



# **UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI**

## **FACULTAD DEL HABITAT**

**"Termo-Higrómetro Foto-bio-electroquímico Simbiótico y Humidificador Pétreo"**

Implementación de la Tecnología de Celdas de Combustible Microbianas base Planta (MFCbP) en el Diseño de Productos.

Tesis por investigación que para obtener el título de

**Licenciado en Diseño Industrial**

Presenta

José Antonio Gutiérrez Rangel

Directora de tesis:

Dra. Claudia Ramírez Martínez

Sinodales:

Mtra. Ma. De Jesús de la Mora Martínez

Mch. Norma Julieta Soriano Pérez

San Luis Potosí, S. L. P., Septiembre 2018

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Dedicatoria</i> .....   | 6         |
| <i>Agradecimientos</i> .....   | 7         |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>9</b>  |
| <i>Definición del problema</i> .....   | 11        |
| <i>Usuario</i> .....   | 11        |
| <i>Objetivo general</i> .....  | 11        |
| <i>Objetivos específicos:</i> .....  | 11        |
| <i>Límites del proyecto:</i> .....   | 11        |
| <i>Justificación</i> .....   | 12        |
| <i>Alcances</i> .....  | 13        |
| <i>Recursos</i> .....  | 13        |
| <i>Antecedentes del problema</i> .....   | 15        |
| <b>INVESTIGACIÓN .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>METODOLOGÍA DEL PROYECTO</b> .....  | <b>17</b> |
| <i>Proyectos de diseño industrial partiendo de nuevas tecnologías.</i> .....                               | 17        |
| Introducción .....   | 17        |
| <i>Visión estratégica</i> .....  | 18        |
| <i>Metodología del proyecto</i> .....  | 19        |
| Estructura completa del proyecto.....  | 20        |
| 1.-Macro Estructura <b>Fundamentación</b> :.....   | 20        |
| 2.- Macro Estructura <b>Conceptualización</b> :.....   | 21        |
| 3.- Macro Estructura <b>Diseño</b> : .....   | 21        |
| 4.- Macro Estructura <b>Evaluación</b> :.....  | 22        |
| FUNDAMENTACIÓN:.....   | 23        |
| <i>Procesos foto-bio-electroquímicos</i> .....   | 23        |
| Bacterias con actividad eléctrica .....  | 24        |
| Sistema Bioelectroquímicos (BES) .....   | 25        |
| Celdas de Combustible Microbianas (CCMs).....  | 26        |
| Sistemas Biofotovoltaicos (BPV).....   | 27        |
| Celda de combustible microbiana fotosintética compleja o fotoCCM .....                                     | 28        |
| <i>Selección de tipo de dispositivo biofotovoltaico para la obtención de energía biofotovoltaica</i> ..... | 33        |

|  |           |
|--|-----------|
| Objetivo técnico del proyecto o problema específico a resolver .....                               | 34        |
| <i>Creación de una Celda de combustible microbiana fotosintética compleja o (FotoCCM 1).....</i>   | <i>34</i> |
| .....  | 35        |
| Resumen de experimentos 1,2,3 y 4 .....  | 35        |
| Experimento #1 FotoCCM 1 .....   | 35        |
| Experimento #2 Encender un LED .....   | 37        |
| Experimento #3 y 4 Variaciones en CCM y Carbón Vegetal .....                                       | 37        |
| Conclusiones de experimentos 1,2,3 y 4.....  | 39        |
| <i>Productos existentes.....</i>   | <i>40</i> |
| Análisis de productos existentes .....   | 48        |
| Selección de configuración para Foto Celda de Combustible Microbiana Compleja. ....                | 50        |
| ¿Cómo decidir qué tipo de configuración usar?.....   | 50        |
| <i>Elementos de problema técnico: .....</i>  | <i>52</i> |
| <i>Organismos Vivos .....</i>  | <i>53</i> |
| Organismo autótrofo.....   | 53        |
| Elección de organismo autótrofo .....  | 53        |
| Musgo .....  | 54        |
| El musgo en los sistemas biofotovoltaicos .....  | 56        |
| Los acrocarpous .....  | 57        |
| Los pleurocarpous.....   | 58        |
| Condiciones del suelo para musgo.....  | 58        |
| Usuario y el musgo.....  | 59        |
| El musgo en el producto y mercado.....   | 59        |
| Selección de especies.....   | 60        |
| Conclusión, las especies que se utilizaran .....   | 61        |
| Bacterias heterotróficas .....   | 64        |
| Bacterias heterotróficas en los dispositivos biofotovoltaicos .....                                | 64        |
| <i>Celda de combustible microbiana: .....</i>  | <i>66</i> |
| Arquitectura Y Funcionamiento De Las Celdas De Combustible Microbianas.....                        | 67        |
| Sustratos .....  | 71        |
| Transferencia extracelular de electrones .....   | 74        |
| Contenedor .....   | 75        |
| Ánodo .....  | 80        |
| Cátodo .....   | 81        |
| Membrana separadora de cámara anódica y catódica o Membrana de intercambio de protones (MIP) ..... | 83        |
| Diferentes configuraciones Conocidas de Celdas de Combustible Microbianas. ....                    | 84        |
| Circuito exterior .....  | 86        |
| <i>Componentes eléctricos.....</i>   | <i>87</i> |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Construcción FotoCCM 1.....</i>                                     | 88  |
| Descripción.....   | 88  |
| Bocetos .....  | 89  |
| Evaluación .....   | 92  |
| Conclusiones de la prueba .....  | 96  |
| Conclusiones de la FotoCCM1.....                                       | 96  |
| <i>FotoCCM 2 .....</i>   | 97  |
| Bocetos y producción .....   | 98  |
| Pruebas, mediciones y experimentación.....                             | 101 |
| Conclusiones sistema y celdas FotoCCM2.....                            | 108 |
| <i>FotoCCM 3 .....</i>   | 111 |
| Experimentación .....  | 111 |
| Piedra Volcánica .....   | 112 |
| Tezontle.....  | 113 |
| Cantera.....   | 113 |
| Rendimiento.....   | 115 |
| Conclusiones FotoCCM4.....   | 118 |
| Conclusiones de FotoCCM 1,2 y 3 .....                                  | 119 |
| <i>Análisis final sobre los materiales .....</i>                       | 120 |
| Musgo .....  | 120 |
| <i>Conclusión Macro estructura Fundamentación.....</i>                 | 122 |
| <b>2.- MACRO ESTRUCTURA CONCEPTUALIZACIÓN: .....</b>                   | 123 |
| <i>Introducción.....</i>   | 123 |
| <i>¿Que es factible de realizarse? .....</i>                           | 124 |
| Intereses del autor .....  | 124 |
| Experimentación y funciones descartadas .....                          | 127 |
| Descartando opciones.....  | 130 |
| Pantallas de cristal liquido.....                                      | 132 |
| Funciones aptas para el producto: higrómetro, reloj y termómetro. .... | 134 |
| El Termohigrómetro .....   | 135 |
| Humedad Relativa .....   | 136 |
| <i>Humedad Relativa y el Ser Humano. ....</i>                          | 138 |
| El Confort Higrotérmico .....  | 138 |
| Salud.....   | 140 |
| Vías respiratorias.....  | 140 |
| Ojos y la Película Lagrimal Precorneal.....                            | 141 |
| Conservación de bienes.....  | 144 |

|   |   |
|---|---|
| Importancia del monitoreo de la HR .....  | 144   |
| <i>Detección de oportunidad .....</i>   | <i>146</i>                                  |
| Psicometría .....   | 151   |
| Cartas Psicométricas .....  | 151   |
| Zona de confort higrotérmico .....  | 154   |
| ¿Dónde se ubica SLP en una carta psicométrica? .....                                    | 155   |
| Nivel de HR recomendados: .....   | 156   |
| <i>Función complementaria, Humidificador. ....</i>                                      | <i>157</i>                                  |
| Enfriadores evaporativos .....  | 157   |
| Humidificadores .....   | 158   |
| <i>Definición del Producto Por Realizar .....</i>                                       | <i>159</i>                                  |
| Problema de diseño específico.....  | 159   |
| Población a la cual estará dirigida el producto.....                                    | 159   |
| Concepto .....  | 162   |
| Tentativa de plan de Negocios .....   | 166   |
| <i>Premisas de diseño .....</i>   | <i>167</i>                                  |
| <i>Conclusión Macro Estructura Conceptualización .....</i>                              | <i>170</i>                                  |
| <b>3.- MACRO ESTRUCTURA DISEÑO: .....</b>   | <b>171</b>                                  |
| Bocetos.....  | 172   |
| Construcción de Modelos.....  | 172   |
| Evaluación de propuestas de diseño .....  | 173   |
| Experimentación .....   | 173   |
| Planos constructivos.....   | 174   |
| <i>Propuesta de Diseño.....</i>   | <i>175</i>                                  |
| FCCM 4 .....  | 178   |
| Plan de producción.....   | 182   |
| Producción de prototipo .....   | 183   |
| <b>4.- MACRO ESTRUCTURA EVALUACIÓN:.....</b>  | <b>184</b>                                  |
| Sistema mossby.....   | 185   |
| Fabricación.....  | 186   |
| Rendimiento .....   | 186   |
| Diseño .....  | 187   |
| Cuestiones a mejorar .....  | 187   |
| <i>Evaluacion sobre los objetivos declarados al principio de la Investigacion .....</i> | <i>188</i>                                  |
| <i>Objetivos específicos:.....</i>  | <i>192</i>                                  |
| <i>Conclusión.....</i>  | <i><b>¡Error! Marcador no definido.</b></i> |
| Humidificador Pétreo .....  | <i><b>¡Error! Marcador no definido.</b></i> |

|                  |     |
|------------------|-----|
| Eficiencia ..... | 188 |
| Diseño .....     | 188 |

## Dedicatoria

Muy tarde lo entendí, este proyecto de investigación es para que sea consultado,; es usted, interesado en la energía biofotovoltaica a quien está dedicado. Espero encuentres la información que buscas aquí. La tecnología biofotovoltaica es increíble, solo ciertos seres vivos tienen la escala correcta para estar donde sucede la acción química y, como ahora lo entendemos mejor que nunca, son predecibles, programables, la vida es acción. El biodiseño ofrece oportunidades para convertirnos en una sociedad sustentable. La vida y el aprovechamiento de sus procesos biológicos, sus rutas metabólicas, y por su naturaleza sustentable, la vuelven quizá, en la respuesta a nuestros problemas. Esta investigación pretende llevarnos un paso mas cerca hacia un futuro donde los humanos vivamos en armonía con nuestro entorno, pero el resto del camino, depende de usted también.

### ***All Watched Over by Machines of Loving Grace***

I like to think (and  
the sooner the better!)  
of a cybernetic meadow  
where mammals and computers  
live together in mutually  
programming harmony  
like pure water  
touching clear sky.

I like to think  
(right now, please!)  
of a cybernetic forest  
filled with pines and electronics  
where deer stroll peacefully  
past computers

as if they were flowers  
with spinning blossoms.

I like to think  
(it has to be!)  
of a cybernetic ecology  
where we are free of our labors  
and joined back to nature,  
returned to our mammal  
brothers and sisters,  
and all watched over  
by machines of loving grace

**- Richard Brautigan**

## Agradecimientos

Yo soy el resultado de mi entorno, el cual me moldeo, junto con mi genética, mi predisposición a pensar, decidir y hacer.

Y yo, cuando tuve que elegir un tema para el taller de síntesis X, pude escoger uno del que no sabia nada, por el hecho de que creía en mi lo suficiente como para pensar que lo podía lograr. “sacar electricidad de las plantas”.

Pero no solo fue el creer en mi, sabia que tenia el apoyo de mi madre, Marcela Rangel Aguiñaga, conmigo. Esta investigación inicio en enero del 2015, y termina en octubre de 2018. Cerca de 3 años y medio. La mayoría de los estudiantes no tienen las opciones que tuve yo, la capacidad de estudiar, investigar, y proyectar con una manutención para poder solo hacer eso y no, en cambio, la necesidad de trabajar para mantenerse económicamente. Es por ella, que esta investigación existe.

Gracias a Liliana Guerrero Torres, quien siendo mi novia gran parte de la universidad, me auxilio tantas veces y de manera tan trascendental, que me permitió elegir tomarme tanto tiempo para realizar esta investigación. Sin contar con su apoyo, estoy seguro hubiera reprobado, como mínimo, un semestre, lo que me hubiera causado “retrasos” en mi titulación, y con eso, hubiera aumentado mi motivación de terminar pronto la carrera, por lo que hubiera escogido un tema con el que estuviera familiarizado, o sencillo.

Al resto de mi familia, en especial a mi hermana Marcela por su conocimiento en biología y a Andrés Prieto en electrónica.

A mi asesora, la doctora Claudia Ramírez y a todos los investigadores que me auxiliaron en esta investigación. Desde una dirección o referencia a brindarme asesoría o materiales. Gracias al Instituto de Física y a Dra. Mildred Quintana, por brindar acceso a sus instalaciones, y apoyar con membrana iónica y fibra de carbono. Al Arquitecto Jorge Aguillón y a Dr. Miguel Gallegos por su asesoría en la evaluación de resultado.

## Introducción

En décadas recientes la actividad humana, ha llegado a desequilibrar los ecosistemas del planeta Tierra, a niveles que ya amenazan su propia supervivencia (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). En una búsqueda por el crecimiento económico y auxiliado de los avances tecnológicos, el ser humano comenzó con la revolución industrial un camino que lo ha llevado a devorar los recursos del planeta.

Hasta dos siglos después la humanidad se ha percatado que de no cambiar su modus operandi, la seguridad de gran parte de la población está en riego (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

Una de las maneras en que ha llegado afectar gravemente al planeta es en la producción de la energía eléctrica. En un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Mas para la obtención de esta energía se queman enormes cantidades de combustibles fósiles una de las principales causas del calentamiento global (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014) y además existen de manera finita por lo que existe la necesidad de sustituir esta fuente.

Se han hecho avances en investigación y actualmente se consideran la utilización de fuentes de energía renovable y no contaminantes como la solución parcial a este problema (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Dentro de esta categoría están la energía solar, eólica, biomasa e hidroeléctrica las que actualmente más se aprovechan.

En los años recientes se ha desarrollado una nueva manera de obtener energía eléctrica por medio de la fotosíntesis de las plantas y la actividad electrogénica de bacterias en sus raíces llamada energía biofotovoltaica.

La energía biofotovoltaica es una manera de producir electricidad de una manera sustentable (Liu, Hailiang, Xianning, & Fei , 2013). Las plantas utilizan la energía del sol para producir compuestos orgánicos (como azúcares, carbohidratos y lípidos) donde un porcentaje se liberan directamente en el suelo las cuales estimulan el crecimiento de bacterias que los necesitan para vivir. Al metabolizar estos compuestos se liberan electrones como subproducto que, al ser recolectados, crean una corriente eléctrica. (Bombelli, 2012)

Los beneficios de la energía biofotovoltaica son: ser una fuente renovable, no contaminante con procesos de elaboración e instalación menos contaminantes que los paneles convencionales de silicio y al utilizar plantas, se obtienen los beneficios de estas, capturar dióxido de carbono mitigando el efecto invernadero, control de clima más los positivos efectos psicológicos en el ser humano.

El desarrollo de esta tecnología tiene poco tiempo de haber iniciado y no hay todavía un producto en el mercado que permita aprovecharla. Por ello el objetivo del proyecto será desarrollar un producto que genere energía biofotovoltaica y permita hacer uso de ella.

Debido a los niveles actuales de rendimiento de las celdas biofotovoltaicas, fue el objetivo de esta investigación descubrir qué función era factible de realizar y cómo resolver que el diseño del sistema biofotovoltaico fuera sencillo de mantener y aprovechar. La oportunidad de diseño se encontró en la función de termohigrómetro y de cómo esta información puede auxiliar al usuario entender y mejorar la calidad del aire en sus espacios.

Complementariamente al monitor, se desarrolló un humidificador de cantera para cerrar la relación simbiótica del producto con el usuario.

Al término de esta investigación se logró crear no solo un producto novedoso que utiliza una fuente de energía sustentable, si no que también auxilia en mejora de la calidad de aire en el interior de los espacios y en consecuencia, la salud de este, y como el producto tiene plantas, traen consigo los beneficios psicológicos de bienestar que se asocian a ellas.

### Definición del problema

Solucionar los problemas técnicos relacionados con la generación de energía biofotovoltaica y proponer un producto que satisfaga una necesidad de un ser humano.

### Usuario

El usuario al que estará dirigido el producto serán aquellas personas que busque una solución a un problema que pueda ser solucionado muy poca energía eléctrica y tenga plantas.

### Objetivo general

Diseñar un sistema de energía biofotovoltaica el cual genere una corriente de bajo voltaje aprovechable para hacer encender algún aparato o dispositivo.

### Objetivos específicos:

- Diseñar un sistema generador de energía biofotovoltaica que sobrepase los 2V de potencia.
- Implementar un sistema electrónico capaz de utilizar la energía eléctrica producida para hacer encender un aparato eléctrico..
- Proponer el sistema de riego simple de entender y utilizar.
- Proponer un sistema de ensamblaje fácil de realizar.
- Proponer un mantenimiento sencillo y económico del dispositivo.

### Límites del proyecto:

No será un sistema completamente autónomo.

El tamaño del aparato a hacer funcionar estará limitado a la cantidad de energía producida en el sistema

## Justificación

Para que la energía biofotovoltaica sea utilizada en gran escala y con esto sus beneficios se hagan presentes, es necesario que primero la tecnología se encuentre accesible a la población y se dé a conocer.

Un producto que genere energía biofotovoltaica y permita aprovecharla sería muy atractivo para la población interesada en mejorar su impacto en el planeta. Adquirir productos que generen energías sustentables y/o que hagan uso de ellas acerca a la sociedad a llegar al momento en que nuestro impacto en el planeta sea neutro o positivo.

Un producto que sea referente en la utilización de energía biofotovoltaica ayudaría a la generación de nuevos productos que también la utilicen.

Es valioso para la Universidad Autónoma de San Luis Potosí que sus estudiantes realicen investigaciones de nuevas tecnologías ya que marcan pautas de donde nuevo conocimiento se puede generar y nuevas investigaciones pueden partir.

El Diseño Industrial como actividad capaz de generar innovación y por ende permitir la inserción de productos y servicios en el mercado, actúa como elemento conector e interpretador que facilita el flujo y la transferencia de ésta tecnología desde los centros académicos, y los grupos de investigación, hacia la sociedad.  
[\(http://www.altec2013.org/programme\\_pdf/1540.pdf\)](http://www.altec2013.org/programme_pdf/1540.pdf)

El diseño ha orientado su actividad tomando como base los problemas asociados con la usabilidad de los productos, enmarcando las soluciones en el ámbito de los conocimientos tecnológicos que rodean el contexto propio del proyecto, distanciándose de los nuevos conocimientos y desarrollos tecnológicos como

elementos que pueden aportar al mejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos. ([http://www.altec2013.org/programme\\_pdf/1540.pdf](http://www.altec2013.org/programme_pdf/1540.pdf))

Una vez que la tecnología biofotovoltaica se encuentre alcance de la población, se podrá continuar el desarrollo de productos de este tipo, que nos permitan ser una sociedad completamente sustentable.

## Alcances

Se realizarán modelos de las partes principales para demostrar su viabilidad. De ser posible se realizara un prototipo completo.

## Recursos

### Económicos

Familia: Patrocinadora de mi manutención y de recursos para el proyecto.

### Humanos

Asesora de tesis: Doctora Claudia Ramírez Martínez

### Materiales:

- Computadora portátil
- Celular, (cámara de fotos, grabadora de audio y video, Internet móvil)
- Impresora/escáner
- Papelería de oficina.

### Institucionales

- Biblioteca de la UASLP
- E virtual SLP
- Creativa
- Google académico
- Highwire-stranford
- Web of science
- INEGI
- Big



## Antecedentes del problema

### Moss Table, 2011

Diseñada en la universidad de Cambridge por:

Carlos Peralta, *diseñador*

Alex Driver, *diseñador*

Paolo Bombelli, *Desarrollo científico*



### Moss FM, 2013

Diseñador:

Fabienne Felder

Ilustración 1 Moss Table



### Moss Voltaics

Diseñador:

Elena Mitro

Ilustración 2 Moss FM



Ilustración 3 Moss Voltaics

## Plant E (empresa)

Productos:

DIY at Home

DIY-Box

Plant-e Modular System



Ilustración 4 Imagen de la Web oficial de Plant-e



Ilustración 5 DIY-Box



Ilustración 7 DIY at home



Ilustración 6 Plant-e Modular System

# Investigación

## Metodología del proyecto

En esta etapa del proyecto se seleccionará o adaptará una metodología de diseño que permita cumplir los objetivos planteados de la manera más efectiva. Se tomó como referencia el caso de estudio “Metodología de diseño de productos impulsados por tecnología. Caso de estudio envases comestibles.” Para la selección de la metodología.

### Proyectos de diseño industrial partiendo de nuevas tecnologías.

#### *Introducción*

“El diseño y desarrollo de productos tradicionalmente surge a partir de la identificación de una serie de aspiraciones, deseos o problemáticas de un conjunto de personas, que son traducidas en oportunidades de diseño, con miras a la viabilidad para a la inserción de un nuevo producto o servicio en el mercado. En estos productos, la tecnología se va incorporando gradualmente en los diferentes eslabones de la cadena de valor, promoviendo que puedan ser dotados de un carácter innovador desde diferentes enfoques, como son, la originalidad de los procesos de producción con los que es fabricado, la forma de abordaje del mercado de clientes, o la estructura y funciones organizacionales que determinaron su desarrollo” (Schumpeter, Citado por Universidad Nacional, 2011).

En el caso “*Sistema Cargador de Baterías Doméstico*”, la tecnología desarrollada no se incorpora de la misma manera, sino que sistemáticamente se convierte en el punto de partida del desarrollo de un producto potencialmente innovador. El proceso de diseño parte de la tecnología y no del ser humano de manera directa, por tal razón la oportunidad de diseño nace de las características y potencialidades del avance tecnológico. La pregunta principal formulada en este aspecto es ¿De qué forma diseñar y desarrollar productos que impacten en el

bienestar de los seres humanos, si se toma como punto de partida la tecnología y no las necesidades o problemas de las personas?  
([http://www.altec2013.org/programme\\_pdf/1540.pdf](http://www.altec2013.org/programme_pdf/1540.pdf))

## Visión estratégica

Para que el proyecto pueda ser realmente innovador, este tendrá una visión estratégica mediante el enfoque de tres áreas; La pertinencia, la factibilidad y la viabilidad. La interacción equilibrada de estas tres áreas impulsara fuertemente el camino hacia la innovación. (Brown, 2007)

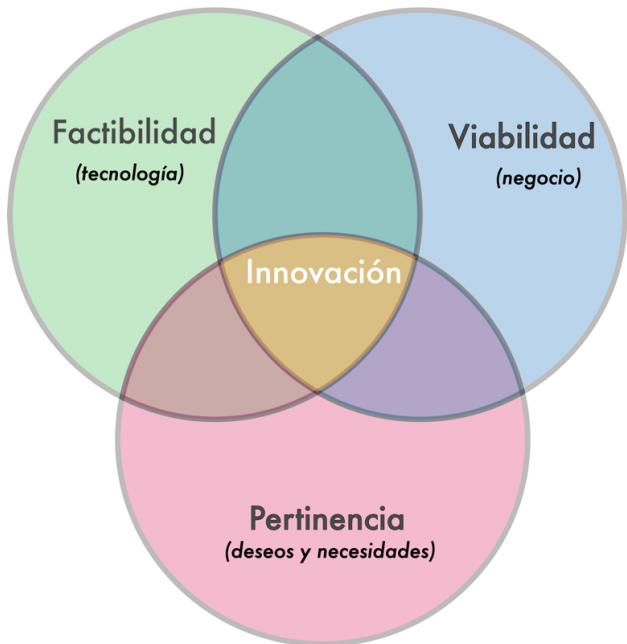
La pertinencia es donde, desde las aspiraciones y deseos humanos se generan productos que deben ser útiles y necesarios en una sociedad. Se enfoca en las personas que usarán el producto.

La factibilidad se refiere a las características técnicas que debe tener el producto, como lo son materiales, procesos productivos o mano de obra entre otras, que se deben integrar para desarrollar el producto. La tecnología disponible o a desarrollar se encuentra aquí.

La viabilidad tiene que ver en la concepción del modelo de negocio necesario para que el producto sea atractivo desde el punto de vista económico para una organización productiva.

El equilibrio de estas tres permite que un producto pueda producirse con éxito, satisfaga las necesidades del usuario final y deje una remuneración a los

### Visión estratégica



responsables de su elaboración y distribución. En este equilibrio se encuentran los productos innovadores.

## Metodología del proyecto

Dentro de la metodología de diseño convencional el primer campo de trabajo es la pertinencia, en función del cual se elabora el análisis de los otros dos espacios (factibilidad y viabilidad), pero para el caso del producto impulsado por un avance tecnológico, la metodología comienza en la etapa de factibilidad, lo que representa un cambio sustancial a la metodología tradicional y en como el diseñador aborda el proceso de diseño para establecer una relación armónica entre la tecnología emergente y el ser humano. ([http://www.altec2013.org/programme\\_pdf/1540.pdf](http://www.altec2013.org/programme_pdf/1540.pdf))

### **La metodología del proyecto a continuación.**

Basada del método Medit-ar pero adaptada para este proyecto, la estructura de la metodología cuenta con 4 macro estructura como las fases principales del proyecto que a la vez contienen otras micro estructuras que permiten avanzar a través de las fases principales.

#### **Macro estructuras:**

Son las etapas o fases principales de este proyecto las cuales buscan alcanzar un objetivo específico.

#### **Micro estructuras**

Son las actividades específicas a desarrollar, sirven como herramientas prácticas con el objetivo de cumplir la meta de cada macro fase.

## *Estructura completa del proyecto*

Diagrama de la metodología:



### *1.-Macro Estructura Fundamentación:*

#### El objetivo de la fase:

Establecer bases teóricas y conceptuales de la tecnología junto con los elementos que la rodean. Entender sus limitaciones y su estado actual de desarrollo.

#### Objetivo específico:

1. Fotocelda de combustible microbiano funcional.
2. Documentación detallada de una fotocelda de combustible microbiano y su funcionamiento.

#### Microestructuras en esta etapa.

- Investigación en publicaciones científicas.
- Investigación y análisis de productos existentes.
- Asesorías con expertos en áreas relevantes.
- Experimentación con la tecnología.
- Documentar la información recabada.

#### Principal enfoque en visión estratégica en orden de importancia

1. Factibilidad

## *2.- Macro Estructura Conceptualización:*

### El objetivo de la fase:

Identificar la oportunidad de diseño (desde la tecnología), explorando y revisando aplicaciones existentes de la tecnología o similares. En esta etapa se determinará que será el producto, el concepto y las premisas de diseño.

### Objetivo específico:

1. Identificar al usuario al que está dirigido el producto
2. Concepto
3. Definición de producto a diseñar
4. Premisas de diseño
5. Tentativa de plan de negocios

### Microestructuras en esta etapa:

- Análisis sobre la factibilidad de las posibles funciones
- Definir producto a realizar
- Definición de usuario objetivo
- Conceptualización
- Definir las premisas del diseño
- Borrador de un plan de negocios

### Principal enfoque en visión estratégica en orden de importancia

1. Pertinencia
2. Factibilidad

## *3.- Macro Estructura Diseño:*

### El objetivo de la fase:

Prototipo terminado del producto con el cual se pueda verificar su funcionamiento.

### Objetivo específico:

Prototipo final con materiales reales

### Microestructuras en esta etapa:

Bocetos

Construcción de modelos

Experimentación formal

Evaluación de propuestas de diseño

Planos constructivos

Plan de producción

Producción de prototipo

Principal enfoque en visión estratégica en orden de importancia

1. Pertinencia
2. Factibilidad
3. Viabilidad

***4.- Macro Estructura Evaluación:***

El objetivo de la fase:

Evaluar el funcionamiento del producto con el usuario final.

Objetivo específico:

Obtener retroalimentación para mejorar el producto.

Microestructuras en esta etapa:

Observación del producto siendo usado.

Principal enfoque en visión estratégica en orden de importancia

1. Viabilidad
2. Pertinencia

Esta metodología permitirá avanzar con seguridad y rapidez a través de todo el proyecto mediante etapas claras con metas específicas.

## Macro Estructura

# Fundamentación:

### El objetivo de la fase:

Establecer bases teóricas y conceptuales de la tecnología junto con los elementos que la rodean. Entender sus limitaciones y su estado actual de desarrollo.

### Objetivo específico:

1. Celda biofotovoltaica funcional.
2. Documentación de los elementos principales de una celda biofotovoltaica y su funcionamiento.

### Microestructuras en esta etapa.

- Investigación de publicaciones científicas
- Entrevistas con expertos en áreas relevantes.
- Experimentación con la tecnología
- Documentar información de la tecnología
- Investigación y análisis de productos existentes.

### Principal enfoque en visión estratégica en orden de importancia

1. Factibilidad

## Procesos foto-bio-electroquímicos

Descomponiendo la palabra foto-bio-electroquímicos, *foto* de fotones (luz, onda electromagnética) , *bio-* de vida, *electroquímica* de reacciones de la materia que provocan electricidad. Así tenemos lo que es una conversión de energía electromagnética a una eléctrica pasando por un medio vivo/orgánico. En este caso, de energía solar (electromagnética) pasando por un ser vivo (plantas y/o bacterias) a energía eléctrica (flujo de electrones).

En los referentes del antecedente del problema, todos los productos funcionan con plantas las cuales alimentan con compuestos orgánicos a colonias de bacterias que viven en sus raíces. Las bacterias al alimentarse de estos compuestos liberan electrones. Estos se hacen pasar por un circuito obteniendo así una corriente eléctrica.

Los sistemas biofotovoltaicos son variaciones de las celdas de combustible microbianas que son a su vez, sistemas bioelectroquímicos. Una introducción de estos sistemas a continuación.

#### *Bacterias con actividad eléctrica*

Las bacterias electrogénicas (productoras de electricidad) pueden encontrarse en multitud de ambientes naturales anaerobios como los sedimentos de ríos, lagos o incluso marinos (<http://www.bioelectrogenesis.com/es/si-no-eres-un-experto.html>).

El primer ejemplo de actividad eléctrica con microorganismos fue mostrado por Potter en 1910; en sus experimentos recurrió a cultivos de E.coli y electrodos de platino para generar corrientes eléctricas que por su pequeña magnitud pasaron desapercibidas para la comunidad científica. (bioe)

Estos microorganismos son capaces de oxidar la materia orgánica y transferir los electrones generados a una superficie sólida conductora como, por ejemplo, el grafito, y así obtener una corriente eléctrica. Este proceso se conoce como bioelectrogénesis.(<http://www.aquaelectra.es/index.php/es/news/35-news/62-bacterias-que-producen-energia-y-depuran-las-aguas-residuales>)

Esta habilidad de algunos microorganismos ha llevado al desarrollo de una variedad de dispositivos que se les conoce como sistemas bioelectroquímicos.

### *Sistema Bioelectroquímicos (BES)*

Electroquímica es una rama de la química que estudia la transformación entre la energía eléctrica y la energía química. (Chang, Raymond (2007). «Electroquímica». *Química* (Novena Edición edición). McGraw Hill. p. 1100)

Los sistemas bioelectroquímicos (SBEs) son dispositivos capaces de utilizar el metabolismo biológico como microbios o bacterias para facilitar la generación de energía eléctrica, combustibles o químicos finos.

Estos dispositivos son una prometedora alternativa para la producción de formas no convencionales de energía útil. La clasificación de los SBEs se basa en el modo de operación y en el producto final obtenido en cada tipo de celda (Burgos, 2012).

| Tipos de SBEs                               | Descripción   |
|---|---|
| Celda de combustible microbiana (CCM)       | Se basa en el uso de la actividad microbiana para generar electricidad a partir de diferentes sustratos orgánicos.                        |
| Celda de electrólisis                       | Estos sistemas requieren suministro de electricidad para llevar a cabo  |
| microbiana (CEM)                            | Reacciones electroquímicas, en las que el principal producto es el H <sub>2</sub> .   |
| Celda de desalinación microbiana (CDM)      | Es una CCM modificada con la finalidad de reducir el contenido de sales, principalmente del agua de mar.                                  |
| Snorkel electroquímico microbiano (SEM)     | Es básicamente una CCM en corto circuito, donde no se genera electricidad, pero es posible un tratamiento optimizado de aguas residuales. |
| Celda de electro síntesis microbiana (CESM) | Su enfoque es la producción de metabolitos secundarios a partir de la energía eléctrica liberada de las reacciones REDOX.                 |

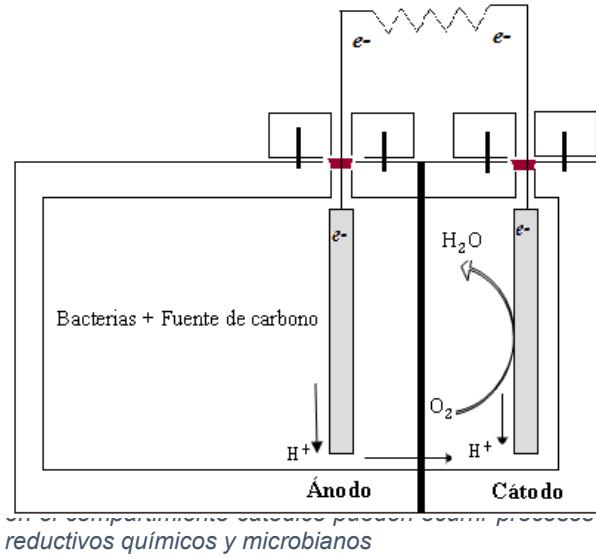
Son los sustratos donde las bacterias realizan el proceso bioelectrogénico el combustible para la obtención de electricidad. Cada BESs puede tener una aplicación diferente dependiendo del sustrato utilizado, pueden ser desde aguas residuales, agua de mar o una gama de materiales orgánicos. (Burgos, 2012)

Las Celdas de combustible microbiana (CCMs) representan un método alternativo e innovador para la generación de electricidad en forma directa y renovable sin la necesidad de añadir sustancias químicas costosas y tóxicas (Burgos, 2012).

### *Celdas de Combustible Microbianas (CCMs)*

Las celdas de combustible microbianas son sistemas bioelectroquímicos que permiten la conversión directa de la energía química contenida en los enlaces de la materia orgánica a electricidad, a través del potencial oxidativo de algunos tipos de bacterias fermentativas o enzimas. Las bacterias utilizadas mineralizan compuestos orgánicos generando principalmente como productos aprovechables: agua limpia y energía eléctrica. (Burgos, 2012)

En las CCMs se busca transferir los electrones liberados a un electrodo (ánodo), que está conectado a un cátodo a través de un material conductor que contiene una resistencia. Las cámaras que albergan estos electrodos, la anódica (anaerobia) y la catódica (aerobia), están comunicadas por una membrana de intercambio catiónico que permite el paso de protones. De esta forma, los protones generados en la oxidación de la materia orgánica se combinan con oxígeno y con los electrones que llegan al cátodo para formar agua (ilustración 4a) (bioe)



(Burgos, 2012)

Las CCMs son sistemas electroquímicos porque necesitan de dos electrodos, un ánodo y un cátodo para que sea posible el transporte y la recuperación de electricidad a través de un circuito externo donde la principal fuerza motriz en la generación de potencia (Watts), es la diferencia de potencial (Volts) entre el ánodo y el cátodo, junto con la tasa de flujo de electrones (Amperes). (Burgos, 2012)

Es del ánodo de donde fluyen los electrones hacia el cátodo, pasando por una resistencia donde puede ser aprovechada la electricidad.

A parte de la generación de energía eléctrica algunas celdas de combustible microbianas han sido diseñadas para detoxinar agua, capturar carbono, desalinización de agua y reducción de sustratos en la superficie del cátodo para la producción de combustible (hidrógeno, moléculas orgánicas) (McCormick, y otros, 2015)

Mientras la mayoría de los sistemas bioelectroquímicos utilizan sustratos orgánicos como combustible igual que en varios tipos de CCMs, se han desarrollado algunos que funcionan a partir de energía solar, denominados sistemas biofotovoltaicos. (McCormick, y otros, 2015) Siendo estos unos de los más prometedores al usar una fuente de energía virtualmente inagotable.

### *Sistemas Biofotovoltaicos (BPV)*

Los sistemas Biofotovoltaicos utilizan organismos realizadores de fotosíntesis oxigenica como micro algas o cianobacterias<sup>1</sup> para transformar la energía solar en una corriente eléctrica con una ausencia de material orgánico (McCormick, y otros, 2015).

---

<sup>1</sup> La fotosíntesis oxigénica es la modalidad de fotosíntesis en la que el agua es el donante primario de electrones y que, por lo tanto, libera oxígeno ( $O_2$ ) como subproducto.([http://es.wikipedia.org/wiki/Fotos%C3%ADntesis\\_oxig%C3%A9nica](http://es.wikipedia.org/wiki/Fotos%C3%ADntesis_oxig%C3%A9nica))

Son sistemas bioelectroquímicos que no requieren de un sustrato orgánico y solo utilizan organismos realizadores de fotosíntesis oxigenica o partes del sistema fotosíntesis oxigenica para generar una corriente eléctrica sin la mediación de bacterias heterotróficas.<sup>2</sup> (McCormick, y otros, 2015).

Esto significa que solo necesita energía del solar para funcionar por lo que la convierte en una energía sustentable apta para ser usada en más regiones geográficas.

Además tiene la ventaja junto con otros BESs, los BPV en comparación a los paneles solares convencionales que sus componentes fotosensibles son ensamblados y mantenidos por organismos vivos los cuales son capaces de auto componerse, reproducirse y capaces de guardar energía para usarse cuando ya no hay energía solar (como en las noches) (McCormick, y otros, 2015).

#### *Celda de combustible microbiana fotosintética compleja o fotoCCM (light-harvesting BESs o photosynthetic microbial fuel cells (photoMFCs) )*

Existen un BES (sistema bioelectroquímico) al que se le denomina “Celda de combustible microbiana fotosintética compleja” el cual es un CCM que utiliza la energía solar por medio de una planta u organismo autótrofo que le proporcione materia orgánica a bacterias heterotróficas las cuales liberen electrones.

---

<sup>2</sup> Los organismos heterótrofos en contraste con los organismos autótrofos— son aquellos que deben alimentarse con las sustancias orgánicas sintetizadas por otros organismos, autótrofos o heterótrofos a su vez. ([http://es.wikipedia.org/wiki/Nutrici%C3%B3n\\_heter%C3%B3trofa](http://es.wikipedia.org/wiki/Nutrici%C3%B3n_heter%C3%B3trofa))

Funciona con una planta vascular o musgo como el elemento autótrofono el cual convierte el dióxido de carbono de la atmósfera en compuestos orgánicos (como azúcares, carbohidratos y lípidos) utilizando la energía solar. Donde un porcentaje

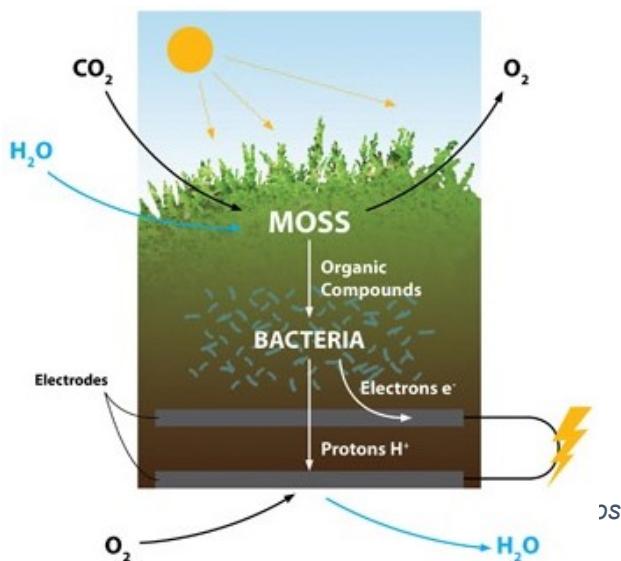


Ilustración 9. Concepto de cómo se podría utilizar esta tecnología en el futuro.  
<https://www.facebook.com/MossTable/photos/a.242212265893642.48149.242191132562422/247256542055881/?type=1&theater>

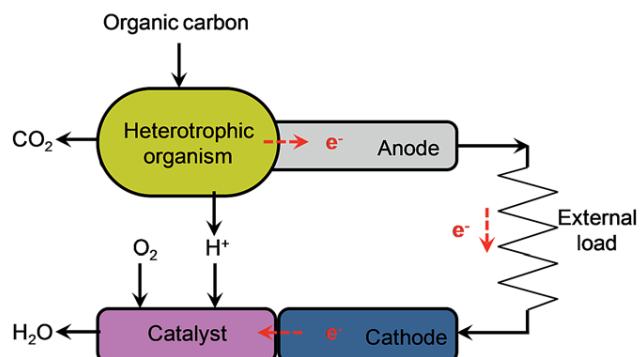
se liberan directamente en el suelo el cual contiene bacterias heterotróficas que los necesitan para vivir. Al metabolizar estos compuestos se liberan electrones como

subproducto que al ser dispuestos como en una celda de combustible, crean una corriente eléctrica. (Bombelli, 2012)

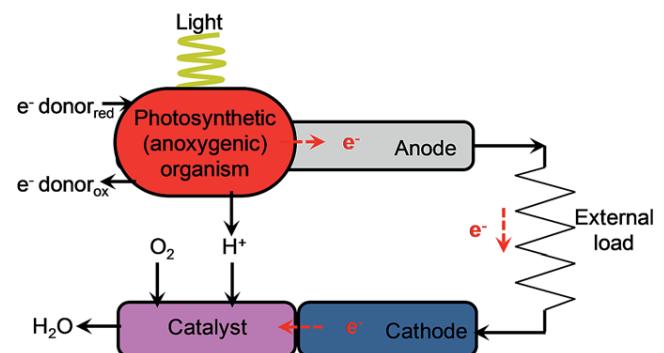
Ilustración 10. Ilustración ejemplificando los procesos que ocurren en las fotoCCM. Aquí la planta que alimenta de compuestos orgánicos a las bacterias es musgo.  
<https://www.facebook.com/MossTable/photos/a.242212265893642.48149.242191132562422/247256542055881/?type=1&theater>)



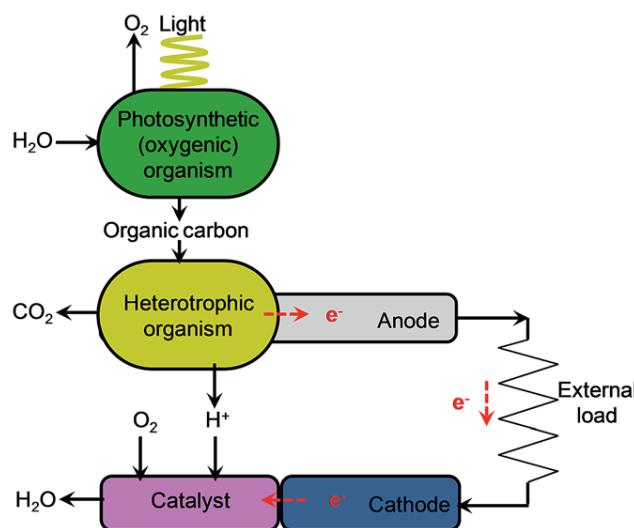
### A Microbial Fuel Cell



### B Photosynthetic Microbial Fuel Cell



### C Complex photosynthetic microbial fuel cell



### D Biophotovoltaic system

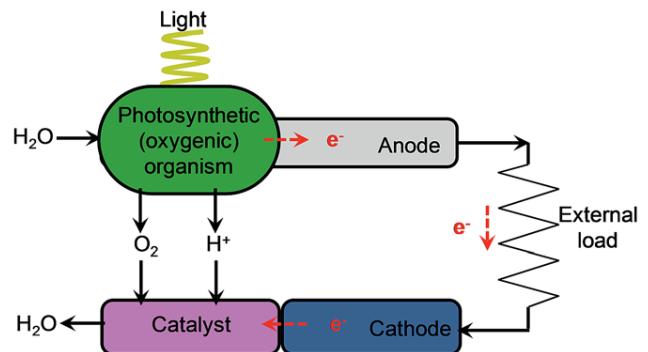


Ilustración 12. Diagrama de dispositivos Bioelectroquímicos (BES) y BES dependientes de energía solar. (McCormick, y otros, 2015)

Esta es una manera sustentable de obtener energía ya que una vez instalado el

dispositivo, solo se necesita de agua y energía solar para funcionar.

En la ilustración 24 se muestran los componentes que llevan a la transferencia de electrones ( $e^-$ ) hacia el ánodo y la liberación de protones ( $H^+$ ) en celdas microbianas(CCM) (A), Celdas microbianas de combustible celulares fotosintéticas (foto celulares CCM)(B), Celda de combustible microbiana fotosintética compleja(foto CCM compleja)(C) y Sistema biofotovoltaico celular (BPVs)(D).

Donde:

Pv y OPV: Celda fotovoltaica y celda fotovoltaica orgánica

FC: celda de combustible

MFC: Celda Microbiana de combustible

BPV: Biofotovoltaico

Plant MFC: Celda microbiana de combustible base Planta.

Photo MFC: Foto Celda de combustible

microbiana compleja o fotoCCM.

Complex Photo MFC: Fotocelda microbiana de combustible compleja.

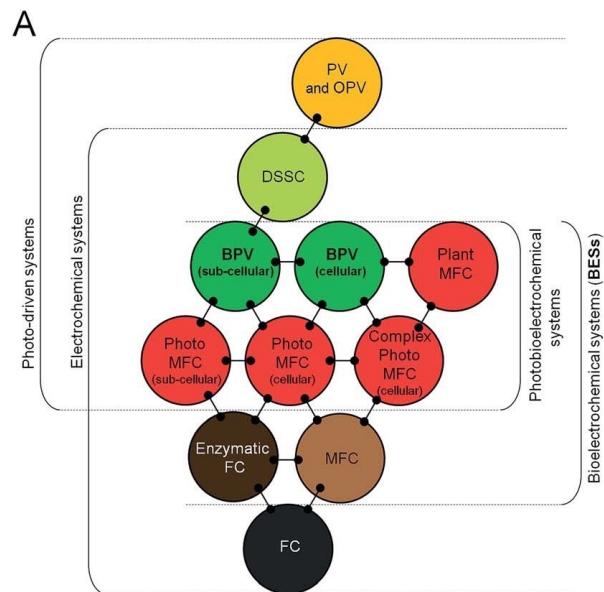


Ilustración 13. Universo de los sistemas bioelectroquímicos (McCormick, y otros, 2015)

A partir de los diagramas 25 y 26, se puede determinar que en un futuro, este tipo de dispositivos producirán tanta o más energía como los actuales paneles solares de silicio. Esto nos da una idea del área que se necesitaría cubrir con paneles BPVs o fotoCCMs para producir determinada cantidad de energía. También justifican realizar productos con esta tecnología debido aun que de momento pudiera no ser muy eficiente en comparación a otras fuentes de energía, lo será y de momento, desde el área del diseño industrial es muy probable que los problemas de uso, funcionales, técnicos, indicativos por decir algunos, sean los mismos en ese entonces que ahora.

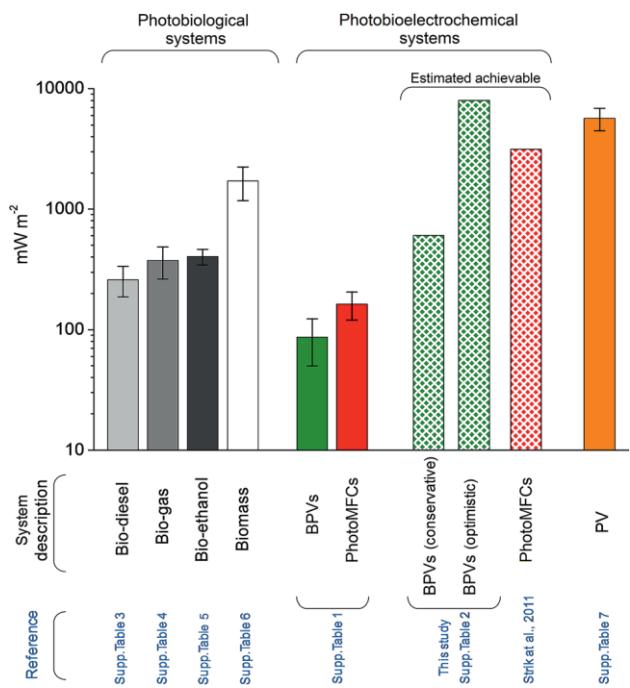


Ilustración 14. Actuales y teóricas densidades de poder de distintos BES, CCM y BPV. (McCormick, y otros, 2015)

## Selección de tipo de dispositivo biofotovoltaico para la obtención de energía biofotovoltaica

Con bases en la factibilidad se seleccionó el tipo Foto Celda de combustible microbiana compleja o FotoCCM(C en ilustración 10) por factores como:

- No requiere un cultivo de bacteria específico, Bacterias heterotróficas con actividad electrogénicas ya se encuentran en la naturaleza y es sustratos orgánicos.
- Aunque el musgo es una planta conveniente para ser la base de la FotoCCM, Se puede realizar con cualquier planta vascular. En especial las que crecen en suelos con saturación de agua como el Arroz o ciertos tipos de caña.
- Los actuales FotoCCM son capaces de entregar suficiente energía como para encender una luz LED (ilustración 10).
- Utilizan una fuente de energía gratuita, y virtualmente inagotable que en la zona geográfica donde se desarrolla el proyecto (San Luis Potosí, México) hay un índice de radiación de los más altos del mundo. (Rodríguez, 2015)
- Para su construcción se entiende que solo se necesitan materiales económicos y de fácil disponibilidad como lo son malla galvanizada, carbón vegetal, cables de bocinas, tierra con material orgánico, agua y alguna planta vascular como pudiera ser una *Epipremnum aureum* "Julieta." Aunque se buscara optimizar la celda para obtener una corriente suficientemente alta para ser aprovechada.

Anteriormente se les denominaba también a las celdas de combustible microbiana fotosintética compleja o FotoCCM como un dispositivo biofotovoltaico pero ahora se refiere exclusivamente a los dispositivos donde organismos realizadores de fotosíntesis oxigenica como micro algas o cianobacterias para transformar la energía solar en una corriente eléctrica sean los únicos utilizados sin bacterias heterotróficas. (McCormick, y otros, 2015) Por lo que se dejara de utilizar ese nombre para refiriese al dispositivo pero si a la fuente de energía. Al dispositivo

generador de la energía de le denominara Foto Celda de combustible microbiana compleja o FotoCCM.

#### *Objetivo técnico del proyecto o problema específico a resolver*

Producir un generador de energía biofotovoltaica que funcione a partir de una celda de combustible microbiana fotosintética compleja, capaz de entregar una corriente eléctrica que pueda ser aprovechada.

#### **Creación de una Celda de combustible microbiana fotosintética compleja o (FotoCCM 1)**

Un objetivo de esta etapa es construir una FotoCCM funcional, una que genere la suficiente cantidad de energía como para poder ser aprovechada. Una FotoCCM funcional permitirá entender su funcionamiento, sus elementos críticos y como puede ser empleado en un ambiente doméstico. Es necesario contar con una FotoCCM para pasar a la siguiente macro etapa que es conceptualización.

El Ingeniero Marcos Algara Siller ingeniero en ciencias ambientales dentro de la UASLP, fue quien me acerco al tema por medio de 3 alumnos, Gastón Hernández Márquez, Roy Flores Flores y David Alonso González Castillo, todos ellos de la facultad de Ciencias de la misma universidad. Ellos me asesoraron para replicar una FotoCCM que ellos habían elaborado anteriormente.

*Se anexan un documento con todos los experimentos realizados. Ahí se podrán encontrar mas detalles como los materiales utilizados, la configuración de la celda y la energía obtenida.*

## Resumen de experimentos 1,2,3 y 4

### Experimento #1 FotoCCM 1

Consistió en realizar una celda según las especificaciones proporcionadas por los estudiantes de ciencias. Los materiales se pueden conseguir en una ferretería y un vivero.

#### Materiales:

Contenedor: Maceta de plástico (tipo de plástico pendiente) Medidas. 14cm de diámetro, 1231.2 centímetros cúbicos aproximadamente

Organismo autótrofo: *Epipremnum aureum, (Julietta)*

Organismo heterotrófico: Bacterias heterotróficas presentes en “tierra para maceta”

Ánodo: Malla galvanizada “mosquitera” de 1mm de grosor

Cátodo: Malla galvanizada “mosquitera” de 1mm de grosor

Circuito exterior: Cable simple.

Sustrato: Tierra para maceta vulgar

Dispositivo emisor de luz:

LED de 1.5 Volts

Membrana separadora de cámara anódica y catódica: No presente

Pilas o baterías: No presente

Capacitores: No presentes

Low power microcontrollers: No presentes

#### Resultados:

En esta serie de experimentos se determinó que la configuración empleada y/o los materiales no eran los que deberían debido a varios factores como:

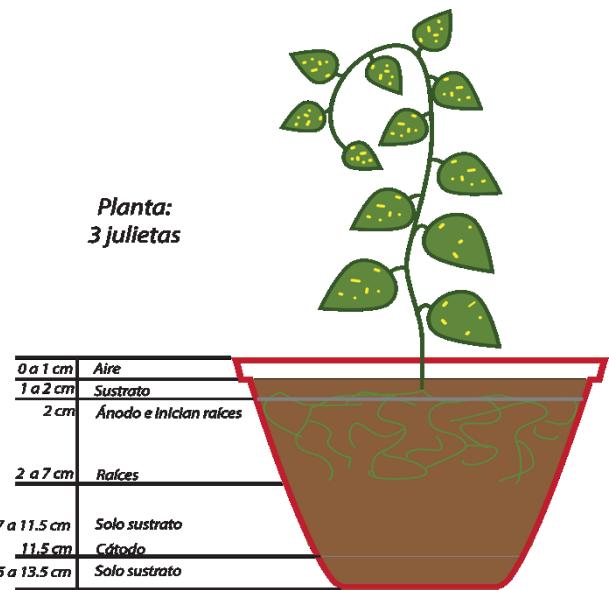


Ilustración 15 Boceto de primer fotoCCM.

Se puedo obtener una diferencia de potencial (volts) pero los electrodos cambiaban de polaridad continuamente convirtiéndose de ánodos a cátodos y viceversa.

Se obtuvo un voltaje máximo de .436 registrado pero disminuyo y se mantuvo alrededor de .039. No volvió a subir. La humedad si modifica el voltaje.



Ilustración 16 Primer fotoCCM y primera lectura

## Experimento #2 Encender un LED

El objetivo de este experimento fue hacer encender un LED de 1.5 Volts conectado 5 Celdas Se utilizaron las celdas construidas en los experimentos 3 y 4.

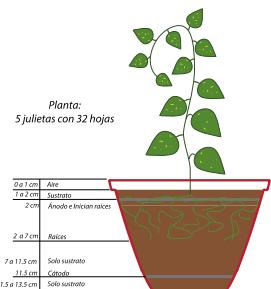


### Resultados:

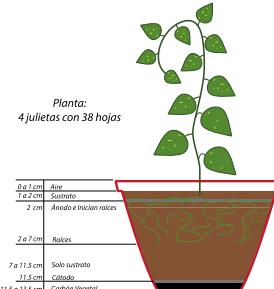
Se conectaron 15 celdas distintas en serie pero no se logró superar el voltaje de 1.5 volts necesario para encender un LED. Se logró llegar a 1.009 Volts. Si se comprobó que los voltajes de cada celda pueden acumular conectados en serie.

## Experimento #3 y 4 Variaciones en CCM y Carbón Vegetal

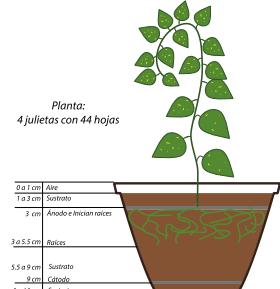
Los experimentos 3 y 4 consistieron en experimentar con distintas configuraciones como la ubicación de los electrodos, ubicación de las raíces, Tamaño del contenedor, cantidad de humedad en el sustrato, número de plantas y la especie de estas.. El experimento número 4 consistió en agregar carbón vegetal cerca del cátodo por sugerencia de los estudiantes de ciencias.



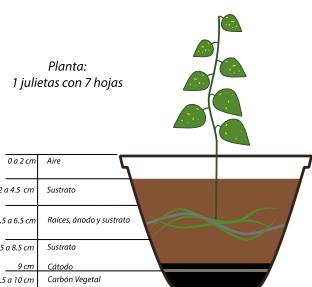
Pila #1 "N" (neutral)



Pila #2 "C" (carbón)



Pila #3 "P" (pequeña)



Pila #4 "D1" (Diferente 1)



Imagen x,x,x y x, configuración de celdas neutral, carbón, pequeña y diferente respectivamente. Imagen x Raíces entrelazadas al electrodo, X de CCM “X” con su lectura y X Capas de MMC “diferente” de arriba abajo.

## Resultados

| CCMs  | Inicial | Regada | Día 1  | Día 2  | Día 3  | Día 4  | Día 5  | Día 6                                       | Dia 7  |
|-------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|--------|
| N     | -0.023  | -0.029 | 0.095  | 0.588  | -0.044 | -0.035 | -0.083 | '-0.018 a -0.74 aplicando presión           | 0.038  |
| C     | -0.049  | -0.07  | -0.151 | -0.264 | -0.271 | 0.354  | 0/.392 | '-0.008 a -0.118 (aplicando presión)        | 0.05   |
| P     | -0.029  | -0.037 | 0.046  | -0.212 | -0.045 | 0.018  | 0.018  | '.028 a .450 (juntando y despegando cables) | 0.027  |
| D1    | -0.069  | -0.063 | -0.306 | -0.292 | -0.235 | -0.151 | -0.062 | '-0.014 a -0.120 (aplicando presión)        | 0.021  |
| D2    | -0.009  | -0.008 | -0.106 | -0.029 | -0.045 | -0.062 | -0.08  | '-0.060 a -0.197 aplicando presión          | -0.013 |
| Pasto | -0.032  | -0.058 |        | 0.07   | -0.043 | -0.018 | 0.035  |   | 0.026  |
| X     | -0.004  | -0.018 |        | -0.022 | 0.064  | -0.039 | 0      |   | 0.029  |
|       |         |        |        |        |        |        |        |   | 0.06   |

Después de una semana de observación se pudo concluir que:

- Todas las celdas bajaron su voltaje al final de la semana
- No se encontró algún patrón en la información
- El Voltaje incrementa al aumentar la presión

## Conclusiones de experimentos 1,2,3 y 4

Este tipo de celdas microbianas no sirve en la configuración actual principalmente a que la polaridad de las celdas cambia y el voltaje desaparece al cabo de una semana o termina en niveles muy bajos para ser viable su utilización. El principal problema pudiera ser la oxidación de la malla metálica que pudiera estar impidiendo el desarrollo de bacterias, hacer desaparecer la ruta por donde los

electrones debería pasar. Es probable que la energía que se obtiene sea por la oxidación de la malla misma.

La conexión de las bacterias con los electrodos se desconocer y esta configuración solo está conformada por una cámara, no hay una cámara anódica y catódica como en otras configuraciones lo que podría ser también otra causa.

Se deberá investigar más a profundidad cómo funcionan otras configuraciones de celda.

## Productos existentes

En el mercado de identificaron dos ramas de productos, los realizados junto con el doctor Bombelli en la universidad de Cambridge y los que fabrican la empresa Plant-e. Todos hacen uso de la energía biofotovoltaica mediante una fotoCCM.

### Moss Table, 2011

#### Diseñada por:

Carlos Peralta, *diseñador*

Alex Driver, *diseñador*

Paolo Bombelli, *Desarrollo científico*

#### Dimensiones:

1 metro de diámetro

1.2 metros de altura

#### Materiales:

Estructura: Plástico ABS

Superficie y lámpara: Acrílico

Moss pots (macetas): acrílico,



Ilustración 17. Moss Table  
Credito:<https://biophotovoltaics.files.wordpress.com/2012/04/moss-table-blog.jpg>

*conexiones de acero inoxidable, electrodos de carbón, tierra (sustrato) musgo y agua.*

**Descripción:**

La Moss Table es un Diseño conceptual con intenciones de demostrar el potencial de la tecnología biofotovoltaica y como puede ser aplicada en el futuro.



La tecnología biofotovoltaica está en etapas tempranas de desarrollo por lo que actualmente no puede todavía hacer funcionar la lámpara sobre la mesa, pero si dispositivos electrónicos pequeños como relojes digitales. Los científicos predicen que con más investigación productos como la Moss Table será factible de producirse.

*Ilustración 18. Reloj funcionando con 4 “moss pots”*  
Fuente:  
[http://static.tedxamsterdam.com/Moss-Powered-Clock\\_low\\_1024x767.jpg](http://static.tedxamsterdam.com/Moss-Powered-Clock_low_1024x767.jpg)

Contiene 112 “moss pots” La Moss Table sugiere un futuro en el que objetos híbridos, vivos y artificiales convivan en el hogar.

Fuentes:

<https://biophotovoltaics.wordpress.com/2012/04/16/moss-table-faqs-1-2/#comments>  
<https://www.facebook.com/MossTable>  
<http://www.cam.ac.uk/research/news/the-hidden-power-of-moss>

Moss FM, 2013

**Diseñada por:**

Fabienne Felder

Colaborador:

Paolo Bombelli, *Desarrollo científico, Universidad de Cambridge.*

Ross Dennis, *Desarrollo científico, Universidad de Cambridge.*

Ilustración 19



**Materiales:**

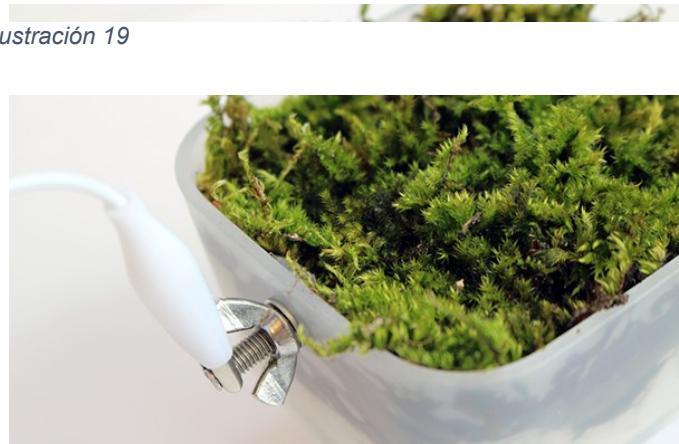
*Estructura: Madera de reúso.*

*Células bioelectroquímicos: musgo y agua.*

*Contenedor: Plástico semitransparente*

*Electrodos: carbón*

*Sustrato: desconocido*



**Descripción:**

La Moss Fm es el primer radio que funciona con energía obtenida de una planta, y el primer dispositivo que requiere más energía que una pantalla LCD.

Puede funcionar por pocos minutos utilizando una batería cargada únicamente con la energía recolectada del musgo

Está conformada por 10 celdas fotoCCM que se pueden conectar en paralelo o entre ellas mismas dependiendo del rendimiento de cada una.

Esta construido a manera de un experimento bioquímico lo que le permitió hacer los experimentos necesarios como cargar los capacitores o hacer funcionar dispositivos electrónicos.

Moss FM logra obtener una potencia de 4.5 voltios.

<http://mosspower.tumblr.com/>

<https://www.behance.net/gallery/10671027/Moss-Radio>

Moss Voltaics

**Diseñada por:**

Elena Mitro

Colaborador:

Paolo Bombelli, *Desarrollo científico, Universidad de Cambridge.*

**Dimensiones:**

1er Prototipo 10 x 10 x 15 centímetros

2do prototipo 40 x 40 x20 centímetros

**Materiales:**

Estructura: arcilla.

Células bioelectroquímicas:

Organismo autótrofo: Musgo

Bacterias heterotróficas: desconocido

Ánodo: mezcla de fibra de carbono y SAP (polímeros súper absorbentes)

Cátodo: desconocido

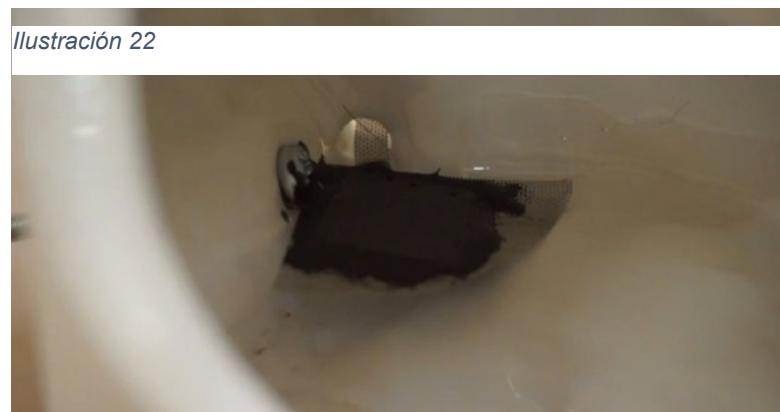
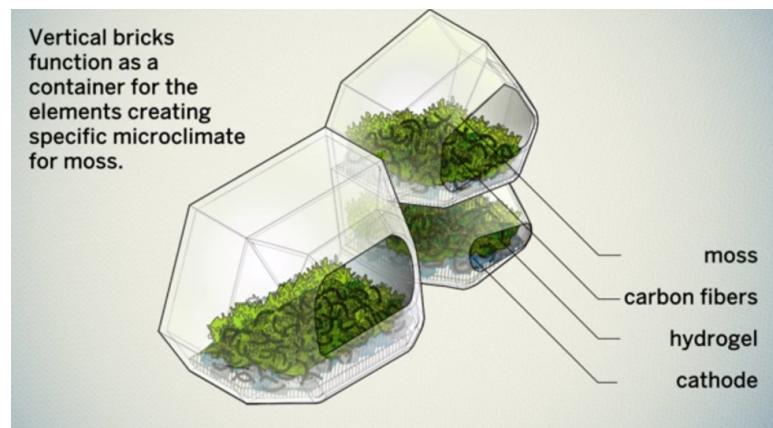
Membrana separadora de cámaras anódica y catódica: desconocido

Conexión con circuito eléctrico: tornillo

## Descripción:

Moss Voltaics es un sistema de obtención de energía biofotovoltaica, es la tercera y más reciente colaboración con el doctor Paolo Bombelli. Es la que más información revela sobre el funcionamiento de las celdas biofotovoltaicas. Moss Voltaics se encuentra actualmente en desarrollo.

La configuración de la estructura está hecha para ser apilable y colocada en paredes. Unos conjuntos de 3 recipientes crean un módulo. Permite tener circuitos en serie y en paralelo. Como todos los trabajos de Bombelli, utilizan musgo. Para la elaboración del cátodo se combinó un polímero conocido como SAP, y fibra de carbono.





*Ilustración 24. Mezcla de componenetes del Anodo*

Fuentes:

<https://vimeo.com/119702162>

<http://cargocollective.com/elenamitro/Moss-Voltaics>

## Plant E

Plant –e es una empresa ubicada en los Países Bajos dedicada a la venta y desarrollo de productos generadores de electricidad a partir de plantas. Fundada en septiembre del 2009.

Tiene 3 productos existentes:

DIY at Home (hágalo usted mismo en casa)

### Descripción

El producto consta de material para construir 5 “planta baterías” excluyendo las plantas. Cuando estas “planta baterías” se ensamblan son conectadas entre sí conectadas generan energía suficiente para encender una luz LED.

Está dirigido a un usuario doméstico mayor de 10 años como un producto experimental.

Incluye:

- Material para 5 “planta batería”
- Luz LED
- Multímetro
- Manual de uso

Precio: 179.99 euros (2,934.137 MX)



Ilustración 25

<http://plant-e.com/products/products-for-sale/DIY%20at%20home.html>

## DIY-Box

Es una caja con material para hacer 25 “planta baterías” orientado a fines educativos.

La caja contiene:

- Material para 25 DIY-kits
- Foco LED
- Multímetro
- Instructivo
- Detalladas instrucciones para la clase para ensamblar los individuales DIY-kits



Ilustración 26

Precio: 742.98 euros (12,111.976 MX)

## Plant-e Modular System

Es el primero producto que Plant-e introdujo al mercado. El sistema consiste en 100 metros cuadrados de módulos equipados con su tecnología y plantas

Adecuado para pequeñas y medianas aplicaciones, puede ser ampliado en múltiples de 100 m<sup>2</sup> con el que se pueden usar luces

LED, Encender una Red Wifi o generar como un techo verde mientras genera electricidad para el edificio. En el último caso no solo proporciona electricidad, también insolación, retención de agua e incrementa la biodiversidad.

Han sido instalados solo 2 de estos productos



Ilustración 27

Fuente:

<http://plant-e.com/products/products-for-sale/DIY-Box.html>

## *Análisis de productos existentes*

Los productos existentes se pueden separar en 2 tipos, Colaboración con Paolo Bombelli y la empresa Plant-e.

### **Colaboración con Paolo Bombelli**

Paolo Bombelli es un Investigador en la universidad de Cambridge. Es pionero en el desarrollo de paneles solares biológicos, que él llama “bio foto voltaicos” (biophotovoltaic, o BPV).

Ha establecido colaboraciones con diseñadores con el objetivo de implementar la tecnología de biofotovoltaica en objetos cotidianos.

Son estos productos la Moss Table, Moss FM y Moss Voltaics. La similitud de estos productos es que todos utilizan al musgo como el que alimenta a microbios, los cuales al consumirlos, liberan electrones los cuales al ser recolectados crean una corriente eléctrica.

Sus sistemas biofotovoltaicos funcionan con musgo, bacterias, dentro de una configuración de pila de combustible.

### **Empresa Plant-e.**

La empresa Plant-e configura sus sistemas biofotovoltaicos funcionan también como una pila de combustible. La diferencia entre las pilas de combustible de Plant-e y las del doctor Paolo Bombelli es en la transmisión de electrones. Mientras que en las del doctor Bombelli las raíces del musgo están conectadas casi directamente sobre el ánodo, en las de Plant-e hay un medio acuoso por donde tiene que desplazarse.

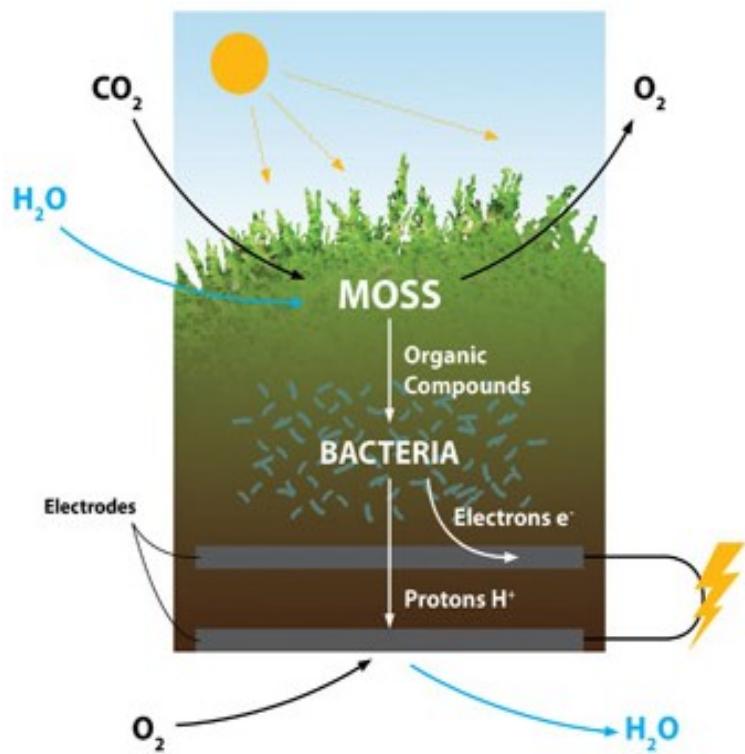


Diagrama de funcionamiento de celdas del doctor Bombelli

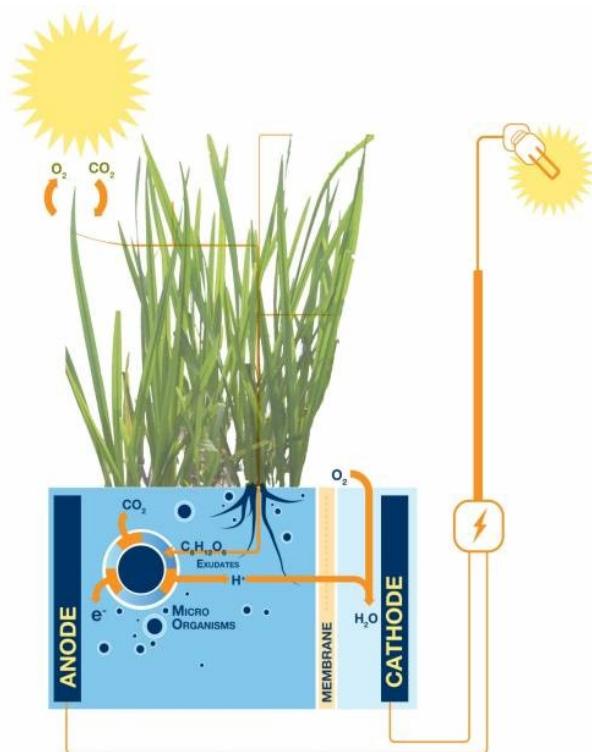


Diagrama de funcionamiento de celdas del Plant-e

### *Selección de configuración para Foto Celda de Combustible Microbiana Compleja.*

Se tienen identificados dos tipos de configuraciones posibles para la FotoCCM, la de doctor Bombelli y Plant-e.

#### *¿Cómo decidir qué tipo de configuración usar?*

La decisión se debe tomar en base a la que brinde mayor factibilidad y beneficios al usuario.

Capacidad de generar electricidad: En video se ha encontrado información que comprueba que se obtiene un potencial significativo utilizando la configuración de Bombelli. Aunque el producto de Plant-e Confirma que es posible, necesita de un mayor volumen para lograrlo.

Permisos y patentes: El doctor Bombelli, realiza colaboraciones regularmente con diseñadores mientas que Plant-e es una empresa privada que nunca ha realizado alguna colaboración. Aunque las dos tecnologías deben estar registradas o patentadas, Es más probable que el Doctor Bombelli permita usar su tecnología y no Plant-e.

Comprensión del funcionamiento: Los productos existentes con colaboración del Doc. Bombelli informan cómo están realizados varios de sus componentes, además de demostrar su funcionamiento. No hay esa clase de información de los productos de Plant-e.

Posibilidad de Asesoría. Se envió un mail al Doctor Bombelli con el objetivo de establecer contacto y pedirle su asesoría. Contesto comunicando su imposibilidad de colaborar por falta de tiempo con excepción de una asesoría cuando se tuviera una idea clara de cómo se construiría el dispositivo. Además compartió de contacto de Elena Mitro, Diseñadora de Moss Voltaics, actualmente trabajando con él, la cual podría asesorarme. A la empresa Plant-e se envió un correo el cual no fue contestado.

Disponibilidad de Materiales: La empresa Plant-e ya comercializa un producto para experimentar con la energía. Este producto incluye todo lo necesario para la elaboración de un dispositivo biofotovoltaico. Pero es su precio el cual imposibilita que pueda ser adquirido por mí obtener y averiguar con qué materiales funciona.

Debido a que como ambas partes deben de haber publicado un “Paper” donde informan cómo funciona la tecnología será ahí donde se obtendrá la información.

Mantenimiento: Ambos necesitan ser regados constantemente. La configuración de Plant-e requiere estar saturado de agua siempre. Esto puede ocasionar problemas de putrefacción y malos olores con el tiempo.

Posibilidad de elección de plantas: El sistema de Plant-e permite utilizar una mayor variedad de plantas.

## Conclusión

| Tipo de Configuración de Dispositivo | Capacidad de generar electricidad | Permisos/ patentes | Compresión de funcionamiento | Posibilidad de asesoría. | Disponibilidad de materiales | Mantenimiento    | Posibilidad de Elección de plantas | Factibilidad de construcción Y éxito |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Doc. Bombelli                        | Muy Factible                      | Posible            | Mayor                        | positivo                 | Menor facilidad              | Poco             | Menor                              | Mayor                                |
| Plant-e                              | Comprobado                        | Menos posible      | Menor                        | negativo                 | Mayor facilidad              | Poco con riesgos | Mayor                              | Menor                                |

La configuración de plant-e necesita de ambientes saturados de agua. Esto podría hacer necesario que el sistema necesite un sistema de oxigenación, mientras que la configuración del doctor Bombelli no. Factores como los permisos, la posibilidad de asesoría y el menor mantenimiento fueron también factores decisivos para la elección del tipo de configuración que será la del doctor Bombelli.

## Elementos de problema técnico:

Con los primeros experimentos se pudieron ubicar los componentes individuales que conforman una fotoCCM dando un primer entendimiento de cada uno. Estos se agruparán por categorías y se descompondrán en tantas pequeñas partes como sea posible y necesario para resolverse mejor.

### Elementos del problema:

#### 1.-Organismos Vivos

- Usuario
- Organismo autótrofo
- Bacterias heterotróficas

#### 2.-Celda de combustible microbiana:

- Contenedor
- Sustrato
- Ánodo
- Cátodo
- Membrana separadora de cámara anódica y catódica
- Circuito exterior

#### 3.-Componentes eléctricos.

- LED
- Circuitos paralelos o en serie
- Pilas o baterías
- Capacitores
- interruptores
- Low Power Microcontrollers

No todos los componentes electrónicos son necesarios para tener una fotoCCM pero son útiles para que la energía sea aprovechada.

Se investigarán en Internet, publicaciones científicas información sobre esta energía y para obtener la información necesaria que permita construir una fotoCCM funcional.

También se realizarán entrevistas a especialistas y personas que pudieran ayudar con el proyecto.

La información se clasificará por los elementos de la celda y se resumirá la información.

## Organismos Vivos

### *Organismo autótrofo*

Se define como organismo autótrofo al que es capaz de sintetizar o elaborar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas (wordReference, 2005) Este es el organismo que le proporcionara a las bacterias en el dispositivo biofotovoltaico el alimento de cual liberaran electrones.

Las fotoCCM pueden funcionar con plantas vasculares y musgo.

### Elección de organismo autótrofo

Entre las plantas recomendadas para la obtención de energía por Elena Mitro son el musgo, el arroz y él una caña conocida como "reed", miembros del orden *Poales*. Estas plantas son recomendadas debido a que crecen en condiciones de mucha humedad, medio que facilita la transportación de electrones. Por estas razones el doctor Delgado también sugirió lirio acuático.



Ilustración 29. Plantas de "reed"

Debido a que todas estas especies con excepción del musgo, necesitan de condiciones muy específicas como altas humedades o hasta ser sumergidas.

Estos requerimientos harían probablemente necesario el uso de un estanque con su propio sistema de limpieza, lo que volvería más costoso y complicado de utilizar el dispositivo biofotovoltaico. Además requeriría de usar una fuente externa de energía, lo cual no es el objetivo del proyecto.



Ilustración 30. Plantación de arroz en china

El musgo, aunque si necesita de condiciones específicas para crecer como lo es alta humedad y poca radiación solar, no son factores difíciles de controlar. Es por esta razón y su utilización en dispositivos biofotovoltaicos existentes que será el organismo autótrofo a utilizar.

### *Musgo*

“Los musgos son plantas pequeñas que carecen de tejido vascular o leñoso. Requieren de un ambiente temporalmente saturado de agua para completar su ciclo de vida. Son el segundo grupo más importante dentro de las plantas verdes. Se les divide en tres grandes grupos: antocerotes (*Clase: Anthocerotopsida*), hepáticas (*Clase: Hepaticopsida*) y musgos (*Clase: Bryopsida*). ”

Son unos de los primeros organismos vegetales que ocuparon el ambiente terrestre. El nombre de *briophyta* proviene del griego *brión*, que significa musgo y del latín *phyton*, que significa planta.”

### “¿Cuántos hay?

Se calcula que existen alrededor de 19,900 especies descritas de musgos. En México se reconocen 980 especies de musgos y cerca de 500 de hepáticas. Del primer grupo 106 especies son endémicas a nuestro país, esto es 10.8 %. A nivel mundial, los musgos son el grupo con más especies con alrededor de 12,800, seguidos por las hepáticas, de las cuales se conocen entre 6,500 a 7,000 especies. Solo se conocen alrededor de 100 especies de antocerotes.”

“¿Dónde viven?

Viven en ambientes muy variados, desde las altas montañas hasta el nivel del mar, en las selvas húmedas o en zonas áridas. A menudo se encuentran en los microclimas más húmedos de estos ambientes ya que requieren del agua para su reproducción.”



Ilustración 31

“¿Cómo son?

Generalmente son de tamaño pequeño. Su ciclo de vida incluye dos fases: el gametofito y el esporofito con características muy distintas. A diferencia de los helechos, en los musgos el gametofito (haploide) es la fase dominante. En algunos musgos, se producen estructuras verdes vegetativas llamadas gemas sobre los filidios, que pueden desprenderse y formar nuevas plantas sin la necesidad de recurrir al ciclo de fecundación. Esto constituye un método de reproducción asexual

El esporofito (diploide) es muy pequeño y de vida corta. El gametofito tiene un pequeño tallo, a menudo postrado, con pequeñas hojitas arregladas de forma espiral. También tiene rizoides por donde obtiene sus nutrientes.”

“¿Cómo viven?

Los musgos forman microambientes con mucha humedad, ya que retienen el agua como esponjas y la liberan lentamente. Por esto, muchos microorganismos y



Ilustración 32

pequeños artrópodos dependen de ellas. Son de gran importancia en el ciclo del agua, ya que almacenan el agua y también previenen la erosión. Son abundantes y se les puede observar en cualquier lado, crecen sobre los techos de las casas, rocas y paredes, troncos de árboles o en los muros y el suelo, siempre y cuando éste sea un lugar húmedo, ya que necesitan esto para su reproducción, sobreviven durante la época seca al final de la cual presentan extrema marchitez. Pero reverdecen con las lluvias, se reproducen aprovechando esa condición.”

“¿Cómo los usamos?

Los musgos se colectan como ornamentales, sobre todo en la época de Navidad para adornar pesebres, arreglos florales y canastas ornamentales.”

“En la mayoría de los casos la extracción se hace sin planes de manejo y con un alto impacto tanto para las poblaciones de musgos, como para las comunidades en donde viven. Algunos musgos son utilizados por sus propiedades medicinales.”

“Los musgos desempeñan un importante papel en los ecosistemas en que se encuentran. Los musgos retienen la humedad del suelo y evitan su degradación, y además constituyen un importante refugio de pequeños invertebrados. La recolección indiscriminada de musgos puede resultar muy agresiva con el medio y provocar importantes daños en nuestros ecosistemas.”

Extracto tomado de (Biodiversidad Mexicana, s.f.)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Bryophyta\\_sensu\\_stricto](http://es.wikipedia.org/wiki/Bryophyta_sensu_stricto)

### *El musgo en los sistemas biofotovoltaicos*

Es el musgo el organismo que se ha utilizado para la obtención de energía biofotovoltaica en productos del doctor Bombelli. Esto se debe a:

El musgo es igual de eficiente en la primera etapa de la fotosíntesis como otras plantas, pero debido a que crecen lentamente, son menos eficientes utilizando las moléculas generadas en material para su consumo, dejando un potencial más grande para transformarlos en energía eléctrica. (Felder, 2013)

Las condiciones ambientales que necesita para sobrevivir son favorables en muchas regiones del mundo, especialmente en la zona donde se ubica la Universidad de Cambridge y muchas zonas de Europa, Asia y Norte América. Climas lluviosos y nublados son ideales para su desarrollo. (Esto es porque el musgo no tiene grandes raíces o un tallo donde almacenar humedad, También sus paredes celulares no son capaces de retener el agua como otras plantas.) Se da tanto naturalmente, sin ningún cuidado, es que llamado la atención para ser aprovechamiento. Un sistema que requiere poco mantenimiento es más atractivo a uno que lo necesita.

En México se puede encontrar en microclimas muy húmedos como en cascadas, orillas de ríos o lugares con mucha sombra y humedad constante. También en climas secos donde permanece durmiente hasta las épocas de lluvia cuando se reproduce y vuelve a su estado latente cuando la humedad desaparece.

Hay muchas variedades de musgo en el planeta. No se han realizado estudios que determinen que musgo es mejor para su uso en las fotoCCM. (Bombelli, 2012) En los productos existentes han utilizado distintas variedades de musgo dado buenos resultados por lo que también se utilizaron distintas especies.

Todos los musgos pueden ser clasificados en dos géneros, acrocarpous y pleurocarpous

### Los acrocarpous

- Tienden a crecer verticalmente creando un montículo
- No se regeneran de fragmentos tan veloz como el género pleurocarpous.

- Las hierbas son menos exitosas invadiendo este genero debido al espesor y grosor de las colonias.
  - la mayoría de las especies necesita periodos secos para evitar podrirse.
  - son más resistentes a las sequias
- Especies comunes de este género son *Polytrichum commune*, *Dicranum scoparium*, *Campylopus introflexus* y *Luecobryum glaucum*.

### Los pleurocarpous

1. Crecen más horizontalmente por medio de ramificaciones.
2. La mayoría de los pleurocarpous crecen más rápido que los acrocarpous.
3. Se regeneran más rápidamente de fragmentos.
4. Se fijan rápidamente a la piedra y su ritmo de crecimiento las hace mejores para colonizar sustratos duros
5. Una colonia de pleurocarpous puede ser utilizado con un sustrato de acrocarpous una vez algún área sea colonizada por ellos.
6. Pueden tolerar la humedad constante, algunas especies incluso ser sumergidas.

Especies comunes de pleurocarpous

son: *Thuidium delicatulum*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Climacium americanum*, *Bryandersonia illecebria*, *Entodon seductrix*, *Hypnum cupressiforme*, y *Hypnum imponens*.



### Condiciones del suelo para musgo

El musgo no requiere de un suelo específico para crecer en términos de composición. Los suelos con un alto contenido de arena suelta evitan que el musgo logre fijarse al suelo. Es hasta que el musgo se ha fijado alguna superficie que iniciara su crecimiento vertical.

Lo mejor es una superficie plana sin obstáculos que impidan al musgo sortear el

Ilustración 33 Del lado izquierdo una colonia de musgo del genero acrocarpous, más compacta y alta, Del lado derecho una colonia del genero pleurocarpous, más extendida horizontalmente y con ramificaciones.

terreno. En cuanto al PH, lo ideal para el musgo es de 5.0 a 5.5 aunque este crecerá en un rango mucho mayor.

El musgo solo puede realizar la fotosíntesis cuando hay luz, humedad y una temperatura templada. Para incrementar la producción de nutrientes para las bacterias, es conveniente que el musgo crezca al ritmo más alto posible, por lo que, para maximizar su crecimiento, debemos aprovechar la mayor cantidad de luz y mantenerlo húmedo durante este periodo.

### [Usuario y el musgo](#)

En México, mercado al que estará dirigido el producto, tiene mucha radiación solar, es debido a esto y a sus marcadas estaciones de lluvia que no se encuentra con facilidad. La mayoría de la población en México no identifica el musgo.

Se ha observado que los contenedores cerrados y pequeños expuestos a la radiación solar se calientan tanto que el musgo muere por las altas temperaturas.

En ambientes secos como el de San Luis Potosí, aun en sombra, el musgo pierde humedad rápidamente, dificultando el desarrollo de este, el agua se evapora hasta que el musgo pasa al estado latente.

### [El musgo en el producto y mercado](#)

Si el producto requiere de musgo para funcionar deberá propiciar el desarrollo de este y dar instrucciones al usuario de cómo cuidarlo y darle mantenimiento.

El musgo es un ser vivo y para que el producto sea exitoso hay varios problemas que se atenderán:

- No debe trasportar enfermedades o ser causa de alergias.

- Deberá llegar al usuario final en un estado que permita en un tiempo corto después de instalar el dispositivo, hacerlo funcionar.
- Será legalmente viable y sustentable de producir o adquirir el musgo y transportarlo en el país.

### Selección de especies

Para la selección de la especie primero se evaluarán cada una de ellas en base a sus propiedades o desempeño que los criterios importantes a resolver del proyecto. Después se compararán entre sí para seleccionar por lo menos 3 que tengan las mejores puntuaciones.

#### **Factores a evaluar en las especies:**

1. Belleza o atractivo visual: Las personas prefieren plantas con flores o colores intensos. Si el musgo es atractivo visualmente, atraerá más la atención y tendrá un efecto positivo al momento de la compra y en el uso del producto.
2. Capacidad de adaptación a distintos ambientes de interiores de edificaciones en México: Para que el producto pueda ser usado por personas en todo el país, el musgo debe poder crecer ahí donde el usuario se encuentre. Los climas de México son muy diversos. Aunque el dispositivo y el usuario podrían controlar con precisión la cantidad de agua disponible para el musgo, la temperatura, humedad y radiación solar pueden diferir.
3. Ritmo de crecimiento: Debido a que el musgo crece lento y las dimensiones del mismo son relevantes para el funcionamiento del dispositivo biofotovoltaico, se elegirán las especies que más rápido crezcan. Esto es buscando un mejor desempeño y mayor capacidad atractiva del producto.
4. Capacidad de generación de energía: El musgo debe auxiliar a la generación de energía eléctrica.
5. Reproducción asexual: Para que el producto tenga una larga vida útil, es necesario que el musgo pueda reproducirse. El proceso de reproducción de los musgos se simplifica si la especie tiene la capacidad de reproducirse asexualmente.

6. Capacidad de deshidratación y posterior reavivamiento: Para distribuir el producto podría ser necesario que fuera empacado y permaneciera en ese estado por un periodo indefinido. Si el musgo tuviera la capacidad de secarse mientras es enviado y después revivir al ser hidratado por el usuario final, permitiría simplificar la distribución del producto.
7. Facilidad de cuidado: Factor decisivo en la compra de una planta de interior, es que esta no muera con facilidad. El musgo no debe morir o enfermarse fácilmente y no debe requerir cuidados que el usuario no pueda otorgar.
8. Permiso legal para producirlo, adquirirlo y enviarlo: El producto deberá acatarse a las normas y legislación mexicana.

No se ha detectado que alguna especie de musgo sea tóxica o represente un peligro para los seres humanos. Las esporas de musgo pueden llegar hacer tan habituales como el polen en ciertos momentos, pero son generalmente no alérgicas.

<http://www.mossandstonegardens.com/blog/how-to-grow-moss/>

#### *Conclusión, las especies que se utilizaran*

Se utilizarán aquellas especies que **han sobrevivido al tiempo que ha llevado el desarrollo de este proyecto**. Algunas especies murieron debido a que se expusieron mucho al sol y se calentaron hasta morir. Las que revivieron y las que no murieron son más aptas para ser utilizadas ya que permitirían que el producto no deje de servir.

**Atractivo visual.** Las especies más frondosas, verdes e interesantes son preferidas.

**Raíces del musgo:** Las especies que más enraízan son preferidas ya que aumenta el área por donde pueden crecer bacterias y crean más conexiones con el ánodo.

Se utilizarán en combinación para propiciar una mayor colonia de bacterias

Debido a que el crecimiento de las acrocarpous está marcado por las épocas de sequía que debe pasar, la misma que detendría la producción de alimento para las bacterias y detendría la corriente eléctrica. La mejor elección de genero de musgo es la **pleurocarpous**.

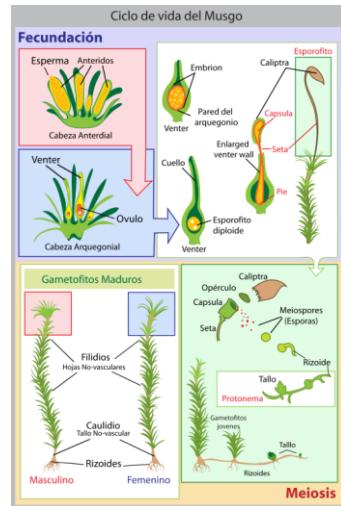
Pero esta misma ventaja, la de poder permanecer constantemente en condiciones de humedad, debe ser controlada ya que al sobrepasar los 23.5°C, la aparición de hongos y moho se vuelve muy probable. Si esto sucediera, es necesario secar el musgo y volverlo a hidratar, pero ahora con una menor cantidad de humedad.

Debido a la latitud de México, musgos que soportan el sol directo pudieran ser más flexibles adaptándose a distintas regiones. Especies de musgo que resisten la radiación solar son: *Entodon seductrix*, *Climacium americanum*, *Leucobryum glaucum*, *Aloina aloides*, *Ceratodon purpureus* and *Bryum argentium*.

**Especies a las que se tiene acceso:** La mayoría de las variedades de musgo que se han obtenido provienen de la huasteca potosina, Se han recolectado directamente en el municipio de Tamasopo y en el mercado municipal “República” de la ciudad de San Luis Potosí en la época decembrina.

Otras especies se han recolectado del municipio de Guadalcazar, en el altiplano potosino. Estas se utilizarán primero antes de traer especies de ubicaciones lejanas.

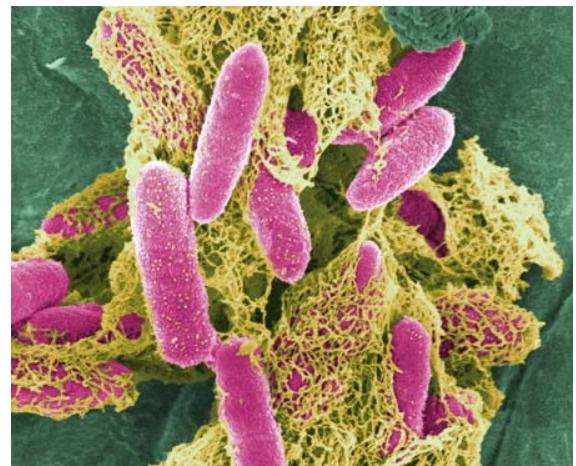
## Algunas imágenes de la recolección de musgo.



### *Bacterias heterotróficas*

Un organismo heterótrofo es aquel que obtiene sus elementos alimenticios y estructurales de otros organismos y también en la mayoría de los casos obtiene su energía de esta manera. Algunos de estos elementos son; carbono y nitrógeno de la materia orgánica—glúcidos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos—. Al grupo heterótrofo pertenece el reino animal, los hongos y gran parte de las bacterias y de las arqueas.

En el organismo heterótrofo las sustancias nutritivas son materias orgánicas ricas en energía —carbohidrato, lípido, proteína—, pues los seres heterótrofos son incapaces de transformar materia inorgánica en orgánica. Estos organismos por tanto, dependen de la materia orgánica viva o muerta sintetizada por los organismos autótrofos, o de otros seres heterótrofos.



[http://es.wikipedia.org/wiki/Nutrici%C3%B3n\\_heter%C3%83trofa](http://es.wikipedia.org/wiki/Nutrici%C3%B3n_heter%C3%83trofa)

### *Bacterias heterotróficas en los dispositivos biofotovoltaicos*

Estos microorganismos, las bacterias heterotróficas electrogénicas serán las responsables de oxidar la materia orgánica en la rizosfera del organismo autótrofo y transferir los electrones generados a una superficie sólida conductora como, por ejemplo, el grafito para así obtener una corriente eléctrica. Este proceso se conoce como bioelectrogénesis.

Se consideran que una mezcla de diferentes tipos de bacterias heterotróficas es más robusta que las que operan con un solo tipo. Ventajas incluyen mayor resistencia contra procesos disturbantes, un ritmo mayor de consumo en sustratos

orgánicos y la posibilidad de usas varias mezclas de sustratos con una entrega de corriente más alta. (McCormick, y otros, 2015)

Recientemente se ha demostrado en cultivos mixtos que los microorganismos fermentativos pueden tener poca o nula capacidad para transferir electrones al ánodo, sin embargo, su metabolismo contribuye a la generación de energía en la CCM (Richter et al., 2008) ya que aportan subproductos que pueden ser utilizados como sustratos por otras poblaciones microbianas, permitiendo el establecimiento de interacciones sintróficas. Kiely et al. (2011) (Dolly M. Revelo, 2013)

A nivel práctico es mejor emplear cultivos mixtos porque estos generan altos potenciales y su manejo es más económico y menos exigente (Du et al., 2007). (Dolly M. Revelo, 2013)

La diseñadora Elena Mitro informó que la bacteria específica que libera los electrones al suelo se encuentra naturalmente presente en las raíces del musgo. Es por ello que ella no utilizó un sustrato orgánico que es rico en muchas otras bacterias. En cambio, utilizó fibra de carbono y polímeros superabsorbentes (SAP) los cuales no presentan vida bacteriana naturalmente.

### **Conclusiones:**

Se utilizará las bacterias presentes en las raíces del musgo y en la tierra que se agregará como parte del sustrato ya que experimentos sugieren que se desarrolla mejor el musgo con al menos un poco de tierra. Algunas de las bacterias pudieran no producir corriente eléctrica, pero podrían crearse relaciones sintróficas entre bacterias las cuales permitan ultimadamente incrementar el voltaje.

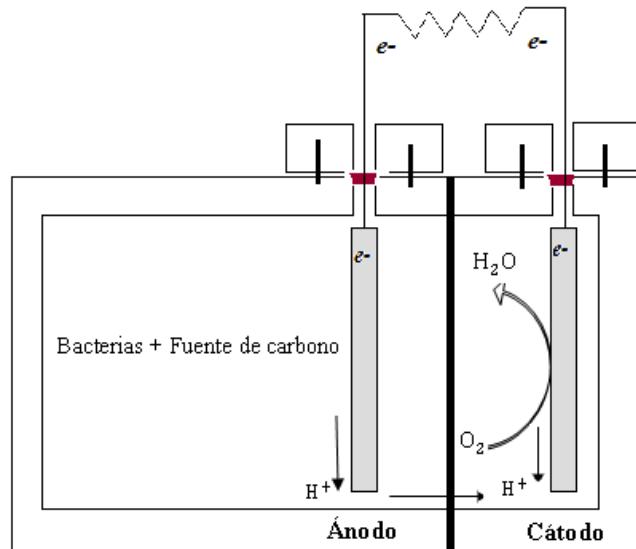
No se tiene información que las bacterias presentes naturalmente en el musgo sean un peligro para el ser humano, pero al provenir de sustratos orgánicos naturales, no se cree, presenten un riesgo patogénico para el ser humano.

## Celda de combustible microbiana:

Es la celda de combustible microbiana es donde se generará la energía eléctrica que utilizará el elemento emisor de luz.

Las celdas de combustible microbianas son sistemas bioelectroquímicos que permiten la conversión directa de la energía química contenida en los enlaces de la materia orgánica a electricidad, a través del potencial oxidativo de algunos tipos de bacterias fermentativas o enzimas. Las bacterias utilizadas mineralizan compuestos orgánicos generando principalmente como productos aprovechables: agua limpia y energía eléctrica. (Burgos, 2012)

En las CCMs se busca transferir los electrones liberados a un electrodo (ánodo), que está conectado a un cátodo a través de un material conductor que contiene una resistencia. Las cámaras que albergan estos electrodos, la anódica (anaerobia) y la catódica (aerobia), están comunicadas por una membrana de intercambio catiónico que permite el paso de protones. De esta forma, los protones generados en la oxidación de la materia orgánica se combinan con oxígeno y con los electrones que llegan al cátodo para formar agua (ilustración 4a) (bioe)



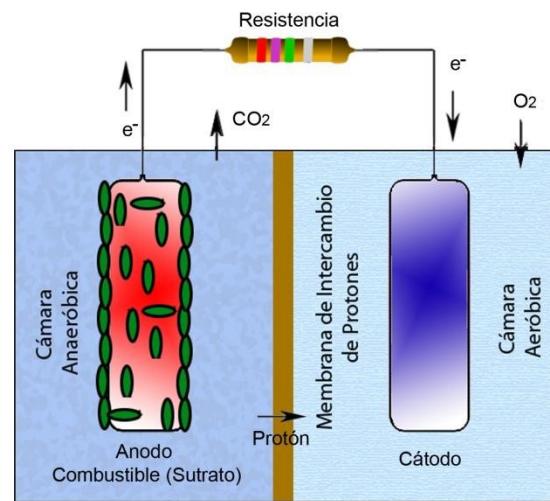
(Burgos, 2012)

Las CCMs son sistemas electroquímicos porque necesitan de dos electrodos, un ánodo y un cátodo para que sea posible el transporte y la recuperación de electricidad a través de un circuito externo donde la principal fuerza motriz en la

generación de potencia (Watts), es la diferencia de potencial (Volts) entre el ánodo y el cátodo, junto con la tasa de flujo de electrones (Amperes). (Burgos, 2012)

### *Arquitectura Y Funcionamiento De Las Celdas De Combustible Microbianas*

Una CCM típicamente está compuesta por dos cámaras, una anaeróbica y otra aeróbica en medio de las cuales hay un separador. La cámara anaeróbica contiene sustratos orgánicos que, al oxidarse por acción de los microorganismos, generan electrones, protones y CO<sub>2</sub>. En cada una de las cámaras se coloca un electrodo, el ánodo en la cámara anaeróbica y el cátodo en la cámara aeróbica (Du et al., 2007), una vez los electrones se liberan en la cámara anódica, éstos son captados por el ánodo y posteriormente transferidos hacia el cátodo mediante un circuito externo. Simultáneamente, en la cámara anódica se generan protones que migran hacia la cámara catódica a través del separador (Li et al., 2011), donde se combinan con el oxígeno del aire para reducirse a agua con los electrones que captan directamente del cátodo, debido a que esta reacción no está catalizada por microorganismos el cátodo se refiere como abiótico. (Dolly M. Revelo, 2013)

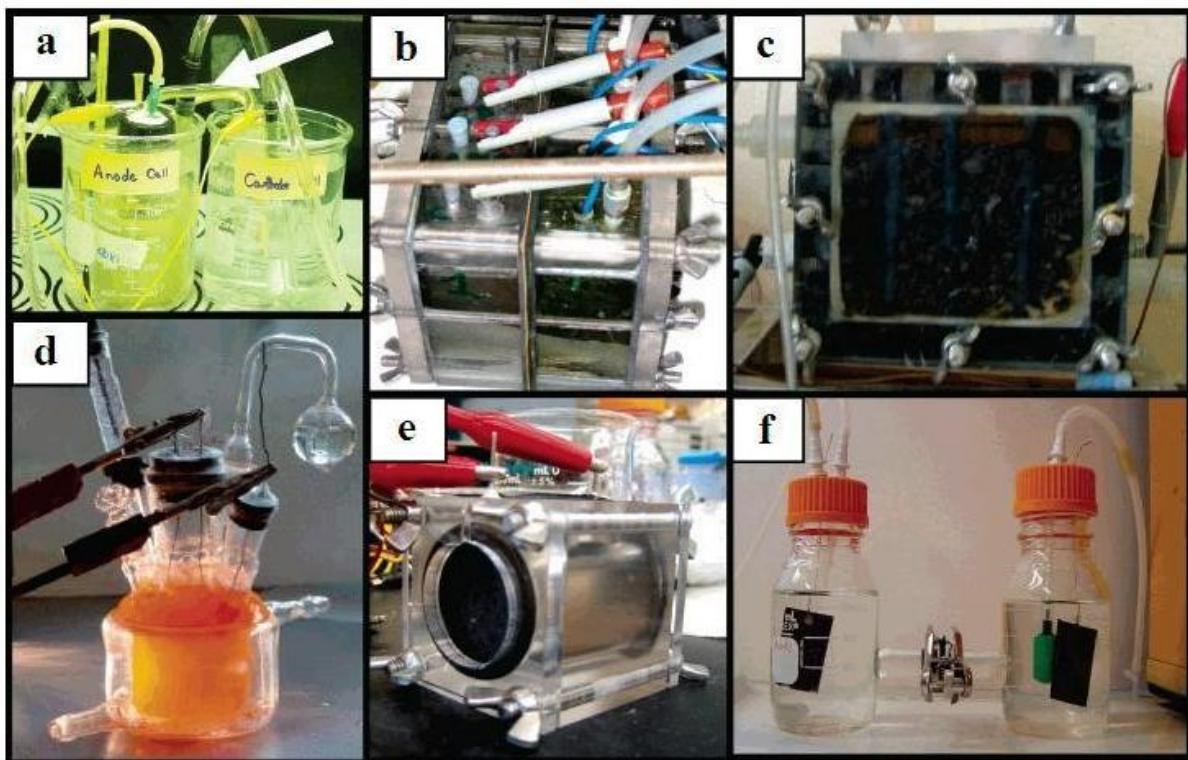


La celda se fabrica en acrílico o en vidrio, para los electrodos se pueden utilizar diferentes materiales como cobre, platino, grafito u otros (Du et al., 2007). El separador, que es un importante componente del sistema porque es una membrana que impide el paso de electrones de la cámara anódica a la catódica y deja pasar los protones, puede ser de varios tipos: membrana de intercambio de cationes (MIC), membrana de intercambio de aniones, membrana bipolar, membrana de micro filtración, membrana de ultrafiltración, puente salino, fibra de

vidrio, membranas porosas y otros materiales para filtrado (Li et al., 2011). El separador más ampliamente utilizado es la MIC que también se conoce como membrana de intercambio de protones (MIP) y entre ellas es muy común la Nafion, un producto de DuPont Inc., USA, que muestra una alta permeabilidad a los protones (Borole et al., 2009; Alzate-Gaviria et al., 2010; Wang et al., 2010). (Dolly M. Revelo, 2013)

Una configuración muy utilizada es la de forma de “H” Un diseño ampliamente utilizado y de bajo costo es la CMB de dos cámaras construida en forma de “H”, que consiste por lo general de dos contenedores conectados por un tubo que contiene en su interior un separador que suele ser una membrana de intercambio de protones (MIP) como Nafion (Park y Zeikus, 1999; Bond y col., 2002; Logan y col., 2005a; Min y col., 2005) o Ultrex (Rabaey y col., 2003) o un puente salino (Min y col., 2005) La clave de este diseño, es elegir una membrana que permita a los protones a pasar entre las cámaras (La MIP también se conoce como membrana de intercambio de protones) y que no acepte el paso del sustrato o del aceptor de electrones a la cámara catódica. Sin embargo, el tubo por sí mismo no es necesario mientras las dos cámaras se mantengan separadas. Las cámaras pueden estar presionadas sobre ambos lados de la membrana y sujetarse entre sí para formar una gran superficie

Los sistemas “H” son aceptables para la investigación de parámetros básicos tales como la producción de energía utilizando nuevos materiales o la observación de comunidades microbianas que se presentan durante la degradación de compuestos específicos, pero en general, estos sistemas suelen producir bajas densidades de potencia.



Diferentes diseños de CMB: (a) Sistema de fácil construcción que contiene un puente de sal (mostrado por la flecha) (Min y col., 2005); (b) Cuatro CMB alimentadas en tandas (batch-mode), las cámaras están separadas por una membrana (sin tubo) y están unidas por medio de tornillos (Rabaey y col., 2005b); (c) igual que b, pero con un flujo continuo a través del ánodo (Rabaey y col., 2005c), (d) CMB de tipo fotoheterotrófico (Rosenbaum y col., 2005); (e) CMB de una sola cámara con cátodo de aire (Liu y Logan, 2004); (f) sistema de dos cámaras tipo H que muestra las cámaras del ánodo y el cátodo equipadas con burbujeo de gas (Logan y col., 2005a).

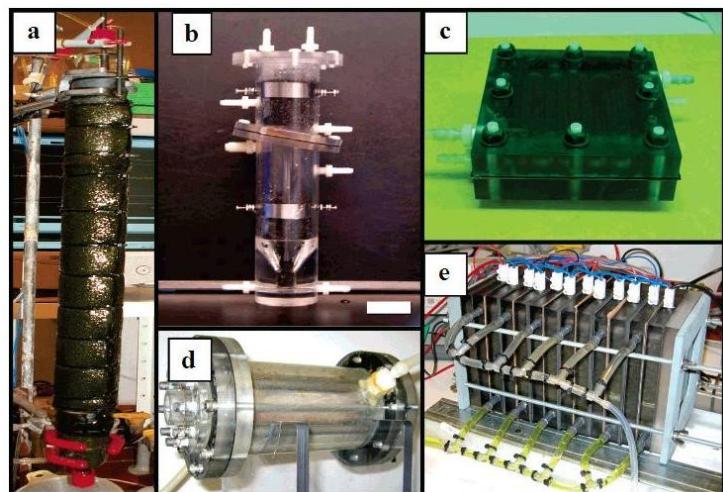
Las CMB de sedimentos se construyen al colocar un electrodo dentro un sedimento marino rico en materia orgánica y sulfuros, y el otro al colocarlo en el agua por encima del sedimento, la electricidad puede ser generada a niveles suficientes como para alimentar algunos dispositivos marinos (Reimers y col., 2001; Tender y col., 2002). Los protones dirigidos por el agua de mar pueden producir una densidad de potencia de hasta 28 mW/m. Discos de grafito pueden ser utilizados como electrodos (Reimers y col., 2001; Bond y col., 2002), aunque también se han utilizado electrodos en forma de malla de platino (Tender y col., 2002). Los sedimentos también se han colocado en sistemas H de dos cámaras para permitir la investigación de las comunidades bacterianas (Bond y col., 2002).

En los últimos años se han desarrollado CCMs de biocátodo o de cátodo microbiano (Huang et al., 2011), en las que a diferencia de los cátodos abióticos los microorganismos son usados como biocatalizadores para aceptar electrones a partir del cátodo y así reemplazar el uso de catalizadores químicos costosos. Los biocátodos son de dos tipos: (1) biocátodos aeróbicos que usan oxígeno como el

oxidante y microorganismos que asisten la oxidación de compuestos metálicos de transición, tales como Mn(II) o Fe(II), para la entrega de electrones al oxígeno; (2) biocátodos anaeróbicos que usan diferentes compuestos como aceptores terminales de electrones, tales como: nitrato, sulfato, Mn(IV), Fe(III), selenato, arsenato, fumarato, perclorato, cloroetenos, 2-clorofenol, ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>, U(VI), Cr(VI), H<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub>, entre otros (Sharma y Kundu, 2010; Huang et al., 2011). Estos biocátodos son de gran interés por su bajo costo, capacidad auto-regenerativa y sostenibilidad y además porque pueden contribuir a disminuir los altos potenciales catódicos. (Dolly M. Revelo, 2013)

Una variante de la CCM de doble cámara se obtiene eliminando la cámara catódica y exponiendo el cátodo directamente al aire, transformándose así en una CCM de una sola cámara; este hecho hace que sea un sistema mucho más sencillo y de menor costo (Du et al., 2007). (Dolly M. Revelo, 2013)

Otras variaciones de estos diseños básicos han surgido en un esfuerzo por aumentar la generación de energía o para establecer un flujo continuo a través de la cámara del ánodo, en contraste con los sistemas anteriores, los cuales fueron operados en modo batch (tandas de alimentación al ánodo).



CMB utilizadas en operación continua: (a) CMB de tipo tubular de flujo ascendente con ánodo interior de grafito y cátodo exterior (Rabaey y col., 2005a); (b) CMB de tipo tubular de flujo ascendente con el ánodo debajo y el cátodo arriba, la membrana está inclinada (He y col., 2005); (c) Diseño de placa plana, un canal se divide en bloques de modo que el líquido puede fluir en una serpentina a través del electrodo (Min y Logan, 2004); (d) sistema de una sola cámara con un cátodo de aire interior concéntrico rodeado por una cámara que contiene barras de grafito como ánodo (Liu y col., 2004); (e) CMB apiladas, seis CMB separadas se unen en un solo bloque (Aelterman y col., 2006a). (Dolly M. Revelo, 2013)

Toda esta información se obtuvo de la publicación, (Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica, Información Tecnológica Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Revelo Vol. 24(6), 17-28 (2013) doi: 10.4067/S0718-07642013000600004 ) (Du et al.(2007)

El doctor Gerardo Ortega afirmó que se necesitan dos cámaras para que el dispositivo funcione.

#### Conclusiones:

- La arquitectura de la foto MCCM que se tiene conocimiento que si funciona es una CCM de doble cámara. Elena integra las dos cámaras en un solo contenedor colocando la anódica sobre la catódica. Esta manera de disponerlas parece ser práctica ya que la estructura es más simple. Para utilizar esta configuración solo debe colaborar que los materiales que se utilicen lo permitan.
- Como la celda se conectará probablemente en serie, este debe facilitar la conexión con otras.
- El espacio interior debiera ser lo suficientemente grande para ubicar el ánodo, cátodo y la membrana que los separara.
- Utilizar un biocátodos involucraría crear un dispositivo más complejo al incluir más relaciones entre bacterias, por lo cual no se tomará en cuenta.

#### *Sustratos*

El sustrato es uno de los aspectos más importantes de la CCM porque constituye el combustible a partir del cual se genera la energía. En las CCM tradicionales el sustrato suele ser aguas residuales, lodos o líquidos con materia orgánica. En el

dispositivo Foto CCM se le denominara sustrato a la materia donde se estructura el musgo y combustible a la materia orgánica que la planta deposita en sus raíces de la cual se alimentaran las bacterias.

La estructura sobre la cual se estructurará el musgo será el ánodo. Este está constituido en Moss Voltaics de fibra de carbono y polímeros súper absorbentes hidratados. Esta configuración funciona y se experimentara con ella.

El musgo se trasplanta con un poco de materia orgánica. Se desconoce si el musgo necesite más nutrientes además de los que pueda obtener de esta materia orgánica, ya que la composición del ánodo no brindaría ninguno. Para brindarle al musgo los elementos necesarios para sus procesos biológicos se plantean dos alternativas.

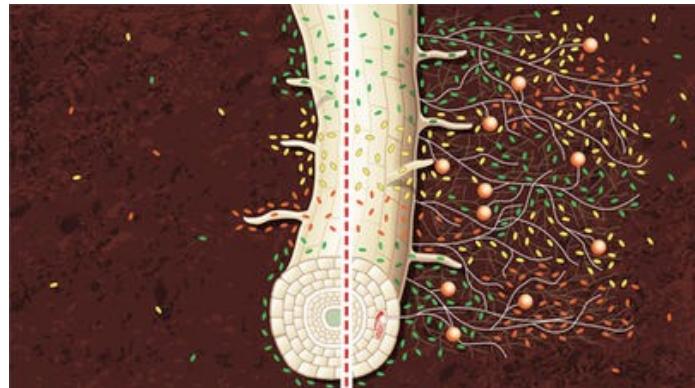
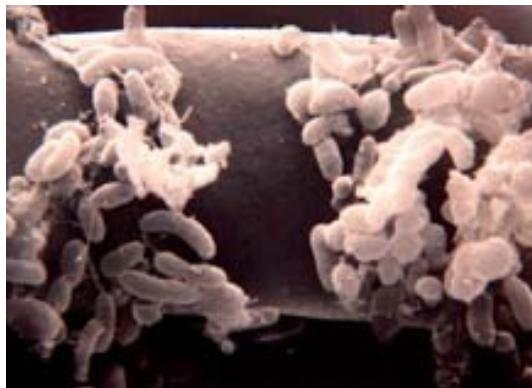
1. regar al musgo con una mezcla de agua con nutrientes vegetales. Estos podrían ser asimilados directamente por el musgo, pero probablemente el usuario final deba de adquirirlos y aplicarlos. Este proceso, que es sencillo, aumenta el número de operaciones necesarias para el mantenimiento del sistema además del costo.
2. Incluir más sustrato orgánico al momento del trasplante. Esta opción podría hacer que el usuario solo tenga que abastecer de agua convencional al dispositivo, pero es necesario comprobar que la transportación de electrones de la bacteria al ánodo es igual de eficiente o vale la pena sacrificar la diferencia.

El combustible se deposita en las raíces del musgo, exactamente en la rizosfera, La parte del suelo inmediata a las raíces vivas y que está bajo directa influencia de estas. Aquí se depositan compuestos orgánicos como la glucosa ( $C_6H_{12}O_2$ ) (<http://cargocollective.com/elenamitro/Moss-Voltaics>), los cual serán consumidos por las bacterias. Y de donde se transportarán los electrones al Ánodo.

Existen bacterias llamadas rizobacterias que colonizan las raíces de algunas plantas en una relación simbiótica beneficiosa para ambas partes (mutualismo).

(<http://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Rizobacteria>) Cuando existe esta relación, la rizosfera de la planta crece lateralmente.

Se desconoce que bacterias con actividad electrogénica que se busca estén presentes en la rizosfera de la fotoCCM y si actúan de una manera similar a las rizobacterias.



#### Conclusiones:

Se experimentará primero sin agregar nutrientes ya que este debería ser el ideal.

Se tomará una muestra de las raíces del musgo para un análisis bacteriológico para determinar si:

- Las especies presentes son peligrosas para la salud.
- Investigar qué tipo de relaciones pueden tener.

Ilustración 37. Rizo bacterias en raíz

Ilustración 36. El lado izquierdo es un ejemplo de una raíz sin bacterias promotoras de crecimiento (PGPB) mientras que el lado derecho muestra un escenario donde sí está presente.

## Transferencia extracelular de electrones

(Transferencia de electrones desde el microorganismo al ánodo)

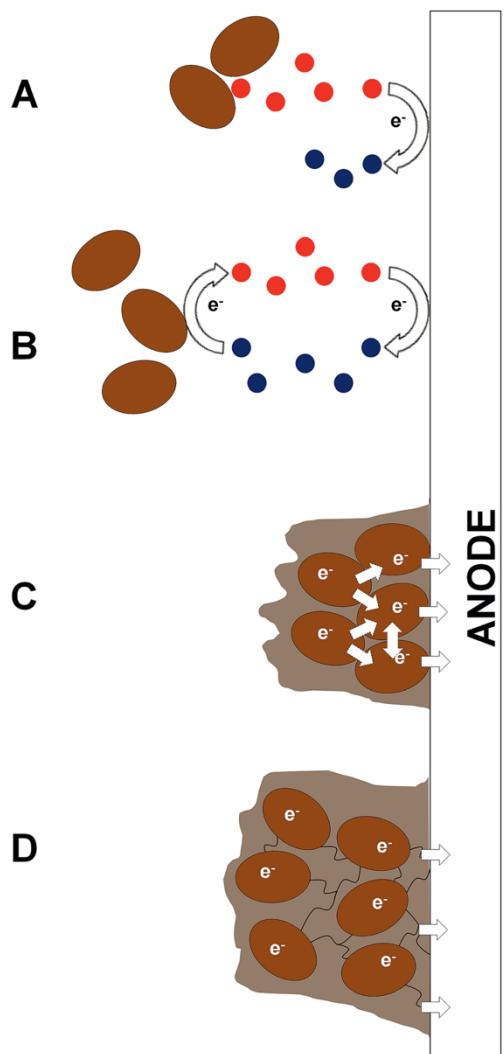
Una vez las bacterias liberen los electrones en el interior de las células, hay distintas formas en las que puede llegar al ánodo, Transferencia extracelular indirecta de electrones. (IEET en inglés) y Transferencia extracelular directa de electrones (DEET)

La transferencia extracelular directa de electrones logra generalmente mayores densidades de poder pero requiere distancias muy cortas entre los mecanismos internos de transporte de electrones y el ánodo. (McCormick, y otros, 2015)

En esta transferencia las bacterias crean una conexión directa con el ánodo ya sea en contacto con proteínas redox en la superficie de la célula (figura C) o a través de apéndices extracelulares. (figura D) (McCormick, y otros, 2015)

En la transferencia extracelular indirecta de electrones se utilizan mediadores que transportan el electrón de la célula al ánodo.

Un mediador es un compuesto que puede entrar en la célula, aceptar electrones de varios acarreadores intracelulares de electrones, salir de la célula en estado reducido y entonces



donar los electrones al ánodo. Estos mediadores juegan un papel fundamental en la transferencia de electrones, en aquellos microorganismos que son incapaces de transferir electrones al ánodo directamente (Imagen, A y B).

Los mediadores pueden ser producidos por el mismo microorganismo o adicionados exógenamente.

### **conclusión transferencia extracelular de electrones**

En la configuración de la celda que se realizara, Se cree que la transferencia es extracelular directa, debido a que la raíz del musgo penetra el ánodo, fijándose directamente sobre él. Aun si se desconoce qué tipo de bacteria o bacterias serán las que realizan la transferencia y que método utilizará.

Es importante conocer el recorrido exacto que realizan los electrones desde su liberación.

### ***Contenedor***

El contenedor es el elemento que contiene, protege y estructura la fotoCCM.

El contenedor deberá albergar:

- Musgo
- Bacterias
- Ánodo
- Cátodo
- Membrana separadora
- Agua
- Conexión con circuito eléctrico

### **Análisis de contenedores usados en otros fotoCCM:**

Materiales:

#### Contenedor usado en Moss Table

Material: Acrílico

#### Contenedor usado en Moss FM

Material: Plástico semitransparente desconocido

#### Contenedor usado en Moss Voltaics

Material: Arcilla

### **Análisis de materiales utilizados:**

Los materiales utilizados son materiales aislantes eléctricamente, con ello dirigen la energía generada a los materiales que si son conductores o semiconductores. (Cátodo y ánodo)

Elena Mitro utiliza arcilla (similar al barro) porosa por su capacidad de absorber agua, generando una atmósfera más húmeda para el musgo y lograr absorber el agua de la lluvia. Sin embargo, el fondo del recipiente le agrega una capa cerámica impermeable, para que ahí se almacene el agua y sea absorbido por el hidrogel.

### **Forma:**

Mientras que Moss FM tiene al descubierto el musgo, Moss Voltaics lo guarda en una especie de cajón. Esto debe ser debido a que Moss FM está hecho para ser colocado y utilizado en el interior, mientras que Moss Voltaics en el exterior.

Dimensiones:

| Celda Biofotovoltaica       | Dimensiones ( 1 celda) | Potencia Registrada                         |
|-----------------------------|------------------------|---|
| Moss Table                  | 7 cm diámetro x 10 cm  | 0.4 – 0.6 V y<br>5-10 microamps ( $\mu$ A). |
| Moss FM                     | 15 x 15 cm aprox       | .45 V                                       |
| Moss Voltaics 1er prototipo | 10x10x15 cm aprox      | .35V  |
| Moss Voltaics 2do prototipo | 40x40x20               | .4 - .5 V                                   |

De la tabla se podría obtener que, a mayor tamaño, mayor voltaje. Se ha encontrado que difícilmente sobrepasan los .6 Volts las fotoCCM. Lo que el tamaño podría aumentar es la corriente (amperes).

Ya que, las celdas tienen un límite aparente de voltaje, se debería buscar aumentar el número de celdas en vez del tamaño de estas para alcanzar un voltaje deseado.

Como conectándose en serie se obtiene la suma total del voltaje de cada celda conectada podemos calcular el mínimo de celdas que se necesitan para encender un LED de 1.5 Volts.



## Imagen xx

Suponiendo que se obtenga .35 V de cada celda tendríamos:

$1.5 / .35 = 4.2$  celdas conectadas en serie. 4.2 celdas serie sería el mínimo necesario para encender el LED de 1.5 Volts.

Para calcular cuantas Series en paralelo se necesita tendríamos que conocer el amperaje que cada celda genera. En los proyectos Moss FM utiliza 2 series en paralelo y Moss Voltaics propone también 2 en paralelo como unidad que van multiplicándose dependiendo el espacio que se disponga a cubrir.

Al desconocer la corriente que se obtendrá, se utilizaran también 2 series en paralelo para el primer prototipo, de donde se podrá obtener información que permita ajustar la configuración del sistema a un tamaño óptimo de funcionamiento.

Hasta no conocer la corriente que se genera en las celdas se hará una aproximación de tamaño necesario de las celdas para lograr encender una luz LED de 1.5 Volts. Las dimensiones de la celda se calcularán de la siguiente manera:

La diseñadora Elena Mitro calcula que se necesitan 2 metros cuadrados de su dispositivo para encender una luz LED continuamente. Esto sería por lo menos una luz LED de 3. volts encendida 24 horas.

Ilustración 39. Calculo de Elena mitro sobre superficie necesaria para distintos dispositivos.

Fuente:  
<http://cargocollective.com/elenamitro/Moss-Voltaics>

1 Calculo de Superficie Necesaria para dispositivo. 9/Abril

1  $\frac{1}{100\text{cm}} \times \frac{1}{100\text{cm}} = 1 \text{ metro cuadrado}$

$20,000 \text{ cm}^2 = 1 \text{ LED } 3V/24 \text{ horas}$

$10,000 \text{ cm}^2 = 1 \text{ LED } 1.5V 24 \text{ horas}$

$\frac{10,000 \text{ cm}^2}{24} = 1 \text{ LED } 1.5V 1 \text{ hora}$

$416.66 \text{ cm}^2 = 1 \text{ LED } 1.5V 1 \text{ hora}$

$416.66 \text{ cm}^2 \text{ es igual que:}$

Se espera obtener menor voltaje y corriente en el sistema biofotovoltaico.

Elena obtiene 4.5V  
Este dispositivo tiene 3.5

$3.5/4.5 = .777778$   
 $.4.5/3.5 = 1.28571$

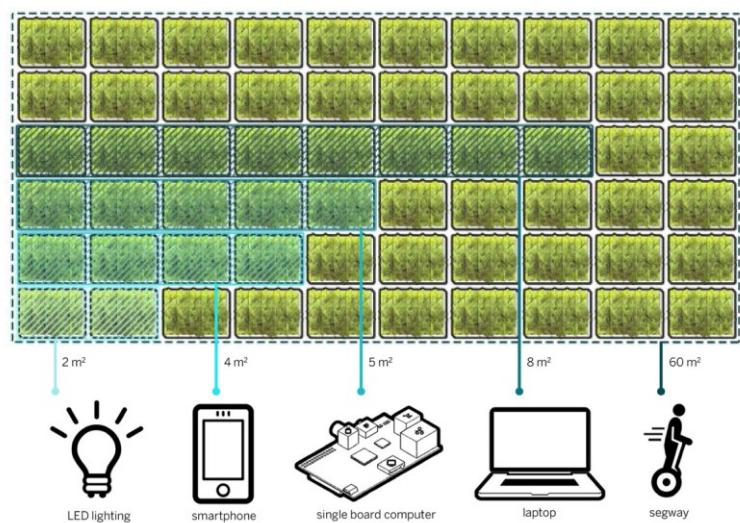
El dispositivo debe aumentar su tamaño  
El Área de Cada celda debe ser  
de Al menos  $53.48 \text{ cm}^2$

$416 \text{ cm}^2 \times 1.28571 = 534.85 \text{ cm}^2$

Ilustración 40. Calculos realizados para la obtencion de la superficie minima necesaria de cada celda biofotovoltaica.

## Conclusiones contenedor

- Debido a que es importante exponer lo más posible al usuario el musgo. Este deberá estar visible. El contenedor deberá exhibirlo mientras permite que crezca sin dificultades.
- El contenedor debe poder albergar todos los componentes de la celda de combustible.
- El contenedor será de plástico o cerámica. Se investigará si el barro puede funcionar como un aislante eléctrico para tomarlo en cuenta al momento de escoger



el material. Además, el material debe ser impermeable en la parte más baja para no dejar filtrar el agua. La decisión del material a utilizar se realizará tomando en cuenta la forma deseada y al usuario final.

- El número de celdas será de 10, dispuestas en 2 series de 5 celdas cada una.
- La superficie del musgo en la celda no debe ser menor a 53.48 cm<sup>2</sup>.

### *Ánodo*

El ánodo es definido como el electrodo en el cual los electrones salen de la celda y ocurre la oxidación, y el cátodo es definido como el electrodo en el cual los electrones entran a la celda y ocurre la reducción. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Electrodo>). En las celdas de combustible microbiana los electrodos se pueden utilizar diferentes materiales como cobre, platino, grafito u otros (Du et al., 2007).

Los materiales con los que se deben construir los ánodos deben ser conductivos, biocompatibles y químicamente estables en la solución del reactor. Los ánodos metálicos consisten de una malla de acero inoxidable no corrosivo y que pueden ser utilizados para esta aplicación (Tanisho y col., 1989). El material de electrodo más versátil es el carbón, disponible como placas de grafito compacto, barras o gránulos, así como materiales fibrosos (fieltro, tela, papel, fibras, espuma) y carbón vítreo. Existen numerosos proveedores de carbón en el mundo, por ejemplo: E\_TEK and Electrosynthesis Co. Inc. (EUA), GEE Graphite Limited, Dewsbury (Inglaterra), Morgan, Grimbergen (Bélgica) y Alfa-Aesar (Alemania).



Los materiales utilizados más simples son las placas y las barras de grafito ya que son relativamente baratos, fáciles de manejar y tienen un área de contacto

definida. Diversos tipos de productos de carbón como son papel, fibra, entre otros han sido utilizados extensivamente como electrodos. Mayores áreas superficiales pueden ser alcanzadas usando materiales compactos como el carbón vítreo reticulado (RVC; ERG Materials and Aerospace Corp., Oakland, CA), el cual se encuentra disponible con diferentes tamaños de poro o usando capas de gránulos de carbón o esferas (Le Carbone, Grimbergen, Bélgica). El efecto a largo plazo del crecimiento de la biopelícula o de las partículas en el flujo en cualquiera de las superficies no ha sido debidamente examinado todavía.

El material que se ha utilizado como ánodo en Moss Voltaics es una mezcla de fibra de carbono e hidrogel. Primero se coloca una capa de hidrogel y enseguida la fibra de carbono, esta es la composición sobre esta se agrega el musgo. El objetivo con esto es que las raíces se integren al ánodo y ocurra una transferencia directa de electrones desde la rizosfera. Esta es la configuración exacta de la que se tiene registro funciona una celda biofotovoltaica. Es probable que sea la misma configuración a la utilizada en Moss FM debido a que en él, se comunica que se utilizaron “electrodos de carbono y materiales retenedores de agua”.

### **Conclusión ánodo:**

- Se utilizará la misma configuración que en Moss Voltaics debido a que se ha comprobado su funcionamiento.
- Se revisará que este material funcione en la configuración completa de la celda de combustible.
- La fibra de carbono que sería mejor utilizar seria aquella con mejor conductividad eléctrica posible.

### **Cátodo**

El cátodo es definido como el electrodo en el cual los electrones entran a la celda y ocurre la reducción (<http://es.wikipedia.org/wiki/Electrodo>). Debido a su buen desempeño, el ferrocianuro de potasio ( $K_3[Fe(CN)_6]$ ) es muy popular como un aceptor experimental de electrones en las celdas microbianas de combustibles (Park y Seikus, 2003). La ventaja del ferrocianuro es el bajo sobrepotencial y la desventaja de su empleo es la oxidación insuficiente por oxígeno, lo que requiere

que el catolito debe ser reemplazado regularmente. El desempeño a largo plazo del sistema puede verse afectado por difusión del ferrocianuro a través de la MIP y dentro de la cámara anódica.

El oxígeno es el aceptor de electrones más adecuado para una CMB debido a su alto potencial de oxidación, disponibilidad, bajo costo (es gratis), sustentabilidad y la carencia de residuos químicos. La elección del material del cátodo afecta de manera importante el desempeño y su variedad de aplicaciones (Cheng y col., 2006a). Para incrementar la velocidad de reducción del oxígeno, los catalizadores de platino son usados comúnmente para oxígeno disuelto (Reimers y col., 2001) o cátodos de difusión de gas (Liu y col., 2004). Para reducir el costo de la CMB, la cantidad de platino puede mantenerse a 0.1 mg/cm (Cheng y col., 2006a). La estabilidad a largo plazo del platino necesita ser investigada todavía.

Recientemente, metales nobles han sido propuestos como cátodos para las CMB (Zhao y col., 2005; Cheng y col., 2006a).

No es indispensable poner el cátodo en agua o en una cámara separada cuando se utiliza oxígeno en el cátodo. El cátodo se puede poner en contacto directo con el aire (Figuras 2.3e, 2.3c, 2.3d), ya sea en presencia o ausencia de una membrana (Liu y Logan, 2004). También se han registrado grandes densidades de potencia utilizando oxígeno como aceptor de electrones cuando cátodos acuosos se sustituyen con cátodos de aire. En la configuración más simple, el ánodo y el cátodo se colocan a ambos lados de un tubo, con el ánodo sellado contra una placa plana y el cátodo expuesto al aire por un lado y al agua por el otro (Figura 2.3e). La utilización de oxígeno por las bacterias en la cámara del ánodo puede resultar en una menor eficiencia coulombica (definida como la fracción de electrones recuperados como corriente versus la recuperación máxima posible, véase más adelante) (Liu y Logan, 2004).

El material que se utilizó para el cátodo en Moss Voltaics fue una hoja de carbono con microgramos de platino. Se investigó con la doctora Mildred Quintana, del

Instituto de Física y el platino es costoso y el proceso para impregnar microgramos es inviable.

El Cátodo es a donde se dirigen los electrones que provienen del ánodo. Es ahí donde acurre la reducción mas no es ahí donde se depositan los electrones. El catodo atrae los protones a los cuales se integrarán los electrones. La capacidad de aceptación de electrones de un átomo se denomina electronegatividad

### **Conclusiones cátodo**

- No se utilizará platino para el cátodo
- Utilizar ferrocianuro de potasio sería impráctico para el usuario final debido a que se debe estar remplazando constantemente.
- Utilizar una hoja de carbón o materiales de grafito como cátodo es posible, pero se debe verificar que el agua en el interior de la cámara catódica pueda ser un receptor de electrones.
- Se analizará si es conveniente colocar el cátodo en el exterior de la celda con el objetivo que este con el oxígeno directamente
- 2 materiales podrían utilizarse para el cátodo, carbón y acero inoxidable.

### *Membrana separadora de cámara anódica y catódica o Membrana de intercambio de protones (MIP)*

El separador, que es un importante componente del sistema porque es una membrana que impide el paso de electrones de la cámara anódica a la catódica y deja pasar los protones, puede ser de varios tipos: membrana de intercambio de cationes (MIC), membrana de intercambio de aniones, membrana bipolar, membrana de micro filtración, membrana de ultrafiltración, puente salino, fibra de vidrio, membranas porosas y otros materiales para filtrado (Li et al., 2011). El separador más ampliamente utilizado es la MIC que también se conoce como membrana de intercambio de protones (MIP) y entre ellas es muy común la Nafion, un producto de DuPont Inc., USA, que muestra una alta permeabilidad a

los protones (Borole et al., 2009; Alzate-Gaviria et al., 2010; Wang et al., 2010).  
(Dolly M. Revelo, 2013)

Cuando se usan las membranas de intercambio de protones, es importante tener en cuenta que pueden ser permeables a químicos, tales como el oxígeno, ferrocianuro, otros iones o materia orgánica usada como sustrato. El mercado de las membranas está en constante crecimiento y se requieren más estudios para evaluar los efectos de la membrana en el desempeño y estabilidad a largo plazo (Rozendal y col., 2006).

Elena mitro describe su separador de cámaras como un Salt bridge y lo describe como un material que deja pasar el agua, pero no la electricidad. Sugiere como materiales para fabricarlo “sponge or lasting paper”. Se cree que se refiere a esponjas sintéticas y algún tipo de papel secante.

La doctora Mildred Quintana recomendó usar una membrana iónica utilizada para hacer diálisis. Ella ofreció proporcionar el material para realizar la experimentación.

### **Conclusiones membrana separadora**

El material comercial como la Nafion son muy costosos (sobre 150 dólares) para realizar una experimentación en esta etapa con él. Se utilizará la membrana iónica que la doctora Quintana proporcionara.

### *Diferentes configuraciones Conocidas de Celdas de Combustible Microbianas.*

Ya existe bibliografía donde describen la configuración de diferentes fotoceldas de combustible utilizadas. Por ejemplo, en la publicación “Comparison of power output by rice (*Oryza sativa*) and an associated weed (*Echinochloa glabrescens*) in vascular plant bio-photovoltaic (VP-BPV) systems” utilizaron:

Ánodo: fibra de carbono

Cátodo: Acero inoxidable y Potassium ferricyanide solution (electron acceptor ferricyanide ( $[Fe(CN)_6]^{3-}$ )

Membrana separadora de cámaras: CMI-7000S (50 × 50 mm; Membrane International Inc., Ringwood, NJ, USA)

Conexiones: Acero inoxidable (150×10×0.13 mm; Linear Tolls Ltd., Isle-worth, UK)

En esta publicación recopilaron distintas configuraciones de dispositivos biofotovoltaicos, pero no incluyeron que tipo de separador de membrana se utilizó.

En la tabla xx aparecen los materiales más comunes para la construcción de

Table 1 Summary of VP-BPV studies

| Vascular plant                              | Source of anodic microorganisms   | Anode material                      | Cathodic electron terminal              | Cathode material                       | Maximum power output ( $GJha^{-1}year^{-1}$ ) | Reference                     |
|---|---|-------------------------------------|---|--|---|-------------------------------|
| <i>Oryza sativa L.</i> cultivar Jiahua No.1 | Naturally occurring microorganisms in soil  | Graphite mat                        | Oxygen                                  | Graphite mat                           | ~0.4  | Chen et al. (2012)            |
| <i>Oryza sativa</i> ssp. <i>indica</i>      | Effluent of MFC reactor and methanogenic culture                                  | Graphite mat                        | 100 mM potassium ferricyanide or oxygen | Graphite mat or graphite granules      | ~9  | De Schampelaire et al. (2008) |
| <i>Arundinella anomala</i>                  | Naturally occurring microorganisms in soil  | Graphite grains                     | 50 mM potassium ferricyanide or oxygen  | Graphite felt                          | ~7  | Helder et al. (2010)          |
| <i>Spartina anglica</i>                     | Naturally occurring microorganisms in soil  | Graphite grains                     | 50 mM potassium ferricyanide or oxygen  | Graphite felt                          | ~70   | Helder et al. (2010)          |
| <i>Spartina anglica</i>                     | Naturally occurring microorganisms in soil  | Graphite felt                       | 50 mM potassium ferricyanide            | Flow-through cathode                   | ~67   | Helder et al. (2012)          |
| <i>Lemma minuta</i>                         | Naturally occurring microorganisms in soil  | Carbon felt                         | Oxygen                                  | Graphite granules                      | ~120  | Hubenova and Mitov (2012)     |
| <i>Oryza sativa L.</i> cv. Sasanishiki      | Naturally occurring microorganisms in soil  | Graphite felt                       | Oxygen                                  | Graphite felt                          | ~2  | Kaku et al. (2008)            |
| <i>Glyceria maxima</i>                      | Effluent of MFC running on acetate and naturally occurring microorganisms in soil | Graphite felt and graphite granules | Oxygen                                  | Graphite felt                          | ~21   | Strik et al. (2008)           |
| <i>Oryza sativa L.</i> cv. Satojiman        | Naturally occurring microorganisms in soil  | Graphite felt                       | Oxygen                                  | Graphite felt (with platinum catalyst) | ~5  | Takanezawa et al. (2010)      |
| <i>Spartina anglica</i>                     | Anolyte of acetate fed MFC  | Graphite granules                   | 50 mM potassium ferricyanide or oxygen  | Graphite felt                          | ~32   | Timmers et al. (2010)         |
| <i>Glyceria maxima</i>                      | Anolyte of acetate fed MFC  | Graphite granules                   | Oxygen                                  | Graphite felt                          | ~25   | Timmers et al. (2012)         |

**Fuente especificada no válida.** distintos tipos de configuraciones utilizados en otras celdas de combustible CCM.

En la tabla aparecen los donadores y receptores más comunes en CCMs.

**Conclusiones de diferentes configuraciones de celdas de combustible microbiana.**

Hay muchos materiales que pueden ser integrados en una fotocelda microbiana de combustible. La utilización de distintas combinaciones afecta directamente el desempeño de la celda.

Los catalizadores aumentan la densidad energética y el desempeño de la celda pero pueden ser costosos y aptos para ser usados en pruebas de laboratorios, no para un ambiente doméstico.

Es importante que el dispositivo biofotovoltaico no necesite de materiales que tengan que ser repuestos. Lo ideal es que funcione solo con agua “de la llave”.

Para reducir costos y proponer un producto más atractivo al usuario final se utilizarán los materiales más económicos, sencillos de obtener y modificar. Estos se decidirán considerando también su desempeño en las celdas de combustible.

### *Circuito exterior*

Cuando los electrones son recibidos en el ánodo, deben salir de la cámara y ser transportados a la cámara catódica. La fuerza y cantidad con los que los electrones se trasladan es la potencia. (Watts). Es con esta fuerza con la que harían funcionar algún dispositivo eléctrico. Después seguirá el circuito hasta el cátodo donde los electrones serán recibidos por el oxígeno para ser asimilados.

El elemento con el cual se conectan la resistencia al ánodo y cátodo puede ser cualquier material conductor de electricidad mientras este no interactúe negativamente con los elementos en el interior de las cámaras anódicas y catódicas.

Table 1 Typical electron donors/acceptors related reactions

|         | Electron donor/acceptor  | Reactions  |
|---------|--------------------------|--|
| Anode   | Acetate                  | $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^- + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + 9\text{H}^+ + 8\text{e}^-$               |
|         | Glucose                  | $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{CO}_2 + 24\text{e}^- + 24\text{H}^+$                |
|         | Butyrate                 | $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ |
|         | Glycerol                 | $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{HCO}_3^- + 17\text{H}^+ + 14\text{e}^-$               |
|         | Malate                   | $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_5^- + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2\text{CO}_3 + 11\text{H}^+ + 12\text{e}^-$      |
|         | Citrate                  | $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-} + 11\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{H}_2\text{CO}_3 + 15\text{H}^+ + 18\text{e}^-$  |
|         | Sulfur                   | $\text{HS}^- \rightarrow \text{S}^0 + \text{H}^+ + 2\text{e}^-$  |
| Cathode | Oxygen                   | $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$   |
|         | Bicarbonate <sup>a</sup> | $\text{HCO}_3^- + 9\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$                                     |
|         | Acetate <sup>a</sup>     | $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^- + 5\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{O} + \text{H}_2\text{O}$   |
|         | Nitrate                  | $2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e}^- \rightarrow \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$                                    |
|         | Nitrite                  | $\text{NO}_2^- + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$  |
|         | Permanganate             | $\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$                                    |
|         | Manganese dioxide        | $\text{MnO}_2 + \text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{MnOOH}_{(\text{s})}$   |
|         | Iron                     | $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$   |
|         | Copper(II)               | $4\text{Cu}^{2+} + 8\text{e}^- \rightarrow 4\text{Cu(s)}$  |
|         | Potassium Persulfate     | $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-}$  |
|         | Ferricyanide             | $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$   |

Aunque el oro, la plata y cobre son excelentes conductores, son también costosos. Un material muy popular utilizado en los fotoCCM es el acero inoxidable, usado tanto en el cátodo como para conectar los distintos elementos.

En algunos dispositivos utilizan cables para conectar los elementos. En Moss Voltaics utiliza tornillos de acero inoxidable para conectar las celdas entre sí.

### **Conclusiones circuito exterior**

Se debe solucionar la manera en que los distintos materiales de la celda se conecten con el circuito. Específicamente fibra de carbono con acero inoxidable.

### **Componentes eléctricos.**

Se investigó cuáles son los principales componentes electrónicos y su función para tener una idea de cómo se podría utilizar la electricidad generada.

### **Conclusiones componentes eléctricos**

- El prototipo que se construirá estará en una configuración de 2 series en paralelo. Si esta configuración no fuera la ideal se deberá cambiar a una que entregue la electricidad de una forma más aprovechable.
- Se puede cambiar la configuración de circuito para manipular el voltaje y el amperaje de salida del dispositivo a creer.
- La configuración de paralelo, serie o serie-paralelo funciona igual en celdas solares, pilas y celdas biofotovoltaicas. “

## Construcción FotoCCM 1

Habiendo aglomerado información sobre las fotos celdas de combustible microbianas, es posible proponer una configuración propia.

### *Descripción*

Este prototipo utiliza la especie de musgo que más se recolectó en el municipio de Tamasopo, S.L.P fue seleccionada para utilizarse en el prototipo porque presenta una densidad de raíces alta en comparación a las otras muestras. Además, fue recolectada con sustrato orgánico sobre el que estaba creciendo lo que podría aumentar la densidad de bacterias presentes.

Se construyó un ánodo similar al usado en Moss Voltaics, con la excepción de haber utilizado tiras de fibra de carbono. Estas se utilizaron lo mas largo posible y se deshilaron para abarcar la mayor superficie posible y no perder conductividad. La fibra de carbono estaba unida a un tornillo de acero inoxidable mediante unas rondanas y tornillo. Se colocó sobre una cama de hidrogel cortado en rodajas y sobre todo esto el musgo.

Separando la cámara anódica de la catódica, esta la membrana iónica que al contacto con el plástico del contenedor que fue un “tupperware” de plástico, se adhería por vacío al ser, los dos, muy poco porosos.

La cámara catódica, consistía en hidrogel para estructurar y fibra de carbono conectada a un tornillo de acero inoxidable

Los tornillos daban al exterior y para que el agua no se saliera del contenedor, se usaron unos empaques de neopreno.

Materiales:

Organismo Autótrofo: Musgo especie “Tama Akasaki”

Bacterias Heterotróficas: Desconocidas, presentes en la rizosfera del musgo)

Ánodo: Fibra de carbono, Hidrogel y Terminales de Ojillo.

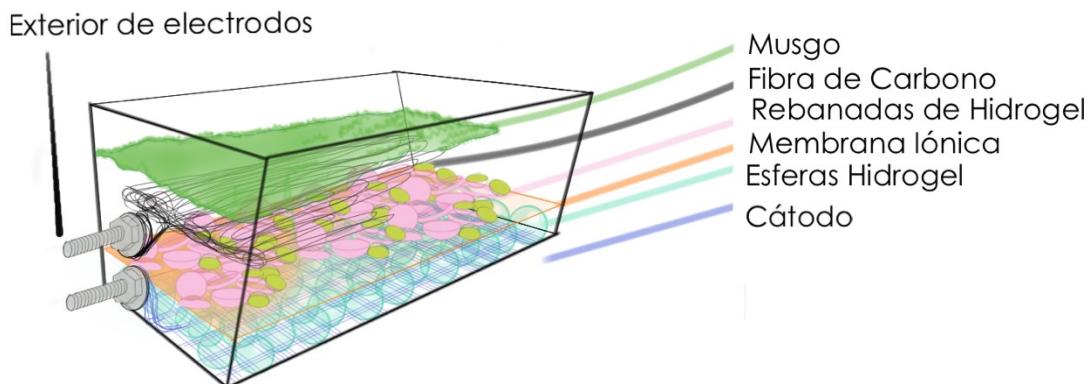
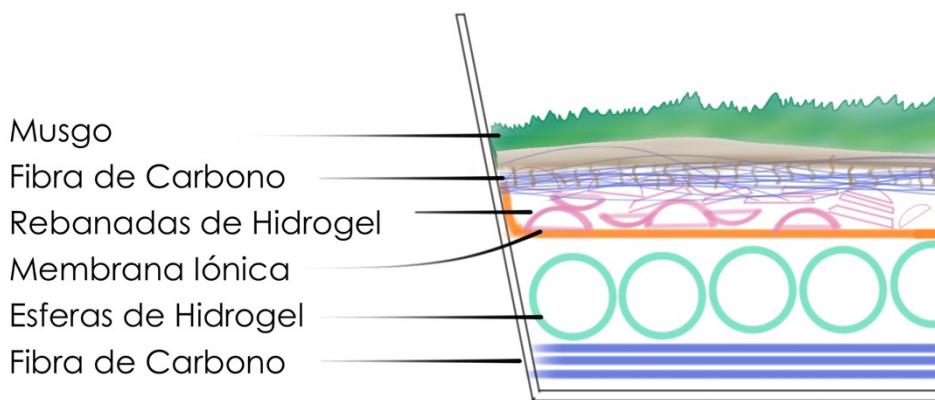
Membrana separadora: Membrana iónica

Cátodo: Fibra de carbono

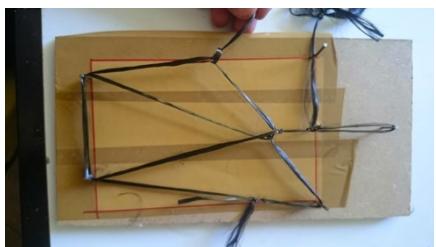
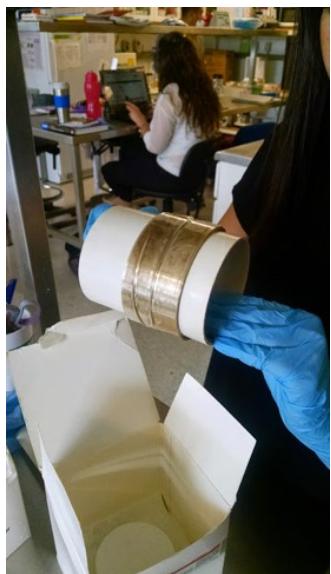
Contenedor: “Toperware” Plástico

Unión electrodos con circuito eléctrico: Ferretería de acero inoxidable y empaques de Neopreno.

### Bocetos



## Imágenes de la celda y su construcción.



La celda no funcionó la primera vez que se construyó debido a que la membrana iónica se había instalado incorrectamente, esta viene en una presentación de “tubo”, lo que generaba un filtro doble que no dejaba pasar los protones.

Una vez se corrigió la colocación de la membrana iónica, la celda empezó a generar voltaje.



## Evaluación

Para conocer la cantidad de energía que puede generar la fotoCCM 1

Se llevo al instituto de física de la UASLP donde Jose Juan realizo algunas pruebas.

### Subida de voltaje

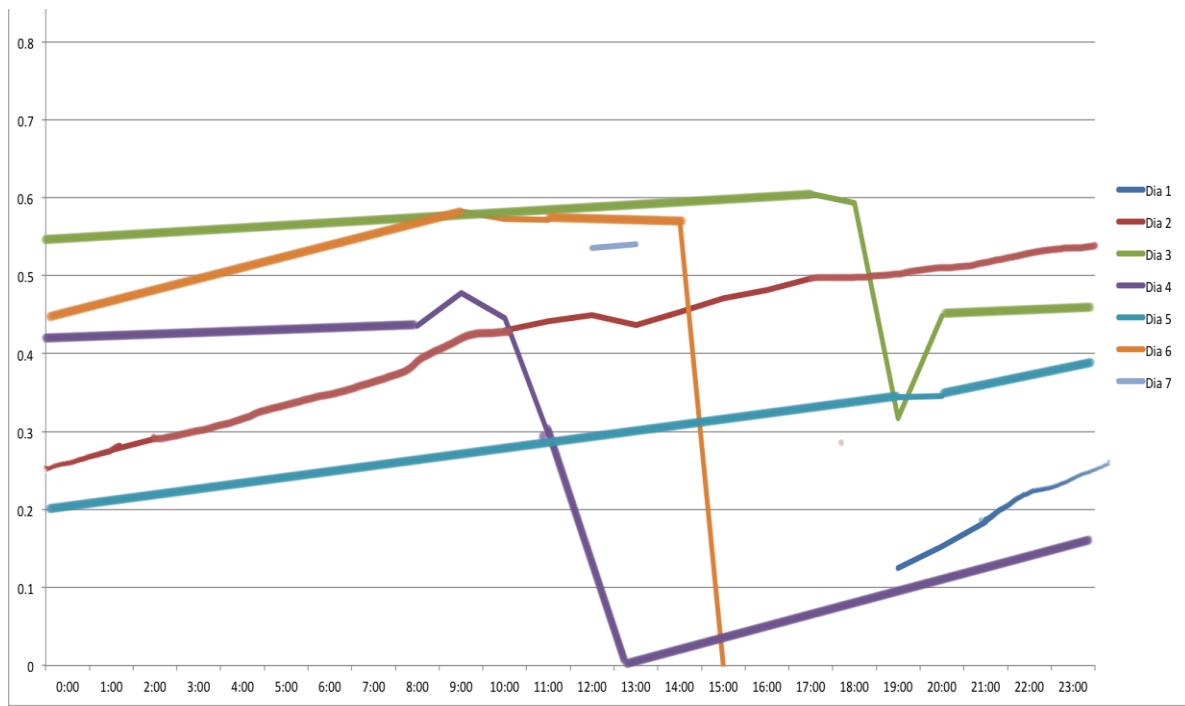
Durante dos semanas se observo el voltaje que entregaba la celda. Se observo que aumentaba continuamente. El máximo registrado fue de .695 volts. Cada que el voltaje se acercara a este valor, lo hacia mas lento.

Se observa que al estar recién instalada la celda, el incremento en el nivel de voltaje es lento, de alrededor de .150 volts por día hasta llegar a .6 volts y de ahí ya es bastante mas lento y llega hasta bajar por si solo.

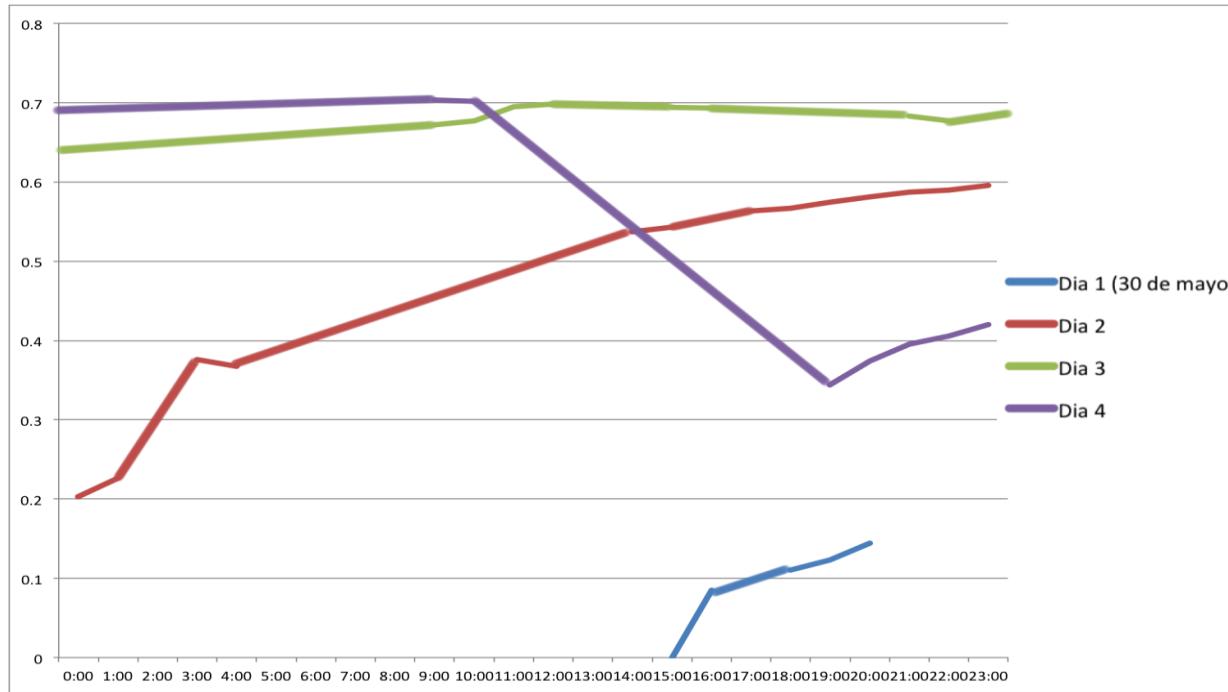
Cuando el dispositivo tiene ya al menos 1 semana funcionando, se puede descargar el voltaje acumulado creando un corto circuito mediante la conexión los dos terminales. El voltaje llegara hasta cero después de unos segundos. Al desconectar los electrodos, el voltaje subirá en menos de 1 minuto hasta los .3 volts y después de varios minutos a .4volts y así cada décima de volts en un tiempo mayor.



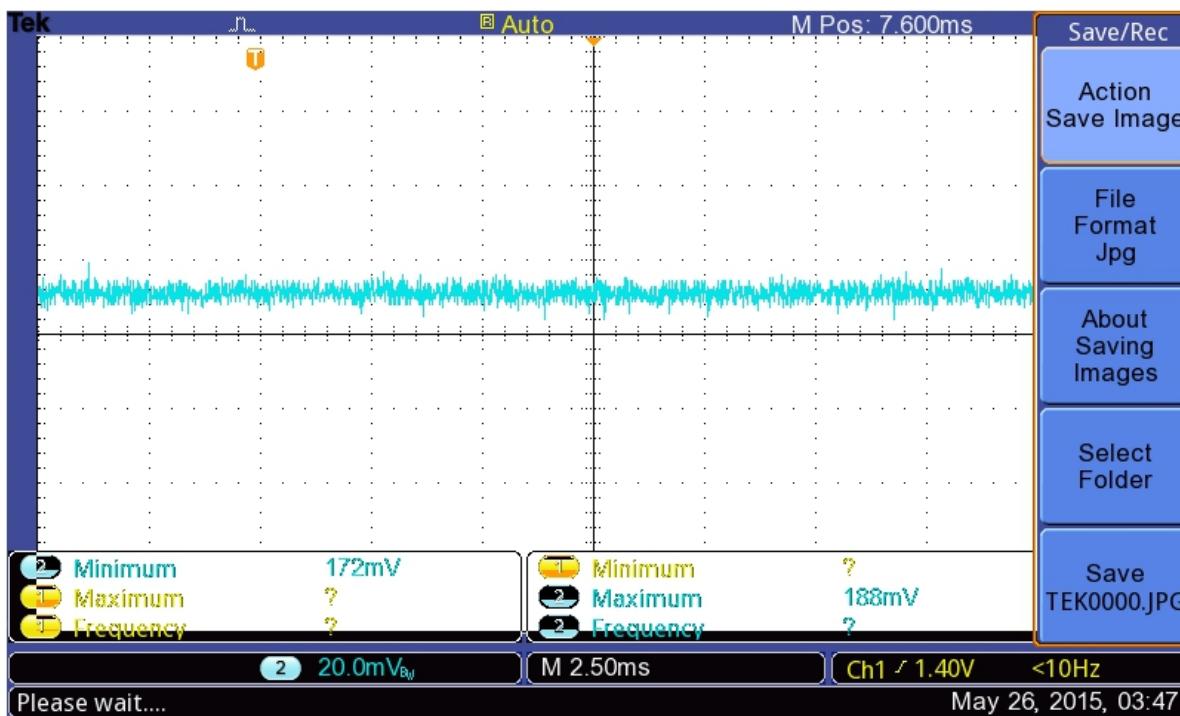
En las graficas se puede observar caídas abruptas con subidas mas lentas. Estas caídas eran momentos cuando se provocó un corto circuito



### Prueba del osciloscopio



El osciloscopio es un dispositivo de visualización gráfica que muestra señales eléctricas variables en el tiempo. Se obtuvo 10 milivolts como el espectro de ruido lo cual es que poco para un aparato eléctrico y normal en las pilas voltaicas. El ruido es la diferencia entre el máximo voltaje proveniente de la celda y el mínimo.



## Eficiencia

Conociendo el amperaje y el voltaje se puede conocer la potencia de la celda, medida en vatios o watts (es exactamente lo mismo). Para conocer el amperaje que puede producir se necesita hacer pasar los electrones por una resistencia.

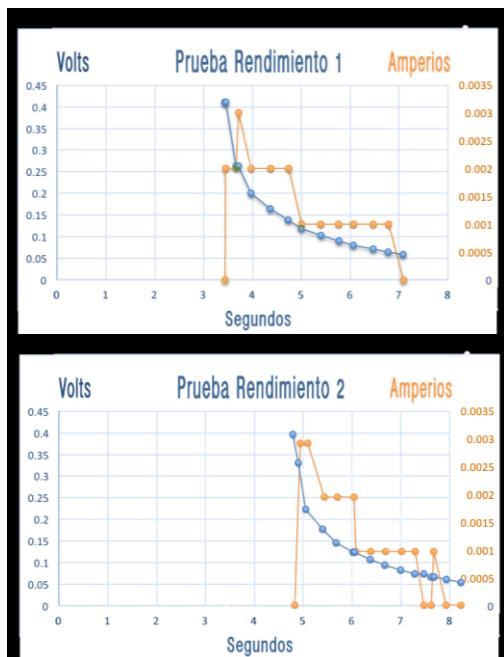
Utilizando dos voltímetros se puede saber que tan rápido pierde voltaje la celda mientras el amperaje sube.

La resistencia fueron tres de 1. miliamperes cada una sumando 3. miliamperes.

Se observó que la descarga del voltaje fue muy rápida, durando tan solo cuatro segundos aproximadamente mientras que el amperaje llegó a un pico de tres

miliamperes en fracciones de segundo para bajar hasta cero al cabo de tres segundos.

Se repitió la prueba al día siguiente teniendo resultados similares



### *Conclusiones de la prueba*

Se tuvo éxito en la construcción de una fotoCCM. La celda genera potencial constantemente, es escalable y fácil de mantener, solo debe tener un nivel de agua que cubra las raíces del musgo y ubicarse en un ambiente que le permita al musgo seguir creciendo.

Sin embargo, la corriente que se obtiene es muy baja y dura solo algunos segundos. Aun incrementando el numero de celdas y conectándolas en serie, paralelo o serie-paralelo, se necesitaría un numero muy alto de estas para lograr hacer encender un foco LED continuamente, suficientes para empezar hablar de metros cuadrados, muchas mas para hacer funcionar una controlador Arduino, bocinas, motores pequeños o sensores.

### *Conclusiones de la FotoCCM1*

1. Genera continuamente potencial, incluso durante la noche.
2. Las descargas llevan muy poco amperaje
3. Tarda menos de una hora en volver al potencial anterior a la descarga
4. La membrana separadora no logra separar las dos cámaras completamente, los dobleces crean espacios por donde agua podría fluir y potencial podría perderse.
5. El contenedor se puede tapar lo que ayuda a retener la humedad y parece ayudar al musgo.
6. El ánodo utiliza probablemente demasiada fibra de carbono, ya que no parece que las raíces del musgo logren traspasarla para llegar al hidrogel.
7. Las conexiones de acero inoxidable funcionan bien pero requiere de una superficie plana para que al ejercer presión en los empaque con las rondanas, estos no deformen el contenedor.

8. No se podrá generar un sistema que pueda encender una luz LED y seguir manteniendo unas dimensiones prácticas en el producto (un tamaño mayor a un metro cuadrado es demasiado)

## FotoCCM 2

Con el conocimiento generado por la realización de la FotoCCM1, se realizará una nueva celda de combustible microbiana. (Se anexa un video en un CD que muestra cómo se realizó paso a paso)

Los objetivos para este modelo son:

- **Generar 6 celdas lo mas idénticas posibles;** se empezará a profundizar en procesos que lleven a generar una solución en producción en serie.
- **Conecitar las celdas en serie y o paralelo y lograr recargar 2 baterías “AA”;** esta prueba validaría la funcionalidad
- **Contar con una cámara de humedad;** han demostrado ser indispensable para asegurar con vida del musgo.
- **Aislamiento lo mayor posible ambas cámaras de la celda, anódica y catódica;** para lograr el mayor voltaje y corriente posible.

Seguir contando con:

- **Ánodo y cátodo con fibra de carbono deshilada.**
- **Electrodos accesibles y prácticos;** de acero inoxidable y empaques de neopreno
- **Especies de musgo con la mayor cantidad de raíces posible;** incluir más especies para comparar la generación de energía y deseabilidad por parte del usuario
- **Hidrogel como soporte interior de la celda.**

## *Bocetos y producción*

Se decidió por una celda con forma de pirámide escalonada para colocar la membrana en este escalón.

La estructura de la celda será de acetato, material fuerte, transparente y plástico que permitirá visualizar el interior, aislar las cámaras eléctricamente con el exterior, una adherencia fuerte con la membrana al

tener poca porosidad; permitirá generar la forma en un proceso de termo formado, logrando una constancia en la forma.

Las dimensiones de la celda se hicieron en relación a la membrana iónica; esta viene en rollo y para aprovechar el máximo ancho posible, el escalón de la pirámide mide lo mismo que el ancho de la membrana.

Se construyó una estructura de madera para las celdas muy similar al la realizada por Fabienne Felder en Moss FM para realizar conexiones fácilmente.

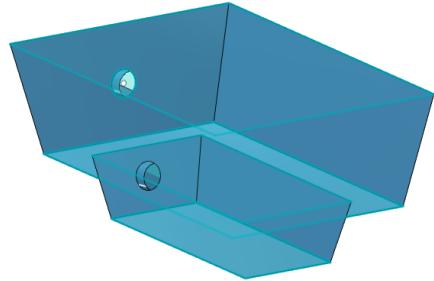


Ilustración 41, Modelo virtual de la forma objetivo de la celda



Ilustración 42 modelos para termo formado

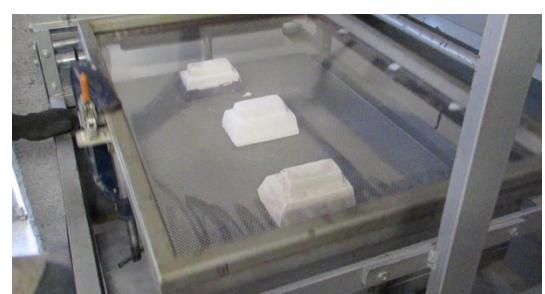


Ilustración 43 acetato antes del termo formado



Ilustración 45 Fue difícil lograr que el escalón del contenedor quedara completamente plano, esta es la base para la membrana iónica y cualquier imperfección impide un sello perfecto.

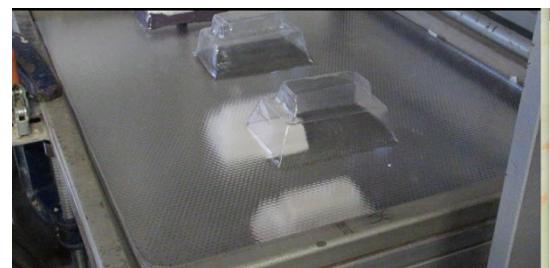


Ilustración 44 acetato con el termo formado



Ilustración 46 La dimensiones de la celda, en su parte donde se dividen las cámaras y se coloca la membrana iónica, es en relación al tamaño en la que viene esta en esta presentación.



Ilustración 47 burbujas quedaron atrapadas debajo de la membrana, también es difícil sellar completamente la cámara



Ilustración 49 Esferas de hidrogel como soporte central de la membrana iónica

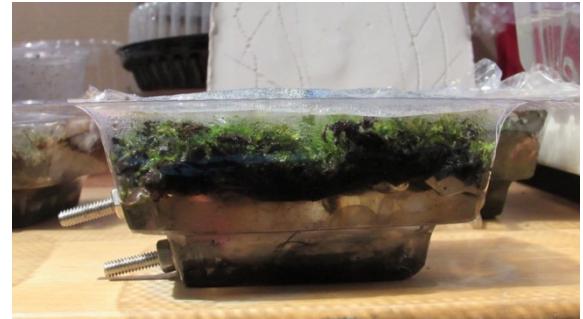


Ilustración 48 Vista lateral de fotoCCM2 terminada cubierta con plástico "film" base Polietileno creado un cámara de humedad.

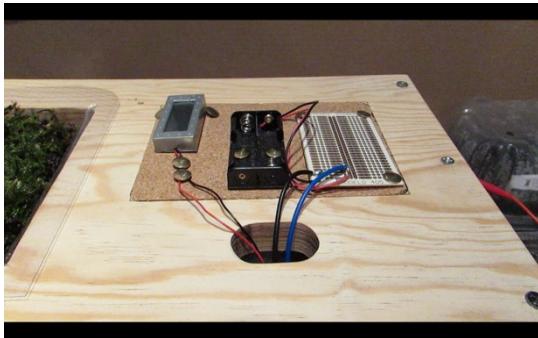


Ilustración 51 Parte del sistema para los componentes elécticos.



Ilustración 50 Vista general de fotoCCM2



Ilustración 53 Estructura de mica para fijar membrana



Ilustración 52 Vista general del sistema fotoCCM2

## *Pruebas, mediciones y experimentación*

### Generación de electricidad

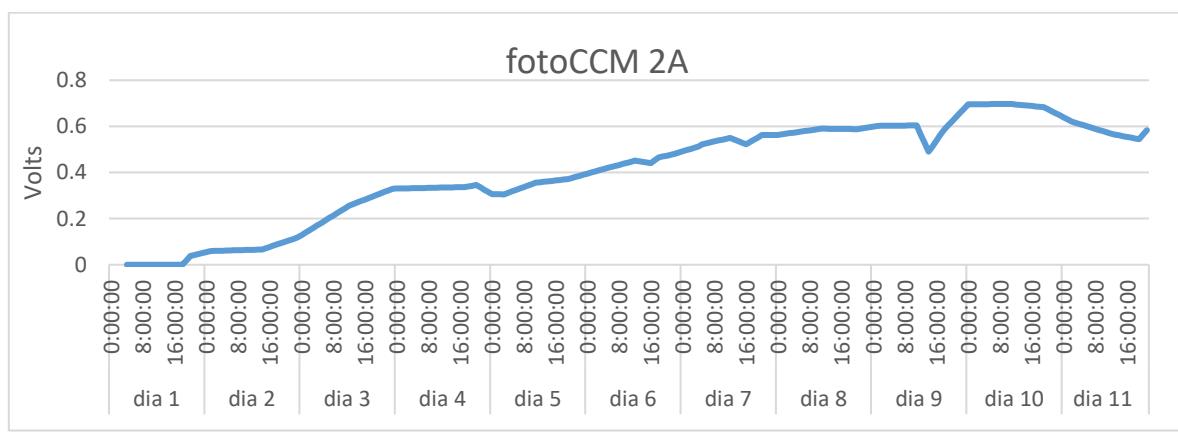
#### FotoCCM 2A

Notas:

Día 1, 18:00 horas, se reacomodo membrana.

Máximo voltaje registrado: 0.697 Volts

Comentarios: Se desconoce que causo la bajada de voltaje el día 9. Después del día 11 el voltaje de la celda se estabilizo en el rango de los .500 a .600 Volts.



#### FotoCCM 2B

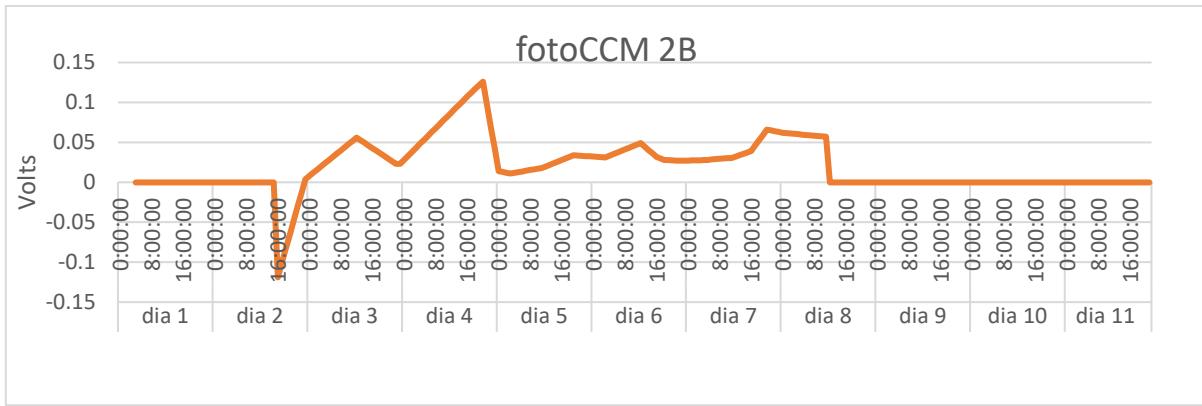
Notas:

Día 2, 15:00 horas: Invertí membrana, retiré hidrogel de cámara anódica.

Día 8, 11:00 horas: Deje la celda en el Instituto de Física, finalización del registro.

Máximo voltaje registrado: Día 3, 20:00 horas, 0.126 Volts.

Comentarios: Esta celda subió de voltaje lentamente, coincide el momento de su máximo voltaje con una modificación que se hizo en la celda fotoCCM 3F, a partir de aquí el voltaje disminuyó considerablemente; Se cree que pudo haber una manipulación de la celda que incidentalmente causó un movimiento de la membrana, lo que causó que el voltaje disminuyera y nunca se compusiera.

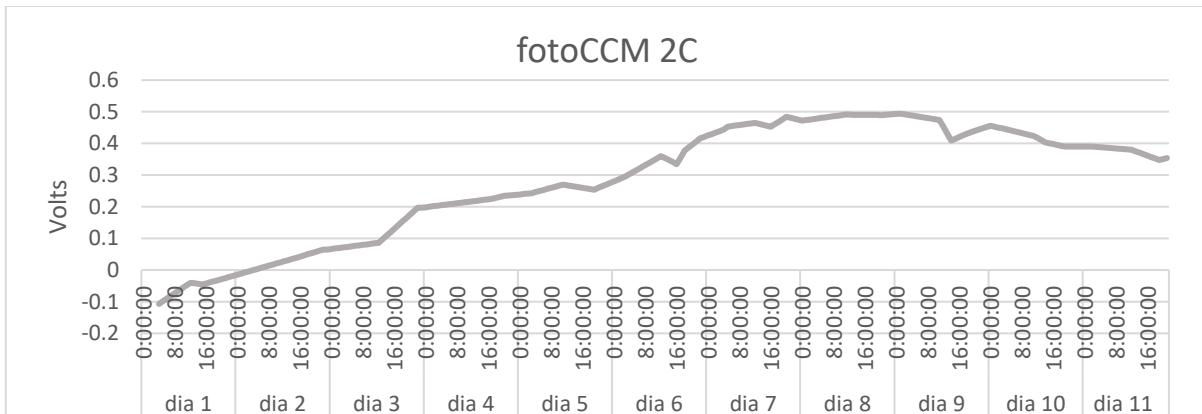


### FotoCCM 2C

Notas: Empezó con un voltaje negativo.

Máximo voltaje registrado: Día 9, 1:00 horas, 0.494 Volts

Comentarios: Llama la atención que el voltaje haya descendido a partir del día 9, no se sabe que ocurrió después dentro de las celdas.



### FotoCCM 2D

Notas: Día 2, 15:00 horas, se reacomodo membrana y se le añadió un “anillo” para sellar mejor la cámara catódica.

Tuvo un repunte impresionante de +0.299 Volts en 5 horas, se desconoce el motivo

Máximo voltaje registrado: Dia 11, 21:00 horas, 0.755 Volts

Comentarios: El voltaje máximo registrado fue para esta celda, el ultimo que se registró, por lo que se cree pudo seguir aumentando más. Esta fue la celda que más voltaje alcanzo y una de las dos que tuvieron un “anillo” para sellar la celda catódica.

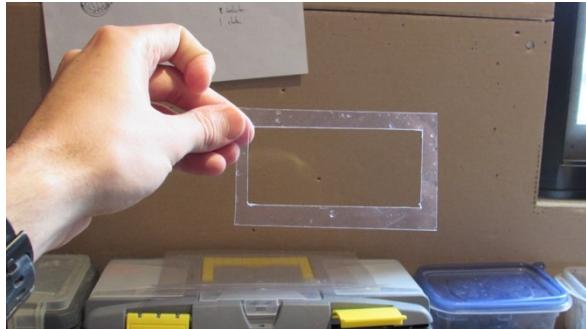
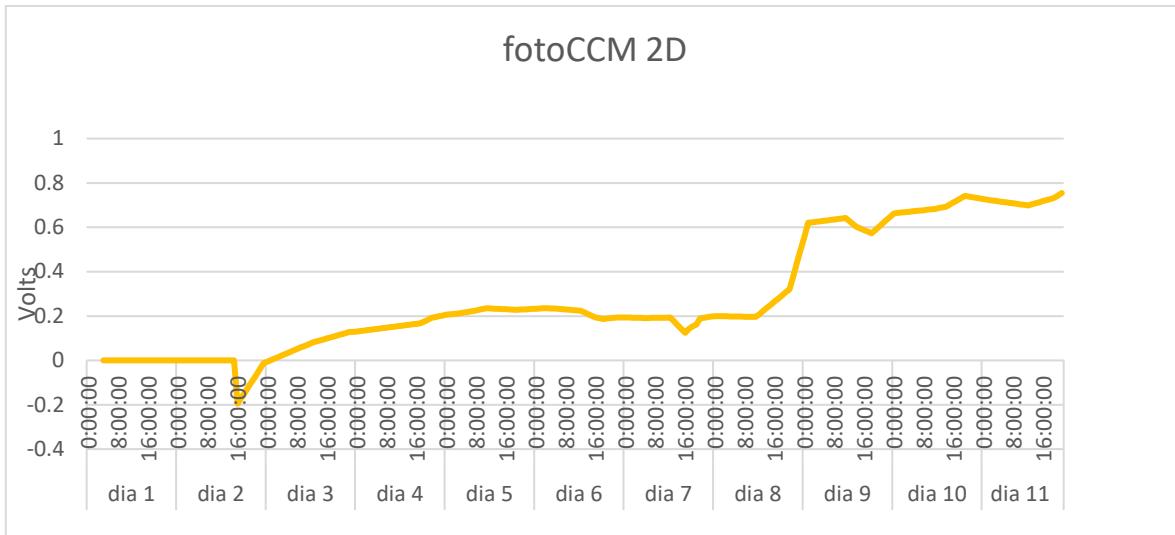


Ilustración 54 "anillo" del mismo material del contenedor, tiene el objetivo de distribuir presión sobre los bordes de la celda, sellándola.



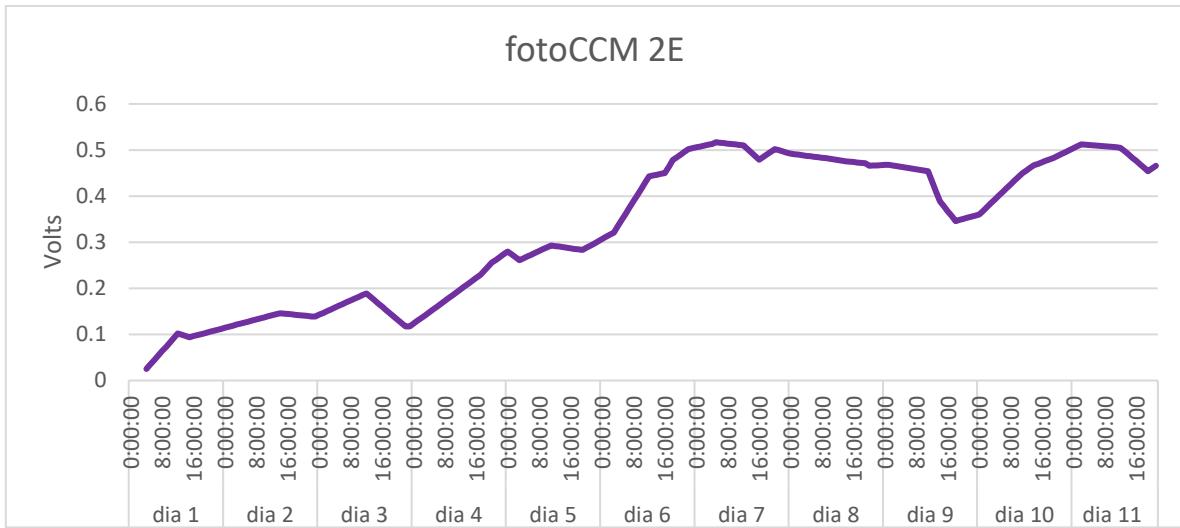
Ilustración 55 "anillo" en posición final, el peso de la cámara anódica ejerce la presión sobre el anillo.

## FotoCCM 2E

Notas:

Máximo voltaje registrado: Día 7, 5:00 horas, 0.517 Volts

Comentarios: una celda relativamente estable, se mantuvo en voltajes por arriba de los .3 Volts después del día 6.

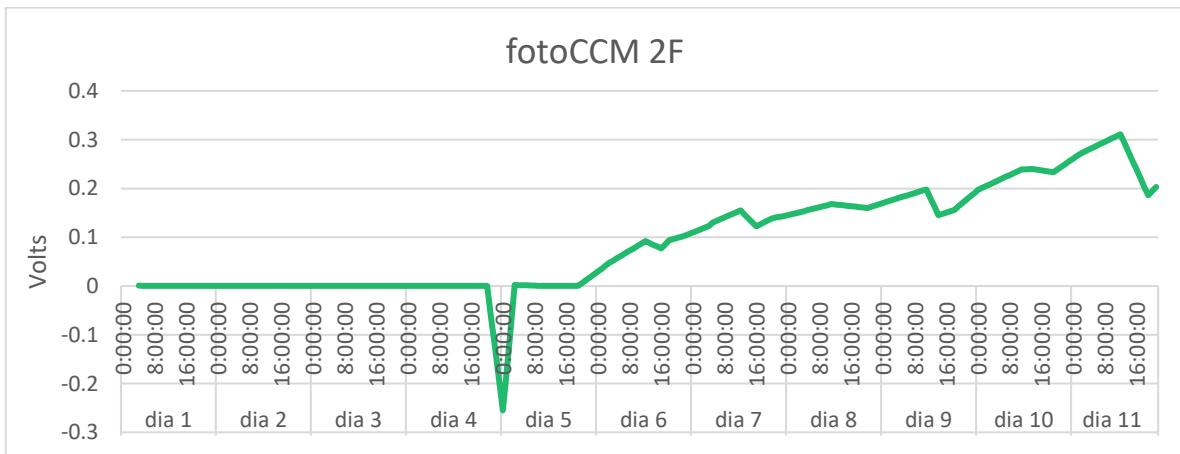


### FotoCCM 2F

Notas: Día 4, 1:00 horas, se agregó agua. Día 3, 20:00 horas, Modifique membrana. Día 5, 20:00 horas, se reacomodo membrana con mica.

Máximo voltaje registrado: Día 11, 12:00 horas, 0.311 Volts

Comentarios: Una vez reacomodando la membrana se alcanzó niveles negativos en voltaje rápidamente, comportamiento normal en las celdas al ser instaladas, pero esta regreso a cero y no llegó a niveles positivos hasta que se le agrego un anillo de mica como en la celda 2D.

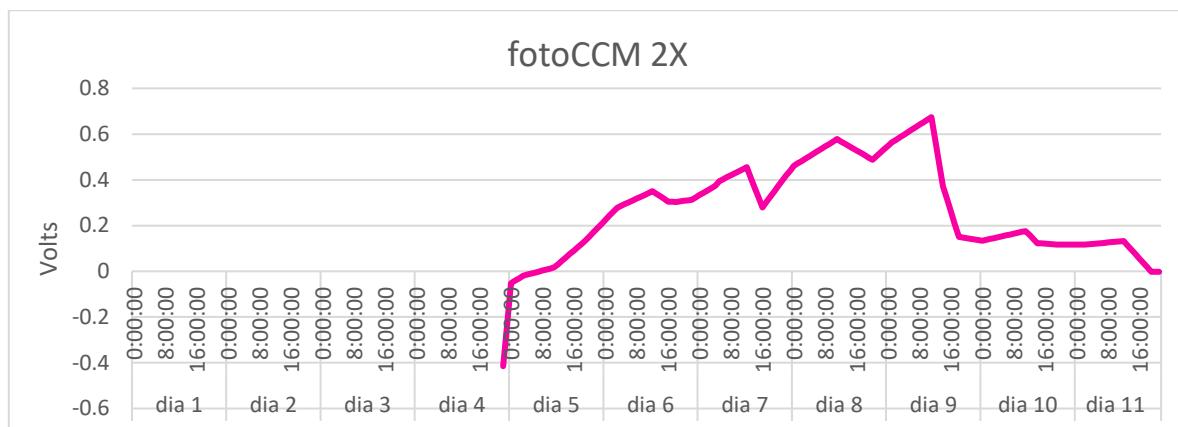


## FotoCCM 2X

Notas:

Máximo voltaje registrado: Día 9, 11:00 horas, 0.674 Volts

Comentarios: Después de registrar el máximo voltaje el día 9, el voltaje cayó estrepitosamente hasta .150 Volts en solo 7 horas, de ahí se estabilizo, pero volvió a caer hasta cero para la última medición. La celda 3X no es parte de la serie de 6 celdas que se construyeron para hacer la prueba, fue una primera prueba del contenedor, pero se decidió utilizarla por si funcionaba, sirviera para ser conectada en serie junto con las demás celdas.



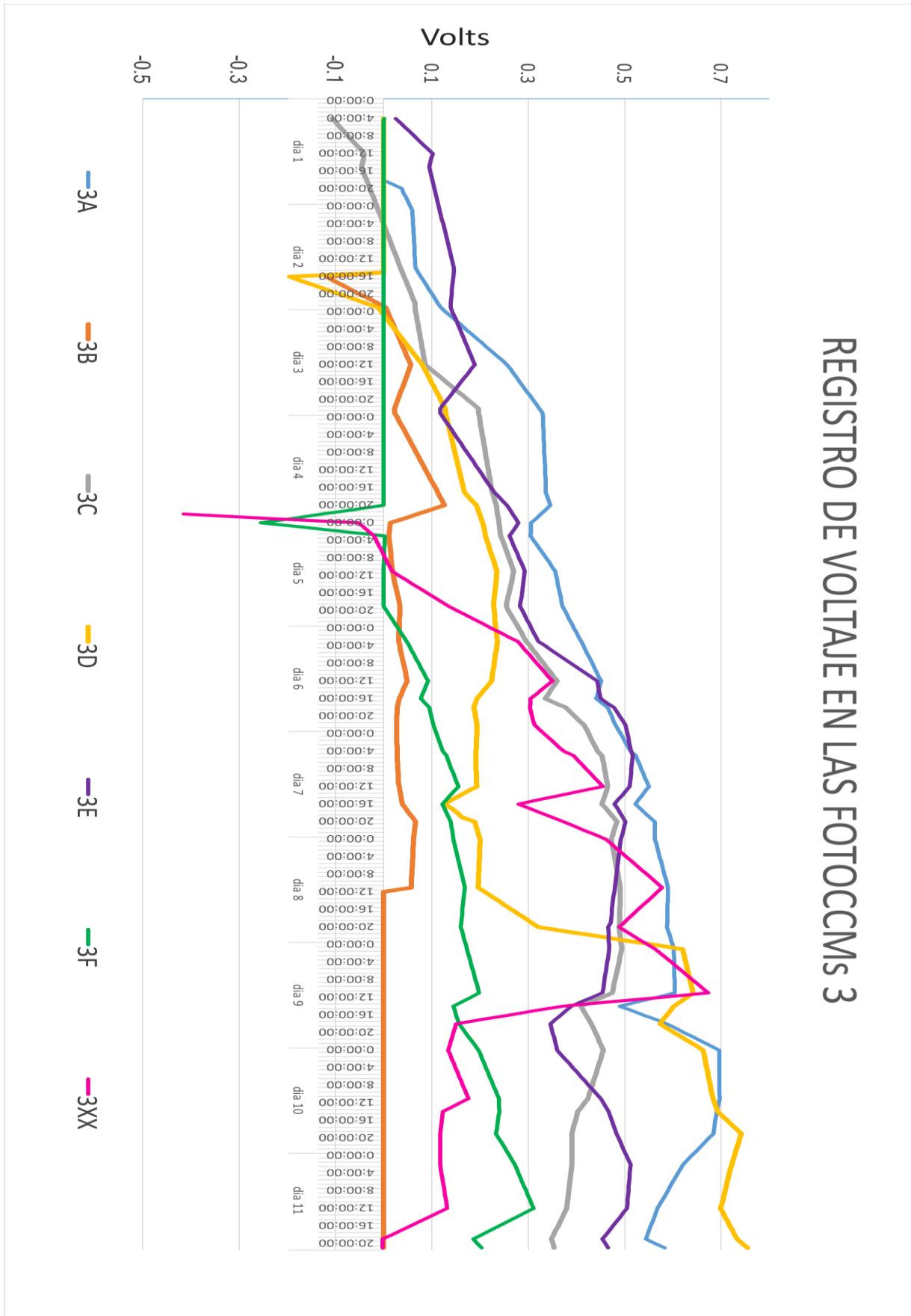
## Sistema Biofotovoltaico

Máximo voltaje registrado: Día 9, 11:00 horas, 3.046 Volts, logrado porque de 6 celdas, 3 estaba por sobre la línea de .6 volts, 2 estaban cerca de .45 volts y una estaba apenas debajo de .2 volts, la celda 3B, estaba en el instituto de física, (por eso marca 0).

| 3A    | 3B    | 3C    | 3D    | 3E    | 3F    | 3XX   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.604 | 0.000 | 0.474 | 0.642 | 0.454 | 0.198 | 0.674 |

# REGISTRO DE VOLTAJE EN LAS FOTOCM<sub>S</sub> 3

001



Comentarios: El día 9, 12:00 horas, todas las celdas bajaron el voltaje, pudiera ser que se realizó una prueba de corriente, pero no se haya anotado, este suceso pudo ser el responsable de la falla en la celda 2X.

1. En 5 de 7 celdas comenzaron en niveles negativos.
2. En 5 de 7 celdas se tuvo éxito produciendo energía. La 2B y 2XX fallaron

Hay una tendencia en las celdas de aumentar el voltaje cuando no hay luz solar, y disminuir cuando más luz hay. Esto pudiera significar que el musgo o las bacterias tienen ciclos de actividad los cuales se manifiestan en la medición del voltaje.

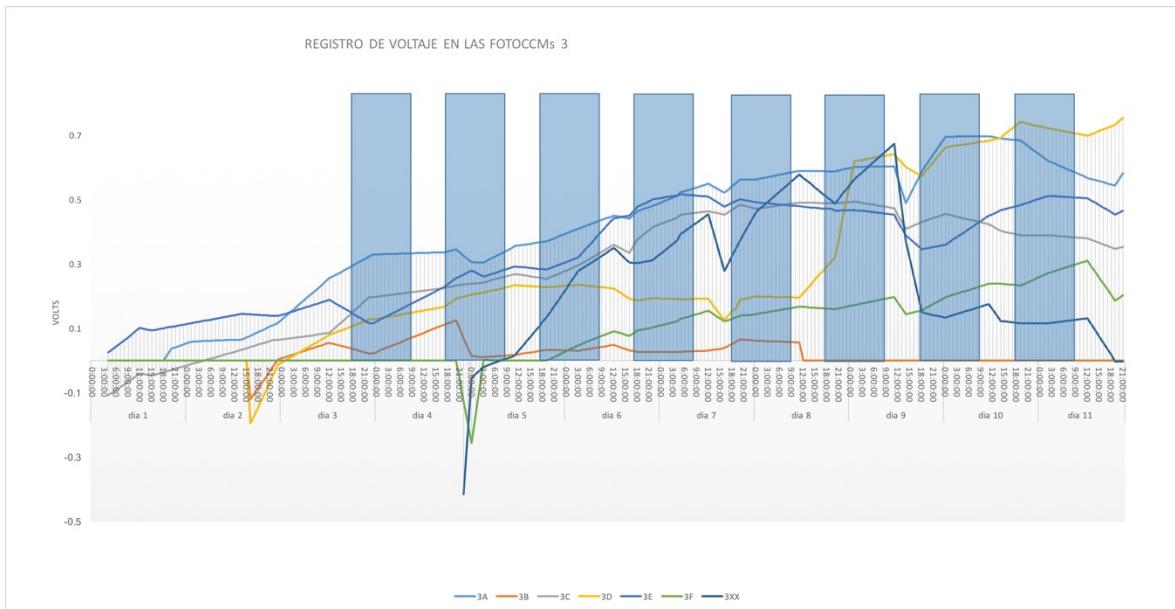


Ilustración 56 Grafica de registro de voltaje con marcas señalando el tiempo nocturno, sin luz solar o poca luz solar. Este experimento se realizó en febrero, época donde las noches son más largas que el día.

Conectar las celdas con caimanes fue sencillo, pero solo con los más grandes, Los tornillos pueden ser más pequeños sin afectar al sistema.

### *Conclusiones sistema y celdas FotoCCM2*

El sistema funciono y genero energía biofotovoltaica escalable. Es complejo de instalar y delicado, es necesario manejarlo con cuidado. Se comprobó que es posible encender un reloj continuamente. No se logró cargar unas baterías.

Se lograron voltajes considerables, en un intercambio de mensajes con el doctor Bombelli, menciono que se veían bien construidas, y que los voltajes alcanzados son los máximos que se pueden lograr. Esto significa un éxito.

No se sabe si es posible disminuir aun mas las dimensiones de la celdas, la cámaras catódicas son mucho más pequeñas que las anódicas. Se desconoce si deberían mantener dimensiones similares.

Hay una constante en que, cuando una celda no está generando voltaje, se reacomoda la membrana para que empiece a generar voltaje. Fijar la membrana parece ser necesario para evitar estos problemas; la celda 3D, que tuvo un anillo para sellar la cámara anódica, fue la que más voltaje alcanzo. La membrana se desacomoda porque, no se adhiere a la mica porque esta no es plana o porque el peso de la cámara anódica provoca que se sumerja, creando arrugas y rompiendo el sello. Este es el punto más débil del sistema biofotovoltaico y que se debe mejorar para la siguiente generación de CCMs. Debe funcionar siempre una vez instalado y ser fácil de instalar. Se debe recordar que este es un producto está dirigido a una población no especializada en temas científicos y que no conoce como funcionan los sistemas biofotovoltaicos y que probablemente no estarán dispuestos a “ensuciarse las manos” para hacerlo funcionar.

La parte interior del electrodo, en la cámara catódica quedo muy cerca del escalón y no permitía que sellara bien en varias celdas.

Los tornillos son anchos para los caimanes de prueba y probablemente demasiado anchos cuando alguno de menor tamaño podría ser suficiente, aunque es el tamaño del empaque es un insumo con menos opciones de dimensiones.

Es muy probable que la cantidad de luz solar, junto con la temperatura, sean factores que modifiquen la cantidad de energía eléctrica generada.

Después de meses de haberse construido las CCMs, el hidrogel se empezó a degradar. Se rompió en pedazos y se hizo más aguado, se deforme y se oscureció. También se recibió un comentario de mi hermana, Marcela Gutierrez Rangel, quien estudia la carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción de Invernaderos, a la cual un maestro le menciono que la “lluvia sólida”, un hidrogel que se coloca en la tierra de cultivos para retener humedad por más tiempo, no era bueno para las bacterias en el suelo. Es indispensable que en las celdas exista un ambiente favorable para el desarrollo de bacterias, si el hidrogel no es capaz de retener su estructura por mas tiempo, no tiene caso utilizarlo, menos aun si existe posibilidades que no sea el mejor elemento para las bacterias electrogénicas.



Ilustración 57 Membrana colapsada por peso  
de cámara anódica



## FotoCCM 3

Con el conocimiento generado por la realización de la FotoCCM 2, se realizará una nueva celda de combustible microbiana.

Los objetivos para este modelo son:

- Remplazar el hidrogel con otro material duradero.
- Una instalación más sencilla para el usuario final.

Seguir contando con:

- Ánodo y cátodo con fibra de carbono deshilada.
- Electrodos accesibles y prácticos; de acero inoxidable y empaques de neopreno.
- Especies de musgo con la mayor cantidad de raíces posible; incluir más especies para comparar la generación de energía y deseabilidad por parte del usuario
- Contar con espacio para una cámara de humedad.
- Escalón o base para membrana iónica.

### *Experimentación*

Se exploraron materiales rocosos, buscando propiedades permeables que permitieran transportar el agua a través de su estructura y contenerla con el objetivo de:

- 1.- Remplazar al hidrogel con un material que pueda absorber agua para un mayor rendimiento de la celda y sea rígido para proveer estructura
- 2.- Sustituir el contenedor de plástico por un material que permita que el agua entre desde el interior.. En la instalación de las FotoCCM2, las etapas de llenar con agua la cámara catódica y colocar la membrana son demasiado complicadas. con alto margen para el error. Si la membrana se pudiera fijar antes de que llegue al usuario final, y este pudiera colocar el agua en un solo contenedor, y de ahí esta

se desplazara hasta todas las celdas remplazando el aire, sería una alternativa práctica a los actuales métodos de instalación.

### *Piedra Volcánica*

Se experimentó con piedra volcánica debido a si textura interesante, conocimiento de ser porosa y usada en filtros de agua. Se taladro un agujero y se colocó en un recipiente con agua, la prueba consistió en observar la rapidez con que el agua llegaba al interior del orificio llenándolo.

Se encontró que la piedra volcánica es muy dura, difícil de cortar y taladrar, El agua tarda mucho en llegar al interior las zonas más altas y alejadas del agua, nunca llegaron a estar húmedas. Se encontraron burbujas en la superficie sumergida de la piedra, hace sospechar que el aire si circula pero muy lentamente.



Ilustración 58 Piedra volcánica con orificio dentro de un contenedor con agua.

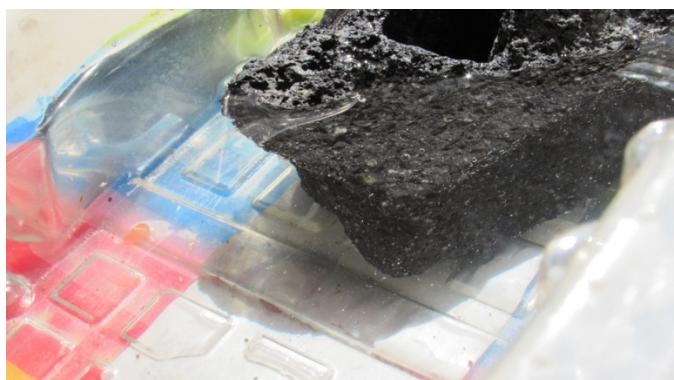


Ilustración 59 burbujas en la superficie de la piedra volcánica.

## Tezontle

Se encontró en el tezontle un buen candidato a remplazar el hidrogel, ya que:

- Es sólido, y por el tamaño de sus guijarros, sirve para ser colocado debajo del musgo como drenaje.
- Por ser ligero (poco denso) tiene mayor capacidad de absorber agua.
- Por ser poroso mantiene húmedo el musgo sobre el por acción de capilaridad.



Ilustración 60 Cámara de humedad, con distintas especies de musgo y con tezontle de base.

## Cantera

Se acudió al instituto de geología de la UASLP para pedir asesoría y el Geólogo Rubén López respondió. Facilitó una cantera “gris de tempuacan”, cantera que se extrae en el estado de Querétaro y que rápidamente puede absorber agua. Con esta cantera y otra que se encargó a un proveedor de canteras sobre el anillo periférico de SLP, se realizaron 2 versiones de celdas de combustible microbianas, fueron realizadas por encargo al cantarero, Felipe (Frente al instituto de la cantera), ubicado en la comunidad de Escalerillas, en el municipio de San Luis Potosí,

Con la cantera que proveo el geólogo Rubén López, se realizó una versión de CCM rectangular, cuenta con un deposito al costado, en el que se colocaría agua

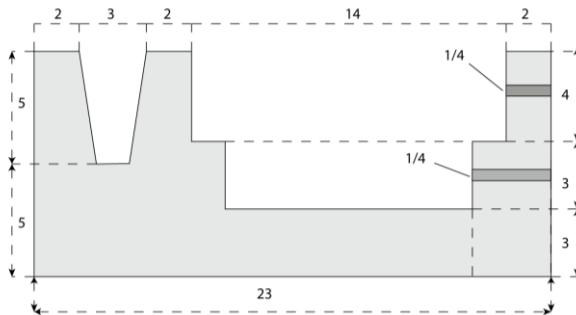


Ilustración 62 Plano transversal de CCM rectangular

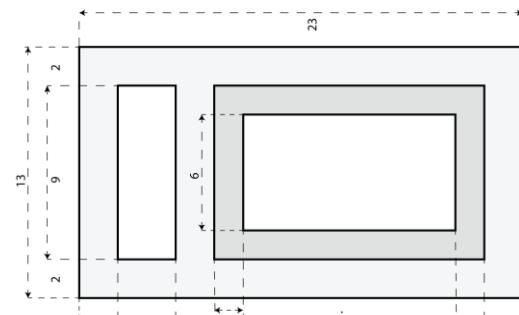


Ilustración 61 Plano de vista superior de CCM rectangular

y de ahí se transmitiría a toda la celda.

Con la cantera que se encargó al proveedor sobre el anillo periférico, se realizó una CCM cilíndrica.



Ilustración 64 Pruebas de absorción de la cantera

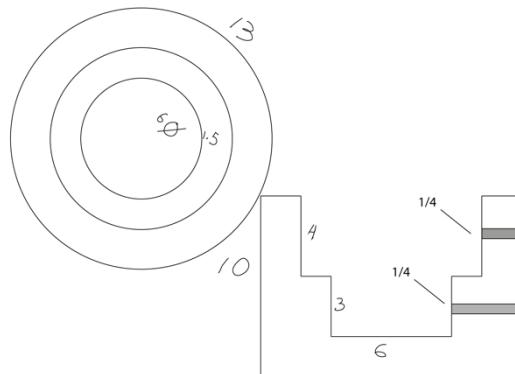


Ilustración 63 Vista superior y de corte de CCM cilíndrica



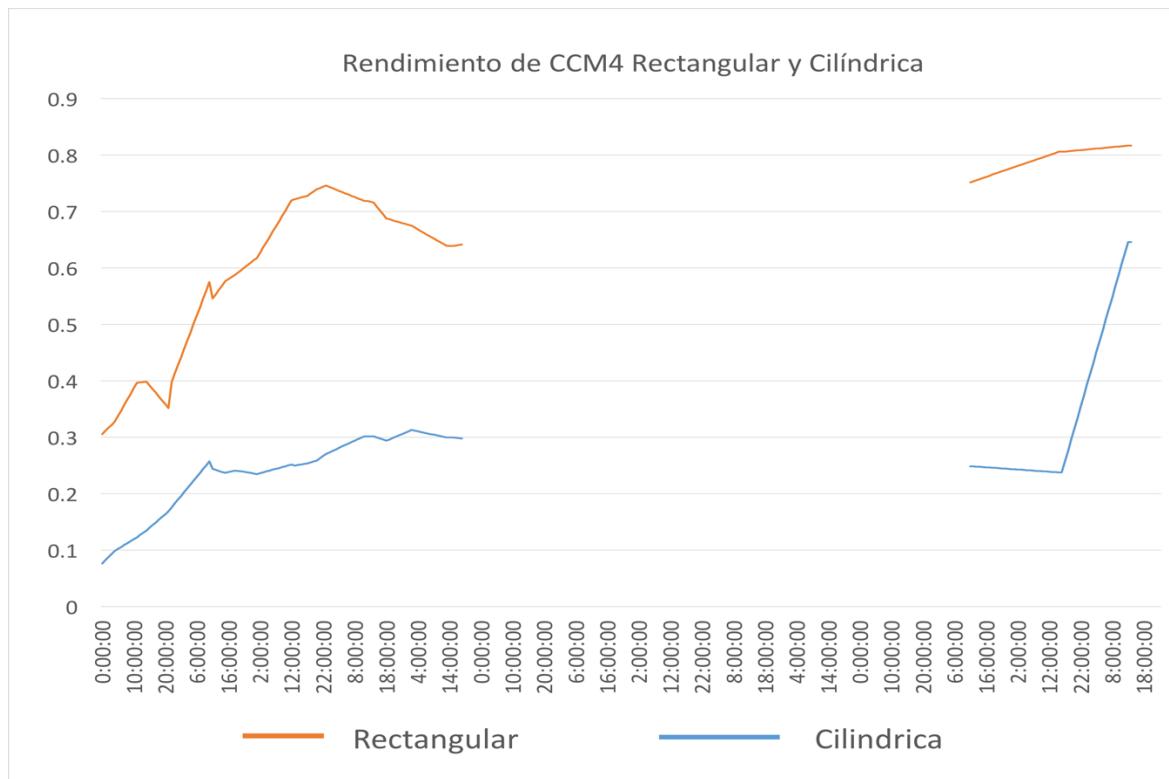
Ilustración 65 CCMs rectangular y cilíndricas terminadas

Se colocaron los electrodos para sellar las aperturas que tienen las celdas de costado. Se colocaron en una tina con agua y se observó el comportamiento de

absorción.

En ambas celdas el agua entro por los costados y se empezó acumular dentro de ellas hasta alcanzar el nivel de agua en el exterior. El proceso fue más veloz en la celda rectangular ya que era de una cantera menos densa.

### *Rendimiento*



Lo más importante de esta prueba es que se comprobó que se pueden alcanzar voltajes iguales o más que en las celdas de estireno; indispensable para poder ser utilizado.

### **FotoCCM3 Rectangular**

Notas: Se realizaron registros durante 6 días consecutivos seguido de 6 días sin registro, seguido de 2 días de registro.

Máximo voltaje registrado: Día 15, 14:00 horas, 0.817 volts

Comentarios: Hasta este momento, esta es la celda que mayor potencia a alcanzado, y pudiera que tenga todavía más capacidad ya que coincide con el último registro.

### **FotoCCM3 Cilíndrica**

Notas: Se realizaron registros durante 6 días consecutivos seguido de 6 días sin registro, seguido de 2 días de registro.

Máximo voltaje registrado: Día 15, 14:00 horas, 0.646 volts

Comentarios: Hasta este momento, esta es la celda que mayor potencia a alcanzado, y pudiera que tenga todavía más capacidad ya que coincide con el último registro. Llama mucho la atención el repentino incremento en el voltaje, el ultimo día. Pudiera sospecharse que fue un error en la anotación, pero se tiene el recuerdo que esta medición fue real.

Se cree la CCM4 rectangular generó un mayor voltaje debido a que había más superficie para el musgo y se utilizó un conjunto sano y muy denso, pero pudiera ser otra variable como el tipo de bacterias presente, el tipo de cantera u otro.



Ilustración 68 El agua comienza a entrar al CCM4



Ilustración 69 CCM4 con agua al fondo



Ilustración 67 Agua desplazandose del contenedor al resto de la celda



Ilustración 66 Ambas celdas MMC4 en una tina, esta se cubrió con plástico transparente para mantener la humedad



Ilustración 70 Acabado que se le puede dar a las piezas de cantera por los artesanos



Ilustración 71 Musgo creciendo sobre la cantera después de meses de haberse instalado

## *Conclusiones FotoCCM4*

Este tipo de celda son atractivas de usar por las siguientes razones:

1. La cantera actúa como una reserva de agua ya que esta la absorbe.
2. Al contar con más masa la estructura y la celda, se cree que pudiera permanecer más tiempo al sol sin correr el riesgo a que se alcancen temperaturas altas y estas dañen el musgo; a sucedido que, con el paso de las estaciones, o cuando parte del agua se ha evaporada en la celda, la energía del sol calienta las celdas y el musgo muere. El musgo tiene la capacidad de regenerarse, pero lo hace lentamente. Una muerte así iniciaría una reacción en cadena en la que las bacterias quedarían sin el alimento que el musgo produce y morirían, dejando de liberar electricidad y así, el producto dejaría de funcionar.
3. El agua se puede depositar en un contenedor específico y de ahí desplazarse a las cámaras catódicas y anódicas.
4. Después de meses de tener las CCM4 en funcionamiento, otro tipo de musgo empezó a crecer sobre la superficie de la cantera, esto significando que es un ambiente apto para el crecimiento de este organismo. Además, esto sucedió dándole un mantenimiento prácticamente nulo.

Los retos de utilizar este tipo de material son:

- El agua escurece del contenedor y gotea, lo que significa que tendría que llevar algún recubrimiento impermeable en los costados y abajo.
- Es pesado
- Los cantareros no tienen mucha libertad de labrar cuando las dimensiones de la pieza son muy pequeñas, se corre el riesgo que se desprenda más material del que se pretende, o se sufra una fractura grande.
- Los cantareros cobran su tiempo, al no contar con maquinaria industrial, tardan en realizar las piezas volviendo más costoso de producir el objeto de diseño. Se desconoce cuál sería el límite al cual puedan llegar.

## *Conclusiones de FotoCCM 1,2 y 3*

De la construcción de las diferentes fotoceldas de combustible microbianas se puede generar una lista de información importante enfocada en el diseño de un sistema biofotovoltaico doméstico.

### **Musgo:**

- Utilizar diversas especies de musgo, las que más han resistido a los distintos accidentes y percances que se han tenido durante la investigación.
- Cámara de humedad para un porcentaje alto de humedad en el aire.
- Humedad constante en el sustrato, pero sin estar sumergido en agua.
- Temperatura estable, soporta bien el frío, pero no el calor.
- Corriente de Aire ocasional.
- Sustrato con material orgánico para proveer de bacterias heterotróficas.

### **Celdas de combustible microbianas**

- Utilizar tezontle como soporte del musgo, drenaje.
- Combinar circuitos en serie y en paralelo para obtener el voltaje y corriente optimas dependiendo el dispositivo energizar.
- Utilizar tornillería de acero inoxidable y la que ocupe el menor volumen posible.
- Utilizar fibra de carbono para el ánodo y cátodo.
- Utilizar neopreno para los empaques.
- Utilizar membrana iónica.
- Sellar lo mejor posible la cámara catódica, auxiliarse de un escalón.
- Estructura de plástico o cantera.

### **En relación al uso:**

- El musgo requiere ser checado para verificar su estado de salud, deberá estar expuesto al usuario para que este no olvide su existencia

Se tienen identificados dos problemas principales en el desarrollo de un sistema biofotovoltaico:

1.-La membrana iónica tiene un tiempo de vida de 3-4 meses.

2.-Ningun modelo de fotoCCM que se ha realizado facilita la instalación y operación del sistema biofotovoltaico por personas ajenas al proyecto.

No se alcanzó a encontrar un separador de cámaras que tuviera una duración mayor, pero se puede trabajar en encontrar una solución al problema de generar un sistema fácil de usar por una persona fuera del ámbito científico, una respuesta del diseño al problema del uso de un sistema biofotovoltaico doméstico.

## Análisis final sobre los materiales

### *Musgo*

Los principales problemas para la salud del musgo son:

- Hongos
- Altas Temperaturas
- Bajo nivel de humedad/ hidratación

En menor preocupación

- Insectos
- Radiación solar Alta
- Poca circulación del aire

Un clima cálido y con alta humedad es propicio para la reproducción de los **hongos**, pudiendo volver una plaga para el musgo.

En las cámaras de humedad utilizadas durante la actual investigación logran mantener una alta humedad interior debido a que eran contenedores de repostería los cuales están diseñados para sellar el interior.

Han funcionado bien para conservar el musgo con muy poco mantenimiento, ya que el tiempo entre cada periodo entre riegos aumenta ya que casi no se fuga el agua del sistema, con el inconveniente que no permite el intercambio de aire con

el exterior, pudiéndose volver muy húmedo y caliente, medio que permite al hongo expandirse y digerir al musgo

Por lo que mejor sería un diseño similar al de los contenedores de repostería, pero con algunos agujeros, los cuales permitan un intercambio, aunque limitado de humedad y mezcla de gases.

El inconveniente de agregar orificios es que estos son permanentes y si aceleran el tiempo en que el musgo se queda sin humedad.

Por ello lo ideal sería orificios ajustables y un deposito grande de humedad. Orificios amplios para ventilar el musgo cuando sea posible, contribuyendo a su salud y evitando la propagación de hongos. Orificios pequeños o sin para aumentar la humedad relativa en el interior y protegerlo del ingreso de insectos o la salida de estos, cuando estos se logren propagar en el interior.

Se ha encontrado que, si existen charcos o depósitos de agua accesibles a mosquitos, estos depositaran aquí sus huevos y larvas empezaran a aparecer hasta alcanzar el estado adulto. Es importante que el depósito de agua no esté al alcance de un insecto volador. Los insectos rastreadores si han aparecido en algunas reservas de musgo, pero en ningún caso su población alcanzo niveles de plaga.

Un depósito de mayor capacidad permitiría lapsos amplios entre cada mantenimiento y mantener más baja la temperatura del sistema.

Para **evitar una sobre radicación solar**, el usuario debería colocar el sistema en una ubicación en el interior de su espacio donde esto no suceda, pero como no siempre se es posible contar con una ubicación perfecta, se pueden incluir una especie de cortina utilizando columnas de cantera en el interior de la cámara. Algo sólido que otorgue una mayor sobería al musgo en el interior, esta debe ser flexible para ajustar la cantidad de energía que llega hasta el musgo en la base.

**Aumentar la circulación de aire** se pudiera lograr utilizando un tipo de ventilación solar pasiva, aprovechar la dirección de los flujos de aire para sacar el aire caliente y húmedo e introducir aire más fresco y seco

## Conclusión Macro estructura Fundamentación

Con las conclusiones de las FotoCCM1,2 y 3 se completa la *Macro Estructura Fundamentación* al haber completado los dos objetivos específicos:

- Tener una celda biofotovoltaica funcional: Se tienen 3 modelos de celdas que generan energía eléctrica, las FotoCCM1,2 y 3 cada una con variaciones que permiten entender su funcionamiento.
- Documentación detallada de una celda biofotovoltaica y su funcionamiento: Se consta ahora de una bitácora, con notas e información recabada, con las publicaciones científicas más relevantes y un compendio de la información en este mismo documento.

En esta etapa se establecieron las bases teóricas, conceptuales, técnicas y prácticas, se determinando lo que es necesario para la construcción de una FotoCCM, con un enfoque desde la factibilidad, lo que es posible y lo que no, parte de la visión estratégica de esta macro etapa.

Ahora, se tienen las bases para seguir mejorando las celdas, pero con un enfoque de pertinencia, lo que es necesitado, deseado y conveniente, para un usuario del producto.

## 2.- Macro Estructura Conceptualización:

### El objetivo de la fase:

Identificar la **oportunidad de diseño** (desde la tecnología), explorando y revisando aplicaciones existentes de la tecnología o similares. En esta etapa se determinará que será específicamente el producto, el concepto y las premisas de diseño.

### Objetivo específico:

1. Definición de producto a diseñar
2. Identificar al usuario al que está dirigido el producto
3. Concepto
4. Premisas de diseño
5. Tentativa de plan de negocios

### Microestructuras en esta etapa:

- Análisis sobre la factibilidad de las posibles funciones
- Definir producto a realizar
- Definición de usuario objetivo
- Conceptualización
- Borrador de un plan de negocios
- Definir las premisas del diseño

### Principal enfoque en visión estratégica en orden de importancia

1. Pertinencia
2. Factibilidad

## Introducción

Esta etapa utilizará el conocimiento obtenido sobre la tecnología durante la etapa de fundamentación para determinar qué función realizará el producto a diseñar,

esto será, enfocándose en la pertinencia empalmado con el enfoque de la factibilidad.

Una vez este determinada la función, se investigará a las personas que tengan alguna necesidad que pueda ser solucionada mediante la función del producto.

Al tipo de usuario que tenga el potencial de quedar mayormente satisfecho con el producto, considerando sus cualidades especiales, será a quienes se perfilara el producto. Esto quiere decir que una vez conociendo a quienes más satisfechos pudieran quedar con el producto, se puede profundizar en sus gustos y valores para diseñar el producto acorde a ellos.

Se definirá entonces el problema de diseño específico, se generará un concepto que diga cómo resolverlo y las premisas de diseño que servirán para seleccionar la mejor alternativa en la siguiente macro etapa, DISEÑO.

## ¿Que es factible de realizarse?

### *Intereses del autor*

El autor tiene un gran interés en las transformaciones de energía y deseaba realizar un producto que las manifestara de una forma interesante y al menos presente en las dimensiones sensoriales del usuario; de alguna manera sencilla para el ser humano y, consecuentemente, al usuario del producto, ser percibida, detallada y así comprobar la realidad de los fenómenos naturales que están sucediendo en el dispositivo. “Explotar sensorialmente la energía obtenida.”

Lámparas de lava y de plasma era la principal referencia para el autor de ejemplos de productos que logran demostrar la naturaleza del universo realizando alguna función práctica mientras son sensorialmente interesantes.

En un sistema biofotovoltaico del tipo fotoCCM, la energía se transforma de solar (electromagnética) a química (**glucosa, lípidos**) a eléctrica.

El cambio de energía solar a química sucede en una escala en la cual el ser humano no puede percibir, el musgo crecerá y realizará sus funciones biológicas fuera del espectro sensorial del ser humano excepto por la percepción mediante la vista de la permanencia del estado vivo del musgo a través del tiempo como prueba de que realiza este proceso químico (intrínseco para su sobrevivencia). Una persona puede percibir la energía solar llegar al musgo, pero no percibirá como la transforma con agua y el dióxido de carbono en el aire en carbohidratos; menos aún el ser humano es capaz de percibir el consumo de estos carbohidratos por las bacterias presentes en la rizosfera. Tampoco es sencillo manifestar las manifestaciones indirectas de estos procesos como la acumulación de oxígeno en la cámara de humedad por la fotosíntesis.

Todo esto deja la corriente eléctrica obtenida, consecuencia de la actividad electrogénica de las bacterias, como la de energía más sencilla de utilizar para manifestarla al usuario del producto.

Aunque la transformación de energía solar en química y la transferencia de esta energía del musgo a las bacterias no pueda ser percibida por un humano, si es conveniente hacerle saber al usuario del producto que se está llevando acabo debido a:

- Un producto que se entiende cómo funciona es más fácil de operar. El usuario pudiera así utilizar el producto de una manera más efectiva, “si sabe la fuente inicial de energía es el sol, sabrá que es importante que este cerca de alguna ventana y que no estarlo podría causar que el producto no funcione. También supondría que no se puede exponer a fuentes de energía fuertes como radiadores o exponerlo al frío intenso ya que el musgo o las bacterias morirían.

- El aprendizaje del mantenimiento del producto se facilita para el o los usuarios.
- El mayor valor de venta del producto pudiera ser el cómo funciona, más que lo que hace. La idea de generar electricidad por medio de plantas y bacterias genera interés y resulta atractivo para un gran porcentaje de las personas con las que el autor ha compartido este proyecto; manifestar visualmente los procesos que ocurren, aunque sea de manera simbólica o en la configuración de sus partes, hace posible que el producto sea adquirido por esta única razón. “El producto no solo debe de hacerlo, debe parecer que lo está haciendo”.

Como uno de los objetivos idealísticos del autor es realizar un producto no se auxilie de fuentes de energía eléctrica externas, se descartó las opciones de utilizar una fuente de energía externa que no fuera la misma biofotovoltaica producida por el dispositivo; Pilas voltaicas o alcalinas, celdas solares o conexiones a la red de suministro de energía eléctrica doméstica son ejemplos de las opciones descartadas. Esto con la meta de generar un producto “completamente operado por energía biofotovoltaica” con esta idea como un valor de venta y atributo de originalidad auténtico en el producto.

Resumen de las premisas flexibles por parte del autor en relación a la función del producto.

1. Funcionar exclusivamente con energía biofotovoltaica.
2. Hacer presente sensorialmente la generación de energía eléctrica generada en el sistema.
3. “**imprimir**” la naturaleza de los procesos de transformación de energía que ocurren en el sistema formalmente.

Iniciar con estas premisas flexibles permite iniciar a investigar las alternativas con mayor potencial de ser preferentes o necesitadas por los usuarios finales y viables económicamente; esto es un ejemplo de utilizar el enfoque de la visión estratégica en cada macro estructura, en este caso la de conceptualización, con enfoque

principal en la pertinencia y factibilidad, pero aparecen elementos de valor del enfoque de viabilidad.

### *Experimentación y funciones descartadas*

Se sobreestimo que la capacidad de trabajo que tendría el prototipo sería equivalente a una batería AA, y con el objetivo de entender cómo se traslada esta cantidad restringida de potencia en capacidad de encender dispositivos electrónicos se experimentó con un motor de 1.5 volts, luces LEDs, un diodo, un reloj LCD y baterías recargables.

Fue posible hacer funcionar un motor de 1.5 volts con una sola pila, usado en algunos reproductores de DVDs, se cree que trabaja a más de 500 revoluciones por minuto y, se exploraron formas de aprovechar este movimiento.

Se reflexionó sobre como artefactos como el péndulo, sistemas físicos que en su estado de equilibrio permanece inmóvil, pero que, al perturbar con energía cinética, comienza a oscilar, convirtiendo la energía cinética en potencial y viceversa. Existen perdidas de energía por la resistencia del aire que empuja el péndulo en cada periodo de oscilación, pero el mayor porcentaje de esta se conserva en el sistema.

Si la energía que produce el dispositivo biofotovoltaico fuera suficiente para contrarrestar la perdida por fricción, podría ser factible de realizarse un “**perpetual motion desk toy**”, una tipología de productos que se usan tradicionalmente para decorar oficinas o espacios de trabajo, generalmente se coloca sobre un escritorio, con la función de decorar y distraer. Utilizan energía eléctrica para mantener el movimiento la escultura o el elemento decorativo.

Esta función es atractiva porque una vez logrando que el dispositivo comience a funcionar, (que pudiera ser asistido por el mismo usuario) el movimiento contante

de este transmite al usuario de manera muy directa la presencia de energía. El producto estaría utilizando una cantidad muy pequeña contantemente en comparación a la que ya existe en el sistema para mantenerlo en movimiento.

Sin embargo, la construcción de este tipo de productos es compleja, requiere una sincronización muy precisa el cuándo se le agrega energía al sistema para que esta se acomode en el sentido en el que este se desplaza y todos los elementos deben guardar una relación muy precisa entre sus dimensiones, forma y masa, con tolerancias de error muy pequeñas. Por ello se buscaron sistemas que pudieran almacenar energía cinética pero más sencillos de construir.

Agregándole unas extensiones radiales al eje del motor, se encontró que perturbar una superficie de agua en reposo requiere poca energía y parte de esta se logra conservar en el sistema por medio de olas y es bastante fácil de percibir.

Más sencillo es solo agregarle unas hélices al motor y cuando este se mueva, podría funcionar como un ventilador o ser un elemento de decoración que girara, este último requeriría que la forma tuviera añadido algún valor que lo vuelva atractivo al usuario.



**Geocero**  
**Geocero Physics Mechanics Science Toys - Newton's Cradle, Kinetic Art Asteroid, Perpetual Motion, Balance Balls Desk Toy Home Decoration, Home Office Desk Decoration (Asteroid)**

★ ★ ★ ★ 14 customer reviews

Price: \$29.99

Sale: \$11.89

You Save: \$18.10 (60%)

Your cost could be \$1.89. Eligible customers get a \$10 bonus when reloading \$100.

Learn more

This item does not ship to San Luis Potosí, Mexico. Please check other sellers who may ship internationally. Learn more

Sold by Geocero and Fulfilled by Amazon. Gift-wrap available.

Color: Asteroid



**Westminster**  
**Westminster Electronic Perpetual Motion Toy**

★ ★ ★ ★ 377 customer reviews

1 question

Price: \$8.00

Your cost could be \$0.00. Eligible customers get a \$10 bonus when reloading \$100.

Only 17 left in stock - order soon.

This item does not ship to San Luis Potosí, Mexico. Please check other sellers who may ship internationally. Learn more

Sold by Genius Buy and Fulfilled by Amazon. Gift-wrap available.

Size: 1-Pack

- Manufactured to the Highest Quality Available.

- Design is stylish and innovative. Satisfaction

- Great Gift Idea.

New (17) from \$8.09 prime

Report incorrect product information.



xUmp.com  
**The Swinging Sticks Kinetic Energy Sculpture - Desktop Toy Version**

★★★★★ 1 customer review

Price: \$89.95 & FREE Shipping

Note: Not eligible for Amazon Prime. Available with free Prime Shipping from seller on Amazon.

Only 1 left in stock - order soon.

This item ships to San Luis Potosí, Mexico.

Ship from and sold by xUmp.com.

**SLEEK, SOPHISTICATED DESIGN:** The Swinging Sticks Kinetic Energy Sculpture seemingly defies gravity as the double pendulum creates a fluid, relaxing rotation designed to change speeds and direction for no apparent reason. This high-end, museum-style motion sculpture gives the illusion of perpetual motion designed to baffle and amaze all onlookers.

**BEAUTIFUL ART:** Perfect for any environment, The Swinging Sticks is ideal for living rooms, offices, waiting rooms, restaurants, and foyers. This sculpture will provide relaxing entertainment and be the center of attention no matter where.

**HIGH-TECH:** Powered by 4 AA batteries, the aluminum sticks revolve in a mysterious, perpetual motion, creating an entertaining hypnotic effect.

**NEVER-ENDING:** Continuously rotating, The Swinging Sticks is designed to remain in motion unassisted. The constant,

Hacer encender una luz Led si fue posible, por eso **Una lámpara ambiental** fue por mucho tiempo, el favorito a realizarse. Previendo que no sería elevada la generación de energía, la función de encender al menos un LED rojo (necesita menos energía para brillar en comparación con otros colores) todos los días un par de horas parecía factible, una pantalla que actuara como difusor podría ser el punto de atención.

Trabajando con José Juan en el Instituto de Física, conocí la necesidad de muchos eléctricos de tener transformadores de voltaje o baterías cargadas. Muchas de ellos necesitan de voltajes bajos, de 3.5 y 5. Volts para hacer operar dispositivos electrónicos como Arduinos y sensores. Si, se pudiera crear un producto, que **suministrara energía en voltajes de 3.5 y 5 volts**, estando fuera de la red de la CFE, la cual tiene ruidos y cambios de voltaje que deben ser aislados para muchas aplicaciones electrónicas, podría ser atractivo dentro del mercado de la microelectrónica.

Otra alternativa fue un **cargador de baterías doméstico** de baterías del tipo AAA y AA. Para recargar una batería solo se necesita un circuito con un diodo que restrinja la dirección de la corriente en un sentido (para que no pueda fluir de regreso la energía de las baterías a las celdas) y un porta pilas. Aunque este cargador tardara 2 meses en cargar un par de baterías, en comparación a las horas que tarda uno convencional, esto es suficiente para resolver la necesidad de remplazar las baterías de algunos aparatos como controles de televisión, alarmas de CO<sub>2</sub> entre otros.

Un reloj con pantalla LCD es el dispositivo que menos energía utiliza y por ello, el que más tiempo dura haciéndolo con una sola batería AA. Se utilizó un modelo muy pequeño, pero existen de distintos tamaños en el mercado.

### *Descartando opciones*

Hasta que se contó el sistema biofotovoltaico con las 6 fotoCCM2 fue cuando se tuvo la capacidad de hacer una estimación sobre capacidad de generación de energía. Utilizando este sistema para realizar pruebas fue como se descartaron la mayoría de las opciones contempladas, debido a que no se lograron hacer funcionar. El sistema mantiene, con 6 celdas, unas dimensiones generales que lo mantienen relativamente práctico, fácil de transportar y acomodar en algún espacio.

Generar una corriente constante que pudiera hacer funcionar la mayoría de las propuestas requeriría muchas más celdas, cubriendo un área mayor, volviendo un producto así poco atractivo en relación a las alternativas en el mercado.

El sistema biofotovoltaico genera una corriente eléctrica con un potencial de hasta .8 volts por celda, pero con un amperaje muy bajo, mientras la corriente sale del sistema, disminuye su potencia.

En la prueba de cargar 2 baterías AA no se tuvo éxito, al conectar las 5 celdas con más voltaje en serie se alcanzó a superar los 2. Volts, estas se conectaron al circuito eléctrico conformado por el diodo 1N4001 y las baterías recargables. El voltaje empezó a descender lentamente hasta que se desconectó el circuito a los .5 volts.

Se esperaba que hubiera una descarga rápida y el voltaje llegara a un rango entre 1.2 y 1.5 volts, después volviera a empezar a subir y al llegar entre 1.8 y 2 volts ocurriría otra descarga rápida. Esa era la función del diodo, que el circuito solo fluya hacia un lado y solo cuando se alcanza cierta magnitud, en este caso, arriba de 1.5 volts, los necesarios para cargar las baterías de 1.5 Volts. En una retroalimentación posterior con José Juan, menciono que se podía deber a que el diodo necesitaba más corriente para funcionar correctamente.

Esta realidad descartó la posibilidad de cargar una batería durante un tiempo prolongado con poca corriente para que después fuera capaz de encender algo que utilizara más corriente similar a lo que sucede con “Moss FM”, en el que se enciende un radio durante 4 Minutos utilizando capacitores; averiguar cómo lo logran y después construirlo volvería más complejo el producto, lo que no es preferible.

No se logró encender el motor de 1.5 volts ni el LED rojo.

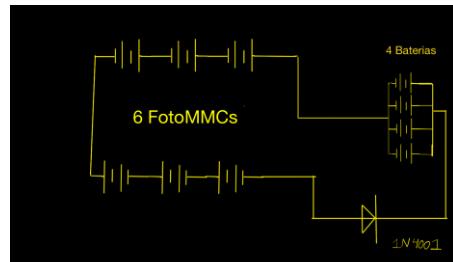
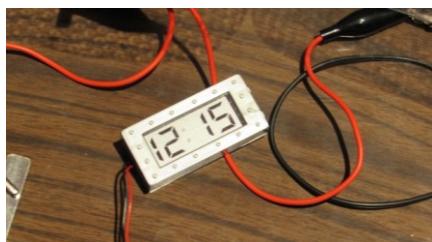
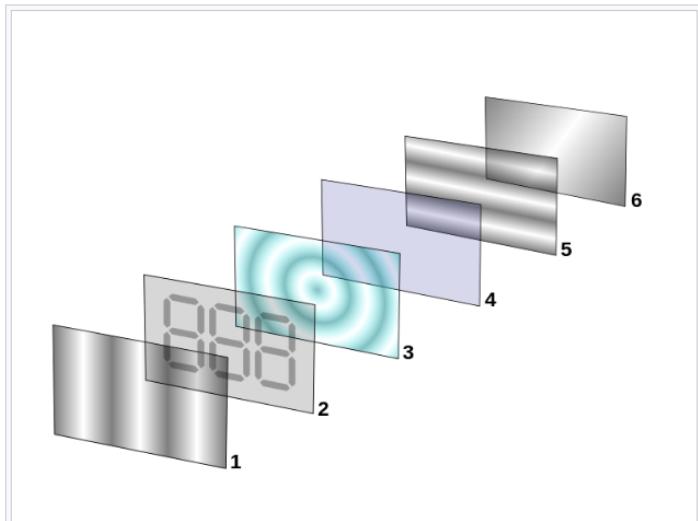


Ilustración 72 Reloj encendido con energía biofotovoltaica del sistema

### *Pantallas de cristal liquido*

Un reloj con pantalla LCD pequeña se logró encender y continúo funcionando por veinticuatro horas continuas hasta que fue desconectado. Estos dispositivos son los más factibles de utilizar ya que la energía que utilizan estas pantallas es muy baja.

El tipo de pantalla LCD específico que se utilizó es del tipo “*twisted nematic*” (efecto-TN) que, a diferencia de las pantallas basadas en la dinámica de dispersión primaria, hace uso de cristales líquidos en fase nemática. Las celdas TN no necesitan corriente eléctrica para su funcionamiento, o ni ninguna tensión eléctrica para las funciones importantes. Este efecto es la base de las pantallas TN alfanuméricicas con un voltaje de control bajo dando un contraste aceptable, por lo que se puede utilizar en muchos dispositivos portátiles (calculadoras, relojes, etc.) [https://es.wikipedia.org/wiki/Twisted\\_nematic](https://es.wikipedia.org/wiki/Twisted_nematic)



Pantalla de cristal líquido Twisted nematic (TN).

1. Film de filtro vertical para polarizar la luz que entra.
2. Sustrato de vidrio con **electrodos** de Óxido de Indio **ITO**. Las formas de los electrodos determinan las formas negras que aparecen cuando la pantalla se enciende y apaga. Los cantes verticales de la superficie son suaves.
3. Cristales líquidos *Twisted Nematic* (TN).
4. Sustrato de vidrio con film electrodo común (ITO) con los cantes horizontales para alinearse con el filtro horizontal.
5. Film de filtro horizontal para bloquear/permitir el paso de luz.
6. Superficie reflectante para devolver la luz al espectador. En un LCD retroiluminado, esta capa es reemplazada por una fuente luminosa.

Ilustración 73 Composición de una pantalla LCD-TN



Ilustración 74 Reroj en pantalla LCD funcionando con 4 fotoCCM del tipo "Moss Table"

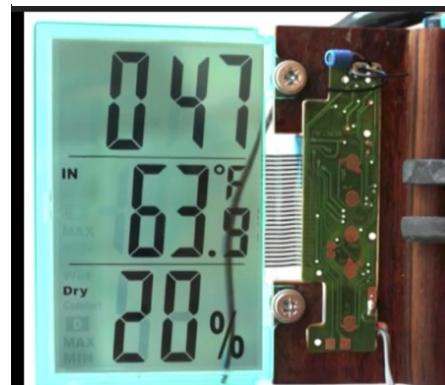


Ilustración 75 Pantalla LCD-TN y circuito embebido de un higrómetro y termómetro funcionando con 10 fotoCCM del tipo "Moss FM"

Con solo 4 FotoCCMs la “Moss Table” logra encender un reloj mediano, pero con 10 celdas como en el “Moss FM” ya es posible hacer funcionar un higrómetro y termómetro.

Utilizando estas pantallas si se es capaz de transmitir al usuario del producto que el sistema está produciendo electricidad al ser sencillo visualizar su funcionamiento, los números que se muestran contrastan sobre el fondo y estos cambian constantemente.

En el mercado hay pantallas listas para ser conectadas a microcontroladores para así mostrar la información que se le programe, pero el uso de estas tarjetas utiliza mucha energía, mucha más que la que produce el sistema biofotovoltaico.

Hay otras pantallas que son parte de productos con funciones específicas, como calculadoras, relojes digitales o basculas, pero también relojes, higrómetros y termómetros. Para facilitar el uso de esta tecnología y debido a que no se cuenta con acceso algún taller donde fabriquen este tipo de pantallas, lo más conveniente será adquirir el producto completo, el mismo que realice la función que se tenga intencionado el producto desempeñe y adaptarlo o modificarlo al diseño del sistema biofotovoltaico.

Adquiriendo un producto ensamblado, se logra adquirir un sistema embebido, un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas, frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real. [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_embebido](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_embebido) La utilización de estos sistemas es clave ya que al ser un sistema enfocado a una sola función, hace un uso eficiente de energía para lograrlo.

Debido a que el sistema será relativamente grande y pesado como para ser sujetado o transportado con regularidad, las funciones de calculadora y bascula no se adaptan a las propiedades físicas intrínsecas del producto; las funciones que mejor se adaptan al producto son las de higrómetro, reloj y termómetro.

#### *Funciones aptas para el producto: higrómetro, reloj y termómetro.*

La necesidad de tener el conocimiento sobre el tiempo es básica en nuestra sociedad contemporánea y para satisfacerla, ya existen en el mercado una infinidad de modelos distintos de relojes, además esta información ahora se puede encontrar en los teléfonos inteligentes que prácticamente toda persona ya tiene. Por ello, que el producto biofotovoltaico sea un reloj, es considerado por el autor, como una función poco atractiva para el consumidor, ya que este ya satisface su

necesidad actualmente y de distintas maneras. Como el sistema biofotovoltaico necesita ser colocado en un punto donde obtenga radiación solar, tampoco es apto para ser utilizado como un reloj de pared, por no ser flexible para ser colocado en los espacios interiores de casas habitaciones y oficinas.

En cambio, la información que provee un higrómetro y termómetro no es sencilla de conocer sin tener, físicamente, estos instrumentos con uno mismo. En internet se puede encontrar información meteorológica de cada ciudad, incluyendo la humedad relativa (higrómetro) y la temperatura (termómetro) junto con proyecciones en el tiempo, mas esta información no es precisa para todas las ubicaciones geográficas de las ciudades y no pueden proveer esta información en los espacios interiores de las edificaciones humanas.

Esta información es valiosa para muchos grupos de personas y es por eso que existen en el mercado distintos modelos, “Un reloj te da la misma hora que a todos, pero un termómetro y higrómetro te da la humedad relativa y temperatura única de donde tu estas”.-El autor.

### *El Termohigrómetro*

Un termohigrómetro es un instrumento electrónico que es capaz de medir y mostrar la temperatura y la humedad relativa. Es lo suficientemente pequeño para ser portátil o de mano y suele utilizar baterías para su alimentación de energía. Los componentes miden la temperatura y la humedad a través de los cambios en la resistencia eléctrica y muestra de forma continua las medidas en una unidad de pantalla.

Algunos tipos termohigrómetro digital vienen con un sensor inalámbrico que puede ser colocado en una ubicación diferente de la unidad principal. El sensor remoto mide la temperatura y la humedad relativa en esa ubicación y la transmite a la

unidad principal. La pantalla de la unidad puede mostrar las mediciones tanto de la ubicación en la unidad principal como la del sensor remoto.

Los Termohigrómetros a menudo se utilizan en invernaderos para controlar las temperaturas y niveles de humedad y puede ser utilizado durante la eliminación del moho e inspecciones de viviendas para comprobar la calidad del aire. Otras aplicaciones incluyen estudios ambientales, distribución de alimentos e instalación



de sistemas de  
calefacción y refrigeración en un edificio. <http://laboratorio-quimico.blogspot.mx/2013/10/que-es-un-termohigrometro-digital.html>

Ilustración 76 Termohigrómetros encontrado en Amazon.com

### Humedad Relativa

#### Humedad:

f. Calidad de húmedo.

fís. Agua de que está impregnada un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire.

Cantidad de vapor acuoso existente en un cuerpo o en el espacio.

Meteorológico

. **humedad atmosférica** Cantidad de vapor de agua que hay en la atmósfera.

Diccionario Encyclopédico Vox 1. © 2009 Larousse Editorial, S.L.

La cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en cualquier momento determinado, normalmente es menor que el necesario para saturar el aire. **La humedad relativa (HR)** es el porcentaje de la humedad de saturación, que se calcula normalmente en relación con la densidad de vapor de saturación.

$$\text{Relative Humidity} = \frac{\text{actual vapor density}}{\text{saturation vapor density}} \times 100\%$$

La unidad más común de densidad de vapor es el gm/m<sup>3</sup>. Por ejemplo, si la densidad de vapor actual es de 10 g/m<sup>3</sup> a 20°C comparada con la densidad de vapor de saturación a esa temperatura de 17,3 g/m<sup>3</sup>, entonces la HR es

$$R.H. = \frac{10 \text{ g / m}^3}{17.3 \text{ g / m}^3} \times 100\% = 57.8\%$$

La humedad relativa es la cantidad de humedad en el aire, comparado con la que el aire puede "mantener" a esa temperatura. Cuando el aire no puede "mantener" toda la humedad, entonces se condensa como rocío.

### Punto de Rocío

Si se enfriá gradualmente el aire mientras mantenemos constante el contenido de humedad, la HR se elevará hasta alcanzar el 100%. Esta temperatura a la cual el contenido de humedad en el aire saturará el aire, se llama punto de rocío. Si el aire se enfriá aún más, parte de la humedad se condensará.

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/relhum.html>

La HR del aire se mide con un higrómetro que disponga de un indicador desde el 0 % (aire seco absoluto) hasta el 100 % (aire completamente saturado como niebla, nubes o baño de vapor). Algunos modelos disponen de un rango de medición limitados.

[https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/higrometro-kat\\_70012\\_1.htm](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/higrometro-kat_70012_1.htm)

## Humedad Relativa y el Ser Humano.

Se pudiera clasificar en tres, las áreas en las que la humedad relativa afecta al ser humano.

- Confort
- Salud
- Conservación

### *El Confort Higrotérmico*

Definición 1: Confort higrotérmico es la ausencia de malestar térmico, cuando los mecanismos fisiológicos termorreguladores no tienen que intervenir. En una interpretación literaria, cualquier sensación agradable o desagradable que sienta el ser humano le impide concentrarse en lo que tiene que hacer; la mejor sensación global durante la actividad es la de no sentir nada, sino indiferencia frente al ambiente: esa situación sería el confort, para realizar una actividad el ser humano debe ignorar el ambiente (tener confort).

<https://es.wikipedia.org/wiki/Confort>

Definición 2: Es la condición de la mente en la que expresa satisfacción con el ambiente térmico en el que se está presente y es evaluado subjetivamente.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_comfort](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort)

El porcentaje de humedad relativa en el ambiente, afecta directamente el confort higrotérmico del ser humano.

Mientras el cuerpo humano tiene sensores en la piel que son bastante eficientes percibiendo frío o calor, la humedad relativa es percibida indirectamente. La

sudoración es un mecanismo efectivo de perdida de calor desde la piel, sin embargo, con una alta humedad relativa, el aire se encuentra cerca del punto máximo de vapor de agua que puede contener, así entonces, que la evaporación, y por lo tanto, el mecanismo de perdida de calor, sea menos eficiente.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_comfort#Relative\\_humidity](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort#Relative_humidity).

Este fenómeno puede causar gran disconformidad en las personas cuando las temperaturas son elevadas, ya que la superficie del cuerpo cubierta en sudor aumenta, generalmente en las extremidades, donde usualmente no hay percepción de sudor. Una alta humedad y bajas temperaturas aumentan la sensación de frío debido al incremento en la conducción del aire.

<https://es.scribd.com/document/145842757/Caracteristicas-del-aire-para-el-bienestar-humano>.

*“Cuando uno sale de la regadera en un baño cerrado, generalmente se siente tibio y húmedo. Probablemente la temperatura esté en el rango de 21°C a 22°C, con una HR de aproximadamente 70 a 80%. Esta alta humedad, resulta del vapor de agua agregado al aire durante el baño.*

*Cuando hay que salir del cuarto de baño a otra parte de la casa, se siente notablemente más frío, y no es que la temperatura esté más baja, porque puede ser casi la misma. Se debe a que probablemente la HR en el resto de la casa, esté entre un 10 o 15%. Debido a lo seco de este aire, la humedad de la piel comienza a evaporarse inmediatamente, produciendo un efecto de enfriamiento, exactamente como un enfriador evaporativo.*

*Este tipo de fenómeno se presenta día tras día, cada invierno, en millones de casas. La gente que tiene calefacción, gira sus termostatos hasta 24 o 25°C, para no sentir ese frío. Aun así, se sienten como corrientes de aire y frío porque el proceso evaporativo continúa. Un nivel adecuado de humedad relativa hace que a 20°C, se sienta igual o más agradable que a 25°C.*

*Este efecto de frío no es el único descomfort causado por el aire seco. La electricidad estática, como ya vimos, es una indicación definitiva de bajos niveles de humedad relativa, y es una condición que es consistentemente molesta. Una hr adecuada eliminará, o por lo menos, reducirá ese descomfort.” Capítulo 13, psicometría*

## Salud

Las principales afectaciones al ser humano con relación a la HR, tienen que ver con las vías respiratorias y los ojos, ya que estas partes del cuerpo son húmedas y necesitan estarlo para funcionar correctamente. Cuando la HR es baja, estos sistemas (visual y respiratorio) son alterados.

### Vías respiratorias

Normalmente, cuando se respira, el aire que pasa por la nariz es humedecido, filtrado y calentado. Pero en un aire demasiado seco la velocidad de humidificación de la acción nasal no es suficiente, provocándose la respiración por la boca, considerada como una de las causas de las afecciones nasales. La sequedad de garganta ocasiona una sensación de malestar.

<https://es.scribd.com/document/145842757/Caracteristicas-del-aire-para-el-bienestar-humano>

*“¿Que dicen los médicos acerca de la humedad y la salud? Un doctor especialista en ojos, nariz y garganta dice al respecto:*

*En la lucha entre la nariz y el equipo acondicionador del aire, algunas veces gana la calefacción y otras la refrigeración, pero rara vez la nariz. La mucosa nasal contiene como 96% de agua. Para empezar, es más viscosa que cualquier otra mucosidad en el cuerpo, y aun la más ligera resequedad, aumenta la viscosidad lo suficiente para interferir con la función de los cilios. Las demandas de las glándulas nasales son grandes aún bajo condiciones ordinarias, y no pueden competir con una sequedad externa en el interior de una casa en invierno.*

*La experiencia ha demostrado, que cuando se aproxima el invierno, aparece la primera ola de pacientes con nariz reseca, cuando la hr interior baja a 25%. Parece, por lo tanto, que 35% sería considerada del grado aceptable, pero 40%*

*sería un mejor objetivo. Podría concluirse así, parecería que medio litro de agua, es demasiada agua para ser vertida por una pequeña nariz. En los enfermos y en los ancianos, simplemente no se libera, deteniéndose el flujo, cosa que los gérmenes aprovechan.*

*Otro médico experto en catarros comunes dice: «La prevención del catarro común es actualmente, la más cercana aproximación a la cura. La medida de prevención más importante, parecería ser la regulación adecuada de la humedad, especialmente durante la temporada de invierno y calefacción, con su desastrosa resequedad del aire interior, que crea un ambiente favorable para el virus de la gripe.*

*Una HR adecuada, es útil para aliviar los problemas de salud agravados por un aire demasiado seco. Todos los hechos apuntan hacia una relación positiva entre la humedad y la salud.”* Capítulo 13, psicometría

Es razonable asumir estos efectos son más pronunciados en personas mayores al disminuir la actividad mucociliar nasal. [The dichotomy of relative humidity on indoor air quality.pdf](#)

Un numero grande de estudios realizados en oficinas and demostrado por medio de cuestionarios, asociaciones entre baja HR (5-30%) y un incremento en el predominio de la percepción de aire seco, irritación en los ojos y vías respiratorias superiores, o que la intervención, aumentando la HR resulta en menos quejas. (Backman and Haghishat, 1999; Reinikainen et al., 1992, 1997; Reinikainen and Jaakkola, 2001, 2003; Nordström et al., 1994; Norbäck et al., 2000; Sato et al., 2003).

#### [Ojos y la Película Lagrimal Precorneal](#)

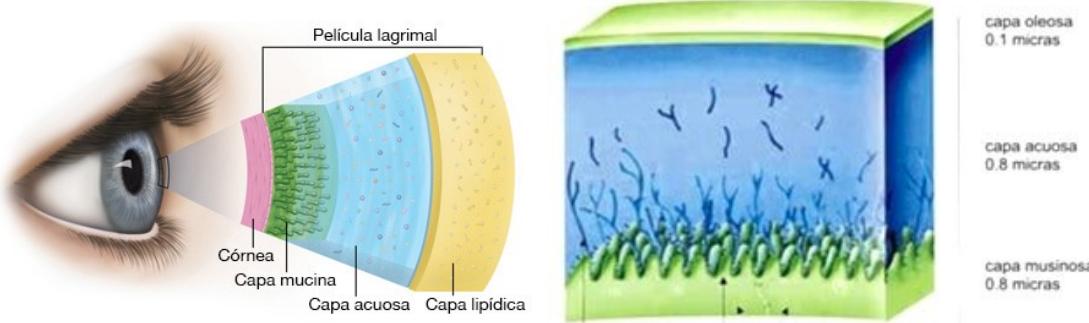
Los ojos parecen ser más susceptibles a la baja humedad, particularmente durante el trabajo “visual display unit” (VDU) o estación de trabajo con monitor. (cf. Wolkoff et al., 2005).

Estudios recientes en cámaras controladas han demostrado que la película lagrimal precorneal (PLP) en humanos es alterada bajo condiciones de HR extremadamente bajas, (5-10%) durante algunas horas. (Sunwoo et al., 2006a; Wyon et al., 2006). The dichotomy of relative humidity on indoor air quality.pdf y un incremento en la HR se correlaciona con una PLP más estable y con eso una posible protección contra la desecación del ojo, por la evaporación del agua (Wolkoff et al., 2006a); particularmente entre pacientes con resequedad en los ojos, donde también la frecuencia del pestaño se estabiliza. (Farris, 1997; Korb 2002; Korb et al., 1996; Ousler et al., 2002; Tsubota et al., 1996a). Esto también es cierto para ciertos pacientes con ojos de contacto “suaves” (Thai et al., 2004; Maruyama et al., 2004; and references in Wolkoff et al., 2006a).

La **película lagrimal** es una formación de tres capas extremadamente delgadas que cubren y protegen el ojo:

- La capa externa o lípida, provee una superficie oleosa que retarda la evaporación de la lágrima. Si esta película no existe, la lágrima podría evaporarse de 10 a 20 veces más rápidamente.
- La capa intermedia o acuosa incluye sales y proteínas en una base que consta de 98% de agua
- La capa más interna o de mucina, cubre directamente la superficie del ojo permitiendo que las otras capas formen una película. Sin esta capa las lágrimas no podrían permanecer sobre la superficie del ojo y se eliminarían rápidamente y desencadenarían una patología conocida como ojo seco.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Pel%C3%ADcula\\_lagrimal](https://es.wikipedia.org/wiki/Pel%C3%ADcula_lagrimal)



Un ambiente con baja HR durante 1.5-5 horas, cambia la composición química de la PLP y resultó en un incremento en la frecuencia del pestañeo, tanto en 10% y 30% de HR por un tiempo dependiente ([Sunwoo et al., 2006a,b](#)).

Además, la exposición de una mezcla de irritantes sensoriales al ojo mostró su mayor efecto con una HR de 20% comparada con una HR de 50%. ([Nøjgaard et al., 2005](#)).

Durante el trabajo en una estación con monitor con una alta demanda visual y cognitiva, es donde la PLP se vuelve más susceptible a cargas externas por exposición ([Wolkoff et al., 2003, 2006a](#)). El mantenimiento de la humedad es esencial para evitar la desecación de la PLP y su subsecuente alteración química, que, de no hacerlo, terminaría en los típicos síntomas oculares como cansancio e irritación ([cf. Wolkoff et al., 2006a](#)), especialmente para mujeres post-menstruales ([cf. Wolkoff et al., 2003](#)).

Se pudiera resumir que una HR baja (10%) ocasiona una desecación en las membranas mucosas, primero en el ojo y después en la cavidad nasal ([cf. Sunwoo et al., 2006b](#)). Estudios epidemiológicos, clínicos y en cámaras climáticas indican que una HR de 40% es mejor para los ojos que una HR menor a 30% ([cf. Sunwoo et al., 2006a,b](#))

## *Conservación de bienes*

La adición o reducción de humedad, afecta drásticamente las cualidades, dimensiones y peso, de los materiales higroscópicos. [Capítulo 13, psicrometría](#)

La madera, el papel, las telas, aunque se sienten secos al tacto, contienen agua. No una cantidad fija de agua, sino una cantidad que varía grandemente con el nivel de HR del aire circundante. Tomemos, por ejemplo, un metro cúbico de madera seca con un peso de 480 kg. A una HR de 60%, la madera tendrá aproximadamente 50 lts. de agua. Si la HR disminuye a 10%, el agua retenida por la madera no llegaría ni a 10 litros. [Capítulo 13, psicrometría](#)

Este tipo de acción sucede no solo con la madera, sino con todo tipo de materiales en casa, que tengan la capacidad de absorber y despedir humedad. Estos materiales se encogen al perder humedad, y se hinchan al absorberla. Si la pérdida de agua es rápida, se suscitan torceduras y grietas. Al cambiar la HR, cambian las condiciones y las dimensiones de los materiales. Es por esto que se debe humidificar, se debe controlar la HR . Por todo lo anterior, es que la humedad adecuada es importante. [Capítulo 13, psicrometría](#)

**Efectos de Baja Humedad.** Esto afecta, principalmente, a la construcción de muebles; las gomas se resecan, las uniones se separan, los escalones se caen, aparecen grietas, etc. Los emplastes y los entrepaños de madera se separan y se agrietan, al igual que los pisos. Los pianos, órganos y otros instrumentos musicales, pierden su afinación. Obras de arte, libros y documentos se resecan, se rompen o se agrietan. Las alfombras y tapetes se desgastan rápidamente, simplemente porque una fibra seca se rompe y una húmeda se dobla.” [Capítulo 13, psicrometría](#)

## *Importancia del monitoreo de la HR*

El control de la humedad relativa es importante ya que la percepción inmediata de la calidad del aire interior (CAI) suele ser mejor cuando la HR es baja, (Fang et al., 1998) pero esta percepción no refleja los síntomas como la irritación visual y en vías respiratorias. Estos síntomas tardan en manifestarse, ya que el efecto es durante el día de trabajo (Fang et al., 1998).

Una HR de 40- 50% parece estabilizar la PLP desde la desecación, irritantes sensoriales y otros contaminantes. Sin embargo, e interiores, la HR no debería de subir más allá de 60%, debido a un aumento en el riesgo de proliferación de ácaros.

[The dichotomy of relative humidity on indoor air quality.pdf](#)

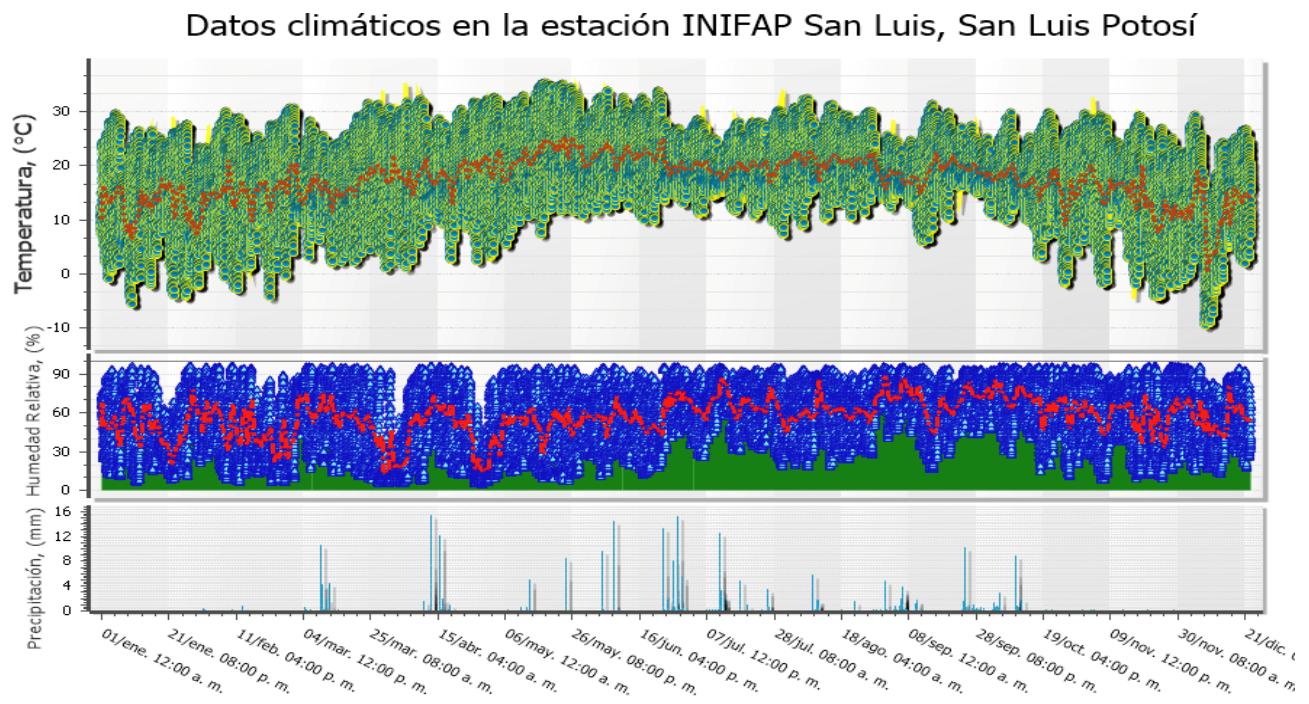
La ausencia de sensores especializados en la humedad del ambiente hace que los humanos no sean capaces de medir este valor con precisión, por lo que se necesitan un instrumento especializado.

Para detectar condiciones dañinas para la salud, psique y bienes materiales y así tener oportunidad de remediarlas o evitarlas.

## Conclusión

El porcentaje de humedad relativa en el ambiente, afecta directamente la salud de las personas, sus bienes materiales y su confort general.

Conocer la humedad relativa es valioso para el ser humano, ya que, a partir de su conocimiento, se puede ejercer acciones para evitar o corregirlo condiciones dañinas. Un termohigrómetro es la función que más valor pudiera aportar al producto biofotovoltaico.



## Detección de oportunidad

En San Luis Potosí y ciudades en diversas regiones del país, debido a su clima desértico y semidesértico, tienen oscilaciones drásticas de temperatura, obteniendo una *HR* baja durante las horas más cálidas del día, ya que, al calentarse la atmósfera, sube su capacidad de contener humedad.

En la ilustración 81 se pueden ver los máximos y mínimos para al HR y temperatura en el 2017; Los meses con la HR más baja es entre noviembre y junio.

| Promedio de HR mensual en algunas ciudades mexicanas |                 |                     |                   |         |
|--|-----------------|---------------------|-------------------|---------|
|  | San Luis Potosí | Agrícola, Querétaro | Marín, Nuevo León | Durango |
| enero  | 49.44           | 53.78               | 76.34             | 44.54   |
| febrero  | 45.91           | 47.51               | 78.72             | 39.04   |
| marzo  | 53.49           | 54.09               | 78.22             | 43.63   |
| abril  | 44.59           | 41.83               | 77.11             | 29.29   |
| mayo   | 51.38           | 49.43               | 77.91             | 33.3    |
| junio  | 58.11           | 59.97               | 73.19             | 43.22   |
| julio  | 65.77           | 75.85               | 61.65             | 67.58   |
| agosto   | 62.53           | 73.15               | 56.21             | 70.5    |
| septiembre   | 69.08           | 79.07               | 63.73             | 79.45   |
| octubre  | 68.46           | 74.38               | 65.78             | 70.38   |
| noviembre  | 56.85           | 59.12               | 70.04             | 52      |
| diciembre  | 57.21           | 57.52               | 62.85             | 60.42   |
| TOTALES  | 56.9+           | 60.48+              | 70.15+            | 52.78+  |

[http://clima.inifap.gob.mx  
/redinifap/est.aspx?est=3  
6755](http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=36755)

Aunque el promedio de HR para la ciudad de San Luis Potosí en el mes de enero del 2017

fue de 49.44%, debido al clima semidesértico en el que se ubica, tuvo largos periodos de HR menores al 30%. Para el caso de estudio, se seleccionaron los días 21, 22 y 23 de enero por tener el promedio más bajo del mes. Esto se puede apreciar en la ilustración 79, en la que la línea roja, representando la HR promedio, baja de la línea amarilla, la cual marca el nivel de 30%.

Durante este periodo de tiempo, la HR fue muy baja, y solo aumentando durante las horas más frías del día. Entre estos 3 días hubo una HR menor a 15% durante 22 horas y el tiempo menor a 30% fue de 44 horas, un 61.1% del tiempo en este lapso de 3 días.

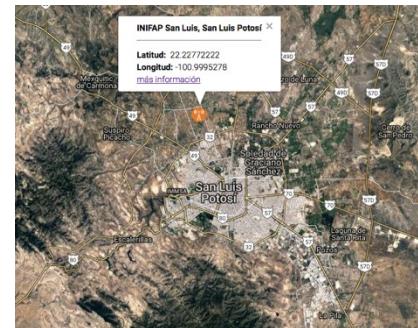
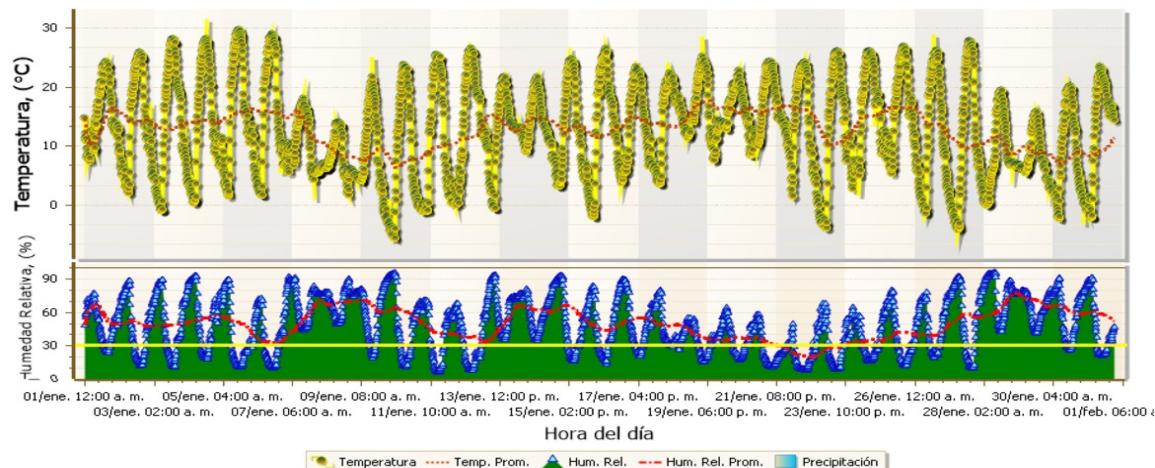


Ilustración 78 Ilustración 1 Ubicación geográfica de la estación inifap SLP

Este fenómeno se repite continuamente durante el año, en San Luis Potosí y en diversas ciudades de México.

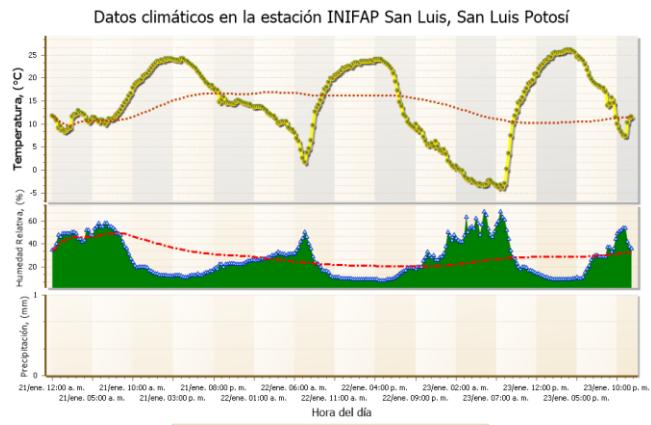
### Datos climáticos en la estación INIFAP San Luis, San Luis Potosí



*Ilustración 79 Resumen de Temperatura y HR en San Luis Potosí durante el mes de Enero 2017, En la gráfica de HR, la verde, existe una línea amarilla que delinea la marca de 30%, debajo de este valor se considera que la humedad es baja. Es común que la HR baje la marca de 30% la mayoría de los días durante el día, durante varias horas.*

|             | Hora  | Temp °C | HR                                |       |
|-------------|-------|---------|-----------------------------------|-------|
| 21 de enero | 09:30 | 16      | 31%                               | Dia 1 |
|             | 10:30 | 19      | 19% 18 horas debajo de 30%        |       |
|             | 12:30 | 22.8    | 15% 12 horas debajo de 20 %       |       |
|             | 16:30 | 23.8    | 11% 6 horas 45 min debajo de 15 % |       |
|             | 19:15 | 18.8    | 15%                               |       |
|             | 20:30 | 17.4    | 18%                               |       |
| 22 de enero | 22:30 | 14.5    | 23%                               |       |
|             | 03:30 | 11.7    | 30%                               |       |
|             | 08:15 | 9.7     | 29%                               | Dia 2 |
|             | 09:30 | 16.4    | 17% 16 horas debajo de 30%        |       |
|             | 10:15 | 19.1    | 15% 9 horas debajo de 15%         |       |
|             | 11:45 | 22.1    | 10% 6 horas y media debajo de 10% |       |
| 23 de Enero | 17:15 | 23.4    | 8%                                |       |
|             | 18:15 | 20.9    | 10%                               |       |
|             | 19:15 | 13.9    | 15%                               |       |
|             | 21:12 | 8.5     | 20%                               |       |
|             | 00:15 | 4.1     | 29%                               |       |
|             | 09:00 | 10.3    | 28%                               | Dia 3 |
|             | 09:45 | 14.6    | 20% 10 horas debajo de 30%        |       |
|             | 11:45 | 20.8    | 15% 9:30 horas debajo de 20%      |       |
|             | 13:30 | 24.5    | 10% 6:15 horas debajo de 15%      |       |
|             | 17:30 | 24.2    | 10% 4 horas debajo de 10%         |       |
|             | 18:00 | 22.9    | 15%                               |       |
|             | 18:15 | 21.7    | 18%                               |       |
|             | 19:15 | 18.7    | 30%                               |       |

*Ilustración 80 Tabla 1 En la tabla superior muestra la relación entre el cambio de temperatura y HR. Los periodos de baja HR son calculables con la información.*



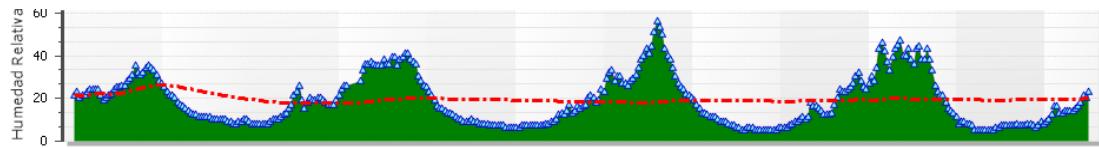


Ilustración 83. Grafica de la HR los días 1-4 de abril 2017, Datos climáticos en la estación INIFAP

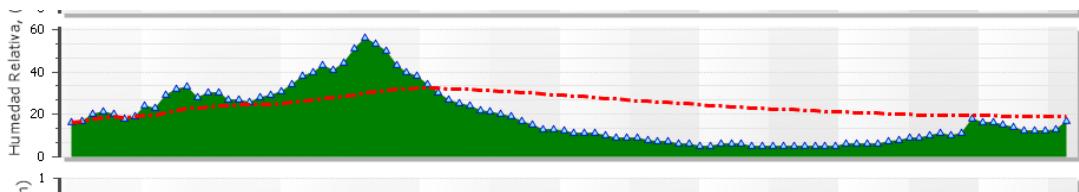


Ilustración 83 Grafica de la HR el día 3 de abril 2017, Datos climáticos en la estación INIFAP San Luis Potosí, SLP

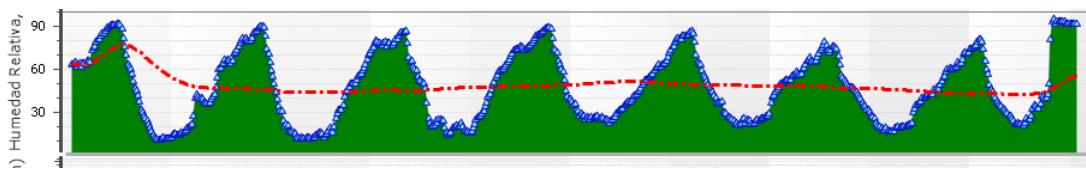


Ilustración 85 Grafica de la HR el día 17 al 23 de junio 2017, Datos climáticos en la estación INIFAP San Luis Potosí, SLP

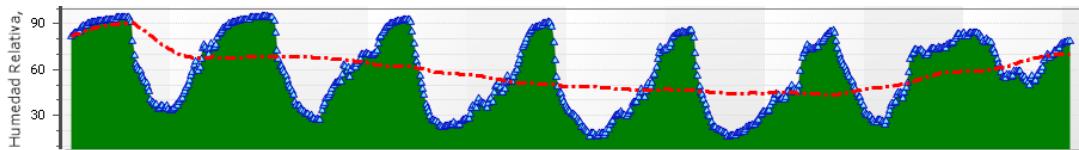


Ilustración 85 Grafica de la HR el día 11 al 17 de septiembre 2017, Datos climáticos en la estación INIFAP San Luis Potosí, SLP

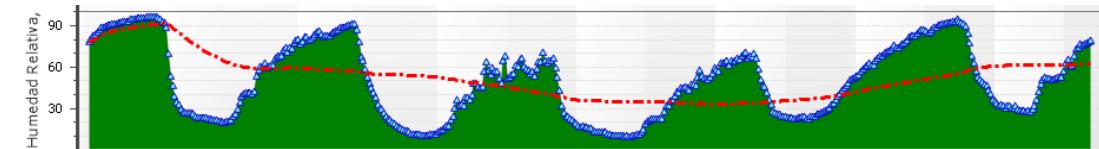


Ilustración 83 Grafica de la HR el día 23 al 27 de noviembre 2017, Datos climáticos en la estación INIFAP San Luis Potosí, SLP

Los periodos de HR menor a 30% durante más de 10 Horas al día coincide con el momento del día de mayor actividad laboral (9:00 a 18-19:00), Cuando los espacios interiores se ocupan y se abren ventanas. El aire seco exacerba los daños y malestares de trabajar frente a un monitor y o celular durante tiempos prolongados.

El factor de una baja HR que es uno de los factores que influyen en la calidad del aire y el confort higrotérmico, es uno que es posible manipular, al menos para espacios interiores cerrados por medio de **productos**, competencia del diseño industrial.

*¿Sera posible que el monitor de humedad sea también sea un  
humidificador?*

La capacidad de aumentar el nivel de humedad relativa hasta la zona de confort le daría al producto un valor extra. Se estaría ofreciendo un producto que además de comunicar la calidad del aire, te auxilia a mejorarlo.

En la experimentación con cantera, se encontró en este material las propiedades de absorción de agua y la impermeabilidad eléctrica necesaria para ser utilizado como una FCCM. En la cantera, por efecto de la capilaridad, el agua se traslada hasta zonas bastante alejadas del nivel de agua, aumentando así, el área de la celda húmeda en contacto con el aire y directamente proporcional, el vapor de agua que se puede generar.

La cantera es lo suficientemente densa para almacenar una cantidad de energía térmica considerable, si se configurara el sistema para maximizar el área de superficie húmeda de cantera a la vez que es se coloca directamente al sol, se podría incrementar la humedad relativa del ambiente donde este el producto.

## *Psicrometría*

"Psicrometría se define como la medición del contenido de humedad del aire. Ampliando la definición a términos más técnicos, psicrometría es la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano. Ampliando aún más, incluiríamos el método de controlar las propiedades térmicas del aire húmedo. Lo anterior, se puede llevar a cabo a través del uso de tablas psicrométricas o de la carta psicrométrica" [Capítulo 13, psicometría](#)

## *Cartas Psicrométricas*

Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire. En una carta psicrométrica se encuentran todas las propiedades del aire, de las cuales las de mayor importancia son las siguientes:

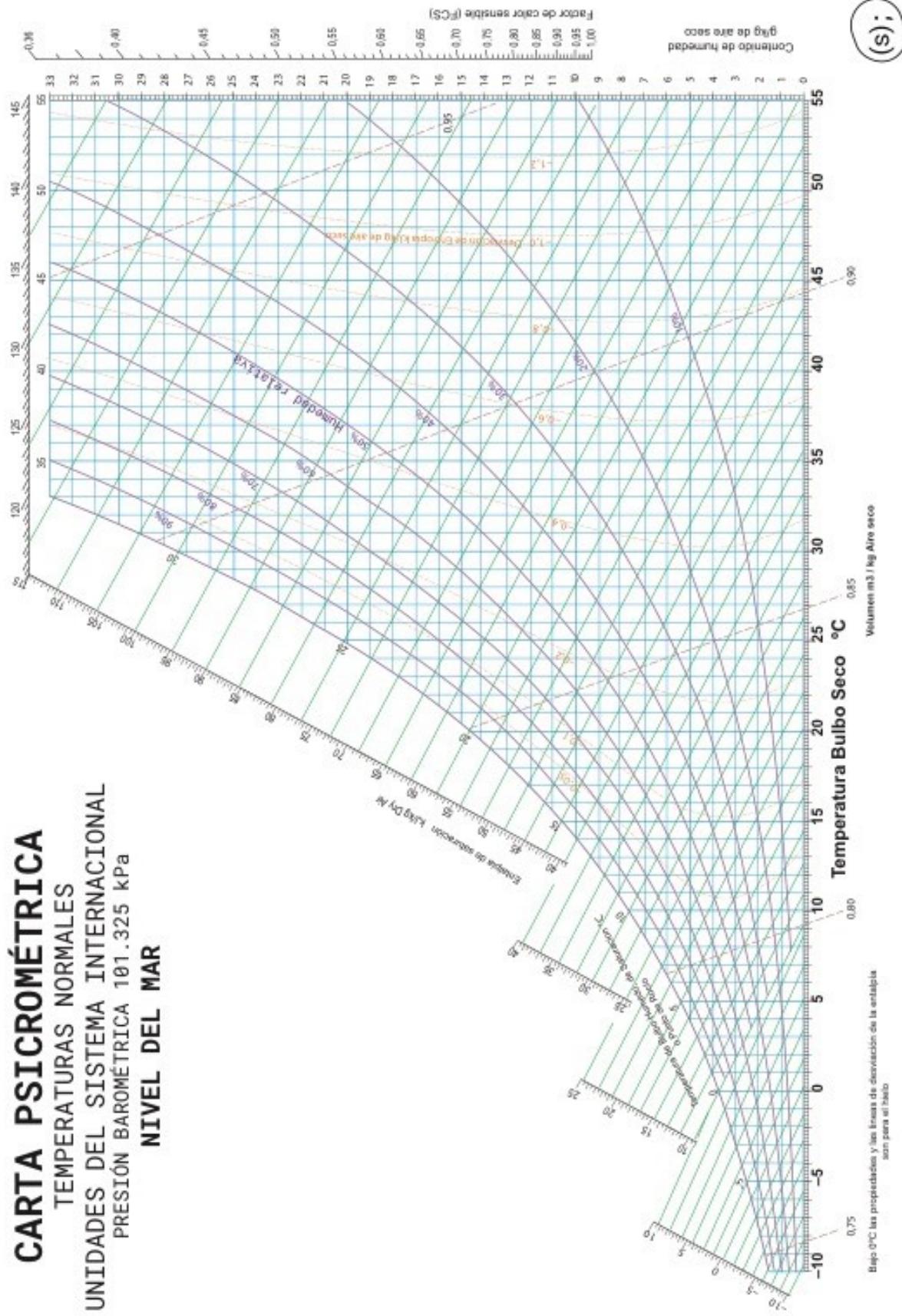
1. Temperatura de bulbo seco (*bs*).
2. Temperatura de bulbo húmedo (*bh*).
3. Temperatura de punto de rocío (*pr*)
4. Humedad relativa (*hr*).
5. Humedad absoluta (*ha*).
6. Entalpía (*h*).
7. Volumen específico.

Las temperaturas están en grados centígrados; el volumen en m<sup>3</sup>/kg; la humedad relativa en porcentajes; el contenido de humedad en g/kg aire seco; la entalpía y la entropía están en kilo joules (kJ) por kg de aire seco. Un kJ/kg = 0.239 kcal/kg = 0.430 btu/lb. [Capítulo 13, psicometría](#)

Conociendo dos de cualquiera de estas propiedades del aire, las otras pueden determinarse a partir de la carta. Aunque las tablas psicrométricas son más precisas, el uso de la carta psicrométrica puede ahorrarnos mucho tiempo y cálculos, en la mayoría de los casos donde no se requiere una extremada precisión. [Capítulo 13, psicometría](#)

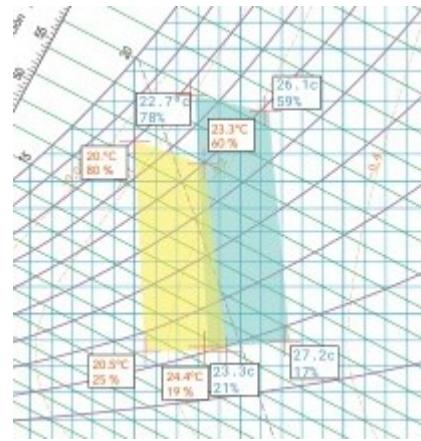
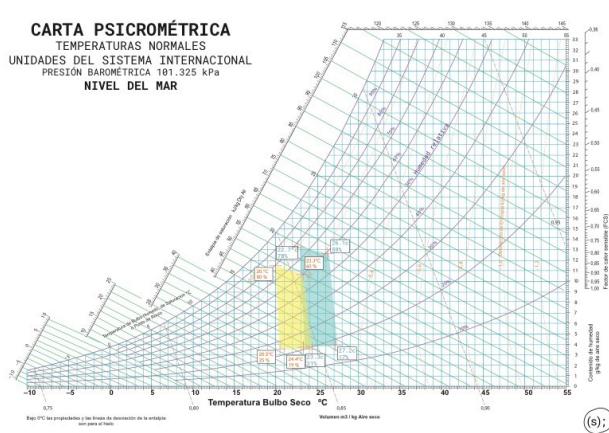
# CARTA PSICROMÉTRICA

TEMPERATURAS NORMALES  
UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL  
PRESSIÓN BAROMÉTRICA 101.325 kPa  
NIVEL DEL MAR



### *Zona de confort higrotérmico*

Aunque es subjetivo la temperatura y HR en la que cada persona se encuentra en su zona de confort higrotérmico, existen unas zonas en las que se pueden generalizar.



La zona de confort higrotérmico cambia dependiendo de la época del año, ya que es esperado que la temperatura sea distinta, y en base a eso, las personas cambian su vestimenta.

En la ilustración xx se grafican los límites de confort higrotérmico en verano e invierno para alturas de 1524 metros sobre el nivel de mar; de aquí se desprenden dos tablas que capturan los extremos superiores e inferiores.

[http://www.coolerado.com/pdfs/Psychrmtrcs/0000Psych11x17US\\_SI.pdf](http://www.coolerado.com/pdfs/Psychrmtrcs/0000Psych11x17US_SI.pdf)

|        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 20°C   | 23.3°C | 22.7°C | 26.1°C |
| 80%hr  | 60%    | 78%hr  | 59%    |
| 20.5°C | 24.4°C | 23.3°C | 27.2°C |
| 25%hr  | 19%    | 21%hr  | 17%    |

Tabla x y u, Extremos de confort higrotérmico en verano e invierno

De los extremos en la tabla se puede apreciar que:

- La mayor temperatura, solo se acepta si viene acompañada de una menor HR
  - La mayor HR solo es soportado si baja la temperatura.

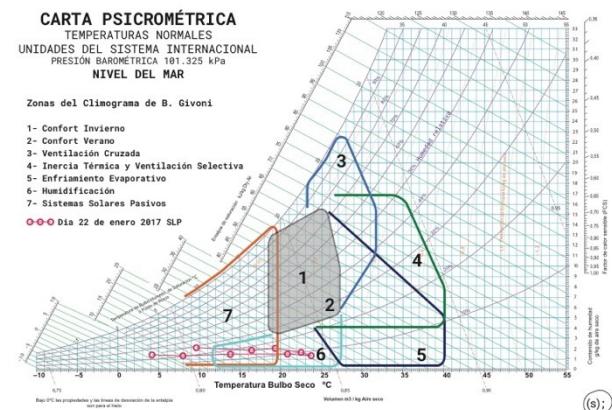
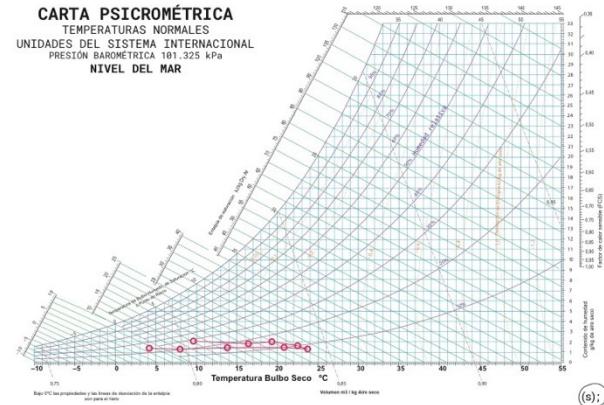
## ¿Dónde se ubica SLP en una carta psicrométrica?

Se graficó las temperaturas y humedad relativa del día 22 de enero del 2017 en la carta psicrométrica.

Baruch Givoni, uno de los especialistas en Arquitectura bioclimática más reconocidos del mundo, creo climogramas realizado sobre un diagrama psicrométrico donde traza una zona de confort higrotérmico para invierno y verano. Luego propone otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación y/o aplicación de Estrategias de diseño pasivo.

Al incluir estas zonas sobre la carta psicrométrica podemos conocer que estrategias de diseño pasivo pudieran ser factibles de implementar en el producto.

**Confirmando la hipótesis, es un humidificador lo que se podría implementar para aliviar las problemáticas en estos días de períodos de HR baja extensos.**



### *Nivel de HR recomendados:*

Mientras que algunas condiciones de humedad son ideales para el confort y la salud, en muchos casos, son menos ideales por otras razones. Una HR superior de 60%, puede cumplir con todos los requisitos para salud y confort, pero puede resultar dañina para paredes, muebles, etc. [capítulo 13](#).

Una HR de 40- 50% parece estabilizar la PLP desde la desecación, irritantes sensoriales y otros contaminantes. Sin embargo, e interiores, la HR no debería de subir más allá de 60%, debido a un aumento en el riesgo de proliferación de ácaros.

[The dichotomy of relative humidity on indoor air quality.pdf](#)

| Temperatura Exterior °C | Humedad Relativa Recomendada % |
|-------------------------|--------------------------------|
| -7 y mayores            | 35                             |
| -12                     | 30                             |
| -18                     | 25                             |
| -23                     | 20                             |
| -30                     | 15                             |

*Ilustración 84 Ilustración 1 Humedad relativa recomendada [capítulo 13](#).*

## Función complementaria, Humidificador.

El producto, para mantener la premisa de solo utilizar energía eléctrica biofotovoltaica para funcionar, no puede hacer uso de energía eléctrica proveniente de una fuente externa. Deberá hacer uso de otras fuentes de energía o aprovechar algún fenómeno físico natural para funcionar.

Energía que pueda obtener de su alrededor, como si fuera una planta u organismo que no puede desplazarse para encontrar lo que necesita, pero si comunicar lo que le hace falta para que el humano lo alimente, “lo estimule”; Este es quien podría manipular y accionar la función de humidificación

La energía del sol, que también necesita el musgo para funcionar, es la que tiene con el potencial más alto para utilizar.

### *Enfriadores evaporativos*

Para climas con una mayor temperatura y con poca HR, Baruch Givoni recomienda el enfriamiento evaporativo como estrategia de diseño pasivo.

Un **enfriador por evaporación** (también llamado **enfriador del desierto**, y **enfriador por aire húmedo**) es un dispositivo que enfría el aire mediante la evaporación de agua. El enfriamiento por evaporación es distinto de los sistemas de aire acondicionado típicos que utilizan ciclos de refrigeración por compresión del vapor o absorción. El principio de funcionamiento del enfriamiento por evaporación se basa en emplear la gran entalpía de vaporización del agua. La temperatura del aire seco puede ser reducida en forma significativa mediante la transición de fase de agua líquida a vapor de agua.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n\\_por\\_evaporaci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n_por_evaporaci%C3%B3n)

La **entalpía de vaporización** es la cantidad de energía necesaria para que la unidad de masa (kilogramo, mol, etc.) de una sustancia que se encuentre en equilibrio con su propio vapor a una presión de una atmósfera pase completamente del estado líquido al estado gaseoso.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Entalp%C3%ADa\\_de\\_vaporizaci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Entalp%C3%ADa_de_vaporizaci%C3%B3n)

Utilizando este fenómeno natural se puede incrementar la humedad relativa del ambiente utilizando las estrategias del diseño pasivo del enfriamiento por evaporación.

La energía necesaria para que el agua pase en estado sólido viene directamente de la temperatura a la que se encuentra, el agua en forma de vapor se lleva parte de esta energía, lo que deja el cuerpo de agua de donde proviene con menos energía, “mas frio”.

Este fenómeno de acelera si se hacen pasar corrientes de aire que remuevan el ya saturado aire con humedad y lo reemplace con aire seco. Esta parte del producto debería facilitar que ocurra.

### *Humidificadores*

Los humidificadores se caracterizan por su capacidad de evaporación, que indica la cantidad de líquido (vapor de agua) que emite el aparato, que se mide en litros por hora (l/h) o mililitros por hora (ml/h). Este dato permite calcular cuánto tiempo dura la carga del depósito de agua.

<http://www.guiaspracticas.com/climatizacion-y-aire-acondicionado/humidificador>

## Definición del Producto Por Realizar

Termohigrómetro con sistema biofotovoltaico y humidificador de cantera.

### *Problema de diseño específico*

Sistema biofotovoltaico que genere suficiente electricidad para hacer encender un termohigrómetro; un humidificador de cantera que utilice las estrategias de diseño pasivo de refrigeración por evaporación; todo integrado en un producto que sea fácil de ensamblar, de mantener y usar.

Función primaria: Termohigrómetro biofotovoltaico

Función secundaria: Humidificador con principios de diseño pasivo bioclimáticos.

### Beneficios fisiológicos que brinda el producto:

Salud, operándolo se logra evitar malestares en la vista y vías respiratorias.

### Beneficios psicológicos que brinda el producto:

Elemento de decoración con carga simbólicas naturales, brindando tranquilidad.

Al tener plantas, la percepción que oxigena y purifica el aire.

### *Población a la cual estará dirigida el producto*

Los requerimientos de mantenimiento del producto hacen que el usuario óptimo, sea uno que acostumbre a tener plantas en sus espacios, ya sean públicos o privados, ya que saben cuidarlas. Pero dentro de esta gran población, se debe buscar a quienes tengan un interés o preocupación, sobre la calidad del aire, ya que esta es la función que tiene el producto, monitorear la HR y aumentarla.

Hipótesis del Autor: Las siguientes poblaciones son aquellas que más interés podrían tener por adquirir un *monitor de humedad/humidificador*.

## **Estudios/shalas de Yoga, Practicantes de yoga, y meditación**

Es una práctica común y generalizada, (a experiencia del autor, practicante de ashtanga yoga durante 4 años) utilizar dentro de las secciones de yoga, humidificadores para aumentar la HR o aromatizar el ambiente; estos mismos aparatos, “difusores de aceites esenciales”, también son usados en sesiones de meditación y aromaterapia. Estos dispositivos son utilizados para mejorar la experiencia de la práctica y la calidad del aire en la habitación.

La población que practica yoga y medita, tienen el deseo de mejorar su estado físico y mental porque valoran su salud, por ello, utilizan los humidificadores/aromatizantes, para maximizar los beneficios de la práctica. Esta población es una más consciente sobre los elementos que influyen en la calidad del aire, y que están dispuestos a alterarlo a su conveniencia.

Los modelos de “difusores de aceites esenciales” más populares en el mercado, no cuentan con un monitor de HR, el cual es indispensable para controlar efectivamente la calidad del aire. Debido a que esta población tiene el interés de mejorar la calidad del aire y no cuenta con la herramienta que necesita, podrá encontrar atractivo el producto que desarrolla esta investigación.

## **Personas biofilicas con plantas en el interior de sus espacios.**

Por su alto sentido de conexión con la naturaleza, estas personas que tienen una alta cantidad de plantas en el interior de sus espacios que la mayoría, y preocupados por la salud de estas, desean monitorear la HR.

**Personas que tengan algún problema de salud respiratorio** optaran por equipos certificados y fehacientes para monitorear la calidad del aire, pero podrían estar interesados en adquirir es producto de esta investigación para algún otro

espacio o habitación de su casa ya que como, no es un equipo medico y tiene que tener una estética que lo comunique, puede tener una que sea propia para que el producto decore sus espacios.

### **Personas con preocupaciones sobre la calidad del aire.**

Hay personas que viven en ciudades con contaminación atmosférica y se sienten angustiadas por las repercusiones que puedan tener vivir en este ambiente. Tienen plantas y sistemas de aire acondicionado para mejorar la calidad de aire. Como su necesidad es más psicológica, buscan la tranquilidad que estos productos les provee. Pueden estar interesados en el producto de esta investigación ya que tiene elementos formales simbólicos que brindan tranquilidad, además de información sobre la calidad del aire.

## *Concepto*

“Cuál es la intención y como lo vas hacer”

El concepto nos da las pautas de las cuales basarnos al momento de diseñar el producto, nos dice cuál es la historia que hay que contar para que cada parte del producto ayude a transmitirla, desde el nombre a el instructivo, todo debe contar la misma historia.

## *Esencia del concepto*

-Denotar la vida para intuir su mantenimiento,  
Ordenar el sistema, para entender el proceso-

## *Descripción del concepto*

*Configurar el producto formalmente de manera que comunique al usuario como se usa, y como se mantiene. Objetivo: Un producto más sencillo de usar.*

*El funcionamiento del producto comunicara mediante la organización espacial de los componentes del sistema y su representación simbólica.*

*El mantenimiento se hará mediante el señalamiento y reforzamiento de la presencia de un ser vivo, y la manera de ejecutarlo corresponda con la manera de cuidar uno*

## *Desarrollo del concepto*

Mediante la configuración formal del producto se comunicará que procesos se llevan a cabo en el sistema al ordenarlos y representarlos simbólicamente de izquierda a derecha, trasmitiendo también el nivel de intervención necesaria por el humano para completar el sistema biofotovoltaico.

De esta manera, del lado izquierdo está el nivel con la menor intervención humana, donde se ubica el humidificador, el cual, con una estética brutal, opera con el uso de la materia presente en este planeta desde su comienzo, la roca, el agua, el aire y la energía solar.

De esta zona, nos desplazamos hacia la derecha donde aparece la vida, la que organiza elementos muertos y los anima con la energía solar. Aquí está presente una biocenosis, compuesta principalmente por musgo y bacterias, la cual está resguardada por la primera intervención humana clara, un domo transparente.

De aquí a la derecha el humano ha hecho claro su intervención y denota su capacidad de transformar la materia para adaptarla a sus gustos, espacios y necesidades. Aparece el metal pulido y brillante, los minerales con cortes limpios y geométricos, los plásticos, la tecnología digital y la representación de la información con símbolos propios de la cultura humana.

La estrategia para facilitar el mantenimiento es recordarle al usuario que el producto es un ser vivo, para que entonces use su experiencia personal para intuir que se necesita hacer para arreglar algún problema con el sistema. Cuando nos deshidratamos necesitamos agua, cuando nos da calor abrimos una ventana, cuando nos da frío, la cerramos. De la misma manera se interviene el biotopo.

El usuario base al que está dirigido el producto, son aquellos que tienen y cuidan de sus plantas, por lo que ya tienen experiencia leyendo sus signos vitales (tono y color, humedad del suelo, ventilación,) ; el sistema debe hacer que este no se olvide de la existencia de ellas. Todos los organismos vivos habitan en el biotopo, y la manifestación de este más pregnante es el domo transparente que lo encierra por la parte superior, por lo que este, y su contenido, debe simbolizar o señalar la presencia de vida.

En el extremo derecho se utilizarán los símbolos universales utilizados en la electrónica para indicar cuál es el electrodo positivo, el negativo y el de información (el cual comunica el termohigrómetro con el interior de biotopo). Además de cualquier mensaje utilizando palabras o algún símbolo propio de la cultura humana.

**Historia que se cuenta al usuario:**

**Sobre los procesos:**

Los elementos agua, aire y tierra con la energía del sol, sustentan la vida, la cual puede generar electricidad que nosotros podemos aprovechar, así que, al mantener y albergar un poco de plantas y bacterias aquí, obtendremos un generador biológico de electricidad.

La operación de producto es de izquierda a derecha, como en las historias y la escritura. Partirá de la naturaleza brutal hacia el control y manipulación humana, pasando en medio, por la vida; De esta manera se cuenta cómo es que la vida se hace espacio en la naturaleza, como se organiza y después como el humano a aprendido a sacar provecho de esta.

**Resumen:**

Agua + aire + tierra + energía solar = vida = Energía/electricidad

**Sobre el mantenimiento**

El producto funciona con seres vivos los cuales tú debes cuidar. Enfócate en el musgo, el cual es una planta y se cuida como una. El termohigrómetro te brinda información útil para cuidarte a ti y al musgo, eso y las señas en el interior del biotipo será la información con la cual tu interpretaras lo que hay que hacerse.

## Nombre del Producto

Se necesita una manera de llamar al producto, el nombre debería reflejar lo mejor posible la función del producto, su naturaleza, cualidades y beneficios.

El autor considera que la cualidad más singular del producto es la relación simbiótica que tiene el usuario con él. A cambio de cuidar los organismos del producto, estos le proporcionan un beneficio, electricidad, que usa para cuidar su salud, lo cual motiva al usuario a seguir cuidando los organismos del producto. Este tipo de relación simbiótica se denomina mutualista ya que ambas partes obtiene un beneficio. Como la electricidad de utiliza con el propósito de cuidar la salud del usuario, se puede decir que ambas partes se cuidan entre sí.

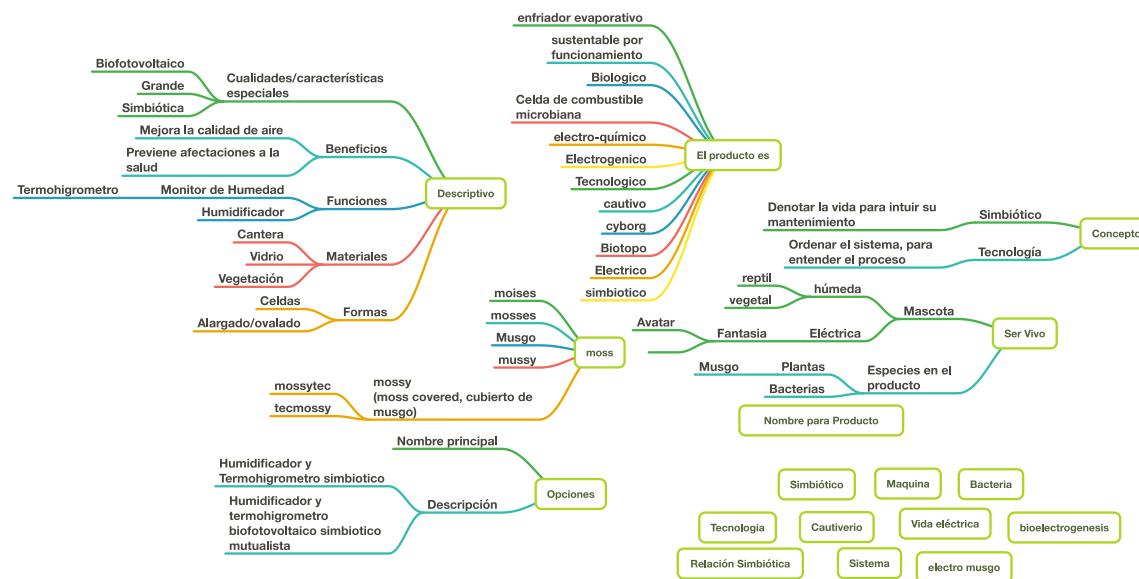


Ilustración 85 Mapa mental de elementos relevantes para crear nombre

### Propuesta para nombre del producto: mossby

**Nombre descriptivo:** Humidificador e Higrómetro Biofotovoltaico Simbiótico.

Musgo en inglés se escribe “moss”, mossby se asimila a la frase “must be” fonéticamente, la cual se puede traducir como “debe ser” o “debiera ser”. De esta

manera, el nombre adquiere un carácter filosófico, comunica una visión de como debería o pudieras ser las cosas, el futuro.

### *Tentativa de plan de Negocios*

El proyecto se podría vender a una empresa que venda este tipo de productos como *Plant-e* o se podría comercializar independientemente.

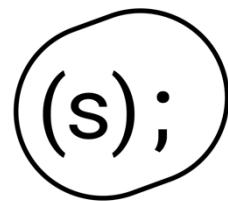
Transportar organismos a través de fronteras nacionales es complicado por las diversas regulaciones que existen como medida de protección contra enfermedades. Para poder comercializar el producto se plantea la creación de una empresa, la cual se encargue de la fabricación y comercialización. Para comercializarlo se encuentras dos variantes posibles.

1. Vender nacionalmente el producto con el musgo deshidratado o sin musgo, solo con bacterias heterotróficas contenidas el sustrato. Así se puede enviar por paquetería.
2. Vender nacional e internacionalmente mediante terceros. Crear socios con viveros, florerías, y tiendas especializadas en plantas y diseño en la cuales reciban el producto, lo instalen y lo vendan listo.

El potencial del biodiseño es claro y actualmente existen pocas entidades que tengan la capacidad de diseñar y comercializar productos con organismos biológicos, se propone la creación de una empresa dedicada a este nuevo nicho comercial. Esta empresa sería una entidad comercializadora de soluciones en biodiseño, resolvería los problemas existentes del traslado e instalación de organismos en los productos. El autor actualmente se encuentra en proceso de la creación de la empresa, y es en esta ubicación, donde se terminó de desarrollar esta investigación.

Nombre de la empresa: Simbiótica();

**simbiótica();**



*Ilustración 87 Logo de la empresa*

*Ilustración 86 Isotipo de la empresa*

## Premisas de diseño

Las premisas de diseño dictan como debe ser el producto para resolver el problema de diseño basado en los resultados del análisis de la investigación previa.

### Premisas Formales y estéticos:

General: Se deberá percibir la segmentación de tres zonas principales, natural, biológica y artificial/humana. Se logrará mediante la utilización de distintos acabados y materiales.

Sus dimensiones deben permitir su ubicación en un mueble del hogar como un aparador, consola o escritorio.

Zona natural: Acabados brutos, sin pulir o lijar. En cantera acabado “marmoleado”, piedra volcánica “martillado”.

Zona biológica: Utilizar biomimética para remarcar los organismos presentes, utilizar texturas, formas y proporciones que se encuentre presente en la naturaleza y los seres vivos.

La cubierta que encierra la biocenosis deberá permitir su observación, de preferencia en vidrio para aumentar su tiempo de vida.

Zona artificial: Acabados pulidos, rectos, geométricos, hacer clara la capacidad de manipulación de la materia del hombre de una forma ordenada y clara.

Utilizará en lo posible materiales con apariencia natural, porque las personas a las que esta dirigido desean para conectarse con la naturaleza.

## Tecnológicos

- Se utilizará cantera para la elaboración de la estructura del sistema biofotovoltaico incluyendo las celdas microbianas; es un material permeable y deja pasar agua desde el exterior y expulsar el aire hacia el exterior, permitiendo que su instalación sea más fácil por parte del usuario
- Utilizará un sistema embebido prefabricado para el termohigrómetro para ser eficientes energéticamente.

## Usabilidad

- El mantenimiento que necesite el producto será sencillo de realizar.
- Permitirá cuidar el musgo de una forma sencilla, esto es cuidar su temperatura y humedad interior.
- No escurrirá o permitirá que el agua salga del producto en forma líquida. No debe chorrear o escurrir. / Agua fuera del producto podría dañar el espacio y muebles donde sea colocado.
- Deberá ser flexible en cuanto la ubicación del producto dentro de una habitación // Debería poder funcionar con un rango amplio de radiación solar.

## Funcionales

- Informará la temperatura y humedad de ambiente donde esté situado el producto.
- Tendrá la capacidad de humedecer el ambiente y acercarlo al nivel de confort higrotérmico.

## Económico

Buscar los procesos y materiales mas económicos posibles para economizar en lo posible el producto. Buscar lo proveedores de materiales y procesos mas cercanos al centro de San Luis Potosí.

## Técnicos

### Celdas de combustible microbianas

Sellar mecánicamente la cámara catódica // evitar problemas de instalación, alcanzar voltajes mayores.

### Técnico procesos

- Las piezas en cantera se pedirán hacer en el taller de Don Felipe en escalerillas.
- El vidrio en el estudio de diseño *Caleidoscopio*
- Todo se ensamblará en *simbiótica*;

## Biológicos

- Tendrá una reserva de agua suficiente para compensar el agua que se transmitirá a la humedad del ambiente donde este el producto. // mientras más grande sea la reserva de agua, más tiempo puede pasar entre un mantenimiento y otro, lo que es preferible.
- El producto deberá procurar que la temperatura en la biocenosis no sobrepase los 24 grados centígrados. Arriba de esta temperatura, se favorece el crecimiento de hongos. //
- Cámara de humedad para un porcentaje alto de humedad en el aire con posibilidad de ventilación
- Humedad constante en el sustrato, pero sin estar sumergido en agua.
- Sustrato con material orgánico para proveer de bacterias heterotróficas.

| <b>Problema</b>           | <b>Possible Solución</b>  |
|---------------------------|---|
| Hongos                    | Ventilación y posibilidad de bajar la humedad relativa interior                   |
| Altas temperaturas        | Capacidad de ventilar la cámara + gran depósito de Agua                           |
| Insectos                  | Capacidad de sellar la cámara + no depósitos de agua accesibles.                  |
| Radiación solar alta      | Cortina de cantera opcional   |
| Poca circulación del aire | Configuración física y espacial a manera que se cree una ventilación solar pasiva |
|                           |   |

La especie de musgo que es preferible usar es del tipo Pleurocarpus pero se ampliará las especies vegetales para que sin importar las condiciones climatológicas finales exista siempre una especie fuerte. Se utilizarán las que se tengan existentes en el laboratorio de simbiótica, ya que estas son las que han sobrevivido a un ambiente de conservación y descuidos ocurrentes.

## Conclusión Macro Estructura Conceptualización

En esta etapa se encontró cual es era la oportunidad de diseño -un termohigrómetro- y se definió un concepto que ayudara a contar la historia al usuario de lo que es el producto y como funciona. Se establecieron las premisas de diseño que transforman el resultado del análisis de la investigación, en declaraciones concretas de cómo debe ser el producto.

### Microestructuras en esta etapa:

Realizar encuestas/entrevistas

Análisis de productos existentes

### Principal enfoque en visión estratégica en orden de importancia

1. Pertinencia
2. Factibilidad

### 3.- Macro Estructura Diseño:

#### El objetivo de la fase:

Prototipo terminado del producto con el cual se pueda verificar su funcionamiento.

#### Objetivo específico:

Prototipo final con materiales reales.

#### Microestructuras en esta etapa:

Bocetos

Construcción de modelos

Evaluación de propuestas de diseño

Experimentación

Planos constructivos

Plan de producción

Producción de prototipo

#### Principal enfoque en visión estratégica en orden de importancia

1. Pertinencia
2. Factibilidad
3. Viabilidad

### *Bocetos*

Los bocetos son una parte importante del desarrollo del producto. Su realización es rápida y permite representar con suficiente detalle una idea sobre la posible forma del objeto. Esto es ideal porque realizarlos es rápido y económico.

Durante la investigación se realizaron incontables bocetos para cada modelo de celdas microbianas y sistemas biofotovoltaicos.

### *Construcción de Modelos*

La realización de modelos físico suelen ser el siguiente paso después del bocetaje. Permiten darme espacialidad a los bocetos, simular materiales, formas y formas de usos de las propuestas.

En esta investigación se realizaron modelos físicos que auxiliaron en el diseño de las partes del producto, su realización sirvió para juzgar distintos criterios.

Se realizo un modelo 3d virtual de la propuesta de diseño mientras paralelamente se realizaban modelos de papel tridimensionales para juzgar si las dimensiones y formas eran adecuadas. Posteriormente se imprimió el modelo en escala 1:1 por la vista superior para volver a juzgar si las dimensiones y formas eran las correctas. Este ejercicio permitió decidir las dimensiones generales del producto, al encontrar que de ser realizado en una solo pieza, esta sería demasiado larga, pesada y difícil de manipular.

Algunos sirvieron para ser recreados en otro material, como las CCM5, el cual se realizo un modelo 3d virtual, se imprimió 3d en PLA en dimensiones 1:1 para que sirviera de guía al cantero Felipe.

### *Evaluación de propuestas de diseño*

En esta etapa se revisan las propuestas que se tengan, tanto del producto general como de sus partes. Esta parte es la directamente anterior al proceso de elaboración, por lo que, para economizar lo mayor posible, es importante haber eliminado cualquier situación de riesgo o desconocimiento.

Por ejemplo, es importante verificar con las personas a las que se les encargara la realización de algún proceso o parte del producto, si lo que se pretende realizar es posible de hacer con los materiales disponibles y la maquinaria con la que cuentan, el costo estimado y si existe algún factor de riesgo que comprometa la integridad de la pieza durante su realización o con el uso posterior. Esto permite realizar la menor cantidad de pruebas, experimentaciones y modelos antes de terminar con la pieza final, ya que cada una de estas requiere de capital material y monetario, el cual es valioso.

### *Experimentación*

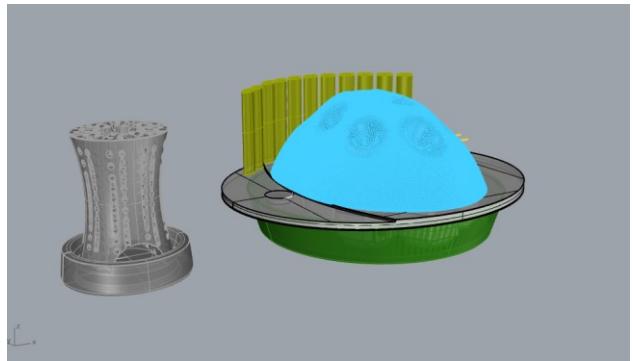
Anqué puede llegar a ser costoso, es una parte muy valiosa del proceso de diseño. Permite verificar que los materiales se comportan como se espera que lo hagan. Que los procesos para transformar la materia que se propone utilizar, lo hagan de la manera esperada y que los acabados finales sean los esperados. La suficiente experimentación permite terminar con el producto físico que cumpla la expectativa que se tenía de él antes de realizarlo.

### *Planos constructivos*

Habiendo validado que las dimensiones y formas propuestas son adecuadas para la función que desempeñaran los objetos y los procesos constructivos son viables, se realizan los planos constructivos que permitan realizar, con todas las especificaciones, el producto.

## Propuesta de Diseño

El diseño se compone de dos cuerpos principales, el humidificador pétreo y el sistema biofotovoltaico. De esta manera de logro que el producto fuera fácil de manipular, ya que se dividió la masa de todo el producto en cuerpos que son mas sencillos de manipular.

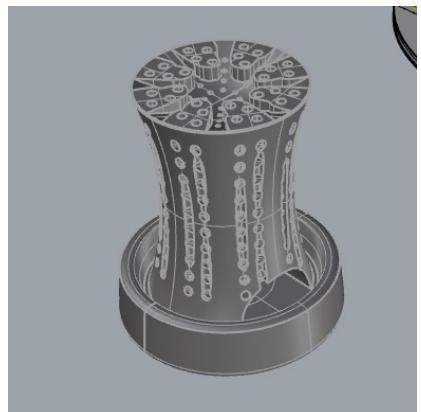


### Humidificador Pétreo Y Plato de Piedra Volcánica

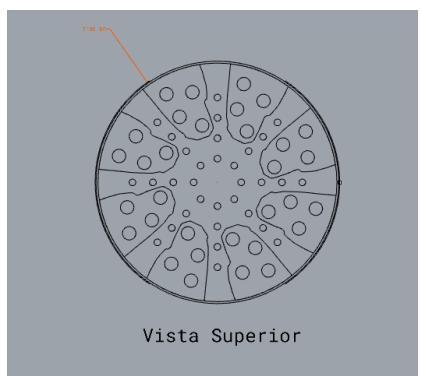
Con un acabado marmoleado, un cilindro de cantera negra con diferentes tipos de perforaciones absorbe el agua que se le coloca y facilita la circulación de aire a través de el.

Tiene un deposito para el agua en la parte superior del cual 32 barrenados de 5mm de diámetro permiten al agua ser absorbida desde diferentes alturas y áreas.

Además, tiene otros 188 barrenados de 10mm de diámetro que atraviesan la pieza sin que intercepten con los barrenados por donde el agua entra.

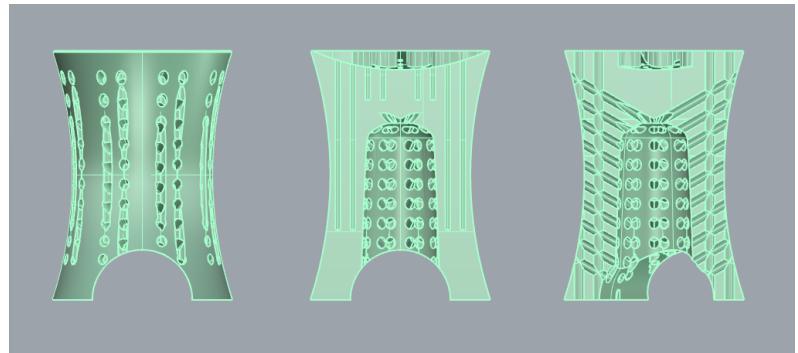


La pieza es hueca por dentro y existen dos cavidades con forma de arco en la parte inferior por donde mas aire puede entrar además de agregar otra forma de manipular la pieza. Un plato de piedra volcánica sirve como base y elemento permeable del agua que podría escurrir.

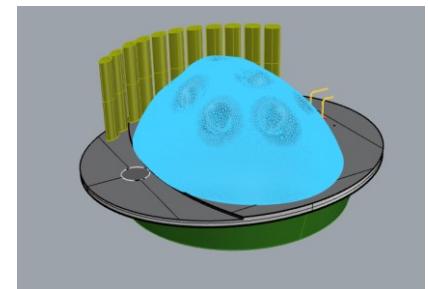


### Termohigrómetro, Sistema biofotovoltaico

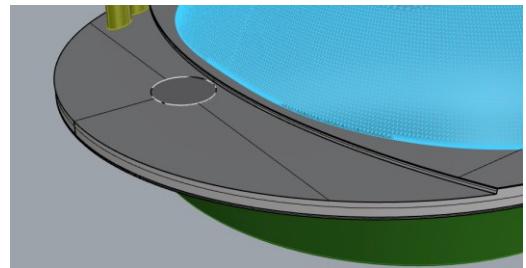
La estructura general es un contenedor de cerámica (diseñado originalmente para ser un plato para maceta grande) y sobre este un laminado de cantera, superficie sobre la cual se encuentran todos los elementos que el usuario manipulará



Empezando por el lado izquierdo de la pieza y sobre la superficie de cantera se encuentra un tapón por donde se agrega el agua al tanque. Esta área tiene un acabado marmoleado y está 5 mm por debajo del nivel general del laminado para permitir, que cuando el domo de vidrio sea desplazado a esta área, el aire pueda entrar por aquí.



Destapando el tapón, encontramos un medidor de cantera el cual comunica con símbolos de paloma o tacha, el nivel correcto del agua.



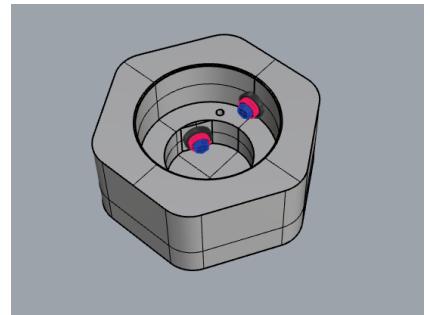
### Domo de Vidrio

En vidrio para no sufrir de daños por la radiación solar y ser un material recicitable, un domo con 10 “contra-cúpulas” para dirigir el escorrimiento de la humedad condensada hacia el centro de las celdas de combustible.

El domo cubre todas las celdas y deja un espacio de 2 cm de perímetro alrededor de estas. Su forma orgánica ayuda a asociar con seres biológicos esta parte del producto. La forma de realizar el molde mediante el martillado de una lámina le agrega textura al vidrio, el cual refleja más luz, llamando la atención del usuario, pero permitiendo visualizar el interior.

## Tentáculos

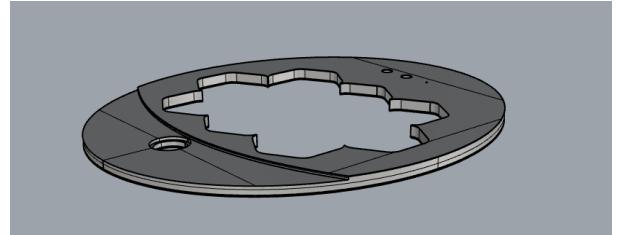
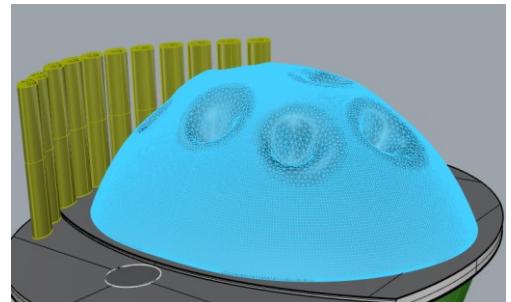
Detrás del domo de vidrio, van 11 piezas verticales que sirven como cortina para impedir un sol directo dañe el musgo y suba demasiado la temperatura.



Originalmente concebidos para ir en el interior del domo es que debían de tener una estética orgánica, pero se colocan afuera para evitar así el aumento de la temperatura y no solo brindar sombra. Solo el nombre conservan de orgánico, la estética será ahora un proceso semi-artesanal.

## Plato de Cantera

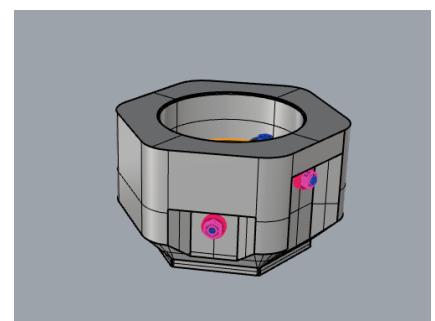
Esta pieza es la que une visualmente todo el sistema, Con una forma ovalada, esta realizada con dos laminas comerciales de cantera brillantina de 40cm x 60cm x 20 mm de espesor unidas. Del lado izquierdo tiene una perforación con un bajorrelieve donde se coloca el tapón, dentro de otra área de bajorrelieve mas grande para permitir la ventilación del biotopo. Lo que resta de la superficie tiene un acabado pulido. Al centro esta perforado con la forma de todas las celdas. Del lado derecho tiene 3 perforaciones, dos para la salida y entrada de los electrodos exteriores y una para el cable que mide la temperatura dentro del biotopo. Los electrodos se instalan sobre unos cilindros de cantera de colores negro y rojo para simbolizar la polaridad de cada electrodo



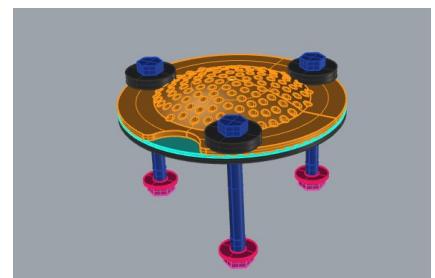
## FCCM 4

Con forma hexagonal, permite disponerlas una al lado de otra optimizando el área. Tiene esquinas redondeadas para percibirse mas orgánicas y asemejarse a la forma de una célula vegetal. Esta realizada en Cantera Gris de Querétaro. El espacio interior esta dividido por un escalón el cual sirve para separar ambas cámaras.

El separador de cámaras completo esta compuesto por un anillo de neopreno que sirve como empaque, una membrana iónica y un soporte de acrílico con perforaciones y Termoformado para crear una ligera cúpula, la cual soporta el peso del contenido de la cámara anódica que se encuentra arriba, pero sus perforaciones permiten la circulación de agua y así el **intercambio de iones**. Todo sujetado a presión por tres tornillos de acero inoxidable con empaques de neopreno, rondanas y tuercas.



Cada cámara tiene dos electrodos con tornillería de acero inoxidable y empaques de neopreno.



Existen dos modelos de Celdas, X y Y, las cuales varias en la disposición del ánodo y cátodo en relación con el otro, esto para permitir un circuito mas corto y eficiente.

Materiales FCCM 4:

Organismo Autótrofo: Musgo diferentes especies

Bacterias Heterotróficas: Desconocidas, presentes en la rizosfera del musgo)

Ánodo: Fibra de carbono, tezontle y tornillería de acero inoxidable.

Membrana separadora: Membrana iónica, neopreno, soporte de acrílico y tornillería de acero inoxidable.

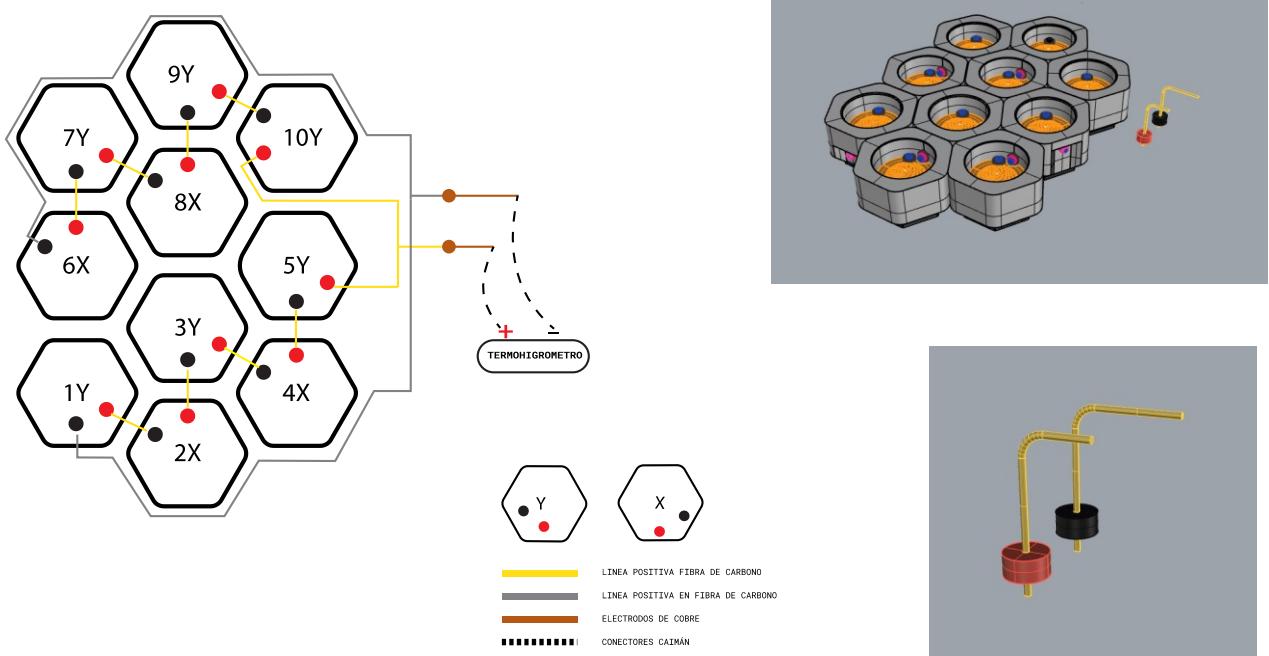
Cátodo: Fibra de carbono

Contenedor: Celda hexagonal de cantera “gris Querétaro “

Unión electrodos con circuito eléctrico: Ferretería de acero inoxidable y empaques de Neopreno.

## Sistema Biofotovoltaico

En total el sistema biofotovoltaico lleva 10 FCCM conectadas en paralelo por dos grupos, cada grupo con 5 celdas conectadas en serie a través de fibra de carbono en el interior del tanque y en el exterior por dos soldaduras de cobre, las cuales sirven de electros exteriores para el usuario. De aquí mediante pinzas caimanes, se pueden conectar al termohigrómetro. Este sistema permite flexibilidad en el modelo de termohigrómetro a utilizar además de permitir hacer funcionar otro tipo de aparatos que, mientras el sistema tenga capacidad de hacer funcionar, pueda preferir el usuario final.



## Electrodos Exteriores

Del lado derecho del plato de cantera se encuentran dos electrodos realizados con varilla de cobre, la cual comercialmente se adquiere como “soldadura de cobre”. Sobresales del plato de cantera y llevan un dobles a 90 grado con una curvatura

10 mm de diámetro. Su estética comunica el control del hombre sobre la naturaleza, son de cobre, uno de los metales mas conductores que existen, representando la electricidad que fluyen a través de ellos. Funcionalmente permite conectarse con pinzas caimán con mucha facilidad. Se fijan en su base dentro de dos cilindros de cantera de colores rojo y negro, para simbolizar la polaridad de cada uno.

## Termohigrómetro

Se adquirió por medio de la tienda en línea “amazon” un termohigrómetro con una sonda. Este modelo puede monitorear la temperatura interior y exterior a través de la sonda, la humedad relativa interior o de donde este colocado el aparato, un indicador si el porcentaje mostrado es seco, confortable o húmedo, y la hora. Tiene una memoria para mostrar los valores máximos y mínimos en el tiempo. Todo esto utilizando una batería AAA y con una amplia pantalla para visualizar la información.



Digital Thermometer Neoteck 2 in 1 Hygrometer Temperature Meter     \$13.95  
Accuracy Temperature & Humidity with Large LCD Display 1.5m  
Sensor Wire Manage Air Condition for Indoor Outdoor Use

In Stock

FREE Shipping for Prime members

Gift options not available. [Learn more](#)

[Delete](#) | [Save for later](#)

## Contenedor Cerámica

Esta pieza se adquirió en Dolores Hidalgo, en el estado de Guanajuato. Se eligió por ser una pieza que ya se comercializa con la función de ser un plato para maceta grande pero que satisfacía las necesidades funcionales del objetivo de esta investigación. Al ser un producto comercial no hubo que realizar los procesos

que hubiera requerido hacer una pieza a la medida bajo especificación del autor y así, se ahorraron las operaciones de riego con su presupuesto y tiempo que requerían.

### *Plan de producción*

Se realizó una ruta crítica para determinar que tareas dependían de otras para así establecer el orden en que debían desarrollarse las actividades productivas.

Los principales procesos se desarrollaron en el taller de cantera en Escalerillas, y el ensamble general en el estudio de simbiótica en el centro de San Luis Potosí.

Ubicaciones y procesos.

| Nombre y tipo de Servicio  | Ubicación        | Proceso   | Pieza                                    |
|----------------------------|------------------|---|--|
| Taller de Cantera "Felipe" | Escalerillas     | Cortes, pulidos, Torneado, Esmerilado             | FCCM5, Humidificador pétreo,             |
| Mini Laser, Corte laser    | Zona Centro, SLP | Corte laser de acrílico para separador de cámaras | Estructura soportante de cámara anódica. |
| Kima' Diseño               | Zona Centro SLP  | Termoformado de separador de cámaras              | Estructura soportante de cámara anódica. |
| Amora                      | Dolores Hidalgo  | Alfarería, chambuscado, "Esmaltado cerámico       | Plato cerámica Verde                     |
| Simbiótica                 | Zona Centro SLP  | Ensamble General                                  | Todo                                     |

|                  |               |                             |                     |
|------------------|---------------|-----------------------------|---------------------|
| Artesano anónimo | Villa Hidalgo | Trabajo de Piedra Volcánica | Plato Humidificador |
|------------------|---------------|-----------------------------|---------------------|

*Producción de prototipo*

Adquisición de materia prima y componentes

| Comercio             | Material                        | Pieza para la que esta destinada |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| “Servi Tornillos”    | Tornillería de Acero inoxidable | FCCM5                            |
| Canteras Aguaje      | Cantera “gris Querétaro”        | FCCM5                            |
| Amora                | Contenedor Cerámica             | Estructura del Sistema           |
| Ingeniera Hidráulica | Empaques de Neopreno            | FCCM5                            |
| Amazon               | Termohigrómetro                 | Termohigrómetro                  |
|                      |                                 |                                  |
|                      |                                 |                                  |

## 4.- Macro Estructura Evaluación:

### El objetivo de la fase:

1. Análisis de la percepción del usuario final sobre el producto.
2. Resultados sobre el rendimiento del producto.
3. Conclusión sobre el avance de esta investigación en el conocimiento de la tecnología biofotovoltaica y las diferentes áreas de oportunidad de estudio que genera para otras ciencias.

### Objetivo específico:

Obtener retroalimentación para mejorar el producto.

### Microestructuras en esta etapa:

- Observación del producto siendo usado por el usuario final.
- Encuestas a usuarios meta.
- Experimentos para conocer el desempeño del sistema.
- Análisis de la información recolectada para comparación con productos similares existentes

### Principal enfoque en visión estratégica en orden de importancia

1. Viabilidad
2. Pertinencia

## *Sistema Mosby*



Al momento de imprimir este documento no se alcanzo a realizar una sesión fotográfica del producto terminado, pero se puede encontrar el link en la cuenta de Instagram de Tony.gutierrezr .



## Generales:

- El sistema es pesado
- Difícil de ser usado

El contenedor gotea, al parecer no se logró sellar por completo con la cerámica el palto de maceta. Tramite humedad a la base, escure agua. Esta es justo algo que se buscaba no sucediera. No se sabe si hay alguna grieta o superficie permeable por donde se fugue el agua porque no hay ninguna visible.

- Es amplio.

No es fácil colocarlo sobre algún mueble que ya se tenga en el hogar ya que requiere, con sus dimensiones, actuales, una superficie auxiliar más similar a un escritorio. No es común tener una superficie con las dimensiones de un escritorio.

Pero si es apto sobre un aparador, cómoda, credencia y otros tipos de muebles de superficie más largo que delgados, aunque que no demasiado, ya que la forma circular de la base, hace que se vea desequilibrado si sobresale parte de la base.

## Fabricación

Los acabado de prototipo son satisfactorios, excepto del domo, que a sido un reto su fabricación, se realizó con acetato pero se volverá a realizar con acrílico de 2mm. Esta pieza es muy vistosa y debe tener la misma calidad que todo el producto.

## Rendimiento

Las celdas no se han comportado de la misma manera todas, hay dos, la #2 y la #7 que si han llegado a voltajes cercanos a los .6 volts, y lo han hecho pero periodos que van a las 3 semanas, a 4 días.

Se demuestra que si es posible alcanzar altos voltajes pero se desconoce si es posible hacerlo continuamente .

No se a logrado encender el termohigrómetro por no alcanzar un voltaje superior a 1.5 volts, pero se estima que es factible hacerlo una vez se tengan mas celdas con un potencial mayor.

Se nota que cuando las celdas son retiradas del contenedor, su potencial aumenta inmediatamente. Se especula que se esta perdiendo potencial contantemente debido a una transición de electrones por medio del agua.

### Diseño

El dispositivo es muy pesado, por lo que se tiene para transportarlo es necesario separarlo por partes, o sobre una superficie con llantas.

Es practico de utilizar, las instrucciones son pocas y los elementos que se manipulas sencillos.

### Cuestiones a mejorar

- Mejorar el aislamiento de las CCMbP.
- Aligerar todo el sistema.
- Fabricación de un termohigrómetro con un enfoque de monitoreo del espacio interior y una sonda que mida un biotopo interno ( en vez de un enfoque de monitoreo del clima exterior)

## *Humidificador Pétreo*

### Eficiencia

Los experimentos han revelado una eficiencia de 15 a 20 mililitros por hora su capacidad de inyección de agua al ambiente con una humedad relativa de 40 a 50%.

Es necesario seguir realizando experimentos ya que varía la velocidad en función a la HR del ambiente.

Entre mas bajo sea el porcentaje, mayor en la velocidad de evaporación, lo cual es conveniente ya que es cuando más se necesita.

### Diseño

El cantarero comentó que fue un reto la fabricación y que la parte más complicada fueron las perforaciones superiores, hay muchos barrenos muy cerca, por lo que sería conveniente reducir el número de estas o aumentar el área del producto.



### *Impresiones de la población general*

El humidificador es un elemento predominante siempre, se este usando o no. El producto se exhibió en una muestra de diseño en el museo “laberinto de las ciencias y artes” de san Luis Potosí para recabar información sobre la percepción de este.

Los más relevante fue:

En general, todos se muestras curiosos por su forma, impresionados por su la manera en que funciona. Entre la población que si usa humidificadores, demandaba una comprobación en la que se revelara la capacidad de cambiar el ambiente, para así confiar en que realmente lo hace.

Otro persona dijo necesitar una indicación de cuando fuera necesario accionarlo. Si el humidificador pudiera indicar el nivel de humedad relativa se pudiera usar independientemente de “Mosby”.

# Conclusiones

## *Evaluación sobre los objetivos declarados al principio de la Investigación*

### **Definición del problema**

- “*Solucionar los problemas técnicos relacionados con la generación de energía foto-bio-electroquímica y proponer un producto que satisfaga una necesidad de un ser humano.*”

El producto logra resolver diversos problemas técnicos. Propone un modelo de CCMbP funcional del cual.

Es fácil de instalar: si la celda se vende preensamblada, solo hace falta agregar agua para revitalizar el musgo y llenar la cámara catódica, aunque con tiempos largos para que inicie a funcionar (1 a 2 meses, estimado.)

Económica y práctica: Funciona con agua de la llave, no es necesario agregar algún catalizador. Significa que es económico ya que se tiene que gastar en su funcionamiento. Es práctico porque el agua que necesita es la que sale del grifo, “en tu casa”.

Durabilidad: La membrana separadora de las cámaras es el único componente que necesita replantearse para aumentar la durabilidad completa del sistema. El resto de los componentes tienen un tiempo de vida que no se sabe con certeza pero se estima pudiera ser décadas.

La investigación resuelve un elemento crucial al reto de introducir sistemas *foto-bio-electroquímicos* a la población general -correspondiente al área del diseño industrial-, al declararle un función, la de encender un termohigrómetro, que monitorea dos factores físicos elementales, la temperatura y la humedad relativa, lo cual le permite monitorear la calidad del aire que respira. Además, complementándolo con el humidificador pétreo, le ofrece la capacidad de manipular el humedad relativa para así, acercar el ambiente a un punto de confort higrotérmico cuando la HR cuando esta sea dañinamente baja.

El factor formal del diseño del producto es satisfactorio, es intuitivo de usar y de darle mantenimiento. Por su gran masa y junto con las persianas, es difícil que se caliente, protegiendo así al biocenosis, elemento clave para el funcionamiento integral del sistema.

### **Objetivo general de la investigación**

- “Diseñar un sistema de energía foto-bio-electroquímica el cual genere una corriente de bajo voltaje aprovechable para hacer encender algún aparato o dispositivo.”
- “Diseñar un sistema generador de energía foto-bio-electroquímica que sobrepase los 2V de potencia.”

La investigación si termina con un sistema foto-bio-electroquímico que genera una corriente eléctrica, aunque al momento de escribir estas líneas no se ha logrado encender el termohigrómetro, se está cerca de lograrlo (se han obtenido voltajes de 1.3 volts y se necesitan 1.43 volts para encenderlo. Permite aprovecharla de manera conveniente para el usuario brindando electrodos externos y grandes lo que brinda flexibilidad y lo vuelve compatible con un gran número de aparatos electicos.

## Objetivos específicos:

- *“Proponer el sistema de riego simple de entender y utilizar.”*

El agua que necesita el sistema de agrega directamente al tanque retirando un tapón y agregando el agua necesaria mediante la guía de un indicador de nivel presente. Es sencillo de usar, los pasos a seguir son sencillos he intuitivos.

- *“Proponer un sistema de ensamble fácil de realizar.”*

El producto resuelve el problema de la activación del sistema de una manera muy sencilla, solo agregando agua. El producto ya viene pre ensamblado, y, después de desempacar y ubicar el producto en una ubicación adecuada, solo hay que agregar el agua, la que estimula al musgo para salir del estado de criogénesis y empiece a realizar la fotosíntesis.

- *“Proponer un mantenimiento sencillo y económico del dispositivo.”*

El producto es simple de mantener en funcionamiento correctamente. Aporta la información que el usuario necesita para cuidar de el, la temperatura en el interior del biotopo, la cual se ajusta moviendo el domo para ventilación, las persianas para controlar la radiación solar que llega y el nivel de agua del tanque, el cual se ajusta agregando el agua que se va evaporando.

Esta investigación deja un precedente en lo que el diseño industrial puede generar partiendo desde nuevas tecnologías. La investigación ha resultado problemáticas detectadas en el diseño de un sistema foto-bio-electroquímico doméstico como lo es el monitoreo y mantenimiento del sistema y la comunicación de este con el usuario al que está dirigido.

El producto *Mosby* propone una solución al problema de cómo activar el producto una vez el usuario final lo recibe. “*just add wáter*” resume lo sencillo que es.

#### *A donde podría dirigirse la investigación*

Quedan muchas áreas donde más investigación pudieran permitir incrementar el rendimiento eléctrico y su resiliencia, algunos son:

- Buscar organismos autótrofos con una mayor producción/liberación de energía en la rizosfera.
- Buscar organismos heterotróficos que se adapte mejor sistema y al organismo autótrofo, que produzca colonias que aumenten la conducción de electricidad.
- Circuitos eléctricos más eficientes, desarrollo e incorporación de componentes electrónicos que permitan almacenar la energía y ser utilizada después.
- Aumentar el ritmo de evaporación y humidificación de la habitación.
- Símbolos que comuniquen más efectivamente las instrucciones de cómo utilizar el producto y como darle mantenimiento.
- Una configuración más compacta, liviana y robusta
- Materiales más sustentables, de fácil obtención, económicos y duraderos.

#### **Bio electroquímica**

-Encontrar un separador de cámaras económico y sustentable-

Diseño de mejores celdas de combustible

## **Diseño industrial**

Explorar procesos de vaciado y la impresión 3d para la generación de estructuras.

-explorar materiales como el barro o PET-

Corregir resistencias, usos inadecuados, mala comunicación del producto con el usuario.

## **Biodiseño/ Ingeniería ambiental/ Corrientes de Aire**

Diseño de un biotopo que favorezca la circulación del aire adecuada para la salud del las especies vegetales , bacterianas y fungosas del biotipo.

## **Biología**

Explorar musgos con capacidad de tolerancia a la deshidratación del musgo y la selección de un paquete de especies con amplio rango de ambientes –chechar *Pleurozium schreberi* <http://www.bdigital.unal.edu.co/7623/1/797024.2012.pdf>.

## **Conclusiones del Diseño del Producto.**

Los principales inconvenientes del producto son su gran peso, eso hace difícil desplazarlo. Su naturaleza pétrea lo vuelve delicado en estos momentos debido a su baja resistencia a golpes. Si se cae de una mesa probablemente se rompa.

Otro inconveniente son sus dimensiones, si pudiera ser más compacto facilitaría su manejabilidad.

En los puntos positivos , el producto tiene un valor estético alto. Sus tonos neutros y naturales permiten que convine en los espacios contemporáneos. La ausencia de signos culturales regionales lo vuelven atemporal, se cree se ha diseñado la forma “clásica” que esta tipología de productos tendrá en el futuro.

El producto tiene un valor artesanal que puede ayudar al momento de ser comercializado a su venta, pero no es el objetivo de esta investigación promover estas prácticas. El proceso de elaboración de las celdas fue tardado y complicado. No se ve como una opción viable realizarlas manualmente.

### Conclusión metodología

Las investigaciones que inician con la tecnología son indispensables para su implementación. El conocimiento no sirve si no sale de los laboratorios y se traduce en beneficio para la sociedad. Es necesario practicar mas este tipo de metodologías en las escuelas e integrar mas a los centros de investigación

Reconocer el valor de los diseñadores en una investigación tecnológica, ya que estos son pieza clave, ya que toda tecnología, tiene por fin el ser útil y valiosa para un ser humano, y son los diseñadores, quienes mejor están preparados para interpretar sus necesidades y deseos y traducirlos en requisitos prácticos, los cuales marquen los objetivos que los científicos de otras disciplinas busquen alcanzar.

### Conclusiones Personales

Yo, el Autor inicie esta investigación con el objetivo de tener un “portafolio” con un proyecto que me permitiera obtener un trabajo en algún estudio de Europa que fuera de mi interés. No se todavía si es siquiera lo que quiero, pero termino con un portafolio que describe fielmente mis intereses y mis habilidades. La energía, la vida, el diseño, la sostenibilidad y la investigación. Soy yo. También termino reconociendo cuales no son mis habilidades, para así enfocarme en desarrollar las que puedo potencializar.

Reconozco en el biodiseño un campo de estudio con un enorme potencial de mejorar nuestro manejo de recursos y en el diseño bioclimático otro campo con herramientas clave para nuestra sostenibilidad.

## Bibliografía imágenes

Película lagrimal

<https://tuvistasana.com/la-pelicula-lagrimal/>

<https://www.vista-laser.com/sindrome-ojo-seco/pelicula-lagrimal/>

monitores de humedad

[https://www.amazon.com/gp/product/B07226VR2Y/ref=ox\\_sc\\_sfl\\_title\\_3?ie=UTF8&psc=1&smid=AHPV9YRMBSCCU](https://www.amazon.com/gp/product/B07226VR2Y/ref=ox_sc_sfl_title_3?ie=UTF8&psc=1&smid=AHPV9YRMBSCCU)

[https://www.amazon.com/gp/product/B074J71N5H/ref=ox\\_sc\\_act\\_title\\_5?smid=A2TVR62M1MYUKJ&psc=1](https://www.amazon.com/gp/product/B074J71N5H/ref=ox_sc_act_title_5?smid=A2TVR62M1MYUKJ&psc=1)

[https://www.amazon.com/gp/product/B075V4Z57C/ref=ox\\_sc\\_act\\_title\\_4?smid=A2V3TRF6P2KD71&psc=1](https://www.amazon.com/gp/product/B075V4Z57C/ref=ox_sc_act_title_4?smid=A2V3TRF6P2KD71&psc=1)

## Bibliografía

- <http://www.mossandstonegardens.com/blog/how-to-grow-moss/>
- Biodiversidad Mexicana. (s.f.). *biodiversidad Mexicana Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.* Obtenido de /www.biodiversidad.gob.mx:  
[http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran\\_familia/plantas/musgos/musgos.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran_familia/plantas/musgos/musgos.html)
- bioe. (s.f.). Aplicaciones bioenergéticas: bacterias productoras de electricidad. .
- Bombelli, D. P. (6 de abril de 2012). *biophotovoltaics.* Recuperado el 19 de 02 de 2015, de wordpress.com: <https://biophotovoltaics.wordpress.com/2012/04/16/moss-table-faqs-1-2/#comments>
- Burgos, R. C. (01 de 2012). EVALUACIÓN ELECTROQUÍMICA DE MATERIALES ANÓDICOS Y SU APLICACIÓN EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS . *Tesis.* Merida, Yucatan.
- Dolly M. Revelo, N. H. (2013). *Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía*. Universidad de Nariño .
- Felder, F. (2013). *Fabienne Felder.* Obtenido de tumblr: <http://mosspower.tumblr.com/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *IPCC Fifth Assessment Synthesis Report.*
- Liu, S., Hailiang, S., Xianning, L., & Fei , Y. (2013). Power generation enhancement by utilizing plant photosynthate in microbial fuel cell coupled constructed wetland system. *International Journal of Photoenergy.*, 10.
- McCormick, A. J., Bombelli, P., Bradley, R. W., Thorne, R., Wenzel, T., & Howe, C. J. (02 de 2015). Biophotovoltaics: oxygenic photosynthetic organisms in the world of bioelectrochemical systems. *Energy & Environmental Science.*
- Rodríguez, M. (23 de 02 de 2015). *Pulsoslp.com.* Obtenido de Pulso : <http://pulsoslp.com.mx/2013/09/19/proyectan-granja-solar-en-altiplano/>
- wordReference. (2005). *wordReference.* Obtenido de www.wordreference.com: <http://www.wordreference.com/definicion/aut%C3%B3trofo>

Gracias a todos los que ayudaron en la realización de esta investigación

**Dr. Gerardo Ortega Zarzosa**, Facultad de *Ciencias*

**Dra. Mildred Quintana**, *Instituto de Física*

**DI. Elena Mitro**, *Diseñadora de Moss Voltaicas*

**Ing. Andrés Prieto**. *Ingeniería Mecatrónica.*

**José Juan** *Instituto de física, eléctrico.*

**Dr. Miguel Gallegos**, *Facultad de ingeniería*

**Arq. Jorque Aguillón**, *Facultad del hábitat*

**Rubén López**, Ingeniero de geología

Y muchos, muchos otros más.