



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**Sede Santo Domingo**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA Y  
AUTOMATIZACIÓN**

Informe del trabajo experimental para la obtención del título de:

**INGENIERO ELECTROMECAÁNICO, MENCIÓN EN AUTOMATIZACIÓN  
INDUSTRIAL**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES  
PARA PROTEGER DE LA SUCIEDAD A LOS MÓDULOS SOLARES  
FOTOVOLTAICOS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
EQUINOCCIAL SEDE SANTO DOMINGO, AÑO 2015.**

**Autor(a)**

**WALTER ALFREDO MORA MURILLO**

**Director(a)**

**ING. NILO ORTEGA MBA.**

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador  
AGOSTO – 2016

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES PARA  
PROTEGER DE LA SUCIEDAD A LOS MÓDULOS SOLARES  
FOTOVOLTAICOS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL  
SEDE SANTO DOMINGO, AÑO 2015.

Ing. Nilo Ortega, *MBA*

**DIRECTOR(A)**

\_\_\_\_\_

**APROBADO**

Ing. Daniel Anzules, *MsC*

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Ing. Edwin Grijalva, *MsC*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_.

Lic. Ives Torriente, *MsC*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_.

Santo Domingo, ..... de agosto del 2016

**Autor:** WALTER ALFREDO MORA MURILLO

**Institución:** UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**Título de Tesis:** ESTUDIO EXPERIMENTAL DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES PARA PROTEGER DE LA SUCIEDAD A LOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL SEDE SANTO DOMINGO, AÑO 2015.

**Fecha:** AGOSTO, 2016

El contenido del presente trabajo, está bajo la responsabilidad del autor, y no ha sido plagiado.



---

Walter Alfredo Mora Murillo

C.C.1723278386

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

## INFORME DEL DIRECTOR

Santo Domingo, 11 de agosto del 2016

Ing. Nilo Ortega, *MBA*.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA**

Presente.

De mis consideraciones.-

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo investigativo realizado por el estudiante WALTER ALFREDO MORA MURILLO, cuyo título es: **ESTUDIO EXPERIMENTAL DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES PARA PROTEGER DE LA SUCIEDAD A LOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL SEDE SANTO DOMINGO, AÑO 2016**, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, el mismo que no ha sido plagiado, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente,



---

Ing. Nilo Ortega, *MBA*

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

# *Dedicatoria*

Este trabajo se lo dedico al dios que me dio la vida y fortaleza para no rendirme en los duros momentos de mi vida, a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional y que gracias a sus consejos siempre me mantuvieron firme para alcanzar mis objetivos, también agradezco su amor, cariño, esfuerzo, comprensión y trabajo que dedicaron cada día para que yo pudiera obtener este tan anhelado logro.

A mis hermanos por ser un apoyo constante y ejemplo de perseverancia, agradezco a mis abuelos por su cariño y sabios consejos.

WALTER ALFREDO MORA MURILLO

# *Agradecimiento*

A Dios por estar conmigo en cada paso que doy, fortalecer mi corazón e iluminarme durante todo el periodo de estudio.

A mis queridos padres que me brindan su apoyo para poder cumplir con uno de mis mayores objetivos el cual es culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanos por siempre apoyarme y brindarme su cariño en cada momento de mi vida cotidiana.

A mi directora la Dra. Maria dels Angels Vallvè Antòn, que aunque no pudo culminar con la dirección de mi trabajo por aceptar realizar este proyecto, por su apoyo y confianza en este trabajo ha sido un aporte invaluable, gracias por su disponibilidad, experiencia y amplio conocimiento.

A mi actual director el Ing. Nilo Ortega por su apoyo y confianza para terminar de dirigir mi proyecto de tesis.

WALTER ALFREDO MORA MURILLO

# FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

## PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172327838-6
APELLIDO Y NOMBRES:	Mora Murillo Walter Mora
DIRECCIÓN:	Sto. Dgo. Coop. Unión Cívica
EMAIL:	moraw65@yahoo.es
TELÉFONO FIJO:	3766135
TELÉFONO MOVIL:	0989505854

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Estudio experimental de recubrimientos superficiales para proteger de la suciedad a los módulos solares fotovoltaicos en la Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo, año 2015.
AUTOR O AUTORES:	Walter Alfredo Mora Murillo
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	17/08/2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Nilo Ortega, <i>MBA</i>
PROGRAMA	<b>PREGRADO</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b> <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Electromecánica, mención en Automatización Industrial
RESUMEN:	Este trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de probar recubrimientos superficiales para proteger de la suciedad a

los módulos solares fotovoltaicos, ya que estos módulos solares están expuestos a distintos factores climáticos que reducen su desempeño considerablemente produciendo pérdidas en su rendimiento.

En esta investigación se utilizó 4 tipos de recubrimientos hidrófobos distintos en donde su característica fundamental es la de repeler el agua de los módulos solares y evitar que esta se impregne en su superficie ya que al combinarse con el polvo forman una película de suciedad que reduce el paso de la luz hacia las células.


Estos recubrimientos se los probó en dos regiones del país para probar su desempeño y determinar cuales trabajan mejor en cada región evaluando su potencia y rendimiento en distintas horas del día. Estas regiones fueron Interandina y Litoral y poseen condiciones climáticas distintas. Para evaluar el desempeño de estos recubrimientos se utilizó dos células fotovoltaicas y 5 planchas de vidrio, de estas 5 planchas de vidrio una se utilizó sin recubrimiento ya que esta se probó en una de las dos células para evaluar su desempeño sin recubrimiento, mientras que la otra célula se utilizó para evaluar cada recubrimiento ya impregnado en cada plancha. Luego de esto se tomó datos inicialmente en la región litoral por el periodo



	<p>de un mes completo, siendo este el mes el de enero y luego se tomaron datos en la región interandina igualmente por el periodo de un mes.</p> <p>Todo este estudio se realizó tomando en cuenta variables ambientales que se consideraron influyentes en la investigación, estas fueron: temperatura, humedad, y radiación solar.</p>
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Radiación solar, recubrimiento hidrofóbico.
<b>ABSTRACT:</b>	<p>This research work was developed with the aim of testing surface coatings to protect from dirt to photovoltaic solar modules, since these solar modules are exposed to different climatic factors that reduce and produce considerably lost in their performance.</p> <p>Four types of coatings hydrophobic were used in this research and their fundamental characteristic is to repel water of the solar modules and to avoid that this permeating into its surface because when these are combined with the powder form a film of dirt which reduces the light come into the cells.</p> <p>These coatings were tested in two regions of the country to test its performance and determine which ones work best in each region to assess its power and performance in different hours of the day. These regions were highland and coast which have different climatic conditions. Two photovoltaic cells and five plates of glass were used to evaluate</p>

	<p>these coatings; of the 5 plates of glass just one was used without coating since it was tested in one of the two cells to evaluate its performance without coating, while the other one was used to evaluate each coating already impregnated on each plate. After that data was initially taken in the coast region for a full month, in January, the same happened in the highland region.</p> <p>This study looked at environmental variables that were considered influential in the investigation, these were: temperature, humidity, atmospheric pressure, and solar radiation.</p>
<b>KEYWORDS</b>	Solar radiation, coatings hydrophobic.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f:  \_\_\_\_\_

Walter Alfredo Mora Murillo

172327838-6

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **WALTER ALFREDO MORA MURILLO**, CI. 172327838-6 autor/a del proyecto titulado: **Estudio experimental de recubrimientos superficiales para proteger de la suciedad a los módulos solares fotovoltaicos en la universidad tecnológica equinoccial sede santo domingo, año 2015.**, previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO, MENCIÓN EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 17 de agosto del 2016.

f: \_\_\_\_\_



Mora Murillo Walter Alfredo

172327838-6

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Portada.....	1
Sustentación y aprobación de los miembros del tribunal.....	II
Responsabilidad del Autor .....	III
Informe del director.....	IV
Dedicatoria .....	V
Agradecimiento .....	VI
Formulario de registro bibliográfico .....	VII
Declaración y autorización.....	XI
Índice de contenido .....	XII
Índice de tablas.....	XIII
Índice de figuras.....	XIV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
2.1. Sitio de estudio.....	33
2.2 Diseño del muestreo.....	43
2.3 Medición de Variables .....	47
2.4. Análisis estadístico.....	50
III. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	82
3.1. Análisis técnico – económico.....	82
3.2. Interpretación de resultados .....	91
3.3. Comprobación de la hipótesis .....	108
IV. CONCLUSIONES .....	110
V. REFERENCIAS .....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de medidores de radiación solar.....	29
Tabla 2: Calidad de piranómetros .....	31
Tabla 3: Comparación de las células con encapsulamiento y sin encapsulamiento ..	46
Tabla 4: Variables ambientales UN Y COX, Región Litoral.....	57
Tabla 5: Datos y cálculos obtenidos UN Y COX, Región Litoral .....	58
Tabla 6: Resultados del recubrimiento UN Y COX, Región Litoral .....	59
Tabla 7: Variables ambientales NANOFLEX VP12, Región Litoral .....	60
Tabla 8: Datos y cálculos obtenidos NANOFLEX VP12.....	61
Tabla 9: Diferencias de potencia y rendimiento NANOFLEX VP12.....	62
Tabla 10: Variables ambientales recubrimiento Experimental, Región Litoral.....	63
Tabla 11: Datos y cálculos obtenidos recubrimiento Experimental, Región Litoral .	64
Tabla 12: Diferencias de potencia y rendimiento, recubrimiento Experimental .....	65
Tabla 13: Variables ambientales Mica de vidrio, Región Litoral .....	66
Tabla 14: Datos y cálculos obtenidos recubrimiento Mica de vidrio, Región Litoral	67
Tabla 15: Diferencias de potencia y rendimiento del recubrimiento Mica de vidrio.	68
Tabla 16: Variables ambientales recubrimiento UN Y COX, Región Interandina...	70
Tabla 17: Datos y cálculos obtenidos recubrimiento UN Y COX.....	71
Tabla 18: Diferencias de potencia y rendimiento recubrimiento UN Y COX.....	72
Tabla 19: Variables ambientales recubrimiento NANOFLEX, Región Interandina	73
Tabla 20: Datos y cálculos obtenidos recubrimiento NANOFLEX VP 12 .....	74
Tabla 21: Diferencias de potencia y rendimiento NANOFLEX VP12.....	75
Tabla 22: Variables ambientales para el recubrimiento Experimental .....	76
Tabla 23: Datos y cálculos obtenidos recubrimiento Experimental .....	77
Tabla 24: Diferencias de potencia y rendimiento recubrimiento Experimental .....	78
Tabla 25: Variables ambientales Mica de vidrio, Región Interandina.....	79
Tabla 26: Datos y cálculos obtenidos recubrimiento Mica de vidrio .....	80
Tabla 27: Diferencias de potencia y rendimiento recubrimiento Mica de vidrio .....	81
Tabla 28: Costos directos e indirectos .....	82
Tabla 29: Cargos tarifarios únicos .....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Célula fotovoltaica monocristalina adquirida.....	34
Figura 2: Nanoflex VP12 .....	35
Figura 3: Recubrimiento AR Y COX.....	36
Figura 4: Mica de vidrio templado GLASS .....	37
Figura 5: Catalizador PUR DX-09.....	38
Figura 6: Desodorante Rexona motionsense.....	39
Figura 7: Piranómetro marca Velleman .....	40
Figura 8: Multímetro Truper Mut 39 .....	41
Figura 9: Limpieza de la superficie.....	44
Figura 10: Colocación del recubrimiento.....	44
Figura 11: Células expuestas al sol, Región Litoral.....	45
Figura 12: Comparación con encapsulamiento y sin encapsular .....	46
Figura 13: Toma de datos, Región Interandina.....	48
Figura 14: Igualación de ambos multímetros, Región Litoral .....	48
Figura 15: Toma de datos con el primer recubrimiento, Región Litoral .....	49
Figura 16: Igualación de ambos multímetros, Región Interandina .....	49
Figura 17: Toma de datos con el segundo recubrimiento, Región Interandina .....	50
Figura 18: Obtención de la energía gráficamente .....	55
Figura 19: Análisis de potencia vs tiempo UN Y COX, R. Litoral .....	92
Figura 20: Análisis de rendimiento vs tiempo UN Y COX, R. Litoral .....	92
Figura 21: Análisis de temperatura vs tiempo UN Y COX, R. Litoral.....	93
Figura 22: Análisis de potencia vs tiempo NANOFLEX VP12, R. Litoral.....	94
Figura 23: Análisis de rendimiento vs tiempo NANOFLEX VP12, R. Litoral.....	94
Figura 24: Análisis de temperatura vs tiempo NANOFLEX VP12, R. Litoral .....	95
Figura 25: Análisis de potencia vs tiempo Experimental, Región Litoral .....	96
Figura 26: Análisis de temperatura vs tiempo Experimental, Región Litoral.....	96
Figura 27: Análisis de temperatura vs tiempo Experimental, Región Litoral.....	97
Figura 28: Análisis de potencia vs tiempo Mica de vidrio, Región Litoral .....	98
Figura 29: Análisis de rendimiento vs tiempo Experimental, Región Litoral .....	98
Figura 30: Análisis de temperatura vs tiempo Mica de vidrio, Región Litoral.....	99
Figura 31: Análisis de potencia vs tiempo UN Y COX, Región Interandina .....	100
Figura 32: Análisis de rendimiento vs tiempo UN Y COX, Región Interandina ....	100

Figura 33: Análisis de temperatura vs tiempo UN Y COX, Región Interandina.....	101
Figura 34: Análisis de potencia vs tiempo NANOFLEX VP12, R. Interandina.....	102
Figura 35: Análisis de rendimiento vs tiempo NANOFLEX VP12, Región Interandina.....	102
Figura 36: Análisis de temperatura vs tiempo NANOFLEX VP12, Región Interandina.....	103
Figura 37: Análisis de potencia vs tiempo Experimental, Región Interandina.....	104
Figura 38: Análisis de rendimiento vs tiempo Experimental, Región Interandina ..	104
Figura 39: Análisis de temperatura vs tiempo Experimental, Región Interandina ..	105
Figura 40: Análisis de potencia vs tiempo Mica de vidrio, Región Interandina.....	106
Figura 41: Análisis de rendimiento vs tiempo Mica de vidrio, Región Interandina	106
Figura 42: Análisis de temperatura vs tiempo Mica de vidrio, Región Interandina	107

## I. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador cada vez se están utilizando más energías alternativas no contaminantes como es la energía solar, esta es más abundante en regiones soleadas en donde el sol se presenta con mayor intensidad en forma de radiación. (BEJARANO, 2011)

Una de las necesidades para reducir la contaminación ambiental y el buen vivir de las personas es utilizar esta fuente de energía sin contaminar el ambiente ni causar ningún impacto que modifique nuestro ecosistema, actualmente en muchas industrias utilizan energías contaminantes que provienen de la quema de combustibles fósiles la cual forma el 38% de la energía consumida en el país para la obtención de electricidad, las mismas que afectan las condiciones de vida en nuestro planeta. (IEA, 2013)

La energía solar fotovoltaica también se presenta como una gran solución para evitar depender de fuentes de energías comunes que por lo general la mayoría proviene de plantas hidroeléctricas en el Ecuador y que además en ocasiones escasea por temporadas sin lluvias, debido a esto es necesario potenciar esta energía y una de las alternativas es revistiéndolos con recubrimientos hidrofóbicos que repelen el agua, esta agua al mezclarse con el polvo del ambiente forman una capa que reduce al absorción de la luz, actualmente existen recubrimientos superficiales que consiguen repeler el agua que se presenta en forma de lluvia en mayor o menor cantidad dependiendo de la región. Además de la lluvia afectan otros factores que se presentan en estas regiones e influyen en el rendimiento de los paneles, por este motivo nace la idea de realizar un estudio para determinar que revestimientos trabajan mejor sometidos a estos factores que presentan estas regiones y evaluar donde presentan un mejor resultado energético de acuerdo a su recubrimiento.

Como variables fundamentales para el estudio se consideraron la potencia eléctrica y el rendimiento de la célula fotovoltaica, de acuerdo a estas se evaluó el desempeño



de los recubrimientos en condiciones ambientales y climáticas específicas que mejoran o perjudican su desempeño.

En el Ecuador existen diferentes regiones en donde por sus condiciones climáticas intervienen factores que influyen en el rendimiento de los paneles solares por esta razón es necesario realizar un estudio investigativo y experimental para determinar qué tipos de recubrimientos son más efectivos para cada tipo de región, con base a esto nace la siguientes hipótesis, hipótesis afirmativa ” Los recubrimientos superficiales de NANOFLEX VP12 son más factibles para la protección de la suciedad de los módulos fotovoltaicos en la región Interandina y Litoral”, hipótesis nula ” Los recubrimientos superficiales de NANOFLEX no son los más factibles para la protección de la suciedad de los módulos fotovoltaicos en la región Interandina y Litoral”

De acuerdo a lo explicado se plantea como objetivo general para el estudio:

Estudiar experimentalmente el desempeño de distintos tipos de recubrimientos superficiales existentes en los módulos solares y evaluar su resultado energético de acuerdo a distintas variables que afectan su rendimiento en las regiones interandina y litoral.

Y como objetivos específicos los siguientes:

- Estudiar los tipos de recubrimientos superficiales existentes en módulos solares.
- Exponer al panel solar con diferentes recubrimientos y evaluar su rendimiento en la ciudad de Quito (Región interandina) y Santo Domingo (Región Litoral).
- Determinar que recubrimiento es más efectivo en la región interandina y en la región litoral.
- Determinar el costo total y beneficios económicos que traería la ejecución de este proyecto.

Para el estudio se utilizarán tres tipos de investigación

- Investigación experimental
- Investigación descriptiva
- Investigación relacional

### **Investigación experimental**

Este método se aplicó en el recubrimiento experimental para determinar si es efectivo o no protegiendo de la suciedad a los módulos solares fotovoltaicos de acuerdo a las variables ambientales presentadas en cada región.

### **Investigación descriptiva**

Mediante este tipo de investigación se describió el proceso realizado durante el estudio y evaluación de los recubrimientos y para demostrar los resultados obtenidos al final de la investigación.

### **Investigación relacional**

Mediante este tipo de investigación relacione los resultados obtenidos en parámetros de voltaje, corriente eléctrica y potencia con los valores de las variables ambientales y determine su influencia en los recubrimientos superficiales.

Para el estudio se optó por cinco tipos de métodos existentes:

- Método experimental
- Método inductivo
- Método deductivo
- Método estadístico
- Método comparativo

### **Método experimental**

Se utilizó este tipo de método para estudiar los recubrimientos trabajando en condiciones climáticas específicas, de acuerdo a las variables ambientales que presentan las regiones Litoral e Interandina.

### **Método inductivo**

A partir de los datos obtenidos en la investigación, se determinó que recubrimiento fue el más efectivo.

### **Método deductivo**

Para la determinación del recubrimiento más efectivo se partió con el análisis de los datos obtenidos.

### **Método estadístico**

Con la utilización del método estadístico se realizó el análisis de los datos obtenidos en el estudio para posteriormente representarlos mediante tablas y graficas en función del tiempo, y con ellos establecer las conclusiones de acuerdo a los objetivos previamente planteados en la investigación.

### **Método comparativo**

Con la ayuda de este método se estableció las diferencias entre los 4 recubrimientos utilizados, en relación a su potencia, rendimiento y temperatura bajo la influencia de las variables ambientales en un periodo de tiempo establecido en la región Litoral e Interandina.

En cuanto a las técnicas de investigación, se utilizarán dos formas generales: técnica documental y técnica de campo (Isabel, 2005).

### **Técnica documental**

- Revisión de archivos existentes
- Revisión de literatura

### **Técnica de campo**

- Obtención directa de datos
- Análisis y control de datos

### **Antecedentes**

En el país no existen recubrimientos específicos para la protección de la superficie de los módulos solares, esto es por el poco nivel de estudio que se presta en comparación a otros países en el avance de este tipo de energía. Actualmente existen productos que ayudan a evitar pérdidas por suciedad en los módulos solares:

- Ar-coat
- 3M recubrimiento anti suciedad
- +Power sun

Estos recubrimientos existen fuera del país en donde la energía solar tiene mayor acogida y donde se necesitan de recubrimientos que eviten que la suciedad no interfiera en la absorción de la luz solar, estas empresas fabrican variados productos no solamente en el campo de la energía solar, también elaboran productos para la construcción como es el caso de la empresa 3M y productos para la elaboración de recubrimientos de otros tipos de superficie como es el caso de la empresa que fabrica el recubrimiento Ar-coat llamada Sistacoat (Sista Coat Spain, 2010) y el recubrimiento power sun de la empresa ADROX que fabrican para la industria automotriz, inmobiliaria e incluso para el campo de la medicina. (ADROX, 2015)

Además de estos recubrimientos existentes y en desarrollo, existen otros recubrimientos pero específicamente para revestir superficies de vidrio ya que las superficies de los paneles solares están hechas de vidrio para proteger a las células fotovoltaicas del ambiente, estos tipos de recubrimientos son de mayor distribución y más accesibles, entonces se optó por conseguir estos recubrimientos para recubrir a las células, estos recubrimientos se caracterizan principalmente por ser hidrofóbicos (repelen el agua) y proteger de la suciedad las superficies de vidrio, además son transparentes y reflejan menos luz.

Estos recubrimientos nacen por la necesidad de proteger contra la suciedad (polvo y moho) a los variados tipos de superficies de vidrio que se exponen diariamente a factores ambientales, un gran ejemplo son los parabrisas de los automóviles que están constantemente expuestos al polvo, gases productos de la contaminación como el CO<sub>2</sub>, lluvia que al combinarse estos elementos forman películas de suciedad en el parabrisas y el lavado de esta superficie es muy frecuente, además del parabrisas las ventanas también están expuestas a estos elementos contaminantes. Otro uso también que contribuye al desarrollo de estos recubrimientos son para recubrir superficies de vidrio en el hogar como ventanas y figuras ornamentales que también están expuestas a estos agentes contaminantes además de los teléfonos celulares y tablets que también poseen su superficies de vidrio y se exponen además del agua a otros elementos contaminantes y se forma suciedad muy fácilmente en su superficie.

### **Recubrimientos existentes para módulos solares y en desarrollo.**

#### **Recubrimiento Hidrofilico para Paneles Solares AR-COAT (Anti-Reflexion-Coat).**

Es una solución nueva de tratamiento para las superficies de los paneles solares que reduce la reflexión de la luz solar, además mantiene la superficie de estos libre de suciedad que proviene de la contaminación del ambiente. (SISTACOAT, 2010)

Este tipo de recubrimiento incrementa el porcentaje de transmisión de la luz solar para obtener una mejor relación de conversión de la energía solar en energía eléctrica. Transforma el panel en auto-limpiable.

### **Características de ar-coat:**

De acuerdo a la página web del producto posee las siguientes características:

- Mejora en parte el rendimiento de los paneles solares.
- Recubrimiento de Dióxido de Silicio (SiO<sub>2</sub>), resistente a la oxidación y a la degradación por los rayos ultravioleta.
- La capa de AR-COAT es un acelerador hidrofílico e inorgánico que levanta la suciedad y evita que se pegue a la superficie de este.
- AR-COAT es un recubrimiento de prolongada duración, la vida esperada es equivalente a la vida útil del panel.
- La membrana que forma AR-COAT, tiene capacidad anti-electrostática.
- El factor de refracción, da mayor transparencia que el cristal, consiguiendo con esto una mejor transmisión de luz
- El Dióxido de Silicio de AR-COAT acelera el proceso foto catalítico originado por los rayos ultra-violeta cuando se forman compuestos de hidrogeno y oxígeno.

### **Mecanismo de protección contra la suciedad**

El agua que proviene de la lluvia penetra en la sección del acelerador hidrofílico y forma una película de agua. Las moléculas de suciedad, polvo y grasa son mayores que las del agua y por esta razón no consiguen penetrar y se mantienen por encima de la superficie del acelerador hidrofílico.

En los días de lluvia o cuando se añade agua sobre la capa del acelerador hidrofílico, el agua de la lluvia y el agua de la capa se juntan haciendo que el polvo y la suciedad

se levanten y se queden sobre la superficie. De esta forma se forma una capa de agua muy estable y resistente. (SISTACOAT, 2010)

### **Actualidad del recubrimiento Ar-coat**

Este recubrimiento actualmente no se está distribuyendo, ya que en España que es uno de los países que distribuía en cantidad este producto no vende el producto, por una fuerte crisis económica que actualmente está pasando el país y también a la caída de la venta de los módulos solares fotovoltaicos no se vende el producto, han cerrado varios centros de distribución y existen algunos pero solo proveen bajo grandes pedidos ya que el producto en la actualidad está descontinuado.

### **Recubrimientos 3M para paneles solares**

Esta empresa además de sus variados productos para el campo de la construcción también fabrica recubrimientos de protección para ayudar a los módulos solares fotovoltaicos a permanecer limpios en zonas áridas y polvorosas por mayor tiempo.

La distribución de este producto no se da aun en el Ecuador, de acuerdo a la información que se obtuvo en el sitio web del producto para Latinoamérica aun tampoco se da la distribución del producto, pero en Estados Unidos si se distribuye este producto aunque está descontinuado y están desarrollando recubrimientos adhesivos y ya no líquidos como son laminas o películas adhesivas que presentan también la función de recubrir de la suciedad a los paneles o módulos solares.

### **3M Anti-Reflection Coating**

Este recubrimiento se forma a base de agua y productos que aumentan la transmisión de luz sobre el vidrio frontal, aumentando así la eficiencia del módulo solar. (Energy, 2015, pág. 2).

Este producto proporciona una superficie hidrófila, que se ha demostrado que proporciona un grado de rendimiento anti- suciedad en el campo. Este producto se aplica al vidrio antes del revenido, lo que aumenta la durabilidad del recubrimiento y la resistencia a los rayos UV, la humedad y la abrasión. Los productos están formulados para aplicar uniformemente, reduciendo así la tasa de defectos de recubrimiento.

Este producto proporciona una superficie hidrófila, que se ha demostrado que proporciona un grado de rendimiento anti- suciedad en el campo.

Este producto se aplica al vidrio antes del revenido, lo que aumenta la durabilidad del recubrimiento y la resistencia a los rayos UV, la humedad y la abrasión. Los productos están formulados para aplicar uniformemente, reduciendo así la tasa de defectos de recubrimiento.

### **3M Backsheet film**

Estas películas o laminadas adhesivas están diseñadas de forma única para la máxima protección. Con la innovadora tecnología de fluoropolímero de 3M y un respaldo de años de rendimiento comprobado, además esta lámina ofrece una protección excelente contra la humedad, resistencia al calor y estabilidad UV. La velocidad de transmisión de vapor de humedad baja permite una excelente retención de la capa intermedia y adherencia después de envejecimiento ambiental. (Energy, 2015, pág. 5)

### **Recubrimiento +Power sun**

Este recubrimiento pertenece a la empresa ADROX que fabrica productos para el área energética, inmobiliaria y medicinal. El power sun es un recubrimiento utilizado especialmente en zonas áridas en donde es muy complicada la limpieza de los paneles y la suciedad por el polvo es muy frecuente y limpiar constantemente sería



muy costoso, este producto presenta muy buenas respuestas a elevadas temperaturas y tiene un buen tiempo de utilidad sin aplicar una nueva capa de recubrimiento.

+Powersun acelera el proceso fotocatalítico originado por los rayos ultra-violeta en presencia de vapor de agua y oxígeno, por el cual se aceleran las reacciones naturales de descomposición de los óxidos de nitrógeno y otros contaminantes orgánicos, transformándolos en sales minerales inocuas para la salud. (ADROX, 2015)

### **Características de +Power sun**

Presentan las siguientes características (ADROX, 2015)

- Disminuye hasta en un 67% los costos de mantenimiento por año.
- Disminuye en un 100% el uso de detergentes tóxicos. Rápida aplicación.
- Anti-Sal & Niebla La fórmula nanotecnológica altamente repelente, hidrofóbica y Oleofóbica, que se aplica en forma líquida no toxica.
- Esta reviste con un escudo invisible protegiendo a los módulos solares, evitando que se adhiera dióxido de azufre, óxido nitroso (contaminantes) y material particulado de diversos tamaños, que ensucian y demandan mantenimiento.

En Ecuador no se vende este producto aun y la empresa solo podría distribuir pero bajo grandes pedidos para un gran número de paneles donde se generan grandes producciones de energía mediante esta fuente de tipo solar.

### **Recubrimiento transparente para disipar calor perjudicial de paneles solares y aumentar su eficiencia.**

Este es un nuevo tipo de recubrimiento que evita el excesivo calentamiento del panel solar que es uno de los mayores problemas que presentan estos, la razón es porque

mientras más calientes se ponen las células solares, menos eficientes son a la hora de convertir los fotones de la luz en electricidad útil.

Una solución para el problema ha sido encontrada por el equipo de Shanhui Fan, de la Universidad de Stanford en California, Estados Unidos. Se basa en un material delgado de sílice colocado sobre una célula fotovoltaica común. El material es transparente a la luz solar visible que dota de luz a las células solares, pero captura y emite la radiación térmica que produce calor que perjudica en el desempeño de la célula solar. Esta radiación se disipa en forma de rayos infrarrojos. (Fan, 2015)

De manera más simplificada, este recubrimiento, que ya ha sido probado en un tejado de la Universidad de Stanford, permite que la luz solar pase con mayor libertad, preservándola e incluso mejorando su absorción y además también enfría la célula al expulsar el calor, mejorando así de manera significativa la eficiencia y rendimiento de los paneles.

## **Recubrimientos hidrofóbicos para superficies de vidrio**

### **Nanoflex VP12**

Este recubrimiento se da a base de un compuesto de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) que por sus características vuelve a la superficie hidrofóbica dando un ángulo de contacto del agua con la superficie mayor a 90 grados impidiendo que el agua penetre en una gran parte sobre la superficie. (PROTEGGA, 2014)

Este recubrimiento hidrofóbico pertenece a una empresa alemana pero el distribuidor en el Ecuador es Nano depot en la ciudad de Quito

Además de producir recubrimientos para superficies de vidrio también fábrica para superficies metálicas, de cerámica, de madera además de estas superficies también fabrican para recubrimiento de textiles y otros productos. (PROTEGGA, 2014)

**Características del producto:**

- Fuerte hidrofobicidad.
- Fuertes propiedades anti-adherentes.
- Excelente efecto de fácil limpieza.
- No constituye un riesgo para los alimentos.
- Rendimiento hasta 20 m<sup>2</sup>.

Además de proteger superficies de vidrio este producto también tiene la capacidad de proteger superficies de cerámica ya que fue creado para el hogar, para recubrir superficies como cerámicas de baños, tinas, lavamanos que se ensucian fácilmente y se deben estar limpiando con mucha frecuencia. (NANO DEPOT, 2015)

**Características técnicas del producto:**

- Solvente: etanol (Alcohol).
- Espesor de capa: 100-150 nm
- Resistencia de temperatura: 250°C – 450°C(La durabilidad se reduce a los 450°C)
- Estable ante rayos UV.
- Resistente a la abrasión.
- Angulo de contacto: 102-110°.

Este recubrimiento presenta sus efectos hidrofóbicos iniciales después de aproximadamente 10 minutos. En ésta fase, el recubrimiento no debe ser manipulado con agentes químicos o abrasivos. (NANORECUBRE, 2014)

## **Recubrimiento repelente de lluvia UN Y COX**

UN Y COX es una empresa con gran experiencia, dedicada a la fabricación de productos de limpieza automovilística, industrial, y de hogar, de alta calidad y eficacia

Este producto se utiliza específicamente para recubrir los parabrisas y ventanas de los automóviles para protegerlos de las lluvias y el polvo de las calles a los que están expuestos siempre. Esta empresa que fabrica el producto, también fabrica para el sector automovilístico en el campo de limpieza y mantenimiento de las superficies de los automóviles.

Este recubrimiento fue fabricado en España y solo puede adquirirse en Ecuador bajo pedido para su uso y distribución.

### **Características técnicas del producto:**

- Solvente: Alcohol isopropílico o 2propanol
- Densidad a 20°C: 1,0 g/cm<sup>3</sup>
- PH a 20°C: Neutro.
- Solubilidad en agua: Totalmente soluble.
- Angulo de contacto: > 90°.
- Componentes principales: Agua, alcohol isopropílico y dicuaternario polidimetilsiloxano

Este producto no da a conocer todos sus componentes químicos por políticas de la empresa y lo detalla en su página web, los elementos que da a conocer son prácticamente los fundamentales que son: agua, alcohol isopropílico y el componente químico dicuaternario polidimetilsiloxano que es el que le daría sus características de hidrofobicidad.

Las emulsiones de polidimetilsiloxano(PDMS) se dieron como los primeros compuestos de polisiloxanos que se utilizaron en la industria de textiles para su acabado. (Serra, 1997)

Este compuesto de PDMS tiene una característica fundamental que es la de poseer una baja tensión superficial que varía poco con la temperatura.

### **Recubrimiento de mica de vidrio.**

Estos recubrimientos fueron diseñados para la protección de las superficies de los celulares y tablets, que están expuestos muchos elementos que producen suciedad en su superficie y que para mayor comodidad del usuario se pueda tocar una superficie que no se ensucie con mucha facilidad. Existen otros recubrimientos para las superficies de los celulares aparte de esta mica de vidrio tratado, también existen micas simples no de vidrio sino plásticas muy fácilmente deformables en su superficie por rayados o raspones y que además se crean películas de suciedad también en estas superficies.

Las micas de vidrio templado son fabricadas mediante procesos químicos específicos y tratamientos con temperaturas muy altas para conseguir incrementar su resistencia y vida útil. Este proceso empieza con el calentamiento y rápidamente enfriado mediante el uso de sopladores, con este proceso se consigue que la superficie tenga mejor compresión y tensión, obteniendo en el vidrio una resistencia de 7 a 10 veces mayor a la resistencia normal. (VENOMARMOR, 2015)

### **Características del recubrimiento de mica de vidrio.**

- Alta resistencia al rayado.
- Recubrimiento oleofóbico.
- Superficie completamente transparente, menos reflexión de luz.

- Adhesivo de silicona para un mayor pegado compacto.
- Angulo de contacto:  $> 90^\circ$ .
- Espesor de capa 0.3-0.5mm.

### **Tipos de protectores de pantalla**

A la hora de seleccionar una mica para proteger la pantalla puede ser un proceso muy confuso, ya que existen muchas marcas, tipos, y calidades de micas. Pero muchas de ellas son similares, a continuación se mostrara un pequeño listado con los tipos de micas disponibles en el mercado. (ARMOR, 2015)

- Mica de PET (Plástica, solo ofrece una capa contra rasguños)
- Mica de PET Auto-Reparable (Ofrece protección contra rasguños y se auto repara de rasguños)
- Mica de Cristal/Vidrio Templado (Ofrece máxima protección contra rasguños y nivel medio contra los golpes)
- Mica Anti Impactos (Ofrece protección contra rasguños y máxima protección contra golpes).

La lamina oleofobica es parte de las características de las micas de vidrio templado, la composición química de estas capas impide que las grasas, aceites, películas de suciedad se peguen en la superficie del vidrio de la mica.

### **Recubrimiento experimental.**

Investigando en varios sitios web sobre recubrimientos hidrofóbicos transparentes para cubrir superficies de vidrio encontré uno en donde fusionaban dos elementos que se pueden adquirir fácilmente en un centro de pinturas y una farmacia, estos elementos al combinarlos y con la ayuda de un catalizador se consigue obtener un revestimiento hidrofóbico.

Este recubrimiento como se habló anteriormente se forma de la combinación de dos elementos y estos son laca cristalina común y un desodorante en spray(REXONA), pero también es necesario un catalizador que acelere la reacción(Poliuretano).

La laca en si tiene ya la característica de recubrimiento transparente y protege a la superficie de la célula fotovoltaica en nuestro caso, Entonces al combinarse con este compuesto forma una fuerte capa hidrofóbica que protegerá a la superficie de la célula fotovoltaica, el uso del compuesto químico que posee el desodorante que se llama ciclopentasiloxano es un elemento inactivo del desodorante que es un tipo de silicona que también se encuentra en productos de belleza para el tratado del cabello y también en bloqueadores solares.

El fluido SI/02 o ciclopentasiloxano, es un fluido formado por polidimetilsiloxanos volátiles con estructura cíclica, que se emplean en la industria de cuidado personal para la formulación de muy diversos productos. Dadas sus características fisicoquímicas particulares, el SI/02 se distingue por: baja tensión superficial, volatilidad, transparencia y lubricidad.

#### **Usos del ciclopentasiloxano:**

- Sílica para el cabello o seda capilar.
- Acondicionadores capilares.
- Tratamientos faciales.
- Cremas humectantes.
- Gel para el cabello.
- Protectores solares.
- Desodorantes.
- Desmaquillantes.

## **Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica es una energía renovable limpia no contaminante, que se obtiene a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética proveniente del Sol, esta radiación solar que llega a la Tierra ha sido aprovechada por el hombre desde tiempos muy antiguos, mediante diferentes formas de tecnología que vienen desarrollando mucho especialmente en países industrializados como Estados Unidos, China y Alemania. Actualmente, el calor y la luz del sol pueden ser aprovechados por medio de variados tipos de captadores de energía solar un ejemplo de esta captación son las células fotovoltaicas, heliostatos o colectores solares térmicos, que tienen la capacidad de convertir esta radiación solar en energía eléctrica o térmica.

Es una de las llamadas energías renovables que ayudarían a resolver muchos de los problemas que actualmente está comprometiendo a la humanidad a un futuro con graves problemas por la excesiva contaminación. (Agency, 2011)

La fuente de energía de origen solar más desarrollada actualmente es la energía solar fotovoltaica esto según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica estaría en la posibilidad de suministrar energía eléctrica a dos tercios de la población mundial en 2030 y esto en gran parte ayudaría a reducir el uso de energías contaminantes provenientes de la quema de combustibles. (GREENPEACE, 2008)

## **Funcionamiento de un panel solar**

Los paneles solares consisten en un conjunto de elementos denominados células solares o células fotovoltaicas dispuestos en paneles, que transforman directamente la energía solar en energía eléctrica. (Marin, 2004)



El parámetro estandarizado para especificar su potencia se denomina potencia pico, y esta corresponde a la potencia máxima que el módulo puede generar bajo condiciones estandarizadas, estas son (LAMIGUEIRO, 2011):

- radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>
- temperatura de célula de 25 °C (no temperatura ambiente).

## **Tipos de paneles solares**

### **Mono cristalino**

Estos tipos de paneles son fácilmente reconocibles por su forma circular u octogonal, en donde los cuatro lados de un célula fotovoltaica tienen forma curva no rectangular y así se disponen todas la células en todo el panel.

Las células mono cristalinas están formadas por un único tipo de cristal de silicio, en otras palabras este tipo de células presentan un silicio más uniforme y se disponen en una sola dirección, consiguiendo un alineamiento casi rosando a la perfección de todos los componentes que conforman el cristal (Moreno, 2013)

### **Poli cristalino**

Este tipo de paneles están formadas por células fotovoltaicas de partículas cristalizadas. Estas celdas son fabricadas en disposición cuadrada. Esto se da porque el líquido fundido en los lingotes no se los utiliza para ser extruidos o trasladarse a otro proceso, es para producir un bloque de silicio fuera de los cuales las diminutas células son cortadas en partes iguales. Las uniones entre los granos producen un efecto muy interesante en el desempeño y eficiencia de la celda solar fotovoltaica. (Esco-tel, 2013)

## **Amorfos**

En estos paneles el silicio no se ha cristalizado por tanto su eficiencia es más baja con respecto a los demás. Su rendimiento esta entro los 4 a 7% de eficiencia por lo que no son muy adquiridos.

## **Efectividad de los paneles**

Su efectividad es mucho mejor cuanto mayor son los cristales del material del que están hechos, pero además también influye el peso, grosor y el coste del material que lo conforman. El rendimiento de las células monocristalinas puede alcanzar el 22% mientras que el de las células de silicio policristalino y amorfo pueden no superar el 10%, sin embargo su costo y peso es muy bajo.

Los paneles fotovoltaicos actuales han reducido su costo considerablemente de forma constante desde los años en los cuales se fabricaron las primeras células solares comerciales.

## **Otro tipo de aparatos captores de energía solar**

### **Colectores solares**

Los colectores solares tienen variados usos, algunos de ellos son: preparación de agua caliente para usos de tipo sanitarios, climatización de piscinas, calefacción, frío solar, para la elaboración de vapor, en la cocina, pasteurización, esterilización, lavado, desalinización, secado, tintado, y otras, este uso se da tanto a nivel doméstico como para la industria.

El uso de estos colectores se da en mayor o menor frecuencia, dependiendo especialmente de las estaciones del año, tanto en viviendas como en edificios, las

instalaciones de energía solar térmica proporcionan entre el 30 % y el 100 % del agua caliente demandada.

Cuando son utilizados para la calefacción, son más adecuados para sistemas de baja temperatura. Según los diferentes estudios, la reducción en el consumo obtenido se promedia entre un 25-45 %, aunque en la práctica no suele ser económicamente rentable dimensionar la instalación para reducciones de consumo mayores a un 30 %. El principal problema cuando se utiliza para calefacción es en los días en que las necesidades de calefacción son mayores y el sistema no abastece, y por lo tanto la captación y el rendimiento de los colectores son en relación muy bajos. Por esta razón es que los paneles solares presentan una mayor eficiencia en comparación con los colectores. (Moya, 2014)

### **Célula fotovoltaica**

Una célula fotovoltaica está formada principalmente de silicio y generalmente están hechas de este elemento químico aunque existen también de otros tipos como son las de germanio y las de arseniuro de galio.

### **Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica**

Muchos de los fotones, que son provenientes de la radiación solar, chocan en la primera superficie de la célula fotovoltaica, penetrando en esta y siendo absorbidos por materiales de tipo semiconductores, ejemplos de estos son el silicio o el arseniuro de galio.

Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (Atraviesa la célula). El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente que proporciona la radiación incidente. (CHUQUÍN VASCO NELSON SANTIAGO, 2011)

En consecuencia los electrones pueden circular libremente a través del material conductor y así se obtiene electricidad. Este proceso los átomos pierden electrones quedando así con un menor número de electores, a estos espacios se los denominan huecos y estas cargas con huecos fluyen en el sentido opuesto al de los electrones dentro del panel solar fotovoltaico.

De esta manera se puede deducir que como el flujo de electrones corresponde a cargas reales, que en otras palabras, cargas que conllevan desplazamientos reales de masa, las cargas positivas o huecos, en realidad, son cargas que se pueden considerar como cargas ideales o virtuales ya que no implican desplazamiento de masa real.

Cuando ya se forma la unión p-n, quedan en libertad y entran rápidamente en la capa de tipo p y se recombinan con los huecos de la región de tipo p. De esta forma quedaran así constantemente la capa de tipo n con carga positiva (por la falta de electrones) y una carga negativa en la región en p a lo largo de la unión (porque los huecos han sido cubiertos); el conjunto forma la «Zona de Carga de Espacio» (ZCE) y se forma un campo eléctrico entre estas dos, con dirección de n hacia p. (CHUQUÍN VASCO NELSON SANTIAGO, 2011)

## **Factores de eficiencia de una célula solar**

### **Punto de máxima potencia**

Una célula solar puede trabajar dentro de un amplio rango de voltajes e intensidades de corriente. Esto se consigue variando la resistencia de la carga dentro del circuito eléctrico, por una parte, y por la otra variando la impedancia de la célula desde un valor mínimo que es cero (valor de cortocircuito) a valores muy altos (circuito abierto) y así se consigue determinar el punto de potencia máxima teórica, que en otras palabras es el punto que maximiza el voltaje y tiempo frente a la corriente, que es lo mismo a la carga para la cual la célula puede entregar la máxima potencia para

un nivel específico de radiación solar. (Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos, 2006)

### **Eficiencia en la conversión de energía**

La eficiencia de una célula solar, es el valor porcentual de potencia transformada en energía eléctrica proveniente de la luz solar total absorbida por un panel solar y a su vez una célula solar está conectada a un circuito eléctrico.

De acuerdo con la gráfica el Voltaje en el punto máximo de potencia es el 80% del voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y la corriente en el punto máximo de potencia es el 95% de la corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ).

Este valor se calcula utilizando la relación del punto de potencia máxima,  $P_m$ , dividido para la luz que incide sobre la celda de irradiación ( $E$ , en  $W/m^2$ ), bajo condiciones estandarizadas (STC) y la superficie de la célula solar ( $A_c$  en  $m^2$ ). (Lorenzo, RADIACION SOLAR Y DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS, 2006)

$$\eta_{\%} = \frac{P_{MAX}}{P_i} \times 100\%$$

Las condiciones estándar especifican una temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una irradiación de  $1000\text{ W/m}^2$  con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5).

### **Factor de llenado**

El factor de llenado se define como la relación entre el máximo punto de potencia dividido entre el voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y la corriente en cortocircuito  $I_{sc}$  (Lorenzo, RADIACION SOLAR Y DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS, 2006):

$$FF_{\%} = \frac{P_{pmp}}{I_{SC} \times V_{OC}} \times 100\%$$

### **Punto de máxima potencia**

Es el punto en la gráfica en donde la potencia entregada por la célula es máxima, esta se obtiene con una irradiación de 1 kW/m<sup>2</sup> sobre la superficie de la Tierra.

$$P_{pmp} = I_{pmp} * V_{pmp}$$

La potencia entregada por la célula en este punto será considerada como nominal y se mide en unidades de vatios pico (Wp) reflejando la idea de potencia máxima alcanzable. (LAMIGUEIRO, 2011)

### **Radiación solar**

La radiación que llega al planeta es frenada en parte por la capa de ozono que forma parte de las capas atmosféricas de la tierra, esta capa bloquea las ondas de radiación más cortas llamadas ultravioletas, esta radiación proveniente del sol tiene su magnitud de medida y se la conoce como “irradiación” o “insolación”. (Bejarano, 2011)

La radiación solar se traslada desde el sol en forma de ondas electromagnéticas que viajan por el espacio, tarda aproximadamente 8 minutos en llegar hasta la tierra.

### **Radiación solar en el planeta**

La radiación llega con mayor intensidad en las regiones que se encuentran en el Ecuador de la tierra, en otras palabras los países que se encuentran en el centro del planeta en donde la radiación pega de manera perpendicular a la superficie.

La radiación que llega a la superficie de nuestro planeta no es de igual intensidad en todos los lugares, esto se debe a dos factores fundamentales, el primero es la posición relativa de la tierra con respecto al sol y la otra a los movimientos de traslación de

nuestro planeta, un ejemplo muy claro son aquellos lugares que se encuentran ubicados sobre en la línea Ecuatorial, estos lugares reciben la mayor parte de la radiación solar emitida hacia la Tierra que se habló anteriormente, estos valores llegan a los 220 Kcal/(cm<sup>2</sup>/año) aproximadamente, por el contrario los polos que conforman la tierra norte y sur no reciben una gran cantidad de radiación durante el año y existen estimaciones inferiores a los 80 Kcal/(cm<sup>2</sup>/año) (Bejarano, 2011)

### **Radiación solar en el Ecuador**

La ubicación geográfica de nuestro país nos convierte en un país privilegiado en lo relacionado a la energía solar ya que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a nuestra superficie terrestre durante todo el año en comparación a otros lugares de nuestro planeta, en donde el ángulo de incidencia de la luz solar varía periódicamente por estaciones del año.

Esta ventaja de ubicación privilegiada del Ecuador se refiere a la recepción de una elevada y constante cantidad de radiación solar, que a su vez varía dentro del territorio nacional únicamente por cómo se presenten las condiciones climatológicas y como varían además de acuerdo a la cercanía o lejanía con respecto a la posición del sol. (CIE, 2013)

Desde el mes de agosto del año 2008, nuestro país ya cuenta con un Atlas de Irradiación Solar desarrollado por la Corporación para la Investigación Energética, en la que se pueden encontrar datos georreferenciados de puntos específicos sobre radiación global, difusa y directa en el Ecuador continental. (CONELEC, 2008)

### **Radiación directa, difusa y reflejada**

La radiación solar que incide sobre la superficie de nuestro planeta se manifiesta de las siguientes maneras:

- Radiación difusa
- Radiación directa
- Radiación reflejada

### **La radiación directa**

Este tipo de radiación proviene directamente de nuestro sol, cuando el cielo se encuentra despejado y no existe nubosidad es mayor esta radiación.

### **La radiación difusa**

Es aquella radiación que proviene por la dispersión que sufre al atravesar la atmosfera. En los días de mayor intensidad solar en donde no existe la presencia de nubosidades este tipo de radiación puede suponer aproximadamente el 15% de la radiación global que incide en el planeta, pero en los días nublados en los que se reduce la cantidad de radiación directa este tipo de radiación aumenta de manera muy considerable. (Hernandez, 2014)

### **La radiación reflejada**

Es aquella radiación que proviene “rebotada” de la superficie terrestre. El valor de este tipo de radiación depende en gran parte del llamado coeficiente de reflexión de la superficie. Habitualmente supone una contribución muy pequeña y en algunos casos puede ser despreciada. (LAMIGUEIRO, 2011)

### **Factores ambientales**

Un aspecto muy importante para tomar en cuenta a la hora de probar los recubrimientos en las células fotovoltaicas son los factores ambientales que afectarían el desempeño de los recubrimientos en las regiones que se van a evaluar



estos recubrimientos como son Costa y Sierra ya que por sus condiciones climáticas variarían estos factores.

Los factores ambientales vienen de las características climáticas y micro climáticas de un sitio estas se traducen en las cambiantes condiciones meteorológicas que popularmente se denominan estado del tiempo. Estas condiciones se pueden definir a partir de un conjunto de parámetros que identificaremos como factores ambientales. Aunque los factores ambientales siempre actúan de manera conjunta.

Estos factores que se van a nombrar serían los principales a tomar en cuenta para el estudio ya que se cree influirían significativamente en los recubrimientos.

- Radiación solar
- Temperatura
- Humedad
- Presión atmosférica

### **Radiación solar**

La radiación solar es aquella que proviene del sol y que se desplaza por el espacio en forma de ondas electromagnéticas, antes de llegar a la superficie terrestre.

La radiación solar al ser una variable posee una unidad de medida y es la unidad de medida de la potencia ya que genera energía en un tiempo determinado, pero al incidir sobre una superficie esta se mide en unidades de  $W/m^2$ . A la tierra solamente llega 1/3 de la energía total interceptada por la atmosfera y el 70% cae a la atmosfera. (Javier Mendez, 2007)

## **Temperatura**

Es una variable que cambia de acuerdo a las condiciones climáticas dadas donde puede ser alta o baja, la temperatura también puede variar en un cuerpo por el movimiento molecular en su superficie que puede ser excitado por un factor externo que por lo general es el fuego. Esta variable se mide generalmente en nuestro país en grados Celsius (°C), esta escala es la que más se utiliza en el Ecuador pero existen otras.

- Escala Fahrenheit (°F)
- Escala Kelvin (°K)
- Escala Rankine (°R)

La temperatura es una medida de la energía calorífica presente en una sustancia, sea esta sólida, líquida o gaseosa. (Sol-arq, 2014)

## **Humedad**

La humedad es un variable que al igual que la temperatura también varía dependiendo de las condiciones climáticas que se presenten, está presente en el aire que nos rodea y esta aumenta o disminuye dependiendo de la concentración de vapor de agua que exista en el aire. (Figueroa, 2002)

Cuando se mide en una escala porcentual quiere decir que van desde el 0 al 100% de concentración de vapor de agua en el aire, cuando llega la concentración al 100% quiere decir que el aire está saturado de vapor de agua.

## **Medidores de variables**

En el campo de la investigación existen varios tipos de medidores para medir las distintas clases de variables que existen, existen medidores compuestos que tienen la capacidad de medir más de una variables como es el caso del multímetro, que es muy utilizado en el campo de la mecánica y electricidad, este puede medir variables como: voltaje, corriente eléctrica, temperatura, resistencia eléctrica entre las principales.

Para la investigación se utilizó un multímetro y un medidor de radiación solar para medir la irradiancia incidente sobre la célula, pero también se necesitó del apoyo de un centro meteorológico que existe en la ciudad de Santo Domingo que pertenece al INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) que aporta con datos de variables como: temperatura, humedad, precipitaciones, presión atmosférica y velocidad del viento.

Se utilizaron como medios para la obtención de datos los siguientes instrumentos de medición:

- Multímetro
- Piranometro( Medidor de radiación solar)
- Estaciones meteorológicas.

## **Multímetro**

Los multímetros comunes o simples pueden medir variables como:

- Voltaje
- Corriente eléctrica
- Resistencia eléctrica

Estos multímetros también tienen la función de medir si existe o no continuidad de corriente en un conductor.

### Medidores de radiación

Existen varios tipos de medidores de radiación para usos específicos, para medir la radiación solar se utilizan los radiómetros, los cuales pueden ser de dos tipos: piranómetros y pirheliómetros. La forma principal de actuación de estos sensores es la conversión de la energía proveniente del sol en otro tipo de energía, principalmente eléctrica, de forma que esta última pueda ser medida de una forma mucho más sencilla. Los radiómetros se pueden clasificar según diversos criterios: el tipo de variable que se pretende medir, el campo de visión, la respuesta espectral, el empleo principal a que se destine. A continuación se muestran algunos tipos con el parámetro de mediada y su uso principal:

Tabla 1: Tipos de medidores de radiación solar

<b>Clasificación del instrumento</b>	<b>Parámetro que se desea medir</b>	<b>Uso principal</b>	<b>Ángulo de visión (sr)</b>
Pirheliómetro absoluto	Radiación solar directa	Patrón primario	$5 \times 10^{-3}$
Pirheliómetro	Radiación solar directa	a) Patrón secundario para calibraciones b) Red	$5 \times 10^{-3}$
Pirheliómetro espectral	Radiación solar directa en bandas espectrales anchas	Red	$5 \times 10^{-3}$
Fotómetro solar	Radiación solar directa en bandas espectrales estrechas	a) Patrón b) Red	$1 \times 10^{-3}$
Piranómetro	a) Radiación global b) Radiación difusa	a) Patrón de trabajo b) Red	2p

	c) Radiación reflejada		
Piranómetro espectral	Radiación solar global en bandas espectrales anchas	Red	2p
Pirgeómetro	a) Radiación de onda larga b) Radiación de onda larga descendente	Red	2p
Pirradiómetro	Radiación total	Patrón de trabajo	2p
Pirradiómetro diferencial	Radiación total neta	Red	4p
Heliógrafo	Brillo solar	Red	4p

FUENTE: (Carrasco, 2011)

### **Piranómetros**

Los piranómetros son instrumentos de medición utilizados en el campo de la energía solar, estos existen de diversas calidades dependiendo del uso que se les dé, ya que existen piranómetros de alta precisión y bajo rango de error estos son mayormente utilizados en centros de estudios especializados de energía solar, estaciones meteorológicas y también en grandes universidades donde requieren de alta precisión en la toma de datos.

Estos instrumentos de medición vienen diseñados con unidades de medida generalmente de  $W/m^2$  y  $BTU/ft^2.h$ . Estos aparatos de medición reciben la radiación que incide sobre un fotodiodo que es capaz de diferenciar el espectro solar por la frecuencia de la onda electromagnética y de esta manera, mediante la lectura de voltaje se puede conocer los datos de radiación. Los piranómetros están estandarizados de acuerdo a la norma ISO 9060, que también es adoptada por la Organización Meteorológica Mundial (OWM) (meteo-technology, 2014).

En la siguiente tabla se detalla los piranómetro operacionales por su calidad según la WMO(1996), Los que se son considerados como de alta calidad son válidos como patrones de trabajo y requieren de mantenimiento adecuado y personal especializado (Carrasco, 2011). Los piranómetro de buena calidad son aceptables para mediciones que no requieren de muy alta precisión y por último, los de calidad moderada son aceptables para redes de media de bajo coste.

Tabla 2: Calidad de piranómetros

<b>Características</b>	<b>Alta calidad</b>	<b>Buena calidad</b>	<b>Calidad moderada</b>
<b>Tiempo de respuesta</b> (95%)	< 15 s	< 30 s	< 60 s
<b>Desajuste de cero</b>			
a) respuesta a la variación de $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ en radiación térmica neta	$\pm 7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
b) respuesta a la variación de $5 \text{ K}\cdot\text{h}^{-1}$ en la temperatura ambiente	$\pm 2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
<b>Resolución</b> (mínimo cambio detectable en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )	$\pm 1$	$\pm 5$	$\pm 10$
<b>Estabilidad</b> (porcentaje del fondo de escala, variación anual)	$\pm 0.8$	$\pm 1.5$	$\pm 3$
<b>Respuesta direccional a la radiación directa</b> (rango de errores debidos a asumir que la respuesta a la incidencia normal es válida para todas las direcciones cuando se mide, desde cualquier dirección, radiación directa normal de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ )	$\pm 10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
<b>Respuesta en temperatura</b> (máximo error en % debido a la variación de temperatura ambiente en un intervalo de 50 K)	$\pm 2$	$\pm 4$	$\pm 8$
<b>No-Linealidad</b> (desviación en % de la respuesta a $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ debido a una variación de la irradiancia entre 100 y $1100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ )	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 3$

FUENTE: Procedimiento de Mantenimiento y Calibración de Estación Radiométrica, Universidad de Sevilla 2011

### Estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas son centros de obtención de datos por medio de medidores específicos para determinar el comportamiento climático en lugares

específicos, estos datos obtenidos servirán para predecir el clima en días próximos a partir de modelos numéricos.

Algunos de los medidores que utilizan:

- Termómetro
- Termógrafo
- Barómetro
- Higrómetro
- Anemómetro
- Veleta

Las estaciones meteorológicas por lo general miden variables como: temperatura, humedad, presión atmosférica y velocidad del viento. Existen estaciones que tienen la capacidad de medir un mayor número de variables incluso son automatizadas y no necesitan el control de un operario al 100 %, estas se encuentran en países de mayor desarrollo tecnológicos como Norteamérica y países europeos. (Escuela Técnica IPEN 56 Abraham Juárez)

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Sitio de estudio

Esta investigación se realizó en la ciudad de Santo Domingo de los colorados, y en la ciudad de Quito, siendo la primera perteneciente a la región litoral y la segunda a la región interandina del Ecuador.

#### Localización geográfica

##### Región Litoral

**Provincia:** Santo Domingo de los Tsáchilas

**Capital:** Santo Domingo de los Colorados

**Lugar específico:** Coop. Union Civica, Km 4,5

**Coordenadas geográficas:**

**Latitud:** -0.286388    **Longitud:** -79.200927    **Altitud:** 485 m

##### Región Interandina

**Provincia:** Pichincha

**Capital:** Quito

**Lugar específico:** El conde I, calle 24 de mayo

**Coordenadas geográficas:**

**Latitud:** -0.3179018    **Longitud:** -78.5364192    **Altitud:** 2705 m

#### Ubicación en el tiempo

Este trabajo de investigación se realizó a partir del mes de octubre tomando en cuenta las características y condiciones climáticas que se presentaron durante el periodo de experimentación.



## Materiales, instrumentos y recursos

### Materiales

En el proyecto de investigación se trabajó con los siguientes materiales

- Célula fotovoltaica monocristalina
- Recubrimientos experimentales
  - Recubrimiento nanoflex
  - Recubrimiento ar y cox
  - Recubrimiento experimental
  - Recubrimiento de mica cristalina

### Célula fotovoltaica monocristalina



Figura 1: Célula fotovoltaica monocristalina adquirida

### Características técnicas:

- Corriente máxima( $I_{pmp}$ ) = 0,170 A
- Voltaje máximo( $V_{pmp}$ ) = 5,5 V
- Potencia máxima( $P_{pmp}$ ) = 0,94W
- Dimensiones: 100 mm x 80 mm x 3 mm

- Calibre del conductor: 24 AWG
- Material: Silicio monocristalino
- Conector: 2.0 JST
- Rendimiento: 15 - 20%

## Recubrimientos experimentales

### Recubrimiento nanoflex



Figura 2: Nanoflex VP12

### Características técnicas del producto:

- Solvente: etanol(Alcohol).
- Espesor de capa: 100-150 nm
- Resistencia de temperatura: 250°C – 450°C(La durabilidad se reduce a los 450°C)
- Estable ante rayos UV.

- Resistente a la abrasión.
- Angulo de contacto: 102-110°.
- Compuesto principal: Silice(SO<sub>2</sub>)
- El aclaje químico ocurre después de las 24 horas.
- 30 ml de contenido / 6 ml por m<sup>2</sup> / 5 capas

### Recubrimiento ar y cox



Figura 3: Recubrimiento AR Y COX

### Características técnicas del producto:

- Solvente: Alcohol isopropilico o 2propanol
- Densidad a 20°C: 1,0 g/cm<sup>3</sup>
- PH a 20°C: Neutro.
- Solubilidad en agua: Totalmente soluble.
- Angulo de contacto: > 90°.
- Componentes principales: Agua, alcohol isopropilico y dicuaternario polidimetilsiloxano

- 200 ml de contenido / 10 ml por m<sup>2</sup> / 20 capas

### **Recubrimiento de mica de vidrio.**

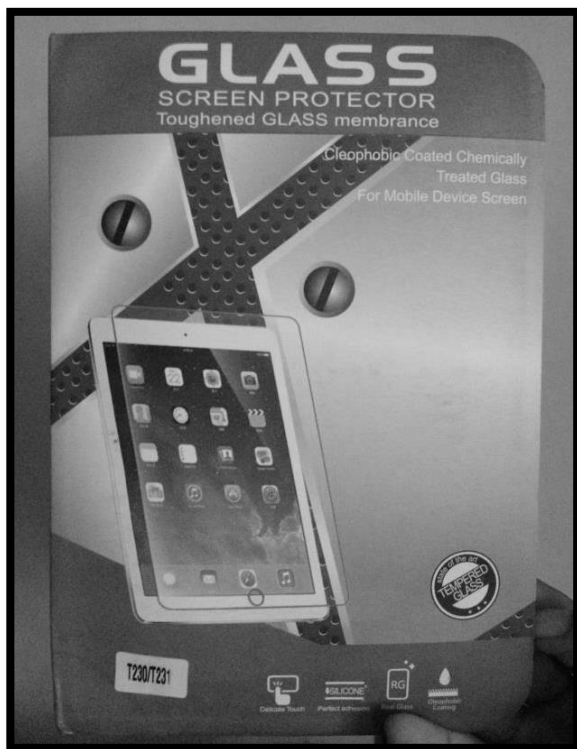


Figura 4: Mica de vidrio templado GLASS

### **Características del recubrimiento de mica de vidrio.**

- Alta resistencia al rayado.
- Recubrimiento oleofóbico.
- Superficie completamente transparente, menos reflexión de luz.
- Adhesivo de silicona.
- Angulo de contacto: > 90°.
- Espesor de capa 0.3-0.5mm.

## Recubrimiento experimental.

### Componentes del recubrimiento superficial

- Barniz sintético
- Catalizador de poliuretano
- Desodorante rexona

### Barniz sintético

#### Características:

- Color: Transparente
- Peso específico: 1 g/ml
- Espesor de capa seco: 25-35  $\mu\text{m}$
- Espesor de capa húmedo: 50-75  $\mu\text{m}$
- Temperatura crítica: 110°C
- Tiempo de secado: A 10 °C, 10 horas
- Contenido 200 ml

### Catalizador



Figura 5: Catalizador PUR DX-09

## Descripción

Producto empleado para promover el secamiento del componente 1 (Barniz de Poliuretano).

## Características

Es un catalizador que proporciona al mezclarse con el componente 1 (Barniz Poliuretano), una película que le da propiedades en dureza, brillo, resistencia química, a la humedad, la abrasión, y la decoloración.

- Contenido 200 ml

## Desodorante

Se utilizó este modelo de desodorante por su compuesto activo de ciclopentasiloxano.



Figura 6: Desodorante Rexona motionsense

Componentes químicos principales activos:

- Butano
- Isobutano
- Propano
- Ciclometicona
- Clohidrato de aluminio
- Perfume
- Hectorita
- Cuaterno-18
- **Ciclopentasiloxano**
- Dimeticanol

## Instrumentos

### Medidor de irradiación solar

Este tipo de piranómetro puede medir una irradiancia incidente de hasta 2000 W/ m<sup>2</sup>.



Figura 7: Piranómetro marca Velleman

### Características técnicas:

- Unidad de medición:  $W/m^2$  o  $BTU/ft^2.h$
- Rango de medición:  $0 - 1999 W/m^2$  o  $634 BTU/ft^2.h$
- Resolución:  $1W/m^2 / 1BTU/ft^2.h$
- Precisión:  $\pm 10W/m^2$  o  $\pm 5\%$
- Error de temperatura adicional:  $\pm 0,38W/m^2/^\circ C$
- Tiempo de muestreo: 0,25 s

### Multímetro

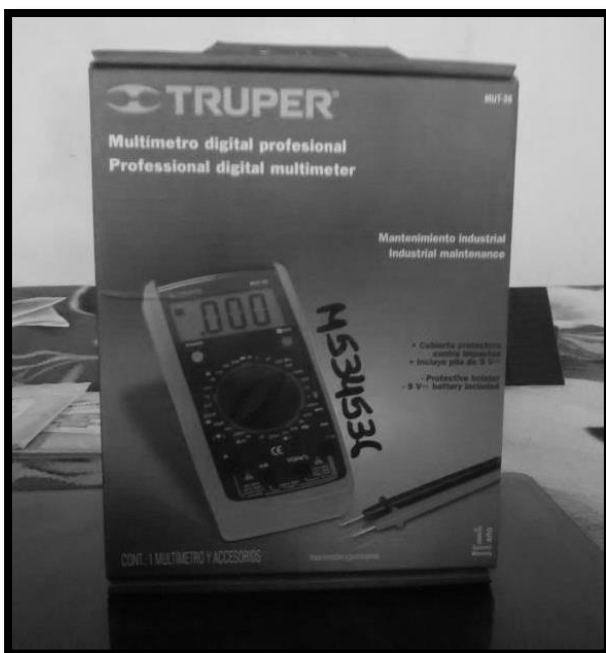


Figura 8: Multímetro Truper Mut 39

### Características técnicas:

#### Externas:

- Longitud : 171 mm
- Peso: 415 g
- Empaque : Caja



**Internas:**

Función y rango de medida:

- Tensión c.a.: 2V - 750V  $\pm(1.2\% + 3)$
- Tensión c.c.: 200mV - 1000V  $\pm(0.8\% + 2)$
- Corriente c.a.: 2mA - 20A  $\pm(3\% + 5)$
- Corriente c.c.: 2mA - 20A  $\pm(2\% + 5)$
- Resistencia: 200Ohm - 20MOhm  $\pm(1\% + 2)$
- Capacitancia: 2nF - 20 $\mu$ F  $\pm(4\% + 3)$
- Frecuencia: 2kHz - 20kHz  $\pm(1.5\% + 5)$
- Temperatura °C : -40°C - 1000°C  $\pm(3\% + 10)$

**Recursos**

Estaciones meteorológicas perteneciente al INAMHI

**Estación Puerto Ila**

Ubicación:

Santo Domingo de los Tsáchilas

Ubicación geográfica:

Longitud: -79,34    Latitud: -0,4761

Tipo:

Meteorológica

VARIABLES QUE MIDE:

- Temperatura
- Humedad
- Presión atmosférica
- Velocidad del viento

## **Estación Izobamba**

Ubicación:

Pichincha, Quito

Ubicación geográfica:

Longitud: -78,555    Latitud: -0,3661

Tipo:

Meteorológica

Variables que mide:

- Temperatura
- Humedad
- Presión atmosférica
- Velocidad del viento

## **2.2 Diseño del muestreo**

### **Descripción del proceso**

Se utilizaron 4 recubrimientos, 3 existentes en el mercado y uno experimental, pero previamente se investigó recubrimientos que sean impermeables o sea que repelan el agua que es un factor fundamental en el estudio. Estos 4 recubrimientos se los utilizo sobre 4 planchas de vidrio y se las expuso a las distintas variables ambientales que varían de acuerdo al clima. Estas células fotovoltaicas se las expuso en los climas pertenecientes a las regiones litoral e interandina en donde presentan climas bastante diferenciados.

## Colocación de los recubrimientos

### Limpieza de la superficie

Antes de utilizar el recubrimiento sobre la superficie de la plancha de vidrio primero se limpió la superficie de esta para conseguir una mejor compactación del recubrimiento



Figura 9: Limpieza de la superficie

### Colocación del recubrimiento

Luego de la limpieza, se procedió a impregnar la superficie con el recubrimiento.



Figura 10: Colocación del recubrimiento

Este tipo de tela no deja fibras de hilo al momento de esparcir el recubrimiento, este tipo de tela son hechas de microfibras que son telas más compactas.

### **Secado de los recubrimientos**

Estos recubrimientos tienen un tiempo específico de secado que se explicó en las características de cada uno de estos, su tiempo de secado oscila entre las 12 y 24 horas después de usarlos.

### **Exposición de los recubrimientos a los factores climáticos**

Luego de que los recubrimientos ya se secan y el anclaje químico ya se efectuó sobre la superficie de vidrio, se procede a colocar las células fotovoltaicas en un lugar estratégico donde el sol de directamente sobre la superficie de estas.



Figura 11: Células expuestas al sol, Región Litoral

## Encapsulamiento de las células

Las células en si ya venían encapsuladas con un tipo de resina plástica pero su superficie no poseía vidrio. Al principio se optó por encapsular una célula junto a una plancha de vidrio y evaluar su rendimiento en comparación con la plancha de vidrio y con la célula sin encapsular, al evaluar su desempeño por tres días hubo resultados negativos para la célula encapsulada con pérdidas en su rendimiento de hasta un 3,5% en comparación con la célula no encapsulada. Para analizar esto nos basamos en su potencia.

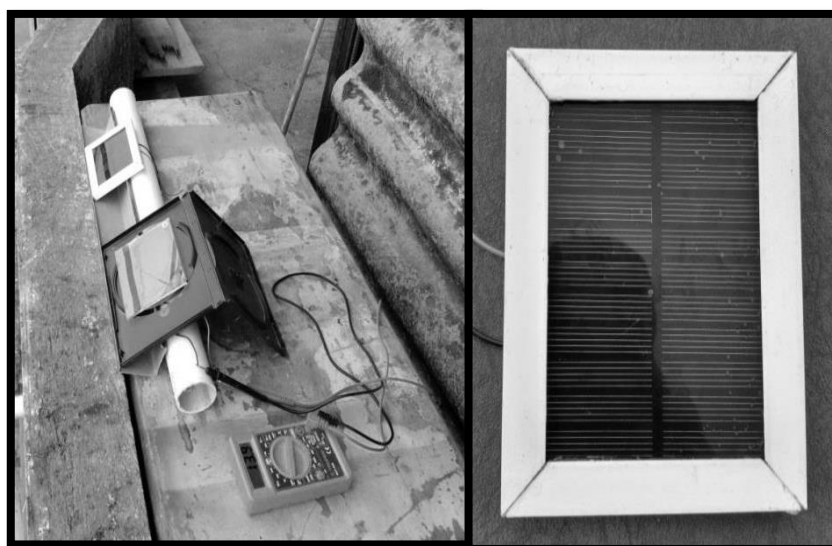


Figura 12: Comparación con encapsulamiento y sin encapsular

En estos tres días de prueba con encapsulamiento se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3: Comparación de las células con encapsulamiento y sin encapsulamiento

DÍAS	ENCAPSULADA(W)	NO ENCAPSULADA(W)	PERD. DE RENDIMIENTO(%)
<b>DIA 1</b>	0,622	0,644	3,42
	0,44	0,454	3,08
	0,486	0,502	3,19
	0,333	0,343	2,92
	0,521	0,538	3,16
<b>DIA 2</b>	0,719	0,745	3,49
	0,521	0,538	3,16

	0,62	0,642	3,43
	0,332	0,342	2,92
	0,488	0,504	3,17
	0,723	0,747	3,21
	0,441	0,454	2,86
<b>DIA 3</b>	0,622	0,644	3,42
	0,717	0,745	3,76
	0,335	0,344	2,62
<b>PROMEDIO DE PERDIDAS</b>			3,19

Entonces al estar ya las células con este tipo de material protector no se optó por volver a encapsular nuevamente junto con la plancha de vidrio y además el encapsulamiento por lo general se realiza cuando se van a compactar varias células fotovoltaicas para formar un panel solar.

Otra dificultad que se hubiera presentado al encapsularlas nuevamente es que se tendría prácticamente cuatro capas conjuntas que serían la resina plástica, la capa para su encapsulamiento, la plancha de vidrio y además el recubrimiento superficial pero también entre la superficie de la célula y la plancha de vidrio se acumuló una capa de aire, este aire contiene humedad que al condensarse se formaron pequeñas gotas de agua que perjudicarían con el tiempo la superficie de la célula. Entonces al tener este conjunto exagerado de capas sobre las células de silicio se presentaron pérdidas considerables en su rendimiento y no se optó por su encapsulamiento.

### 2.3 Medición de Variables

La toma de datos se realizó de acuerdo a una programación periódica de dos días por semana en días específicos. Los datos se tomaron martes y jueves en una semana, y en la siguiente semana se tomó miércoles y viernes para variar los días.



Figura 13: Toma de datos, Región Interandina

En estos días, se tomó como horas estables entre las 10 am y 12 am para la toma de datos en la mañana y también se consideró las horas entre 2 pm y 4 pm para obtener los datos ya que en este periodo de tiempo la radiación solar se presenta más estable, sin muchas fluctuaciones.



Figura 14: Igualación de ambos multímetros, Región Littoral

Para una obtención de datos más segura se utilizó dos multímetros, uno para la toma de datos con la plancha de vidrio sin recubrimiento y el otro se utilizó para las planchas de vidrio con recubrimiento, con esto se consigue mayor precisión en la obtención de datos. Luego de haber igualado ambos multímetros se procedió a tomar las lecturas probando cada plancha con su respectivo recubrimiento sobre la célula fotovoltaica.



Figura 15: Toma de datos con el primer recubrimiento, Región Litoral

Para tener buena precisión en la obtención de datos se esperó una tiempo hasta tener una irradiación solar estable.



Figura 16: Igualación de ambos multímetros, Región Interandina



Mientras tanto se procedió anotando los datos de las otras variables que nos proporciona la estación meteorológica Puerto Ila en Santo Domingo.

En la región interandina se realizó el mismo procedimiento para la obtención de datos.

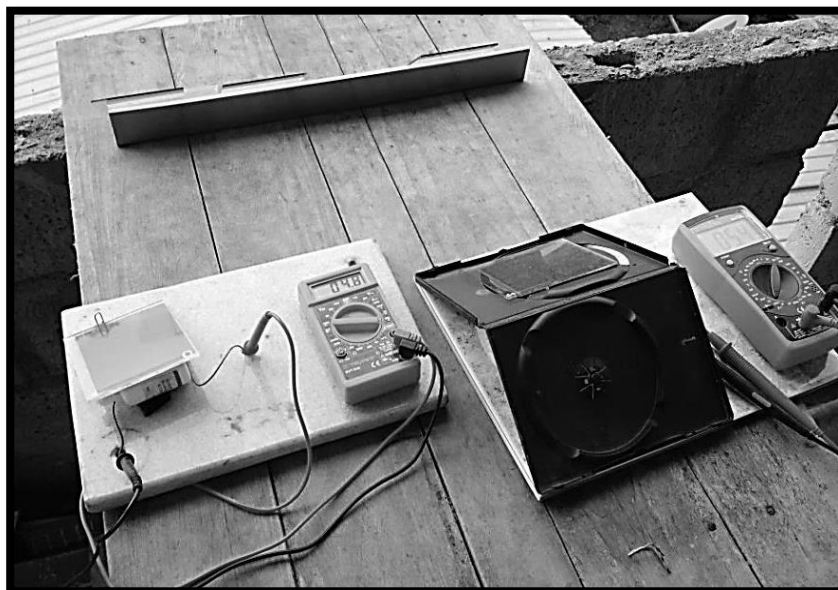


Figura 17: Toma de datos con el segundo recubrimiento, Región Interandina

También se tomó lecturas probando cada plancha con su respectivo recubrimiento sobre la célula solar.

#### **2.4. Análisis estadístico**

A continuación se mostrara los datos obtenidos de los recubrimientos en las regiones que se realizó el estudio, estos datos obtenidos están de acuerdo a las variables y su influencia sobre la potencia y rendimiento de las células, estos datos se mostrara mediante tablas a continuación:

## Calculo de potencia, rendimiento y energía obtenidos con los recubrimientos:

### Potencia

Ejemplo:

RECUBRIMIENTO UNYCOX

### Tiempo:

Fecha: 28/02/2016

Hora: 16:30 – 16:45

### Variables ambientales:

$T_A = \text{Temperatura ambiente}$

$T_A = 25,2 \text{ }^\circ\text{C}$

$G = \text{Irradiancia}(W/m^2)$

$T_A = 485 W/m^2$

Humedad = 79%

$NOCT = \text{Temperatura de operacion nominal de la celula}(^\circ\text{C})$

$NOCT = 46 \text{ }^\circ\text{C}$

$T^* = \text{Temperatura (CEM)}$

$T^* = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

### Datos de fábrica obtenidos de la célula:

$I_{SC}^* = \text{Corriente cortocircuito(CEM)}$

$I_{SC}^* = 0,179 \text{ A}$

$I_{pmp} = 0,170 \text{ A}$

$V_{oc}^* = \text{Voltaje circuito abierto(CEM)}$

$V_{oc}^* = 6,6 \text{ V}$

$V_{pmp} = 5,5 \text{ V}$

$G^* = \text{Irradiancia(CEM)}$

$G^* = 1000 W/m^2$

$P^* = \text{Potencia nominal(CEM)}$

$$P^* = 1 \text{ W}$$

$\gamma_c =$  Coeficiente de la célula fotovoltaica

$$\gamma_c = 0,24$$

### **Cálculos:**

**Temperatura de la célula:**

$T_c =$  Temperatura de la célula(°C)

$$T_c = T_A + Ct.G \quad (1)$$

$Ct =$  Coeficiente de temperatura – irradiancia

$$Ct = \frac{NOCT - 20^\circ\text{C}}{800 \text{ W/m}^2} \quad (2)$$

$$T_c = T_A + \frac{NOCT - 20^\circ\text{C}}{800 \text{ W/m}^2} * G$$

$$T_c = 25,2^\circ\text{C} + \frac{46^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{800 \text{ W/m}^2} * 485 \text{ W/m}^2$$

$$T_c = 40,96 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Intensidad de cortocircuito para una irradiancia G:**

$I_{SC(G)} =$  Corriente cortocircuito por una irradiancia G(A)

$$I_{SC(G)} = I_{SC} * \frac{G}{G^*} \quad (3)$$

$$I_{SC(G)} = 0,179\text{A} * \frac{485 \text{ W/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$I_{SC(G)} = 0,087\text{A}$$

**Voltaje de circuito abierto para una irradiancia G:**

$V_{OC(G)} =$  Voltaje circuito abierto por una irradiancia G(V)

$$V_{OC(G)} = V_{OC}^* \left[ 1 - \frac{\gamma}{100} (T_c - T^*) \right] \quad (4)$$

$$V_{OC(G)} = 6,6V \left[ 1 - \frac{0,24}{100} (40,96^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \right]$$

$$V_{OC(G)} = 6,35V$$

**Potencia calculada para una irradiación  $G$  ( $P_{(G,T_c)}$ ):**

$P_{(G,T_c)}$  = Potencia para una irradiancia  $G$  y una temperatura  $T_c$

$$P_{(G,T_c)} = P^* \frac{G}{G^*} \left[ 1 - \frac{\gamma_c}{100} (T_c - T^*) \right] \quad (5)$$

$$P_{(G,T_c)} = 1 W * \frac{485 W/m^2}{1000 W/m^2} \left[ 1 - \frac{0,24}{100} (40,96^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \right]$$

$$P_{(G,T_c)} = 0,466W$$

## **Rendimiento**

Ejemplo:

RECUBRIMIENTO UNYCOX

**Tiempo:**

Fecha: 28/02/2016

Hora: 16:30 - 16:45

**Variables ambientales:**

$$T_A = 25,2^\circ\text{C}$$

$$G = 485 W/m^2$$

$$\text{Humedad} = 79\%$$

$$NOCT = 46^\circ\text{C}$$

$$T^* = 25^\circ\text{C}$$

**Datos de fábrica obtenidos de la célula:**

$$I_{SC}^* = 0,179 \text{ A}$$

$$V_{OC}^* = 6,6 \text{ V}$$

$$G^* = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$P^* = 1 \text{ W}$$

$$\gamma_c = 0,24$$

$$Ac = 0,008 \text{ m}^2$$

**Datos medidos:**

$I_{SC}$  = Intensidad de cortocircuito

$$I_{SC} = 0,1261 \text{ A}$$

$$I_{pmp} = 0,1198 \text{ A}$$

$V_{OC}$  = Voltaje de circuito abierto

$$V_{OC} = 6,12 \text{ V}$$

$$V_{pmp} = 4,9 \text{ V}$$

Cálculos:

**Potencia máxima:**

$$P_{pmp} = I_{pmp} * V_{pmp} \quad (6)$$

$$P_{pmp} = 0,1198 \text{ A} * 4,9 \text{ V}$$

$$P_{pmp} = 0,587 \text{ W}$$

**Potencia incidente (Pi):**

$$Pi = G * Ac \quad (7)$$

$$Pi = \frac{485 \text{ W}}{\text{m}^2} * 0,008 \text{ m}^2$$

$$Pi = 3,88 \text{ W}$$

**Rendimiento ( $\eta$ ):**

$$\eta_{\%} = \frac{P_{MAX}}{P_i} \times 100\% \quad (8)$$

$$\eta_{\%} = \frac{0,587W}{3,88W} \times 100\%$$

$$\eta_{\%} = 15,13\%$$

**Factor de llenado (FF):**

$$FF_{\%} = \frac{P_{pmp}}{I_{SC} \times V_{OC}} \times 100\% \quad (9)$$

$$FF_{\%} = \frac{0,587W}{0,772W} \times 100\%$$

$$FF_{\%} = 0,76$$

**Energía producida ( $E_{pmp}$ ):**

**Ejemplo:**

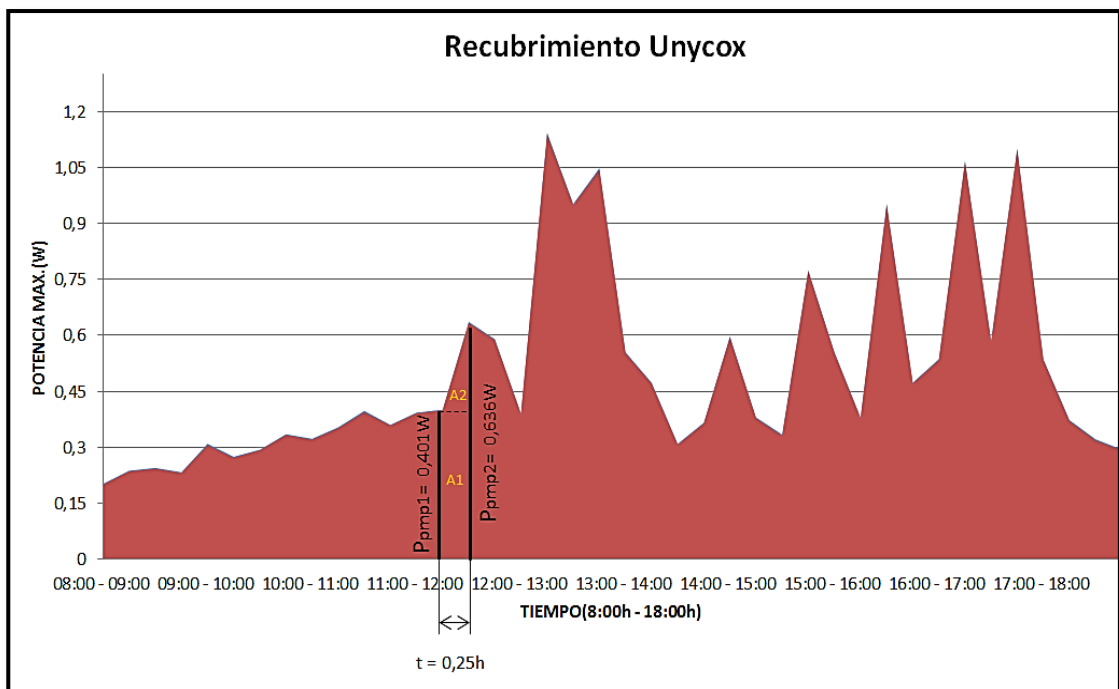


Figura 18: Obtención de la energía gráficamente

Para calcular la energía en todos los puntos de la gráfica se utilizó métodos geométricos, aplicando fórmulas para el cálculo de áreas en rectángulos y triángulos.

$$A_1 = b * h \quad (10)$$

$$A_1 = P_{pmp1} * t$$

$$A_1 = 0,401 W * 0,25 h$$

$$A_1 = 0,10 Wh$$

$$A_2 = \frac{b * h}{2} \quad (11)$$

$$A_2 = \frac{t * (P_{pmp2} - P_{pmp1})}{2}$$

$$A_2 = \frac{0,25 h * (0,636 W - 0,401 W)}{2}$$

$$A_2 = 0,0294 Wh$$

$$A_T = A_1 + A_2 \quad (12)$$

$$A_T = 0,10 Wh + 0,0294 Wh$$

$$A_T = 0,1294 Wh = 129,4 mWh$$

$$A_T = E_{pmp} = 129,4 mWh$$

### **Tabla de datos obtenidos y calculados de potencia, rendimiento y energía total**

#### **REGIÓN LITORAL**

Tablas obtenidas en el último día de estudio del mes.

#### **Periodo de toma de datos:**

Cada 15 minutos, mes de febrero

#### **Características de la región**

Temperatura promedio:

25 – 30 °C

Humedad promedio:

70 – 100 %

Presión atmosférica promedio:

985 – 988 HPa

## RECUBRIMIENTO UN Y COX

Tabla 4: Variables ambientales para el recubrimiento UN Y COX, Región Litoral

DATOS	VARIABLES AMBIENTALES				
	F. AMBIENTALES/PERIODO	TA(°C)	Tc(°C) con recub.	Tc(°C) sin recub.	G (W/m2)
(08:00 - 09:00 ) - 28/02/2016	23,8	29,85625	30,2125	190	96
	23,8	30,8125	31,225	220	96
	23,8	31,290625	31,73125	235	96
	23,8	30,49375	30,8875	210	96
(09:00 - 10:00 ) - 28/02/2016	23,5	32,425	32,95	280	93
	23,5	31,15	31,6	240	93
	23,5	31,628125	32,10625	255	93
	23,5	33,38125	33,9625	310	93
( 10:00 - 11:00 ) - 28/02/2016	24,7	34,103125	34,65625	295	97
	24,7	34,9	35,5	320	97
	24,7	35,85625	36,5125	350	97
	24,7	35,059375	35,66875	325	97
( 11:00 - 12:00 ) - 28/02/2016	26	37,15625	37,8125	350	85
	26	37,953125	38,65625	375	85
	26	43,53125	44,5625	550	85
	26	41,61875	42,5375	490	85
( 12:00 - 13:00 ) - 28/02/2016	25,7	36,85625	37,5125	350	81
	25,7	57,575	59,45	1000	81
	25,7	51,359375	52,86875	805	81
	25,7	53,590625	55,23125	875	81
( 13:00 - 14:00 ) - 28/02/2016	25	40,140625	41,03125	475	76
	25	37,75	38,5	400	76
	25	33,925	34,45	280	76
	25	35,678125	36,30625	335	76
( 14:00 - 15:00 ) - 28/02/2016	24,3	40,875	41,85	520	83
	24,3	34,81875	35,4375	330	83
	24,3	33,54375	34,0875	290	83
	24,3	45,65625	46,9125	670	83
( 15:00 - 16:00 ) - 28/02/2016	24,6	39,740625	40,63125	475	76
	24,6	35,11875	35,7375	330	76
	24,6	50,41875	51,9375	810	76
	24,6	37,35	38,1	400	76



( 16:00 - 17:00 ) - 28/02/2016	25,2	39,225	40,05	440	79
	25,2	53,728125	55,40625	895	79
	25,2	40,659375	41,56875	485	79
	25,2	54,20625	55,9125	910	79
( 17:00 - 18:00 ) - 28/02/2016	23,9	37,925	38,75	440	80
	23,9	34,7375	35,375	340	80
	23,9	32,825	33,35	280	80
	23,9	32,1875	32,675	260	80

Tabla 5: Datos y cálculos obtenidos del recubrimiento UN Y COX, Región Litoral

DATOS OBTENIDOS											
CÉLULA CON RECUBRIMIENTO						CÉLULA SIN RECUBRIMIENTO					
Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )	Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )
0,0436	0,04142	6,11	4,888	0,202461	13,32	0,0431	0,040945	6,11	4,888	0,200139	13,17
0,0512	0,04864	6,11	4,888	0,2377523	13,51	0,0508	0,04826	6,1	4,88	0,235509	13,38
0,0526	0,04997	6,13	4,904	0,2450529	13,03	0,0522	0,04959	6,12	4,896	0,242793	12,91
0,0502	0,04769	6,12	4,896	0,2334902	13,90	0,0497	0,047215	6,12	4,896	0,231165	13,76
0,0668	0,06346	6,1	4,88	0,3096848	13,83	0,066	0,0627	6,1	4,88	0,305976	13,66
0,0591	0,056145	6,12	4,896	0,2748859	14,32	0,0585	0,055575	6,12	4,896	0,272095	14,17
0,0632	0,06004	6,12	4,896	0,2939558	14,41	0,0627	0,059565	6,13	4,904	0,292107	14,32
0,0722	0,06859	6,11	4,888	0,3352679	13,52	0,0716	0,06802	6,12	4,896	0,333026	13,43
0,0688	0,06536	6,18	4,944	0,3231398	13,69	0,0683	0,064885	6,18	4,944	0,320791	13,59
0,0756	0,07182	6,16	4,928	0,353929	13,83	0,075	0,07125	6,16	4,928	0,35112	13,72
0,0847	0,080465	6,18	4,944	0,397819	14,21	0,0843	0,080085	6,15	4,92	0,394018	14,07
0,0765	0,072675	6,2	4,96	0,360468	13,86	0,0761	0,072295	6,2	4,96	0,358583	13,79
0,0844	0,08018	6,13	4,904	0,3932027	14,04	0,084	0,0798	6,13	4,904	0,391339	13,98
0,0856	0,08132	6,17	4,936	0,4013955	13,38	0,0854	0,08113	6,15	4,92	0,39916	13,31
0,1375	0,130625	6,09	4,872	0,636405	14,46	0,137	0,13015	6,08	4,864	0,63305	14,39
0,1269	0,120555	6,12	4,896	0,5902373	15,06	0,1265	0,120175	6,11	4,888	0,587415	14,99
0,084	0,0798	6,13	4,904	0,3913392	13,98	0,0836	0,07942	6,13	4,904	0,389476	13,91
0,2507	0,238165	6	4,8	1,143192	14,29	0,2503	0,237785	5,98	4,784	1,137563	14,22
0,2065	0,196175	6,07	4,856	0,9526258	14,79	0,2055	0,195225	6,08	4,864	0,949574	14,74
0,228	0,2166	6,05	4,84	1,048344	14,98	0,2276	0,21622	6,03	4,824	1,043045	14,90
0,1194	0,11343	6,12	4,896	0,5553533	14,61	0,119	0,11305	6,11	4,888	0,552588	14,54
0,101	0,09595	6,17	4,936	0,4736092	14,80	0,1004	0,09538	6,17	4,936	0,470796	14,71

0,0669	0,063555	6,09	4,872	0,30964	13,82	0,0666	0,06327	6,07	4,856	0,307239	13,72		
0,0794	0,07543	6,07	4,856	0,3662881	13,67	0,079	0,07505	6,06	4,848	0,363842	13,58		
0,1289	0,122455	6,10	4,88	0,5975804	14,36	0,1285	0,122075	6,08	4,864	0,593773	14,27		
0,0822	0,07809	6,09	4,872	0,3804545	14,41	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	14,32		
0,0721	0,068495	6,11	4,888	0,3348036	14,43	0,0718	0,06821	6,07	4,856	0,331228	14,28		
0,1669	0,158555	6,11	4,888	0,7750168	14,46	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,38		
0,1194	0,11343	6,12	4,896	0,5553533	14,61	0,119	0,11305	6,11	4,888	0,552588	14,54		
0,0822	0,07809	6,09	4,872	0,3804545	14,41	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	14,32		
0,2062	0,19589	6,08	4,864	0,952809	14,70	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,63		
0,101	0,09595	6,17	4,936	0,4736092	14,80	0,1004	0,09538	6,17	4,936	0,470796	14,71		
0,1143	0,108585	6,18	4,944	0,5368442	15,25	0,1139	0,108205	6,17	4,936	0,5341	15,17		
0,2319	0,220305	6,06	4,848	1,0680386	14,92	0,2315	0,219925	6,04	4,832	1,062678	14,84		
0,1261	0,119795	6,12	4,896	0,5865163	15,12	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,02		
0,2406	0,22857	6,02	4,816	1,1007931	15,12	0,2402	0,22819	6,01	4,808	1,097138	15,07		
0,1143	0,108585	6,18	4,944	0,5368442	15,25	0,1139	0,108205	6,17	4,936	0,5341	15,17		
0,0808	0,07676	6,08	4,864	0,3733606	13,73	0,0803	0,076285	6,07	4,856	0,37044	13,62		
0,0692	0,06574	6,12	4,896	0,321863	14,37	0,0686	0,06517	6,11	4,888	0,318551	14,22		
0,0633	0,060135	6,12	4,896	0,294421	14,15	0,0627	0,059565	6,13	4,904	0,292107	14,04		
<b>ENERGÍA TOTAL CON RECUB.(mWh)</b>				<b>4962</b>	<b>ENERGÍA TOTAL SIN RECUB.(mWh)</b>				<b>4933</b>				

La siguiente tabla muestra el promedio de diferencias positivas que se produjeron en un mes con el uso de este recubrimiento:

Tabla 6: Resultados del recubrimiento UN Y COX, Región Litoral

DIFERENCIA DE POTENCIA Y RENDIMIENTO PROMEDIO	
$\Delta P_{pmp}(\text{mW})$	$\Delta \eta(\%)$
3,0177	0,0961

## RECUBRIMIENTO NANOFLEX VP12

Tabla 7: Variables ambientales para el recubrimiento NANOFLEX VP12, Región Litoral

DATOS		VARIABLES AMBIENTALES			
F. AMBIENTALES/PERIODO	TA(°C)	Tc(°C) con recub.	Tc(°C) sin recub.	G (W/m2)	HR(%)
(08:00 - 09:00 ) - 28/02/2016	23,8	29,5	30,2125	190	96
	23,8	30,4	31,225	220	96
	23,8	30,85	31,73125	235	96
	23,8	30,1	30,8875	210	96
(09:00 - 10:00 ) - 28/02/2016	23,5	31,9	32,95	280	93
	23,5	30,7	31,6	240	93
	23,5	31,15	32,10625	255	93
	23,5	32,8	33,9625	310	93
( 10:00 - 11:00 ) - 28/02/2016	24,7	33,55	34,65625	295	97
	24,7	34,3	35,5	320	97
	24,7	35,2	36,5125	350	97
	24,7	34,45	35,66875	325	97
( 11:00 - 12:00 ) - 28/02/2016	26	36,5	37,8125	350	85
	26	37,25	38,65625	375	85
	26	42,5	44,5625	550	85
	26	40,7	42,5375	490	85
( 12:00 - 13:00 ) - 28/02/2016	25,7	36,2	37,5125	350	81
	25,7	55,7	59,45	1000	81
	25,7	49,85	52,86875	805	81
	25,7	51,95	55,23125	875	81
( 13:00 - 14:00 ) - 28/02/2016	25	39,25	41,03125	475	76
	25	37	38,5	400	76
	25	33,4	34,45	280	76
	25	35,05	36,30625	335	76
( 14:00 - 15:00 ) - 28/02/2016	24,3	39,9	41,85	520	83
	24,3	34,2	35,4375	330	83
	24,3	33	34,0875	290	83
	24,3	44,4	46,9125	670	83
( 15:00 - 16:00 ) - 28/02/2016	24,6	38,85	40,63125	475	76
	24,6	34,5	35,7375	330	76
	24,6	48,9	51,9375	810	76
	24,6	36,6	38,1	400	76

( 16:00 - 17:00 ) - 28/02/2016	25,2	38,4	40,05	440	79
	25,2	52,05	55,40625	895	79
	25,2	39,75	41,56875	485	79
	25,2	52,5	55,9125	910	79
( 17:00 - 18:00 ) - 28/02/2016	23,9	37,1	38,75	440	80
	23,9	34,1	35,375	340	80
	23,9	32,3	33,35	280	80
	23,9	31,7	32,675	260	80

Tabla 8: Datos y cálculos obtenidos del recubrimiento NANOFLEX VP12, Región Litoral

DATOS OBTENIDOS											
CÉLULA CON RECUBRIMIENTO						CÉLULA SIN RECUBRIMIENTO					
Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )	Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )
0,0435	0,041325	6,12	4,896	0,202327	13,31	0,0431	0,040945	6,11	4,888	0,200139	13,17
0,0513	0,048735	6,11	4,888	0,238217	13,54	0,0508	0,04826	6,1	4,88	0,235509	13,38
0,0528	0,05016	6,13	4,904	0,245985	13,08	0,0522	0,04959	6,12	4,896	0,242793	12,91
0,0502	0,04769	6,13	4,904	0,233872	13,92	0,0497	0,047215	6,12	4,896	0,231165	13,76
0,0667	0,063365	6,1	4,88	0,309221	13,80	0,066	0,0627	6,1	4,88	0,305976	13,66
0,0591	0,056145	6,12	4,896	0,274886	14,32	0,0585	0,055575	6,12	4,896	0,272095	14,17
0,0632	0,06004	6,13	4,904	0,294436	14,43	0,0627	0,059565	6,13	4,904	0,292107	14,32
0,0722	0,06859	6,13	4,904	0,336365	13,56	0,0716	0,06802	6,12	4,896	0,333026	13,43
0,0688	0,06536	6,19	4,952	0,323663	13,71	0,0683	0,064885	6,18	4,944	0,320791	13,59
0,0758	0,07201	6,16	4,928	0,354865	13,86	0,075	0,07125	6,16	4,928	0,35112	13,72
0,085	0,08075	6,16	4,928	0,397936	14,21	0,0843	0,080085	6,15	4,92	0,394018	14,07
0,0768	0,07296	6,2	4,96	0,361882	13,92	0,0761	0,072295	6,2	4,96	0,358583	13,79
0,0848	0,08056	6,13	4,904	0,395066	14,11	0,084	0,0798	6,13	4,904	0,391339	13,98
0,0859	0,081605	6,16	4,928	0,402149	13,40	0,0854	0,08113	6,15	4,92	0,39916	13,31
0,1378	0,13091	6,09	4,872	0,637794	14,50	0,137	0,13015	6,08	4,864	0,63305	14,39
0,1273	0,120935	6,11	4,888	0,59113	15,08	0,1265	0,120175	6,11	4,888	0,587415	14,99
0,0843	0,080085	6,14	4,912	0,393378	14,05	0,0836	0,07942	6,13	4,904	0,389476	13,91
0,251	0,23845	6	4,8	1,14456	14,31	0,2503	0,237785	5,98	4,784	1,137563	14,22
0,2064	0,19608	6,07	4,856	0,952164	14,79	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,72
0,2283	0,216885	6,04	4,832	1,047988	14,97	0,2276	0,21622	6,03	4,824	1,043045	14,90
0,1197	0,113715	6,12	4,896	0,556749	14,65	0,119	0,11305	6,11	4,888	0,552588	14,54

0,1011	0,096045	6,18	4,944	0,474846	14,84	0,1004	0,09538	6,17	4,936	0,470796	14,71		
0,0671	0,063745	6,07	4,856	0,309546	13,82	0,0666	0,06327	6,07	4,856	0,307239	13,72		
0,0797	0,075715	6,06	4,848	0,367066	13,70	0,079	0,07505	6,06	4,848	0,363842	13,58		
0,1293	0,122835	6,10	4,88	0,599435	14,41	0,1285	0,122075	6,08	4,864	0,593773	14,27		
0,0825	0,078375	6,09	4,872	0,381843	14,46	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	14,32		
0,0724	0,06878	6,08	4,864	0,334546	14,42	0,0718	0,06821	6,07	4,856	0,331228	14,28		
0,167	0,15865	6,11	4,888	0,775481	14,47	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,38		
0,1196	0,11362	6,13	4,904	0,557192	14,66	0,119	0,11305	6,11	4,888	0,552588	14,54		
0,0825	0,078375	6,09	4,872	0,381843	14,46	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	14,32		
0,2063	0,195985	6,08	4,864	0,953271	14,71	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,63		
0,101	0,09595	6,17	4,936	0,473609	14,80	0,1004	0,09538	6,17	4,936	0,470796	14,71		
0,1146	0,10887	6,18	4,944	0,538253	15,29	0,1139	0,108205	6,17	4,936	0,5341	15,17		
0,2322	0,22059	6,05	4,84	1,067656	14,91	0,2315	0,219925	6,04	4,832	1,062678	14,84		
0,1263	0,119985	6,12	4,896	0,587447	15,14	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,02		
0,241	0,22895	6,02	4,816	1,102623	15,15	0,2402	0,22819	6,01	4,808	1,097138	15,07		
0,1145	0,108775	6,18	4,944	0,537784	15,28	0,1139	0,108205	6,17	4,936	0,5341	15,17		
0,0809	0,076855	6,08	4,864	0,373823	13,74	0,0803	0,076285	6,07	4,856	0,37044	13,62		
0,0691	0,065645	6,12	4,896	0,321398	14,35	0,0686	0,06517	6,11	4,888	0,318551	14,22		
0,0634	0,06023	6,12	4,896	0,294886	14,18	0,0627	0,059565	6,13	4,904	0,292107	14,04		
<b>ENERGÍA TOTAL CON RECUB.(mWh)</b>				<b>4970</b>	<b>ENERGÍA TOTAL SIN RECUB.(mWh)</b>				<b>4932</b>				

La siguiente tabla muestra el promedio de diferencias positivas que se produjeron en un mes con el uso de este recubrimiento:

Tabla 9: Diferencias de potencia y rendimiento del recubrimiento NANOFLEX VP12

DIFERENCIA DE POTENCIA Y RENDIMIENTO PROMEDIO	
$\Delta P_{pmp}.$ (mW)	$\Delta \eta.$ (%)
3,789	0,157

## RECUBRIMIENTO EXPERIMENTAL

Tabla 10: Variables ambientales para el recubrimiento Experimental, Región Litoral

F. AMBIENTALES/PERIODO	VARIABLES AMBIENTALES				
	TA(°C)	Tc(°C) con recub.	Tc(°C) sin recub.	G (W/m <sup>2</sup> )	HR(%)
(08:00 - 09:00 ) - 28/02/2016	23,8	29,975	30,2125	190	96
	23,8	30,95	31,225	220	96
	23,8	31,4375	31,73125	235	96
	23,8	30,625	30,8875	210	96
(09:00 - 10:00 ) - 28/02/2016	23,5	32,6	32,95	280	93
	23,5	31,3	31,6	240	93
	23,5	31,7875	32,10625	255	93
	23,5	33,575	33,9625	310	93
( 10:00 - 11:00 ) - 28/02/2016	24,7	34,2875	34,65625	295	97
	24,7	35,1	35,5	320	97
	24,7	36,075	36,5125	350	97
	24,7	35,2625	35,66875	325	97
( 11:00 - 12:00 ) - 28/02/2016	26	37,375	37,8125	350	85
	26	38,1875	38,65625	375	85
	26	43,875	44,5625	550	85
	26	41,925	42,5375	490	85
( 12:00 - 13:00 ) - 28/02/2016	25,7	37,075	37,5125	350	81
	25,7	58,2	59,45	1000	81
	25,7	51,8625	52,86875	805	81
	25,7	54,1375	55,23125	875	81
( 13:00 - 14:00 ) - 28/02/2016	25	40,4375	41,03125	475	76
	25	38	38,5	400	76
	25	34,1	34,45	280	76
	25	35,8875	36,30625	335	76
( 14:00 - 15:00 ) - 28/02/2016	24,3	41,2	41,85	520	83
	24,3	35,025	35,4375	330	83
	24,3	33,725	34,0875	290	83
	24,3	46,075	46,9125	670	83
( 15:00 - 16:00 ) - 28/02/2016	24,6	40,0375	40,63125	475	76
	24,6	35,325	35,7375	330	76
	24,6	50,925	51,9375	810	76
	24,6	37,6	38,1	400	76
( 16:00 - 17:00 ) - 28/02/2016	25,2	39,5	40,05	440	79
	25,2	54,2875	55,40625	895	79

	25,2	40,9625	41,56875	485	79
	25,2	54,775	55,9125	910	79
( 17:00 - 18:00 ) - 28/02/2016	23,9	38,2	38,75	440	80
	23,9	34,95	35,375	340	80
	23,9	33	33,35	280	80
	23,9	32,35	32,675	260	80

Tabla 11: Datos y cálculos obtenidos del recubrimiento Experimental, Región Litoral

DATOS OBTENIDOS											
CÉLULA CON RECUBRIMIENTO						CÉLULA SIN RECUBRIMIENTO					
Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )	Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )
0,0434	0,04123	6,12	4,896	0,201862	13,28	0,0431	0,040945	6,11	4,888	0,200139	13,17
0,0512	0,04864	6,09	4,872	0,236974	13,46	0,0508	0,04826	6,1	4,88	0,235509	13,38
0,0526	0,04997	6,12	4,896	0,244653	13,01	0,0522	0,04959	6,12	4,896	0,242793	12,91
0,0501	0,047595	6,12	4,896	0,233025	13,87	0,0497	0,047215	6,12	4,896	0,231165	13,76
0,0663	0,062985	6,11	4,888	0,307871	13,74	0,066	0,0627	6,1	4,88	0,305976	13,66
0,0588	0,05586	6,13	4,904	0,273937	14,27	0,0585	0,055575	6,12	4,896	0,272095	14,17
0,0632	0,06004	6,13	4,904	0,294436	14,43	0,0627	0,059565	6,13	4,904	0,292107	14,32
0,072	0,0684	6,13	4,904	0,335434	13,53	0,0716	0,06802	6,12	4,896	0,333026	13,43
0,0687	0,065265	6,18	4,944	0,32267	13,67	0,0683	0,064885	6,18	4,944	0,320791	13,59
0,0755	0,071725	6,16	4,928	0,353461	13,81	0,075	0,07125	6,16	4,928	0,35112	13,72
0,0846	0,08037	6,17	4,936	0,396706	14,17	0,0843	0,080085	6,15	4,92	0,394018	14,07
0,0767	0,072865	6,2	4,96	0,36141	13,90	0,0761	0,072295	6,2	4,96	0,358583	13,79
0,0844	0,08018	6,14	4,912	0,393844	14,07	0,084	0,0798	6,13	4,904	0,391339	13,98
0,0857	0,081415	6,17	4,936	0,401864	13,40	0,0854	0,08113	6,15	4,92	0,39916	13,31
0,1376	0,13072	6,09	4,872	0,636868	14,47	0,137	0,13015	6,08	4,864	0,63305	14,39
0,127	0,12065	6,12	4,896	0,590702	15,07	0,1265	0,120175	6,11	4,888	0,587415	14,99
0,0839	0,079705	6,15	4,92	0,392149	14,01	0,0836	0,07942	6,13	4,904	0,389476	13,91
0,2506	0,23807	5,99	4,792	1,140831	14,26	0,2503	0,237785	5,98	4,784	1,137563	14,22
0,2059	0,195605	6,08	4,864	0,951423	14,77	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,72
0,2282	0,21679	6,04	4,832	1,047529	14,96	0,2276	0,21622	6,03	4,824	1,043045	14,90
0,1193	0,113335	6,12	4,896	0,554888	14,60	0,119	0,11305	6,11	4,888	0,552588	14,54
0,1009	0,095855	6,17	4,936	0,47314	14,79	0,1004	0,09538	6,17	4,936	0,470796	14,71
0,0669	0,063555	6,08	4,864	0,309132	13,80	0,0666	0,06327	6,07	4,856	0,307239	13,72
0,0794	0,07543	6,07	4,856	0,366288	13,67	0,079	0,07505	6,06	4,848	0,363842	13,58

0,1288	0,12236	6,10	4,88	0,597117	14,35	0,1285	0,122075	6,08	4,864	0,593773	14,27		
0,0822	0,07809	6,09	4,872	0,380454	14,41	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	14,32		
0,0721	0,068495	6,08	4,864	0,33316	14,36	0,0718	0,06821	6,07	4,856	0,331228	14,28		
0,1666	0,15827	6,11	4,888	0,773624	14,43	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,38		
0,1193	0,113335	6,12	4,896	0,554888	14,60	0,119	0,11305	6,11	4,888	0,552588	14,54		
0,0822	0,07809	6,09	4,872	0,380454	14,41	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	14,32		
0,2062	0,19589	6,07	4,856	0,951242	14,68	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,63		
0,101	0,09595	6,17	4,936	0,473609	14,80	0,1004	0,09538	6,17	4,936	0,470796	14,71		
0,1143	0,108585	6,18	4,944	0,536844	15,25	0,1139	0,108205	6,17	4,936	0,5341	15,17		
0,2316	0,22002	6,05	4,84	1,064897	14,87	0,2315	0,219925	6,04	4,832	1,062678	14,84		
0,1257	0,119415	6,12	4,896	0,584656	15,07	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,02		
0,2407	0,228665	6,02	4,816	1,101251	15,13	0,2402	0,22819	6,01	4,808	1,097138	15,07		
0,1143	0,108585	6,18	4,944	0,536844	15,25	0,1139	0,108205	6,17	4,936	0,5341	15,17		
0,0808	0,07676	6,08	4,864	0,373361	13,73	0,0803	0,076285	6,07	4,856	0,37044	13,62		
0,0692	0,06574	6,12	4,896	0,321863	14,37	0,0686	0,06517	6,11	4,888	0,318551	14,22		
0,0633	0,060135	6,12	4,896	0,294421	14,15	0,0627	0,059565	6,13	4,904	0,292107	14,04		
<b>ENERGÍA TOTAL CON RECUB.(mWh)</b>				<b>4958</b>	<b>ENERGÍA TOTAL SIN RECUB.(mWh)</b>				<b>4932</b>				

La siguiente tabla muestra el promedio de diferencias positivas que se produjeron en un mes con el uso de este recubrimiento:

Tabla 12: Diferencias de potencia y rendimiento del recubrimiento Experimental

<b>DIFERENCIA DE POTENCIA Y RENDIMIENTO PROMEDIO</b>	
$\Delta P_{pmp}(W)$	$\Delta \eta(\%)$
3,4128	0,1100



## RECUBRIMIENTO DE MICA DE VIDRIO

Tabla 13: Variables ambientales para el recubrimiento Mica de vidrio, Región Litoral

DATOS	VARIABLES AMBIENTALES				
	F. AMBIENTALES/PERIODO	TA(°C)	Tc(°C) con recub.	Tc(°C) sin recub.	G (W/m <sup>2</sup> )
(08:00 - 09:00 ) - 28/02/2016	23,8	30,2125	30,2125	190	96
	23,8	31,225	31,225	220	96
	23,8	31,73125	31,73125	235	96
	23,8	30,8875	30,8875	210	96
(09:00 - 10:00 ) - 28/02/2016	23,5	32,95	32,95	280	93
	23,5	31,6	31,6	240	93
	23,5	32,10625	32,10625	255	93
	23,5	33,9625	33,9625	310	93
( 10:00 - 11:00 ) - 28/02/2016	24,7	34,65625	34,65625	295	97
	24,7	35,5	35,5	320	97
	24,7	36,5125	36,5125	350	97
	24,7	35,66875	35,66875	325	97
( 11:00 - 12:00 ) - 28/02/2016	26	37,8125	37,8125	350	85
	26	38,65625	38,65625	375	85
	26	44,5625	44,5625	550	85
	26	42,5375	42,5375	490	85
( 12:00 - 13:00 ) - 28/02/2016	25,7	37,5125	37,5125	350	81
	25,7	59,45	59,45	1000	81
	25,7	52,86875	52,86875	805	81
	25,7	55,23125	55,23125	875	81
( 13:00 - 14:00 ) - 28/02/2016	25	41,03125	41,03125	475	76
	25	38,5	38,5	400	76
	25	34,45	34,45	280	76
	25	36,30625	36,30625	335	76
( 14:00 - 15:00 ) - 28/02/2016	24,3	41,85	41,85	520	83
	24,3	35,4375	35,4375	330	83
	24,3	34,0875	34,0875	290	83
	24,3	46,9125	46,9125	670	83
( 15:00 - 16:00 ) - 28/02/2016	24,6	40,63125	40,63125	475	76
	24,6	35,7375	35,7375	330	76
	24,6	51,9375	51,9375	810	76
	24,6	38,1	38,1	400	76
( 16:00 - 17:00 ) - 28/02/2016	25,2	40,05	40,05	440	79
	25,2	55,40625	55,40625	895	79

	25,2	41,56875	41,56875	485	79
	25,2	55,9125	55,9125	910	79
( 17:00 - 18:00 ) - 28/02/2016	23,9	38,75	38,75	440	80
	23,9	35,375	35,375	340	80
	23,9	33,35	33,35	280	80
	23,9	32,675	32,675	260	80

Tabla 14: Datos y cálculos obtenidos del recubrimiento Mica de vidrio, Región Litoral

DATOS OBTENIDOS											
CÉLULA CON RECUBRIMIENTO						CÉLULA SIN RECUBRIMIENTO					
Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )	Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )
0,0424	0,04028	6,11	4,888	0,196889	12,95	0,0431	0,040945	6,11	4,888	0,200139	13,17
0,0502	0,04769	6,09	4,872	0,232346	13,20	0,0508	0,04826	6,1	4,88	0,235509	13,38
0,0516	0,04902	6,11	4,888	0,23961	12,75	0,0522	0,04959	6,12	4,896	0,242793	12,91
0,0492	0,04674	6,11	4,888	0,228465	13,60	0,0497	0,047215	6,12	4,896	0,231165	13,76
0,0654	0,06213	6,1	4,88	0,303194	13,54	0,066	0,0627	6,1	4,88	0,305976	13,66
0,0579	0,055005	6,12	4,896	0,269304	14,03	0,0585	0,055575	6,12	4,896	0,272095	14,17
0,062	0,0589	6,13	4,904	0,288846	14,16	0,0627	0,059565	6,13	4,904	0,292107	14,32
0,0709	0,067355	6,12	4,896	0,32977	13,30	0,0716	0,06802	6,12	4,896	0,333026	13,43
0,0675	0,064125	6,18	4,944	0,317034	13,43	0,0683	0,064885	6,18	4,944	0,320791	13,59
0,0744	0,07068	6,16	4,928	0,348311	13,61	0,075	0,07125	6,16	4,928	0,35112	13,72
0,0834	0,07923	6,17	4,936	0,391079	13,97	0,0843	0,080085	6,15	4,92	0,394018	14,07
0,0756	0,07182	6,19	4,952	0,355653	13,68	0,0761	0,072295	6,2	4,96	0,358583	13,79
0,0835	0,079325	6,12	4,896	0,388375	13,87	0,084	0,0798	6,13	4,904	0,391339	13,98
0,0847	0,080465	6,15	4,92	0,395888	13,20	0,0854	0,08113	6,15	4,92	0,39916	13,31
0,1366	0,12977	6,08	4,864	0,631201	14,35	0,137	0,13015	6,08	4,864	0,63305	14,39
0,1257	0,119415	6,12	4,896	0,584656	14,91	0,1265	0,120175	6,11	4,888	0,587415	14,99
0,0829	0,078755	6,13	4,904	0,386215	13,79	0,0836	0,07942	6,13	4,904	0,389476	13,91
0,2496	0,23712	5,94	4,752	1,126794	14,08	0,2503	0,237785	5,98	4,784	1,137563	14,22
0,2048	0,19456	6,08	4,864	0,94634	14,69	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,72
0,2271	0,215745	6,03	4,824	1,040754	14,87	0,2276	0,21622	6,03	4,824	1,043045	14,90
0,1181	0,112195	6,12	4,896	0,549307	14,46	0,119	0,11305	6,11	4,888	0,552588	14,54
0,0997	0,094715	6,17	4,936	0,467513	14,61	0,1004	0,09538	6,17	4,936	0,470796	14,71
0,0655	0,062225	6,1	4,88	0,303658	13,56	0,0666	0,06327	6,07	4,856	0,307239	13,72

0,0784	0,07448	6,06	4,848	0,361079	13,47	0,079	0,07505	6,06	4,848	0,363842	13,58				
0,1279	0,121505	6,09	4,872	0,591972	14,23	0,1285	0,122075	6,08	4,864	0,593773	14,27				
0,0809	0,076855	6,09	4,872	0,374438	14,18	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	14,32				
0,071	0,06745	6,07	4,856	0,327537	14,12	0,0718	0,06821	6,07	4,856	0,331228	14,28				
0,1657	0,157415	6,10	4,88	0,768185	14,33	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,38				
0,1186	0,11267	6,11	4,888	0,550731	14,49	0,119	0,11305	6,11	4,888	0,552588	14,54				
0,0813	0,077235	6,08	4,864	0,375671	14,23	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	14,32				
0,2051	0,194845	6,07	4,856	0,946167	14,60	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,63				
0,1	0,095	6,16	4,928	0,46816	14,63	0,1004	0,09538	6,17	4,936	0,470796	14,71				
0,1131	0,107445	6,18	4,944	0,531208	15,09	0,1139	0,108205	6,17	4,936	0,5341	15,17				
0,2306	0,21907	6,03	4,824	1,056794	14,76	0,2315	0,219925	6,04	4,832	1,062678	14,84				
0,1245	0,118275	6,09	4,872	0,576236	14,85	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,02				
0,2388	0,22686	5,99	4,792	1,087113	14,93	0,2402	0,22819	6,01	4,808	1,097138	15,07				
0,1133	0,107635	6,17	4,936	0,531286	15,09	0,1139	0,108205	6,17	4,936	0,5341	15,17				
0,0799	0,075905	6,06	4,848	0,367987	13,53	0,0803	0,076285	6,07	4,856	0,37044	13,62				
0,0682	0,06479	6,10	4,88	0,316175	14,11	0,0686	0,06517	6,11	4,888	0,318551	14,22				
0,0621	0,058995	6,12	4,896	0,28884	13,89	0,0627	0,059565	6,13	4,904	0,292107	14,04				
<b>ENERGÍA TOTAL CON RECUB.(mWh)</b>				4901				<b>ENERGÍA TOTAL SIN RECUB.(mWh)</b>				4932			

La siguiente tabla muestra el promedio de pérdidas que se produjeron en un mes con el uso de este recubrimiento solido:

Tabla 15: Diferencias de potencia y rendimiento del recubrimiento Mica de vidrio

<b>DIFERENCIA DE POTENCIA Y RENDIMIENTO PROMEDIO</b>	
$\Delta P_{pmp}.$ (mW)	$\Delta \eta$ (%)
-3,3813	-0,1100

## **REGIÓN INTERANDINA**

Tablas obtenidas en el último día de estudio del mes.

### **Periodo de toma de datos:**

Cada 15 minutos, mes de marzo.

### **Características de la región**

Temperatura promedio:

12,5 – 17,5°C

Humedad promedio:

60 – 85 %

Presión atmosférica promedio:

706 – 709 HPa

## RECUBRIMIENTO UN Y COX

Tabla 16: Variables ambientales para el recubrimiento UN Y COX, Región Interandina

F. AMBIENTALES/PERIODO	VARIABLES AMBIENTALES				
	TA(°C)	Tc(°C) con recub.	Tc(°C) sin recub.	G (W/m2)	HR(%)
(08:00 - 09:00 ) - 31/03/2016	9,5	16,65	16,925	220	81
	9,5	15,675	15,9125	190	81
	9,5	19,575	19,9625	310	81
	9,5	18,6	18,95	280	81
(09:00 - 10:00 ) - 31/03/2016	10,1	20,0125	20,39375	305	77
	10,1	18,7125	19,04375	265	77
	10,1	19,525	19,8875	290	77
	10,1	23,425	23,9375	410	77
( 10:00 - 11:00 ) - 31/03/2016	12,4	23,775	24,2125	350	71
	12,4	43,925	45,1375	970	71
	12,4	24,5875	25,05625	375	71
	12,4	29,3	29,95	520	71
( 11:00 - 12:00 ) - 31/03/2016	10,5	21,55	21,975	340	64
	10,5	36,6625	37,66875	805	64
	10,5	21,3875	21,80625	335	64
	10,5	19,6	19,95	280	64
( 12:00 - 13:00 ) - 31/03/2016	10,8	20,3875	20,75625	295	58
	10,8	39,075	40,1625	870	58
	10,8	39,8875	41,00625	895	58
	10,8	25,1	25,65	440	58
( 13:00 - 14:00 ) - 31/03/2016	11,3	29,175	29,8625	550	66
	11,3	27,3875	28,00625	495	66
	11,3	26,9	27,5	480	66
	11,3	21,8625	22,26875	325	66
( 14:00 - 15:00 ) - 31/03/2016	13,7	25,2375	25,68125	355	70
	13,7	43,1125	44,24375	905	70
	13,7	29,1375	29,73125	475	70
	13,7	26,8625	27,36875	405	70
( 15:00 - 16:00 ) - 31/03/2016	12,8	23,3625	23,76875	325	65
	12,8	34,7375	35,58125	675	65
	12,8	30,675	31,3625	550	65
	12,8	28,4	29	480	65

( 16:00 - 17:00 ) - 31/03/2016	13,4	22,825	23,1875	290	59
	13,4	23,8	24,2	320	59
	13,4	24,775	25,2125	350	59
	13,4	35,3375	36,18125	675	59
( 17:00 - 18:00 ) - 31/03/2016	12,5	26,8	27,35	440	72
	12,5	28,1	28,7	480	72
	12,5	21,6	21,95	280	72
	12,5	23,225	23,6375	330	72

Tabla 17: Datos y cálculos obtenidos del recubrimiento UN Y COX, Región Interandina

DATOS OBTENIDOS											
CÉLULA CON RECUBRIMIENTO						CÉLULA SIN RECUBRIMIENTO					
Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )	Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )
0,0505	0,047975	6,13	4,904	0,235269	13,37	0,0499	0,047405	6,12	4,896	0,232095	13,19
0,0443	0,042085	6,11	4,888	0,205711	13,53	0,0436	0,04142	6,12	4,896	0,202792	13,34
0,0722	0,06859	6,14	4,912	0,336914	13,59	0,0715	0,067925	6,12	4,896	0,332561	13,41
0,0682	0,06479	6,13	4,904	0,31773	14,18	0,0676	0,06422	6,11	4,888	0,313907	14,01
0,072	0,0684	6,12	4,896	0,334886	13,72	0,0714	0,06783	6,1	4,88	0,33101	13,57
0,0633	0,060135	6,12	4,896	0,294421	13,89	0,0626	0,05947	6,13	4,904	0,291641	13,76
0,0648	0,06156	6,14	4,912	0,302383	13,03	0,0641	0,060895	6,14	4,912	0,299116	12,89
0,0987	0,093765	6,16	4,928	0,462074	14,09	0,098	0,0931	6,15	4,92	0,458052	13,97
0,0845	0,080275	6,12	4,896	0,393026	14,04	0,084	0,0798	6,12	4,896	0,390701	13,95
0,2511	0,238545	6,06	4,848	1,156466	14,90	0,2503	0,237785	6,06	4,848	1,152782	14,86
0,0857	0,081415	6,17	4,936	0,401864	13,40	0,0854	0,08113	6,16	4,928	0,399809	13,33
0,129	0,12255	6,10	4,88	0,598044	14,38	0,1285	0,122075	6,08	4,864	0,593773	14,27
0,0823	0,078185	6,09	4,872	0,380917	14,00	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	13,90
0,2061	0,195795	6,07	4,856	0,950781	14,76	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,72
0,0795	0,075525	6,09	4,872	0,367958	13,73	0,079	0,07505	6,06	4,848	0,363842	13,58
0,067	0,06365	6,12	4,896	0,31163	13,91	0,0666	0,06327	6,09	4,872	0,308251	13,76
0,0687	0,065265	6,18	4,944	0,32267	13,67	0,0683	0,064885	6,19	4,952	0,321311	13,61
0,2281	0,216695	6,05	4,84	1,048804	15,07	0,2276	0,21622	6,04	4,832	1,044775	15,01
0,2322	0,22059	6,12	4,896	1,080009	15,08	0,2315	0,219925	6,1	4,88	1,073234	14,99
0,1144	0,10868	6,17	4,936	0,536444	15,24	0,1139	0,108205	6,15	4,92	0,532369	15,12
0,1376	0,13072	6,09	4,872	0,636868	14,47	0,137	0,13015	6,07	4,856	0,632008	14,36

0,127	0,12065	6,14	4,912	0,592633	14,97	0,1265	0,120175	6,11	4,888	0,587415	14,83		
0,1262	0,11989	6,12	4,896	0,586981	15,29	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18		
0,0766	0,07277	6,19	4,952	0,360357	13,86	0,0761	0,072295	6,17	4,936	0,356848	13,72		
0,0848	0,08056	6,16	4,928	0,397	13,98	0,0843	0,080085	6,15	4,92	0,394018	13,87		
0,241	0,22895	6,04	4,832	1,106286	15,28	0,2402	0,22819	6,03	4,824	1,100789	15,20		
0,1195	0,113525	6,13	4,904	0,556727	14,65	0,119	0,11305	6,12	4,896	0,553493	14,57		
0,1011	0,096045	6,16	4,928	0,47331	14,61	0,1004	0,09538	6,16	4,928	0,470033	14,51		
0,0766	0,07277	6,19	4,952	0,360357	13,86	0,0761	0,072295	6,17	4,936	0,356848	13,72		
0,1671	0,158745	6,12	4,896	0,777216	14,39	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,28		
0,1376	0,13072	6,09	4,872	0,636868	14,47	0,137	0,13015	6,07	4,856	0,632008	14,36		
0,1262	0,11989	6,12	4,896	0,586981	15,29	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18		
0,0722	0,06859	6,11	4,888	0,335268	14,45	0,0718	0,06821	6,09	4,872	0,332319	14,32		
0,0756	0,07182	6,17	4,936	0,354504	13,85	0,075	0,07125	6,16	4,928	0,35112	13,72		
0,0841	0,079895	6,14	4,912	0,392444	14,02	0,0836	0,07942	6,13	4,904	0,389476	13,91		
0,167	0,15865	6,09	4,872	0,772943	14,31	0,1663	0,157985	6,08	4,864	0,768439	14,23		
0,1145	0,108775	6,16	4,928	0,536043	15,23	0,1139	0,108205	6,15	4,92	0,532369	15,12		
0,1262	0,11989	6,11	4,888	0,586022	15,26	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18		
0,067	0,06365	6,12	4,896	0,31163	13,91	0,0666	0,06327	6,09	4,872	0,308251	13,76		
0,0767	0,072865	6,19	4,952	0,360827	13,67	0,0762	0,07239	6,17	4,936	0,357317	13,53		
<b>ENERGÍA TOTAL CON RECUB.(mWh)</b>				<b>5115</b>	<b>ENERGÍA TOTAL SIN RECUB.(mWh)</b>				<b>5079</b>				

La siguiente tabla muestra el promedio de diferencias positivas que se produjeron en un mes con el uso de este recubrimiento:

Tabla 18: Diferencias de potencia y rendimiento del recubrimiento UN Y COX

<b>DIFERENCIA DE POTENCIA Y RENDIMIENTO PROMEDIO</b>	
$\Delta P_{pmp}.$ (mW)	$\Delta \eta$ (%)
3,733	0,1151

## RECUBRIMIENTO NANOFLEX VP12

Tabla 19: Variables ambientales para el recubrimiento NANOFLEX, Región Interandina

DATOS		VARIABLES AMBIENTALES			
F. AMBIENTALES/PERIODO	TA(°C)	Tc(°C) con recub.	Tc(°C) sin recub.	G (W/m2)	HR(%)
(08:00 - 09:00 ) - 31/03/2016	9,5	16,1	16,925	220	81
	9,5	15,2	15,9125	190	81
	9,5	18,8	19,9625	310	81
	9,5	17,9	18,95	280	81
(09:00 - 10:00 ) - 31/03/2016	10,1	19,25	20,39375	305	77
	10,1	18,05	19,04375	265	77
	10,1	18,8	19,8875	290	77
	10,1	22,4	23,9375	410	77
( 10:00 - 11:00 ) - 31/03/2016	12,4	22,9	24,2125	350	71
	12,4	41,5	45,1375	970	71
	12,4	23,65	25,05625	375	71
	12,4	28	29,95	520	71
( 11:00 - 12:00 ) - 31/03/2016	10,5	20,7	21,975	340	64
	10,5	34,65	37,66875	805	64
	10,5	20,55	21,80625	335	64
	10,5	18,9	19,95	280	64
( 12:00 - 13:00 ) - 31/03/2016	10,8	19,65	20,75625	295	58
	10,8	36,9	40,1625	870	58
	10,8	37,65	41,00625	895	58
	10,8	24	25,65	440	58
( 13:00 - 14:00 ) - 31/03/2016	11,3	27,8	29,8625	550	66
	11,3	26,15	28,00625	495	66
	11,3	25,7	27,5	480	66
	11,3	21,05	22,26875	325	66
( 14:00 - 15:00 ) - 31/03/2016	13,7	24,35	25,68125	355	70
	13,7	40,85	44,24375	905	70
	13,7	27,95	29,73125	475	70
	13,7	25,85	27,36875	405	70
( 15:00 - 16:00 ) - 31/03/2016	12,8	22,55	23,76875	325	65
	12,8	33,05	35,58125	675	65
	12,8	29,3	31,3625	550	65
	12,8	27,2	29	480	65



( 16:00 - 17:00 ) - 31/03/2016	13,4	22,1	23,1875	290	59
	13,4	23	24,2	320	59
	13,4	23,9	25,2125	350	59
	13,4	33,65	36,18125	675	59
( 17:00 - 18:00 ) - 31/03/2016	12,5	25,7	27,35	440	72
	12,5	26,9	28,7	480	72
	12,5	20,9	21,95	280	72
	12,5	22,4	23,6375	330	72

Tabla 20: Datos y cálculos obtenidos del recubrimiento NANOFLEX VP 12, Región Interandina

DATOS OBTENIDOS											
CÉLULA CON RECUBRIMIENTO						CÉLULA SIN RECUBRIMIENTO					
Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )	Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )
0,0506	0,04807	6,13	4,904	0,235735	13,39	0,0499	0,047405	6,12	4,896	0,232095	13,19
0,0443	0,042085	6,11	4,888	0,205711	13,53	0,0436	0,04142	6,12	4,896	0,202792	13,34
0,0722	0,06859	6,14	4,912	0,336914	13,59	0,0715	0,067925	6,12	4,896	0,332561	13,41
0,0684	0,06498	6,13	4,904	0,318662	14,23	0,0676	0,06422	6,11	4,888	0,313907	14,01
0,0722	0,06859	6,12	4,896	0,335817	13,76	0,0714	0,06783	6,1	4,88	0,33101	13,57
0,0635	0,060325	6,13	4,904	0,295834	13,95	0,0626	0,05947	6,13	4,904	0,291641	13,76
0,0649	0,061655	6,15	4,92	0,303343	13,08	0,0641	0,060895	6,14	4,912	0,299116	12,89
0,0987	0,093765	6,16	4,928	0,462074	14,09	0,098	0,0931	6,15	4,92	0,458052	13,97
0,0847	0,080465	6,14	4,912	0,395244	14,12	0,084	0,0798	6,12	4,896	0,390701	13,95
0,2512	0,23864	6,07	4,856	1,158836	14,93	0,2503	0,237785	6,06	4,848	1,152782	14,86
0,0859	0,081605	6,18	4,944	0,403455	13,45	0,0854	0,08113	6,16	4,928	0,399809	13,33
0,1292	0,12274	6,10	4,88	0,598971	14,40	0,1285	0,122075	6,08	4,864	0,593773	14,27
0,0825	0,078375	6,11	4,888	0,383097	14,08	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	13,90
0,2063	0,195985	6,07	4,856	0,951703	14,78	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,72
0,0797	0,075715	6,09	4,872	0,368883	13,76	0,079	0,07505	6,06	4,848	0,363842	13,58
0,0672	0,06384	6,12	4,896	0,312561	13,95	0,0666	0,06327	6,09	4,872	0,308251	13,76
0,0689	0,065455	6,17	4,936	0,323086	13,69	0,0683	0,064885	6,19	4,952	0,321311	13,61
0,2283	0,216885	6,06	4,848	1,051458	15,11	0,2276	0,21622	6,04	4,832	1,044775	15,01
0,2321	0,220495	6,12	4,896	1,079544	15,08	0,2315	0,219925	6,1	4,88	1,073234	14,99
0,1146	0,10887	6,15	4,92	0,53564	15,22	0,1139	0,108205	6,15	4,92	0,532369	15,12
0,1378	0,13091	6,08	4,864	0,636746	14,47	0,137	0,13015	6,07	4,856	0,632008	14,36

0,1272	0,12084	6,12	4,896	0,591633	14,94	0,1265	0,120175	6,11	4,888	0,587415	14,83		
0,1264	0,12008	6,12	4,896	0,587912	15,31	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18		
0,0768	0,07296	6,18	4,944	0,360714	13,87	0,0761	0,072295	6,17	4,936	0,356848	13,72		
0,085	0,08075	6,17	4,936	0,398582	14,03	0,0843	0,080085	6,15	4,92	0,394018	13,87		
0,2412	0,22914	6,04	4,832	1,107204	15,29	0,2402	0,22819	6,03	4,824	1,100789	15,20		
0,1197	0,113715	6,13	4,904	0,557658	14,68	0,119	0,11305	6,12	4,896	0,553493	14,57		
0,1013	0,096235	6,16	4,928	0,474246	14,64	0,1004	0,09538	6,16	4,928	0,470033	14,51		
0,0768	0,07296	6,19	4,952	0,361298	13,90	0,0761	0,072295	6,17	4,936	0,356848	13,72		
0,1671	0,158745	6,11	4,888	0,775946	14,37	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,28		
0,1376	0,13072	6,09	4,872	0,636868	14,47	0,137	0,13015	6,07	4,856	0,632008	14,36		
0,1266	0,12027	6,11	4,888	0,58788	15,31	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18		
0,0723	0,068685	6,12	4,896	0,336282	14,49	0,0718	0,06821	6,09	4,872	0,332319	14,32		
0,0758	0,07201	6,17	4,936	0,355441	13,88	0,075	0,07125	6,16	4,928	0,35112	13,72		
0,0843	0,080085	6,14	4,912	0,393378	14,05	0,0836	0,07942	6,13	4,904	0,389476	13,91		
0,1671	0,158745	6,10	4,88	0,774676	14,35	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,28		
0,1146	0,10887	6,16	4,928	0,536511	15,24	0,1139	0,108205	6,15	4,92	0,532369	15,12		
0,1265	0,120175	6,11	4,888	0,587415	15,30	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18		
0,0672	0,06384	6,11	4,888	0,31205	13,93	0,0666	0,06327	6,09	4,872	0,308251	13,76		
0,077	0,07315	6,18	4,944	0,361654	13,70	0,0762	0,07239	6,17	4,936	0,357317	13,53		
<b>ENERGÍA TOTAL CON RECUB.(mWh)</b>				<b>5123</b>	<b>ENERGÍA TOTAL SIN RECUB.(mWh)</b>				<b>5179</b>				

La siguiente tabla muestra el promedio de diferencias positivas que se produjeron en un mes con el uso de este recubrimiento:

Tabla 21: Diferencias de potencia y rendimiento del recubrimiento NANOFLEX VP12

<b>DIFERENCIA DE POTENCIA Y RENDIMIENTO PROMEDIO</b>	
$\Delta P_{pmp}.$ (mW)	$\Delta \eta$ (%)
4,51	0,141

## RECUBRIMIENTO EXPERIMENTAL

Tabla 22: Variables ambientales para el recubrimiento Experimental, Región Interandina

DATOS		VARIABLES AMBIENTALES			
F. AMBIENTALES/PERIODO	T <sub>A</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C) con recub.	T <sub>c</sub> (°C) sin recub.	G (W/m <sup>2</sup> )	HR(%)
(08:00 - 09:00 ) - 31/03/2016	9,5	16,65	16,925	220	81
	9,5	15,675	15,9125	190	81
	9,5	19,575	19,9625	310	81
	9,5	18,6	18,95	280	81
(09:00 - 10:00 ) - 31/03/2016	10,1	20,0125	20,39375	305	77
	10,1	18,7125	19,04375	265	77
	10,1	19,525	19,8875	290	77
	10,1	23,425	23,9375	410	77
( 10:00 - 11:00 ) - 31/03/2016	12,4	23,775	24,2125	350	71
	12,4	43,925	45,1375	970	71
	12,4	24,5875	25,05625	375	71
	12,4	29,3	29,95	520	71
( 11:00 - 12:00 ) - 31/03/2016	10,5	21,55	21,975	340	64
	10,5	36,6625	37,66875	805	64
	10,5	21,3875	21,80625	335	64
	10,5	19,6	19,95	280	64
( 12:00 - 13:00 ) - 31/03/2016	10,8	20,3875	20,75625	295	58
	10,8	39,075	40,1625	870	58
	10,8	39,8875	41,00625	895	58
	10,8	25,1	25,65	440	58
( 13:00 - 14:00 ) - 31/03/2016	11,3	29,175	29,8625	550	66
	11,3	27,3875	28,00625	495	66
	11,3	26,9	27,5	480	66
	11,3	21,8625	22,26875	325	66
( 14:00 - 15:00 ) - 31/03/2016	13,7	25,2375	25,68125	355	70
	13,7	43,1125	44,24375	905	70
	13,7	29,1375	29,73125	475	70
	13,7	26,8625	27,36875	405	70
( 15:00 - 16:00 ) - 31/03/2016	12,8	23,3625	23,76875	325	65
	12,8	34,7375	35,58125	675	65
	12,8	30,675	31,3625	550	65
	12,8	28,4	29	480	65

( 16:00 - 17:00 ) - 31/03/2016	13,4	22,825	23,1875	290	59
	13,4	23,8	24,2	320	59
	13,4	24,775	25,2125	350	59
	13,4	35,3375	36,18125	675	59
( 17:00 - 18:00 ) - 31/03/2016	12,5	26,8	27,35	440	72
	12,5	28,1	28,7	480	72
	12,5	21,6	21,95	280	72
	12,5	23,225	23,6375	330	72

Tabla 23: Datos y cálculos obtenidos del recubrimiento Experimental, Región Interandina

DATOS OBTENIDOS											
CÉLULA CON RECUBRIMIENTO						CÉLULA SIN RECUBRIMIENTO					
Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )	Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )
0,0504	0,04788	6,13	4,904	0,234804	13,34	0,0499	0,047405	6,12	4,896	0,232095	13,19
0,0441	0,041895	6,11	4,888	0,204783	13,47	0,0436	0,04142	6,12	4,896	0,202792	13,34
0,0721	0,068495	6,13	4,904	0,335899	13,54	0,0715	0,067925	6,12	4,896	0,332561	13,41
0,0682	0,06479	6,12	4,896	0,317212	14,16	0,0676	0,06422	6,11	4,888	0,313907	14,01
0,0719	0,068305	6,11	4,888	0,333875	13,68	0,0714	0,06783	6,1	4,88	0,33101	13,57
0,0631	0,059945	6,13	4,904	0,29397	13,87	0,0626	0,05947	6,13	4,904	0,291641	13,76
0,0647	0,061465	6,14	4,912	0,301916	13,01	0,0641	0,060895	6,14	4,912	0,299116	12,89
0,0987	0,093765	6,16	4,928	0,462074	14,09	0,098	0,0931	6,15	4,92	0,458052	13,97
0,0843	0,080085	6,13	4,904	0,392737	14,03	0,084	0,0798	6,12	4,896	0,390701	13,95
0,251	0,23845	6,07	4,856	1,157913	14,92	0,2503	0,237785	6,06	4,848	1,152782	14,86
0,0859	0,081605	6,18	4,944	0,403455	13,45	0,0854	0,08113	6,16	4,928	0,399809	13,33
0,129	0,12255	6,09	4,872	0,597064	14,35	0,1285	0,122075	6,08	4,864	0,593773	14,27
0,0822	0,07809	6,10	4,88	0,381079	14,01	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	13,90
0,2062	0,19589	6,08	4,864	0,952809	14,80	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,72
0,0793	0,075335	6,09	4,872	0,367032	13,70	0,079	0,07505	6,06	4,848	0,363842	13,58
0,0668	0,06346	6,14	4,912	0,311716	13,92	0,0666	0,06327	6,09	4,872	0,308251	13,76
0,0688	0,06536	6,19	4,952	0,323663	13,71	0,0683	0,064885	6,19	4,952	0,321311	13,61
0,2282	0,21679	6,05	4,84	1,049264	15,08	0,2276	0,21622	6,04	4,832	1,044775	15,01
0,2321	0,220495	6,11	4,888	1,07778	15,05	0,2315	0,219925	6,1	4,88	1,073234	14,99
0,1145	0,108775	6,16	4,928	0,536043	15,23	0,1139	0,108205	6,15	4,92	0,532369	15,12
0,1376	0,13072	6,09	4,872	0,636868	14,47	0,137	0,13015	6,07	4,856	0,632008	14,36

0,1268	0,12046	6,14	4,912	0,5917	14,94	0,1265	0,120175	6,11	4,888	0,587415	14,83
0,126	0,1197	6,13	4,904	0,587009	15,29	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18
0,0764	0,07258	6,19	4,952	0,359416	13,82	0,0761	0,072295	6,17	4,936	0,356848	13,72
0,0847	0,080465	6,16	4,928	0,396532	13,96	0,0843	0,080085	6,15	4,92	0,394018	13,87
0,2409	0,228855	6,04	4,832	1,105827	15,27	0,2402	0,22819	6,03	4,824	1,100789	15,20
0,1194	0,11343	6,13	4,904	0,556261	14,64	0,119	0,11305	6,12	4,896	0,553493	14,57
0,1009	0,095855	6,17	4,936	0,47314	14,60	0,1004	0,09538	6,16	4,928	0,470033	14,51
0,0766	0,07277	6,18	4,944	0,359775	13,84	0,0761	0,072295	6,17	4,936	0,356848	13,72
0,1668	0,15846	6,11	4,888	0,774552	14,34	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,28
0,1375	0,130625	6,09	4,872	0,636405	14,46	0,137	0,13015	6,07	4,856	0,632008	14,36
0,1262	0,11989	6,11	4,888	0,586022	15,26	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18
0,072	0,0684	6,13	4,904	0,335434	14,46	0,0718	0,06821	6,09	4,872	0,332319	14,32
0,0755	0,071725	6,17	4,936	0,354035	13,83	0,075	0,07125	6,16	4,928	0,35112	13,72
0,0841	0,079895	6,13	4,904	0,391805	13,99	0,0836	0,07942	6,13	4,904	0,389476	13,91
0,167	0,15865	6,11	4,888	0,775481	14,36	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,28
0,1145	0,108775	6,16	4,928	0,536043	15,23	0,1139	0,108205	6,15	4,92	0,532369	15,12
0,1262	0,11989	6,11	4,888	0,586022	15,26	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18
0,0669	0,063555	6,12	4,896	0,311165	13,89	0,0666	0,06327	6,09	4,872	0,308251	13,76
0,0767	0,072865	6,19	4,952	0,360827	13,67	0,0762	0,07239	6,17	4,936	0,357317	13,53
<b>ENERGÍA TOTAL CON RECUB.(mWh)</b>				<b>5113</b>	<b>ENERGÍA TOTAL CON RECUB.(mWh)</b>				<b>5079</b>		

La siguiente tabla muestra el promedio de diferencias positivas que se produjeron en un mes con el uso de este recubrimiento:

Tabla 24: Diferencias de potencia y rendimiento del recubrimiento Experimental

<b>DIFERENCIA DE POTENCIA Y RENDIMIENTO PROMEDIO</b>	
$\Delta P_{pmp}.$ (mW)	$\Delta \eta$ (%)
3,423	0,1040

## RECUBRIMIENTO MICA DE VIDRIO

Tabla 25: Variables ambientales para el recubrimiento Mica de vidrio, Región Interandina

DATOS		VARIABLES AMBIENTALES			
F. AMBIENTALES/PERIODO	TA(°C)	Tc(°C) con recub.	Tc(°C) sin recub.	G (W/m2)	HR(%)
(08:00 - 09:00 ) - 31/03/2016	9,5	16,925	16,925	220	81
	9,5	15,9125	15,9125	190	81
	9,5	19,9625	19,9625	310	81
	9,5	18,95	18,95	280	81
(09:00 - 10:00 ) - 31/03/2016	10,1	20,39375	20,39375	305	77
	10,1	19,04375	19,04375	265	77
	10,1	19,8875	19,8875	290	77
	10,1	23,9375	23,9375	410	77
( 10:00 - 11:00 ) - 31/03/2016	12,4	24,2125	24,2125	350	71
	12,4	45,1375	45,1375	970	71
	12,4	25,05625	25,05625	375	71
	12,4	29,95	29,95	520	71
( 11:00 - 12:00 ) - 31/03/2016	10,5	21,975	21,975	340	64
	10,5	37,66875	37,66875	805	64
	10,5	21,80625	21,80625	335	64
	10,5	19,95	19,95	280	64
( 12:00 - 13:00 ) - 31/03/2016	10,8	20,75625	20,75625	295	58
	10,8	40,1625	40,1625	870	58
	10,8	41,00625	41,00625	895	58
	10,8	25,65	25,65	440	58
( 13:00 - 14:00 ) - 31/03/2016	11,3	29,8625	29,8625	550	66
	11,3	28,00625	28,00625	495	66
	11,3	27,5	27,5	480	66
	11,3	22,26875	22,26875	325	66
( 14:00 - 15:00 ) - 31/03/2016	13,7	25,68125	25,68125	355	70
	13,7	44,24375	44,24375	905	70
	13,7	29,73125	29,73125	475	70
	13,7	27,36875	27,36875	405	70
( 15:00 - 16:00 ) - 31/03/2016	12,8	23,76875	23,76875	325	65
	12,8	35,58125	35,58125	675	65
	12,8	31,3625	31,3625	550	65

	12,8	29	29	480	65
( 16:00 - 17:00 ) - 31/03/2016	13,4	23,1875	23,1875	290	59
	13,4	24,2	24,2	320	59
	13,4	25,2125	25,2125	350	59
	13,4	36,18125	36,18125	675	59
( 17:00 - 18:00 ) - 31/03/2016	12,5	27,35	27,35	440	72
	12,5	28,7	28,7	480	72
	12,5	21,95	21,95	280	72
	12,5	23,6375	23,6375	330	72

Tabla 26: Datos y cálculos obtenidos del recubrimiento Mica de vidrio, Región Interandina

DATOS OBTENIDOS											
CÉLULA CON RECUBRIMIENTO						CÉLULA SIN RECUBRIMIENTO					
Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )	Isc ( A )	Ipmp ( A )	Voc ( V )	Vpmp ( V )	Ppmp ( W )	$\eta$ ( % )
0,0492	0,04674	6,13	4,904	0,229213	13,02	0,0499	0,047405	6,12	4,896	0,232095	13,19
0,043	0,04085	6,11	4,888	0,199675	13,14	0,0436	0,04142	6,12	4,896	0,202792	13,34
0,0709	0,067355	6,11	4,888	0,329231	13,28	0,0715	0,067925	6,12	4,896	0,332561	13,41
0,067	0,06365	6,1	4,88	0,310612	13,87	0,0676	0,06422	6,11	4,888	0,313907	14,01
0,0708	0,06726	6,1	4,88	0,328229	13,45	0,0714	0,06783	6,1	4,88	0,33101	13,57
0,0621	0,058995	6,12	4,896	0,28884	13,62	0,0626	0,05947	6,13	4,904	0,291641	13,76
0,0636	0,06042	6,13	4,904	0,2963	12,77	0,0641	0,060895	6,14	4,912	0,299116	12,89
0,0975	0,092625	6,14	4,912	0,454974	13,87	0,098	0,0931	6,15	4,92	0,458052	13,97
0,0831	0,078945	6,16	4,928	0,389041	13,89	0,084	0,0798	6,12	4,896	0,390701	13,95
0,2497	0,237215	6,06	4,848	1,150018	14,82	0,2503	0,237785	6,06	4,848	1,152782	14,86
0,0848	0,08056	6,15	4,92	0,396355	13,21	0,0854	0,08113	6,16	4,928	0,399809	13,33
0,1277	0,121315	6,10	4,88	0,592017	14,23	0,1285	0,122075	6,08	4,864	0,593773	14,27
0,0808	0,07676	6,13	4,904	0,376431	13,84	0,0818	0,07771	6,08	4,864	0,377981	13,90
0,2048	0,19456	6,07	4,856	0,944783	14,67	0,2055	0,195225	6,07	4,856	0,948013	14,72
0,0781	0,074195	6,09	4,872	0,361478	13,49	0,079	0,07505	6,06	4,848	0,363842	13,58
0,0652	0,06194	6,16	4,928	0,30524	13,63	0,0666	0,06327	6,09	4,872	0,308251	13,76
0,0671	0,063745	6,18	4,944	0,315155	13,35	0,0683	0,064885	6,19	4,952	0,321311	13,61
0,2274	0,21603	6,04	4,832	1,043857	15,00	0,2276	0,21622	6,04	4,832	1,044775	15,01
0,231	0,21945	6,1	4,88	1,070916	14,96	0,2315	0,219925	6,1	4,88	1,073234	14,99

0,113	0,10735	6,16	4,928	0,529021	15,03	0,1139	0,108205	6,15	4,92	0,532369	15,12		
0,1364	0,12958	6,08	4,864	0,630277	14,32	0,137	0,13015	6,07	4,856	0,632008	14,36		
0,1256	0,11932	6,14	4,912	0,5861	14,80	0,1265	0,120175	6,11	4,888	0,587415	14,83		
0,1248	0,11856	6,13	4,904	0,581418	15,14	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18		
0,0751	0,071345	6,18	4,944	0,35273	13,57	0,0761	0,072295	6,17	4,936	0,356848	13,72		
0,0834	0,07923	6,17	4,936	0,391079	13,77	0,0843	0,080085	6,15	4,92	0,394018	13,87		
0,2398	0,22781	6,02	4,816	1,097133	15,15	0,2402	0,22819	6,03	4,824	1,100789	15,20		
0,1182	0,11229	6,12	4,896	0,549772	14,47	0,119	0,11305	6,12	4,896	0,553493	14,57		
0,0997	0,094715	6,15	4,92	0,465998	14,38	0,1004	0,09538	6,16	4,928	0,470033	14,51		
0,0756	0,07182	6,16	4,928	0,353929	13,61	0,0761	0,072295	6,17	4,936	0,356848	13,72		
0,1659	0,157605	6,09	4,872	0,767852	14,22	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,28		
0,1367	0,129865	6,06	4,848	0,629586	14,31	0,137	0,13015	6,07	4,856	0,632008	14,36		
0,125	0,11875	6,1	4,88	0,5795	15,09	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18		
0,0707	0,067165	6,14	4,912	0,329914	14,22	0,0718	0,06821	6,09	4,872	0,332319	14,32		
0,0743	0,070585	6,17	4,936	0,348408	13,61	0,075	0,07125	6,16	4,928	0,35112	13,72		
0,0828	0,07866	6,13	4,904	0,385749	13,78	0,0836	0,07942	6,13	4,904	0,389476	13,91		
0,166	0,1577	6,09	4,872	0,768314	14,23	0,1663	0,157985	6,10	4,88	0,770967	14,28		
0,1143	0,108585	6,14	4,912	0,53337	15,15	0,1139	0,108205	6,15	4,92	0,532369	15,12		
0,1252	0,11894	6,09	4,872	0,579476	15,09	0,1257	0,119415	6,1	4,88	0,582745	15,18		
0,066	0,0627	6,08	4,864	0,304973	13,61	0,0666	0,06327	6,09	4,872	0,308251	13,76		
0,0757	0,071915	6,16	4,928	0,354397	13,42	0,0762	0,07239	6,17	4,936	0,357317	13,53		
<b>ENERGÍA TOTAL CON RECUB.(mWh)</b>				<b>5052</b>	<b>ENERGÍA TOTAL SIN RECUB.(mWh)</b>				<b>5079</b>				

La siguiente tabla muestra el promedio de diferencias negativas que se produjeron en un mes con el uso de este recubrimiento:

Tabla 27: Diferencias de potencia y rendimiento del recubrimiento Mica de vidrio

<b>DIFERENCIA DE POTENCIA Y RENDIMIENTO PROMEDIO</b>	
$\Delta P_{pmp}(\text{mW})$	$\Delta \eta(\%)$
-2,78	-0,0938



### III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1. Análisis técnico – económico

##### Análisis de costos

Tabla 28: Costos directos e indirectos

<b>COSTOS DIRECTOS DE MATERIALES</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT. (\$)</b>	<b>TOTAL</b>
1	Célula fotovoltaica monocristalina 1wp	8	9,12	72,96
2	Multímetro digital marca Truper MUT 32	1	50	50
3	Medidor de irradiación solar Velleman	1	96,9	96,9
4	Planchas de vidrio transparente 90 x 110mm	5	0,50	2,50
5	Recubrimiento Un y Cox para superficies de vidrio 200 ml	1	9,92	9,92
6	Recubrimiento Nanoflex Vp12 30 ml	1	30	30
7	Barniz sintético pintulac 200 ml	1	2,5	2,5
8	Catalizador de poliuretano 200 ml	1	3,5	3,5
9	Desodorante rexona 150 ml	1	5,5	5,5
10	Mica de vidrio Glass screen protector T230	1	12	12
<b>TOTAL</b>				<b>285,78</b>

<b>COSTOS INDIRECTOS DE MATERIALES</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT. (\$)</b>	<b>TOTAL</b>
1	Alcohol industrial 1,50 lt	1	6	6
2	Waipes de tela	5	0,20	1
3	Toalla de microfibra	1	1,5	1,5
<b>TOTAL</b>				<b>8,5</b>

TOTAL DE COSTOS:

294,28 dólares

## Análisis económico por región

### REGIÓN LITORAL

#### Recubrimiento Un y Cox

#### Análisis para una célula fotovoltaica:

Diferencia promedio entre las células recubierta y no recubierta ( $\Delta P_{pmp}$ ):

$$\Delta P_{pmp} = 0,003W \text{ (Dato obtenido de la tabla 6)}$$

#### Análisis en el rendimiento para un panel fotovoltaico de 125 células (1m<sup>2</sup>)

$$P_{panel} = (\Delta P_{pmp})(N \text{ células})$$

$$= (0,003W)(125)$$

$$= 0,38W$$

$$P_{panel.dia} = (H. \text{ sol por dia})(0,38W)$$

$$= (10h)(0,38W)$$

$$= 3,8Wh$$

$$P_{panel.mes} = (H. \text{ sol por mes})(0,38W)$$

$$= (300h)(0,38W)$$

$$= 114Wh$$

$$P_{panel.año} = (P_{panel.mes})(12)$$

$$= (114Wh)(12)$$

$$= 1,4KWh$$

**Beneficio económico del recubrimiento en un año (Be):**

Tabla 29: Cargos tarifarios únicos

RANGO DE CONSUMO	
CATEGORÍA:	RESIDENCIAL
NIVEL DE TENSIÓN:	BAJA Y MEDIA TENSIÓN
0 – 50 V	\$ 0,091
51 – 100 V	\$ 0,093
<b>101 – 150 V</b>	<b>\$ 0,095</b>
151 – 200 V	\$ 0,097
201 – 250 V	\$ 0,099
251 – 300 V	\$ 0,101
301 – 350 V	\$ 0,103
351 – 400 V	\$ 0,105

FUENTE: Agencia de regulación y control de electricidad del Ecuador, julio 2015

**Costo del kilovatio por hora:**

\$0,095

$$\begin{aligned}
 Be &= (P_{panel.año})(Costo\ KWh) \\
 &= (1,4\ KWh)(\$0,095) \\
 &= \$0,13
 \end{aligned}$$

**Recubrimiento Nanoflex VP12****Análisis para una célula fotovoltaica:**

Diferencia promedio entre las células recubierta y no recubierta ( $\Delta P_{pmp}$ ):

$$\Delta P_{pmp} = 0,0038W \text{ (Dato obtenido de la tabla 7)}$$

**Análisis en el rendimiento para un panel fotovoltaico de 125 células (1m<sup>2</sup>)**

$$\begin{aligned}
 P_{panel} &= (\Delta P_{pmp})(N\ células) \\
 &= (0,0038W)(125) \\
 &= 0,48W
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{panel.dia} &= (H. \text{ sol por dia})(0,48W) \\
 &= (10h)(0,48W) \\
 &= 4,8Wh
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{panel.mes} &= (H. \text{ sol por mes})(0,48W) \\
 &= (300h)(0,48W) \\
 &= 144Wh
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{panel.año} &= (P_{panel.mes})(12) \\
 &= (144Wh)(12) \\
 &= 1,73KWh
 \end{aligned}$$

**Beneficio económico del recubrimiento en un año (Be):**

$$\begin{aligned}
 Be &= (P_{panel.año})(Costo KWh) \\
 &= (1,73 KWh)(\$0,095) \\
 &= \$0,16
 \end{aligned}$$

**Recubrimiento Experimental**

**Análisis para una célula fotovoltaica:**

Diferencia promedio entre las células recubierta y no recubierta ( $\Delta P_{pmp}$ ):

$$\Delta P_{pmp} = 0,0026W \text{ (Dato obtenido de la tabla 10)}$$

**Análisis en el rendimiento para un panel fotovoltaico de 125 células (1m<sup>2</sup>)**

$$\begin{aligned}
 P_{panel} &= (\Delta P_{pmp})(N \text{ células}) \\
 &= (0,0026W)(125) \\
 &= 0,325W
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{panel.dia} &= (H. \text{ sol por dia})(2,38W) \\
 &= (10h)(0,325W)
 \end{aligned}$$

$$= 3,25\text{Wh}$$

$$P_{panel.mes} = (\text{H. sol por mes})(0,325\text{W})$$

$$= (300\text{h})(0,325\text{W})$$

$$= 98\text{Wh}$$

$$P_{panel.año} = (P_{panel.mes})(12)$$

$$= (98\text{Wh})(12)$$

$$= 1,18\text{KWh}$$

### **Beneficio económico del recubrimiento en un año:**

$$Be = (P_{panel.año})(\text{Costo KWh})$$

$$= (1,18\text{ KWh})(\$0,095)$$

$$= \$0,11$$

### **Recubrimiento de mica de vidrio**

#### **Análisis para una célula fotovoltaica:**

Diferencia promedio entre las células recubierta y no recubierta ( $\Delta P_{pmp}$ ):

$$\Delta P_{pmp} = -0,0032\text{W} \text{ (Dato obtenido de la tabla 13)}$$

#### **Análisis en el rendimiento para un panel fotovoltaico de 125 células (1m<sup>2</sup>)**

$$P_{panel} = (\Delta P_{pmp})(N \text{ células})$$

$$= (-0,0032\text{W})(125)$$

$$= -0,4\text{W}$$

$$P_{panel.día} = (\text{H. sol por día})(-0,4\text{W})$$

$$= (10\text{h})(-0,4\text{W})$$

$$= -4\text{Wh}$$

$$P_{panel.mes} = (\text{H. sol por mes})(-0,4\text{W})$$

$$= (300h)(-0,4W)$$

$$= -120Wh$$

$$P_{panel.año} = (P_{panel.mes})(12)$$

$$= (-120Wh)(12)$$

$$= -1,44KWh$$

**Beneficio económico del recubrimiento en un año (Be):**

$$Be = (P_{panel.año})(Costo KWh)$$

$$= (-1,44 KWh)(\$0,095)$$

$$= \$-0,13$$

REGIÓN INTERANDINA

**Recubrimiento Un y Cox**

**Análisis para una célula fotovoltaica:**

Diferencia promedio entre las células recubierta y no recubierta ( $\Delta P_{pmp}$ ):

$$\Delta P_{pmp} = 0,0037W \text{ (Dato obtenido de la tabla 16)}$$

**Análisis en el rendimiento para un panel fotovoltaico de 125 células (1m<sup>2</sup>)**

$$P_{panel} = (\Delta P_{pmp})(N \text{ células})$$

$$= (0,0037W)(125)$$

$$= 0,463W$$

$$P_{panel.dia} = (H. \text{ sol por dia})(0,463W)$$

$$= (10h)(0,463W)$$

$$= 4,63Wh$$

$$P_{panel.mes} = (H. \text{ sol por mes})(0,463W)$$

$$= (300h)(0,463W)$$

$$= 139Wh$$

$$P_{panel.año} = (P_{panel.mes})(12)$$

$$= (139Wh)(12)$$

$$= 1,7KWh$$

### **Beneficio económico del recubrimiento en un año:**

$$Be = (P_{panel.año})(Costo KWh)$$

$$= (1,67 KWh)(\$0,095)$$

$$= \$0,15$$

### **Recubrimiento Nanoflex VP12**

#### **Análisis para una célula fotovoltaica:**

Diferencia promedio entre las células recubierta y no recubierta ( $\Delta P_{pmp}$ ):

$$\Delta P_{pmp} = 0,0045W \text{ (Dato obtenido de la tabla 19)}$$

#### **Análisis en el rendimiento para un panel fotovoltaico de 125 células (1m<sup>2</sup>)**

$$P_{panel} = (\Delta P_{pmp})(N \text{ células})$$

$$= (0,0045W)(125)$$

$$= 0,563W$$

$$P_{panel.dia} = (H. \text{ sol por dia})(0,563W)$$

$$= (10h)(0,563W)$$

$$= 5,63Wh$$

$$P_{panel.mes} = (H. \text{ sol por mes})(0,563W)$$

$$= (300h)(0,563W)$$

$$= 169Wh$$

$$\begin{aligned}
 P_{panel.año} &= (P_{panel.mes})(12) \\
 &= (169Wh)(12) \\
 &= 2,03KWh
 \end{aligned}$$

**Beneficio económico del recubrimiento en un año (Be):**

$$\begin{aligned}
 Be &= (P_{panel.año})(Costo KWh) \\
 &= (2,03 KWh)(\$0,095) \\
 &= \$0,19
 \end{aligned}$$

**Recubrimiento Experimental**

**Análisis para una célula fotovoltaica:**

Diferencia promedio entre las células recubierta y no recubierta ( $\Delta P_{pmp}$ ):

$$\Delta P_{pmp} = 0,0034W \text{ (Dato obtenido de la tabla 22)}$$

**Análisis en el rendimiento para un panel fotovoltaico de 125 células (1m<sup>2</sup>)**

$$\begin{aligned}
 P_{panel} &= (\Delta P_{pmp})(N \text{ células}) \\
 &= (0,0034W)(125) \\
 &= 0,425W
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{panel.dia} &= (H. \text{ sol por día})(0,425W) \\
 &= (10h)(0,425W) \\
 &= 4,25Wh
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{panel.mes} &= (H. \text{ sol por mes})(0,425W) \\
 &= (300h)(0,425W) \\
 &= 128Wh
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{panel.año} &= (P_{panel.mes})(12) \\
 &= (128Wh)(12)
 \end{aligned}$$



$$= 1,5\text{KWh}$$

**Beneficio económico del recubrimiento en un año (Be):**

$$\begin{aligned} \text{Be} &= (P_{\text{panel.año}})(\text{Costo KWh}) \\ &= (1,5 \text{ KWh})(\$0,095) \\ &= \$0,14 \end{aligned}$$

**Recubrimiento Mica de vidrio**

**Análisis para una célula fotovoltaica:**

Diferencia promedio entre las células recubierta y no recubierta ( $\Delta P_{\text{pmp}}$ ):

$$\Delta P_{\text{pmp}} = -0,0028\text{W} \text{ (Dato obtenido de la tabla 25)}$$

**Análisis en el rendimiento para un panel fotovoltaico de 125 células (1m<sup>2</sup>)**

$$\begin{aligned} P_{\text{panel}} &= (\Delta P_{\text{pmp}})(N \text{ células}) \\ &= (-0,0028\text{W})(125) \\ &= -0,35\text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{panel.día}} &= (\text{H. sol por día})(-0,35\text{W}) \\ &= (10\text{h})(-0,35\text{W}) \\ &= -3,5\text{Wh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{panel.mes}} &= (\text{H. sol por mes})(-0,35\text{W}) \\ &= (300\text{h})(-0,35\text{W}) \\ &= -105\text{Wh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{panel.año}} &= (P_{\text{panel.mes}})(12) \\ &= (-105\text{Wh})(12) \\ &= -1,26\text{KWh} \end{aligned}$$

**Beneficio económico del recubrimiento en un año (Be):**

$$\begin{aligned} \text{Be} &= (P_{\text{panel.año}})(\text{Costo } KWh) \\ &= (-1,26 \text{ } KWh)(\$0,095) \\ &= \$-0,12 \end{aligned}$$

**3.2. Interpretación de resultados**

De acuerdo a los datos obtenidos se analizará los resultados en ambas regiones, este análisis se representará gráficamente y mediante una interpretación objetiva de los resultados de cada recubrimiento.

Este análisis se basará en tres puntos relevantes, estos son la potencia obtenida, la temperatura de la célula fotovoltaica y su rendimiento en función del tiempo. Por lo tanto el análisis está estructurado de la siguiente manera:

- Gráfico de potencia
- Gráfico de rendimiento
- Gráfico de temperatura
- Interpretación de resultados

ANÁLISIS REGIÓN LITORAL

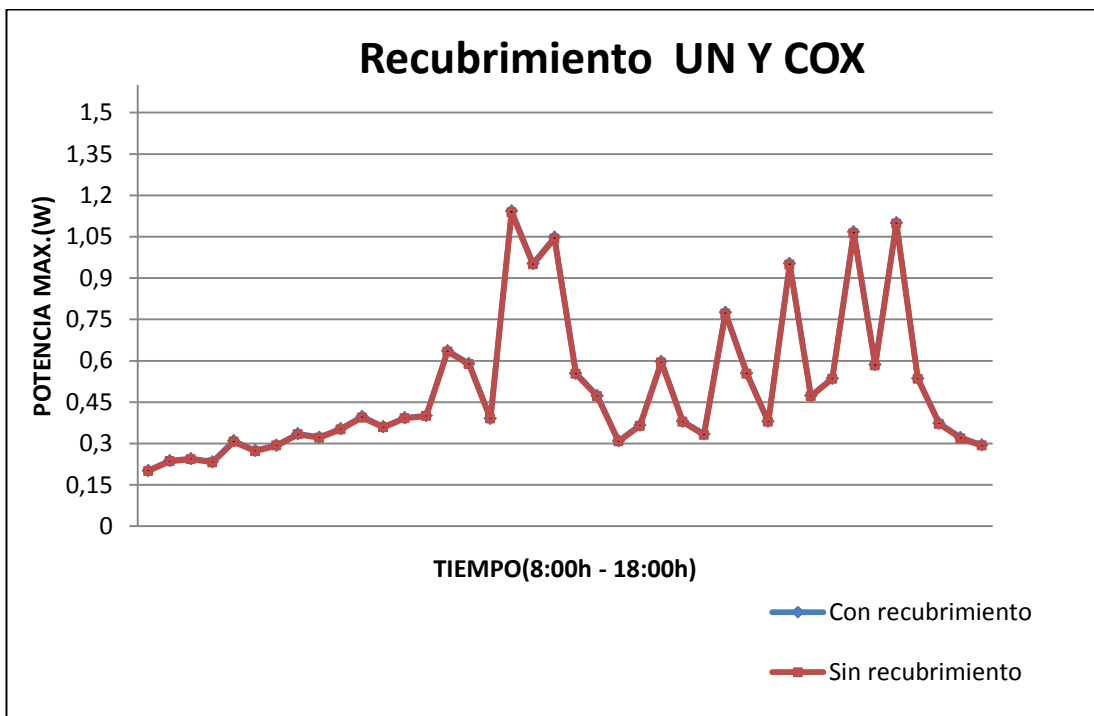


Figura 19: Análisis de potencia vs tiempo del recubrimiento UN Y COX, Región Litoral

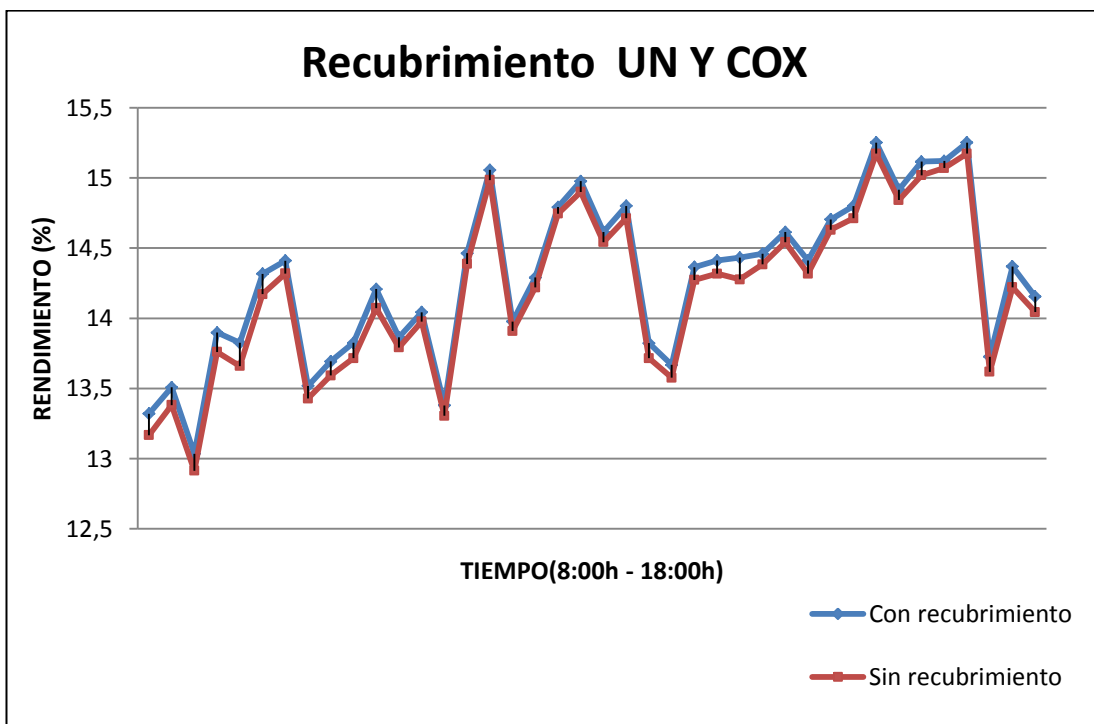


Figura 20: Análisis de rendimiento vs tiempo del recubrimiento UN Y COX, Región Litoral

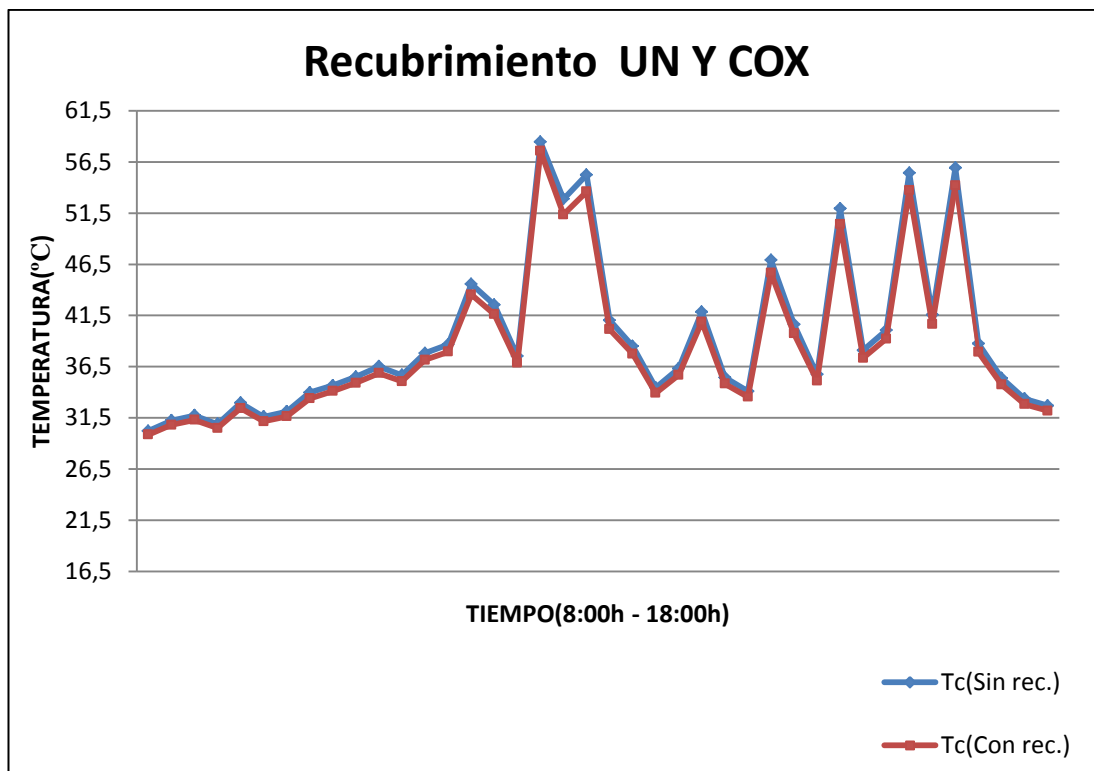


Figura 21: Análisis de temperatura vs tiempo del recubrimiento UN Y COX, Región Litoral

### Interpretación de resultados:

De acuerdo al gráfico se observa que no existen diferencias significativas visibles en la potencia de ambas células fotovoltaicas, en todos los puntos de la gráfica prácticamente coinciden ambas líneas de función, la diferencia promedio en su potencia es de 0,003 w.

En la gráfica del rendimiento se puede notar una diferencia entre ambas líneas de función, y se aprecia que la línea de “con recubrimiento” es superior en todos los puntos, especialmente en las horas en donde la irradiación es ligeramente baja oscilando entre los 200 y 350 w/m<sup>2</sup>.

En la gráfica de temperatura se puede apreciar que es menor la temperatura de la célula con recubrimiento siendo en promedio 1,7 grados menor que la temperatura de la célula sin recubrir, esta diferencia aumenta cuando la irradiación incidente sobre las células se acerca a los 1000 w/m<sup>2</sup>.

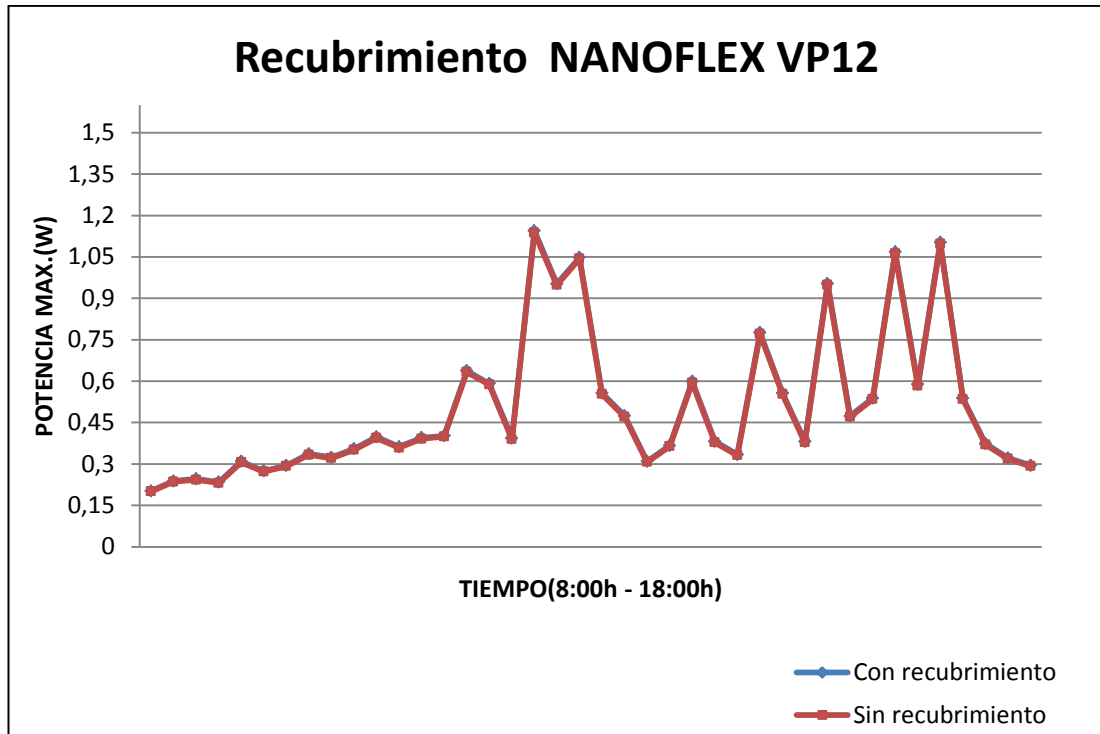


Figura 22: Análisis de potencia vs tiempo del recubrimiento NANOFLEX VP12, Región Litoral

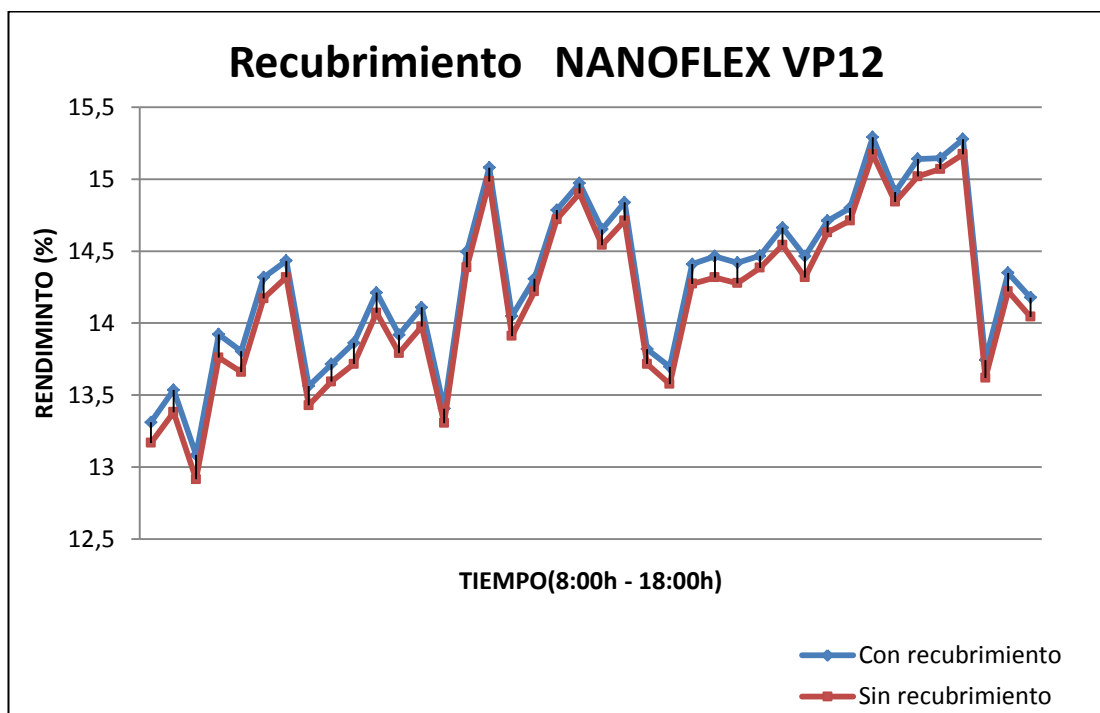


Figura 23: Análisis de rendimiento vs tiempo del recubrimiento NANOFLEX VP12, Región Litoral

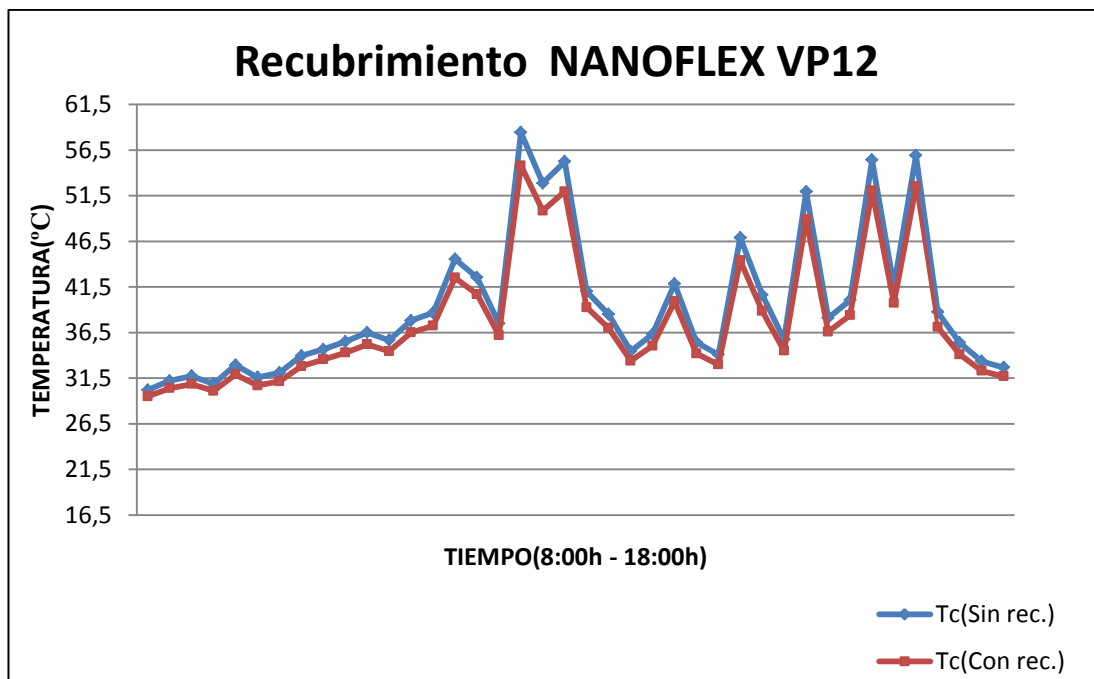


Figura 24: Análisis de temperatura vs tiempo del recubrimiento NANOFLEX VP12, Región Litoral

### Interpretación de resultados:

De acuerdo al gráfico de potencia se observa que no existen diferencias significativas en la potencia de ambas células fotovoltaicas, al igual que en el primer recubrimiento, en todos los puntos de la gráfica prácticamente coinciden ambas líneas de función. La diferencia de potencia promedio de ambas líneas es de 0,0038 W, llegando a la más alta cuando la irradiación oscila entre valores de 700 a 1000 w/m<sup>2</sup>.

En la gráfica del rendimiento se ve una marcada diferencia entre ambas líneas de función, en este caso se ve una diferencia distribuida igualmente en casi todos los puntos de la gráfica con un promedio de variación de 0,12%, especialmente en los días en donde la irradiación no es relativamente alta y existe un buen nivel de temperatura y baja humedad. En la gráfica de temperatura se puede apreciar que la temperatura de la célula con recubrimiento es menor que la célula sin recubrir, siendo en promedio 3 grados menor, esta diferencia es mayor cuando la irradiación se acerca a los 1000 w/ m<sup>2</sup>.



Figura 25: Análisis de potencia vs tiempo del recubrimiento Experimental, Región Litoral



Figura 26: Análisis de temperatura vs tiempo del recubrimiento Experimental, Región Litoral

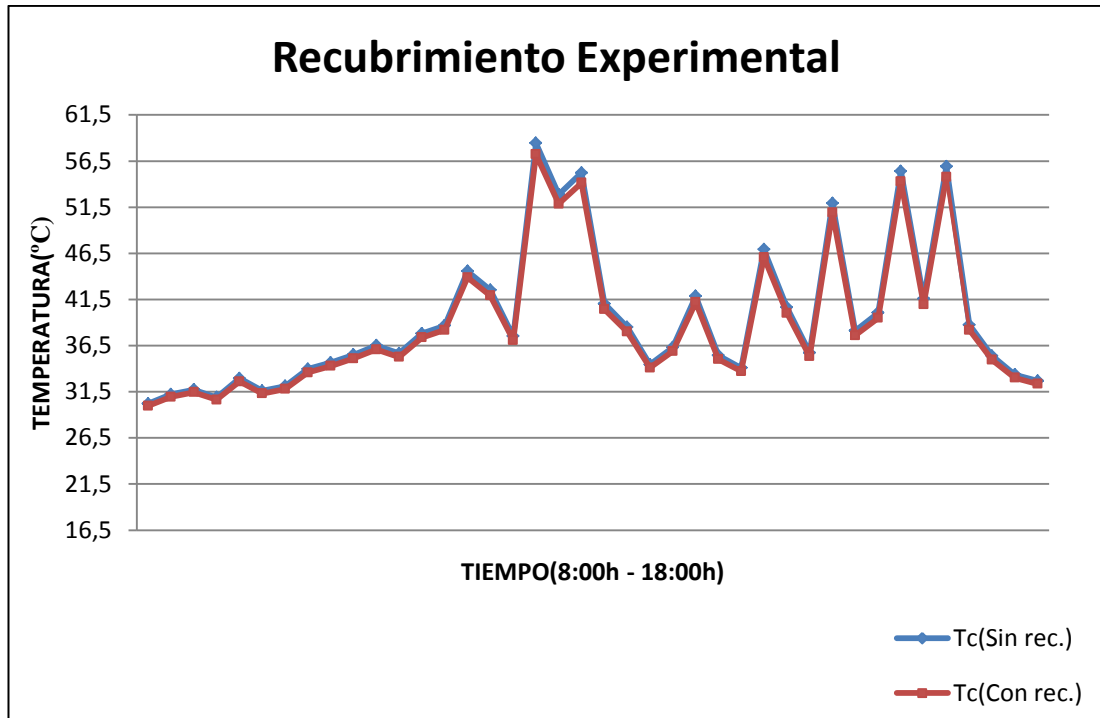


Figura 27: Análisis de temperatura vs tiempo del recubrimiento Experimental, Región Litoral

### Interpretación de resultados:

De acuerdo al gráfico se observa que no existen diferencias significativas en la potencia de ambas células fotovoltaicas, al igual que en el primer y segundo recubrimiento, en todos los puntos de la gráfica prácticamente coinciden ambas líneas de función. La diferencia promedio entre las potencias de ambas líneas es de 0,0026 w, llegando a la más alta cuando la irradiación se encuentra entre 800 y 1000 w/m<sup>2</sup>.

En la gráfica del rendimiento se nota una diferencia en las líneas de función, específicamente en las horas en donde la irradiación no es muy alta o menor a 500 w/m<sup>2</sup>. De acuerdo a los parámetros climáticos obtenidos en esas horas la temperatura y la humedad fueron normales.

En la gráfica de temperatura se puede notar que existe una diferencia entre ambas células recubierta y no recubierta, pero esta diferencia no es muy amplia llegando en promedio a un grado centígrado.





Figura 28: Análisis de potencia vs tiempo del recubrimiento Mica de vidrio, Región Litoral

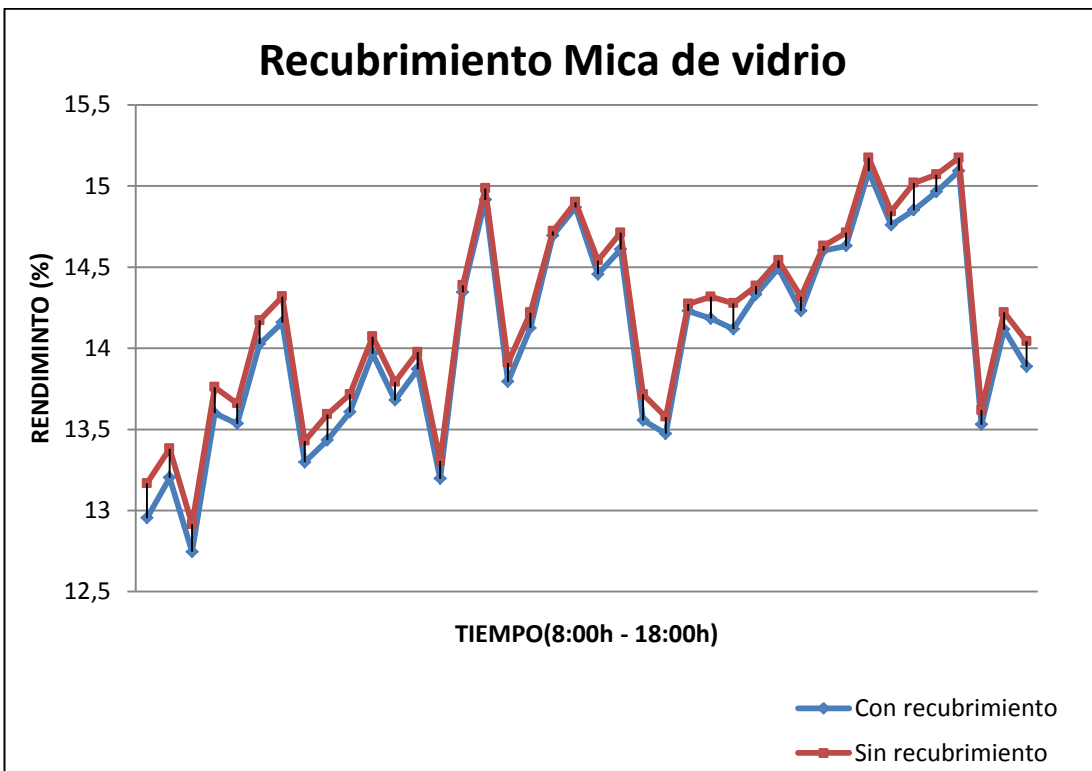


Figura 29: Análisis de rendimiento vs tiempo del recubrimiento Experimental, Región Litoral

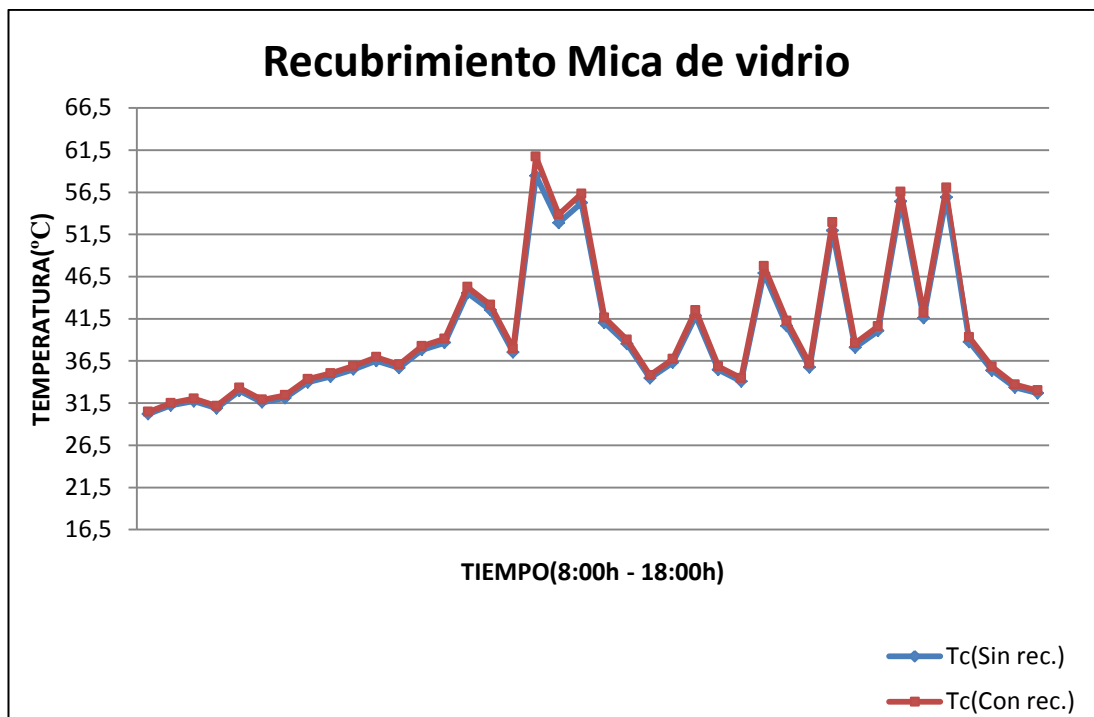


Figura 30: Análisis de temperatura vs tiempo del recubrimiento Mica de vidrio, Región Litoral

### Interpretación de resultados:

De acuerdo al gráfico se observa que no existen diferencias significativas en la potencia de ambas células fotovoltaicas, al igual que en el primero, segundo y tercer recubrimiento, en todos los puntos de la gráfica prácticamente coinciden ambas líneas de función. Pero esta diferencia entre las potencias de ambas líneas es negativa y se encuentra en un valor de  $-0,0032$  w.

En la gráfica del rendimiento se nota ya una diferencia en las líneas de función, pero se presenta en muchos tramos de la gráfica una diferencia negativa entre ambas líneas, específicamente en las horas en donde la irradiación es relativamente alta, se aprecia una amplia diferencia en el rendimiento, de acuerdo a los parámetros climáticos obtenidos en esas horas la humedad fue relativamente alta encontrándose entre el 85 y 95% de humedad.

La temperatura fue aproximadamente un grado mayor en comparación a la célula sin recubrir.

## ANÁLISIS REGIÓN INTERANDINA

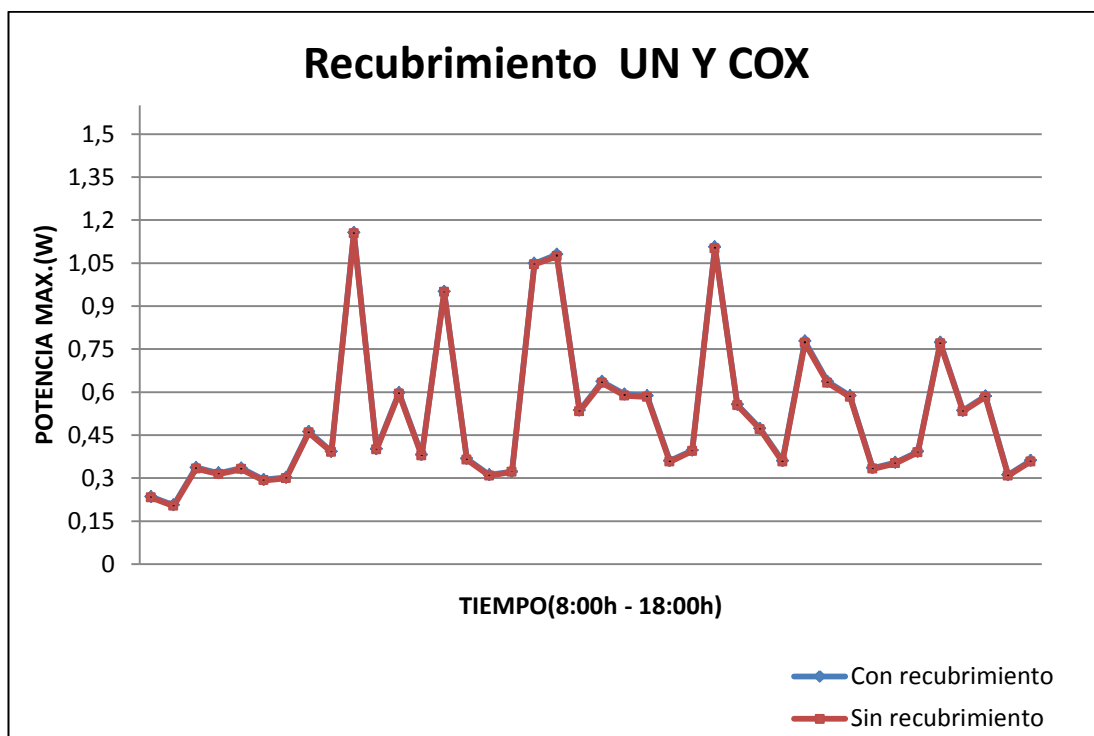


Figura 31: Análisis de potencia vs tiempo del recubrimiento UN Y COX, Región Interandina

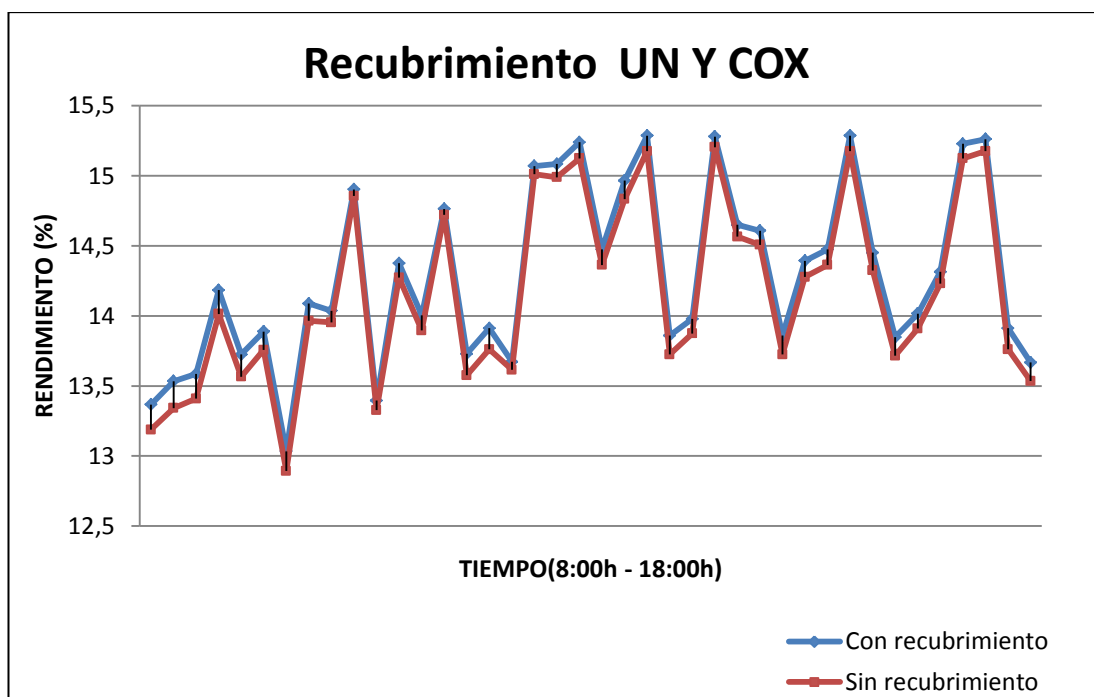


Figura 32: Análisis de rendimiento vs tiempo del recubrimiento UN Y COX, Región Interandina

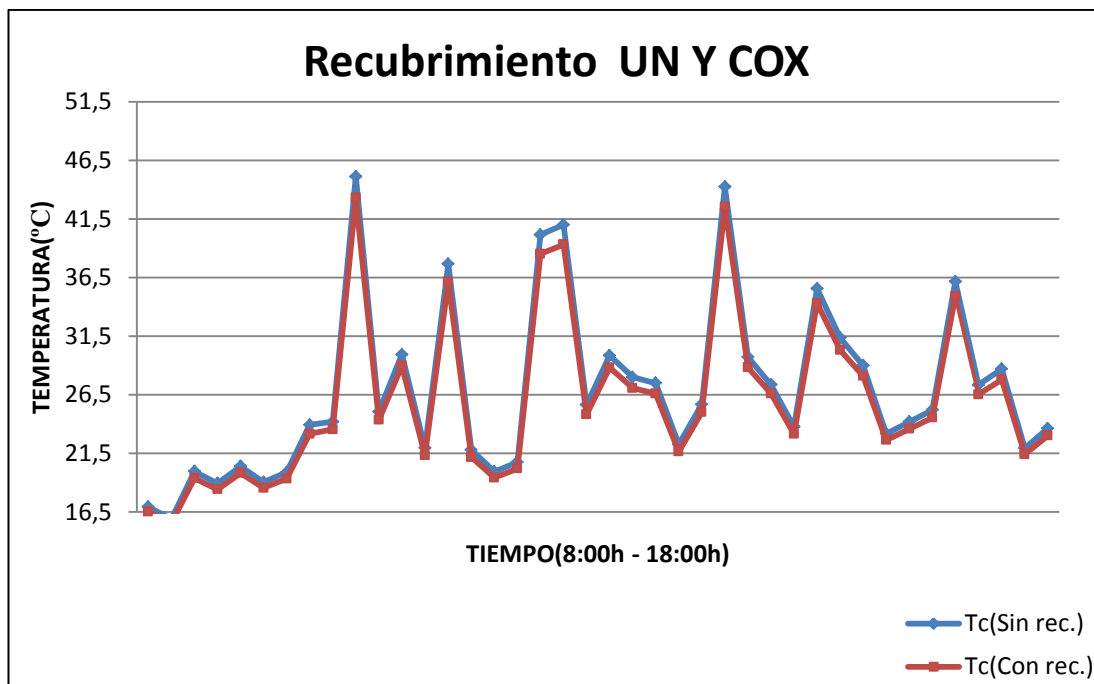


Figura 33: Análisis de temperatura vs tiempo del recubrimiento UN Y COX, Región Interandina

### Interpretación de resultados:

De acuerdo al gráfico se observa que no existen diferencias significativas en la potencia de ambas células fotovoltaicas, en todos los puntos de la gráfica prácticamente coinciden ambas líneas de función, la diferencia promedio en su potencia es de 0,0037 w.

En la gráfica del rendimiento se puede notar una diferencia entre ambas líneas de función, y se aprecia que la línea de “con recubrimiento” es superior en todos los puntos, especialmente en las horas en donde la irradiación es ligeramente baja oscilando entre los 150 y 400 w/m<sup>2</sup>.

En la gráfica de temperatura se puede apreciar que es menor la temperatura de la célula con recubrimiento siendo en promedio 1,5 grados menor que la temperatura de la célula sin recubrir, esta diferencia aumenta cuando la irradiación incidente sobre las células se acerca a los 1000 w/m<sup>2</sup>.

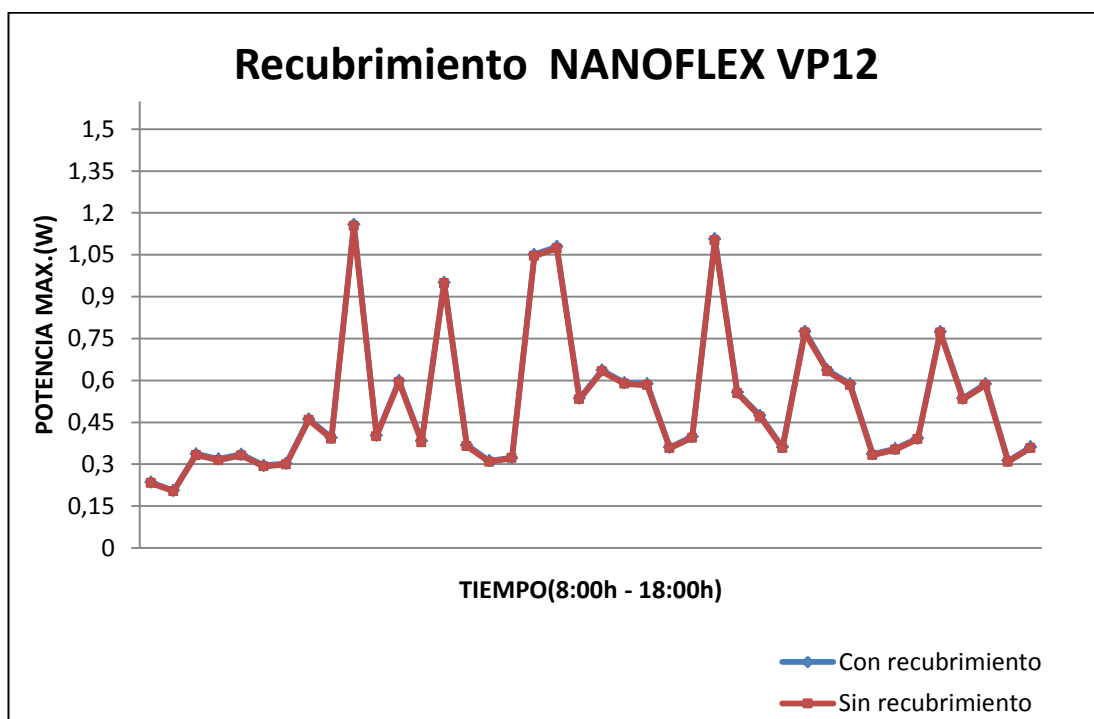


Figura 34: Análisis de potencia vs tiempo del recubrimiento NANOFLEX VP12, Región Interandina

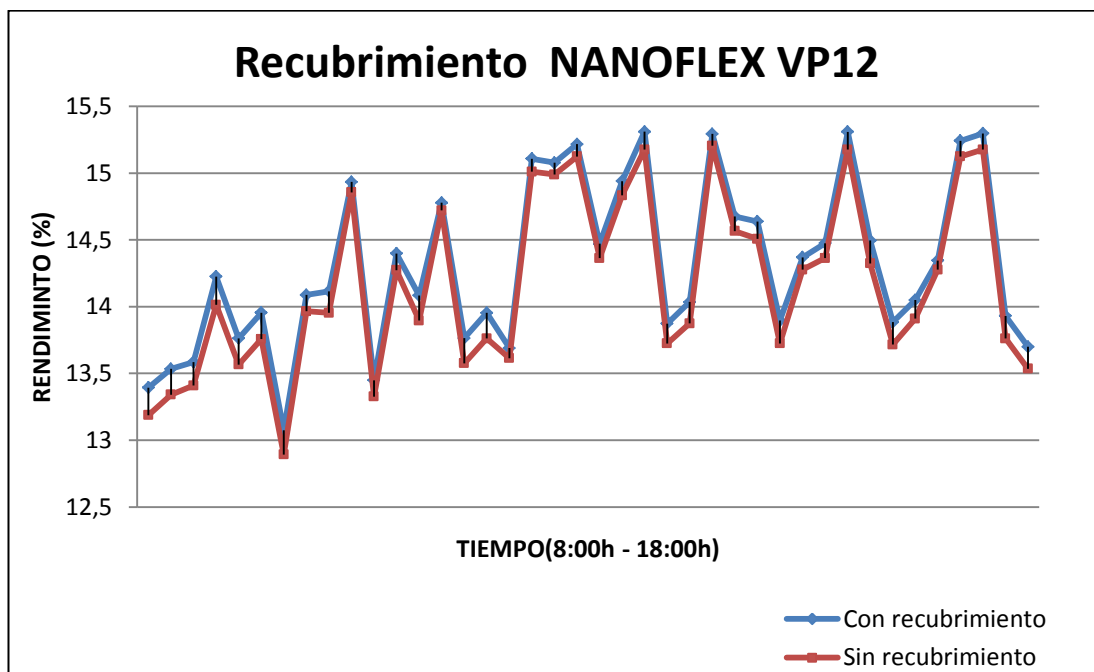


Figura 35: Análisis de rendimiento vs tiempo recubrimiento NANOFLEX VP12, Región Interandina

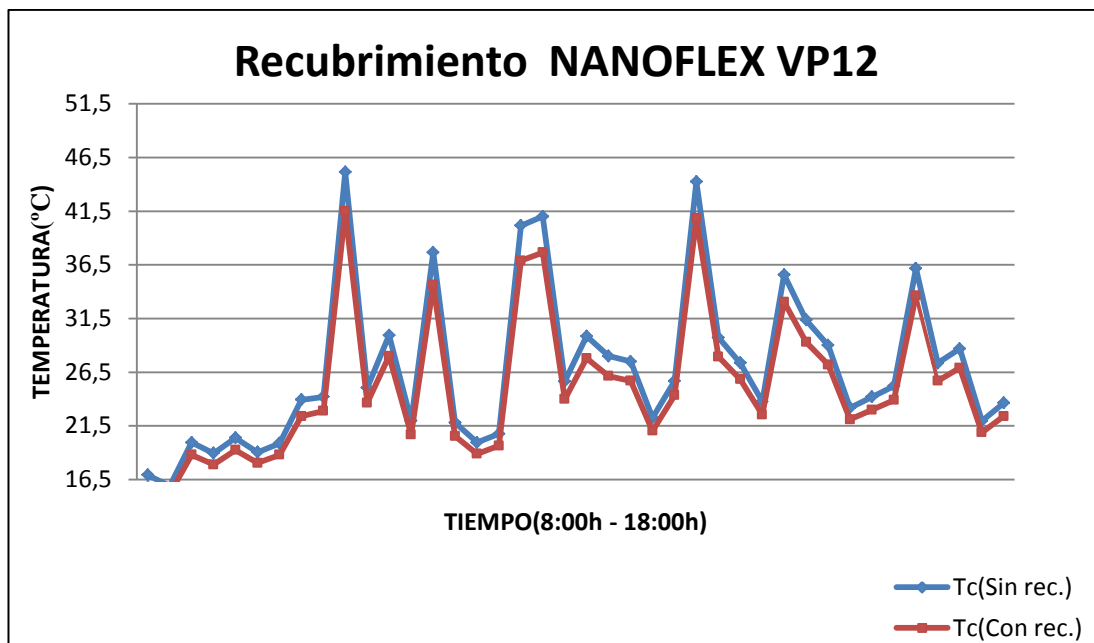


Figura 36: Análisis de temperatura vs tiempo recubrimiento NANOFLEX VP12, Región Interandina

### Interpretación de resultados:

De acuerdo al gráfico de potencia se observa que no existen diferencias significativas en la potencia de ambas células fotovoltaicas, al igual que en el primer recubrimiento, en todos los puntos de la gráfica prácticamente coinciden ambas líneas de función. La diferencia de potencia promedio de ambas líneas es de 0,0045 W, llegando a la más alta cuando la irradiación oscila entre valores de 750 a 1000 w/m<sup>2</sup>.

En la gráfica del rendimiento se ve una marcada diferencia entre ambas líneas de función, en este caso se ve una diferencia distribuida igualmente en casi todos los puntos de la gráfica con un promedio de diferencia de 0,14%, especialmente en los días en donde la irradiación no es relativamente alta y existe un buen nivel de temperatura y baja humedad. En la gráfica de temperatura se puede apreciar que la temperatura de la célula con recubrimiento es menor que la célula sin recubrir, siendo en promedio de aproximadamente 3 grados menor, esta diferencia es mayor cuando la irradiación se acerca a los 1000 w/ m<sup>2</sup>.



Figura 37: Análisis de potencia vs tiempo del recubrimiento Experimental, Región Interandina

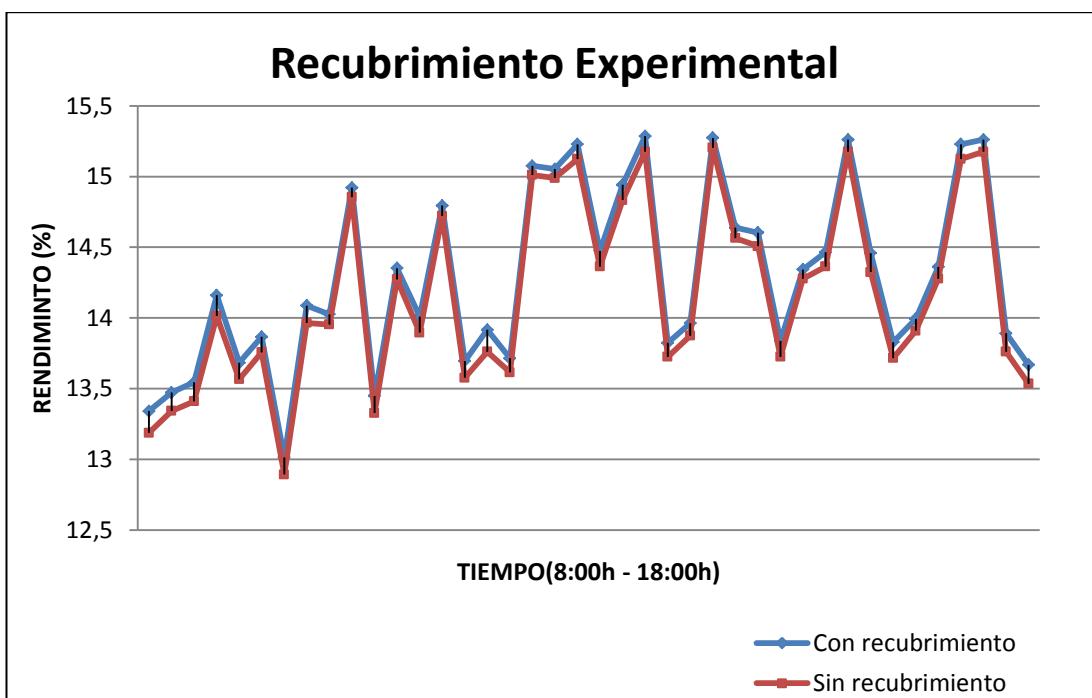


Figura 38: Análisis de rendimiento vs tiempo del recubrimiento Experimental, Región Interandina

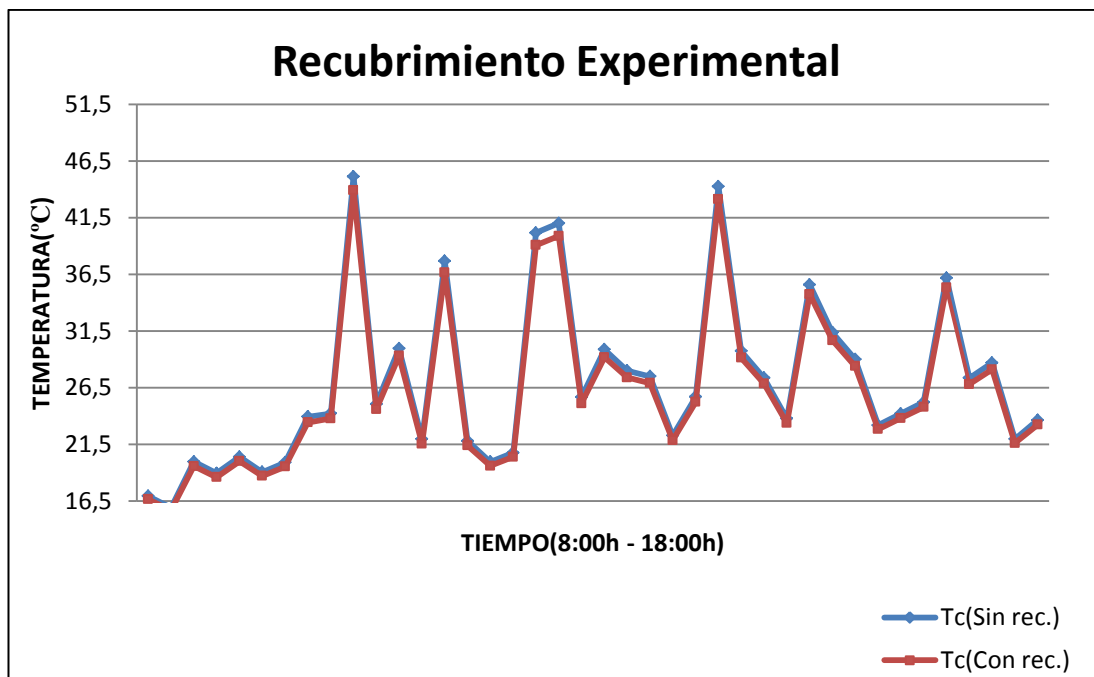


Figura 39: Análisis de temperatura vs tiempo del recubrimiento Experimental, Región Interandina

### Interpretación de resultados:

De acuerdo al gráfico se observa que no existen diferencias significativas en la potencia de ambas células fotovoltaicas, al igual que en el primer y segundo recubrimiento, en todos los puntos de la gráfica prácticamente coinciden ambas líneas de función. La diferencia promedio entre las potencias de ambas líneas es de 0,0034 w, llegando a la más alta cuando la irradiación se encuentra entre 700 y 1000 w/m<sup>2</sup>.

En la gráfica del rendimiento se nota una diferencia en las líneas de función, específicamente en las horas en donde la irradiación no es muy alta o menor a 450 w/m<sup>2</sup>. De acuerdo a los parámetros climáticos obtenidos en esas horas la temperatura y la humedad fueron en comparación de otros días normales.

En la gráfica de temperatura se puede notar que existe una diferencia entre ambas células recubierta y no recubierta, pero esta diferencia no es muy amplia llegando en promedio a un grado centígrado de diferencia.



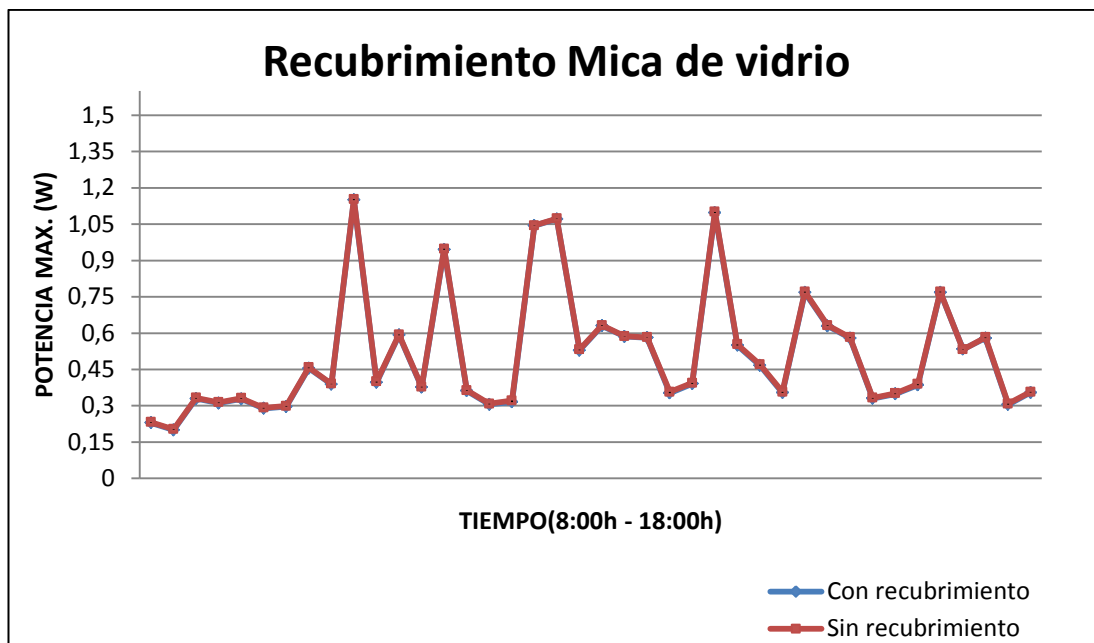


Figura 40: Análisis de potencia vs tiempo del recubrimiento Mica de vidrio, Región Interandina

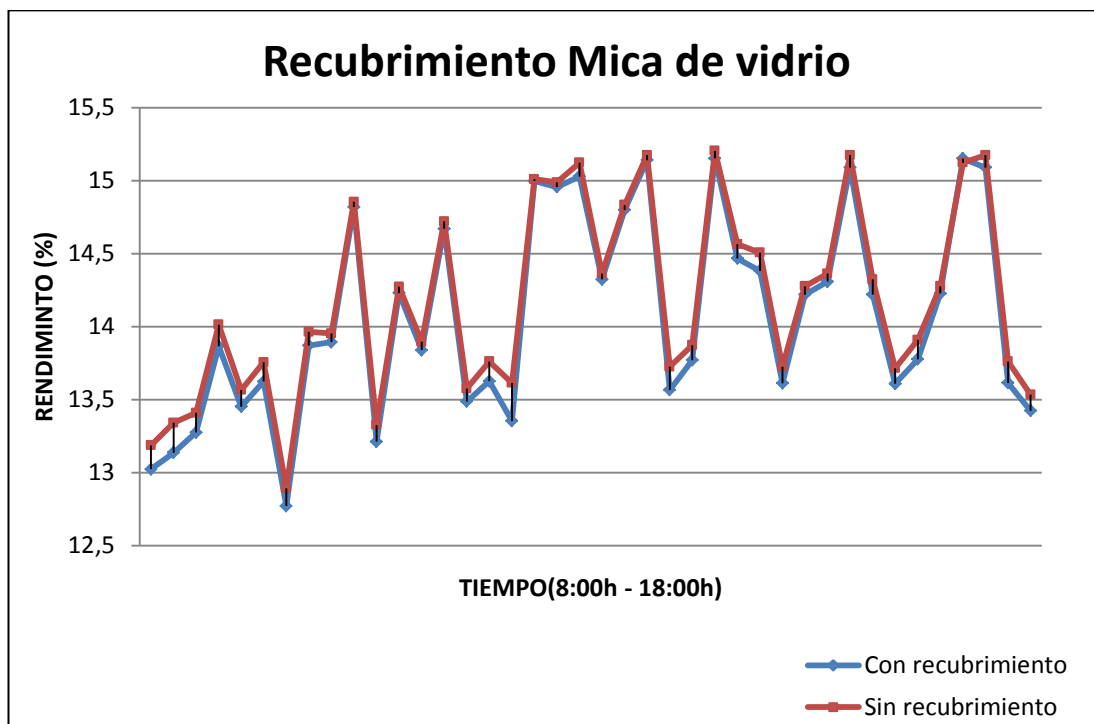


Figura 41: Análisis de rendimiento vs tiempo del recubrimiento Mica de vidrio, Región Interandina

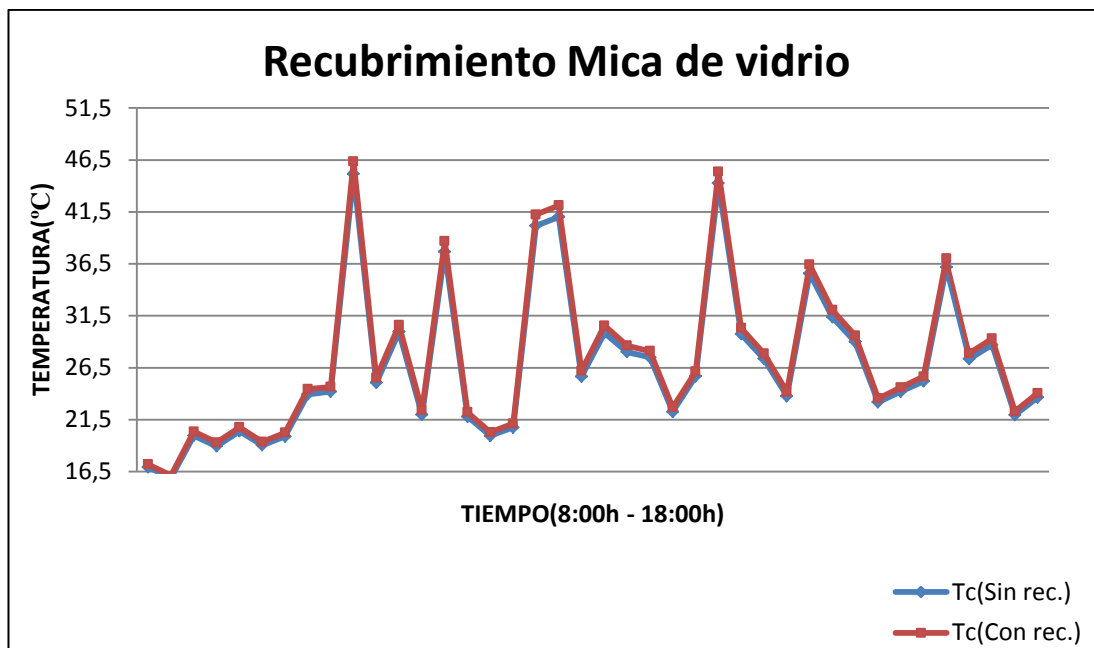


Figura 42: Análisis de temperatura vs tiempo del recubrimiento Mica de vidrio, Región Interandina

### Interpretación de resultados:

De acuerdo al gráfico se observa que no existen diferencias significativas en la potencia de ambas células fotovoltaicas, al igual que en el primero, segundo y tercer recubrimiento, en todos los puntos de la gráfica prácticamente coinciden ambas líneas de función. Pero esta diferencia entre las potencias de ambas líneas es negativa y se encuentra en un valor de  $-0,0028 \text{ w}$ .

En la gráfica del rendimiento se nota ya una diferencia en las líneas de función, pero se presenta en muchos tramos de la gráfica una diferencia negativa entre ambas líneas, específicamente en las horas en donde la irradiación es relativamente baja de entre  $100$  y  $250 \text{ W//m}^2$ , se aprecia una amplia diferencia en el rendimiento, de acuerdo a los parámetros climáticos obtenidos en esas horas la humedad fue relativamente alta encontrándose entre el  $60$  y  $85\%$  de humedad.

La temperatura fue aproximadamente  $0,8$  grados mayor en comparación a la célula sin recubrir.

### 3.3. Comprobación de la hipótesis

Antes de comprobar la hipótesis se planteó una afirmativa y una nula:

#### **Hipótesis afirmativa (h1):**

” Los recubrimientos superficiales de NANOFLEX VP12 son más factibles para la protección de la suciedad de los módulos fotovoltaicos en la región Interandina y Litoral”

#### **Hipótesis nula (h0):**

” Los recubrimientos superficiales de NANOFLEX VP12 no son más factibles para la protección de la suciedad de los módulos fotovoltaicos en la región Interandina y Litoral”

REGIÓN LITORAL:

Para la comprobación estadística se planteó lo siguiente:

$$h_1 = \mu > 3 \text{ mW (Dato obtenido de la tabla 6)}$$

$$H_0 = \mu \leq 3 \text{ mW}$$

Para comprobar si el recubrimiento de NANOFLEX VP12 es superior en comparación de los otros recubrimientos se tomó un nivel de significancia de 0,05. Para realizar esta comprobación se utilizó la estadística de prueba Z ya que el número de datos obtenidos supera los 30. Se utilizó una distribución muestral para el estadístico Z de una cola.

H0 es rechazada si  $Z > 1,65$

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

$$Z = \frac{3,8mW - 3 mW}{1,03/\sqrt{40}}$$

$$Z = 5,06$$

$X =$  Media aritmetica de diferencias del recubrimiento NANOFLEX (tabla 9)

$\mu =$  Media aritmetica de diferencias del recubrimiento UN Y COX (tabla 6)

$\sigma =$  Desviacion estandar de los datos de NANOFLEX

$n =$  numero de datos obtenidos

$H_0$  es rechazada, concluimos que el recubrimiento de NANOFLEX VP12 es más factible que los recubrimientos utilizados en la región LITORAL.

## REGIÓN INTERANDINA

Para la comprobación estadística se planteó lo siguiente:

$h_1 = \mu > 3,7 \text{ mW}$  (Dato obtenido de la tabla 18)

$H_0 = \mu \leq 3,7 \text{ mW}$

Para comprobar si el recubrimiento de NANOFLEX VP12 es superior en comparación de los otros recubrimientos se tomó un nivel de significancia de 0,05. Para realizar esta comprobación se utilizó la estadística de prueba  $Z$  ya que el número de datos obtenidos supera los 30. Se utilizó una distribución muestral para el estadístico  $Z$  de una cola

$H_0$  es rechazada si  $Z > 1,65$

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

$$Z = \frac{4,5 \text{ mW} - 3,7 \text{ mW}}{0,97/\sqrt{40}}$$

$$Z = 5,21$$

$X =$  Media aritmetica de diferencias del recubrimiento NANOFLEX (tabla 21)

$\mu =$  Media aritmetica de diferencias del recubrimiento UN Y COX (tabla 18)

$\sigma =$  Desviacion estandar de los datos de NANOFLEX

$n =$  numero de datos obtenidos

$H_0$  es rechazada, concluimos que el recubrimiento de NANOFLEX VP12 es más factible que los recubrimientos utilizados en la región INTERANDINA.

#### IV. CONCLUSIONES

- Los recubrimientos evaluados en esta investigación mostraron mejores resultados en la región interandina en comparación con la región litoral, con diferencias prácticamente semejantes entre cada recubrimiento en ambas regiones, siendo más efectivos en la región interandina por sus condiciones climáticas.
- Los recubrimientos que estuvieron formados en su estructura molecular por el compuesto de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), mostraron mejores resultados tanto en la región litoral como interandina.
- El recubrimiento de NANOFLEX VP12 mostro un mejor desempeño contra la suciedad y factores ambientales al finalizar el mes de estudio tanto en la región Litoral como Interandina con una diferencia en su potencia de 3,8 y 4,5 mW respectivamente.
- El recubrimiento experimental no resulto como el más efectivo pero si resulto el más beneficioso en el análisis económico por su desempeño y costo en comparación de los demás recubrimientos.
- El recubrimiento menos efectivo, que mostro resultados negativos fue el de mica de vidrio que al principio mostro un desempeño casi semejante a los otros pero rápidamente bajo su desempeño, incluso menor desempeño que la célula fotovoltaica sin recubrimiento.

**Recomendaciones:**

- Se recomienda utilizar el recubrimiento experimental para proteger de la suciedad a los módulos fotovoltaicos, por su desempeño y bajo costo.
- Se recomienda utilizar un compresor si se va a utilizar el recubrimiento experimental para una mejor uniformidad de la capa sobre la superficie.
- No es recomendable utilizar recubrimientos solidos sobre la superficie del panel ya que tienden a formar suciedad en su superficie con facilidad como el recubrimiento de mica de vidrio que se utilizó en la investigación.

## V. REFERENCIAS

- 3M Anti Reflection Coatings. (2015). *Anti Reflection Coatings*. USA.
- 3M Products for solar energy. (2015). *Product and films*. USA.
- ADROX. (2015). *ADROX*. Obtenido de ADROX: [http://adrox.cl/wp-content/uploads/2015/04/PowerSun-adrox.cl\\_.pdf](http://adrox.cl/wp-content/uploads/2015/04/PowerSun-adrox.cl_.pdf)
- ADROX. (2015). *ADROX*. Obtenido de ADROX: <http://adrox.cl/servicios/>
- Agency, I. E. (3 de DICIEMBRE de 2011). *International Energy Agency*. Obtenido de International Energy Agency:  
<http://www.iea.org/Textbase/npsun/solar2011SUM.pdf>
- ARMOR, V. (15 de 4 de 2015). *VENOM ARMOR* . Obtenido de <https://www.venomarmor.com/blogs/news/tagged/vidrio-templado>
- Bejarano, N. A. (2011). “DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SOLAR PARA LA ILUMINACIÓN EXTERNA DEL MODULAR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ECOTURISMO”. *TESIS ESPOCH*, 7-8.
- BEJARANO, N. Á. (2011). DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SOLAR PARA LA ILUMINACIÓN EXTERNA DEL MODULAR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ECOTURISMO. En N. Á. BEJARANO. Riobamaba.
- Carrasco, D. P. (23 de Febrero de 2011). Mantenimiento y Calibracion de una Estacion Radiometrica. En D. P. Carrasco, *Mantenimiento y Calibracion de una Estacion Radiometrica* (págs. 6-8). Sevilla.
- CHUQUÍN VASCO NELSON SANTIAGO, M. S. (2011). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA PUBLICITARIO ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR. En M. S. CHUQUÍN VASCO NELSON SANTIAGO, *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA PUBLICITARIO ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR* (pág. 50). RIOBAMABA.

- CIE. (26 de Septiembre de 2013). *SOLAR CIE*. Obtenido de SOLAR CIE:  
[http://www.energia.org.ec/cie/?page\\_id=39](http://www.energia.org.ec/cie/?page_id=39)
- CONELEC. (2008). *ATLAS SOLAR DEL ECUADOR*. Quito.
- Dr. Dan Chen. (7 de Octubre de 2013). *Solarnovus*. Obtenido de Solarnovus:  
[http://www.solarnovus.com/a-new-technology-improves-pv-module-efficiency\\_N7034.html](http://www.solarnovus.com/a-new-technology-improves-pv-module-efficiency_N7034.html)
- Ena, R. C. (2008). *Métodos y técnicas de investigación*.
- Energy, 3. P. (2015). *3M*. Obtenido de 3M: [www.3M.com/solar](http://www.3M.com/solar)
- Ernesto de la Torre, R. N. (s.f.). Metodología de Investigación. En R. N. Ernesto de la Torre, *Metodología de Investigación* (pág. 3).
- Esco-tel. (2013). *esco-tel.com*. Obtenido de esco-tel.com: [http://www.esco-tel.com/paneles\\_solares\\_monocristalinos\\_vs\\_policristalinos.html](http://www.esco-tel.com/paneles_solares_monocristalinos_vs_policristalinos.html)
- Escuela Técnica IPEM 56 Abraham Juarez. (s.f.). *Escuela Técnica IPEM 56 Abraham Juarez*. Obtenido de  
<http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/institucional.html>
- Fan, S. (24 de SEPTIEMBRE de 2015). *NCYT AMAZINGS*. Obtenido de NCYT AMAZINGS: <http://noticiasdela-ciencia.com/not/16186/recubrimiento-transparente-para-disipar-calor-perjudicial-de-paneles-solares-y-aumentar-su-eficiencia>
- FIG. ueroa, D. I. (2002). *PSICROMETRÍA, METODOS DE HUMIDIFICACION*. Guadalajara.
- GREENPEACE. (Septiembre de 2008). *GREENPEACE*. Obtenido de GREENPEACE:  
<http://www.greenpeace.org/espana/es/news/2010/November/la-energ-a-solar-puede-dar-ele/>



- Hernandez, P. (8 de Agosto de 2014). *Pedro J Hernandez*. Obtenido de Pedro J Hernandez: <http://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>
- IEA. (AGOSTO de 2013). *IEA*. Obtenido de INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: <http://www.eluniverso.com/2012/01/08/1/1430/energia-renovable-cubre-129-demanda-mundial.html>
- Isabel, V. H. (18 de Diciembre de 2005). *Tipos de estudio y métodos de investigación*. Obtenido de <http://www.gestiopolis.com/tipos-estudio-metodos-investigacion/>
- Javier Mendez, R. C. (2007). ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. En R. C. Javier Mendez, *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA* (pág. 27). ESPAÑA.
- LAMIGUEIRO, O. P. (2011). ENERGIA SOLAR Fotovoltaica. En O. P. LAMIGUEIRO, *ENERGIA SOLAR Fotovoltaica* (págs. 46-48). España.
- Lorenzo, E. (7 de Septiembre de 2006). *Radiacion solar y dispositivos fotovoltaicos*. Obtenido de WIKIPEDIA: [https://es.wikipedia.org/wiki/Panel\\_fotovoltaico](https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico)
- Lorenzo, E. (2006). RADIACION SOLAR Y DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS. En E. Lorenzo, *RADIACION SOLAR Y DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS* (pág. 52). Madrid.
- Marin, C. E. (2004). La energia solar fotovoltaica en España. En C. E. Marin, *La energia solar fotovoltaica en España* (pág. 7).
- meteo-technology. (2014). *meteo-technology*. Obtenido de meteo-technology: <http://www.meteo-technology.com/solar.htm>
- Moreno, R. P. (30 de Abril de 2013). *energias-renovables-y-limpias.blogspot*. Obtenido de energias-renovables-y-limpias.blogspot: <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2013/04/que-panel-comprar-monocristalino-o-policristalino.html>

- Moya, E. Z. (2014). *CIEMAT*. Obtenido de CIEMAT:  
[http://web.archive.org/web/20080926103027/http://www2.ciemat.es/actividad/programas/p\\_er\\_sistconcsolar.html](http://web.archive.org/web/20080926103027/http://www2.ciemat.es/actividad/programas/p_er_sistconcsolar.html)
- NANO DEPOT. (2015). *NANO DEPOT*. Obtenido de NANO DEPOT.
- NANORECUBRE. (2014). *NANORECUBRE*. Obtenido de NANORECUBRE:  
[http://nanorecubre.com/app/articulo/NANOFLEX\\_VP12-40](http://nanorecubre.com/app/articulo/NANOFLEX_VP12-40)
- paneles-fotovoltaicos.blogspot. (Julio de 2013). *paneles-fotovoltaicos.blogspot*.  
Obtenido de paneles-fotovoltaicos.blogspot: <http://paneles-fotovoltaicos.blogspot.com/2013/01/que-es-y-como-funciona-un-panel.html>
- PROTEGGA. (2014). *PROTEGGA*. Obtenido de PROTEGGA:  
<http://www.protegga.com.mx/hitech/depot/residencial/vidrioyceramica/>
- Renedo, C. J. (s.f.). *PSICROMETRIA EN LA REFRIGERACION*.
- Serra, E. J. (1997). ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS SUAVIZANTES TEXTILES DE. *SUAVISANTES TEXTILES DE SILICONA*, 62.
- Sista Coat Spain. (2010). *SISTACOAT*. Obtenido de SISTACOAT:  
<http://www.sistacoat.es/arcoat/arcoat.htm>
- SISTACOAT. (Agosto de 2010). *AR-COAT*. Obtenido de AR-COAT:  
<http://www.sistacoat.es/arcoat/arcoat.htm>
- Solarnovus. (4 de Octubre de 2013). *Energeticafutura*. Obtenido de Energeticafutura:  
<https://energeticafutura.com/blog/novedoso-revestimiento-para-paneles-solares-que-repele-el-polvo/>
- Sol-arq. (2014). *Sol-arq*. Obtenido de Sol-arq: <http://www.sol-arq.com/index.php/factores-ambientales>
- UNYCOX. (2016). *UNYCOX*. Obtenido de UNYCOX:  
<http://www.unycox.com/index.php/empresa>

VENOMARMOR. (1 de Abril de 2015). *VENOMARMOR*. Obtenido de  
VENOMARMOR: <https://www.venomarmor.com/blogs/news/18032073-5-razones-por-que-usar-una-mica-de-vidrio-templado>