.

Conversión de la energía solar⁷

El flujo de radiación solar que llega a la Tierra es la fuente primaria principal (y casi la única) de todas las formas de energía conocidas, incluidas las asociadas a los procesos vitales,

Procesos naturales.

Casi el 30 % de la radiación que llega a nuestro planeta es devuelta al espacio por reflexión. Un 47 % se convierte en calor, al ser absorbida por la atmósfera, el suelo y los mares. Un 23 % se invierte en la evaporación del agua de los océanos, lagos y ríos, así como en el ciclo hidrológico completo. El 0.2 % es responsable de los movimientos de circulación atmosférica y oceánica. Solamente el 0.02 % de la energía radiante incidente se utiliza en la producción de materia viviente, al ser capturada por las hojas verdes de las plantas. Este es el único proceso natural, aparte de otros procesos fotoquímicos de menor cuantía, que utiliza la radiación directamente, sin necesidad de convertirla previamente en energía térmica, como es frecuente en los demás procesos. Teniendo en cuenta la importancia de este proceso directo, merece la pena hacer una breve descripción del mismo.

Las plantas verdes, gracias al pigmento llamado clorofila, son capaces de utilizar los fotones de luz comprendidos entre unos determinados límites en cuanto a su longitud de onda (solamente un 25 % aproximadamente del espectro solar es adecuado para este fin) para efectuar reacciones de síntesis de hidratos de carbono partiendo del CO₂ atmosférico y del agua, produciendo también oxígeno.

La clorofila actúa como mediadora, absorbiendo la luz y activando una reacción fotoquímica que, globalmente, se puede escribir así:

⁷ ProgenSA. Instalaciones de Energía solar. 6ta ed. Sevilla España. Cuesta S.A. 2001. T 2



La energía solar queda almacenada en los hidratos de carbono formados, los cuales liberarán su energía al descomponerse, cuando la hoja se destruye. De esta forma se establece un equilibrio energético, mediante el cual la planta devuelve con el tiempo toda la energía que ha absorbido. No obstante, puede ocurrir que esta descomposición no se llegue a producir por completo, al no haber oxígeno suficiente, como así ocurre cuando las plantas quedan enterradas.

En los últimos cientos de millones de años se ha ido acumulando bajo las capas de materiales térreos materia orgánica con energía conservada, sufriendo lentos procesos químicos y dando origen a los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). El hombre ha logrado extraer de ellos la energía almacenada que, millones de años atrás, habían sido absorbidos del Sol.

Hay que considerar, sin embargo, que este "capital energético" acumulado día a día durante muchos millones de años, no va a durar mucho si se sigue consumiendo con el creciente ritmo de los últimos años, consecuencia de las necesidades, cada vez mayores, de una sociedad altamente industrializada. Por supuesto, el proceso de acumulación continúa pero con un ritmo muchísimo más lento que el de extracción, de tal suerte que pronto habremos agotado esta fuente de energía, la cual debemos considerar más bien como una herencia del pasado remoto que como un logro del presente.

Los animales, al alimentarse de las plantas, utilizan la energía en ellas acumulada, mediante procesos metabólicos. Esta energía liberada se emplea en el trabajo mecánico desarrollado por los músculos, en la síntesis de proteínas y de otras sustancias constituyentes de los tejidos, y en la producción de calor. Toda la energía que el cuerpo humano utiliza también tiene, pues, su origen primario en el Sol.

El clima.

Hemos visto que la energía solar, bajo las diferentes formas en que se convierte, es la responsable de una serie de alteraciones de la atmósfera, algunas de ellos con carácter periódico, que condicionan los valores de las variables físicas características (presión, temperatura, humedad) de nuestro hábitat natural. Así, por ejemplo, la energía térmica, producida en mayor cuantía en las zonas ecuatoriales y templadas del globo, mantiene la circulación atmosférica impulsando los vientos (energía eólica), formando tormentas y proyectando las lluvias y nieves que afectan de forma directa nuestra forma de vivir.

Ya hemos visto anteriormente que la esfericidad del planeta determina de por sí grandes diferencias de temperatura en las distintas latitudes. Esto es debido al desigual ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie, lo que implica una intensidad de radiación también diferente. En condiciones favorables, de cielo claro y atmósfera limpia, en las horas centrales del día puede recibirse aproximadamente 1 Kw. de potencia por cada metro cuadrado de superficie horizontal.

Tabla 2.4. Intensidad total sobre superficie horizontal en un día típico claro, para diversas alturas solares. Los valores no son aptos para ser usados en cálculos que requieran precisión.

<i>h(m)</i>	<i>I (W/m²)</i>
<i>10</i>	<i>107</i>
<i>20</i>	<i>294</i>
<i>30</i>	<i>473</i>
<i>40</i>	<i>635</i>
<i>50</i>	<i>773</i>
<i>60</i>	<i>886</i>
<i>70</i>	<i>969</i>

Otros factores influyen en la climatología de las distintas zonas del globo, entre los que cabe citar la humedad atmosférica causada por la proximidad de

grandes masas de agua, las extensas zonas de vegetación, las cadenas montañosas y el propio hombre, el cual, a través de sus muchas realizaciones, es capaz de alterar el delicado equilibrio natural.

Puede haber fuertes variaciones climáticas locales, de forma que las condiciones difieran bastante en dos lugares situados a escasos kilómetros.

Así, un pueblo en el fondo de un valle al abrigo de altas montañas puede tener un clima muy distinto que su vecino del otro lado de las mismas. Estos microclimas tienen suma importancia, ya que los datos y tablas de que se dispone únicamente se refieren a valores medios, generalmente medidos en las capitales de provincia, habiendo de modificarse de acuerdo con el lugar exacto donde haya de ser ubicada la instalación solar.

El factor más importante que influye en la cantidad de energía solar incidente en una localidad o zona determinada es la proporción de días nublados que se dan al año.

Procesos tecnológicos: Conversión útil de la energía solar

El objetivo es aprovechar al máximo los efectos físicos de la radiación, adecuando los dispositivos de captación de la misma a fin de obtener la energía en la forma que se precise para cada necesidad.

Diremos que la conversión es directa cuando ésta se realiza en una sola etapa, es decir, cuando se pasa en un solo proceso de la energía de radiación electromagnética que transporta la luz solar a la forma final de energía utilizable, e indirecta cuando la forma final de energía proviene de la energía solar a través de dos o más procesos intermedios.

Por conversión directa la energía solar es capaz de transformarse en energía térmica o en energía eléctrica, procesos que tienen una gran importancia tecnológica.

Indirectamente, la energía solar puede producir energía útil a través de procesos intermedios, como el viento, cuya energía, llamada eólica, se puede utilizar para diversos fines. También podrían citarse varios procesos

termoeléctricos y termodinámicos. En estos últimos, la energía solar le convierte en energía térmica y ésta a su vez en cinética, normalmente de rotación, para producir finalmente energía eléctrica.

Procesos térmicos directos

La energía solar, al incidir sobre cualquier objeto, pasa de inmediato a la forma de energía térmica, forma ésta que surge en la mayoría de los procesos de conversión de un tipo de energía a otro y por esa razón es la más fácil de producir por medios tecnológicos.

Es un hecho conocido que la radiación solar calienta los cuerpos sobre los que incide (todos hemos sentido el calor de los rayos solares en nuestra epidermis). La cantidad de energía cedida por la radiación depende, además de la intensidad incidente, de la capacidad de absorción del cuerpo en cuestión. Así, un cuerpo con una superficie altamente reflectante devolverá la mayor parte de la radiación que reciba y, por tanto, no se calentará demasiado al exponerlo al sol. Por el contrario, los cuerpos poco reflectantes aprovecharán casi toda la energía radiante que les llegue, convirtiéndola en térmica y calentándose apreciablemente.

Los cuerpos oscuros o negros presentan dicho aspecto porque su superficie tiene una composición adecuada para absorber casi todas las longitudes de onda del espectro de luz visible. Precisamente nuestro ojo los ve oscuros porque es muy escasa la luz reflejada que puede llegar a la retina. Los cuerpos blancos reflejan la luz en todas o casi todas las regiones del espectro visible. Si se exponen al sol dos cuerpos iguales, uno pintado de negro y otro de blanco (por ejemplo dos automóviles), el primero de ellos se calentará apreciablemente más rápido.

El captador de energía solar más simple posible es un cuerpo pintado de negro mate y con una conductividad térmica alta (por ejemplo un metal), para que la energía térmica que continuamente se produzca en su superficie pueda propagarse con facilidad a la zona que nos interese. Normalmente basta una red de tubos por donde circula un fluido encargado de recoger a su vez esta energía térmica.

Puede optimizarse la eficacia de cualquier captador mediante diversas técnicas basadas en efectos físicos, entre los que destaca el efecto invernadero, el cual evita que la energía térmica vuelva a escaparse del captador, y que es aprovechado en la mayor parte de los colectores solares térmicos que existen.

Algunos sistemas utilizan la concentración de los rayos solares mediante espejos curvos o lentes para elevar considerablemente la intensidad de la radiación incidente sobre la superficie absorbedora y, por tanto, logran alcanzar temperaturas muy altas, a veces necesarias para procesos específicos. Estos sistemas de concentración implican mayor complejidad tecnológica y su uso está restringido a aplicaciones especiales.

Procesos directos de conversión eléctrica

La luz está formada por un gran número de entidades físicas llamadas fotones, los cuales participan tanto de las propiedades de los corpúsculos materiales como de las de las ondas. Los fotones son capaces de interactuar con los electrones de los cuerpos sobre los que inciden. Mencionaremos dos tipos de interacción: el efecto fotoeléctrico externo y el efecto fotovoltaico

El efecto fotoeléctrico externo, descubierto por Hertz en 1887, consiste en un desprendimiento de electrones de la superficie de los metales al chocar con dicha superficie fotones de suficiente energía, dando lugar a una corriente eléctrica denominada fotoeléctrica. Las células fotoeléctricas se basan en este efecto.

Los fundamentos físicos teóricos del fenómeno del efecto fotovoltaico, limitándonos a unas explicaciones sencillas sobre el comportamiento de ciertos materiales llamados semiconductores, los cuales, bajo ciertas circunstancias, son capaces de crear una fuerza electromotriz. Bajo el nombre de semiconductores se conocen un conjunto de sustancias, cuya resistividad está generalmente comprendida entre 10^{-6} y 10^{+8} Ωm , que poseen ciertas propiedades características. Algunos semiconductores son elementos

químicos puros, como son el boro, el silicio y el selenio, y otros son compuestos químicos, como el arseniuro de galio.

Existen dos tipos de semiconductores: los denominados de tipo N y los de tipo P. A los primeros se les puede forzar, mediante la adición de pequeñas cantidades de impurezas apropiadas, a tener un exceso de electrones en determinadas posiciones y a los segundos un defecto de ellos, o lo que es equivalente, un exceso de "huecos" (lugares vacíos dejados por los electrones al emigrar éstos a otras posiciones).

Al ponerse en contacto un cuerpo cristalino semiconductor de tipo N con otro de tipo P se crea una unión P-N, la cual posee unas propiedades especiales. Tanto los electrones en exceso del semiconductor N como los huecos del P tienden a difundirse a través de la superficie común de separación, penetrando un poco al otro lado de dicha frontera. Como cada semiconductor es globalmente un cuerpo eléctricamente neutro, esta difusión de electrones y huecos, debida a la diferente concentración de unos y otros en cada lado de la superficie, hará que el semiconductor N se cargue positivamente y el P negativamente, estableciéndose así una diferencia de potencial de algunas décimas de voltio, la cual da lugar a un campo eléctrico que restablece el equilibrio, evitando que continúe el flujo de los portadores de carga.

Sin embargo, si incide luz sobre la zona de unión, los fotones de la misma liberarán electrones adicionales y al mismo tiempo dejarán huecos en su lugar. Estos pares electrón-hueco, por efecto del campo eléctrico, adquieren movimiento (energía) y pueden ser recogidos mediante un conductor: aparece una corriente eléctrica. Notemos que la energía eléctrica proviene, pues, de los fotones de la luz, por lo que la corriente cesa en cuanto ésta se suprime.

Elementos normalmente usados para la obtención de electricidad fotovoltaica son el silicio, el selenio y el galio, aunque también comienzan a utilizarse otros materiales diversos monocristalinos, policristalinos e incluso amorfos.

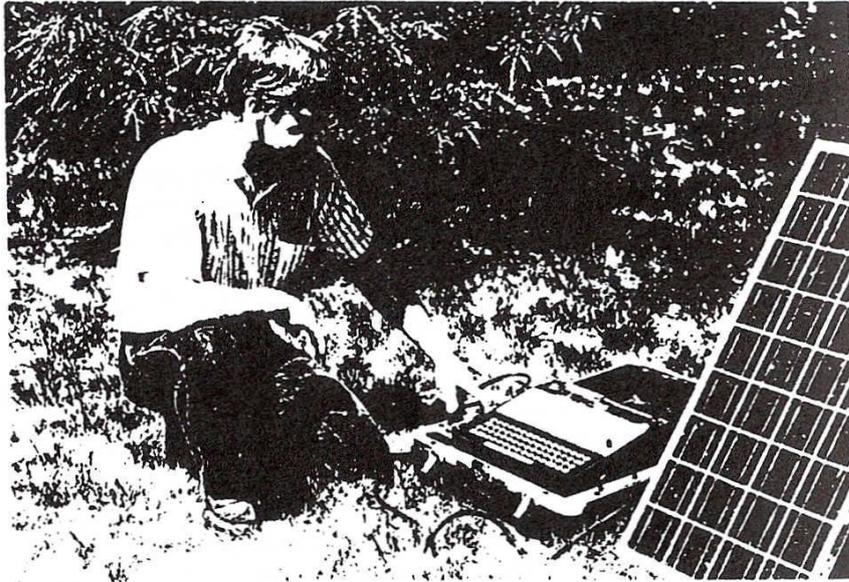


Figura 2.5. Comprobación del panel solar antes de la instalación.

2.2.3. CAPACIDAD Y RENDIMIENTO.

Una célula suelta solamente es capaz de proporcionar una tensión de algunas décimas de voltio (típicamente alrededor de medio voltio para las células de silicio) y una potencia máxima de uno o dos vatios, Es preciso conectar entre sí en serie un determinado número de células para producir tensiones de 6, 12 ó 24 voltios aceptadas en la mayor parte de las aplicaciones. Al conjunto así formado, convenientemente ensamblado y protegido contra los agentes externos (las células son muy delicadas), se le denomina panel o módulo fotovoltaico. A veces, la palabra, panel se utiliza para designar un conjunto de dos o más módulos ensamblados entre sí.

El proceso de conexión de las células es automático, efectuándose mediante soldaduras especiales que unen el dorso de una célula con la cara frontal de la adyacente.

Para producir un panel de 12 voltios nominales usualmente se necesita un número de células entre 30 y 40, según las características de las mismas.

La Física Cuántica predice una eficiencia máxima teórica para la célula a base de silicio de un 26%, valor cercano al obtenido en laboratorio, pero para las células comerciales obtenidas en procesos industriales dicho valor no supera el 17%. Para otros materiales el rendimiento es incluso menor, aunque puede aumentarse elevando la intensidad de la radiación incidente mediante algún dispositivo concentrador.

En cualquier caso, aunque en el futuro se rozasen los máximos rendimientos teóricos alcanzables, sólo una pequeña parte de la energía solar incidente podría ser convertida en energía eléctrica, a diferencia de lo que ocurre en los procesos térmicos directos en los que, si las condiciones son favorables, los colectores térmicos pueden trabajar con rendimientos de hasta el 80%. Este hecho impone una primera limitación a la potencia eléctrica obtenible, la cual se verá todavía disminuida por otros varios factores, que estudiaremos próximamente.

La célula final producida tiene un rendimiento aproximadamente igual a la mitad del máximo teórico del material de que está constituida. Esta pérdida de rendimiento se debe a tres causas principalmente:

- Pérdidas por reflexión, las cuales, aunque han sido reducidas, nunca es posible hacer desaparecer totalmente.
- Los fotones que inciden sobre la rejilla metálica en vez de sobre el material semiconductor se pierden, no produciendo el efecto fotovoltaico.
- Al circular la corriente a través de la célula se produce una pequeña pérdida por efecto Joule.

Por todo lo anterior, el rendimiento de una célula monocristalina de Si no suele superar el 15%.

2.3. GENERALIDADES, DEFINICIÓN Y USOS ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

Historia.

Aunque las bases teóricas del efecto fotovoltaico⁸ eran conocidas desde principios de siglo, hasta el año 1954 no se consiguió producir la primera célula que aprovechara dicho efecto con un rendimiento razonable, siendo lograda por la Bell Telephone, en New Jersey. Desde mediados de siglo se desarrolló el proceso de purificación de monocristales de silicio, impulsando enormemente el avance de la industria electrónica.

En 1956 Loferski publicó unas tablas de rendimiento de conversión fotovoltaica para todos los materiales semiconductores y a principios de los años setenta se obtuvieron en laboratorio rendimientos del 20 % trabajando con células monocristalinas de arseniuro de galio (GaAs). Dicho rendimiento es sensiblemente menor cuando dichas células se producen a escala industrial.

Se ha experimentado también con células compuestas por dos capas: una de sulfuro de cadmio (SCd) y otra de sulfuro de cobre (Cu₂S), que presentan la ventaja de que utilizan muy poco material activo y un proceso de fabricación más sencillo, pero los rendimientos son demasiado pequeños para ser utilizados a escala industrial.

La comercialización de las células solares fotovoltaicas comenzó con las de silicio monocristalino, que aún ocupan el primer lugar en el mercado. Más tarde aparecieron las compuestas por material policristalino, de fabricación más económica, aunque de menores rendimientos, que presentan la ventaja adicional de poder ser fabricadas en forma cuadrada y así aprovechar mejor el área rectangular disponible en un panel.

⁸ Secretaría de Energía. <http://www.energia.gob.mx>

Recientemente se han comercializado células de silicio amorfo, extendiendo su uso para dispositivos de muy baja potencia, como calculadoras, relojes, radios portátiles, y, por último, han aparecido tecnologías más sofisticadas, como las películas delgadas de semiconductores, o las combinaciones de diversos semiconductores, a fin de optimizar la respuesta a la acción de la luz solar.

También se han desarrollado células bifaciales, capaces de aprovechar la radiación por sus dos caras y se experimenta con dispositivos concentradores, generalmente utilizando lentes de Fresnel, para aumentar la intensidad de la radiación incidente sobre la superficie de la célula.

Las primeras aplicaciones prácticas de la electricidad fotovoltaica se encontraron en los vehículos espaciales, alimentando los equipos de control, de medida, o de retransmisión de datos. Posteriormente se inició la producción industrial de los primeros paneles para aplicaciones terrestres domésticas, como electrificación de viviendas aisladas, aunque hasta el inicio de la década de los ochenta estos productos no fueron suficientemente competitivos para lograr un mercado amplio.

Las investigaciones para conseguir productos más eficientes y económicos continúan a buen ritmo a pesar de que, aun a nivel mundial, son pocas las compañías con capacidad suficiente para acometer las elevadas inversiones que requiere el desarrollo de esta avanzada tecnología.

La producción fotovoltaica mundial se divide aproximadamente en partes iguales entre Europa, Estados Unidos y Japón. Media docena de grandes compañías representan más de la mitad del total, correspondiendo el resto a unas cuarenta empresas repartidas por todo el mundo. El costo medio por kilovatio pico de potencia se sitúa (a finales de 1997) en torno a los tres dólares.

El efecto fotovoltaico.⁹

Describimos brevemente el fundamento del efecto fotovoltaico, el cual consiste, en esencia, en la conversión de la energía que transportan los fotones de luz, cuando inciden sobre materiales semiconductores convenientemente tratados, en energía eléctrica capaz de impulsar los electrones despedidos a través de un circuito exterior, realizando un trabajo útil.

Un especial tratamiento del material semiconductor es necesario porque, en principio, la energía originalmente cedida por el fotón a los electrones de dicho material está destinada a convertirse en calor inútil, tras unos cuantos choques del electrón en su movimiento a través de la red atómica.

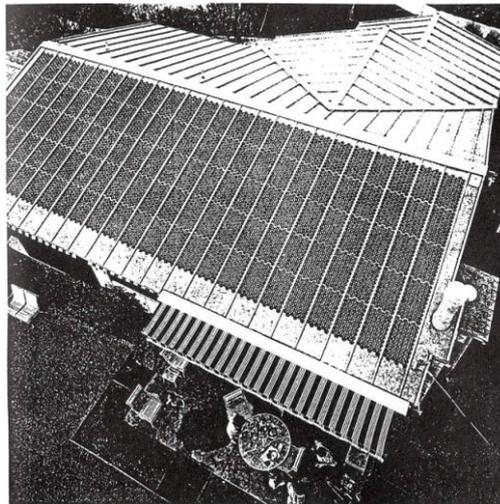


Figura 2.6. Mirando hacia el futuro. Casa techada de paneles solares.

La clave para producir una corriente eléctrica útil está en lograr extraer los electrones liberados fuera del material antes de que éstos vuelvan a recombinarse con los huecos (lugares vacíos que dejan los electrones).

Una forma de lograr esto es introducir en el material semiconductor elementos químicos que contribuyan a producir un exceso de electrones y de huecos. Dichos elementos, que alteran significativamente las propiedades intrínsecas

⁹ ProgenSA. Instalaciones de Energía solar. 6ta ed. Sevilla España. Cuesta S.A. 2001. T 5

de los semiconductores, se denominan dopantes y el proceso de su incorporación al semiconductor se llama dopado.

Un dopante adecuado para el silicio es el boro, el cual tiene un electrón de enlace menos que el silicio y, por tanto, cada átomo de boro puede unirse con sólo tres átomos de silicio, dejando un hueco en el lugar donde existiría el cuarto electrón de enlace en el caso de que el átomo fuese, al igual que los demás que le rodean, también de silicio. La estructura así creada se denomina semiconductor de tipo P (positivo).

Otro posible dopante para el silicio es el fósforo. En este caso, al tener un electrón de enlace más que el silicio y sustituir un átomo de fósforo a un átomo de silicio en la red cristalina, el electrón sobrante queda libre y el semiconductor se llama de tipo N (negativo).

Nótese que en ambos casos la carga eléctrica neta del cristal sigue siendo rigurosamente cero, ya que cada átomo tiene igual número de protones que de electrones, equilibrándose sus cargas. Los nombres de “positivo” y “negativo” hacen referencia a una carga aparente que queda libre en la red cristalina pero no a un estado eléctricamente descompensado.

Si ambas regiones, la P y la N, se disponen adyacentes una a la otra, algunos de los electrones libres de la región N pueden difundirse hasta la zona P, atravesando la frontera entre ambas y ocupando los huecos libres de la misma.

Así, la zona inmediata a la frontera de separación queda ahora cargada negativamente en el semiconductor P y positivamente en el N. Se crea así una típica unión P-N en la cual el campo eléctrico creado como consecuencia del paso de las cargas antes mencionado establece una barrera de potencial que impide que el proceso de paso de electrones continúe indefinidamente.

En estas condiciones, si incide luz y los fotones comunican energía a los electrones del semiconductor, algunos de estos electrones pueden atravesar la barrera de potencial, siendo expulsados fuera del semiconductor a través de un circuito exterior; se produce una corriente eléctrica. Los electrones, tras

recorrer el circuito externo, vuelven a entrar en el semiconductor por la cara opuesta.

Observemos que el material semiconductor en ningún momento almacena energía eléctrica como lo haría, por ejemplo, un acumulador electroquímico, sino que lo único que hace es generarla, o mejor, transformar la energía radiante únicamente cuando ésta incide sobre él.

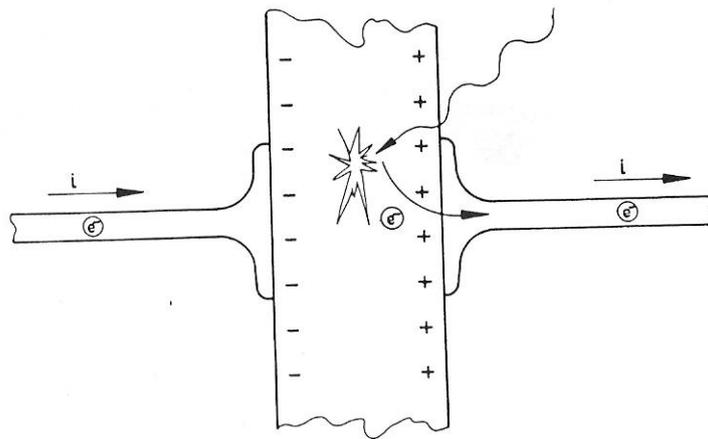


Figura 2.7. Los electrones son forzados hacia el circuito externo por los fotones incidentes

No todos los fotones se comportan del mismo modo en la producción de electricidad por efecto fotovoltaico. Unas frecuencias son más apropiadas que otras para producir dicho efecto, según los tipos de materiales semiconductores utilizados.

La respuesta espectral: es una medida de la eficiencia con que en un determinado dispositivo fotovoltaico se produce la conversión energía luminosa-energía eléctrica para una determinada frecuencia de la luz incidente. En una típica célula de silicio monocristalino dicha eficiencia de conversión sólo es significativa para longitudes de onda comprendidas entre 350 y 1100 nanómetros, con un máximo alrededor de los 800 nanómetros, mientras que para el silicio amorfo el intervalo va desde los 350 hasta los 800 nanómetros, con un máximo en torno a los 520 nanómetros. Otros materiales tienen una respuesta espectral diferente.

Como la luz solar que llega hasta nosotros está formada por una mezcla de fotones de frecuencias diferentes, dentro de un amplio rango, la eficiencia de conversión será la conjunción de la respuesta espectral para cada frecuencia, dando un resultado global para cada material utilizado.

La célula fotovoltaica.

Una célula fotovoltaica es una unidad formada por materiales semiconductores capaces de producir, mediante una unión P-N, una barrera de potencial que haga posible el efecto fotovoltaico. El tamaño de cada célula, que depende fundamentalmente del proceso de fabricación, varía normalmente desde unos pocos centímetros cuadrados hasta 100 cm² o más, y su forma es circular, cuadrada, o derivada de estas dos geometrías.

Las células se interconexionan en serie, para que los electrones expulsados de una sean recogidos por la siguiente, comunicándoles energía adicional, a fin de lograr una diferencia de potencial para el circuito exterior que sea adecuada a efectos prácticos (normalmente entre 6 y 24 V).

Tipos de células.

Atendiendo a la naturaleza y características de los materiales semiconductores que la forman, las células fotovoltaicas pueden clasificarse en varios grupos.

El tipo de célula más común, y también el primero que se produjo industrialmente, es el formado por silicio puro monocristalino. Describiremos brevemente el proceso de fabricación de este tipo de células, así como sus características más sobresalientes, características que son también compartidas por la mayoría de las otras células que existen en el mercado.

El procedimiento clásico de fabricación de las células de Si. monocristalino conocido como método Czochralski (abreviadamente Cz), parte de la obtención, a partir de la sílice “material muy abundante en la superficie

terrestre” de silicio extremadamente puro, el cual se funde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro hasta formar una masa a 1400 °C.

Una vez que todo el material se encuentra en estado líquido, se introduce en el seno del mismo una varilla en cuyo extremo hay un “cristal germen” de Si sobre el cual se van disponiendo lentamente nuevos átomos del material procedentes del líquido, que quedan perfectamente ordenados siguiendo la estructura del cristal.

Se obtiene así un monocristal cilíndrico de suficiente tamaño el cual, una vez enfriado, se corta en finas obleas circulares (o cuadradas si previamente el cilindro se ha cortado convirtiéndolo en un paralelepípedo rectangular) de unas 3 décimas de milímetro de grosor, que son tratadas químicamente en su superficie.

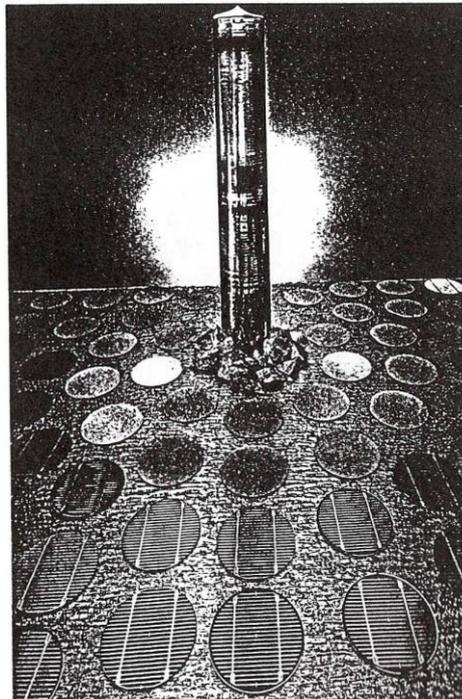


Figura 2.8. Lingote de monocristal de silicio. Alrededor obleas y células completas

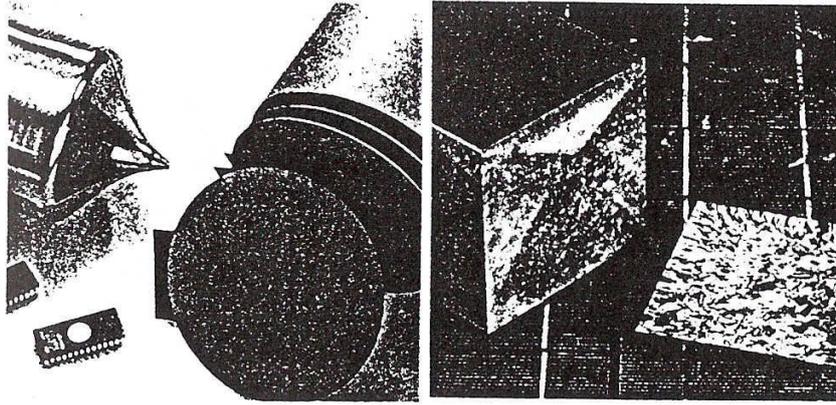


Figura 2.9. Material de silicio monocristalino (izq.) policristalino (der)

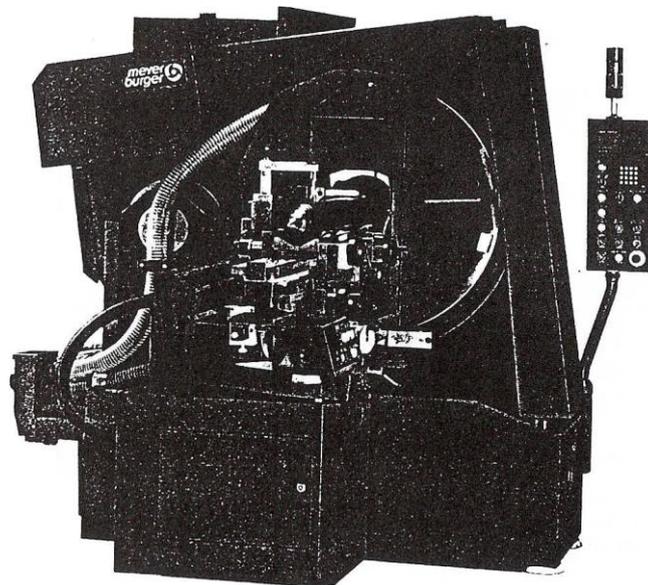


Figura 2.10. Máquina de alta presión para cortar el lingote de silicio en finas obleas.

Estas obleas constituyen el producto semielaborado que a veces se exporta para que las factorías de diversos países completen el proceso de creación de la célula. Dicho proceso consiste esencialmente en la creación de la unión P-N, introduciendo la oblea de silicio dopado con boro en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara, alcanzando éstos una cierta profundidad bajo la superficie de la oblea.

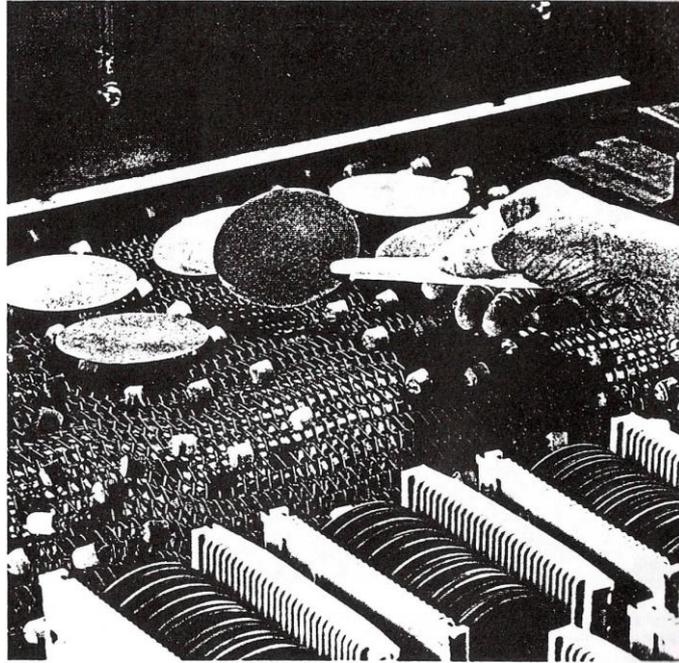


Figura 2.11. Deposito de obleas para ingreso del horno de difusión.

Se completa esta fase del proceso mediante un tratamiento antirreflectante, que puede consistir en la formación de minúsculas estructuras piramidales sobre la superficie que va a recibir la radiación, para que el rayo reflejado tenga más posibilidades de volver a incidir antes de perderse definitivamente.

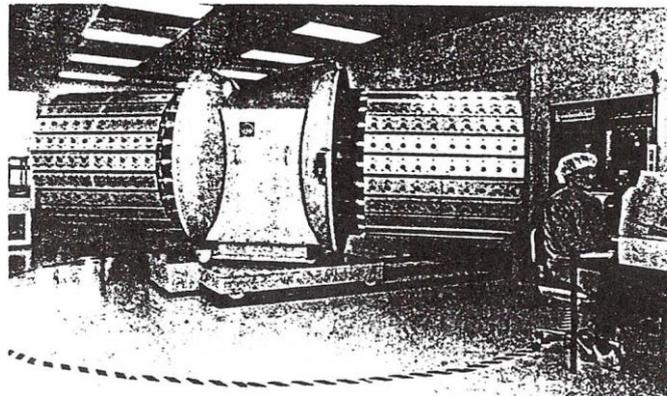


Figura 2.12. Cámara de vacío para la deposición por evaporación del metal conductor sobre las superficies de las células.

Por último, se entra en el proceso de proveer a la célula de contactos eléctricos adecuados, a fin de que los electrones encuentren un camino fácil para salir y

entrar de la misma. Esto se consigue depositando por métodos electroquímicos, de evaporación al vacío, o serigráficos, una red o rejilla constituida por una aleación buena conductora, que adopta una geometría especialmente estudiada para conseguir una óptima recolección de electrones sin cubrir a la vez demasiada superficie útil de célula.

Después de pasar una serie de controles de calidad, la célula fotovoltaica está terminada y lista para ser utilizada; uniéndola con otras iguales para formar un módulo o panel.

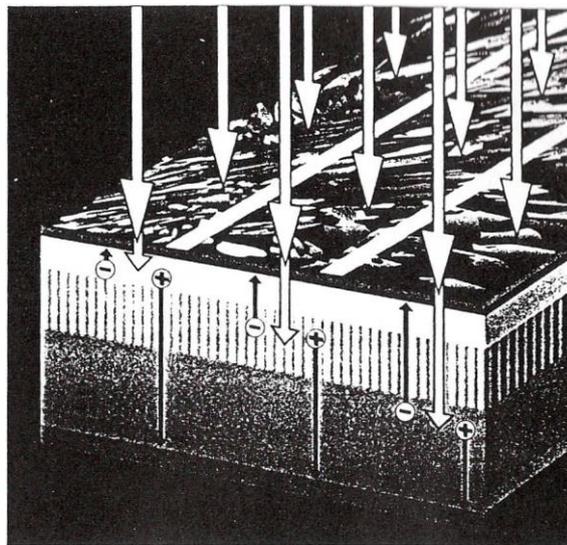


Figura 2.13. Proceso de conversión de la luz solar en electricidad en la célula fotovoltaica.

Si el proceso de fabricación, en vez de partir de un monocristal, se hace dejando solidificar lentamente en un molde rectangular la pasta de silicio, se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales o granos de silicio, del cual pueden cortarse *células* policristalinas cuadradas. Estas células han alcanzado una amplia comercialización, aunque sus rendimientos son algo menores que las monocristalinas, pues su precio es también inferior.

El proceso de cortar las células a partir de una sola pieza produce gran cantidad de desperdicio de material semiconductor en forma de polvo. Para evitar este inconveniente se introdujo un método de fabricación de células

diferente, consistente en producir una fina tira continua de material poli cristalino que se corta en trozos rectangulares.

Las tecnologías más recientes en la fabricación de materiales se basan en el diseño conocido como, de película delgada, que se diferencia de los anteriores, ya que no produce células individuales (que posteriormente han de ser conectadas en serie para obtener el voltaje suficiente para las aplicaciones más habituales), sino una finísima capa de solamente 1 ó 2 μm de espesor de material semiconductor que se deposita sobre un sustrato apropiado, formándose un módulo continuo que no requiere interconexiones interiores.

Una curiosa característica de algunos tipos de películas delgadas semiconductoras es que los fotones que no logran transmitir su energía a los electrones atraviesan la película a causa de su extrema finura, lo cual posibilita el diseño de módulos semitransparentes que podrían utilizarse, por ejemplo, en los techos de los automóviles y ventanales de los edificios.

Actualmente el tipo de película delgada que más se produce es la de Silicio-Hidrógeno (TFS), que es el material semiamorfo que se observa en las calculadoras y otros pequeños dispositivos solares, aunque también existen paneles de mayor potencia.

En cuanto a las características eléctricas de las células, serán estudiadas en el capítulo próximo, al estudiar las del panel, ya que éste no es más que una yuxtaposición de un cierto número de células en serie y su respuesta ante la intensidad luminosa y otras variables físicas (como la temperatura) serán consecuencia directa del comportamiento de las células que lo forman.

2.4. DEFINICIÓN DE MATERIALES.



Figura 2.14. Panel fotovoltaico de 43 Wp

Una vez terminadas las interconexiones eléctricas, las células son encapsuladas en una estructura tipo “sándwich”, consistente en una lámina de vidrio templado, otra de un material orgánico adecuado, por ejemplo acetato de etilen-vinilo (EVA), las propias células, otra capa de sustrato orgánico y, por último, una cubierta posterior formada por varias láminas de polímeros u otro vidrio. La estructura concreta de cada modelo de panel varía de un fabricante a otro.

Se procede posteriormente a un sellado al vacío, introduciéndolo en un horno especial para su laminación, haciéndose estanco el conjunto.

Por último, se rodea el perímetro del panel con neopreno o algún otro material que lo proteja de las partes metálicas que forman el marco-soporte, en el caso de que lo lleve.

Una vez montadas las conexiones positiva y negativa se efectuamos controles de calidad necesarios.

Las pruebas que cada panel debe pasar satisfactoriamente antes de ser definitivamente destinado al comercio son muy rigurosas, pues no ha de olvidarse que este elemento estará expuesto durante muchos años a las más duras condiciones de intemperie, que pueden variar desde un calor extremado hasta temperaturas de frío glacial, pasando por vientos huracanados, atmósferas húmedas. Es pues necesario garantizar un perfecto comportamiento frente a todos estos agentes, asegurando que el panel generará electricidad con un rendimiento óptimo durante al menos veinte años consecutivos sin necesidad de reparación y con un mínimo mantenimiento.

Entre las pruebas a que se someten los paneles mencionaremos los ciclos térmicos, haciendo variar la temperatura desde $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ varios cientos de veces, y los ciclos de humedad y congelación. También se le somete, junto con su estructura soporte, a fuertes vientos, alternativamente en uno y otro sentido, observando que no se producen roturas ni fisuras por vibración, o desprendimientos de contactos.

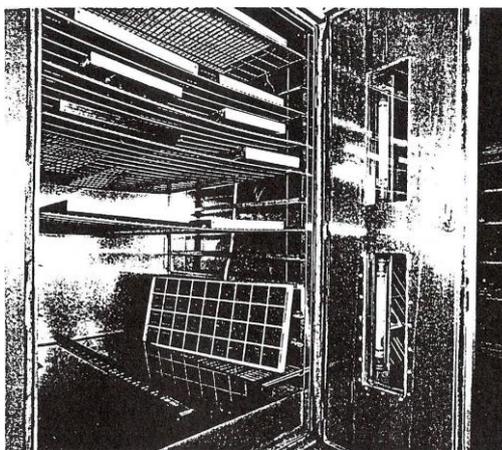


Figura 2.15. Cámara de pruebas para los módulos, condiciones extremas de humedad y temperatura.

Los test de resistencia mecánica consisten en producir torsiones y flexiones del panel, asegurándose que no aparecen roturas, así como causar el impacto de bolas de hielo lanzadas por medio de un cañón de aire, simulando las condiciones de una granizada extremadamente violenta.

Para comprobar la capacidad del panel para soportar descargas eléctricas altas se le somete a una diferencia de potencial de 3000 voltios entre el circuito de la célula y el marco metálico, observando que la intensidad de corriente que fluye es despreciable.

El ensayo en atmósfera salina asegura que no va a producirse corrosión cuando el panel se instale en ambientes marinos.

Algunos paneles destinados a usos especiales deben resistir también una serie de pruebas adicionales, como la de inmersión en agua salada a presión, el impacto contra el suelo dejados caer de una cierta altura, sometimiento a vibraciones.

Características y tipos de paneles fotovoltaicos.



Figura 2.16. Panel fotovoltaico de 43 Wp con enfriamiento por aire.

Aunque tanto las características externas o de construcción como las de respuesta eléctrica, varían de un tipo de paneles a otros, vamos a describir un panel clásico, cuyos aspectos más significativos serán válidos para las diversas variantes que existen en el mercado.

Características físicas.

Los paneles adoptan siempre la forma cuadrada o rectangular, con áreas que van desde aproximadamente 0.1 m² hasta 1 m². El grueso total, sin incluir el marco protector, no suele superar los 3 cm. Son relativamente ligeros (un panel de unos 0.5 m² puede pesar 6 ó 7 Kg.), y aunque rígidos en apariencia, son capaces de sufrir ligeras deformaciones para adaptarse a los esfuerzos mecánicos a que pudieran verse sometidos.

En un corte transversal de un panel típico se aprecian los distintos componentes del panel, a saber:

- Una cubierta de vidrio templado (en algún modelo se utilizan materiales orgánicos especiales).
- Varias capas de material encapsulante a base de siliconas u otros productos orgánicos que tengan una alta transmisión de la radiación y una baja degradabilidad a la acción de la misma durante largo tiempo. El encapsulante sirve de protección a las células, que son los elementos más delicados del panel.

Los geles de siliconas son muy adecuados como encapsulantes ya que, a su excepcional transparencia, se añade la poca pérdida de sus propiedades plásticas con el paso del tiempo, su precio moderado y su eficaz protección contra la corrosión. Las superficies recubiertas con estos geles adquieren un carácter hidrófobo, que evita que la humedad se condense y se creen vías de agua, permitiendo que el material “respire” y manteniendo el nivel de humedad por debajo de los valores críticos.

- Una o varias cubiertas protectoras posteriores, también de vidrio o, más frecuentemente, TEDLAR o algún otro material análogo. Las cubiertas posteriores opacas y de color claro presentan la ventaja adicional de reflejar la luz que ha logrado pasar por los, intersticios de las células,

haciendo que ésta vuelva hacia la parte frontal del panel, donde puede ser de nuevo reflejada por la cara interior de la cubierta frontal e incidir otra vez sobre las células.

- Un marco de acero inoxidable o aluminio anodizado, que sujete al conjunto rodeándolo en todo su perímetro. Dicho marco debe estar ya preparado de fábrica con los taladros o accesorios necesarios para el montaje del panel en el bastidor, sin necesidad de manipulación alguna por parte del operario montador que pueda debilitar el panel.

Los contactos eléctricos exteriores deberán asegurar una perfecta estanquidad cuando se efectúe la unión con el conductor exterior o con otros paneles. Algunos paneles llevan también preparada una toma de tierra, que será preciso usar cuando, por acoplarse un cierto número de paneles, la potencia total vaya a ser considerable.

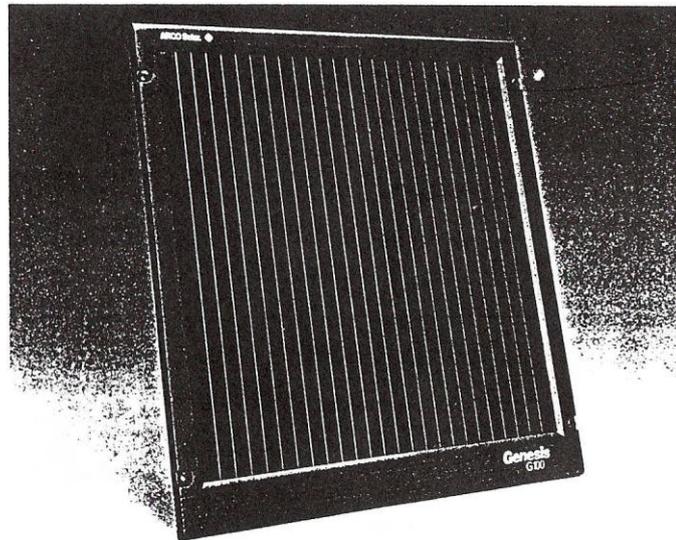


Figura 2.17. Panel de película delgada de 5W de potencia.

Características eléctricas.

La respuesta de un panel frente a la radiación solar vendrá determinada por la de las células que lo forman, pudiendo ser descrita mediante varios parámetros, que definiremos a continuación (*):

- **Corriente de cortocircuito (i_{sc}).** Es la intensidad máxima de la corriente que se puede obtener de un panel bajo unas determinadas condiciones (generalmente normalizadas). Correspondería a la medida, mediante un amperímetro (de resistencia prácticamente nula), de la corriente entre bornes del panel, sin ninguna otra resistencia adicional, esto es, provocando un cortocircuito. Al no existir resistencia alguna al paso de la corriente, la caída de potencial es cero.
- **Voltaje a circuito abierto (V_{oc}).** Es el voltaje máximo que se podría medir con un voltímetro, sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes de un panel, es decir, en condiciones de circuito abierto (resistencia entre bornes infinita).
- **Corriente (i)** a un determinado voltaje (V). Las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. En la práctica, lo usual es que un panel produzca una determinada corriente eléctrica que fluye a través del circuito externo que une los bornes del mismo y que posee una determinada resistencia R . Si la diferencia de potencial entre los bornes es V , decimos que la corriente de intensidad; se produce a un voltaje V .
- **Potencia máxima (P_M).** En unas condiciones determinadas la intensidad; tendrá un cierto valor comprendido entre 0 e i_{sc} , correspondiéndole un voltaje V que tomará un valor entre 0 y V_{oc} . Dado que la potencia es el producto del voltaje y la intensidad, ésta será máxima únicamente para un cierto par de valores i , V , en principio desconocido.

Decimos que un panel trabaja en condiciones de potencia máxima cuando la resistencia del circuito externo es tal que determina unos valores de i_M y V_M tales que su producto sea máximo. Normalmente un panel no trabaja en condiciones de potencia máxima, ya que la resistencia exterior está fijada por las características propias del circuito, y aunque existe la posibilidad de utilizar dispositivos electrónicos conocidos como “seguidores del punto de máxima

potencia”, esto supone un costo adicional y no suelen emplearse en pequeñas instalaciones.

- **Eficiencia total del panel.** Es el cociente entre la potencia eléctrica producida por éste y la potencia de la radiación incidente sobre el mismo.
- **Factor de forma (FF).** Es un concepto teórico, útil para medir la forma de la curva definida por las variables i y V .

$$FF = P_M / (i_{sc} V_{oc}) = i_M V_M / (i_{sc} V_{oc}) \quad (2.8)$$

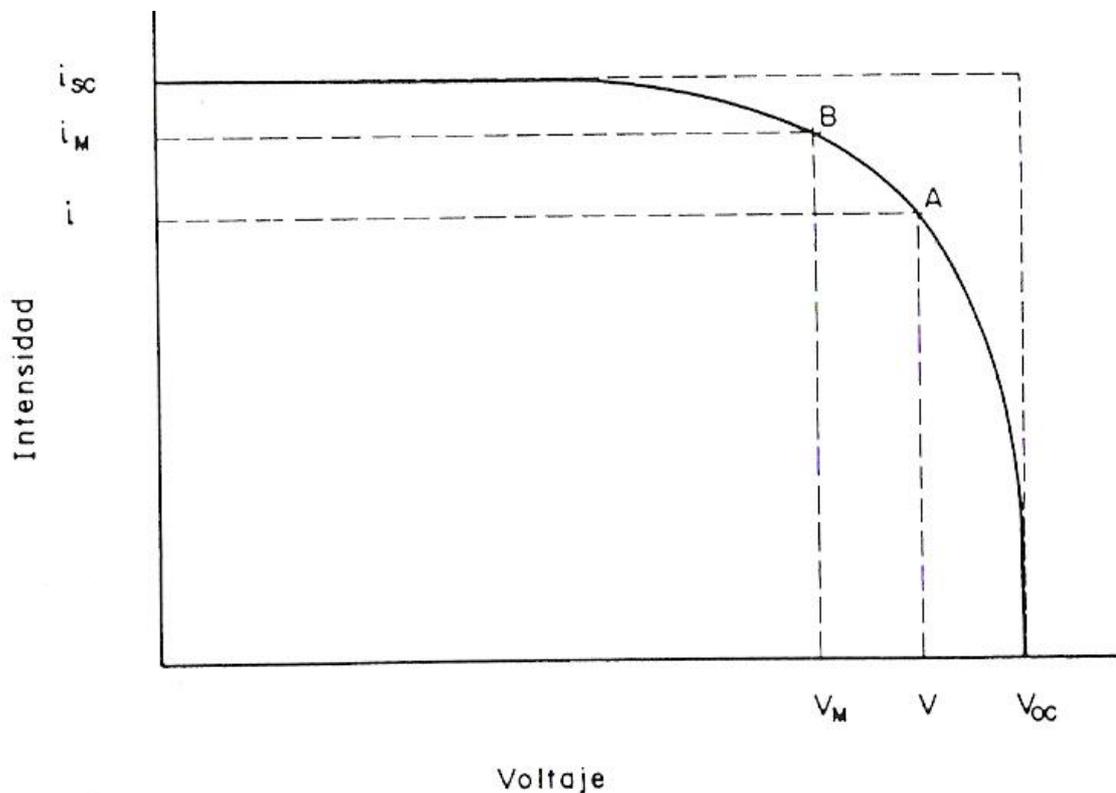


Figura 2.18. Curva i-V de un panel fotovoltaico

Los conceptos anteriormente definidos resultan más claros si se observa la figura 18 que representa la curva medida experimentalmente de un típico panel fotovoltaico sometido a unas determinadas condiciones constantes de radiación y temperatura. Variando la resistencia externa desde un valor nulo hasta infinito, se pueden medir diversos valores de pares (i, V) que, uniéndolos, forman la que se denomina curva característica del panel o curva de

intensidad-voltaje (abreviadamente curva $i-V$), la cual presenta un aspecto bastante similar de unos paneles a otros.

El punto A es un punto cualquiera que representa el funcionamiento del panel en unas condiciones (determinadas por la resistencia o “carga” exterior) de intensidad i y voltaje V . El panel desarrolla una cierta potencia iV , que geoméricamente coincide con el área del rectángulo cuyo vértice superior derecho es el punto A.

Si el punto A se “moviera” hacia la derecha, bajando por la curva, se ve que el área de dicho rectángulo, al decrecer i muy rápidamente, se haría más y más pequeña. Lo mismo sucedería si dicho punto se trasladase hacia la izquierda, aproximándose al eje de ordenadas, ya que en este caso lo que se haría muy pequeño sería el valor de V .

Existirá un cierto punto intermedio B que haga que el área del rectángulo sea la mayor posible. Dicho punto B es el de máxima potencia. El voltaje V_M que corresponde al punto de máxima potencia es, aproximadamente, un 80% del voltaje a circuito abierto V_{oc} , para la mayoría de los módulos comerciales.

El factor de forma FF es el cociente del área del rectángulo definido por el punto B y el rectángulo exterior a la curva, cuyos lados son i_{sc} Y V_{oc} .

Para un determinado modelo de panel y en unas condiciones de intensidad luminosa y temperatura constante, la curva $i-V$ queda determinada y el punto concreto sobre dicha curva que representa las condiciones de trabajo del panel quedará fijado para el circuito que alimenta éste. Si, por ejemplo, deseamos usar el panel para cargar una batería de 12 V, el voltaje mínimo que habrá que suministrar será de 13 V (siempre es preciso que sea algo mayor para que la batería se cargue correctamente), así que no serviría de nada si el panel, debido a una insuficiente iluminación o a otras causas, no fuera capaz de alcanzar este voltaje.

Según el número de células en serie de que conste el panel (cada una de ellas es capaz de producir un voltaje alrededor de medio voltio), puede generar

voltajes adecuados para trabajar a 6, 12 ó 24 V. También el tipo de material semiconductor influye en estas características.

Si se modifican la intensidad radiante incidente sobre el panel o la temperatura ambiente, que son las dos variables que más influencia tienen en la respuesta eléctrica del mismo, la curva $i-V$ también se modifica.

El estándar internacionalmente aceptado para medir respuestas de paneles fotovoltaicos, es una intensidad radiante de 1000 W/m^2 , que se conoce como una intensidad de “un Sol” y una temperatura de la célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Estas condiciones se simulan en laboratorio de ensayo mediante un simulador solar (focos eléctricos que emiten un espectro luminoso muy similar al sol).

Las condiciones de trabajo reales de los paneles una vez instalados pueden ser muy diferentes a las del laboratorio, por lo que conviene conocer las variaciones que pueden producirse, a fin de efectuar las pertinentes correcciones en los cálculos.

La intensidad de la corriente eléctrica es aproximadamente proporcional a la intensidad de la radiación incidente, lo cual resulta lógico pues si, por ejemplo, se duplica el número de fotones incidente sobre las células, se duplicará (hasta cierto límite) el número de choques con electrones. El voltaje también aumenta con la radiación, pero siguiendo una curva exponencial muy diferente a la de la corriente.

Si no se conocen las curvas de variación con la temperatura de las magnitudes características del panel (que deben ser suministradas por el fabricante o proveedor de los mismos), resulta útil conocer unas variaciones medias, a saber:

- Para paneles de células de silicio el voltaje disminuye a razón de 2.3×10^{-3} voltios por cada célula que contenga el panel y por cada $^\circ\text{C}$ de aumento de temperatura de la célula por encima de los $25 \text{ }^\circ\text{C}$. La corriente aumenta a razón de 15×10^{-6} amperios por cada

centímetro cuadrado de área de células y grado centígrado de aumento de temperatura por encima de 25°C.

- Para paneles con tecnología de película delgada las variaciones son respectivamente de $- 2,8 \times 10^{-3}$ V/célula y $+ 1.3 \times 10^{-5}$ A/cm² por cada grado centígrado de aumento.

En la práctica basta recordar que la potencia del panel disminuye aproximadamente un 0.5 % por cada grado de aumento de la temperatura de la célula por encima de los 25 °C.

Hay que tener en cuenta que la temperatura de la célula a que nos hemos estado refiriendo no coincide con la temperatura ambiente, debido a que la célula, al ser un cuerpo receptor de radiación situado bajo una cubierta transparente, se calentará al incidir la luz del sol.

El incremento de temperatura de la célula respecto a la temperatura del aire depende de las características de la misma y de las de construcción del propio panel. A título orientativo, podemos admitir como válida la función siguiente:

$$\Delta t^0 = 0.034I - 4 \quad (2.9)$$

Utilizando la anterior ecuación podemos estimar que en una localidad donde la intensidad media de la radiación solar sea de 600 W/m² y la temperatura ambiente de 27°C, las células alcanzarán unos 43°C de temperatura, con lo que la potencia real del panel será aproximadamente un 9 % menor (0.5 % por cada grado que exceda los 25°C) de la especificada para condiciones estándar.

Para evitar tener que calcular intensidades medias de radiación, basta en la mayoría de los casos suponer que la temperatura media de trabajo de la célula es 20°C superior a la del ambiente, lo que constituye una buena aproximación. Por este concepto, el rendimiento del panel baja a un 90%.

Existen en el mercado varios tipos de paneles que se diferencian entre sí por sus características constructivas o por el tipo de materiales empleados.

En principio, podríamos clasificar los paneles atendiendo al tipo de células que contiene. Así, se habla de paneles monocristalinos, policristalinos y amorfos, o mencionando el material semiconductor utilizado.

Otra posible clasificación tendría en cuenta la potencia que cada panel es capaz de producir. Existen minipaneles de tan sólo 1 ó 2 W de potencia, como los que se utilizan para mantener cargada la batería de un automóvil, y también podemos encontrar grandes paneles de 150 W.

Normalmente, cuando nos referimos a un panel de una determinada potencia entendemos que se trata de su potencia nominal, es decir, aquella que el fabricante o la entidad encargada de efectuar las medidas aseguran que el panel es capaz de suministrar bajo unas determinadas condiciones.

La potencia nominal pico es la proporcionada al recibir el panel una irradiación de 1000 W/m^2 cuando la temperatura de las células es de 25°C . El nombre de “pico” hace referencia a que una intensidad radiante de 1000 W/m^2 constituye un pico máximo en las medidas reales de la intensidad radiante (corresponde más o menos a la obtenida en un día claro con el Sol cercano al cenit).

En la mayor parte del tiempo la intensidad radiante recibida por el panel es inferior a 1000 W/m^2 , por lo que la potencia real producida será también inferior a la nominal pico. Las potencias nominales más usuales que se pueden encontrar en el mercado son: 5, 10, 20, 35, 40,60 y 100 W.

En cuanto a la tensión o voltaje, ya se ha dicho que la máxima diferencia de potencial que un panel puede proporcionar es V_{oc} , aunque el voltaje efectivo de trabajo es siempre menor.

Según que el número de células sea aproximadamente 18 ó 36, se habla de paneles de 6 ó 12 V (V_{oc} vale alrededor de 10 y 20 V respectivamente). Los paneles más utilizados son los de 12 V, por ser la tensión más frecuente en corriente continua y coincidir con la tensión de trabajo de muchos de los acumuladores de uso corriente.

Mención especial merecen los llamados paneles bifaciales, desarrollados por el ingeniero español A. Luque, que son capaces de captar también la radiación reflejada (albedo) proveniente de la parte trasera del panel. Instalándolos convenientemente sobre una superficie blanca o de color claro, se puede obtener un incremento de potencia útil del orden de un 20%.

Interconexión de paneles.

Los paneles están diseñados para formar una estructura modular, siendo posible combinarlos entre sí en serie, en paralelo o de forma mixta, a fin de obtener la tensión e intensidad deseadas.

Sabemos que, al igual que cualquier fuente de fuerza electromotriz, el acoplamiento de dos o más paneles en serie produce un voltaje igual a la suma de los voltajes individuales de cada panel, manteniéndose invariable la intensidad. En paralelo, es la intensidad la que aumenta, permaneciendo igual el voltaje.

Lo más frecuente es adquirir paneles del voltaje deseado (los de 12 voltios son los que más abundan en el mercado) y combinados en paralelo de forma que la intensidad total (y por tanto la potencia resultante) sea la necesaria para satisfacer el consumo eléctrico calculado.

Normalmente, el fabricante proporciona los accesorios e instrucciones necesarias para lograr una interconexión fácil y segura. En cualquier caso, las conexiones se efectuarán utilizando terminales en los cables.

Es importante advertir que los paneles que se interconexionan deberán tener la misma curva $i-V$, a fin de evitar descompensaciones.

Los paneles compuestos, formados por módulos individuales, pueden a su vez combinarse entre sí para formar estructuras mayores constituidas por gran número de paneles (en inglés “arrays”).

Si en un grupo de varios módulos conectados en serie, uno de ellos falla, bien por avería interna o por recibir temporalmente sombra, dicho módulo se convierte en una carga resistiva que dificultará sobremanera, o impedirá totalmente, el paso a su través de la corriente generada por los demás módulos

de la serie. Toda la hilera de módulos en serie quedaría, pues, fuera de servicio e incluso pudiera ocurrir que la generación de calor por efecto Joule, que se producirá en el módulo afectado, termine por arruinarlo totalmente.

Para prevenir la anterior circunstancia, los módulos conectados en serie se dotan de un pequeño elemento denominado *diódo de "by-pass"*, conectado en paralelo, entre sus terminales. Dicho elemento proporciona un camino alternativo a la corriente generada por los demás módulos de la serie en el caso de que ésta encuentre una anormal resistencia a fluir por el propio módulo.

El diódo de "by-pass" se conecta con su cátodo unido al terminal positivo del módulo. Algún fabricante ya incorpora este dispositivo montado en la caja de conexión de cada panel, mientras que otros reservan una ubicación en la misma para el caso de que el instalador opte por incorporar el diódo, lo cual se recomienda hacer siempre que exista alguna probabilidad de sombreado parcial de algún módulo.

Los fabricantes de grandes módulos utilizan también varios pequeños diodos de "by-pass" cada cierto número de células en serie, para tratar de minimizar los problemas en el caso de que alguna de las células no funcionara apropiadamente.

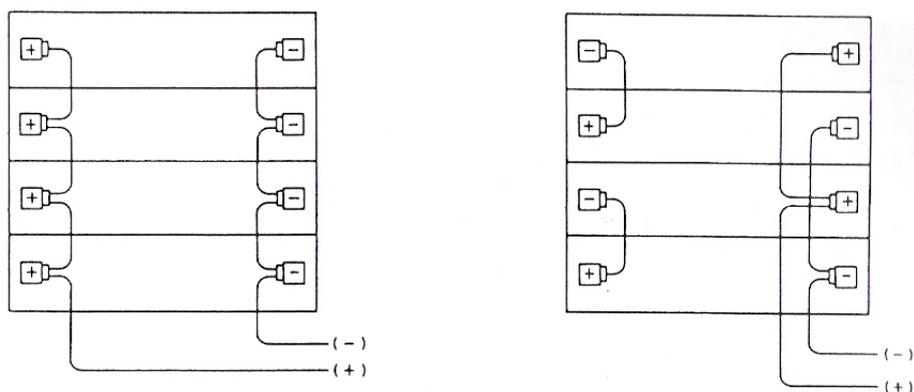


Figura 2.19. Conexión de cuatro paneles en paralelo con tensión de salida 12 V. (izquierda). Conexión de dos grupos en paralelo, c/u formado por dos paneles en serie con tensión de salida 24 V. (derecha)

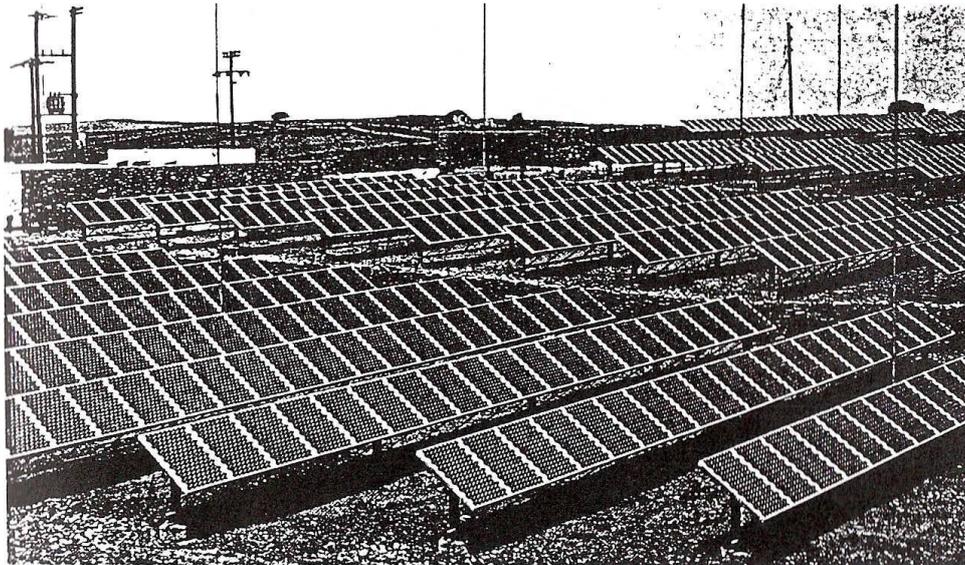


Figura 2.20. Campo de 100 Kw formado por 860 módulos agrupados en unidades de 5 Kw. a su vez formadas por varias filas de módulos conectadas en serie.

Estructura de soporte y anclaje del panel fotovoltaico.

El bastidor que sujeta al panel, la estructura soporte del mismo, y el sistema de sujeción son tan importantes como el propio panel, pues un fallo en estos elementos conlleva la inmediata paralización de la instalación.

Muchas veces los fabricantes del panel suministran los elementos necesarios, sueltos o en forma de “kits”, para proceder a un complejo montaje. Otras, es el propio proyectista o el Instalador quien, haciendo uso de los perfiles normalizados que se encuentran en el mercado, construye una estructura adecuada para el panel.

Hay que considerar no obstante que debido a su relativo poco peso, los paneles fotovoltaicos admiten algunas variantes en cuanto a las características del soporte y al lugar de anclaje, el cual puede ser cualquier paramento vertical, además de las superficies del suelo, tejados o terrazas.

Sin embargo, no hay que olvidar que el principal enemigo no es el peso de los paneles, sino la fuerza del viento que, como sabemos, puede llegar a ser muy considerable.

Si, debido a un viento huracanado (que se produce con bastante probabilidad alguna vez cada cierto número de años, dependiendo de la zona), se desprenden algunos paneles, es casi seguro que al caer al suelo resultarán rotos o muy dañados, habiendo de ser sustituidos. Dado el elevado costo de estos elementos, se comprende la necesidad de cuidar que la estructura de soporte y sujeción sea lo suficientemente segura y sólida, aun a riesgo de parecer exageradamente fuerte. En cualquier caso, la estructura deberá resistir vientos de, como mínimo, 150 Km./h.

La estructura también cumple la importante misión de fijar la inclinación que tomarán los colectores (que se instalarán siempre mirando hacia el Ecuador) y que se recomienda sea la siguiente:

- 20° mayor que la latitud para instalaciones de función prioritaria en invierno, como la de servicios eléctricos o albergues de montaña.
- 15° mayor que la latitud para instalaciones de funcionamiento más o menos uniforme durante todo el año, como por ejemplo la de electrificación de viviendas, bombas de agua, repetidores de TV.
- Igual que la latitud para instalaciones de funcionamiento prioritario en primavera o verano, como la de camping y campamentos.

La razón de aumentar un poco más la inclinación de los paneles fotovoltaicos con respecto a la de los colectores térmicos se debe a que se hace preciso intentar captar toda la energía posible en los meses más desfavorables (invierno), ya que en estos casos no se suele disponer, a diferencia de lo que ocurría en la utilización de la energía solar térmica, de ninguna otra fuente de energía auxiliar.

Según los casos y las características de la instalación, los paneles fotovoltaicos pueden instalarse en estructuras que descansen sobre el suelo, sobre un paramento vertical, sobre el tejado o terraza, etc.

Existen estructuras muy sencillas, como la formada por un simple poste empotrado en el suelo que puede sostener de 1 a 4 paneles, hasta grandes estructuras formadas por vigas de acero, que soportarán varias decenas.

En cuanto a los anclajes o empotramiento de la estructura, se utilizan bloques de hormigón y tornillos roscados. Tanto la estructura como los soportes habrán de ser preferiblemente de aluminio anodizado, acero inoxidable o hierro galvanizado, y la tortillería de acero inoxidable. El espesor de la capa de galvanizado deberá ser como mínimo de 100 μm .

En terrazas o suelos la estructura deberá permitir una altura mínima del panel de 30 cm, la cual, en zonas de montaña o donde se produzcan abundantes precipitaciones de nieve deberá ser superior, a fin de evitar que los paneles queden parcial o totalmente cubiertos por las sucesivas capas de nieve depositadas en invierno.

Especial atención deberá presentarse a los puntos de apoyo de la estructura. En el supuesto de que ésta sea de tipo mástil es conveniente arriostrarla.

Si la base donde descansa la estructura es de hormigón, es conveniente reforzarlo en sus extremos mediante tirantes de acero. El procedimiento más conocido de anclar la estructura sobre la base de hormigón consiste en utilizar unas piezas metálicas a propósito, que se introducen en el hormigón cuando éste todavía está blando y al fraguar quedan firmemente sujetas. Dichas piezas, al disponer en el extremo que sobresale de espárragos roscados, facilitan la unión mediante tuercas con las patas de la estructura.

Si la estructura se monta sobre postes, también pueden utilizarse flejes de acero inoxidable sujetos por una grapa o hebilla del mismo material.

2.4.1. DISEÑO DEL PANEL SOLAR “FOTOVOLTAICO”.

Como determinate para el diseño del panel solar fotovoltaico¹⁰, vemos nuestra aplicación y necesidad de energía eléctrica para la generación de hipoclorito de sodio tomando en cuenta las siguientes características.

- Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.

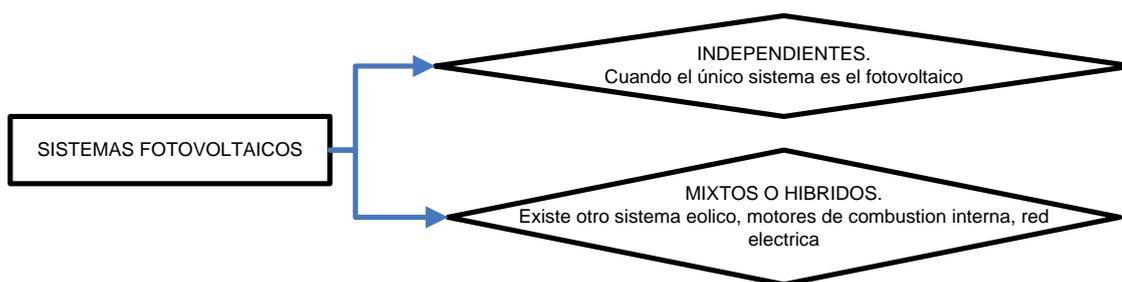


Figura 2.21. Sistemas fotovoltaicos.

Además los sistemas fotovoltaicos pueden ser planos o concentradores, el utilizado en el proyecto es del tipo plano.

- Características de las células fotovoltaicas- paneles:
 - No tiene partes móviles
 - Poco mantenimiento – disminución en los costos de operación.
 - Larga vida útil “20 años”.
 - Es modular – formado por paneles.
 - Son frágiles de un diámetro de 10 cm., 2 amperios y 0.5 voltios.

El cambio de modelo de las células de circulares a cuadradas y rectangulares ha beneficiado la eficiencia de los paneles.

¹⁰ Apuntes de “Energías no Convencionales – ESPE”

Calculo de la Eficiencia del Panel Utilizado (unión de células)

$fuerzamaxima = Wp = \text{WATIOS PICO}$

$I_{CNP} = \text{Intensidad en condiciones normales de prueba} = 1000\text{W}/\text{m}^2$

EN CONDICIONES NORMALES DE PRUEBA

$$\eta_{\text{mod}} = \frac{fuerzamaxima}{\text{area del modulo} * I_{CNP}} \quad (2.10)$$

$$\eta_{\text{mod}} = \frac{43 \text{ Wp}}{0.62\text{m}^2 * 1000\text{W} / \text{m}^2}$$
$$\eta_{\text{mod}} = 6.93\%$$

EN CONDICIONES DE OPERACION

$$\eta_{\text{mod}} = \eta_{CNP} * (1 - 0.003 * (T_o - T_{cnp})) \quad (2.11)$$
$$\eta_{\text{mod}} = 6.93 * (1 - 0.003 * (24 - 28))$$
$$\eta_{\text{mod}} = 7.03\%$$

Entonces: Si con 6.93% tenemos 43W.

Por lo tanto Potencia P

$$P = 43 * (1 - 0.003 * (24 - 28)) \quad (2.12)$$
$$P = 43.51\text{w}$$

Dimensiónamiento¹¹.-

Para la generación de 12 voltios se necesita de 24 células de 0.5 voltios, conectadas en serie.

¹¹ Anotaciones de energías no convencionales INTERCONEXION DE PANELES ESPE

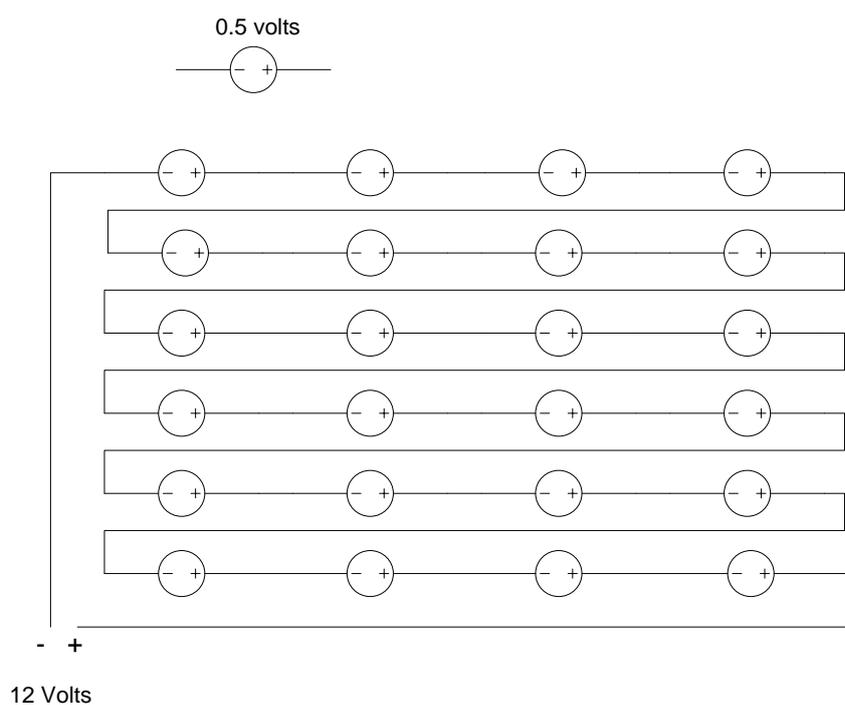


Figura. 2.22. Conexión en serie de las células fotovoltaicas.

- Componentes del sistema fotovoltaico.

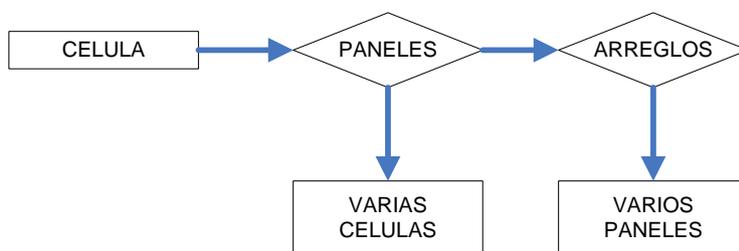


Figura. 2.23. Sistema fotovoltaico.

2.5. CELDA ELECTROQUÍMICA (CONCEPTO).



Figura. 2.24. Celda electroquímica electrodos de Cobre y Carbono.

Las celdas electroquímicas¹² se clasifican en galvánicas si se emplean para producir energía eléctrica, y electrolíticas cuando consumen electricidad de una fuente externa. Ambos tipos de celdas se emplean en electro analítica química. Es importante hacer constar que muchas celdas puede operarse en sentido galvánico o en sentido electrolítico, haciendo variar las condiciones experimentales.

¹² www1.uprh.edu/inieves/W_2TERMO-manual.htm
Celda Electroquímica (Concepto – D.A. SKOOG ANALISIS INSTRUMENTAL 2DA ED TRADUC MARIO CALCAGNO, MEXICO , INTERAMERICANA PP522- 537

Componentes de las celdas.



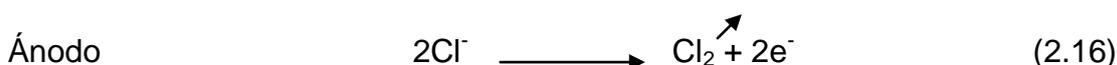
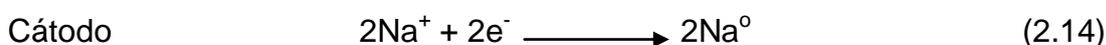
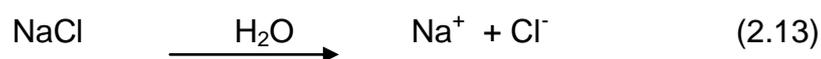
Figura. 2.25. Celda electroquímica disposición de electrodos de Cobre y Carbono

Una celda electroquímica contiene dos conductores llamados electrodos, sumergidos en una solución electrolítica apropiada. los electrodos estén conectados mediante una solución de electrólitos estén en contacto para que pueda producirse movimiento de iones de una a otra, así como a las moléculas de H_2O a través de ambas soluciones de electrólitos; su función consiste sólo en impedir que estas soluciones se mezclen libremente.

La celda electroquímica más sencilla consta de tres fases al menos, incluyendo dos electrodos y uno o más electrólitos. El electrodo en el que ocurre la reacción iónica productora de electrones (por ejemplo, $M - M' + e^-$ es el ánodo; el electrodo en el que ocurre la reacción que consume o absorbe electrones (p. ej., $N^+ + e^- - N$) se denomina cátodo. La dirección del flujo de electrones en el circuito externo es siempre del ánodo al cátodo.

Ánodo y Cátodo. Por definición, el cátodo de celda electroquímica es el electrodo en el cual se produce la reducción, mientras que el, ánodo es el electrodo en el cual tiene lugar la oxidación. Estas definiciones se aplican en las celdas electrolíticas.

Ecuación de Faraday.



2.5.1. DISEÑO DE CELDA ELECTROQUÍMICA¹³.

El diseño se basa e la utilización de materiales de fácil obtención en nuestro mercado por lo cual vemos la necesidad de mostrar un listado de materiales:

Material necesario:

Recipiente de plástico para la celda electroquímica:

Capacidad 2 lts o mayor.

Dos electrodos cilíndricos:

- Carbón cilíndrico de grafito “Cátodo”
- Cilindro de cobre “Ánodo”
- Porta electrodos cantidad 2

¹³ www1.uprh.edu/inieves/W_2TERMO-manual.htm

Generador solar de corriente continúa 16 voltios proveniente de unos paneles fotovoltaicos.

2.5.2. DISEÑO DE ELECTRODOS.

Selección de los materiales a utilizar.-

Los materiales a utilizar son carbón de grafito, cobre y un polímero.

Diseño de los electrodos.

Para el diseño de los electrodos se debe tomar en cuenta, que este equipo se utilizara para desinfectar agua, que va a ser consumida por la gente, por la que tiene que ser apta para el consumo humano, por tal motivo La construcción se lo realiza mediante un proceso de manufactura denominado torneado el que nos permite lograr las dimensiones cilíndricas requeridas.

Carbono.

Tabla 2.5. Propiedades químicas.

Nombre	Carbono
Número atómico	6
Valencia	2,+4,-4
Estado de oxidación	+4
Electronegatividad	2,5
Radio covalente (Å)	0,77
Radio iónico (Å)	0,15
Radio atómico (Å)	0,914
Configuración electrónica	$1s^2 2s^2 2p^2$
Primer potencial de ionización (eV)	11,34
Masa atómica (g/mol)	12,01115
Densidad (g/ml)	2,26

Punto de ebullición (°C)	4830
Punto de fusión (°C)	3727
Descubridor	Los antiguos

CARBONO¹⁴.



Figura 2.26. Carbono.

El carbono es único en la química porque forma un número de compuestos mayor que la suma total de todos los otros elementos combinados.

Con mucho, el grupo más grande de estos compuestos es el constituido por carbono e hidrógeno. Se estima que se conoce un mínimo de 1.000.000 de compuestos orgánicos y este número crece rápidamente cada año. Aunque la clasificación no es rigurosa, el carbono forma otra serie de compuestos considerados como inorgánicos, en un número mucho menor al de los orgánicos.

El carbono elemental existe en dos formas alotrópicas cristalinas bien definidas: diamante y grafito. Otras formas con poca cristalinidad son carbón vegetal, coque y negro de humo. El carbono químicamente puro se prepara por descomposición térmica del azúcar (sacarosa) en ausencia de aire. Las propiedades físicas y químicas del carbono dependen de la estructura cristalina

¹⁴ www.Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S_C_ - CIMAV.htm

del elemento. La densidad fluctúa entre 2.25 g/cm³ (1.30 onzas/in³) para el grafito y 3.51 g/cm³ (2.03 onzas/in³) para el diamante. El punto de fusión del grafito es de 3500°C (6332°F) y el de ebullición extrapolando es de 4830°C (8726°F). El carbono elemental es una sustancia inerte, insoluble en agua, ácidos y bases diluidas, así como disolventes orgánicos.

A temperaturas elevadas se combina con el oxígeno para formar monóxido o dióxido de carbono. Con agentes oxidantes calientes, como ácido nítrico y nitrato de potasio, se obtiene ácido melítico C₆(CO₂H)₆. De los halógenos sólo el flúor reacciona con el carbono elemental. Un gran número de metales se combinan con el elemento a temperaturas elevadas para formar carburos.

Con el oxígeno forma tres compuestos gaseosos: monóxido de carbono, CO, dióxido de carbono, CO₂, y subóxido de carbono, C₃O₂. Los dos primeros son los más importantes desde el punto de vista industrial. El carbono forma compuestos de fórmula general CX₄ con los halógenos, donde X es flúor, cloro, bromo o yodo. A temperatura ambiente el tetrafluoruro de carbono es gas, el tetracloruro es un líquido y los otros dos compuestos son sólidos. También se conocen tetrahalogenuros de carbono mixtos. Quizá el más importante de ellos es el diclorodifluorometano, CCl₂F₂ llamado freón.

El carbono y sus compuestos se encuentran distribuidos ampliamente en la naturaleza. Se estima que el carbono constituye 0.032% de la corteza terrestre. El carbono libre se encuentra en grandes depósitos como hulla, forma amorfa del elemento con otros compuestos complejos de carbono-hidrógeno-nitrógeno. El carbono cristalino puro se halla como grafito y diamante.

Grandes cantidades de carbono se encuentran en forma de compuestos. El carbono está presente en la atmósfera en un 0.03% por volumen como dióxido de carbono. Varios minerales, como caliza, dolomita, yeso y mármol, tienen carbonatos. Todas las plantas y animales vivos están formados de compuestos orgánicos complejos en donde el carbono está combinado con hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. Los vestigios de plantas y animales vivos forman depósitos: de petróleo, asfalto y betún. Los depósitos de gas natural contienen compuestos formados por carbono e hidrógeno.

El elemento libre tiene muchos usos, que incluyen desde las aplicaciones ornamentales del diamante en joyería hasta el pigmento de negro de humo en llantas de automóvil y tintas de imprenta. Otra forma del carbono, el grafito, se utiliza para crisoles de alta temperatura, electrodos de celda seca y de arco de luz, como puntillas de lápiz y como lubricante. El carbón vegetal, una forma amorfa del carbono, se utiliza como absorbente de gases y agente decolorante. Los compuestos de carbono tienen muchos usos. El dióxido de carbono se utiliza en la carbonatación de bebidas, en extintores de fuego y, en estado sólido, como enfriador (hielo seco). El monóxido de carbono se utiliza como agente reductor en muchos procesos metalúrgicos. El tetracloruro de carbono y el disulfuro de carbono son disolventes industriales importantes. El freón se utiliza en aparatos de refrigeración. El carburo de calcio se emplea para preparar acetileno; es útil para soldar y cortar metales, así como para preparar otros compuestos orgánicos. Otros carburos metálicos tienen usos importantes como refractarios y como cortadores de metal.

Efectos del Carbono sobre la salud

El carbono elemental es de una toxicidad muy baja. Los datos presentados aquí de peligros para la salud están basados en la exposición al negro de carbono, no carbono elemental. La inhalación continuada de negro de carbón puede resultar en daños temporales o permanentes a los pulmones y el corazón.

Se ha encontrado neumoconiosis en trabajadores relacionados con la producción de negro de carbón. También se ha dado parte de afecciones cutáneas tales como inflamación de los folículos pilosos, y lesiones de la mucosa bucal debidos a la exposición cutánea.

Carcinogenicidad: El negro de carbón ha sido incluido en la lista de la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (AIIC) dentro del grupo 3 (agente no clasificable con respecto a su carcinogenicidad en humanos).

El carbono-14 es uno de los radionucleidos involucrados en las pruebas nucleares atmosféricas, que comenzó en 1945, con una prueba americana, y

terminó en 1980 con una prueba china. Se encuentra entre los radionucleidos de larga vida que han producido y continuarán produciendo aumento del riesgo de cáncer durante décadas y los siglos venideros. También puede atravesar la placenta, ligarse orgánicamente con células en desarrollo y de esta forma poner a los fetos en peligro.

Efectos ambientales del Carbono.

No se tiene constancia de que el carbono tenga efectos negativos sobre el medio ambiente.

Cobre.

Tabla 2.6. Propiedades químicas del cobre.

Nombre	Cobre
Número atómico	29
Valencia	1,2
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,9
Radio covalente (Å)	1,38
Radio iónico (Å)	0,69
Radio atómico (Å)	1,28
Configuración electrónica	[Ar]3d ¹⁰ 4s ¹
Primer potencial de ionización (eV)	7,77
Mása atómica (g/mol)	63,54
Densidad (g/ml)	8,96
Punto de ebullición (°C)	2595
Punto de fusión (°C)	1083
Descubridor	Los antiguos

COBRE¹⁵.



Figura 2.27. Cobre

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos.

La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita, azurita, crisocola y brocantita. El cobre natural, antes abundante en Estados Unidos, se extrae ahora sólo en Michigan. El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo.

El cobre es el primer elemento del subgrupo Ib de la tabla periódica y también incluye los otros metales de acuñación, plata y oro. Su átomo tiene la estructura electrónica $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$. El bajo potencial de ionización del electrón $4s^1$ da por resultado una remoción fácil del mismo para obtener cobre(I), o ion cuproso, Cu^+ , y el cobre(II), o ion cúprico, Cu^{2+} , se forma sin dificultad por

¹⁵ www.Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S_C_ - CIMAV.htm

remoción de un electrón de la capa 3d. El peso atómico del cobre es 63.546. tiene dos isótopos naturales estables ^{63}Cu y ^{65}Cu . También se conocen nueve isótopos inestables (radiactivos). El cobre se caracteriza por su baja actividad química. Se combina químicamente en alguno de sus posibles estados de valencia. La valencia más común es la de 2+ (cúprico), pero 1+ (cuproso) es también frecuente; la valencia 3+ ocurre sólo en unos cuantos compuestos inestables.

Un metal comparativamente pesado, el cobre sólido puro, tiene una densidad de 8.96 g/cm^3 a 20°C , mientras que el del tipo comercial varía con el método de manufactura, oscilando entre 8.90 y 8.94. El punto de fusión del cobre es de $1083.0 (+/-) 0.1^\circ\text{C}$ ($1981.4 (+/-) 0.2^\circ\text{F}$). Su punto de ebullición normal es de 2595°C (4703°F). El cobre no es magnético; o más exactamente, es un poco paramagnético. Su conductividad térmica y eléctrica son muy altas. Es uno de los metales que puede tenerse en estado más puro, es moderadamente duro, es tenaz en extremo y resistente al desgaste. La fuerza del cobre está acompañada de una alta ductibilidad. Las propiedades mecánicas y eléctricas de un metal dependen en gran medida de las condiciones físicas, temperatura y tamaño de grano del metal.

De los cientos de compuestos de cobre, sólo unos cuantos son fabricados de manera industrial en gran escala. El más importante es el sulfato de cobre(II) pentahidratado o azul de vitriolo, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Otros incluyen la mezcla de Burdeos; $3\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CuSO}_4$; verde de París, un complejo de metaarsenito y acetato de cobre; cianuro cuproso, CuCN ; óxido cuproso, Cu_2O ; cloruro cúprico, CuCl_2 ; óxido cúprico, CuO ; carbonato básico cúprico; naftenato de cobre, el agente más ampliamente utilizado en la prevención de la putrefacción de la madera, telas, cuerdas y redes de pesca. Las principales aplicaciones de los compuestos de cobre las encontramos en la agricultura, en especial como fungicidas e insecticidas; como pigmentos; en soluciones galvanoplásticas; en celdas primarias; como mordentes en teñido, y como catalizadores.

Efectos del Cobre sobre la salud.

El Cobre es una sustancia muy común que ocurre naturalmente y se extiende a través del ambiente a través de fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el Cobre. Por ejemplo este es aplicado en industrias y en agricultura. La producción de Cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades de Cobre en el ambiente se ha expandido.

El Cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire. Debido a que absorbemos una cantidad eminente de cobre cada día por la comida, bebiendo y respirando. La absorción del Cobre es necesaria, porque el Cobre es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de Cobre proporcionalmente altas, mucho Cobre puede también causar problemas de salud.

La mayoría de los compuestos del Cobre se depositarán y se enlazarán tanto a los sedimentos del agua como a las partículas del suelo. Compuestos solubles del Cobre forman la mayor amenaza para la salud humana. Usualmente compuestos del Cobre solubles en agua ocurren en el ambiente después de liberarse a través de aplicaciones en la agricultura.

Las concentraciones del Cobre en el aire son usualmente bastante bajas, así que la exposición al Cobre por respiración es descartable. Pero gente que vive cerca de fundiciones que procesan el mineral cobre en metal pueden experimentar esta clase de exposición.

La gente que vive en casas que todavía tiene tuberías de cobre está expuesta a más altos niveles de Cobre que la mayoría de la gente, porque el Cobre es liberado en sus aguas a través de la corrosión de las tuberías.

La exposición profesional al Cobre puede ocurrir. En el Ambiente de trabajo el contacto con Cobre puede llevar a coger gripe conocida como la fiebre del metal. Esta fiebre pasará después de dos días y es causada por una sobre sensibilidad.

Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. Si el Cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún.

Hay artículos científicos que indican una unión entre exposiciones de largo término a elevadas concentraciones de Cobre y una disminución de la inteligencia en adolescentes.

Efectos ambientales del Cobre.

La producción mundial de Cobre está todavía creciendo. Esto básicamente significa que más y más Cobre termina en el medioambiente. Los ríos están depositando barro en sus orillas que están contaminados con Cobre, debido al vertido de aguas residuales contaminadas con Cobre. El Cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de fuel. El Cobre en el aire permanecerá por un período de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover. Este terminará mayormente en los suelos, como resultado los suelos pueden también contener grandes cantidades de Cobre después de que esté sea depositado desde el aire.

El Cobre puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos. Unos pocos de ejemplos de actividades humanas que contribuyen a la liberación del Cobre han sido ya nombrados. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados.

El Cobre es a menudo encontrado cerca de minas, asentamientos industriales, vertederos y lugares de residuos.

Cuando el Cobre termina en el suelo este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el

cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres.

El Cobre no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos. En suelos ricos en Cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir. Por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de Cobres, debido al efecto del Cobre sobre las plantas, es una seria amenaza para la producción en las granjas. El Cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto el estiércol que contiene Cobre es todavía usado.

El Cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto.

Cuando los suelos de las granjas están contaminados con Cobre, los animales pueden absorber concentraciones de Cobre que dañan su salud. Principalmente las ovejas sufren un gran efecto por envenenamiento con Cobre, debido a que los efectos del Cobre se manifiestan a bajas concentraciones.

Diseño de los porta electrodos, soportes.

Los porta electrodos se diseñan en base a materiales plásticos no conductores, además que no sufren de corrosión al contacto con la sal y el cloro generado.

Selección de los materiales a utilizar.

Los materiales a utilizar son polímeros los cuales no interfieren en la reacción química dentro de la celda electroquímica.

Los porta electrodos se los realiza mediante un proceso de torneado que nos permite lograr las dimensiones cilíndricas requeridas.

2.5.3. CALIBRACIÓN DE LA CELDA Y LOS ELECTRODOS.

La calibración¹⁶ de la celda se la realiza dependiendo del volumen de agua que se procederá a desinfectar, además se debe considerar la temperatura ambiente y temperatura del agua.

Los electrodos deben permanecer dentro de la solución lo cual permitirá que se genere la reacción química, dependiendo de la distancia que se tenga en la celda electroquímica se ubican los electrodos, la única precaución que se debe tomar en cuenta es que los electrodos tengan una distancia mínima y nunca estén en contacto por que se produce otro tipo de reacción.

El cambio de polaridad en los electrodos en el dispositivo de producción del hipoclorito de sodio "autoseñala" automáticamente una inversión accidental de polaridades: del electrodo negativo en cobre no se formarán burbujas de gas mientras que tenderá recubrirse de una pátina gris-verdosa debido a su progresivo desgaste por el ataque corrosivo del cloro gaseoso.

Procedimiento.

- Preparación del recipiente de plástico translucido, dimensionamiento o señalización de volumen requerido y colocación de los electrodos con sus conexiones requeridas.
- Llenar el agua al volumen indicado
- Colocar la sal la cantidad necesaria para la mezcla
- Revolver el agua con sal hasta que se diluya totalmente
- Dejar que la solución por un momento hasta que este en reposo.
- Conectar la energía eléctrica requerida producida por las células fotovoltaicas.
- Esperar el tiempo necesario para el proceso de la celda electroquímica.

Nota: Los electrodos deben estar dentro de la solución de agua con sal, el procedimiento se debe realizar en el día.

¹⁶ www.greengt.org/glosario.html

2.6. DISEÑO DEL TANQUE RESERVORIO.

Para realizar el diseño del tanque¹⁷ se tomo en cuenta los siguientes parámetros:

- Volumen requerido : 100 litros
- Material: acero inoxidable espesor 3 mm.

Se decidió por un tanque de forma cilíndrica por su facilidad de construcción, manipulación y limpieza.

Seleccionamos el acero inoxidable para la construcción del tanque porque se va a utilizar como reservorio de agua ya desinfectada que es consumida por seres humanos, además se debe tomar en cuenta que el material del tanque debe ser resistente a la corrosión.

El espesor de la plancha de acero inoxidable de 3 mm escogido es de fácil obtención en nuestro mercado.

Cálculos:

Datos:

Diámetro del tanque = 400 mm = 0.4 m

Espesor de la plancha de acero inoxidable = 3 mm = 0.003 m

Densidad del acero = 7850 Kg/m³

Factor de seguridad = 8%

$1 m^3 \rightarrow 1000 \text{ litros}$

$x \rightarrow 100 \text{ litros}$

$X = 0.1 m^3$

¹⁷ ANOTACIONES DISEÑO MECANICO ESPE

Altura del tanque.

$$V = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$
$$0.1m^3 = \frac{\pi * (0.4)^2 * h}{4} \quad (2.17)$$
$$h = 0.79m$$

Cabeza semiesférica.

$$\phi \text{ 400 mm}$$
$$\phi \text{ desarrollo} = 1.3 * 400 \text{ mm}$$
$$\phi \text{ desarrollo} = 520 \text{ mm} \quad (2.18)$$

$$V = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$
$$V = \frac{\pi * 520^2 * 3}{4} \quad (2.19)$$

$$V = 0.000637 \text{ m}^3$$

$$P = \delta * V$$

$$P = 7850 \text{ Kg} / \text{m}^3 * 0.000637 \text{ m}^3$$

$$P = 5.1 \text{ Kg} \Rightarrow 6 \text{ Kg} \quad (2.20)$$

$$Pn = 6 * 2$$

$$Pn = 12 \text{ Kg}$$

$$P = 8\% \text{ por seguridad}$$

$$P = 12 * 1.08 \quad (2.21)$$

$$P = 12.96 \text{ Kg} \Rightarrow 13 \text{ Kg}$$

Corte → Pirotona.

$$p = 2 * \pi * r$$

$$p = 2 * \pi * \frac{520}{2} \quad (2.22)$$

$$p = 1633.22 \text{ mm}$$

Conformado → Bombeado.

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$
$$A = \frac{\pi * 520^2}{4} \quad (2.23)$$
$$A = 0.2123 \text{ m}^2$$

Rebordeado.

$$p = \frac{\phi * \pi * 2}{2} \quad (2.24)$$
$$p = 1.26 \text{ m}$$

Cuerpo.

Peso neto.

$$V = p * \text{espesor} * h$$
$$V = 1.26 * 0.003 * 0.79$$
$$V = 0.0029 \text{ m}^3$$
$$P = \delta * V$$
$$P = 0.0029 \text{ m}^3 * 7850 \text{ Kg} / \text{m}^3$$
$$P = 22.76 \Rightarrow 23 \text{ Kg}$$
$$Pn = 23 * 1.08$$
$$Pn = 24.84 \Rightarrow 25 \text{ Kg}$$
$$\text{peso neto total} = 25 + 12$$
$$Pnt = 37 \text{ Kg}$$



Figura 2.28. Tanque reservorio.

Debido a los altos costos de los materiales y mano de obra en la fabricación del tanque en nuestro mercado, vemos la necesidad de obtener y utilizar materiales alternativos razón por la cual se utiliza un tanque plástico, que tiene la resistencia requerida a los factores climáticos, no se corroe al contacto con el agua y cloro, abarata los costos finales del proyecto, facilita el montaje, la movilización del equipo generador de hipoclorito de sodio, cumpliendo los requerimientos sanitarios al mantener un ambiente interno aislado, que no permite una vez hecha la eliminación de microorganismos, el contacto con otras sustancias externas que la contaminen.

Por la facilidad de encontrar estos materiales, el equipo experimental generador de hipoclorito de sodio se puede emplear de manera didáctica, lo cual permite encaminar al estudio de nuevos procesos para la desinfección del agua.

2.7. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.

La estructura que se utiliza tiene la capacidad y función de soportar el conjunto de elementos que conforman el modelo experimental generador de cloro.

El panel solar consta de su estructura soporte propio, la cual nos facilita la manipulación al anexarle a nuestro conjunto de elementos. Con lo que se logra abaratar los costos del proyecto didáctico.

2.8. DISEÑO DEL MODELO DE DESINFECCIÓN.

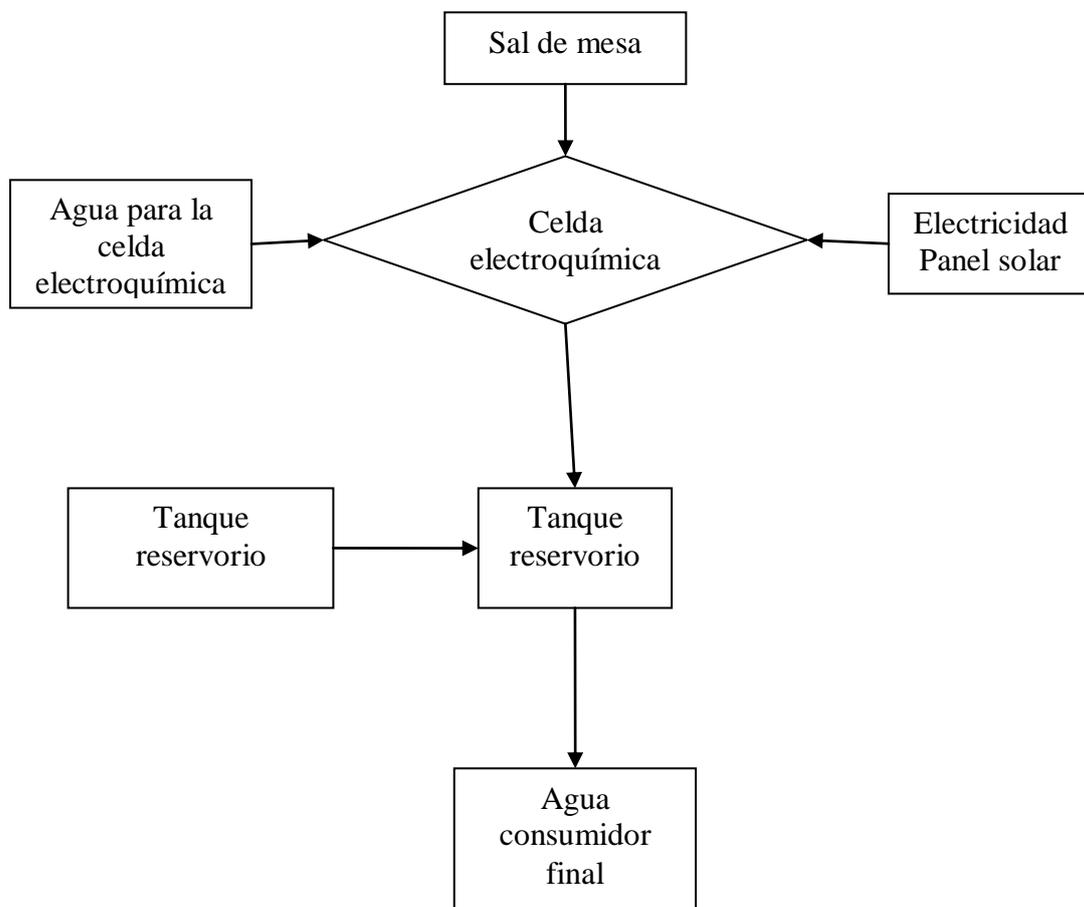


Figura.2.29. Modelo de desinfección.

2.9. INSTALACIÓN Y PRUEBAS.

Las pruebas que se van a realizar son del funcionamiento de la celda electroquímica:

- Prueba de las conexiones eléctricas del equipo
- Prueba de la concentración de cloro
- Prueba de solidez del equipo
- Prueba de la duración de los electrodos
- Prueba del panel solar.

Las pruebas anteriormente nombradas se adjuntan en el Anexo 2.

CAPITULO 3

3. ANALISIS MICROBIOLOGICO DE AGUA DE POZO

3.1. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DE POZO.

3.1.1. TRATAMIENTO MICROBIOLÓGICO.

Se realiza la eliminación de microorganismos, mediante la adición de hipoclorito de sodio como elemento principal el cloro activo, lo cual garantiza la eliminación del 99% de los microorganismos que contaminan el agua, basándose en la guía de agua tratada por norma INEN 1108, garantizando que el agua es apta para el consumo humano.

3.1.2. PRUEBAS Y RESULTADOS.

3.1.2.1. Prueba visual de la concentración de cloro residual.



Figura 3.1. Test kit par cloro y pH

Con la utilización de un equipo denominado test kit el cual mide la concentración de cloro activo y Ph del agua, se puede determinar un valor de

cloro residual aproximado el mismo que es adecuado siempre que se encuentre en el rango de 1 a 1.5 en la escala indicada.



Figura 3.2. Coloración de la prueba de cloro y pH

Este procedimiento se basa en una escala de intensidad de color desde el más claro al más oscuro al adicionar reactivos en una pequeña cantidad de agua tratada que dan coloración al agua.

Esto nos indicara que el agua tratada esta en condiciones adecuadas de ser utilizada por cualquier persona siendo apta para su consumo directo.

3.1.2.2. Prueba microbiológica del agua tratada Norma INEN 1108.

En el tratamiento¹⁸ microbiológico o desinfección del agua, se lo realiza mediante la utilización del hipoclorito de sodio, obtenido por medio de nuestra celda electroquímica, ya que se conoce la concentración de cloro activo de las muestras enviadas a la “Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica”, unidad de química analítica; laboratorio de análisis físico químico de aguas; por tal razón se conoce la cantidad de solución obtenida de la celda que se debe poner en un volumen determinado de agua a desinfectarse.

¹⁸ INEN—INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Calculo del volumen requerido de la solución de hipoclorito de sodio para desinfectar un volumen dado de agua.

$$\begin{aligned}
 0.5 \text{ mg} &\rightarrow 1 \text{ lt} \\
 x &\rightarrow 100 \text{ lt} \\
 x &= 50 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2197.4 \text{ mg} &\rightarrow 1 \text{ lt} \\
 50 \text{ mg} &\rightarrow x \\
 x &= 0.0227 \text{ lt} \\
 x &= 22.7 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

El volumen de solución de hipoclorito de sodio, obtenido en la celda electroquímica, requerida para desinfectar determinados volúmenes de agua, los indicamos en la siguiente tabla.

Tabla 3.1. Volúmenes requeridos de la solución de hipoclorito de sodio Para volúmenes determinados de agua.

CALCULO DE EQUIVALENCIAS

NORMA INEN 1108		RESULTADO CL2	
LITRO	Cl2 mg	Cl2 mg	LITRO
1	0,5	2197,4	1
100	50	50	0,023

TABLA DE VOLUMENES

VOLUMEN DE AGUA DE POZO	VOLUMEN DE SOLUCION DE HIPOCLORITO DE SODIO
lt	ml
1	2,3
100	23
1000	228
10000	2281

La prueba microbiológica del agua desinfectada, se la realizó en los laboratorios de la “Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable”, la cual nos confirma la eliminación de microorganismos, determinando la validez de la concentración de cloro activo en la solución de hipoclorito de sodio obtenida por el modelo experimental.

El resultado de las pruebas realizadas se las indica en la siguiente tabla.

Tabla 3.2. Pruebas realizadas laboratorio Puengasi EMAAP¹⁹.

	GUIA DE AGUA TRATADA NORMA INEN 1108	MUESTRA POZO	MUESTRA POZO
	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	1	2
BACTERIAS AEROBIAS TOTALES ufc/ml	30	0	0
COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	<2	<2	<2
COLIFORMES FECALES NMP/100ml	<2	<2	<2

Los resultados de los análisis fueron realizados en el laboratorio de tratamiento de agua de Puengasi de la EMAAP indicándonos que el tratamiento realizado en el agua fue óptimo y se considera a la misma apta para el consumo humano.

El documento que lo certifica se lo adjunta en el Anexo 3.

¹⁹ EMAAP EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE

CAPITULO 4

4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE DESINFECCIÓN.

4.1. ASPECTOS DE CONSTRUCCIÓN.

Los aspectos tomados en cuenta en la construcción del generador de hipoclorito de sodio son:

- Las necesidades de proveer de agua microbiológicamente pura a sectores marginales de nuestro país.
- Los materiales de fácil obtención en nuestro mercado.
- La facilidad de transportar el equipo.
- La generación de energías alternativas que son un elemento de desarrollo en nuestra patria.
- La utilización de energías limpias.
- La durabilidad del equipo de generación de hipoclorito de sodio.
- El costo accesible para el medio donde se utilice el equipo.

4.1.1. ESQUEMÁS, PLANOS DE FABRICACIÓN.



Figura 4.1. Construcción del soporte.



Figura 4.2. Pulido de rebabas del soporte.

Los planos de fabricación se encuentran en el Anexo 4.

4.1.2. ORGANIGRAMA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN.

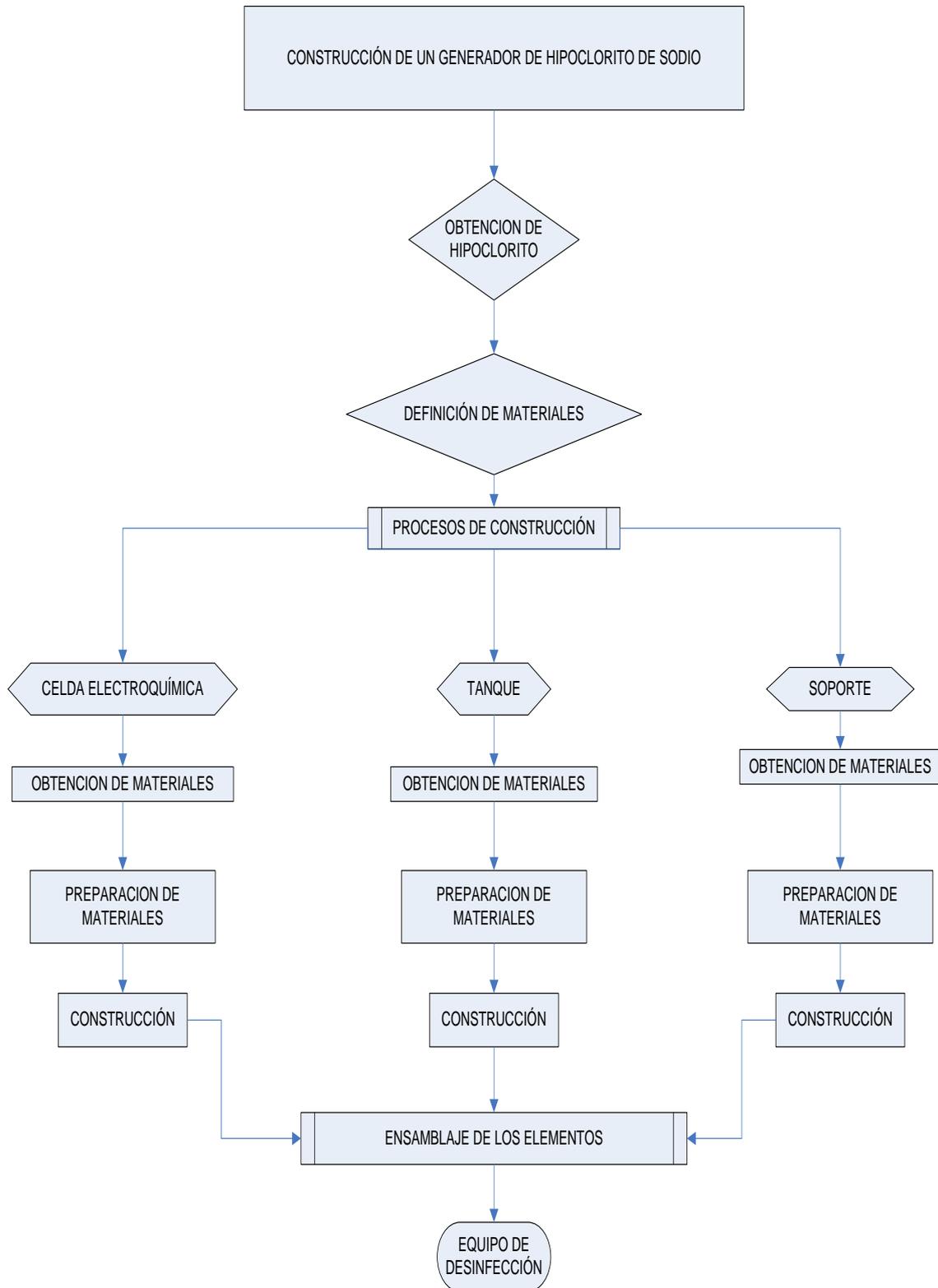


Figura 4.3. Organigrama de Procesos de Construcción del Equipo de desinfección

4.2. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE DESINFECCIÓN.

La construcción se desarrolla con los siguientes parámetros:

- Facilidad de Obtención de materiales.
- Materiales que se encuentran en nuestro mercado.
- Costo de Mano de Obra.

Una vez obtenidos todos los materiales y se evalúa la mano de obra directa e indirecta se verifica la factibilidad de construcción, las mismas que se indica en base a nuestra necesidad

4.3. CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.

El control de calidad se esta dando en base a los parámetros de construcción y sus proceso los mismos que generan en una tabla que se encuentra en el Anexo 4.

- Calidad de agua.
- Normas sanitarias
- Proceso de construcción
- Durabilidad del equipo.

PROCEDIMIENTO.

1. OBJETIVO:

Verificar que los materiales a ser adquiridos sean los adecuados con las necesidades y parámetros requeridos

Verificar el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos por las normas utilizadas en el proyecto.

2. ALCANCE:

El presente procedimiento aplica a la verificación de los productos comprados por los desarrolladores del proyecto y que tienen afectación en la calidad de nuestros procesos y productos, así como también al seguimiento y medición de las características de nuestros productos.

3. REFERENCIAS:

3.1 RESUMEN DEL PROCESO:

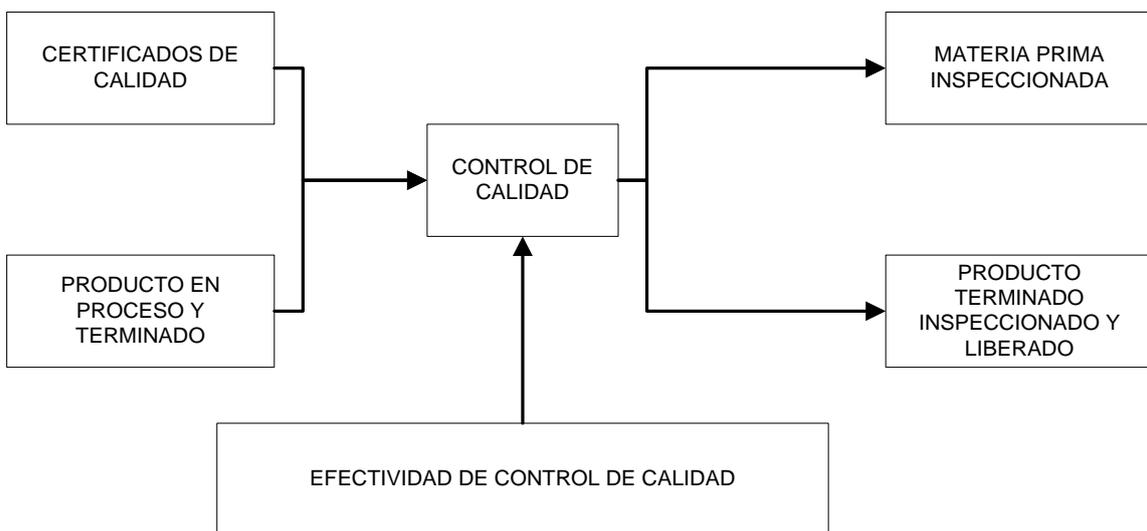


Figura 4.4. Diagrama de Control de Calidad

4. RESPONSABLES E INVOLUCRADOS:

4.1 RESPONSABLES DEL PROCESO:

- Constructores del generador de hipoclorito de sodio

4.2 INVOLUCRADOS:

- Ejecutor 1
- Ejecutor 2

- Director y Codirector.

5. PROCEDIMIENTO:

5.1 VERIFICACION DE LOS PRODUCTOS COMPRADOS.

En el caso de Materias Primas, Suministros y Accesorios importados, se verifica que no mantengan errores de fabricación.

Los suministros y accesorios comprados son verificados de acuerdo a los lineamientos dados.

5.2 VERIFICACION DE MATERIA PRIMA.

Esta actividad está se define, cuando se realiza compras de materia prima, el mismo que incluye la realización de inspecciones visuales para determinar si existen fallas o defectos de fabricación en los elementos utilizados.

5.3 INSPECCION Y ENSAYO FINAL:

Los ejecutores realizaron la inspección final del producto de acuerdo a los métodos de trabajo/ instrucción de trabajo/ plan de control respectivos. Si los productos superaren esta Inspección, estos serán liberados.

6. REGISTROS:

Tabla 4.1. Registro

CODIGO DEL FORMATO	NOMBRE	RESPONSABLE	ALMACENAMIENTO	ORDEN
Reg1	Informe de Llegada de Materia Prima	EJECUTOR	CASA	Cronológico por producto comprado

Fuente: Desarrollo de habilidades en el campo de la certificación de calidad "Ejecutores"

7. INFORMES E INDICADORES:

Tabla 4.2. Informes e Indicadores

INDICADOR	FORMULA DE CALCULO	FUENTE	RESPONSABLE DE CALCULO	FRECUENCIA DE REVISION
Efectividad de Control de Calidad (%)	Inspección por falta de calidad de los productos	Reportes del ejecutor	Ejecutores	En cada prueba

Fuente: Desarrollo de habilidades en el campo de la certificación de calidad "Ejecutores"

8. DEFINICIONES:

- **Ejecutor** Persona designada para la construcción.

9. ANEXOS:

- Anexo 4.3: Historia de Revisiones.

4.4. CUADRO DE ENSAMBLAJE.

El ensamble consta de los siguientes elementos.

Célula electroquímica.

Tanque reservorio.

Soporte metálico.

Los elementos se ensamblan de acuerdo al grafico del Anexo 4.

CAPITULO 5

5. PRUEBAS.

5.1. PLAN DE PRUEBAS.

El plan se ha desarrollado en base a las necesidades para conocer el desarrollo del experimento, entablándonos parámetros para luego satisfacer las necesidades requeridas, a continuación enumeramos lo requerido.-

- Concentración de cloro activo.
- Voltaje aplicado.
- Amperaje.
- Tiempo constante.
- Cantidad de cloruro de sodio
- Carga eléctrica.
- Temperatura ambiente.

Los mismos que son tabulados en la tabla 5.1, a partir de pruebas realizadas en las instalaciones de la Escuela Politécnica del Ejército.

Tabla 5.1. Valores en las pruebas

TIEMPO (min)	VOLTAJE (volts)			AMPERAJE (mA)	CLORURO DE SODIO		TEMPERATURA (°C)		
	inicial	final	media		taza	(gr)	inicio	final	media
60	16,26	16,26	16,26	4,7	1/4 taza	70	22	24	23
60	16,1	16,32	16,21	4,7	1/2 taza	150	27	25	26
60	16,39	16,41	16,4	4,7	3/4 taza	210	28	27	27,5
60	17	16,5	16,75	4,7	1 tasa	270	28	29	28,5

5.1.1. MANEJO Y OBTENCION DE LAS MUESTRAS.

5.1.1.1. Solución de hipoclorito de sodio.

Para el manejo y obtención de las muestras se debe tomar en cuenta ciertos parámetros que se indican a continuación:

- Se debe colocar la muestra en un envase estéril.
- Al terminar tiempo de funcionamiento de la celda electroquímica (1 hora), la muestra se debe llevar en el menor tiempo posible, en caso contrario el recipiente absorbe el cloro activo y la muestra deja de ser representativa.

El volumen mínimo de la muestra es de 200 ml.

5.1.1.2. Agua obtenida (cloro residual)



Figura 5.1. Prueba con test kit cloro residual y ph.

Para el manejo y obtención de las muestras se realizar el siguiente procedimiento:

- El volumen mínimo de la muestra es de 200 ml.
- Se deja correr el agua un minuto y se toma la muestra antes de poner la solución de hipoclorito de sodio.

- Después de transcurrido los 30 minutos de haber puesto la solución de hipoclorito de sodio se toma la siguiente muestra. De igual manera se deja correr el agua un minuto para tomar la muestra.
- Las muestras tienen una duración máxima de 24 horas.

Si las muestras se van a guardar por un corto periodo (menor a 24 horas), se lo debe hacer en refrigeración.

5.1.2. PRUEBA DE CONCENTRACIÓN DE CLORO ACTIVO.



Figura 5.2. Generación de hipoclorito de sodio

La concentración de cloro activo en la solución de hipoclorito de sodio, nos da la cantidad de solución que se debe poner en el agua, por tal motivo se han enviado las muestras representativas que se ha obtenido de la celda electroquímica, a la “Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica”, unidad de química analítica; laboratorio de análisis físico químico de aguas.

Las muestras entregadas al CEEA²⁰. (Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica) fueron producidas por nosotros en la ESPE utilizando los elementos con los que va a funcionar el equipo, en condiciones normales del medio ambiente.

El equipo constituido por la celda electroquímica y el panel solar, deben funcionar con ciertos parámetros, para que su funcionamiento sea el más adecuado, algunos de los aspectos más importantes indicamos a continuación:

- El funcionamiento del equipo se lo debe realizar entre las 9 am hasta las 2 pm por causa de la radiación solar.
- El panel solar se debe alinear en dirección de la luz solar.
- En caso de que se encuentre el día nublado, se debe dejar más tiempo la celda funcionando para que la concentración sea la adecuada.
- Cuando exista lluvia no se debe hacer funcionar el conjunto indicado, por motivo que el panel no producirá el suficiente voltaje y amperaje que requiere la celda electroquímica, para obtener la concentración apropiada.

Para la obtención de las muestras se tomo de las variantes dos constantes las cuales son:

- El tiempo de la prueba es de 60 minutos
- La cantidad de agua es de 1 litro

Con esas constantes y los parámetros indicados, se obtuvieron las muestras que se entrego al CEEA, con los resultados que presentamos en la siguiente tabla.

²⁰ CEEA -- Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica

5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Tabla 5.2. Concentración de Cloro activo en la solución de Hipoclorito de sodio obtenido en la pruebas.

Cloruro de Sodio o sal común		Concentración de cloro activo
Taza	gr.	mg/l
¼ taza	70	1521.4
½ taza	150	2197.4
¾ taza	210	1701.6
1 taza	270	1701.6

Las pruebas de concentración de cloro activo en la solución de hipoclorito de sodio que fueron realizados por la CEEA. . El informe de resultados obtenidos se encuentra en la Pág. 1 del Anexo 5.

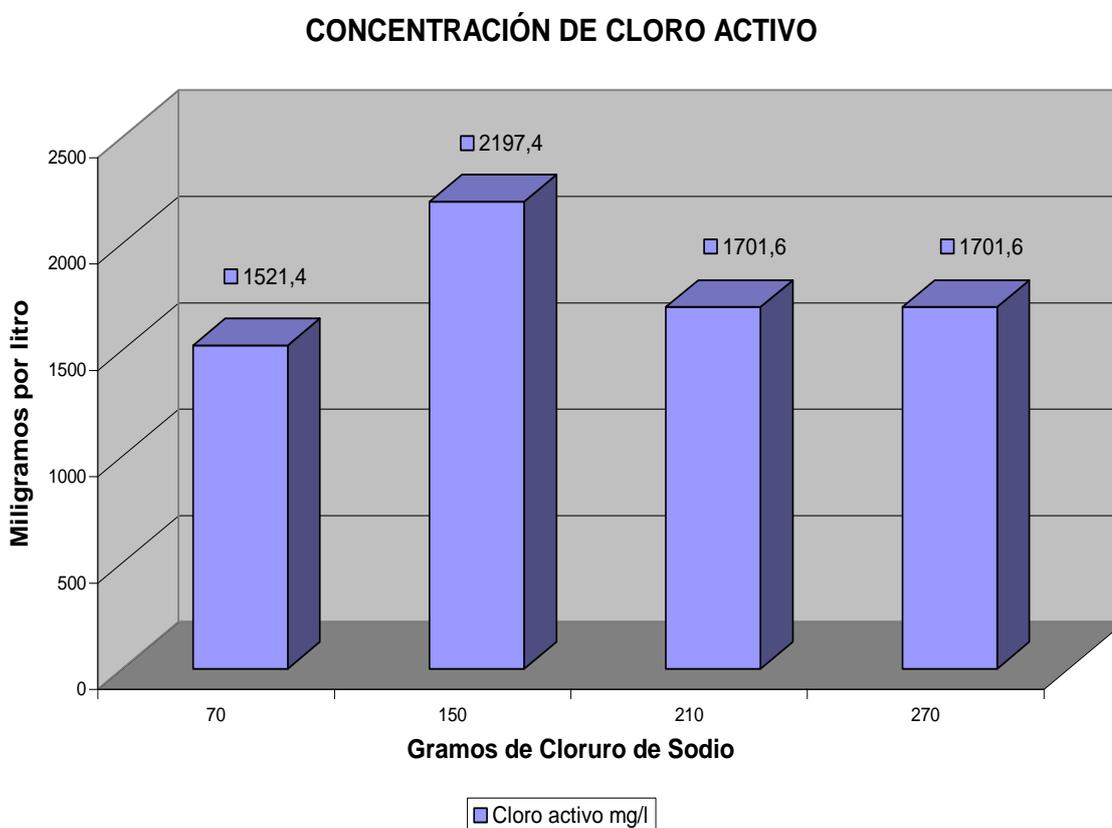


Figura 5.3. Concentración de cloro activo

Por medio de la figura 5.3. Se observa la cantidad óptima de sal que se debe colocar en el litro de agua de la celda electroquímica, para así obtener la mayor concentración de cloro activo en la solución.

5.2.1. PRUEBAS REALIZADAS LABORATORIO PUENGASI EMAAP.

El tratamiento fue verificado con tres muestras entregadas en el laboratorio de Puengasi perteneciente a la EMAAP, las mismas que fueron analizadas cumpliendo la norma INEN 1108 para aguas tratadas con cloro vigente en el Distrito Metropolitano de Quito del año en curso.

CAPITULO 6

6. ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO

6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO.

Para realizar el análisis económico financiero se utilizo las anotaciones de la materia Ingeniería Económica y Financiera

6.1.1. MATERIALES DIRECTOS.

Comprende el costo de todos los materiales utilizados, equipos y accesorios necesarios para la construcción y el funcionamiento del proyecto.

En la siguiente tabla se indica los costos directos

Tabla 6.1 Costos directos de los materiales utilizados

TOTAL MATERIALES DIRECTOS	
Total Celda Electroquímica	\$ 42,26
Total Tanque reservorio	\$ 33,60
total estructura soporte	\$ 67,87
Total con IVA.	\$ 143,73

La celda electroquímica es la parte esencial del presente proyecto, ya que producirá el hipoclorito de sodio requerido para la desinfección del agua. El desglose de los costos de la fabricación de la misma se puede observar en la tabla 1 del Anexo 6.

El tanque reservorio se lo compro ya fabricado al ser este un proyecto didáctico y un modelo experimental de tamaño reducido.

La estructura soporte se realizo en base de los requerimientos. El desglose de los costos de los materiales utilizados se indica en la tabla 2 del Anexo 6.

6.1.2. MANO DE OBRA DIRECTA.

La mano de obra directa corresponde a la remuneración a profesionales además, consiste en el sueldo de los trabajadores o de las personas que realizaron ciertos trabajos necesarios para la elaboración del presente proyecto.

En la siguiente tabla se indican los pagos a los trabajadores cuyo costo se lo considera como directo.

Tabla 6.2 Costos de la mano de obra directa

TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA	
Total Celda Electroquímica	\$ 15,68
Total Estructura Soporte	\$ 56,00
Total con IVA.	\$ 71,68

6.1.3. MATERIALES INDIRECTOS.

Estos materiales son los que no se consideran directos. Estos valores son indicados en la siguiente tabla.

Tabla 6.3 Costo de los materiales indirectos y/o accesorios utilizados en la construcción del proyecto.

TOTAL MATERIALES INDIRECTOS	
Total Celda Electroquímica	\$ 1.695,78
Total Tanque reservorio	\$ 39,87
Total Estructura Soporte	\$ 28,00
Total con IVA.	\$ 1.763,65

Los Materiales utilizados y el costo que han generado se detallan en la tabla 3 del Anexo 6.

6.1.4. MANO OBRA INDIRECTA.

Este rublo corresponde al pago de los servicios prestados por profesionales y/o trabajadores en el análisis de las diferentes muestras, los costos se indican en la siguiente tabla.

Tabla 6.4. Costo total de la mano de obra indirecta.

TOTAL MANO DE OBRA INDIRECTA	
Total Celda Electroquímica	\$ 35,84
Total Tanque reservorio	\$ 44,80
Total con IVA.	\$ 80,64

El desglose de los diferentes análisis realizados se indica en la tabla 4 del Anexo 6.

6.1.5. LOGISTICA DE MATERIALES.

Corresponde a los gastos realizados por concepto de movilización para la obtención de los materiales requeridos para la culminación del presente proyecto. Los valores cancelados se indican en la siguiente tabla.

Tabla 6.5. Costo de logística de materiales.

TOTAL LOGÍSTICA MATERIALES	
Total Celda Electroquímica	\$ 77,28
Total Tanque reservorio	\$ 25,20
total estructura soporte	\$ 33,60
Total con IVA.	\$ 136,08

Los costos por concepto de movilización para los diferentes componentes del modelo se indican en la tabla 5 del Anexo 6.

6.1.6. GASTOS MISCELANEOS.

Se los considera misceláneos a todos los gastos que se realizaron para ejecución del proyecto, sin que sean materias primas o accesorios del equipo ya previstos con antelación. Además de accesorios que no se tenía contemplado al inicio del proyecto pero que fueron necesarios para la culminación satisfactorio del proyecto. Los gastos realizados se indican en la siguiente tabla.

Tabla 6.6. Gastos imprevistos.

TOTAL MISCELANEOS	
Total Celda Electroquímica	\$ 127,12
Total Tanque reservorio	\$ 8,90
total estructura soporte	\$ 13,44
Total con IVA.	\$ 149,46

El gasto que se realizo para los diferentes componentes no contemplados se indica en la tabla 6 del Anexo 6.

6.1.7. COSTOS TOTAL DEL PROYECTO.

En el costo total del proyecto es la suma de todos los costos realizados en la fabricación y funcionamiento adecuado del presente proyecto.

Los costos totales y la suma general de gastos se indican en la siguiente tabla.

Tabla 6.7. Costos totales del proyecto.

TOTAL COSTO DEL PROYECTO.		
Número	Descripción	Totales parciales
1	TOTAL MATERIALES DIRECTOS	\$ 143,73
2	TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 71,68
3	TOTAL MATERIALES INDIRECTOS	\$ 1.763,65
4	TOTAL MANO DE OBRA INDIRECTA	\$ 80,64
5	TOTAL LOGÍSTICA MATERIALES	\$ 136,08
6	TOTAL MISCELANEOS	\$ 149,46
	TOTAL CON IVA	\$ 2.345,25

El costo total que se necesita para la culminación del proyecto, se realiza mediante la suma de las tablas desde la 6.1 hasta la tabla 6.6, y los totales se indican en la tabla 6.7.

6.2. ANALISIS FINANCIERO.

La evaluación financiera trata acerca de como es el financiamiento y cual es la forma que se propone recuperar la inversión.

Estudio del TIR VAN El Valor Actual Neto (VAN) es la diferencia entre todos los ingresos y todos los egresos actualizados al período actual. Según el criterio del valor actual neto el proyecto debe aceptarse si su valor actual neto es positivo.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es aquella tasa que hace que el valor actual neto sea igual a cero. La regla para realizar una inversión o no utilizando la TIR es la siguiente:

- Cuando la TIR es mayor que la tasa de interés, el rendimiento que obtendría el inversionista es mayor que el que obtendría en la mejor inversión alternativa, por lo tanto, conviene realizar la inversión.
- Si la TIR es menor que la tasa de interés, el proyecto debe rechazarse.
- Cuando la TIR es igual a la tasa de interés, el inversionista es indiferente entre realizar la inversión o no.

Para realizar el cálculo del TIR y del VAN, se considera como ingresos las cantidades de cloro generado producidas por la carga de que genere el panel fotovoltaico.

El precio de cada ml. de hipoclorito de sodio se determina mediante la cantidad de cloruro de sodio utilizado por cada carga en la solución la cual es de 150gr de cloruro de sodio o sal común, en 1000 ml de agua, produciendo 1000ml de hipoclorito de sodio con lo que se puede desinfectar 4484 litros de agua a un costo de 8.7 centavos de dólar, comparando este con el valor comercial del cloro el cual es de 15 centavos de dólar el mismo que puede desinfectar 2000 litros de agua.

Logrando obtener un ahorro del 75% aproximadamente en costos para desinfectar el agua.

Tabla 6.8. Ingresos anuales del proyecto

INGRESOS ANUALES DEL PROYECTO							
Producto	tiempo * carga	Cantidad	Cargas diarias	Tiempo diario total	Producción diaria	Totales/hora	Total diario
	min.	ml	num.	min.	ml		
Hipoclorito de sodio	60	1000	6	360	6000	\$ 0,09	\$ 3,12
						Días	Total anual
						288	898,56

El calculo realizado en la tabla 6.8. Para determinar el ingreso anual, se toma en cuenta solo 288 días del año, ya que existen factores que no se permiten realizar el proceso que se da en la celda electroquímica.

Tabla 6.9. Egresos anuales del proyecto

EGRESOS ANUALES DEL PROYECTO				
Producto	Cantidad	Valor	Total diario	Total anual
	gr.			
Sal común	1000	\$ 0,52	\$ 0,52	\$ 149,76

Para el cálculo de los egresos se tomo en cuenta el mismo periodo de tiempo y la cantidad de sal común que se requiere diariamente para realizar las seis cargas.

Tabla 6.10. Flujo de caja del proyecto

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO			
Años (n)	Egresos	Ingresos	Beneficios netos BN
0	\$ 2.345,25	\$ 0	\$ -2.345,25
1	\$ 149,76	\$ 898,56	\$ 748,80
2	\$ 156,80	\$ 940,79	\$ 783,99
3	\$ 164,17	\$ 985,01	\$ 820,84
4	\$ 171,88	\$ 1.031,31	\$ 859,42
5	\$ 179,96	\$ 1.079,78	\$ 899,81
6	\$ 188,42	\$ 1.130,53	\$ 942,10
7	\$ 197,28	\$ 1.183,66	\$ 986,38
8	\$ 206,55	\$ 1.239,29	\$ 1.032,74
9	\$ 216,26	\$ 1.297,54	\$ 1.081,28
10	\$ 226,42	\$ 1.358,52	\$ 1.132,10

Por tal motivo se observa que se tiene un ingreso anual de \$ 898.56 y un egreso anual de \$ 149.76 utilizando las tasas dadas por el Banco Central del Ecuador de 4.72 % para interés pasivo y 8.6 % para el interés activo.

Mediante la siguiente ecuación calculamos el VAN:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{BN}{(1 + TASA)^i} \quad (6.1)$$

Indicando **BN** como valor neto de ingreso, **n** como interés pasivo dado por el Banco Central del Ecuador al presente año es del 4.72, **i** el numero de años que se están evaluando.

Observamos que a partir del 4º año el valor del VAN es igual a 369.7 dólares consecuentemente el proyecto es rentable a partir del cuarto año produciendo ingresos favorables en el flujo de caja en comparación a los egresos.

Como se muestra en el calculo del VAN, que a partir del cuarto año el proyecto es rentable, en tal virtud el calculo del TIR se debe realizar cuando el VAN es igual a cero obteniendo un valor de 30.55% en los años restantes en los que se realizo el calculo, conferido con el valor dado por Banco Central del Ecuador en la tasa de interés activa anual del 8,6% del año en curso el proyecto se lo considera viable.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES.

Una vez construido y probado el proyecto indicamos las siguientes conclusiones:

- Se desarrollo el equipo generador de Hipoclorito de Sodio obteniéndose una concentración adecuada para la desinfección de agua.
- En el análisis de la concentración de cloro activo se logra verificar la calidad de la solución obtenida para la desinfección de agua visualmente libre de impurezas.
- Con la solución obtenida se realizó la desinfección de un tanque de 100 lt con agua de pozo utilizando 23ml del hipoclorito de sodio, haciendo de esta agua microbiológicamente pura.
- Se logró utilizar adecuadamente las energías renovables como proveedor de energía eléctrica para la celda electroquímica la que genera hipoclorito de sodio a partir de la disolución de sal común y agua.
- Observamos que el costo de la generación de hipoclorito de sodio en base de la sal común versus el costo del cloro para desinfección de agua que se encuentra en el mercado es mucho menor, además se puede acotar que es más factible encontrar sal común que cloro en las zonas alejadas de los centros urbanos.

7.2. RECOMENDACIONES.

- La concentración de cloro activo en la solución de hipoclorito de sodio debe permanecer en un valor de $150 \text{ gr}_{\text{ClNa}}/\text{lt}_{\text{H}_2\text{O}}$ para lograr la máxima concentración de cloro activo, si sobrepasa el límite de proporciones se reduce la concentración hasta llegar a un valor constante.
- De preferencia la operación del equipo, debe realizarse con dirección a los rayos solares en un horario de 9 a.m. hasta 2 p.m., periodo en el cual se tiene la mayor radiación solar.
- Antes y después de utilizar la celda electroquímica se debe realizar una limpieza adecuada de los elementos que la conforman. De tal manera que no se produzca contaminación del agua por residuos en la celda.
- Para obtener una mayor cantidad de agua microbiológicamente pura se debe adicionar proporcionalmente hipoclorito de sodio en relación a la cantidad de agua como se indico en el tabla 3.1 pag. 80 de volúmenes requeridos.
- La utilización del equipo generador de hipoclorito de sodio se restringe únicamente a zonas donde no exista radiación solar.

BIBLIOGRAFÍA

Libros utilizados:

Progensa. Instalaciones de Energía solar.6ta ed. Sevilla España. Cuesta S.A. 2001. T 2. Cap 2.1.1. pp 1-6,

Progensa. Instalaciones de energía solar.6ta ed. Sevilla España. Cuesta S.A. 2001. T 2 Cap 2.1.2. pp. 1-6,

Progensa. Instalaciones de Energía solar.6ta ed. Sevilla España. Cuesta S.A. 2001. T 5 Cap 5.1.1. pp. 1-18,

Progensa. Instalaciones de energía solar.6ta ed. Sevilla España. Cuesta S.A. 2001. T 5 Cap 5.1.2. pp. 1-20,

Eugene F.Megyesy. PRESSURE VESSEL HANDBOOK.12 va ed. Tulsa, Oklahoma. PRESSURE VESSEL publishing.inc. 2001. pp 170-200.

Robert L. Mott. Mecánica de Fluidos. 4ta ed. México. Prentice Hall. 1996
Pp 9-14

Apuntes de la materia “Energías no Convencionales” Escuela Politécnica del Ejercito.

Paginas de Internet:

http://www.ciencias.huascar.edu.pe/modulos/m_pilas/index.htm

[texto santillana, química 3ª ½](#)

<http://www.google.cl>

[Centro de Investigación en Energía](#)
<http://www.cie.unam.mx>

[Comisión Nacional para el ahorro de Energía](#)
<http://www.conae.gob.mx>

[Instituto de Ingeniería-UNAM](#)
<http://pumas.iingen.unam.mx>

[Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente](#)
<http://witss.gdl.iteso.mx/solar>

[Grupo de Energía de la UNISON](#)
<http://www.iq.uson.mx/energia.htm>

Secretaría de Energía
<http://www.energia.gob.mx>

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
<http://www.cenidet.edu.mx>

Transición Energética
<http://www.funtener.org>

Universidad Autónoma de Baja California
<http://www.uabc.mx>

AquaChlor Equipment and Systems Engineering
Miami, Fla. USA jotoma1@shadow.net
<http://www.aquachlorese.com/>
Teléfono (305) 378-4101

Clorid
Av. González-Suárez 4-121 y Octavio Díaz Cuenca, Ecuador
<http://www.clorid.com/> clarid@cue.satnet.net
Teléfono 593-7-801652

ANEXOS.

ANEXO 1 ANALISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DE POZO.

ANEXO 2 CONSTRUCCION DEL MODELO DE DESINFECCION.

ANEXO 3 PRUEBAS.

ANEXO 4 ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO.

ANEXO 1

ANALISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DE POZO.

ANEXO 2

CONSTRUCCION DEL MODELO DE DESINFECCION.

ANEXO 3

PRUEBAS.

Anexo 2.3:

HISTORIA DE REVISIONES.

FECHA	EDICION	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION
16-Oct-2006	Cero	Se genera, un método de verificación de productos comprados para la construcción del generador de hipoclorito de sodio. Se incluye la verificación de productos comprados de suministros y accesorios en el
8- Nov-2006	Primera	Se procede a la inspección de los elementos fabricados.

ANEXO 4

ANALISÍS ECONOMICO Y FINANCIERO

COSTO DIRECTO DE MATERIALES

Celda Electroquímica				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Jarra plástica	2	\$ 2,49	\$ 4,98
2	Corcho	1	\$ 3,75	\$ 3,75
3	Batería 6 V	1	\$ 3,00	\$ 3,00
4	Porta electrodos	2	\$ 3,00	\$ 6,00
5	Varilla de cobre	1	\$ 20,00	\$ 20,00
6	Sal común	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Total sin IVA.				\$ 37,73
Total con IVA.				\$ 42,26

Total Celda Electroquímica	\$ 42,26
----------------------------	----------

Tanque reservorio				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Tanque reservorio	1	\$ 30,00	\$ 30,00
2		1	\$ -	\$ -
3		1	\$ -	\$ -
4		1	\$ -	\$ -
5		1	\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ 30,00
Total con IVA.				\$ 33,60

Total Tanque reservorio	\$ 33,60
-------------------------	----------

Estructura soporte				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Angulo 1/2	1	\$ 15,00	\$ 15,00
2	Anillo de hierro	2	\$ 20,00	\$ 40,00
3	Placa hierro galvanizado	1	\$ 20,00	\$ 20,00
4				\$ -
5				\$ -
Total sin IVA.				\$ 75,00
Total con IVA.				\$ 84,00

Total estructura soporte	\$ 84,00
--------------------------	----------

TOTAL MATERIALES DIRECTOS	
Total Celda Electroquímica	\$ 42,26
Total Tanque reservorio	\$ 33,60
total estructura soporte	\$ 84,00
Total con IVA.	\$ 159,86

MANO DE OBRA DIRECTA

Celda Electroquímica				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Celda electroquímica	1	\$ 10,00	\$ 10,00
2	Porta electrodos	2	\$ 2,00	\$ 4,00
3			\$ -	\$ -
4			\$ -	\$ -
5			\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ 14,00
Total con IVA.				\$ 15,68

Total Celda Electroquímica	\$ 15,68
----------------------------	----------

Tanque reservorio				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Tanque reservorio		\$ -	\$ -
2			\$ -	\$ -
3			\$ -	\$ -
4			\$ -	\$ -
5			\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ -
Total con IVA.				\$ -

Total Tanque reservorio	\$ -
-------------------------	------

Estructura soporte				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Construcción	1	\$ 50,00	\$ 50,00
2				\$ -
3				\$ -
4			\$ -	\$ -
5			\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ 50,00
Total con IVA.				\$ 56,00

total estructura soporte	\$ 56,00
--------------------------	----------

TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA	
Total Celda Electroquímica	\$ 15,68
Total Tanque reservorio	\$ -
Total estructura soporte	\$ 56,00
Total con IVA.	\$ 71,68

MATERIALES INDIRECTOS

Celda Electroquímica				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Pega UHU	1	\$ 0,72	\$ 0,72
2	Taza trans medida	1	\$ 4,30	\$ 4,30
3	Jarra plástica 1 Lt	1	\$ 0,59	\$ 0,59
4	Test kit	1	\$ 7,28	\$ 7,28
5	Vasos estériles	8	\$ 0,15	\$ 1,20
6	Conexión eléctrica	2	\$ 2,50	\$ 5,00
7	Panel solar	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Total sin IVA.				\$ 1.514,09
Total con IVA.				\$ 1.695,78

Total Celda Electroquímica	\$ 1.695,78
----------------------------	-------------

Tanque reservorio				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Vasos estériles	4	\$ 0,15	\$ 0,60
2	Accesorios	1	\$ 30,00	\$ 30,00
4		1	\$ -	\$ -
5		1	\$ -	\$ -
6		1	\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ 30,60
Total con IVA.				\$ 34,27

Total Tanque reservorio	\$ 34,27
-------------------------	----------

Estructura soporte				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Pintura	3	\$ 5,00	\$ 15,00
2	Sujeción elementos	1	\$ 10,00	\$ 10,00
3				\$ -
4				\$ -
5				\$ -
Total sin IVA.				\$ 25,00
Total con IVA.				\$ 28,00

total estructura soporte	\$ 28,00
--------------------------	----------

TOTAL MATERIALES INDIRECTOS	
Total Celda Electroquímica	\$ 1.695,78
Total Tanque reservorio	\$ 34,27
Total estructura soporte	\$ 28,00
Total con IVA.	\$ 1.758,05

MANO DE OBRA INDIRECTA

Celda Electroquímica				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	LAB CEEA	4	\$ 8,00	\$ 32,00
2		1	\$ -	\$ -
3		1	\$ -	\$ -
4		1	\$ -	\$ -
5		1	\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ 32,00
Total con IVA.				\$ 35,84

Total Celda Electroquímica	\$ 35,84
----------------------------	----------

Tanque reservorio				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	LAB EMAAPQ	2	\$ 20,00	\$ 40,00
2		1	\$ -	\$ -
3		1	\$ -	\$ -
4		1	\$ -	\$ -
5		1	\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ 40,00
Total con IVA.				\$ 44,80

Total Tanque reservorio	\$ 44,80
-------------------------	----------

Estructura soporte				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1			\$ -	\$ -
2			\$ -	\$ -
3			\$ -	\$ -
4			\$ -	\$ -
5			\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ -
Total con IVA.				\$ -

total estructura soporte	\$ -
--------------------------	------

TOTAL MANO DE OBRA INDIRECTA	
Total Celda Electroquímica	\$ 35,84
Total Tanque reservorio	\$ 44,80
total estructura soporte	\$ -
Total con IVA.	\$ 80,64

LOGÍSTICA DE MATERIALES

Celda Electroquímica				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Transporte	40	\$ 0,25	\$ 10,00
2	Trans pago y retiro resultados	4	\$ 0,75	\$ 3,00
3	Gasolina reuniones	10	\$ 2,20	\$ 22,00
4				\$ -
5				\$ -
Total sin IVA.				\$ 35,00
Total con IVA.				\$ 39,20

Total Celda Electroquímica	\$ 39,20
----------------------------	----------

Tanque reservorio				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Transporte tanque	1	\$ 10,00	\$ 10,00
2	Transporte muestras	2	\$ 1,25	\$ 2,50
3	Trans pago y retiro resultados	4	\$ 2,50	\$ 10,00
4		1	\$ -	\$ -
5		1	\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ 22,50
Total con IVA.				\$ 25,20

Total Tanque reservorio	\$ 25,20
-------------------------	----------

Estructura soporte				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Transporte	2	\$ 10,00	\$ 20,00
2	Trans revisión y construcción	2	\$ 5,00	\$ 10,00
3				\$ -
4				\$ -
5				\$ -
Total sin IVA.				\$ 30,00
Total con IVA.				\$ 33,60

total estructura soporte	\$ 33,60
--------------------------	----------

TOTAL LOGÍSTICA MATERIALES	
Total Celda Electroquímica	\$ 39,20
Total Tanque reservorio	\$ 25,20
total estructura soporte	\$ 33,60
Total con IVA.	\$ 98,00

MISCELÁNEOS

Celda Electroquímica				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Taza trans medida	1	\$ 5,00	\$ 5,00
2	Broca 1/2"	1	\$ 0,50	\$ 0,50
3	Internet	10	\$ 0,60	\$ 6,00
4	Copias	50	\$ 0,04	\$ 2,00
5	Materiales de oficina	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Total sin IVA.				\$ 38,50
Total con IVA.				\$ 43,12

Total Celda Electroquímica	\$ 43,12
----------------------------	----------

Tanque reservorio				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Broca plana 3/4"	1	\$ 1,25	\$ 1,25
2	Dispensador	1	\$ 6,00	\$ 6,00
3	Teflón	1	\$ 0,25	\$ 0,25
4	Broca plana 1/8"	1	\$ 0,45	\$ 0,45
5			\$ -	\$ -
Total sin IVA.				\$ 7,95
Total con IVA.				\$ 8,90

Total Tanque reservorio	\$ 8,90
-------------------------	---------

Estructura soporte				
Num	Descripción	Cant	Precio unitario	Precio total
1	Pernos sujeción	4	\$ 3,00	\$ 12,00
2				\$ -
3				\$ -
4				\$ -
5				\$ -
Total sin IVA.				\$ 12,00
Total con IVA.				\$ 13,44

Total estructura soporte	\$ 13,44
--------------------------	----------

TOTAL MISCELÁNEOS	
Total Celda Electroquímica	\$ 43,12
Total Tanque reservorio	\$ 8,90
total estructura soporte	\$ 13,44
Total con IVA.	\$ 65,46

TOTAL COSTO DEL PROYECTO

TOTAL COSTO DEL PROYECTO.		
Número	Descripción	Totales parciales
1	TOTAL MATERIALES DIRECTOS	\$ 159,86
2	TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 71,68
3	TOTAL MATERIALES INDIRECTOS	\$ 1.758,05
4	TOTAL MANO DE OBRA INDIRECTA	\$ 80,64
5	TOTAL LOGÍSTICA MATERIALES	\$ 98,00
6	TOTAL MISCELANEOS	\$ 65,46
	TOTAL CON IVA	\$ 2.233,69