



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA – MECATRÓNICA

DISEÑO, INSTALACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO  
DEL PROTOTIPO DE VIVIENDA SUSTENTABLE CASA UNAM

TESIS DE MAESTRÍA  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. FILIBERTO GASTÉLUM MICHEL

TUTOR PRINCIPAL  
DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ  
Profesor titular, Facultad de Ingeniería, UNAM.

MÉXICO, D.F. Agosto 2015

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

Secretario: DR. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH

Vocal: DR. MARCELO LÓPEZ PARRA

1er. Suplente: DRA. MARÍA DEL PILAR CORONA LIRA

2do. Suplente: M. I. ERIKA LEYRA TOBILLA

Lugar donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, México D.F.

**TUTOR DE TESIS:**

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

-----  
**FIRMA**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Se agradece a CONACYT por el apoyo prestado vía  
beca de Maestría.**

**Esta investigación fue realizada gracias al programa  
UNAM-DGAPA-PAPIIT IT102214.**

Deseo realizar los siguientes agradecimientos:

- A mi familia por haberme apoyado incondicionalmente a lo largo de mis estudios de Posgrado en cualquier sentido.
- A mi tutor de tesis, el Dr. Vicente Borja Ramírez por haberme dado la oportunidad de trabajar en esta tesis y ser ejemplo de gran inteligencia en los momentos difíciles por los cuales atravesé el proyecto, conservando la calma, ecuanimidad y sobre todo paciencia con los alumnos. Además de contribuir de manera excepcional con conocimientos en Diseño Sustentable.
- A mi amigo e instructor el Ing. Jorge A. Tenorio Hernández, que con gran humildad, sencillez y calidad humana fue posible adquirir los conocimientos necesarios para desarrollar exitosamente este trabajo. También se agradece de manera puntual al Dr. Aron Sánchez por haber contribuido de manera académica – económica para que fuera posible tener una capacitación de alto nivel en sistemas fotovoltaicos interconectados a la red que él mismo impartió. Ambas personalidades ejemplares del Instituto de Energías Renovables, UNAM.
- Se reconoce la participación de las empresas patrocinadoras de este proyecto: Schneider Electric, Solartec y PLP (Performed Line Products) que gracias a ellas fue posible materializar el sistema que se describe en esta tesis, experimentar en él y llevar a la realidad este prototipo de vivienda sustentable en Francia y así contribuir al desarrollo de México, actuando localmente con una visión global.
- Por ultimo hago un agradecimiento especial a la Facultad de Ingeniería, a la Facultad de Arquitectura, al Instituto de Ingeniería de la UNAM, y en general a todos los integrantes del equipo CASA UNAM, por hacer posible la realización del proyecto y contribuir con ideas para mejorar a México.
- A mis compañeros, el Ing. Emilio Hernández Colina y al Ing. Carlos F. Peña Pérez que alguna vez me dieron su apoyo para contribuir con conocimiento y desarrollo de ésta tesis.
- A mis profesores de maestría por haberme dado una formación profesional acerca del diseño de nuevos productos.
- Y por último a mi alma máter, la Universidad Nacional Autónoma de México, a la cual le debo la mayoría de mis éxitos como universitario y como ser humano.

# ÍNDICE

## RESUMEN

<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.1 Objetivo de la tesis .....	2
1.2 Alcances .....	2
1.3 Equipo de trabajo .....	2
1.4 Proyecto CASA UNAM.....	2
1.5 Objetivos del proyecto CASA UNAM .....	4
<b>2 ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
2.1 Radiación solar .....	5
2.2 Geometría solar .....	6
2.3 Celda fotovoltaica .....	7
2.4 Módulo fotovoltaico.....	8
2.4.1 Tensión de salida.....	9
2.4.2 Forma geométrica.....	9
2.4.3 Ensamblado mecánico.....	9
2.4.4 Contactos eléctricos.....	10
2.4.5 Potencia de salida.....	10
2.4.6 Curva I-V.....	11
2.5 Inversor interconectado a la red .....	12
2.5.1 Características eléctricas .....	12
2.6 Sistema eléctrico mexicano.....	14
2.6.1 Tarifa doméstica.....	14
2.6.2 Tarifa de alto consumo (DAC).....	14
2.7 Sistemas fotovoltaicos residenciales en México.....	15
2.8 Tiempo de retorno de inversión .....	15

<b>3 COMPETENCIA .....</b>	<b>16</b>
3.1 Decatlón Solar .....	16
3.1.1 Decatlón Solar Estados Unidos .....	16
3.1.2 Decatlón Solar Europa .....	16
3.1.2.1 Reglamento de competencia.....	17
3.1.2.2 Reglamento del Balance de Energía Eléctrica .....	19
3.2 El proyecto CASA UNAM .....	22
3.2.1 Definición del problema.....	23
3.2.2 Propuesta general .....	25
<b>4 PROPUESTA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>28</b>
<b>5 DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>29</b>
<b>6 SIMULACIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....</b>	<b>30</b>
<b>7 INSTALACIÓN E INTEGRACIÓN AL PROTOTIPO.....</b>	<b>31</b>
7.1 Pruebas del sistema en México .....	33
7.2 Construcción del prototipo en el sitio de competencia .....	36
7.3 Construcción e instalación de bastidores en sistema constructivo.....	38
7.4 Cableado de módulos entre cubiertas.....	40
7.5 Caja de combinaciones.....	40
7.6 Banca técnica .....	41
7.7 Interfaz del prototipo con la acometida de la Villa Solar .....	42
7.8 Aspectos de seguridad e higiene en obra .....	42
<b>8 RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
8.1 Generación de energía eléctrica en competencia .....	44
8.2 Balance de energía eléctrica en competencia.....	46
8.3 Evaluación del sistema en pruebas de jurado.....	47
<b>9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
9.1 Consumo vs Producción.....	48
9.2 Interacción con la red eléctrica de la Villa Solar .....	49
9.3 Días pasivos .....	50
9.4 Rendimiento en competencia .....	50
<b>10 INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO EN UNIVERSUM.....</b>	<b>51</b>
10.1 Descripción general.....	51
10.2 Configuración del sistema.....	52
10.3 Instalación del sistema sobre cubiertas .....	52
10.4 Monitoreo del sistema .....	54

<b>11 CONCLUSIONES</b> .....	<b>54</b>
11.1 Implementación del sistema fotovoltaico en competencia .....	54
11.2 Aportación personal al proyecto en general y al sistema fotovoltaico .....	54
11.3 Granjas solares urbanas.....	55
11.4 Desarrollo sustentable .....	55
11.5 Áreas de oportunidad para trabajos a futuro .....	55

## **REFERENCIAS**

## **ANEXOS**

## RESUMEN

La presente tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica forma parte de los requerimientos académicos para la obtención del grado de Maestría en Ingeniería que otorga la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), según consta en los planes de estudio vigentes.

Como tutores principales de esta tesis fueron elegidos el Dr. Vicente Borja Ramírez y el Ing. Jorge Alberto Tenorio Hernández, ya que la línea de investigación que se lleva en este proyecto está íntimamente relacionado con los temas de Diseño Sustentable y Energías Renovables, respectivamente.

Este proyecto se ha realizado con base en la competencia internacional de vivienda sustentable llamada *Solar Decathlon Europe 2014 (SDE 2014)*, la cual ha servido como eje principal de desarrollo tecnológico para llevar a cabo en su totalidad el proyecto *CASA-UNAM*.

El proyecto CASA UNAM es un prototipo de vivienda sustentable que trata de dar solución a problemas que se tienen en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), los cuales son la movilidad, el hacinamiento, la falta de abastecimiento adecuado de agua en ciertas zonas, la autoconstrucción, la falta de equipamiento de electrodomésticos y la mala calidad de las instalaciones eléctricas residenciales. Todos estos factores son la principal fuente de problemas con los cuales el proyecto ha tomado sus bases.

Sentadas las bases, anteriormente mencionadas, se tomaron como eje principal para el desarrollo tecnológico de una vivienda sustentable que pueda regenerar el problema actual de la ZMVM, para lo cual se tuvo que integrar de manera natural a un equipo multidisciplinario conformado por estudiantes, profesores e investigadores de la UNAM, puesto que la solución se encuentra en un espectro muy amplio de conocimientos. De esta manera se daría vida al proyecto el cual tuvo retos importantes, ya que el prototipo, además de resolver los problemas locales por el cual fue concebido, tuvo también que atender a las necesidades de operatividad del contexto local donde se sostuvo la competencia mundial en Versalles, Francia.

Con estos antecedentes, esta tesis refleja solo una parte del conjunto de sistemas que se integraron a la solución tecnológica del prototipo de vivienda propuesto por el equipo CASA UNAM. Por lo cual a lo largo de toda este trabajo se explica la interacción de un sistema fotovoltaico interconectado a la red, en el cual se pueden apreciar las diferencias conceptuales de un sistema fotovoltaico convencional al de un sistema fotovoltaico integrado al proyecto CASA UNAM, al aplicar las técnicas de Diseño Sustentable, y así contribuir de manera más amplia a solucionar los problemas por los cuales éstas tecnologías de energía renovable no se han podido insertar en un contexto urbano.

También se dan a conocer los impactos que tuvo el sistema fotovoltaico en las diez pruebas de esta justa mundial, tanto cualitativas como cuantitativas. Dando una perspectiva general de la implementación de este tipo de sistemas con un enfoque integral de sustentabilidad.

# 1 INTRODUCCIÓN

## *1.1 Objetivo de la tesis*

Mostrar el trabajo hecho referente al diseño, implementación y puesta en marcha del sistema fotovoltaico de 5 [kWp] interconectado a la red, instalado en el prototipo de vivienda sustentable CASA UNAM, para la competencia *Solar Decathlon Europe 2014*, llevada a cabo en Versalles Francia.

## *1.2 Alcances*

Se muestra de manera cronológica la evolución del sistema fotovoltaico, atravesando por 3 principales etapas:

- Diseño y pruebas del sistema en México.
- Instalación y puesta en marcha del sistema en el sitio de competencia.
- Rediseño del sistema para puesta en marcha en Universum.

A través de estas etapas se realizaron diferentes actividades que involucraron la definición de especificaciones de cada componente del sistema, el desarrollo de un reporte técnico de sistema en general y la creación de planos de conexión y construcción.

## *1.3 Equipo de trabajo*

El equipo de trabajo estuvo compuesto de un ingeniero de proyecto a cargo dentro del grupo de diseño (autor de esta tesis), un especialista en Sistemas Fotovoltaicos para supervisar el diseño propuesto (Ing. Jorge Tenorio Hernández – Instituto de Energías Renovables, UNAM) y un especialista en Diseño Sustentable para validar la propuesta global del sistema (Dr. Vicente Borja Ramírez).

## *1.4 Proyecto CASA UNAM*

El equipo CASA UNAM México es un grupo multidisciplinario de estudiantes e investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México, que con el apoyo de empresas patrocinadoras y distintas dependencias de la misma universidad, realizaron una propuesta de solución sustentable al problema de la vivienda en la zona Metropolitana del Valle de México.

El proyecto busca regenerar el tejido social, reinventar la manera de construir y ayudar al medio ambiente utilizando materiales y sistemas que dejen un mínimo de residuos en su ciclo de vida, aplicando fuentes de energía renovable, implementando toda la infraestructura mínima necesaria (sistemas eléctrico, fotovoltaico, hidráulico, sanitario, etc.) al menor costo posible y considerando las diez áreas que fueron evaluadas por el Decatlón Solar Europa.

El proyecto CASA UNAM, en esencia, es un diseño para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), pero con objetivos concretos mencionados al principio de ésta tesis, para poder competir en esta justa mundial. Este proyecto ha tenido como base atender tres problemas principales, mostrados en la figura 1, que se viven en la ZMVM, los cuales son la sobrepoblación

(color rosa), la falta de agua (color azul) y la falta de equipamiento de electrodomésticos (color amarillo). El mapeo de estos tres problemas identificados que se tomaron como referencia para justificar que el proyecto CASA UNAM ayudará a la contribución de una mejor calidad de vida, compartiendo recursos entre los usuarios y promoviendo el ahorro y uso eficiente de la energía.

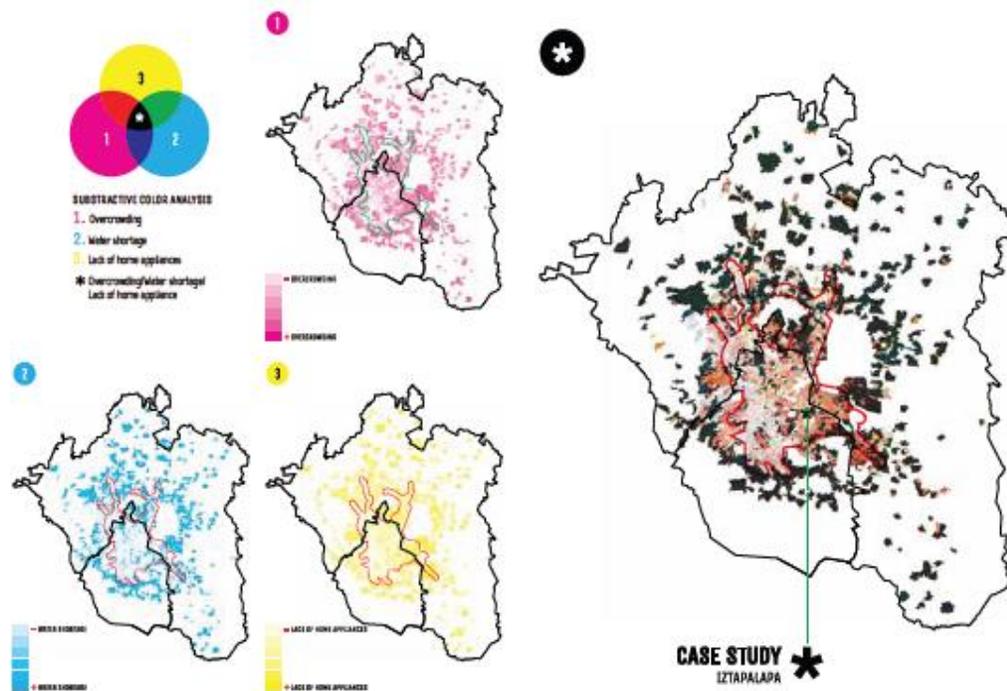


Fig. 1 Selección del caso de estudio, Unidad Habitacional Vicente Guerrero.

El concepto de CASA UNAM está basado en la modularidad y flexibilidad de espacios en donde se pretende introducir la tecnología fotovoltaica en cada una de las azoteas de este prototipo de vivienda con propiedades específicas que permiten al sistema fotovoltaico y de soporte, operar con el mejor rendimiento.

La propuesta del prototipo de vivienda ante la organización SDE 2014, tiene como límite instalar un total de 15 [kW] de carga demandada por los equipos eléctricos que se instalaron en el prototipo (refrigerador, parrilla de inducción, horno eléctrico, etc.). Otra restricción que se tuvo, fue tener como máximo una instalación fotovoltaica de 5 [kWp] (kWp: Potencia pico instalada) en módulos fotovoltaicos. Los equipos debían cumplir con las normas de instalación de sistemas fotovoltaicos francesas y mexicanas, teniendo como resultado un balance de energía eléctrica neutral o positivo como mínimo requisito para obtener el total de puntos en la prueba de Balance de Energía Eléctrica. Además de contemplar e impactar en las áreas de Ingeniería y construcción, Asequibilidad, Eficiencia Energética y Sustentabilidad llevando a cabo así el mejor diseño, instalación y desempeño del sistema fotovoltaico propuesto para el mejor rendimiento posible.

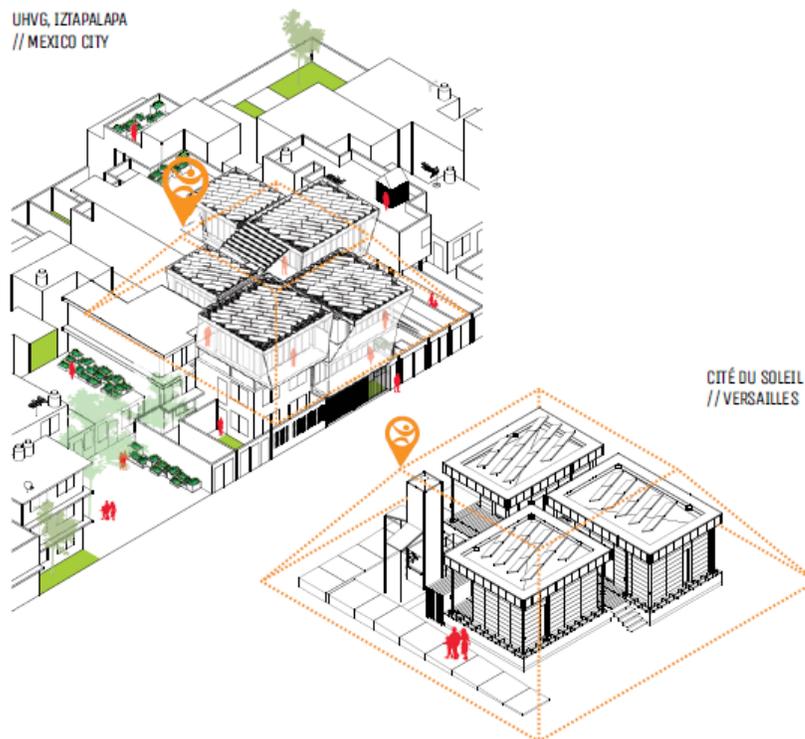
El diseño del sistema fotovoltaico de CASA UNAM ha considerado un sistema interconectado a la red, el cual nos ayuda a evitar el uso de baterías, ya que éstas representan una desventaja para el propósito de este proyecto, ya que se evita la doble conversión de energía y no se utilizan productos altamente contaminantes. Este sistema fue diseñado cumpliendo con los estándares

locales e internacionales, entre los cuales se encuentran las normas IEC 61215, IEC 60634-7-712, IEC 61727, NF C 15 100, NFPA 70 (NEC 2011, NOM-001-SEDE-2012).

Este proyecto está diseñado para ser asentado en las azoteas de las casas de la Ciudad de México. La propuesta de CASA UNAM, en términos de energía eléctrica, es que debido a los altos costos de los sistemas fotovoltaicos en México, éstos se puedan compartir en toda una manzana y hacerlos más asequible para los consumidores. La potencia total instalada dependería de toda la demanda energética de dicha manzana.

En la figura 2 se muestra un ejemplo gráfico de cómo sería la distribución de un sistema fotovoltaico compartido, llamado granja solar urbana, en el cual se aprovechan las azoteas que tengan mejor ubicación para evitar los sombreamientos lo más que se pueda.

Cabe mencionar que este sistema fotovoltaico fue un diseño para operar en Versailles, Francia, lugar en donde se llevó a cabo este evento mundial. El sitio, denominado por los organizadores de la competencia como “Villa Solar”, tiene una ubicación geográfica específica con condiciones meteorológicas no tan favorables como las que se tienen en México al cual se centró el diseño del sistema. Y al mismo tiempo justificando que la producción de energía del sistema en el país de origen cubriría la demanda energética del prototipo una vez instalado en su destino final.



Teniendo en cuenta que se tiene que conocer cuál es la demanda energética de CASA UNAM, se procedió a hacer un estudio de los consumos de energía de todos los aparatos que la competencia requirió como mínimo necesario para poder operar la vivienda sustentable. Conocer la estimación del consumo que demanda el prototipo es el comienzo para diseñar el sistema fotovoltaico.

**Fig. 2** Aplicación del prototipo en sitio (izquierda), y prototipo para competencia (derecha).

### 1.5 Objetivo del proyecto CASA UNAM

Diseñar y desarrollar el sistema de vivienda CASA, con el fin de tener un impacto significativo y positivo en el contexto urbano mediante la consolidación de las áreas centrales de la ciudad que

representan archipiélagos de subdesarrollo, diseñando un proyecto de vivienda que responde a la dinámica de las necesidades de urbanización de la zona.

En consecuencia, el Equipo México desea desarrollar un prototipo de vivienda sostenible energéticamente eficiente adecuada a las demandas ecológicas, económicas y sociales de una ciudad tan grande como la ciudad de México y su área metropolitana (ZMVM) con sus 20.1 millones de personas que viven en ella. Esta propuesta tiene como finalidad ganar el *Solar Decathlon Europe 2014*, con su diseño innovador que proporcionará respuestas a la mayoría de los problemas de urbanización en la ZMVM.

## 2 ANTECEDENTES

### 2.1 Radiación solar

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K en cuyo lugar tiene una serie de reacciones de fusión nuclear, que produce una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía es liberada por el sol y es transmitida hacia el exterior por medio de radiación solar.

La luz generada por el sol o por cualquier fuente de luz está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia que tienen un cierto rango y se le llama espectro luminoso.

Las ondas de frecuencias bajas del espectro solar llamadas ondas infrarrojas son las que proporcionan el calor y las de altas frecuencias son las ultravioletas que nos proporcionan la fotosíntesis y el bronceado de la piel. Esos 2 extremos forman parte del espectro solar. La variación de la longitud de onda nos indica la variación de la intensidad luminosa. La figura 3 nos muestra la composición del espectro luminoso.

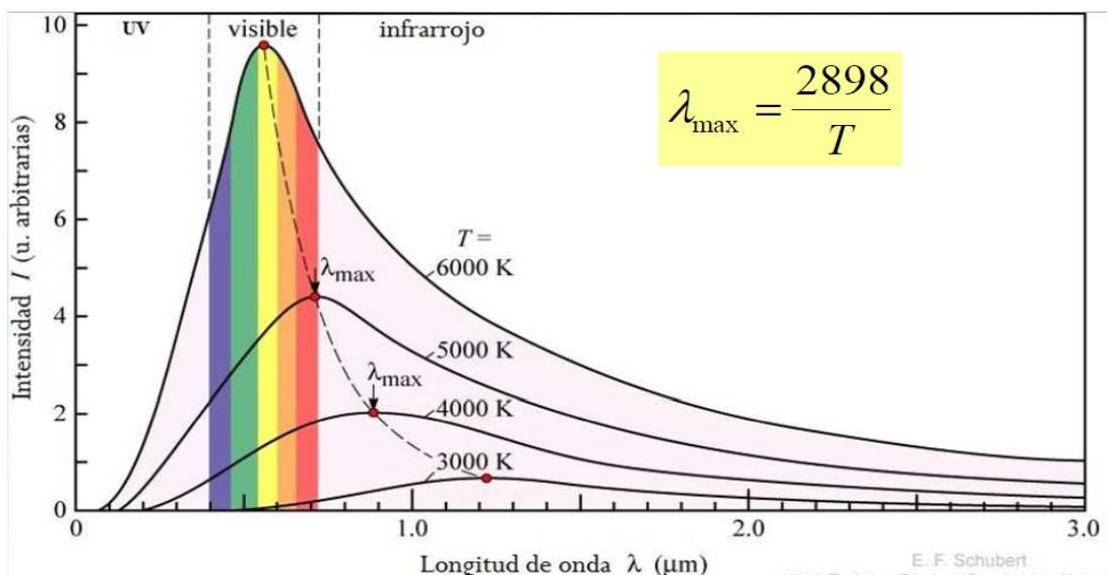


Fig. 3 Espectro luminoso de la radiación solar [1].

Para expresar al recurso solar en unidades de horas-pico, debe recordarse que el área bajo la curva de irradiancia contra tiempo representa la irradiación del día. Si se considera que esta área es igual al área de un rectángulo cuya altura corresponde a una irradiancia-pico de  $1000 \text{ W/m}^2$ , entonces la base de este rectángulo es el número de horas en que supuestamente el Sol debería haber brillado con esta intensidad para obtener la misma irradiación del día. Las horas-pico de un sitio determinado, se obtiene al dividir el valor de la irradiación diaria en  $\text{Wh/m}^2$ , entre  $1000 \text{ W/m}^2$ . El resultado será el número de horas-pico en que el captador estuvo aparentemente recibiendo el valor pico de la irradiancia.

Por ejemplo, si la irradiación diaria de un lugar específico fue de  $4650 \text{ Wh/m}^2$ , al dividir entre la irradiancia pico ( $1000 \text{ W/m}^2$ ), obtenemos un resultado de 4.65 horas-pico para ese lugar en ese día en particular, es decir, es el equivalente a una irradiancia solar de  $1000 \text{ W/m}^2$  recibida de manera continua durante 4.65 horas (4 horas y 39 minutos) (ver figura 4).

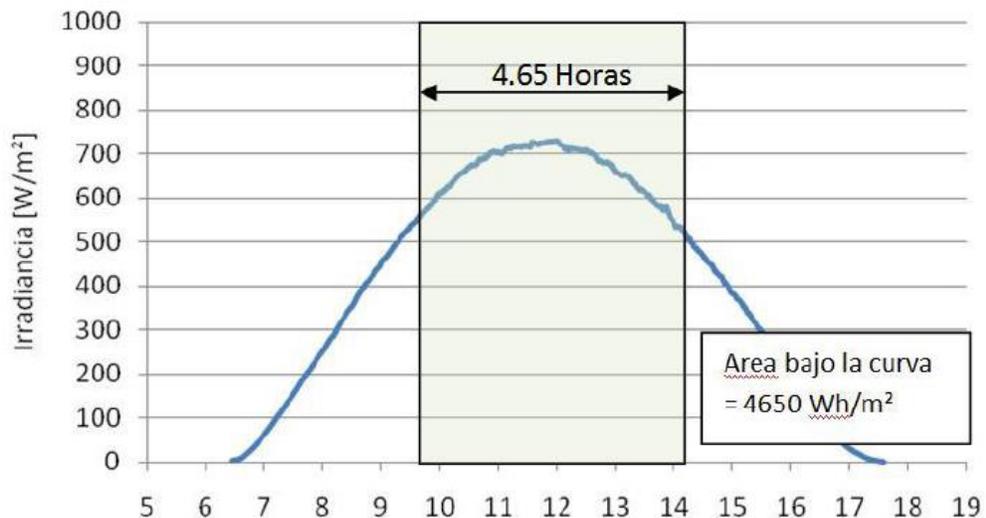
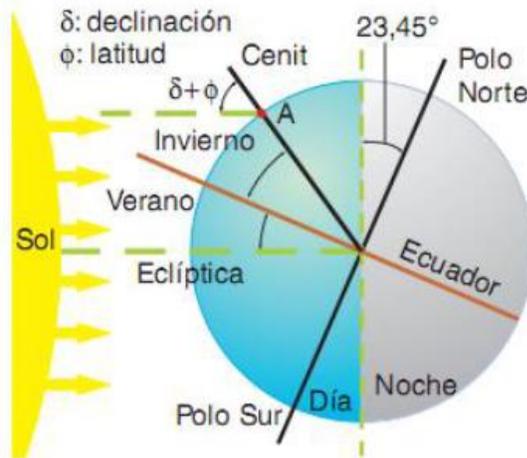


Fig. 4 Ejemplo de Horas solares pico (HSP).

## 2.2 Geometría solar

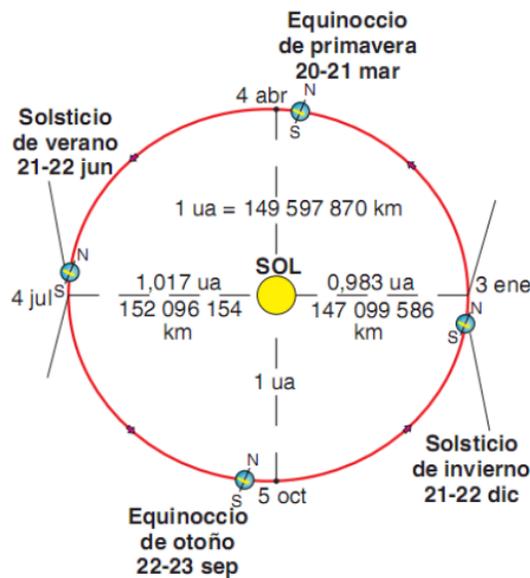
La geometría solar es uno de los elementos más importantes del proceso de diseño de una instalación fotovoltaica ya que a través del conocimiento de la trayectoria de los rayos solares, tanto en su componente térmica como lumínica, lograremos dar la óptima orientación al arreglo fotovoltaico, para aprovechar al máximo el recurso solar disponible del lugar.

La figura 5 muestra la posición del planeta Tierra con respecto del espectro lumínico del Sol que inciden en la superficie terrestre, dando así conocimiento básico de las condiciones de recurso solar existentes en la Tierra.



**Fig. 5** Posición de la Tierra respecto al Sol en el solsticio de invierno [2].

El movimiento terrestre se compone de una traslación alrededor del Sol y de un giro sobre su eje. En el movimiento de traslación de la tierra se desplaza alrededor del Sol siguiendo una elipse de baja excentricidad en la que el Sol ocupa uno de los focos. La duración de este movimiento se define como año. Este movimiento es el llamado plano de la eclíptica, como se muestra en la figura 6.



**Fig. 6** Trayectoria Sol-Tierra. Los nombres de los solsticios y equinoccios están particularizados para el hemisferio Norte [3].

### 2.3 Celda fotovoltaica

Una célula fotoeléctrica, también llamada célula, fotocélula o célula fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

La palabra fotovoltaico(a) está formado por la combinación de dos palabras de origen griego: **foto**, que significa luz, y **voltaico** que significa eléctrico. El nombre resume la acción de estas células: transformar, la energía luminosa en energía eléctrica.

Cuando la luz incide sobre un semiconductor de este tipo, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de silicio creando dos cargas libres, una positiva y una negativa. El equilibrio eléctrico de la juntura N-P se ve alterado por la presencia de estas cargas libres. Si al semiconductor se le conectan dos cables (uno por cada zona), se verifica la existencia de una tensión entre los mismos. Si las terminales de las células fotovoltaicas son conectadas a una carga eléctrica, circulara una corriente eléctrica en el circuito formado por la célula, los cables de conexión y la carga externa. La figura 7 muestra este tipo de circuito. Solo una parte del espectro luminoso puede llevar acabo la acción descrita. El material utilizado para fabricar el semiconductor determina que parte del espectro luminoso es la óptima para provocar este desequilibrio.

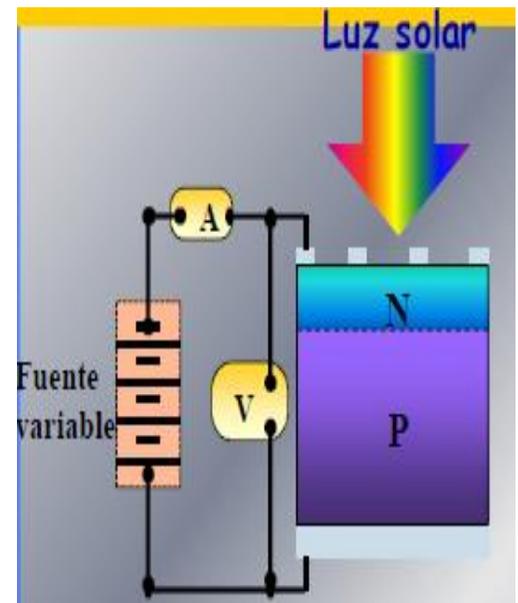


Fig. 7 Extracción de electrones de la celda fotovoltaica [4].

## 2.4 Módulo fotovoltaico

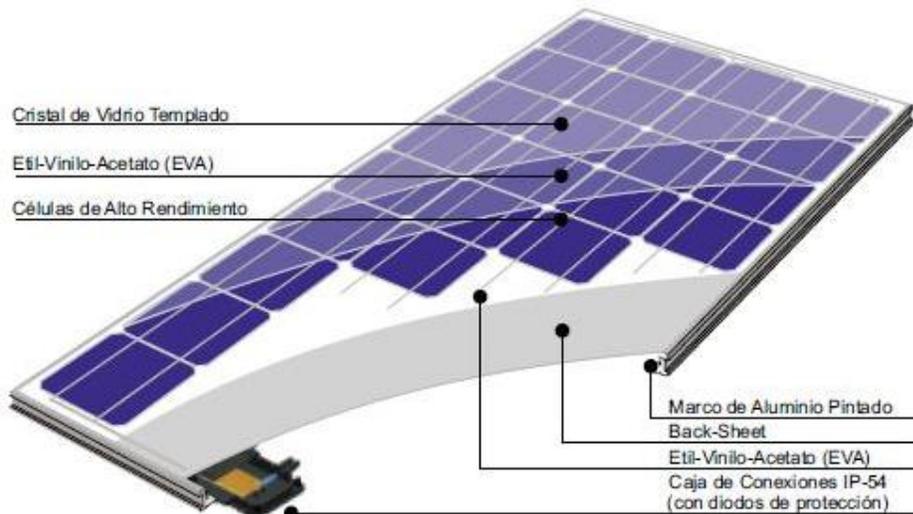
Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (energía solar fotovoltaica). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

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

Los paneles fotovoltaicos, en función del tipo de célula que los forman, se dividen en:

- **Cristalinas**

- **Monocrystalinas:** se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si) (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se puede apreciar en la imagen, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).
- **Policristalinas:** cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.
- **Amorfas:** cuando el silicio no se ha cristalizado.



**Fig. 8** Partes de un módulo fotovoltaico [5].

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y costo. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 10%, sin embargo su costo y peso es muy inferior.

El costo de los paneles fotovoltaicos se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red.

### **2.4.1 Tensión de salida**

La tensión de salida de una célula fotovoltaica es de corriente continua. Por lo tanto, hay un lado que es positivo y otro negativo. Esta variable está directamente relacionada con la temperatura que tenga la celda, existe una pérdida de tensión para temperaturas altas y la variación dependerá del factor de pérdidas por temperatura de cada tipo de tecnología.

### **2.4.2 Forma geométrica**

Cuando la forma de las celdas geométricas es un cuadrado, la superficie del panel será la mínima para un número dado de celdas, ya que el espacio entre ellas es nulo. Esto permite la realización de un panel de menor tamaño, lo que abarata algo el costo del mismo y de su transporte. Un panel de menor tamaño minimiza la superficie requerida para satisfacer la carga del sistema, reduciendo

la superficie expuesta al viento. Los paneles modernos tienen celdas cuadradas (o con esquinas redondeadas), los más antiguos tienen las celdas circulares.

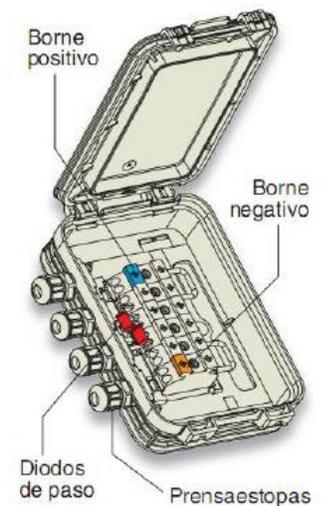
### 2.4.3 Ensamblado mecánico

Los detalles del ensamblado mecánico de un panel varían con cada fabricante. A pesar de ello existen puntos comunes para todas las realizaciones. Para proteger las celdas, estas son adheridas a una superficie sostén. Esta a su vez, pasa a formar una estructura de sándwich, con dos capas plásticas de protección, una en la parte superior (traslúcida y con protección a los rayos ultravioleta) y otra en la parte inferior. El frente del panel (zona expuesta a la luz solar), tiene un vidrio templado (resistente al impacto) que protege a las celdas de los agentes meteorológicos (lluvia, granizo, nieve y polvo) y los golpes. El vidrio tiene un bajo contenido de plomo, para no reducir la transmittividad de la luz a través del mismo. La parte posterior tiene una capa dieléctrica (aisladora) y una cubierta de protección. Un marco de aluminio sirve para dar rigidez mecánica al conjunto, facilitando a su vez el montaje del panel al soporte. El marco exterior es de aluminio para evitar deterioro por oxidación.

### 2.4.4 Contactos eléctricos

En la parte trasera del panel se encuentran los contactos eléctricos (ver figura 9). Las versiones más modernas tienen una caja de plástico, con tapa removible y agujeros laterales para la entrada y salida de los cables de conexión. Tanto la tapa como los agujeros laterales están diseñados para dar protección ambiental y permitir un mejor anclado mecánico para los cables de conexión. Dentro de la caja se hallan 2 bornes de salida. El terminal positivo tiene el símbolo (+), o una marca de color rojo, el negativo tiene el símbolo (-), o una marca de color negro.

Fig. 9 Partes de un módulo fotovoltaico [6].



### 2.4.5 Potencia de salida

En un instante determinado, la potencia eléctrica proporcionada por el módulo fotovoltaico está dada por el producto de los valores instantáneos de la tensión y la corriente de salida. Este valor es afectado por el comportamiento intrínseco de un material semiconductor, por el nivel de irradiación luminosa, y el método de fabricación de la célula.

La intensidad luminosa depende, como vimos al tratar el recurso solar, de los factores meteorológicos, locación inclinación de la célula respecto a la horizontal, y las variaciones estacionales en el lugar de utilización.

La máxima potencia de salida de un módulo fotovoltaico es, sin duda alguna, la característica más importante que deberá ser aprovechado por el inversor por medio de sistemas llamados MPPT (*Maximun Power Point Tracking*), el cual extrae la potencia máxima del arreglo fotovoltaico en todo momento.

Para cada condición de trabajo se puede calcular la potencia de salida del panel multiplicando los valores correspondientes a la tensión y la corriente para ese punto de la curva I-V. En particular, la

potencia de salida es nula para dos puntos de trabajo: circuito abierto y cortocircuito, ya que la corriente o la tensión de salida es nulo. Por lo tanto, si la salida de un panel es cortocircuitada, este no sufre daño alguno. Entre estos 2 valores nulos, la potencia de salida alcanza un valor máximo que varía con la temperatura. El valor máximo que corresponde a una temperatura de trabajo de 25°C se denomina “valor óptimo” o “valor pico” (Wp) del panel. Para determinarlo, se usan valores estandarizados: potencia luminosa de 1 SOL; espectro luminoso correspondiente a M1.5. Los valores de tensión y corriente asociados con este máximo (Vp e Ip) son los dados en la hoja de especificaciones para el panel. La ubicación de los valores de potencia máxima está en función de la temperatura de trabajo. Estos están ubicados al comienzo de la zona de transición de la curva I-V para la temperatura de consideración. El valor de la potencia de salida 0 °C es el mayor de todos ellos.

### 2.4.6 Curva I-V

Si los valores de potencia luminosa y orientación del panel permanecen constantes, las corrientes de salida de un panel fotovoltaico varía con el valor de tensión de la carga y su temperatura de trabajo. Esto se debe a la característica intrínseca de los materiales semiconductores. La figura 10 muestra, en forma gráfica, la relación entre corriente y la tensión de salida para un panel fotovoltaico (curva I-V), para cuatro temperaturas de trabajo, cuando el nivel de radiación permanece constante.

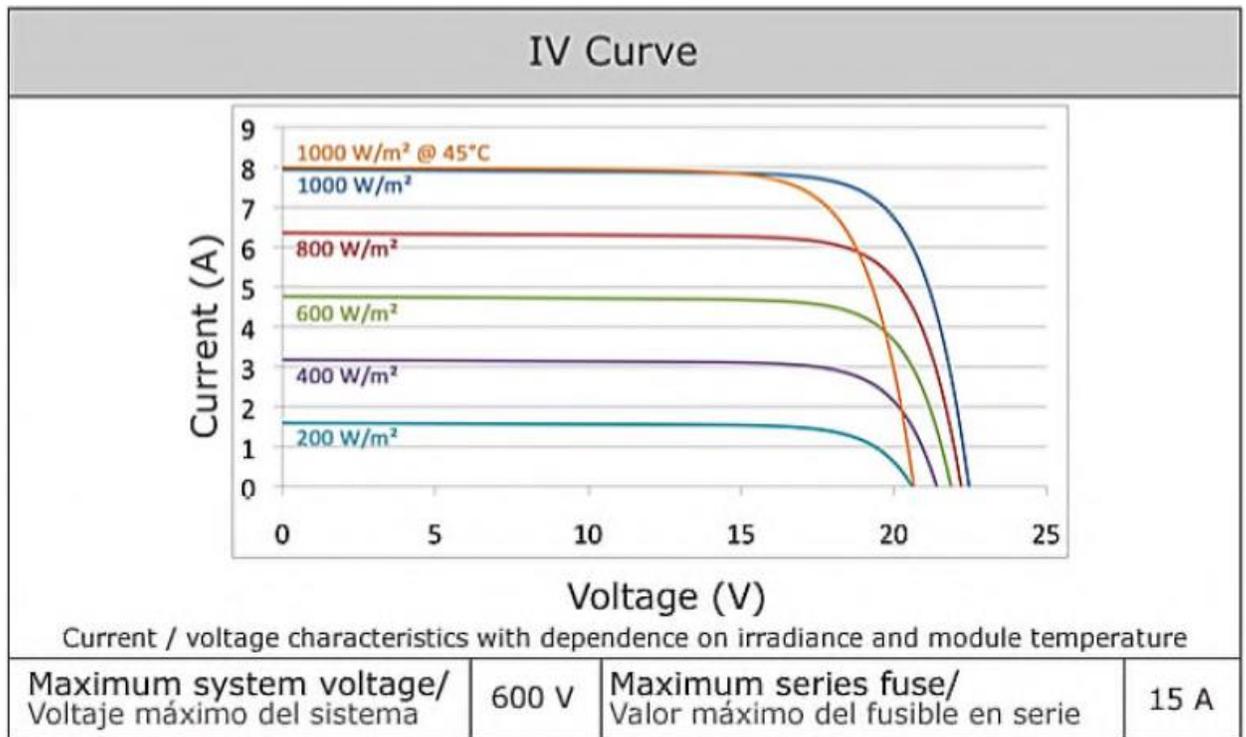


Fig. 10 Curva I-V del módulo fotovoltaico que se utilizó para el sistema [7].

### 2.5 Inversor interconectado a la red

Un inversor de interconexión a red es un inversor que convierte la corriente directa (DC) de electricidad en corriente alterna (AC) con una capacidad de sincronizar para interactuar con una red eléctrica local.

Los inversores se pueden clasificar de diferentes formas. De acuerdo con el número de fases se pueden distinguir entre inversores monofásicos y trifásicos. Con respecto a la configuración del sistema, se suelen distinguir entre: inversores centrales, inversores en cadena (string) e inversores modulares (AC módulos). Asimismo, con respecto al número de etapas, se pueden distribuir entre los inversores de una etapa, de dos etapas y multi-etapas.



F  
Fig. 11 Inversor de interconexión a red [8].

### 2.5.1 Características eléctricas

Si bien la terminología y el contenido varían según el fabricante, las hojas de datos generalmente incluyen la siguiente información:

- **Potencia de salida nominal:** Este valor se proporciona en watts o kilowatts. Para algunos inversores, que pueden proporcionar una calificación de salida para diferentes tensiones de salida. Por ejemplo, si el inversor se puede configurar ya sea para 240 VAC o 208 VAC de salida, la salida de potencia nominal puede ser diferente para cada una de esas configuraciones.
- **Tensión de salida:** Este valor indica a qué utilidades tensiones del inversor se puede conectar. Para inversores más pequeños que están diseñados para uso residencial, la tensión de salida suele ser 240 VAC. Inversores que se dirigen a aplicaciones comerciales están clasificados para 208, 240, 277, 400, o 480 VAC y también pueden producir energía de tres fases.
- **Máxima eficiencia:** La eficiencia pico representa la eficacia más alta que el inversor puede lograr. La energía perdida durante la inversión es en su mayor parte se convierte en calor. Esto significa que para que un inversor para apagar el importe nominal de la energía que se necesita tener una entrada de potencia que supera la salida.
- **Eficiencia ponderada CCA:** Esta eficiencia es una publicación de la Comisión de Energía de California en su sitio web GoSolar. En contraste con la máxima eficiencia, este valor es una

eficiencia media y es una mejor representación de perfil operativo del inversor. Inversores que son capaces de producir energía a diferentes tensiones de AC pueden tener diferentes eficiencias asociadas con cada tensión.

- **Corriente máxima de entrada:** Esta es la cantidad máxima de corriente que el inversor utilizará. Si una fuente de alimentación DC, tal como una matriz solar, produce una cantidad de corriente que excede la corriente máxima de entrada, no será utilizado por el inversor.

- **Corriente de salida máxima:** La corriente de salida máxima es la máxima corriente alterna que el inversor suministrará. Este valor se suele utilizar para determinar la valoración actual mínimo de los dispositivos de protección contra sobrecargas de corriente (por ejemplo, interruptores y fusibles) y desconexiones necesarias para el circuito de salida. Inversores que son capaces de producir energía a diferentes tensiones de AC tendrán diferentes salidas máximas para cada valor de tensión.

- **Pico de tensión de seguimiento de potencia:** Esto representa el rango de tensión de DC en el que el máximo valor del seguidor de potencia pico del inversor funcionará. El diseñador del sistema debe configurar las cadenas de forma óptima de manera que durante la mayor parte del año, la tensión de las cadenas esté dentro del rango. Esto puede ser una tarea difícil, ya que la tensión fluctuará con los cambios de temperatura.

- **Iniciar tensión:** Este valor no aparece en todas las hojas de datos de los inversores. El valor indica la tensión continua mínima que se requiere para que el inversor se encienda y comience la operación. Esto es especialmente importante para las aplicaciones de energía solar, ya que el diseñador del sistema debe estar seguro de que hay un número suficiente de módulos solares conectados en serie en cada cadena para producir esta tensión. Si este valor no es proporcionado por el fabricante, los diseñadores de sistemas suelen utilizar la banda inferior del rango de tensión de seguimiento de potencia máxima como mínima tensión del inversor.

- **Valoración IPxx:** La calificación Protección de entrada o Código IP clasifica y las tasas al nivel de protección que ofrece contra la penetración de objetos sólidos extraños (primer dígito) o agua (segunda cifra), una cifra más alta significa una mayor protección. En los EE.UU. del tipo NEMA se utiliza de manera similar a la clasificación internacional. La mayoría de los inversores están clasificados para la instalación al aire libre con IP45 (sin protección contra el polvo) o IP65 (estanco de polvo), o en los EE.UU., NEMA 3R (sin protección contra el polvo arrastrado por el viento) o NEMA 4X (el polvo arrastrado por el viento, salpicaduras de agua directa y la protección adicional contra la corrosión).

## ***2.6 Sistema eléctrico mexicano***

La energía eléctrica en México se considera estratégica para la soberanía nacional. Existen limitaciones para la participación privada y se permite a las empresas extranjeras operar en el país sólo a través de contratos de servicio específicos. Según establece la Constitución, el sector eléctrico es de propiedad federal y es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) quien controla esencialmente todo el sector. Los intentos de reformar el sector se han enfrentado tradicionalmente a una gran resistencia política y social en México, donde los subsidios para consumidores residenciales absorben considerables recursos fiscales. La capacidad eléctrica instalada en 2006 fue de 49 GW. De la capacidad instalada, el 73,6% es térmica, el 21,6% es hidroeléctrica, el 2,8% es nuclear y el 2% es geotérmica. La tendencia general en generación térmica es una reducción de combustibles a base de petróleo y un aumento de gas natural y carbón [9].

### ***2.6.1 Tarifas domésticas***

Estas tarifas se aplicarán a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano esté dentro del rango de hasta 33 grados centígrados como máximo. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

El gobierno de México ha expedido un subsidio de hasta el 80% del total del costo de energía en el sector residencial de bajo consumo. Conforme el usuario tenga mayor uso de energía el subsidio se volverá menor respectivamente al tipo de tarifa que se tenga.

Los precios bimestrales a la fecha de la tarifa de bajo consumo son: Básico (hasta 150 kWh), 0.809 \$/kWh, Intermedio (desde los 150 kWh hasta los 280 kWh), 0.976 \$/kWh, Excedente (desde los 280 kWh hasta los 500 kWh), 2.859 \$/kWh.

### ***2.6.2 Tarifa Domésticas de Alto Consumo (DAC)***

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico. Se considera de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para tu localidad.

El consumo mensual promedio se determinará con el promedio móvil del consumo registrado por el usuario en los últimos 12 meses.

Cuando el Consumo Mensual Promedio sea inferior al Límite de Alto consumo fijado en la localidad, se aplicará la tarifa doméstica 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F; que corresponda.

El límite de alto consumo se define en función de la tarifa doméstica: 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F; que se aplique en tu localidad.

Tarifa límite:

- 1 - 250 kWh/mes
- 1A - 300 kWh/mes
- 1B - 400 kWh/mes
- 1C - 850 kWh/mes
- 1D - 1,000 kWh/mes
- 1E - 2,000 kWh/mes
- 1F - 2,500 kWh/mes

El precio en la tarifa DAC a la fecha es de 3.387 \$/kWh total consumido durante el bimestre.



**Fig.12** Recibo de energía eléctrica expedido por CFE [10].

## 2.7 *Sistemas fotovoltaicos residenciales en México*

Derivado de diversas disposiciones establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, en la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, su Reglamento, así como en el Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012; ahora puedes instalar en tu domicilio o negocio, tu propia fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña o mediana escala y realizar un contrato de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Al hacerlo, además de ahorrar en tu gasto por concepto de consumo de energía, contribuirás en la utilización de tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica, en el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y por ende, en la conservación del medio ambiente.

Los requisitos para realizar un contrato de interconexión en pequeña escala con CFE, son que tengas un contrato de suministro normal en baja tensión, que las instalaciones cumplan con las Normas Oficiales Mexicanas y con las especificaciones de CFE, y que la potencia de tu fuente no sea mayor de 10 kW si la instalaste en tu domicilio o de 30 kW si la instalaste en tu negocio. La duración del contrato es indefinida y puede terminarse cuando lo desees, avisando 30 días antes [11].

## 2.8 *Tiempo de retorno de inversión*

El costo, consumo de la energía eléctrica, el recurso solar del lugar junto con los precios actuales en el mercado para sistemas fotovoltaicos en México, son factores clave que determinan el tiempo de retorno de inversión para los usuarios que deciden adquirir un sistema fotovoltaico en el sector

residencial. El precio aproximado que se tiene en el mercado de un sistema fotovoltaico instalado para el sector residencial es de 3 USD/Wp instalado.

Para determinar la potencia del sistema fotovoltaico se necesita conocer el consumo de energía eléctrica del consumidor por medio de su recibo de electricidad emitido por CFE. La gran mayoría de la población se encuentra ubicada dentro de las tarifas de bajo consumo (hasta los 250 [kWh/mes]), por lo que están siendo subsidiadas por el gobierno, lo que significa una desventaja para adquirir un sistema fotovoltaico.

El costo anual para un usuario de **tarifa límite de bajo consumo**, con precios a la fecha (junio 2015) que se indica en esta tesis, es de \$ 5,263.26 MXN. Por lo que dimensionando el sistema fotovoltaico para cubrir la demanda energética con el recurso solar de la Ciudad de México de 1844 [HSP/año], que se muestran en las tablas del apartado “Simulación del balance energético” de esta tesis, se tiene que la potencia pico que se tiene que instalar es de 2 [kWp]. Para este valor de potencia pico se tienen que instalar micro-inversores porque no alcanza el valor para instalar un inversor central.

El costo del sistema fotovoltaico será de 6,000.00 USD con un tipo de cambio actual (junio 2015) de 16 MXN por cada \$ 1 USD, por lo que el costo total en pesos de la instalación será de \$ 96,000.00 MXN. Por lo tanto, el tiempo de recuperación de inversión sin contar gastos por contrato de interconexión a red de CFE y particularidades de la instalación, es de **18.24 años**.

Por lo que analizando el caso de un usuario con **tarifa DAC**, con la misma cantidad de energía consumida anual, el costo que tendrá que pagar es de \$ 10,161.00 MXN. Por lo tanto el tiempo de recuperación de inversión sin contar gastos por contrato de interconexión a red de CFE y particularidades de la instalación, es de **9.45 años**.

Actualmente existe un organismo de fideicomiso privado constituido por iniciativa de CFE en apoyo al programa de Ahorro de Energía eléctrica para coadyuvar a las acciones de ahorro y uso eficiente de energía eléctrica (figura 13). Este organismo cuenta con un programa llamado “Financiamiento para la energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos”, el cual otorga facilidades económicas para obtener sistemas fotovoltaicos.



**Fig. 13** Fideicomiso para el ahorro de la energía eléctrica [11].

## 3 COMPETENCIA

### *3.1 Decatlón solar*

El *Solar Decathlon* es un concurso internacional de arquitectura e ingeniería patrocinado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL). Al mismo se pueden presentar universidades de todo el mundo.

En esta competencia, 20 equipos universitarios de todo el mundo diseñan y construyen una casa alimentada exclusivamente con energía solar. Su objetivo es concientizar a la población del uso de energías renovables. Diez pruebas determinan cual es la casa ganadora: la que consuma menos cantidades de recursos naturales y produzca un mínimo de residuos durante su ciclo de vida.

#### *3.1.1 Decatlón Solar Estados Unidos*

La primera edición del *Solar Decathlon* fue llevada a cabo en 2002 en Washington D.C., y desde el año 2005 cada 2 años se lleva a cabo en Estados Unidos. Abierto al público y sin cuotas que pagar, el *Solar Decathlon* da a los visitantes la oportunidad de dar un tour por los prototipos de vivienda solar, recopilando ideas de cómo se pueden acoplar las tecnologías a sus casas, y aprender cómo ahorrar y usar eficientemente la energía y así generar ahorros económicos.



**Fig. 14** Vista de la primera Villa solar en Washington D.C.

#### *3.1.2 Decatlón Solar Europa*

La organización del evento tiene una doble finalidad formativa y científica: los decatletas aprenden a trabajar en equipos multidisciplinarios, que se enfrentan a los retos que plantea el futuro de la edificación, desarrollando soluciones innovadoras.

**Fig. 15** Vista de la Villa solar en Versalles, Francia.



El 18 de octubre de 2007, el gobierno de España y Estados Unidos firmaron un memorando de entendimiento para crear el *Solar Decathlon Europe* (SDE), competencia complementaria a la creada por el Departamento de Energía de Estados Unidos. España sostuvo las primeras dos ediciones de esta competencia europea en 2010 y 2012. La tercera edición se llevó a cabo en Versalles, Francia.

El público comprueba y toma conciencia de las posibilidades reales de aunar una disminución del impacto medioambiental, con el mantenimiento del confort y calidad del diseño en sus hogares, y los profesionales acceden a técnicas y procesos que pueden estudiar y aplicar. Además, los voluntarios, imprescindibles para la realización de SDE, tienen la oportunidad de intercambiar experiencias con los equipos y crecer profesionalmente a través de su trabajo durante la competición.

Por su parte, las universidades, empresas y organismos públicos acceden a un nuevo modo de colaboración, ensayando, por ejemplo, proyectos científicos en condiciones reales, para llevarlos más adelante al mercado, o perfeccionando y aplicando de forma creativa productos existentes.

### ***3.1.2.1 Reglamento de competencia***

Las Normas de *Solar Decathlon Europe* están diseñadas para lograr los objetivos de la Organización y promover una competición interesante y justa.

Aunque están basadas en las reglas de la competición americana, existen importantes diferencias en lo relativo a la documentación que los equipos han de ir entregando periódicamente, así como respecto a las pruebas, en las que se da mayor énfasis a los aspectos de la sostenibilidad, la eficiencia energética, la innovación y los aspectos de investigación.

El documento “*SDE Rules*” explica todo lo que los equipos deben saber para poder competir en *Solar Decathlon Europe*, e incluye cinco secciones:

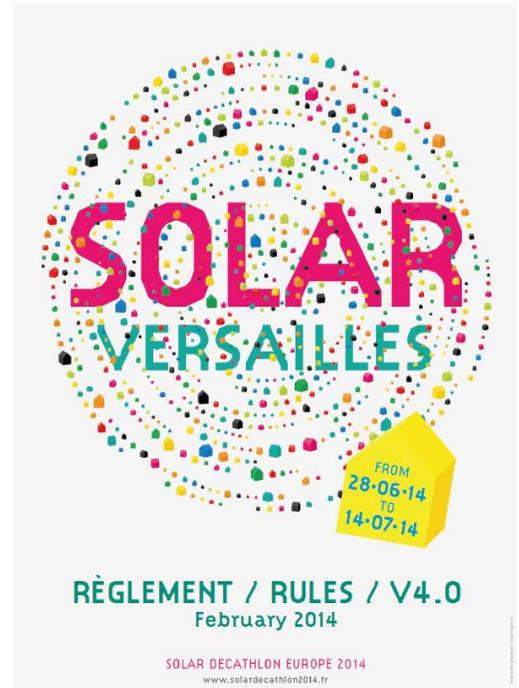
**SECCIÓN 1: Normas Generales.** Incluye las reglas relacionadas con los aspectos más generales de la competición: la organización, los participantes, las parcelas, las casas, la fase final y las condiciones generales.

**SECCIÓN 2 Pruebas.** En esta sección se definen las pruebas y subpruebas de SDE2012, incluyendo la distribución de puntos, los criterios de evaluación y los procedimientos previstos.

**SECCIÓN 3 Entregas.** Incluye información detallada sobre los documentos, planos y otro material que los equipos han de enviar a la Organización en las fechas y formatos establecidos.

**SECCIÓN 4 Código de la Edificación SDE.** Su objetivo principal es la seguridad y salud de equipos y visitantes. El cumplimiento de estas normas es un pre-requisito para competir, y sintetiza la normativa técnica vigente en la ciudad de Madrid, donde se celebra el evento.

**SECCIÓN 5 Apéndices.** Contiene información complementaria de las reglas.



**Fig. 16** Reglamento de competencia.

Toda la energía consumida por las casas en la Villa Solar procederá de la radiación solar que incida sobre su parcela. En cada instante de la competición, la casa puede realizar dicho consumo directamente (a partir de la producción de sus módulos fotovoltaicos o térmicos), o de forma diferida, bien desde sistemas de almacenamiento propios que hayan acumulado ese tipo de energía anteriormente (en forma de electricidad o calor) o de la red eléctrica de la Villa Solar; en este último caso, la cantidad de energía tomada a lo largo de la competición debe ser devuelta mediante la inyección de energía sobrante de la casa en otro momento.

### ***3.1.2.2 Reglamento del Balance de Energía Eléctrica***

Para la generación eléctrica se establece un límite de 5 [kWp] sobre el conjunto de los sistemas fotovoltaicos y no fotovoltaicos. Los sistemas fotovoltaicos empleados tienen que estar disponibles en el mercado al menos al comienzo de la fase final de la competición.

Los rubros a evaluar para el balance de energía eléctrica están determinados por el monitoreo continuo durante la competencia, y están divididos en cinco partes que se describen a continuación:

#### **- Consumo de carga por unidad de superficie**

El objetivo de esta prueba es evaluar la eficiencia de las casas cumpliendo con los requerimientos de condiciones de confort y funciones generales. El consumo de las casas es estimado con la siguiente fórmula:

$$E_L = \frac{E_V}{A} + \frac{E_F}{C} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- Ev – Consumo de sistemas de climatización, ventilación y agua caliente.
- E<sub>F</sub>– Consumo de electrodomésticos, iluminación y sistema de control y monitoreo.
- C – Promedio del área medible de todos los prototipos.
- A – Área medible de la casa.

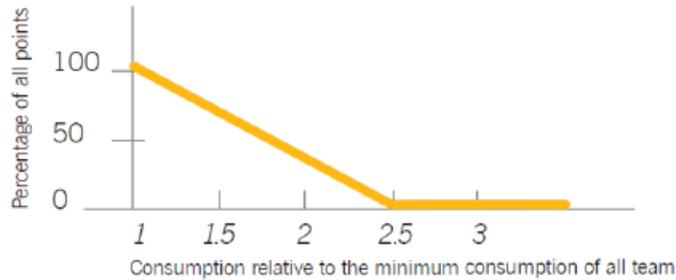
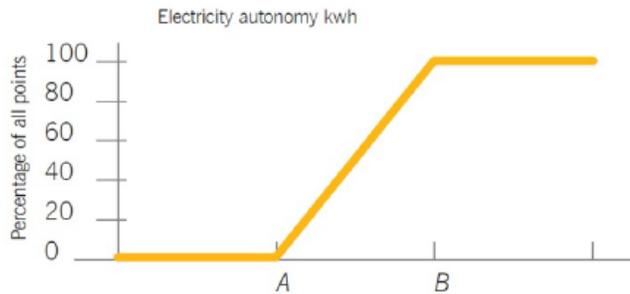


Fig. 17 Relación de puntuación.

- **Balance de energía positivo**

Esta prueba evalúa el grado de abastecimiento autónomo de energía durante la semana de competencia.



Full Points:			Electricity autonomy	≥	B kWh
Reduced Points:	A kWh	<	Electricity autonomy	<	B kWh
No Points:			Electricity autonomy	≥	A kWh

Fig. 18 Relación de puntuación.

$$B = \frac{X}{5} * 56 \dots\dots\dots (2) \quad A = B - 20 * \frac{X}{5} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

X – Potencia total instalada en [kWp]

Nota 1: 56 [kWh] es el límite de energía producido por un sistema fotovoltaico de 5 [kWp] instalado con la orientación y ángulo de inclinación óptimo en Versailles, Francia.

Nota 2: 20 es el número de casas conectadas a la red eléctrica de la Villa Solar.

- **Patrones de correlación temporal Generación-Consumo**

Una de las ventajas de la distribución de generación de energía eléctrica es que puede ser consumida en el lugar donde es generada. Esto reduce la necesidad de líneas de transmisión y minimiza las pérdidas por transmisión de energía. Esta prueba evalúa los patrones de correlación temporal entre la generación fotovoltaica y la demanda de electricidad durante el periodo de competencia. La correlación temporal está dada por la siguiente fórmula:

$$E = \frac{E_{G\_L}}{E_L} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

$E_{G\_L}$  – Electricidad generada y simultáneamente consumida por las cargas.

$E_L$  – Electricidad consumida por las cargas.

Nota 1:  $E_{G\_L}$  solo será medible durante los intervalos de día, en el periodo en el que las casas estén libres de sombreadamientos. Más sin embargo  $E_L$  se medirá con base en 24h.

- **Ajuste de la casa al estado de carga de la red**

Esta prueba evalúa el cómo las casas solicitan energía de la red a la que están conectados. Lo cierto es que una red eléctrica no es solicitada de manera constante durante todo el día. Los prototipos deberán de administrar su interacción con la red de acuerdo al estado de estrés de la red. Los prototipos deben de usar el mínimo de energía cuando la carga de la red está al máximo. Para evaluar la habilidad de administrar el consumo de los prototipos en ciertas horas del día, el periodo de máxima carga de la red esta simplificado a una sola hora pico de consumo desde las 20:00 h. a las 22:00 h. como se muestra en la figura 17.

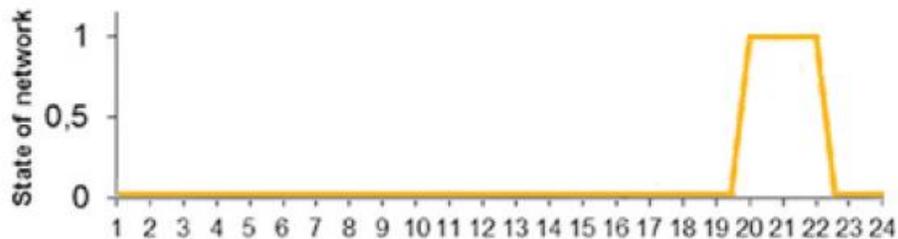


Fig. 19 Horas pico de consumo.

$$\eta_o = (E_p(t) - E_c(t)) * F(t) \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

$E_p(t)$  – Energía producida en el tiempo (t).

$E_c(t)$  – Energía consumida en el tiempo (t).

$F(t)$  – Función de la carga de la red, representada en la figura 17.

- **Picos de consumo**

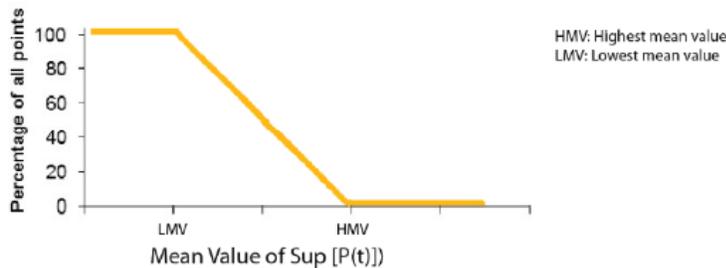
Un aspecto importante del manejo de la energía consumida por las cargas es el evitar las horas pico de la red eléctrica local. La cantidad de energía consumida de la red eléctrica de la Villa Solar ( $E_c$ ) y la cantidad de energía producida e inyectada a la red ( $E_p$ ) por cada equipo será monitoreada en un ciclo regular de 60 segundos. Para cada equipo, la potencia instantánea consumida será cuantificada haciendo uso de la siguiente formula:

$$P(t) = (E_c(t + 60) - E_c(t)) / 60 \dots \dots \dots (6)$$

Cada día de las 00:00 a las 23:59, para cada equipo, el valor máximo de P será registrado.

Al final del periodo de competencia, la sumatoria de estos valores diarios máximos será calculada para cada equipo.

La puntuación será escalada linealmente desde los 0 puntos a los 15 puntos (el equipo con el valor más grande será el valor HMV y el correspondiente al menor valor LMV).



<b>Full Points:</b>	LMV	=	Mean value of Sup [P(t)]		
<b>Reduced Points:</b>	LMV	<	Mean value of Sup [P(t)]	<	HMV
<b>No Points:</b>			Mean value of Sup [P(t)]	=	HMV

**Fig. 20** Relación de puntuación.

Con 120 puntos serán acreditados los equipos que logren la máxima puntuación de estas pruebas.

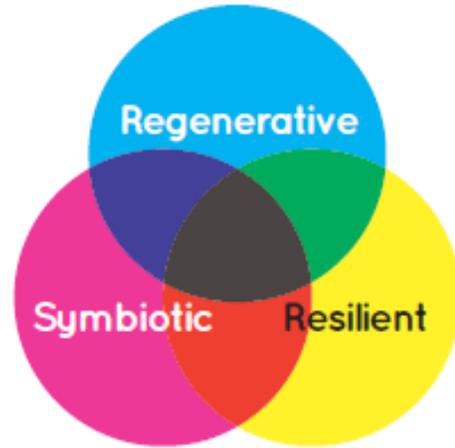
**3.2 El proyecto CASA UNAM**

El sistema de CASA es una tecnología asequible y de construcción ligera, compuesta por una serie de productos que ofrecen eficiencia energética y una solución adaptable para la expansión de las estructuras preexistentes, que resultan en un medio ambiente responsable y fácil de construir. Dirigido a resolver el conflicto presente en utilizar los espacios residuales subdesarrollados dentro de la Ciudad de México, CASA se convierte en una opción viable para la redensificación inmediata al disminuir el costo relacionado a la tierra, la propiedad y la reducción de la distancia entre las persona y sus actividades diarias, regenerar la degradación del ecosistema a escala local, incrementando la resiliencia de usuario.

Esto permite que la facilidad del enfrentamiento para el habitante final con respecto del cambio climático, su economía y la crisis energética.

**Fig. 21.** Filosofía del proyecto.

El desarrollo de un grupo multidisciplinario de la Universidad Nacional Autónoma de México, da resultado el sistema CASA, el cual está diseñado para permitir micro-densificaciones, proporcionando una posible solución de vivienda dentro de nuestras áreas urbanas, tales como la Ciudad de México, donde un potencial gigantesco se encuentra entre sus espacios residuales provocados por el entorno construido.



### 3.2.1 Definición del problema

Estamos viviendo un momento único, en el que varios factores están convergiendo, que afectarán a nuestras ciudades en los próximos 20 a 40 años. Las necesidades de una población creciente necesitarán cubrirse dentro de esta nueva condición urbana en la cual los recursos son cada vez más escasos. Para que nuestro medio ambiente construido llegue a ser sostenible, debemos desarrollar soluciones a escala regional para aumentar la capacidad de recuperación, asegurando nuestros accesos al agua, la energía y los alimentos, mientras se contribuye sustancialmente a la mitigación del cambio climático.

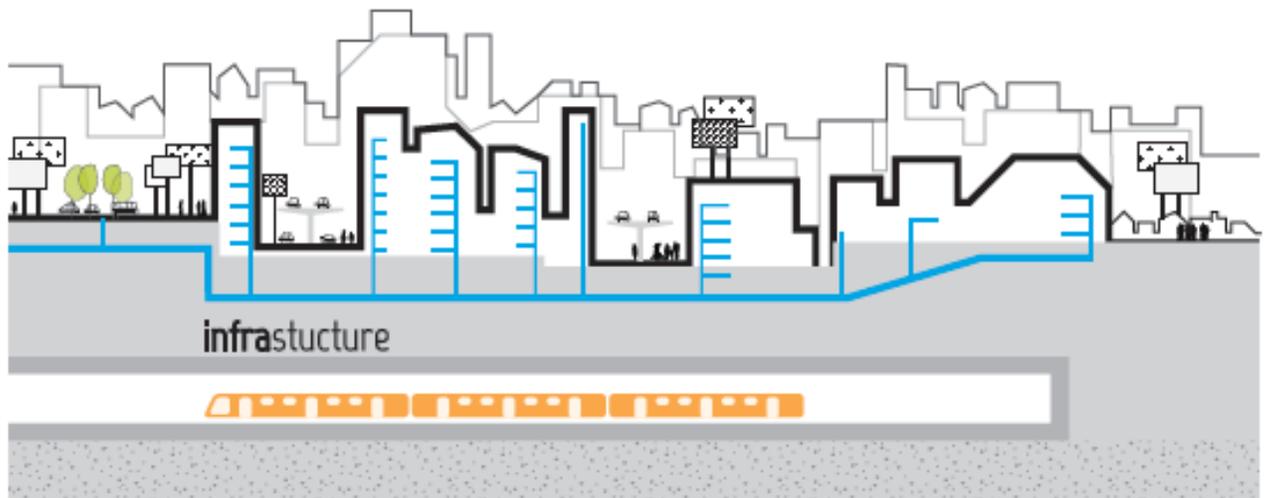


Como lo muestra la figura 22, la ZMVM se está expandiendo de manera vertiginosa con una pobre planeación urbana, lo cual acarrea diferentes tipos de problemas de suministro de recursos para el desarrollo digno de las personas que lo habitan. Es por ello que se analizan los problemas tangibles a los que se enfrentan los habitantes de zonas alejadas de los centros de distribución de agua, energía eléctrica y alimentos.

**Fig. 22** Expansión urbana de la ZMVM.

Estos problemas conllevan al consumo desmedido de recursos naturales de los cuales todos somos responsables de cuidar y administrar de una manera inteligente, promoviendo el ahorro y uso eficiente de los mismos.

Para abordar el problema desde un enfoque sustentable, se tiene que entender el problema desde un punto de vista profundo. Se debe de tener conciencia del problema con una visión amplia de todo lo que involucra el tener acceso a ciertos recursos. Por ejemplo la figura 23, nos muestra de manera gráfica la infraestructura que se necesita para abastecer de agua a un determinado sitio de la ZMVM. En este caso el problema es que el acceso al agua no llega a toda la población de la manera equitativa, debido a que la distribución se da de manera centralizada, y los puntos más lejanos son los que se ven más afectados por tan solo su ubicación. Y detrás de todo ello implica un impacto ambiental al requerir de mayor consumo de energía eléctrica para poder bombear toda el agua a los lugares más apartados del punto de distribución, aunado a los problemas de fugas por mala calidad en las instalaciones hidráulicas. Y en todo este proceso, la población es la que se ve afectada, al no tener agua para cubrir sus necesidades básicas.



**Fig. 23.** Ejemplificación de la distribución hidráulica.

Lo mismo ocurre con la energía eléctrica, cuando las distancias son muy grandes entre las plantas de generación eléctrica y el consumidor final, se incrementan los costos por tendido eléctrico, las pérdidas de energía por distribución y las malas instalaciones eléctricas con las que se cuentan en la Ciudad de México, como se muestra en la figura 24.

Por otra parte existe un problema alterno que debe ser integrado al problema de emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente que se vive en la Ciudad de México, el cual es el uso de combustibles fósiles. El uso de gas LP o gas natural en algunos electrodomésticos, es fuente directa de emisiones de CO<sub>2</sub>, y su uso es muy frecuente, ya sea para cocinar o para calentar agua.



**Fig. 24** Sistema de distribución de energía eléctrica en la ZMVM.

En resumen, todos los problemas por los cuales nace el proyecto CASA UNAM, son los siguientes:

- Deficiencia de agua
- Pérdidas de energía por transmisión de energía eléctrica
- Los llamados “diablitos” instalados en casas
- Altas concentraciones de CO<sub>2</sub>
- Problemas de autoconstrucción
- Trayectorias largas entre los habitantes y sus centros de trabajo (expansión urbana horizontal).

### ***3.2.2 Propuesta general***

La propuesta del equipo CASA UNAM, atiende los problemas tanto del contexto en donde se pretende insertar el cual es la Ciudad de México, como a los del sitio de competencia el cual fue Versalles, Francia.

El objetivo es ofrecer una caja de herramientas, lo que puede permitir al usuario aplicar cada componente del sistema de acuerdo a las necesidades. Hemos diseñado grupos de servicio que se fusionan con los espacios comunes, como el almacenamiento, lavado, cocina, etcétera. Por lo tanto, CASA UNAM puede insertarse de acuerdo a las necesidades individuales y ofrecer las cualidades de espacio, diseño, sostenibilidad y asequibilidad, dando un valor agregado al estar instalado en el territorio en el que se construirá, integrando el tejido social. Además, este sistema no solo permite un desarrollo individual, sino también un desarrollo colectivo donde muchos espacios y recursos se pueden compartir. Resiliencia, simbiosis y regeneración son cualidades que pueden garantizar tener un futuro más sostenible en un contexto urbano preexistente.

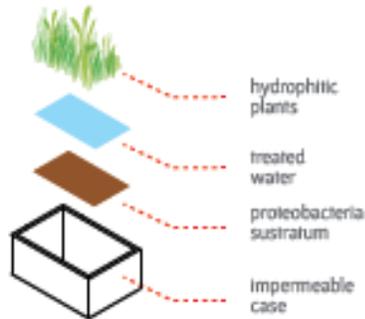
La figura 25 ilustra la caja de herramientas; la cual funciona como un abanico de soluciones a nivel local. En este diagrama en particular, se muestra nuestro estudio de caso específico: el enorme complejo de viviendas "Unidad Habitacional Vicente Guerrero" en Iztapalapa, Ciudad de México.

TOOLBOX

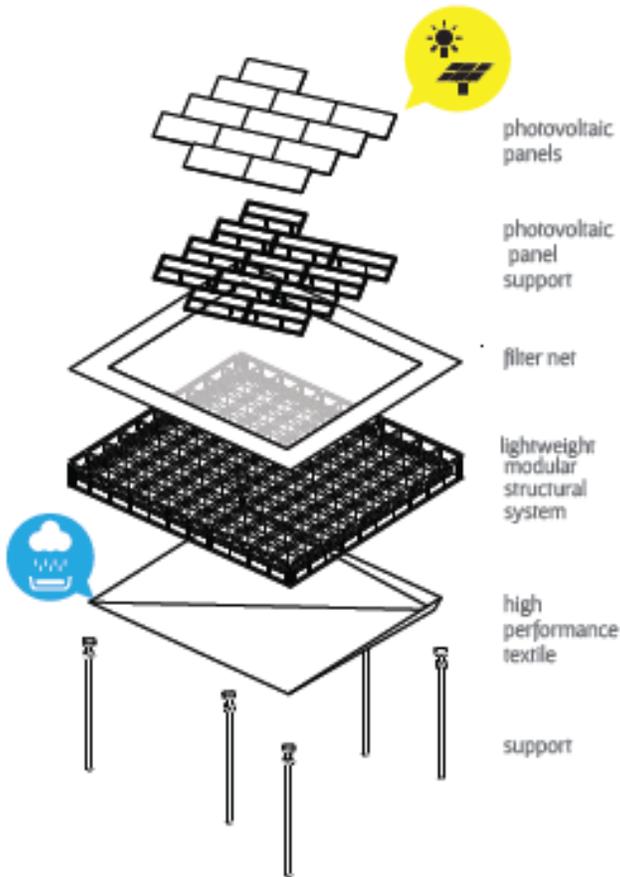
Vertical Circulation:



Living Systems:  
[sub superficial wetlands ]



Technical Cover:



Technical Floor:

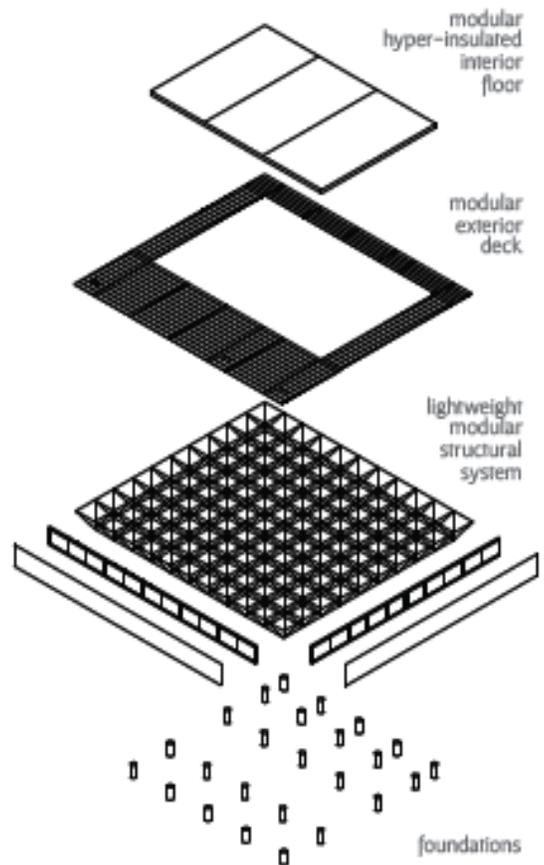


Fig. 25 Caja de herramientas para configuración personal.

A partir de esta propuesta, se forma el proyecto arquitectónico con el fin de cumplir con el prototipo de vivienda sustentable para la competencia.



Fig. 26 Ejemplo de aplicación de la propuesta.

La figura 26 muestra el ejemplo de la inserción del prototipo planeado para la "Unidad Habitacional Vicente Guerrero" en Iztapalapa, la Ciudad de México. Cabe mencionar que los espacios y las estructuras preexistentes son modelados a escala del lugar del caso de estudio.

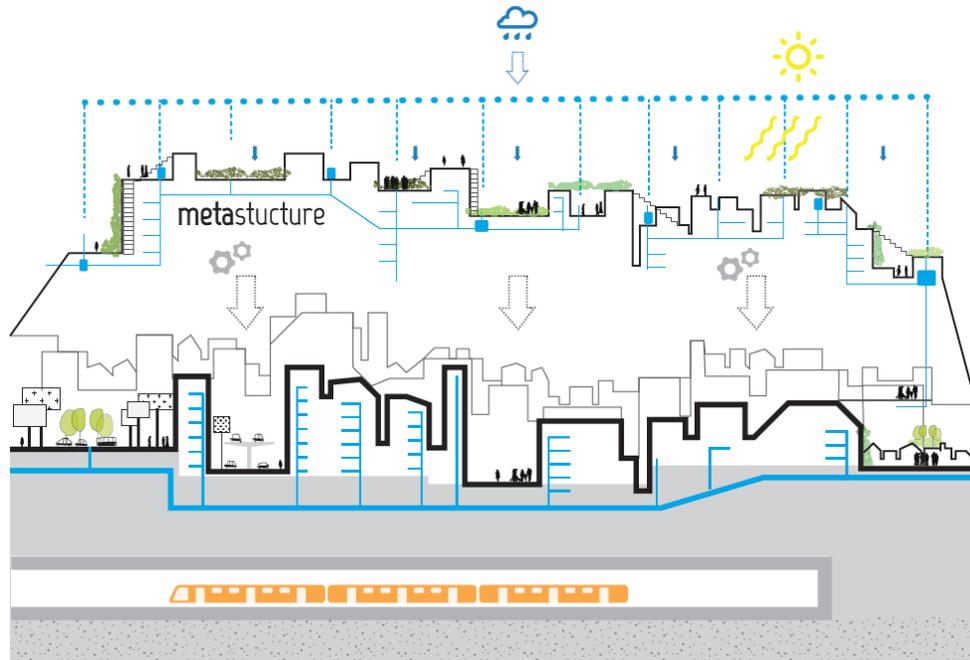


Fig. 27 Caja de herramientas para configuración personal.

La figura 27 muestra cómo se crea una metaestructura para el desarrollo sustentable de la Ciudad de México, en el que se propone una solución de acción local pensando global. Es en este momento cuando se empieza a crecer de manera sustentable, teniendo conciencia colectiva.

Con todos estos antecedentes se da una propuesta, mostrada en la figura 28, la cual a criterio del equipo CASA UNAM y cumpliendo las condiciones de competencia, es la mejor opción de solución para participar competitivamente. Cabe mencionar que siendo un prototipo, lleva etapas de diseño e iteraciones para mejorar constantemente las soluciones adecuadas para cada necesidad.

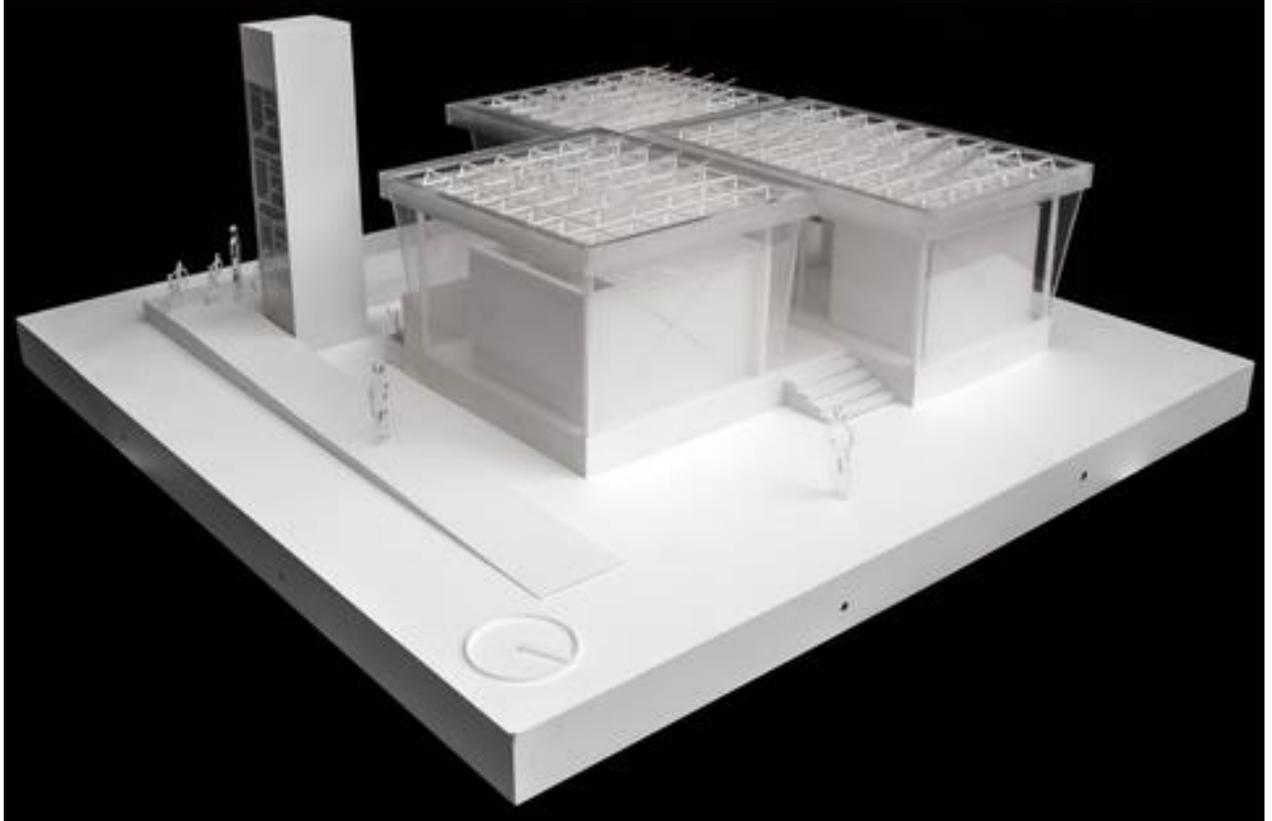


Fig. 28 Maqueta de la propuesta final para la competencia.

## 4 PROPUESTA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

La propuesta del equipo CASA, respeta los tres ejes principales para un desarrollo sustentable, los cuales son el ámbito social, ambiental y económico. La propuesta del equipo atiende a estos tres ejes implementando el concepto de **granja solar urbana**, como se muestra en la figura 29. El cual corresponde a una integración de infraestructura compartida para aprovechar el recurso solar por el bien común, generando grandes ventajas en el aspecto económico y logrando un cambio local con visión global para obtener beneficios ambientales a corto plazo.

Las granjas solares urbanas (GSU), constituyen un medio de autoabastecimiento eléctrico renovable aplicable a conjuntos habitacionales, que pueden favorecer la economía del usuario, la sustentabilidad urbana y la lucha contra el cambio climático.

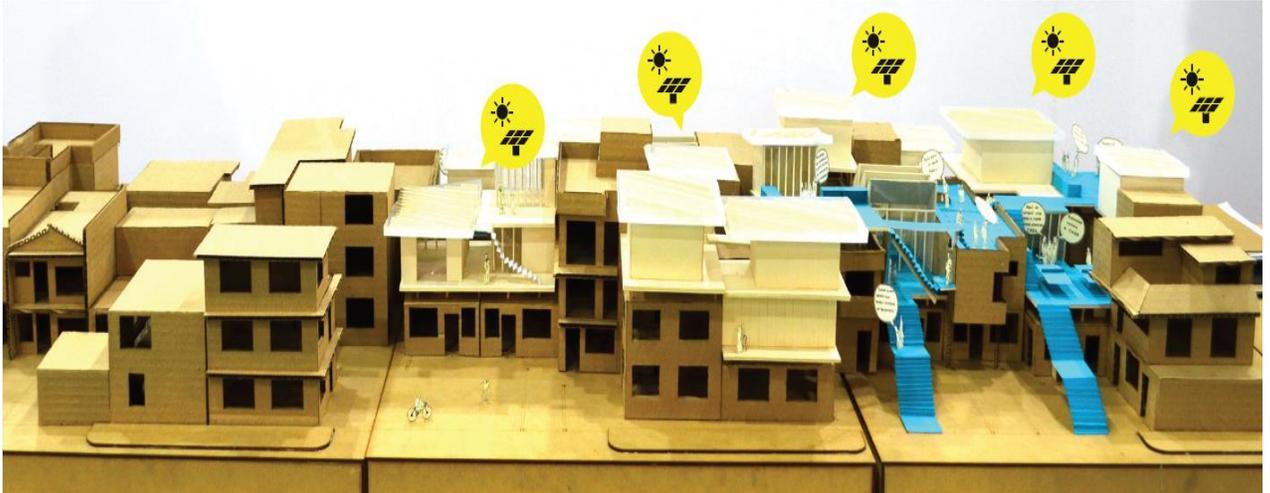


Fig. 29 Ejemplificación de una granja solar urbana.

Otra de las particularidades de la propuesta del equipo CASA UNAM, para alcanzar la asequibilidad del sistema, es la introducción de estufas, hornos y calentadores de agua de respaldo eléctricos. Esto permite al usuario tener mayores consumos de energía, y ganar lugar a poder implementar un sistema fotovoltaico ya que el retorno de inversión se logrará en menor tiempo, como se describió en el apartado anterior.

## 5 DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El diseño del sistema fotovoltaico está contenido en el *Project manual*. Documento oficial del reporte técnico que se entregó a los organizadores del SDE 2014, para verificar el cumplimiento de las reglas de competencia y las normas de construcción, cuyos planos de construcción se encuentran en el **anexo de planos**. [13]

Se explica en detalle las características de los módulos fotovoltaicos, el inversor, el cableado, las protecciones eléctricas de la parte de corriente alterna y de corriente continua, el sistema de puesta a tierra y la interfaz entre el sistema fotovoltaico y la acometida local.

Se realiza el cálculo correspondiente del rendimiento térmico de los módulos fotovoltaicos para cuantificar las pérdidas de potencia eléctrica por efectos térmicos en las celdas solares. Todos los parámetros de pérdidas por temperatura están dadas por el fabricante, y el resultado del rendimiento está definido por las condiciones meteorológicas del lugar de instalación.

Además se describen los cálculos correspondientes para seleccionar el tipo de conductor eléctrico y la protección eléctrica correspondiente que fueron utilizados para la instalación eléctrica de corriente continua y corriente alterna. En el criterio de selección de la sección transversal del conductor fueron considerados: el valor de la corriente, el factor de temperatura, el factor de agrupamiento y la caída de tensión por distancia del conductor. Todos estos cálculos fueron hechos con base en tablas de la Norma Oficial Mexicana (NOM 001 SEDE 2012) y del *National Electrical Code (NEC 2011 handbook)*.

Se muestran las características eléctricas principales del inversor que se utilizaron para realizar los cálculos correspondientes para poder operar el inversor con los parámetros de entrada y salida adecuados.

La posición y la distribución del sistema fotovoltaico sobre la azotea del prototipo de vivienda es clave para el cálculo final de la estimación de la producción energética. La disposición del sistema quedó determinada por el espacio físico disponible y por la interfaz mecánica de la cubierta con el sistema de soporte del arreglo fotovoltaico.

Se describe la configuración de los bastidores dependiendo el número de módulos fotovoltaicos que se instalaron sobre los mismos. Así como la interfaz mecánica sobre la cubierta y los bastidores.

Es importante mencionar que todos los dispositivos utilizados para la configuración del sistema fotovoltaico son productos de calidad con certificación de estándares internacionales, los cuales son claves para determinar el plan de mantenimiento y el ciclo de vida garantizado por el fabricante.

## 6 SIMULACIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La simulación del balance de energía del sistema fotovoltaico está contenido en el *Project manual*. Documento oficial del reporte técnico que se entregó a los organizadores del SDE 2014, para verificar el cumplimiento de las reglas de competencia y las normas de construcción. [14]

Es un informe detallado sobre el balance de energía eléctrica del prototipo de vivienda, en la que se evalúa la cantidad de energía que será necesaria para cubrir el total de energía demandada por las cargas con el sistema fotovoltaico. La idea es tener un esquema de consumo de energía eléctrica conocida como “*net zero solar power homes*”, en la que se promueve el adecuado dimensionamiento del sistema fotovoltaico para cubrir la demanda total anual utilizando como referencia las condiciones meteorológicas del contexto en cuestión.

En el cálculo de la producción energética anual, se tuvo que considerar tanto la del lugar de competencia (Versalles, Francia) como para el contexto local para el cual fue diseñado el prototipo de vivienda sustentable (Ciudad de México). Todos estos cálculos fueron hechos con base en el calendario de pruebas de operatividad del prototipo, estimando el consumo energético de cada uno de ellos, para saber cuál era la cantidad de energía que demandaría el prototipo en operación. Se describe la metodología para la estimación de producción energética y los beneficios ambientales que de ello derivan.

La lista de electrodomésticos describe cada una de las cargas eléctricas incluyendo las principales características técnicas dados por el fabricante, y la estimación de consumo de energía eléctrica estimada durante su uso en la competencia. Ésta estimación se hizo con base en el tiempo de

operatividad de cada carga eléctrica determinada por la organización del Solar Decathlon Europe durante la competencia.

Se explica un breve resumen del sistema fotovoltaico y su caracterización eléctrica en la totalidad de su integración como sistema. Los parámetros que se evaluaron para hacer el cálculo de la generación de energía fueron: Potencia pico instalada (kWp), Eficiencia térmica (%), Eficiencia del cableado (%), Eficiencia del inversor (%) y Recurso solar disponible (h).

Se explica brevemente las herramientas que se utilizaron para hacer el análisis del balance energético, en las cuales están involucradas herramientas de software y algoritmos de cálculo.

Estos resultados constan del cálculo anual, mensual y la semana de competencia de la energía eléctrica demandada por las cargas eléctricas. Los mismos resultados fueron obtenidos en los mismos rangos de tiempo para la producción de energía eléctrica con el sistema fotovoltaico propuesto.

El análisis del tiempo de recuperación de energía es de suma importancia, ya que nos da una idea del impacto sustentable que tiene este sistema dependiendo del contexto en donde se está operando. Consiste en evaluar la energía que fue utilizada para fabricar todos los dispositivos que componen al sistema fotovoltaico propuesto. Una vez cuantificada la energía utilizada para crear al sistema, ahora se compara con la cantidad energía que el sistema fotovoltaico produce en su ciclo de vida útil y se calcula cuanto tiempo tarda el sistema en retornar la energía con la que fue creado.

También se calcula la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto al tipo de producción energética del país de origen. Se analiza cuáles son los métodos de producción de energía eléctrica principales del país y se hace un promedio de la producción energética anual con respecto de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por dichas centrales de generación eléctricas. Y al utilizar el sistema fotovoltaico en el país de origen se genera una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> proporcional a las que originalmente se emitirían si se obtuviera energía de la red eléctrica local.

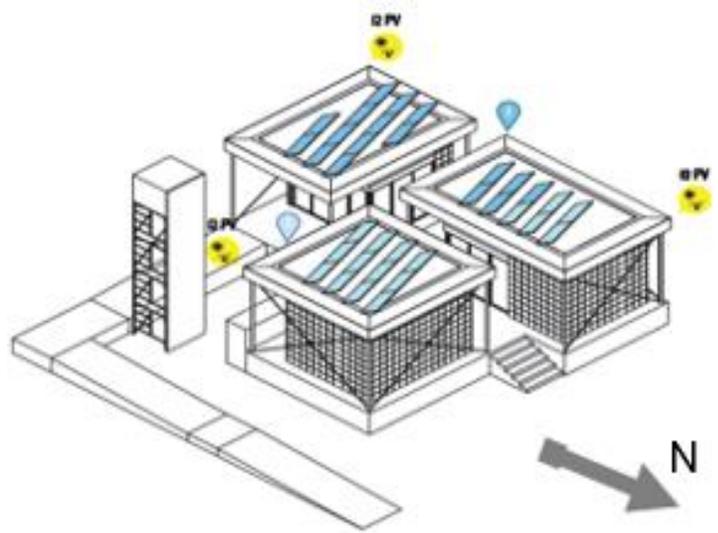
## **7 INSTALACIÓN E INTEGRACIÓN AL PROTOTIPO**

Muchos factores fueron considerados para la construcción del sistema fotovoltaico, y uno de esos factores clave para que este sistema trabajara al máximo rendimiento fue el integrar las tecnologías de un solo fabricante (Schneider Electric) para obtener el máximo de compatibilidad en los equipos que involucran al sistema.

Para terminar de diseñar eléctricamente al sistema, se tomó en cuenta el lugar de instalación, puesto que también está limitado al espacio disponible en la azotea del prototipo.

Este espacio cuenta con tres cubiertas de azotea a las cuales se les da la distribución como se muestra en la figura 30. De color azul claro se puede ver la distribución de la primera cadena y en color azul marino se puede apreciar la distribución de la segunda cadena.

**Fig. 30** Distribución y ángulo azimutal del arreglo fotovoltaico.



El sistema de sujeción para los módulos fotovoltaicos, llamado bastidor, está compuesto de perfiles de aluminio, porque como bien se sabe, los marcos de los módulos fotovoltaicos están hechos de aluminio y así se evita el par galvánico que se generaría al tener dos metales diferentes, garantizando estar exentos de corrosiones y deteriorar las propiedades de conducción eléctrica del material.

Sabiendo que el ángulo con respecto al sur geográfico y la fachada del prototipo están a  $23^\circ$  E, se logró un acoplamiento con la cubierta corrigiendo el ángulo azimutal a  $5^\circ$  E.

Después de varias iteraciones de diseño tras un trabajo multidisciplinario del equipo, se llegó al modelo final del diseño del sistema fotovoltaico como se mostró en la figura 4. Teniendo en cuenta que durante el proceso se tuvo que considerar las dimensiones espaciales del sistema estructural, se escogieron módulos fotovoltaicos poco convencionales para cubrir las necesidades arquitectónicas que demandaba el prototipo, como se muestra en la figura 31.

Es importante mencionar que esta labor tuvo un impacto muy fuerte en la parte de ingeniería y construcción llamada “*Building Integrated Solar Active Systems*” la cual fue parte de la evaluación de jurado del prototipo.



**Fig. 31** Modelo virtual de la distribución del sistema fotovoltaico.

El desarrollo fue un trabajo en conjunto que se logró tomando en cuenta todos los factores constructivos que involucraban al sistema con el prototipo y con el ambiente en donde se probó. Es por ello que la construcción y el diseño del mismo se ejecutan paralelamente para optimizar impactos en cualquier área del proyecto.

### 7.1 Pruebas del sistema en México

Debido al gran número de dispositivos que se utilizan en la instalación de un sistema fotovoltaico, se procedió a comprobar el funcionamiento y acoplamiento de ciertos sistemas que son elementales para el buen desempeño del sistema sobre el prototipo de vivienda. Las partes que se tuvieron que comprobar su funcionamiento fueron los módulos fotovoltaicos, el inversor y el acoplamiento mecánico del bastidor a las cubiertas de los habitáculos.



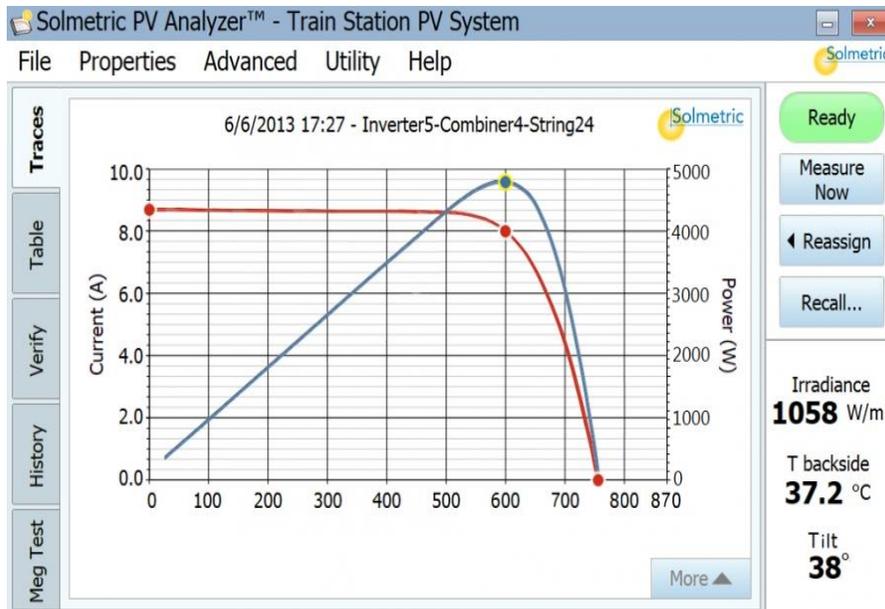
Fig. 32 Caracterización de módulos fotovoltaicos.

Una vez obtenidos los módulos fotovoltaicos de nuestro socio - patrocinador *Solartec*, se requirió hacer pruebas de manera individual para obtener la curva I-V, temperatura de celda e irradiancia a partir de un trazador de curvas (ver figura 32), con el cual se comprueba la calidad del módulo fotovoltaico y se verifica que no tengan algún defecto de fabricación.

PVA - 600	
Rango de voltaje PV	0 - 600 [V <sub>DC</sub> ]
Rango de corriente	0 - 20 [V <sub>DC</sub> ]
Precisión de voltaje	+/- 0.25 [V]
Precisión de corriente	+/- 40 [mA]
Puntos de rastreo I-V	100
Precisión de radiación	+/- 2 [%]



Fig. 33 Trazador de curvas PVA-600 [15].



El trazador de curvas (figura 33), nos muestra una interfaz donde se generan dos curvas principales (figura 34), la curva Corriente vs Tensión y la curva Potencia vs Tensión. Estas dos curvas representan los valores característicos del módulo fotovoltaico cuando está sujeto a valores estándar de medición (STC: 1000 W/m<sup>2</sup>, 25 °C, A.M. 1.5).

**Fig. 34** Interfaz del trazador de curvas [16]. (Ejemplo de Curva roja: I-V, curva azul: P-V)

El resultado que arroja el trazador de curvas sirvió como referencia para compararlo con la curva I-V que tiene la hoja de datos del fabricante dando un rango porcentual de error.

Cualquier variación irregular en estas dos curvas puede representar algún error de fabricación, verificando previamente que el modulo que está siendo analizado no este sombreado.

En cuanto a la puesta en marcha del inversor, se requirió de un arreglo fotovoltaico previamente instalado para cumplir con las características eléctricas de entrada que el inversor requiere para prender y verificar su correcto funcionamiento. Cabe mencionar que la hoja de datos del inversor, muestra que se puede acoplar a redes eléctricas que oscilan en 50 Hz y 60 Hz, aun cuando el inversor está específicamente diseñado para operar en Europa (240 V @ 50 Hz).

Una vez que nuestro socio – patrocinador *Schneider Electric* proporcionó el material completo del sistema, el lugar que se escogió para hacer las pruebas con el inversor fue el Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM, por tener instalaciones activas de sistemas fotovoltaicos.

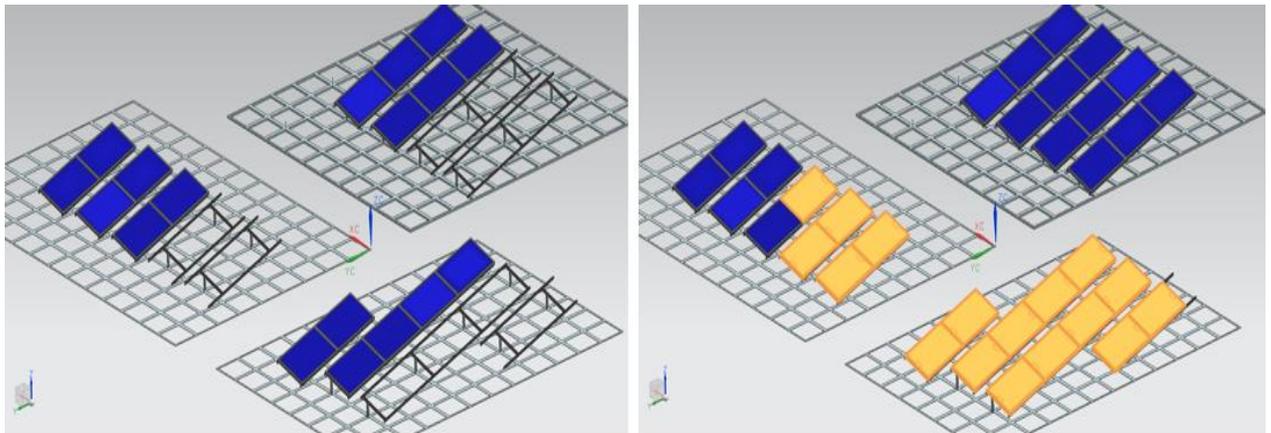


**Fig. 35** Instalación y prueba de inversor con arreglo fotovoltaico IER.

En el instructivo de funcionamiento del inversor se indica la configuración de inicio que se tiene que activar para estar configurado según las condiciones eléctricas a las que se va a operar. Finalmente una de las configuraciones correspondía a la operación de 240 V @ 60 Hz. Y gracias a las instalaciones con las que cuenta este instituto se pudo conectar con la configuración eléctrica requerida.

En la figura 34, se muestra el inversor que se probó, al cual se le conectaron cadenas de aproximadamente 2 [kWp], en cada uno de los dos seguidores de máxima potencia con el que cuenta el inversor Schneider Electric de 5 [kW]. Con esas cadenas fue suficiente para cumplir las condiciones eléctricas de entrada. Y para las condiciones eléctricas de salida se conectaron de fase a neutro a 240 V y tierra física.

Finalmente, se hizo una distribución espacial del arreglo fotovoltaico para poder obtener la eficiencia del cableado, utilizando como herramienta un programa de modelado en tercera dimensión como se muestra en la figura 36 (izquierda).



**Fig. 36** Separación entre filas y posición de los soportes sobre las cubiertas (Unigraphics NX 7.5).

Dada las dimensiones y el número de cubiertas del prototipo de vivienda, la separación entre cada fila de bastidores, según el cálculo, es de 0.89 [m]. Mientras que la separación entre cada nodo de apoyo proporcionado por las cubiertas es de 0.69 [m], por lo tanto se tomó la decisión de poner los apoyos de los bastidores por filas cada 2 nodos, como se aprecia en la figura 36 (derecha).

Cabe mencionar que la configuración cuadriculada de las cubiertas permite asentar al sistema de bastidores fotovoltaicos de una manera flexible, independientemente de la disposición azimutal y angular del lugar de aplicación.

La eficiencia del cableado en el arreglo fotovoltaico está determinado por las pérdidas de potencia provocadas por las caídas de tensión que existen en la distancia de los conductores y al interconectar todos los dispositivos involucrados en el esquema de conexión de corriente directa.



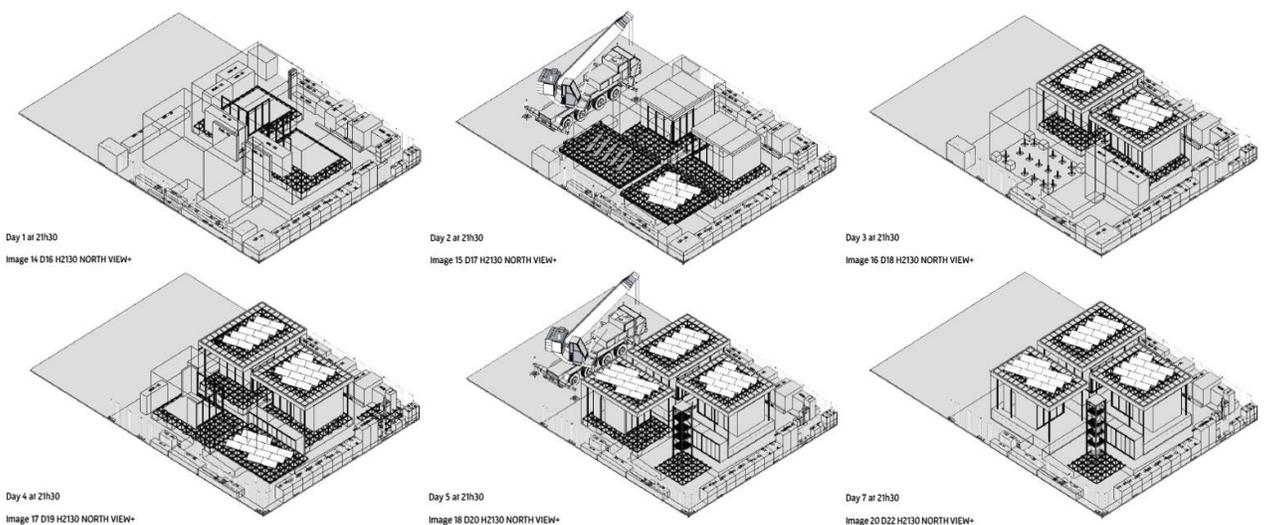
**Fig. 37** Interfaz bastidor – cubierta.

Los bastidores, que nuestro socio – patrocinador *Performed Line Products* (PLP) nos proporcionó, se componen de perfiles de aluminio del mismo material con el que están hechos los marcos del módulo fotovoltaico para evitar la corrosión por par galvánico. Los materiales de los tornillos y tuercas que se utilizaron fueron de acero inoxidable para seguir evitando las corrosiones que se pudieran presentar con el paso del tiempo.

Después de haber diseñado y dimensionado los bastidores, se construyeron tres filas de bastidores para corroborar las distancias y tener de manera certera que lo diseñado en computadora corresponde con la realidad dimensional de los materiales (ver figura 37).

## 7.2 Construcción del prototipo en el sitio de la competencia

La construcción del prototipo de vivienda constó de varias etapas (ver figura 38), en las cuales se tuvo que considerar solo el espacio del lote asignado por la competencia SDE 2014, para el equipo México UNAM.



**Fig. 38** Etapas de construcción.

En este pequeño espacio se tuvo que planear una logística que permitiera montar de manera gradual cada habitáculo suministrando el material necesario para cada fase de la construcción.

El tiempo estimado de construcción del prototipo de vivienda en el sitio de competencia fue de 7 días, pero por cuestiones de logística, recurso humano y materiales no se terminó en tiempo y forma como se estimaba, lo cual impactó directamente en la competencia del equipo ante los demás participantes, dejando consigo el retraso de entrada a la competencia por un día. Esto conllevó a la pérdida de los puntos asignados tanto en la parte de monitoreo continuo, como en tareas asignadas de operatividad del prototipo.



**Fig. 39** Construcción de las plataformas tridimensionales.

Para completar la construcción se tuvieron que aprobar varias inspecciones finales para corroborar que todos los aspectos de construcción se llevaron a cabo bajo las normas establecidas en el reglamento de competencia previamente descrita, y así poder entrar en competencia. Las inspecciones finales se llevaron a cabo por los miembros del comité técnico de la SDE 2014, los cuales certificaron las inspecciones, entre las cuales fueron:

- ✓ Eléctrica
- ✓ Fotovoltaica
- ✓ Hidrosanitaria
- ✓ Hidráulica
- ✓ Estructural
- ✓ Seguridad e higiene



Fig. 40 Montaje de habitáculos.

Cabe destacar que el equipo México UNAM tuvo poco presupuesto para ejecutar la obra, con tan solo 30 estudiantes y 3 asesores que dieron cuerpo y alma para terminar tan semejante hazaña. A diferencia de los equipos de primer mundo que llevaban a sus contratistas para construir las partes más pesadas de sus prototipos.

### ***7.3 Construcción e instalación de bastidores en sistema constructivo***

Una vez sentadas las bases del diseño a detalle del sistema, y habiendo adquirido todos los materiales necesarios para su construcción en el sitio de la competencia; se empezó con el armado de bastidores y acoplamiento de módulos fotovoltaicos a las cubiertas del prototipo.

Para optimizar y coordinar el tiempo con la obra en general se tuvieron que ensamblar los bastidores para los módulos fotovoltaicos previamente del ensamble de las cubiertas en donde fueron instaladas. Lo mismo pasó para cada estructura tridimensional de cubiertas.

Es importante mencionar que al estar listo el sistema de bastidores para la correspondiente cubierta se tuvo que cablear el conductor de puesta a tierra desnudo, a lo largo de los bastidores. Con el objetivo de dirigir las posibles descargas atmosféricas hacia el sistema de puesta a tierra física.



**Fig. 41** Instalación de bastidores sobre cubierta.

La figura 41 muestra la instalación de los módulos fotovoltaicos sobre la cubierta de un habitáculo que se encuentra en el piso, para después ser izada por medio de una grúa y acoplarla a los postes del sistema estructural de las cubiertas. Cabe aclarar que en la parte teórica del diseño eléctrico se tienen dos cadenas instaladas en 3 cubiertas.



**Fig. 42** Instalación de bastidores sobre cubierta.

## 7.4 Cableado de módulos entre cubiertas

Para el detalle de la instalación de las dos cadenas, se tomó como referencia una cubierta, la del habitáculo cocina, el cual sirvió como cubierta de unión entre las dos cadenas, para cablear hacia la caja de protecciones, tal como se muestra en la figura 43 (izquierda).

El cableado entre los habitáculos se realizó mediante perfiles PTR para pasar los cables a través del conduit metálico que a su vez estaba contenido en el perfil PTR blanco (ver figura 43). Estos mismos perfiles PTR no solo tenían el propósito de pasar los cables sino que también se utilizaban como guías para instalar una cortina para un mayor control de la irradiancia en el interior del prototipo.

Cabe mencionar que para reducir la magnitud de las sobretensiones inducidas por rayos, el cableado fotovoltaico de la parte de corriente continua, debe establecerse de tal manera que no se generen bucles (loops) entre los conductores, de tal manera que se lleven en paralelo desde el principio de la cadena hasta el final de la misma. Lo mismo ocurre para cualquier cadena que se tenga que instalar.



Fig. 43 Cableado entre habitáculos.

## 7.5 Caja de combinaciones

Establecidos los puntos de conexión entre módulos y a su vez con los 3 habitáculos, se instaló la caja de unión (ver figura 44) que contiene las protecciones de corriente directa y fusibles para cada cadena del sistema. Anteriormente se mencionó que las normas de instalación de sistemas fotovoltaicos tienen que cumplir las normas locales y las normas del sitio de competencia. Es por ello que la organización SDE 2014, declaró que se tiene que seguir la norma más estricta en cada punto de la instalación. Para el caso de la caja de unión, se instaló en la azotea como se pide en la norma mexicana para instalación de sistemas fotovoltaicos.



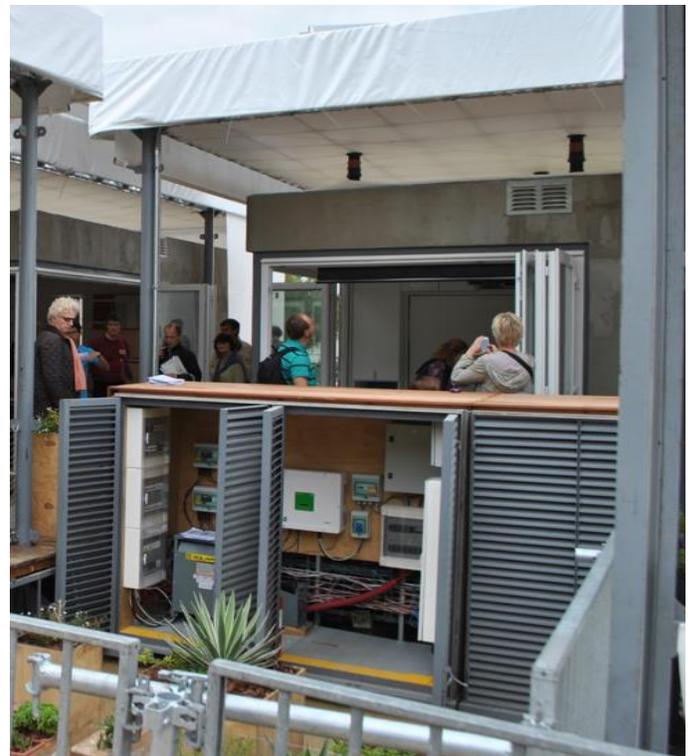
**Fig. 44** Caja de unión o combinación.

El cableado que llega a las protecciones de la caja de unión tiene que ir hacia el inversor central de 5 kW que se encuentra ubicado dentro de un módulo de la casa en el que están todos los controles llamado banca técnica del prototipo. La bajada de los conductores de corriente directa y la tierra física son conectadas primero a un interruptor de corriente directa y después al inversor que tiene como característica dos seguidores de máxima potencia.

## 7.6 Banca técnica

Esta banca técnica está compuesta por tres sistemas que dan vida al prototipo, los cuales se muestran en la figura 45. A la izquierda de la banca se encuentra el tablero principal de distribución, en la parte central se encuentra el sistema fotovoltaico (protecciones de DC, inversor central y protecciones de AC, de izquierda a derecha respectivamente), y en la parte derecha de la banca técnica se encuentra el equipo de monitoreo y control del prototipo.

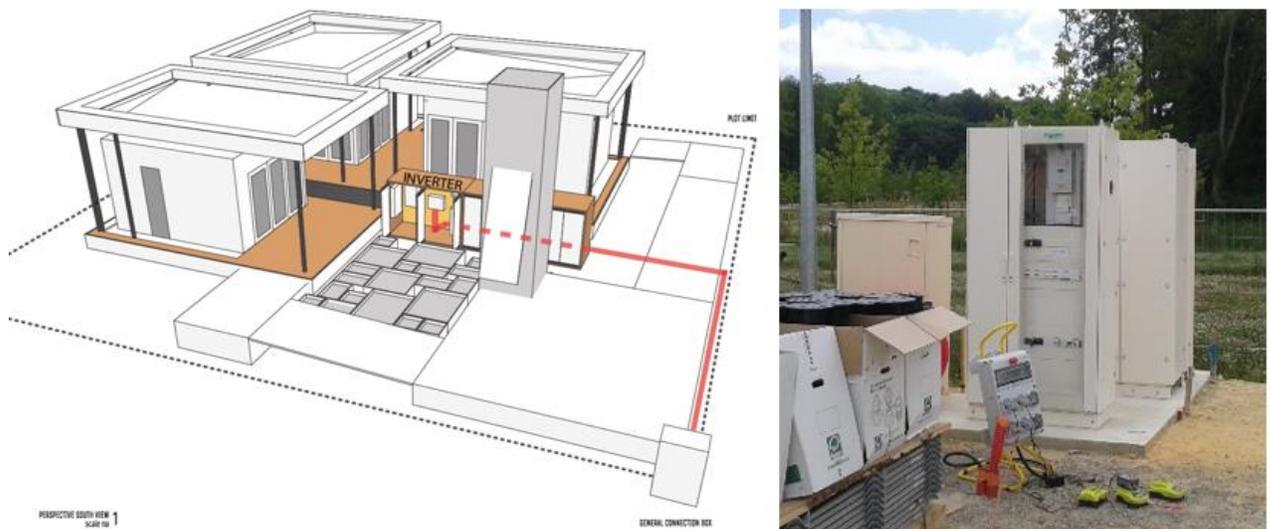
Todos los sistemas que componen la banca técnica se tuvieron que instalar de manera que los tres sistemas anteriormente mencionados tuvieran el suficiente espacio con una distribución estratégica, respetando todas las normas de seguridad e instalación.



**Fig. 45** Distribución de equipos dentro de la banca técnica, Centro de carga (izquierda) y Sistema domótico (derecha).

## 7.7 Interfaz del prototipo con la acometida de la Villa Solar

Por último, el sistema fotovoltaico se tuvo que conectar a la red mediante una interfaz previamente instalada por la organización SDE 2014 (ver figura 46), en la que se tuvo dos tipos de acometida, una de 240 V @ 50 Hz y la otra de 240 V @ 60 Hz. Como bien se sabe, cualquier sistema fotovoltaico residencial va conectado al tablero principal de distribución eléctrica para que la energía que se produce pueda ser consumida al mismo tiempo que se inyecta. La razón por la cual se pidió a la organización SDE 2014 el tener dos acometidas fue que las cargas que se instalaron en el prototipo son productos comercializados en México los cuales operan a condiciones de tensión y frecuencia diferentes de las condiciones europeas. Por lo que la conexión del sistema fotovoltaico de este prototipo se llevó a cabo directamente en la red eléctrica general de la Villa Solar que operó a 240 V @ 50 Hz. Mientras que para alimentar las cargas del prototipo, la organización del SDE 2014 tuvo que instalar un variador de frecuencia, el cual entregaba 240 V @ 60 Hz. Y gracias a que se contó con un transformador 2:1 se pudo dividir las tensiones para las cargas que necesitaran 120 V o 240 V pudieran operar.



**Fig. 46** Trayectoria de la canalización a la acometida instalada por SDE 2014.

## 7.8 Aspectos de seguridad e higiene en obra

Parte importante en toda obra de cualquier índole, es cuidar la integridad física y mental de todos los participantes en ella. Por tal motivo la organización SDE 2014 puso en práctica las normas de seguridad e higiene que se tuvieron que seguir para evitar accidentes y llevar a cabo la obra de una manera limpia y sana en el sitio de competencia. Dichas normas tuvieron que cumplir con los códigos de construcción mexicanos y franceses, haciendo énfasis en este último, ya que se tuvo una inspección oficial por parte de autoridades francesas para certificar que la obra podía continuar su curso.

Todos los procesos descritos en este capítulo, se llevaron a cabo conforme a las normas de instalación para contribuir a la seguridad de la operatividad de los equipos instalados en este prototipo de vivienda sustentable. Las normas principales se mencionan en el *Project Manual*.



**Fig. 47** Inspección de seguridad e higiene.

Una de las características de estas normas fue tener un código de colores en los cascos, los cuales eran:

- Verde: Operaciones de sitio/Obrero
- Rojo: Seguridad e higiene/Obrero
- Blanco: Obrero

## 8 RESULTADOS

Una parte significativa de la puntuación del concurso consiste en la medición de diferentes rubros y sobre la correcta ejecución de diversas tareas, como se mencionó en la sección del reglamento de competencia de la SDE 2014. El comité técnico del sistema de monitoreo de la SDE 2014 es el responsable del control de estas mediciones. Todos los sensores, cables, trípodes y el resto del material necesario para estas tareas fueron proporcionados por la organización. El monitoreo se estructura en dos áreas independientes: Eléctrica e Instrumentación, como se muestra en la figura 48.

MONITORING TYPES		
ELECTRICAL	INSTRUMENTATION	
CONTINUOUS MONITORING	CONTINUOUS MONITORING	MONITORING TASK
<p>4. Electrical Energy Balance</p> <p>4.1 Load consumption per surface area</p> <p>4.2 Positive electrical balance</p> <p>4.3 Temporary Generation-Consumption Correlation</p> <p>4.4 House adjustment to network load state</p> <p>4.5 Power peaks</p>	<p>5. Comfort Conditions</p> <p>5.1 Temperature</p> <p>5.2 Humidity</p> <p>5.3 Indoor Quality air CO2</p> <p>5.4 Indoor Quality air VOC</p> <p>6. House Function</p> <p>6.1 Refrigerator</p> <p>6.2 Freezer</p>	<p>5. Comfort Conditions</p> <p>5.5 Lighting</p> <p>5.6 Accoustic</p> <p>6. House Function</p> <p>6.3 Clothes Washer</p> <p>6.4 Clothes Dryer*</p> <p>6.5 Dish Washer</p> <p>6.6 Home electronics</p> <p>6.7 Oven</p> <p>6.8 Cooking*</p> <p>6.9 Hot water draws*</p> <p>6.10 Dining</p> <p>6.11 Water</p>

**Fig. 48** Tipos de monitoreo en competencia [17].

Cada una de estas partes que componen al monitoreo están establecidas en el reglamento de la competencia de la organización SDE 2014.

### 8.1 Generación de energía eléctrica en competencia

Una vez sentadas las bases en el reglamento de cada una de las pruebas, se obtuvieron los resultados provistos por parte del comité técnico de monitoreo de la SDE, de la generación de energía eléctrica con respecto a la radiación, y el consumo de energía eléctrica que tuvo el prototipo de vivienda durante el periodo de competencia.

Los resultados se presentan en gráficas que se muestran en la página oficial de la SDE, en la sección de monitores. Se muestran de manera comparativa las pruebas de monitoreo de cada equipo.

Como se menciona anteriormente, el equipo México UNAM tuvo su participación de manera oficial el segundo día de competencia, perdiendo todos los posibles puntos que se pudieron obtener al arranque de la competencia.

La figura 49 muestra las curvas de producción de energía que fueron generadas a lo largo del periodo de competencia. La mayoría de estas secciones de curvas muestran una irregularidad causada por las altas velocidades del viento, acarreamiento de sombreadamientos discontinuos al sistema fotovoltaico durante el día. Con excepción de los días 3 y 4 (sección de curvas entre Wed 02 y Fri 04), días en los que se mantuvo totalmente despejado.

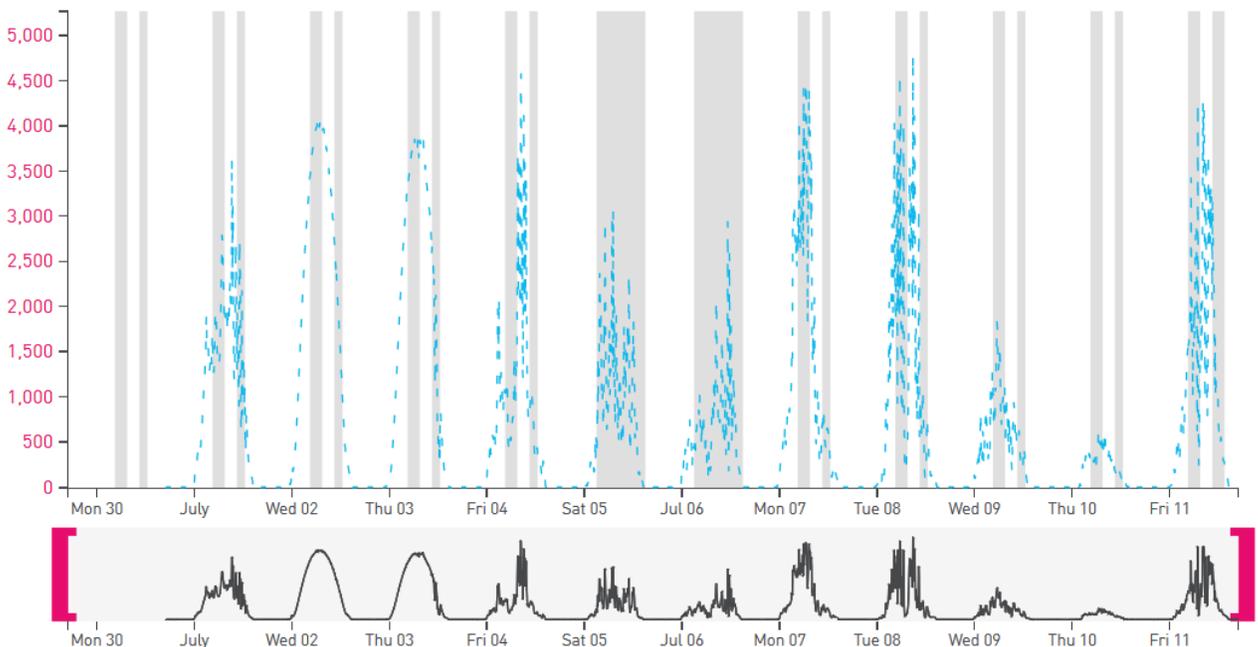


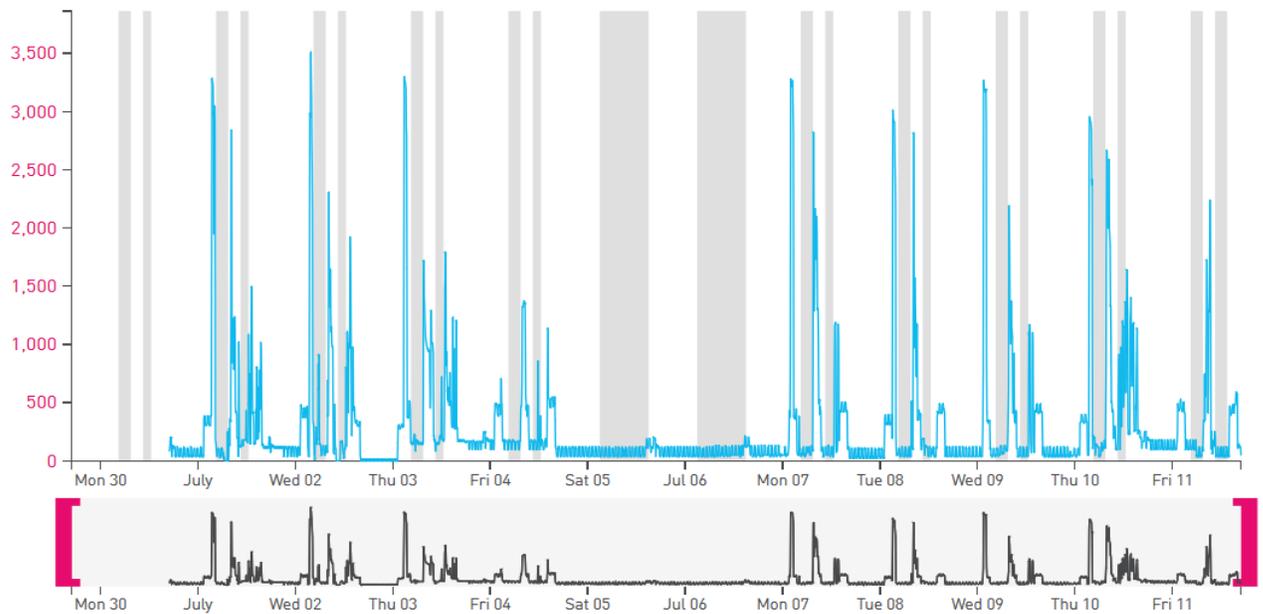
Fig. 49 Producción energética durante el periodo de competencia (kW vs día) [18].

Por el contrario, el consumo de energía (ver figura 51) se dio de manera estricta bajo el itinerario del calendario de operaciones del prototipo (ver figura 50), el cual se muestra en los anexo de esta tesis. Las pruebas del balance de energía fueron factor clave para la oportuna operación de los

equipos activos del prototipo, ya que como mencionan algunas de las pruebas, corresponden a estar en sintonía con la toma de corriente eléctrica de la red local y evitar sobrecargarla.



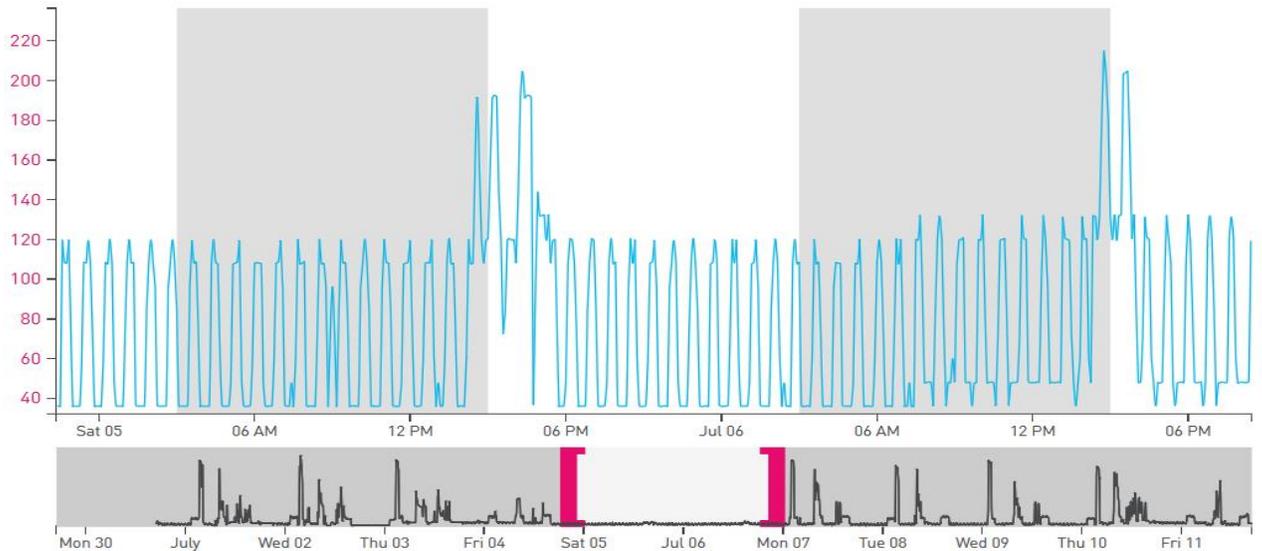
**Fig. 50** Actividades de operatividad de electrodomésticos.



**Fig. 51** Consumo de energía durante el periodo de competencia (kW vs día) [19].

En el calendario de operaciones del prototipo se especificaron dos días denominados pasivos, en los cuales no se permitía operar ningún electrodoméstico, climatización, ventilación o sistema activo que pudiera consumir alta potencia, a excepción de la iluminación. Esto fue para evaluar el rendimiento térmico de los prototipos y conocer el consumo de energía en modo espera de todos los aparatos conectados a los contactos eléctricos. Y debido a la ventaja que representaba

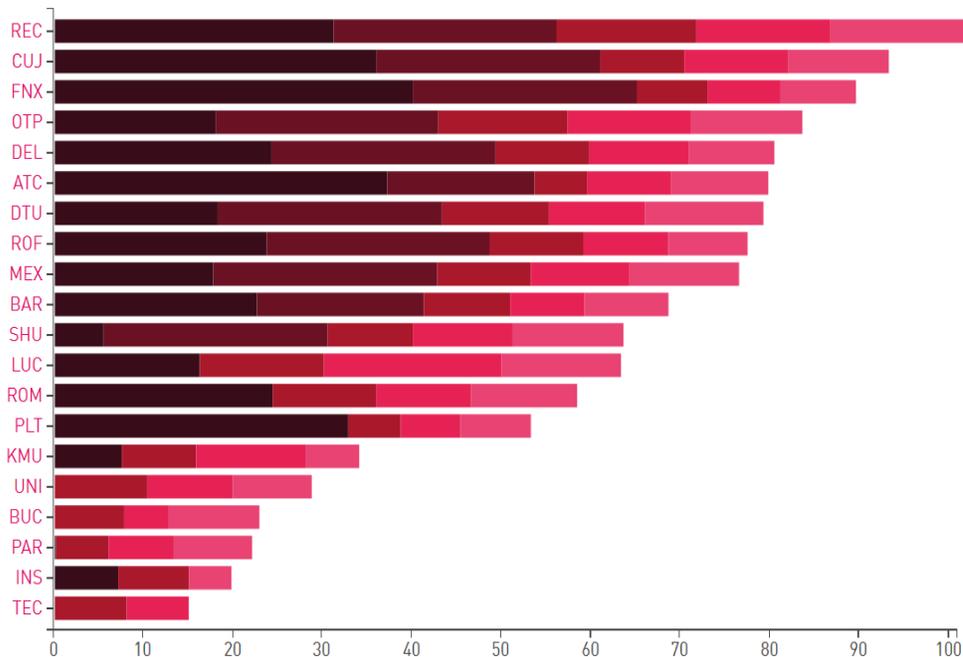
energéticamente el sistema hidráulico del prototipo CASA UNAM, teniendo como resultado un consumo de potencia promedio de 80 [W], como se muestra en la figura 52. Por lo tanto se ganó el total de puntos junto con otro equipo, en comparación con el resto de los equipos participantes.



**Fig. 52** Días pasivos (W vs h). La grafica superior corresponde al intervalo cerrado entre corchetes rosas de la gráfica inferior [20].

## 8.2 Balance de energía eléctrica en competencia

El resultado final de la prueba del balance de energía eléctrica se muestra en la figura 53 y 54. En donde cabe recordar que se obtuvo un buen lugar en la tabla final incluso aunque se haya perdido la puntuación del primer día de competencia.



**Fig. 53** Puntuación grupal del Balance de energía eléctrica por equipo. De izquierda a derecha siguiendo el patrón de tonalidad: Consumo de carga por unidad de superficie, Balance de energía, Correlación consumo-generación, Ajuste a la casa al estado de carga de la red y Picos de potencia [21].

## TOTAL SCORE



76.5  
/120

## SUB-CONTEST SCORE

Load consumption per surface area	17.72/40	Positive electrical balance	25/25
Temporary Generation-Consumption Correlation	10.56/20	House adjustment to network load state	11.02/20
Power peaks	12.2/15		

Fig. 54 Puntuación equipo *Team Mexico CASA UNAM* de la prueba Balance de Energía Eléctrica [22].

### 8.3 Evaluación del sistema en pruebas de jurado

De las 10 pruebas que componen al decatlón solar, el sistema fotovoltaico descrito anteriormente está involucrado de manera directa e indirecta, en cada una de las pruebas. De manera que a continuación se dan las principales aportaciones del sistema al argumento general de cada prueba:

- **Ingeniería y construcción:**

El prototipo fue evaluado como de excelencia por su diseño, ejecución de la construcción y la ingeniería de los sistemas. Se demostró un alto nivel de funcionalidad en los siguientes rubros:

- Estructura de la casa
- Diseño del sistema constructivo
- Diseño y construcción del sistema hidráulico
- Diseño y construcción del sistema eléctrico
- Diseño y construcción del sistema de energía solar
- Integración de los sistemas solares activos a la estructura de la casa

Además de llevar todo lo anteriormente mencionado en una forma segura, viable y con una adecuación perfecta para el contexto con el que el prototipo operará (Ciudad de México). El sistema fotovoltaico es parte importante de los requerimientos dentro de la ingeniería y construcción habiendo mencionada la filosofía de compartir recursos, aplicando los conceptos de granjas solares urbanas.

- ***Eficiencia energética:***

Lo que se buscó en esta prueba es reducir el consumo de energía y maximizar el funcionamiento de los componentes del prototipo. El sistema fotovoltaico contribuyó de manera significativa al no usar un banco de baterías, ayudando a evitar la doble conversión de la energía.

- ***Sustentabilidad:***

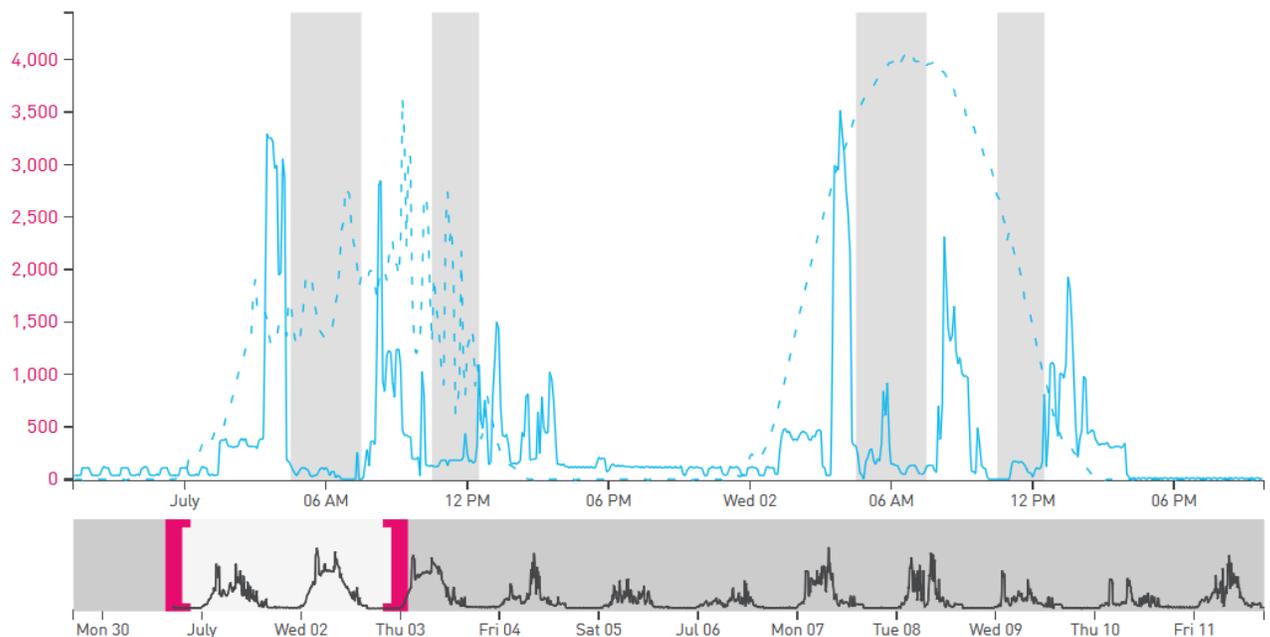
Para evaluar la sensibilidad ambiental de los equipos (diseño de la casa, técnicas, sistemas y componentes) y promover al máximo la reducción del impacto negativo al ambiente, durante la manufactura de los materiales, la fase de construcción del prototipo, el uso del mismo y el desecho. El sistema fotovoltaico contribuye de manera significativa al no usar un banco de baterías, ayudando a evitar el uso de componentes altamente tóxicos. También cabe mencionar que como es un prototipo de vivienda que opera completamente con energía solar, se evitan grandes porcentajes de emisiones de CO<sub>2</sub> indirectas al ambiente. Además de contribuir a la estabilidad de la red eléctrica local evitando requerir potencias altas dentro de las horas pico.

## 9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 9.1 Consumo vs Producción

El marco comparativo, con el cual fue evaluado el rendimiento del consumo y producción de energía eléctrica, se dio de manera homogénea para todos los equipos. Ya que todos los prototipos de vivienda operaron exclusivamente con energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico.

En la figura 55, se muestra un exceso de producción de energía eléctrica del sistema (curva en línea punteada), ya que el consumo normal de operación del prototipo de vivienda solar no requirió de grandes cantidades de energía eléctrica (curva en línea continua).



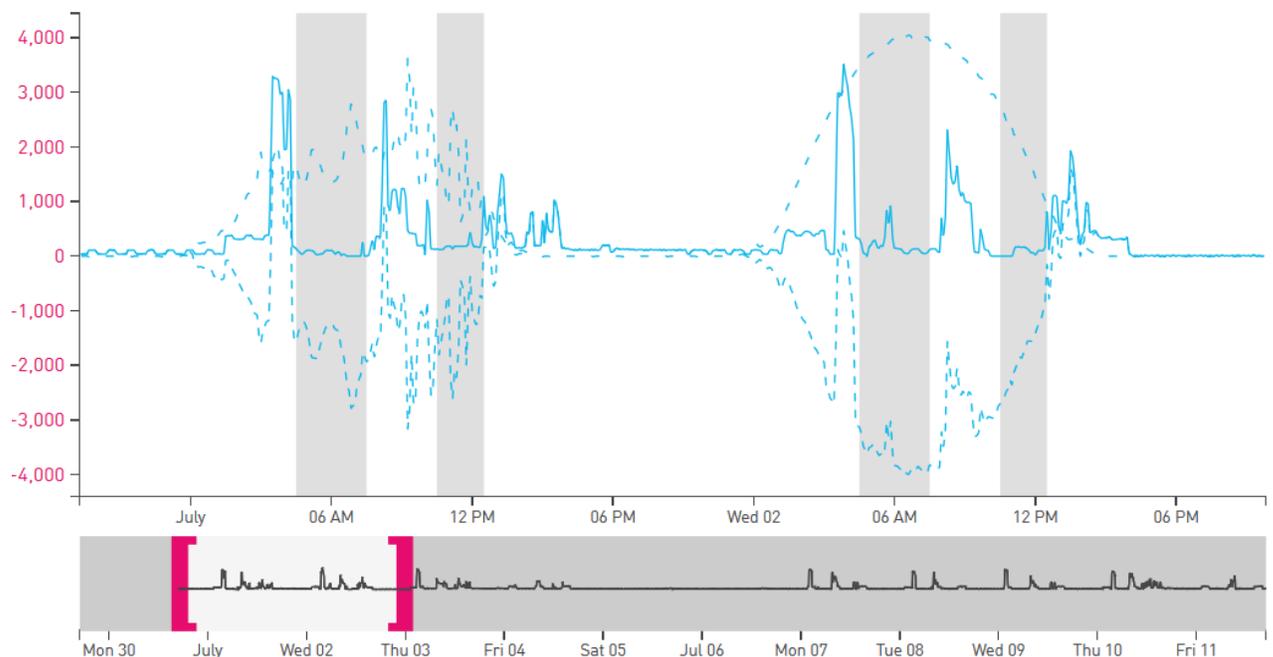
**Fig. 55** Curvas de producción vs consumo (kW vs h). La grafica superior corresponde al intervalo cerrado entre corchetes rosas de la gráfica inferior [23].

Aunque cabe mencionar que el argumento principal del sobredimensionamiento fue que se tomó la decisión de sobredimensionar el sistema debido a los malos pronósticos en las condiciones meteorológicas del lugar de competencia.

Mientras tanto, el consumo de carga por unidad de superficie tiene su valor de origen relativo, ya que el marco de comparación se dio con el resto de los 19 prototipos de la Villa Solar. Cabe destacar que de acuerdo a la ecuación 1, el prototipo CASA UNAM mostró una desventaja al tener un área medible muy pequeña con respecto a los demás prototipos de vivienda.

## 9.2 Interacción con la red eléctrica de la Villa Solar

Como se mencionó en el capítulo 7.7, la conexión de los conductores de consumo y de inyección de energía eléctrica a la acometida fue independiente, por lo cual el monitoreo de las variables de la interacción con la red se dio de manera especial para el prototipo CASA UNAM, por las condiciones de tensión y frecuencia. En la figura 56, la curva punteada en la parte negativa de la gráfica representa la energía exportada a la red, resultado de la diferencia entre la producción y el consumo energía eléctrica.



**Fig. 56** Interacción de CASA UNAM con la red eléctrica de la Villa Solar (kW vs h). La gráfica superior corresponde al intervalo cerrado entre corchetes rosas de la gráfica inferior [24].

Los picos de consumo que se encuentran en la segunda sección de curvas, son el claro ejemplo de una distribución correcta de la demanda de potencia, ayudando de manera global a la estabilidad de la red local, en los horarios punta que generalmente van de las 17:00 horas a las 22:00 horas, como se mencionó en la sección 3.1.2.2. Desafortunadamente esta demanda de potencia se da fuera de los horarios punta. La pregunta obligada sería: ¿la gente cambiaría su comportamiento de la manera en que solicita energía a la red en horarios en que el sistema fotovoltaico no está inyectando energía a la red eléctrica local, estando en un país donde la electricidad es subsidiada?

### 9.3 Días pasivos

Los denominados días pasivos sirvieron para comprobar el rendimiento térmico y la funcionalidad del prototipo de vivienda, bajo condiciones de no operar sistema activos, simulando un comportamiento cotidiano en el que no se tienen actividades de demanda de potencia. Esta es la razón de la importancia y ventajas de diseñar sistemas pasivos en el que el usuario tiene que tomar un rol activo para minimizar los consumos innecesarios de energía, maximizando la eficiencia energética de las viviendas.

**Fig. 57** Sistema de bombeo mecánico por medio de una bicicleta.



Una de las ventajas para el prototipo de vivienda del equipo México, es provocado por el sistema hidráulico tradicional mexicano, el cual cuenta con un tanque de agua elevado, suministrando pasivamente de presión hidráulica a todos los servicios, tanto de agua caliente como de agua fría. Ésta situación en competencia representó una ventaja ante el resto de los equipos participantes, ya que se presenta una carga eléctrica menos que conectar. Pero desafortunadamente la organización de SDE 2014 prohibió el uso de este dispositivo, ya que la operación del mismo no se daba a través de la energía solar. Siendo una propuesta que aportaría grandes beneficios a la eficiencia energética, no fue tomada en cuenta incluso cuando este tipo de competencias promueve a través del diseño, el ahorro y uso eficiente de la energía. El equipo CASA UNAM ha desarrollado una conciencia en la cual destaca que **la energía eléctrica más limpia es aquella que no es consumida.**

### 9.4 Rendimiento en competencia

El rendimiento del sistema fotovoltaico en competencia fue remarcable. La comparación del rendimiento del sistema con respecto a los demás equipos de la Villa Solar se dio dentro de los mejores 5 equipos de la competencia. A pesar de que las evaluaciones no se realizan con respecto al equipo que produzca más electricidad, es importante remarcar que el diseño y la instalación del sistema se dieron de manera eficaz y sin contratiempos, resaltando la gran importancia de una buena ejecución en la instalación durante la fase de construcción en la Villa Solar.



**Fig. 58** Instaladores del sistema fotovoltaico.

# 10 INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO EN UNIVERSUM

## 10.1 Descripción general

Como se menciona en el capítulo 3.2, el proyecto CASA UNAM tiene sus orígenes en la Ciudad de México, con objetivos claros para cumplir con las 10 pruebas del SDE 2014. Este prototipo de vivienda sustentable cuenta con el compromiso de ser instalado en el lugar del contexto local para el cual fue diseñado. Es por ello que se ha decidido buscarle un lugar en el cual va a estar en exhibición por un año. En este periodo de tiempo el prototipo de vivienda sustentable estará sometido a las pruebas de operatividad a las cuales fue sometido durante la competencia.



EXHIBICIÓN

El lugar propuesto para dicha actividad es el Museo de las Ciencias Universum (ver figura 59). En este lugar se exhibirá el prototipo de vivienda con ciertas adecuaciones, para operar normalmente con todos los sistemas que se incluyeron para la competencia.

Schneider Electric

Fig. 59 Sede de la instalación del prototipo de vivienda.

El prototipo tomó largo tiempo en llegar a Ciudad Universitaria debido a problemas aduanales, después de las fechas de competencia, por lo que la fecha de construcción se tuvo que aplazar para fechas posteriores en las que se tuviera certeza de que el total de materiales llegara sin problemas.

La figura 60 nos muestra el recorrido que tomaron los 6 contenedores de barco que fueron resultado del almacenamiento de los materiales de todo el prototipo.

Después de la etapa de transportación se tuvieron que resguardar los materiales en los almacenes de proveeduría de la UNAM, para aguardar a que el plan de construcción se llevara a cabo en las instalaciones de Universum.

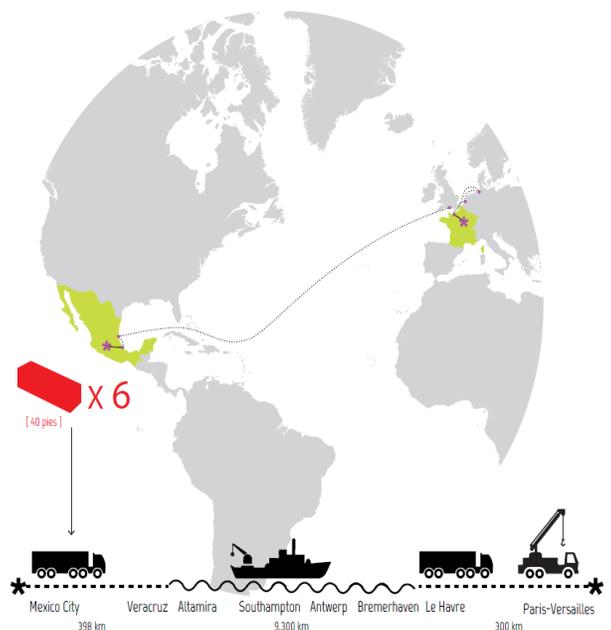


Fig. 60 Transportación del prototipo.

## 10.2 Configuración del sistema

El sistema fotovoltaico sufre dos cambios relevantes en su configuración original. Como se muestra en la figura 61, la parte del esquema de conexión de corriente alterna muestra la conexión directa de la salida del inversor al centro de carga principal con 240 V @ 60 Hz. Debido a que no se tienen las diferencias en compatibilidades con la frecuencia de la red local como se tuvo en competencia en la Villa Solar.

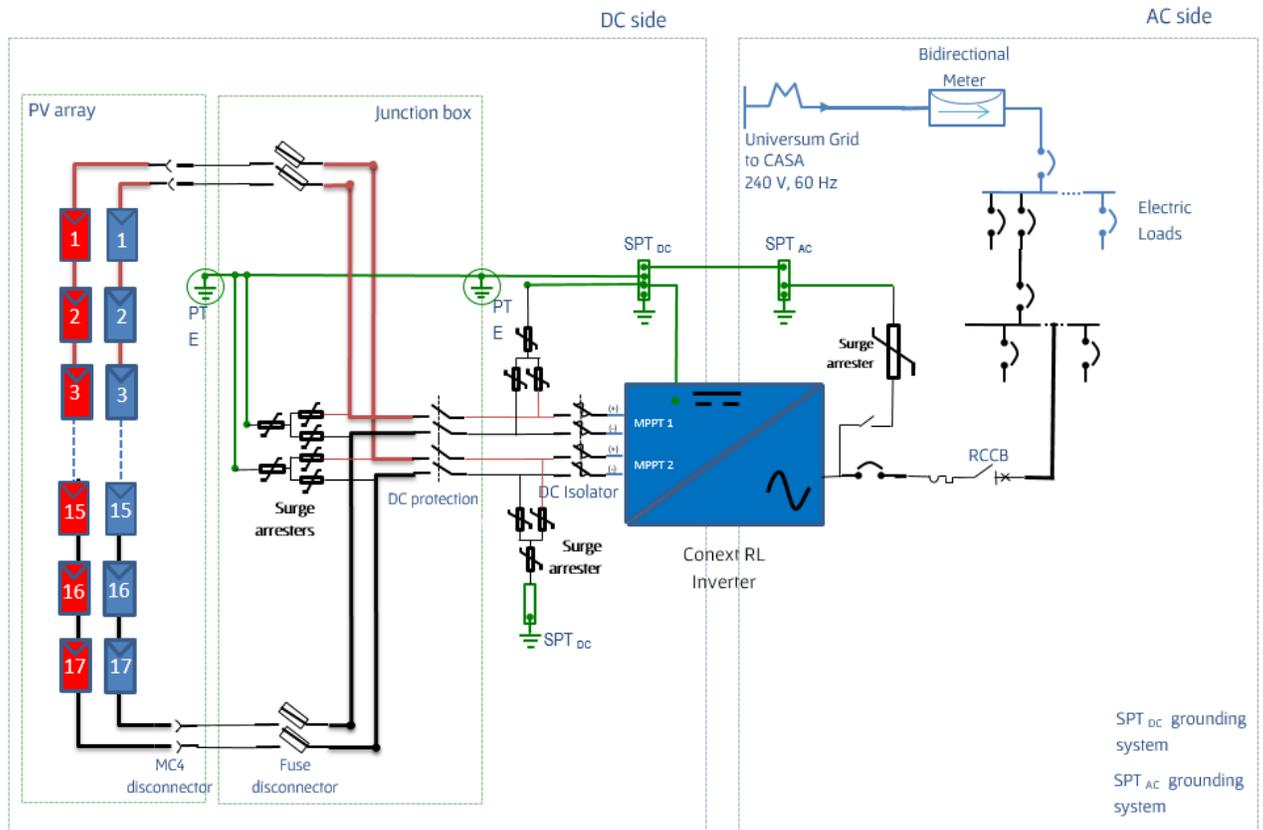
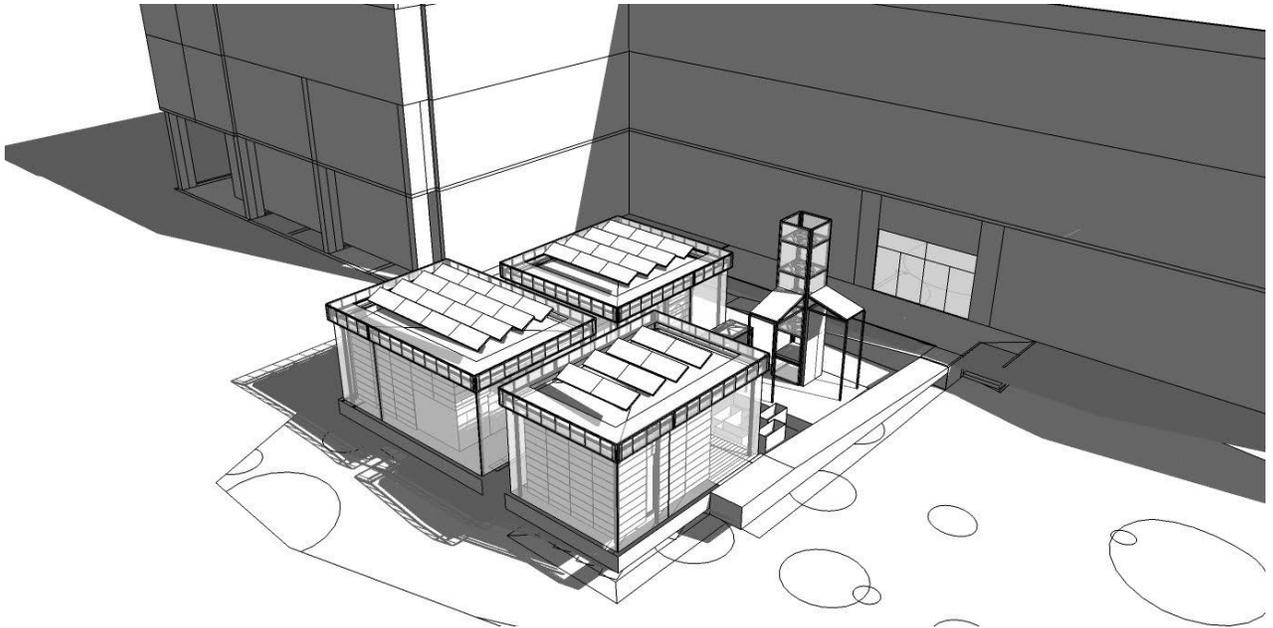


Fig. 61 Diagrama eléctrico del sistema fotovoltaico de 4.93 [kWp].

## 10.3 Instalación del sistema sobre cubiertas

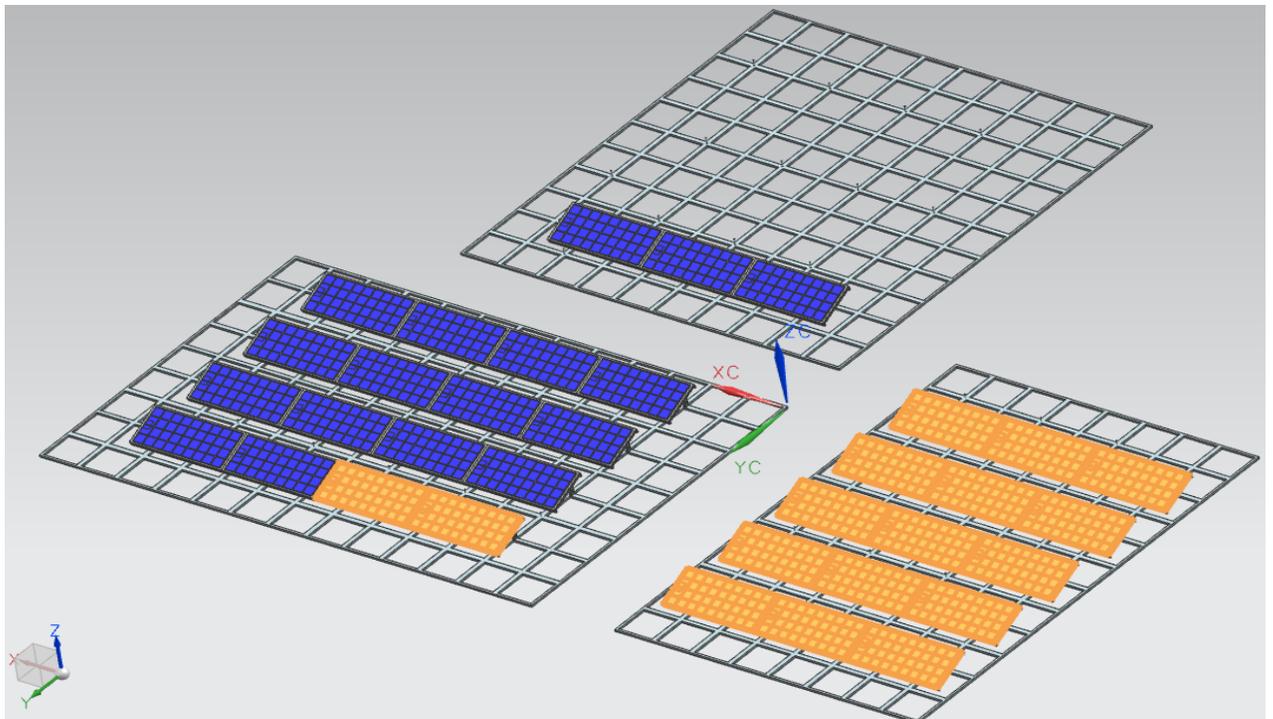
El segundo cambio substancial que se tuvo que realizar al sistema fotovoltaico, fue la distribución de las cadenas sobre el sistema estructural del prototipo ya que la orientación y el ángulo de inclinación tienen sus respectivos valores específicos para instalarse en la Ciudad de México. Una de las particularidades de la puesta en marcha en el nuevo lugar de instalación fueron los edificios colindantes, los cuales tienen alturas que a ciertas horas del día cubren cierto porcentaje de las cubiertas.

La distribución de las cadenas está dada por la orientación de la casa con respecto del norte geográfico al que se dispone. Como se muestra en la figura 62, la orientación de los módulos con respecto de las cubiertas se da de manera paralela, a comparación de cuando se tenía una orientación diferente en competencia.



**Fig. 62** Propuesta de orientación con respecto a las cubiertas.

Por otra parte, la distribución de los módulos fotovoltaicos sobre las cubiertas se da de manera en que la cubierta que se encuentra más hacia el norte le da más sombra en las épocas de invierno, y es por eso que se trata de evitar colocar los módulos fotovoltaicos en esa posición, como lo muestra la figura 63.



**Fig. 63** Distribución de las cadenas sobre las cubiertas (Unigraphics NX 7.5).

## ***10.4 Monitoreo del sistema***

Dado que el prototipo de vivienda estará un año exhibido en un jardín de Universum, la energía que inyecta y utiliza de la red eléctrica local, necesita ser monitoreada con fines de investigación. La idea es dar a conocer al usuario de la casa, cuanta energía se está produciendo con el sistema fotovoltaico, y cuanta energía consumen los electrodomésticos y demás cargas conectadas al sistema eléctrico de la casa. El sistema de monitoreo está determinado por un pequeño grupo parte del equipo multidisciplinario de diseño, el cual está encargado de llevar esa información al usuario.

# **11 CONCLUSIONES**

## ***11.1 Implementación del sistema fotovoltaico en competencia***

El diseño, análisis, instalación y ejecución del sistema fotovoltaico del prototipo CASA UNAM, cumplió con las expectativas y con los requerimientos mínimos necesarios para operar de manera competitiva. Cada una de las etapas, para que el sistema fotovoltaico tuviera un rendimiento de calidad, fueron importantes para llevar a cabo un diseño integral con ayuda del equipo multidisciplinario para llevar a cabo dicha integración armónica con los demás sistemas que componen el prototipo de vivienda sustentable CASA UNAM. El factor humano juega un papel importantísimo para poder lograr objetivos que se plantean aun cuando existan dificultades para llevarlo a cabo.

Otro punto importante que se tiene que mencionar es el hecho de que este sistema no cuenta con un banco de baterías. Un banco de baterías ayudaría a tener una mejor interacción con la red eléctrica local, puesto que se tendría energía que se almacena durante el día, siendo ocupada en horas pico, o suministrando potencia a las cargas en caso de que el sistema fotovoltaico no cubra la demanda de potencia, volviéndose así un sistema autónomo, pero con aportación de energía a la red eléctrica local. Es por ello que el sistema aquí descrito no obtiene la totalidad de puntos en el Balance de Energía, pero los recupera en la subprueba de Sustentabilidad, asignando un 3er lugar para el equipo *Team Mexico CASA UNAM*.

## ***11.2 Aportación personal al proyecto en general y al sistema fotovoltaico***

Es difícil describir cuales fueron las aportaciones al proyecto en general, puesto que el equipo multidisciplinario mantiene siempre una unión en la cual no se hace distinción individual de las contribuciones al proyecto, sino que se puede palpar en los resultados que derivan de estas actividades de diseño multidisciplinarias. La eficacia que tuvo este grupo para ejecutar el proyecto en general estuvo directamente ligado a la integración de cada persona al equipo. La aportación con la que contribuí al equipo fue de manera técnica y humana.

Aunque de manera estricta y cuantificable, la aportación personal a este proyecto es con el sistema fotovoltaico, el cual se describió a lo largo de toda ésta tesis de maestría.

Cabe mencionar que tuve que obtener conocimientos especializados sobre los sistemas fotovoltaicos en el Instituto de Energías Renovables, UNAM. El Dr. Aron Sánchez y el Ing. Jorge A. Tenorio principalmente, tuvieron una importante participación en este proyecto dotándome de los conocimientos necesarios acerca de éstos sistemas y su implementación a nivel profesional en todos los aspectos en los que los sistemas fotovoltaicos están involucrados. Y de la mano con el diseño integral del prototipo de vivienda sustentable se aprendió a formar sinergias entre disciplinas para que el sistema fotovoltaico cumpliera con las expectativas y principios de diseño con los cuales se gestó el proyecto en general.

### ***11.3 Granjas solares urbanas***

Las granjas solares urbanas representan una gran oportunidad para poder implementar de manera económica estos sistemas de manera masiva. Aunque actualmente se necesitan desarrollar políticas públicas y técnicas acerca de la instalación de estas tecnologías para sacar el máximo de la capacidad que pueden dar estos sistemas.

También cabe destacar que el uso de los electrodomésticos 100 % eléctricos, son una importante alternativa para la asequibilidad de una granja solar urbana. Sin mencionar las mejoras en las condiciones de calidad de vida, puesto que ya no se están generando emisiones de CO<sub>2</sub> directas en el interior de las viviendas.

### ***11.4 Desarrollo sustentable***

Este proyecto ayuda a dar una visión muy amplia sobre lo que es compartir los recursos, consolidando un vínculo social importante con un sentido de solidaridad para beneficio mutuo. Y el cambio no se da solo en el aspecto social, sino también en la parte ecológica, porque si se toman las consideraciones de operar electrodomésticos 100 % eléctricos, las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel global disminuirían en un gran porcentaje. Destacando la aportación que tiene el sistema fotovoltaico al ser una manera de generación de energía eléctrica descentralizada y los beneficios que de ello se generan. Es indispensable que las soluciones se den en masa, haciendo sinergias entre las autoridades encargadas de la generación de energía y la población en general, para tener un impacto trascendente en el ambiente de la Ciudad de México.

### ***11.5 Áreas de oportunidad para trabajos a futuro***

Existen identificadas dos áreas de oportunidad en las que el usuario es parte de la solución.

La primera de ellas está en el caso de la demanda de potencia a la red eléctrica local, el usuario tendría que ser consiente de cuáles son los horarios punta en los que la red eléctrica local tiene una alta demanda de potencia, o bien que el usuario sea informado a partir de una tecnología desarrollada o de un *Smart Grid* en los momentos en los que puede operar electrodomésticos de altas potencias para no afectar la estabilidad de la red eléctrica local.

La segunda área de oportunidad reside en el desarrollo de sistemas de seguimiento solar de bajo costo y consumo de energía. Esto puede ayudar a ampliar la campana de generación del sistema fotovoltaico y tener un rango más amplio para mejorar la interacción de la vivienda con la red

eléctrica. Además de incrementar la producción de energía eléctrica, y de esa manera contribuir a la dispersión de sistemas de producción de energía eléctrica no centralizadas.

## REFERENCIAS

- [1] Recuperado el 24 de junio de 2013, de <http://ww21.lightemittingdiodes.org/>
- [2] Instalaciones solares fotovoltaicas. Enrique Alcor Cabrerizo. Progensa. Promotora general de estudios, S.A., 2008.
- [3] Conversión de luz solar en energía eléctrica: Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos. Ing. Héctor L. Gasquet. Solartronic. 2004.
- [4] Unidad de educación continua: Sistemas fotovoltaicos. Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica. Miguel Alonso Abella. Era Solar. 2005.
- [5] Recuperado el 24 de junio de 2015, <http://www.cleanergysolar.com/2011/08/17/tutorial-solar-fotovoltaica-%E2%80%93componentes-del-sistema-fotovoltaico-2-el-panel-o-generator-solar-fotovoltaico/>
- [6] Recuperado el 24 de junio de 2015, <http://www.cleanergysolar.com/2011/08/17/tutorial-solar-fotovoltaica-%E2%80%93componentes-del-sistema-fotovoltaico-2-el-panel-o-generator-solar-fotovoltaico/>
- [7] Recuperado el 24 de junio de 2015, <http://www.solartec.mx/productos/modulos/policristalinos/>
- [8] Recuperado el 24 de junio de 2015, <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/6900-solar-for-residential/6910-grid-tie-inverters-ce-emea-apac/62091-conext-rl/>
- [9] Recuperado el 24 de junio de 2015, [http://www.cfe.gov.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/CFE\\_y\\_la\\_electricidad\\_en\\_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx](http://www.cfe.gov.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx)
- [10] Recuperado el 24 de junio de 2015, [http://app.cfe.gov.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_casa.asp](http://app.cfe.gov.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_casa.asp)
- [11] Recuperado el 6 de julio de 2015, [http://www.fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=108&Itemid=180](http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=180)
- [12] Recuperado el 24 de junio de 2015, [http://www.cfe.gov.mx/ConoceCFE/Desarrollo\\_Sustentable/Paginas/Energia-renovable.aspx](http://www.cfe.gov.mx/ConoceCFE/Desarrollo_Sustentable/Paginas/Energia-renovable.aspx)
- [13] Project manual *Team Mexico CASA UNAM*, p. 248, recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/documentation>
- [14] Project manual *Team Mexico CASA UNAM*, p. 282, recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/documentation>
- [15] Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solmetric.com/pvanalyzermatrix.html>
- [16] Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solmetric.com/pvanalyzermatrix.html>
- [17] Reglamento general de competencia, p. 40 sde2014\_rules\_v4.pdf
- [18] Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/monitoring>
- [19] Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/monitoring>
- [20] Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/monitoring>
- [21] Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/monitoring>
- [22] Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/monitoring>
- [23] Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/monitoring>
- [24] Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/monitoring>

## ANEXO

## Glosario de terminología utilizada.

**Radiación solar:** Es la emisión de ondas electromagnéticas por el sol.

**Irradiancia:** Es la potencia incidente por unidad de área de cualquier tipo de radiación electromagnética.

**Masa de aire:** Es la posición del sol con respecto a la horizontal.

**Radiación directa:** Es la radiación que llega directamente del sol.

**Radiación difusa:** Es la radiación reflejada que llega a la tierra por las nubes o los albedos.

**Radiación global:** Es la radiación directa por el sol y la radiación difusa al mismo tiempo.

**Meteorología:** Es la ciencia que se encarga del estudio de los fenómenos atmosféricos, las propiedades de la atmosfera, especialmente la relación con el tiempo atmosférico, la superficie de la tierra y los mares.

**Equinoccio:** Momento del año en el que el sol, en su momento aparente, pasa por el ecuador, la noche y el día duran lo mismo.

**Solsticio:** Momento del año en el que el sol alcanza su cenit en el trópico de cáncer y en el trópico de capricornio, el día y la noche son más largos respectivamente.

**Cenit:** Es el punto más alto con relación al observador donde el sol alcanza los 90° con respecto a la horizontal.

**Semiconductor:** Elemento capaz de conducir corriente o no dependiendo de las condiciones externas y materiales, pudiendo controlar la corriente bloqueándola o dejándola conducir.

**Fusible:** Dispositivo que contiene un conductor de baja resistencia que al haber una sobre corriente este se funde abriendo el circuito.

**Interruptor termomagnético:** Dispositivo que sirve para interrumpir la corriente cuando se presenta una sobrecarga o un cortocircuito.

**Varistor (*Surge arrester*):** Componente electrónico que sirve para transitorios de alto voltaje para la protección de descargas atmosféricas.

**Diodo:** Dispositivo electrónico que tiene como propiedad de conducir en un solo sentido la corriente.

**Ampacidad:** Capacidad del dispositivo o conductor para conducir corriente sin que se dañe el material.

**Piranómetro:** Dispositivo de medición que sirve para la medición de irradiancia en un campo de visión de 180°.

**Termómetro:** Aparato de medición de temperatura.

**Irradiación:** Cantidad de energía en forma de radiación solar.

**Temperatura:** Medición cualitativa del grado de frío o calor.

**Sensor:** Es un dispositivo capaz de convertir cualquier respuesta del medio físico en una señal que puede ser leída o interpretada por el observador.

**Eficiencia:** Es la razón de conversión de la energía de salida con respecto a la energía de entrada.

**NOCT:** Significa (Normal Operating Cell Temperature) Operación Normal de la Temperatura de la Célula.

## Planos de construcción.



**PROJECT DRAWINGS #6. TEAM MEXICO UNAM**  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Design Adjustments Documentation & Dissemination Materials  
June 2nd - 2014



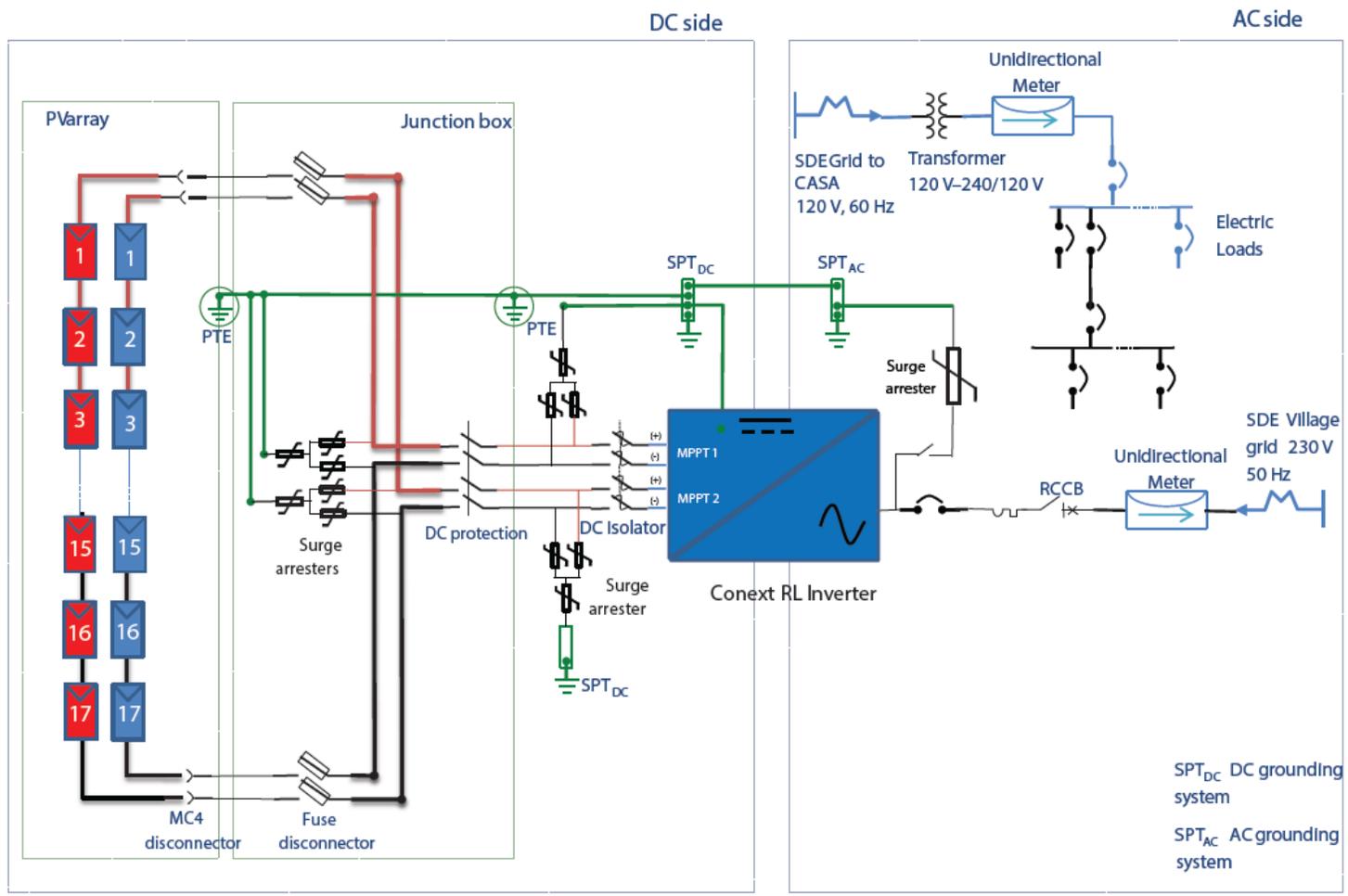
Mark	Deliverable	
1	01/04/2013	# 1
2	01/07/2013	# 2
3	01/11/2013	# 3
4	03/03/2014	# 4
5	30/04/2014	# 5
6	02/06/2014	# 6
		# 7
Date	02/06/2014	
Drawn by	JES	
Checked by	SMV	
Approved	HCM	

COVER SHEET  
**GE-001**



TEAM MÉXICO UNAM

www.dsolar.mx



Mark	Deliberable
1	01/04/2013 # 1
2	01/07/2013 # 2
3	01/11/2013 # 3
4	03/03/2014 # 4
5	30/04/2014 # 5
6	02/06/2014 # 6

Date 02/06/2014  
 Drawn by FG  
 Checked by FG  
 Approved JT

PHOTOVOLTAIC SYSTEM GENERAL  
**PV-001**



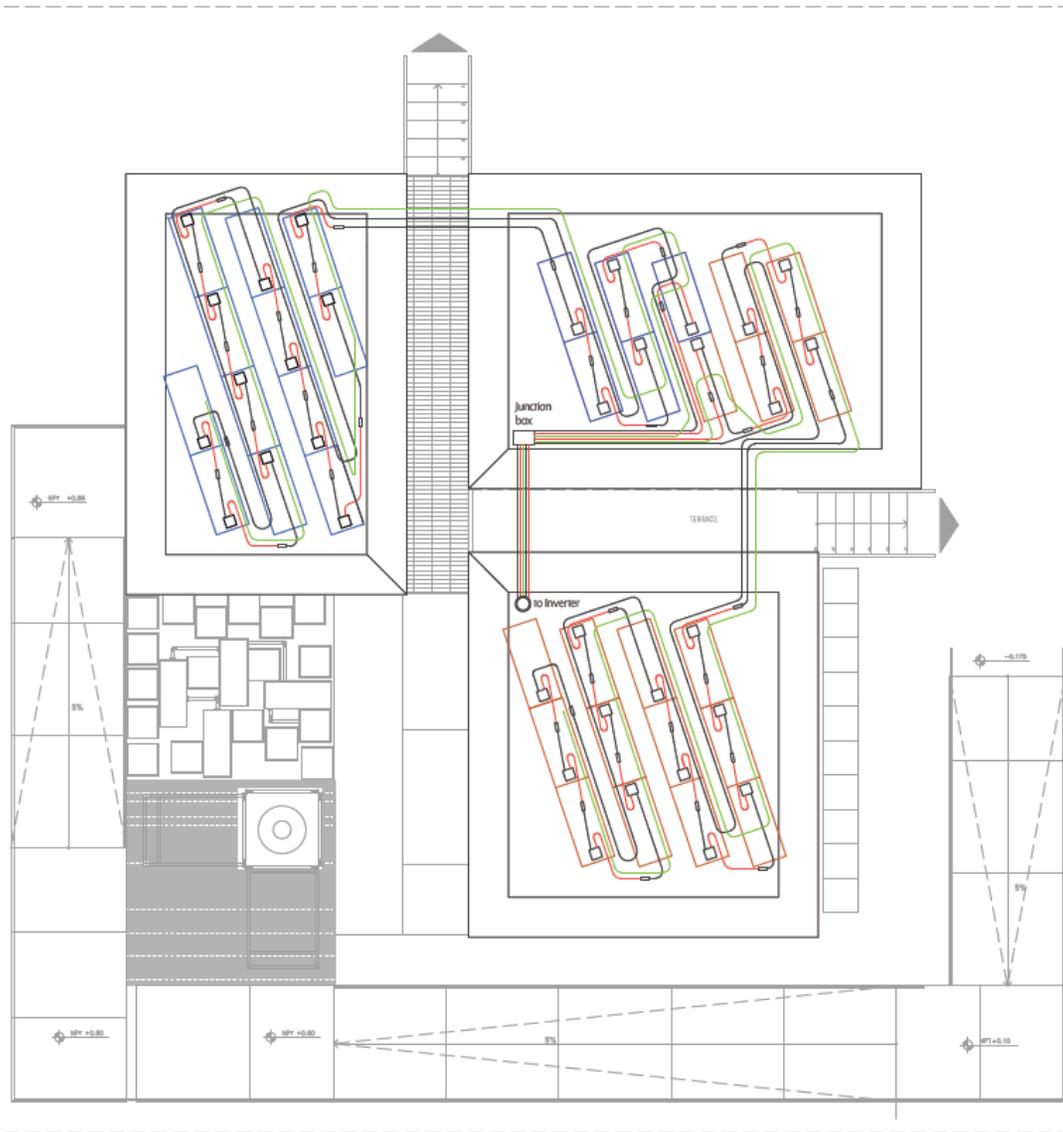
TEAM MÉXICO UNAM

www.dsolar.mx



NOTES:

- String 1
- String 2



LAYOUT PLAN  
1:75

Mark	Deliberable
1	01/04/2013 # 1
2	01/07/2013 # 2
3	01/11/2013 # 3
4	03/03/2014 # 4
5	30/04/2014 # 5
6	02/06/2014 # 6

Date 02/06/2014

Drawn by JR

Checked by FG

Approved JT

PHOTOVOLTAIC  
SYSTEM GENERAL

PV-002



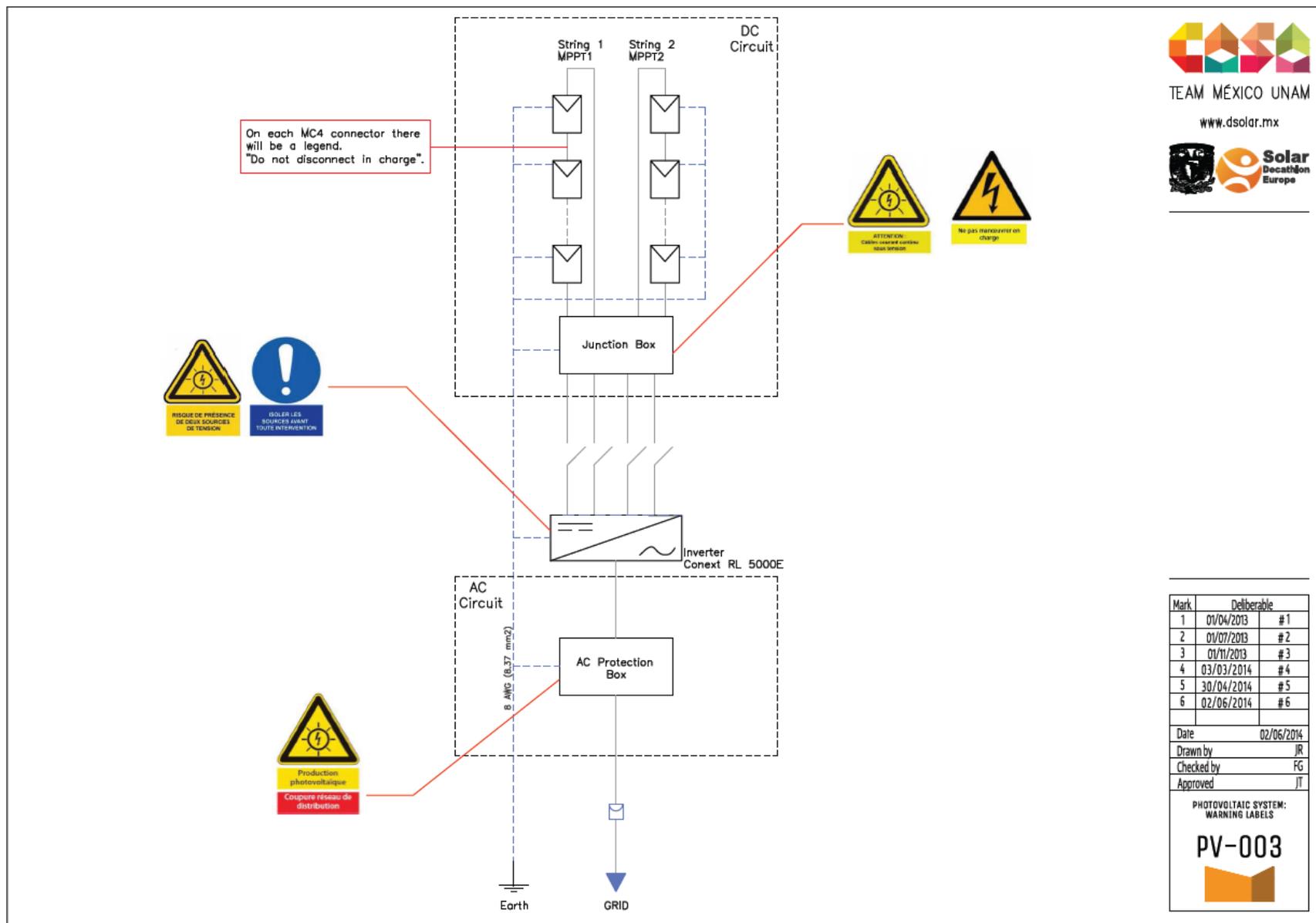


TEAM MÉXICO UNAM

www.dsolar.mx



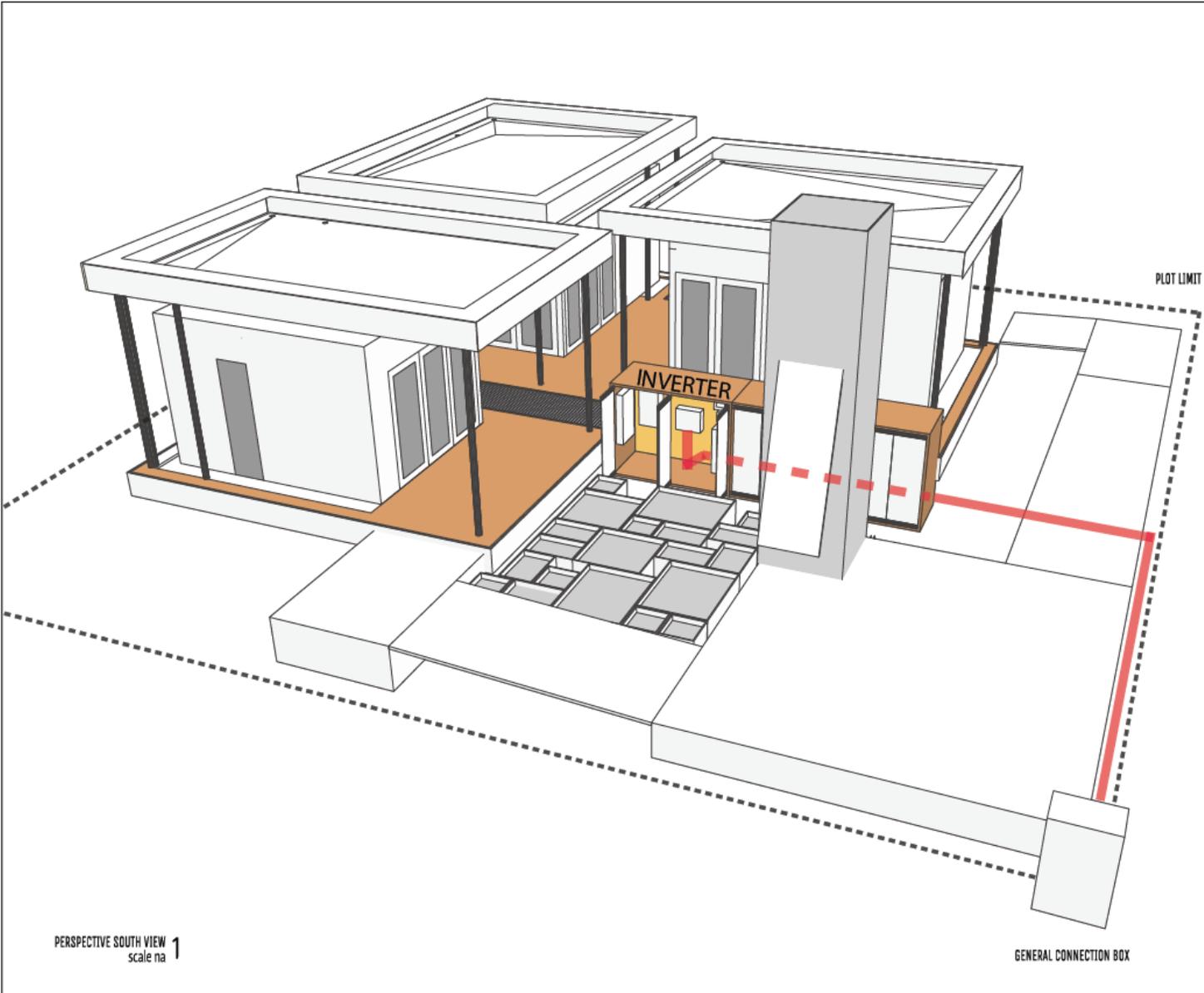
Mark	Deliberable	
1	01/04/2013	# 1
2	01/07/2013	# 2
3	01/11/2013	# 3
4	03/03/2014	# 4
5	30/04/2014	# 5
6	02/06/2014	# 6
Date 02/06/2014		
Drawn by JR		
Checked by FG		
Approved JT		
PHOTOVOLTAIC SYSTEM: WARNING LABELS		
<b>PV-003</b>		





TEAM MÉXICO UNAM

www.dsolar.mx



PERSPECTIVE SOUTH VIEW 1  
scale na

GENERAL CONNECTION BOX

Mark	Deliberable
1	01/04/2013 #1
2	01/07/2013 #2
3	01/11/2013 #3
4	03/03/2014 #4
5	30/04/2014 #5
6	02/06/2014 #6

Date 02/06/2014  
Drawn by SJ  
Checked by FG  
Approved JT

PHOTOVOLTAIC SYSTEM  
GENERAL:  
GRID INTERCONNECTION

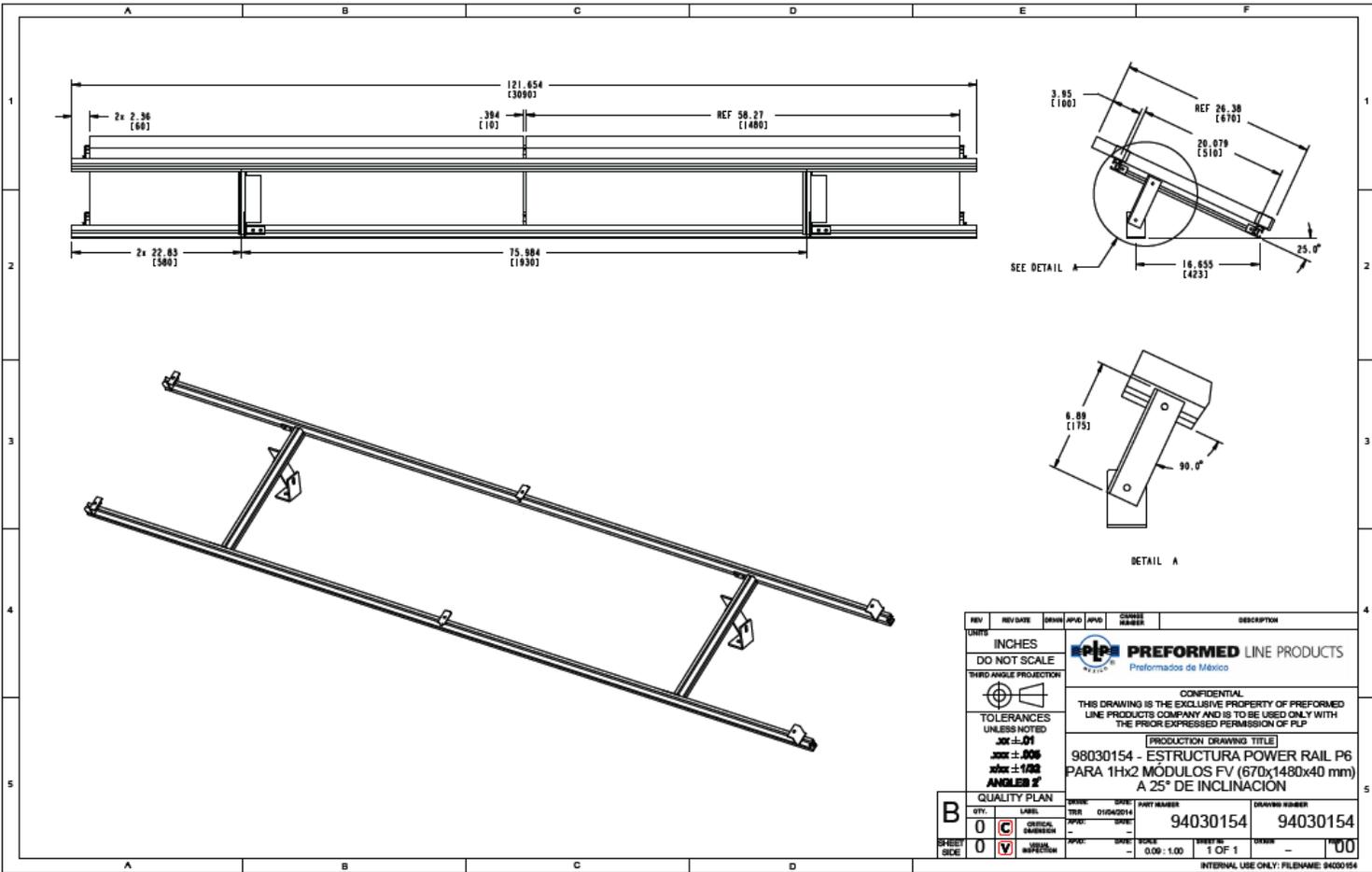
**PV-004**





TEAM MÉXICO UNAM

www.dsolar.mx



REV	REV DATE	DESIGN	APPROVED	COURSE NUMBER	DESCRIPTION

UNITS: INCHES  
DO NOT SCALE

THIRD ANGLE PROJECTION

TOLERANCES UNLESS NOTED  
 DIM ± .01  
 ANGLES ± .005  
 ANGLES 2'

QUALITY PLAN

QTY:	0	CRITICAL DIMENSION	
SHEET SIDE:	0		

CONFIDENTIAL  
 THIS DRAWING IS THE EXCLUSIVE PROPERTY OF PREFORMED LINE PRODUCTS COMPANY AND IS TO BE USED ONLY WITH THE PRIOR EXPRESSED PERMISSION OF PLP

PRODUCTION DRAWING TITLE  
 98030154 - ESTRUCTURA POWER RAIL P6 PARA 1Hx2 MÓDULOS FV (670x1480x40 mm) A 25° DE INCLINACIÓN

DATE:	01/04/2013	DRAWN BY:	PLP
DESIGNED BY:		CHECKED BY:	FG
PART NUMBER:	94030154	DRAWING NUMBER:	94030154
SCALE:	0.00 : 1.00	SHEET NO.:	1 OF 1

INTERNAL USE ONLY: FILENAME: 94030154

Mark	Deliberable
1	01/04/2013 #1
2	01/07/2013 #2
3	01/11/2013 #3
4	03/03/2014 #4
5	30/04/2014 #5
6	02/06/2014 #6

Date: 02/06/2014  
 Drawn by: PLP  
 Checked by: FG  
 Approved: PLP

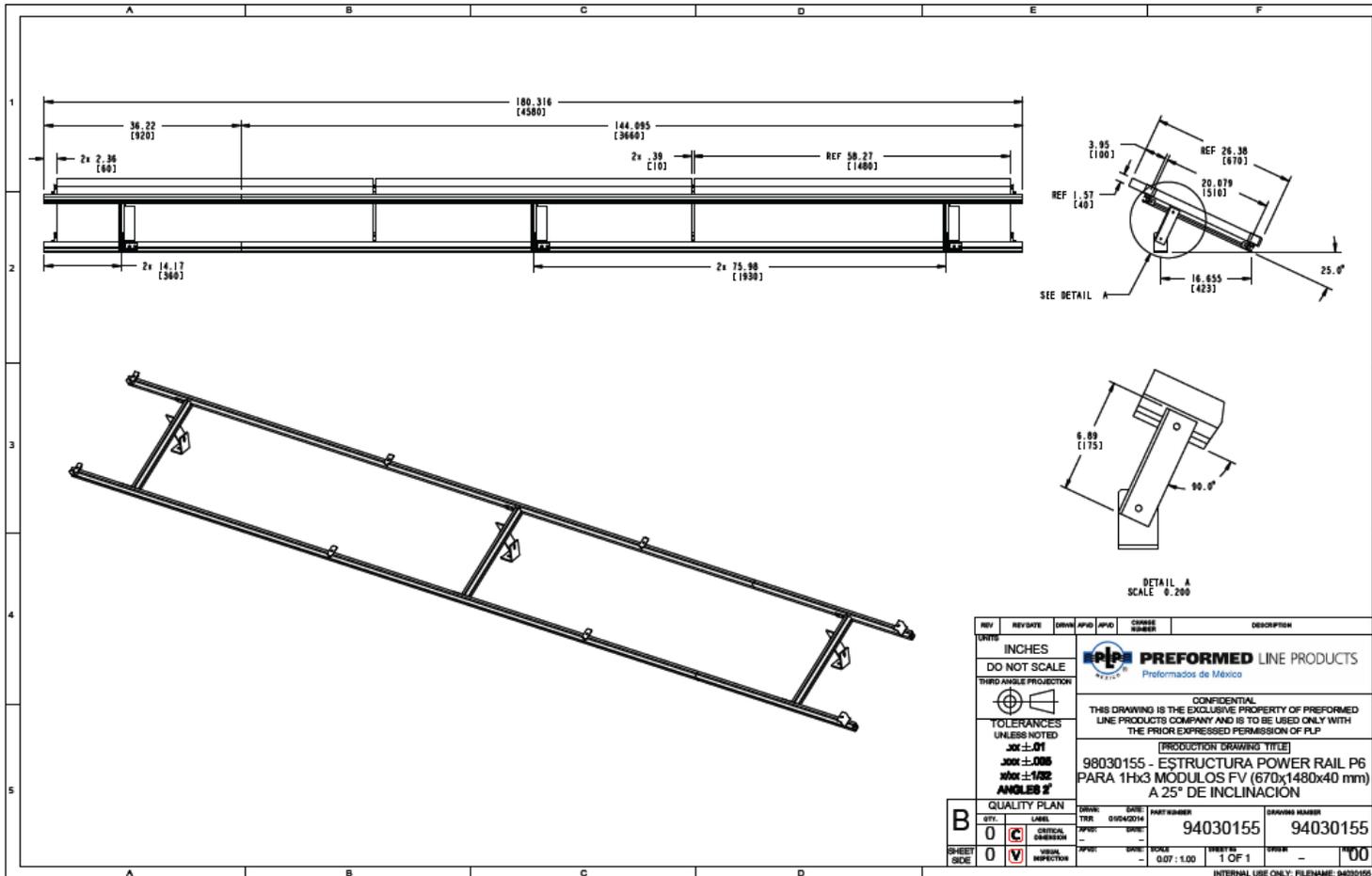
PV SYSTEM: SUPPORTING STRUCTURE

**PV-005**



TEAM MEXICO UNAM

www.dsolar.mx



REV	REVDATE	DRWN	APVD	CHGSE	DESCRIPTION

UNITS: INCHES  
 DO NOT SCALE  
 THIRD ANGLE PROJECTION

**PLP** **PREFORMED LINE PRODUCTS**  
 Profarmados de México

CONFIDENTIAL  
 THIS DRAWING IS THE EXCLUSIVE PROPERTY OF PREFORMED LINE PRODUCTS COMPANY AND IS TO BE USED ONLY WITH THE PRIOR EXPRESSED PERMISSION OF PLP

TOLERANCES UNLESS NOTED:  
 JOG ±.01  
 HOLE ±.008  
 HOLE ±.152  
 ANGLES ±'

(PRODUCTION DRAWING TITLE)  
 98030155 - ESTRUCTURA POWER RAIL P6  
 PARA 1Hx3 MODULOS FV (670x1480x40 mm)  
 A 25° DE INCLINACION

QTY.	LABEL	DRWN	DATE	PART NUMBER	DRAWING NUMBER
0	C		02/04/2014	94030155	94030155

SHEET SIDE: 0  
 VISUAL INSPECTION: V

SCALE: 1 OF 1  
 0.07 : 1.00

INTERNAL USE ONLY: FILENAME: 98030155

Mark	Deliberable
1	01/04/2013 # 1
2	01/07/2013 # 2
3	01/11/2013 # 3
4	03/03/2014 # 4
5	30/04/2014 # 5
6	02/06/2014 # 6

Date	02/06/2014
Drawn by	PLP
Checked by	FG
Approved	PLP

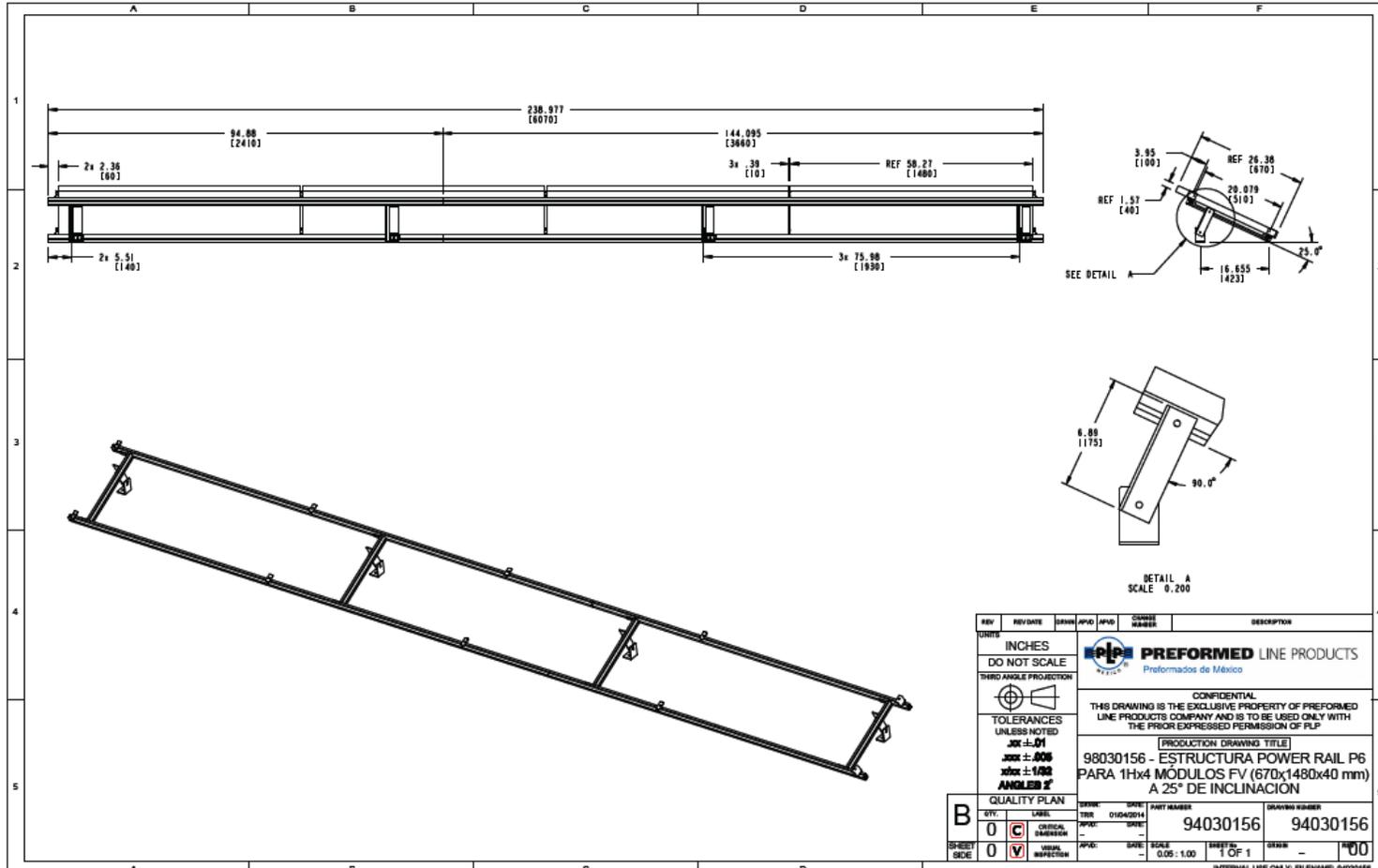
PV SYSTEM: SUPPORTING STRUCTURE

**PV-006**



TEAM MEXICO UNAM

www.dsolar.mx



REV	REV DATE	BY	CHKD	APPD	CHANGE NUMBER	DESCRIPTION

UNITS: INCHES  
DO NOT SCALE

THIRD ANGLE PROJECTION

TOLERANCES UNLESS NOTED:  
DIM ±.01  
HOLE ±.008  
X-HOLE ±.1/32  
ANGLES 2'

QUALITY PLAN

QTY:	0	USE:	CRITICAL DIMENSION	TRK:	01040014	PART NUMBER:	94030156	DRAWING NUMBER:	94030156
SHR:	0	INSPECTION:	VISUAL INSPECTION	APAC:		SCALE:	0.05:1.00	SHEET:	1 OF 1

INTERNAL USE ONLY: FILENAME: 94030156

Mark	Deliberable
1	01/04/2013 #1
2	01/07/2013 #2
3	01/11/2013 #3
4	03/03/2014 #4
5	30/04/2014 #5
6	02/06/2014 #6

Date: 02/06/2014  
 Drawn by: PLP  
 Checked by: FG  
 Approved: PLP

PV SYSTEM: SUPPORTING STRUCTURE

**PV-007**



TEAM MÉXICO UNAM

www.dsolar.mx



Mark	Deliberable
1	01/04/2013 #1
2	01/07/2013 #2
3	01/11/2013 #3
4	03/03/2014 #4
5	30/04/2014 #5
6	02/06/2014 #6

Date 02/06/2014

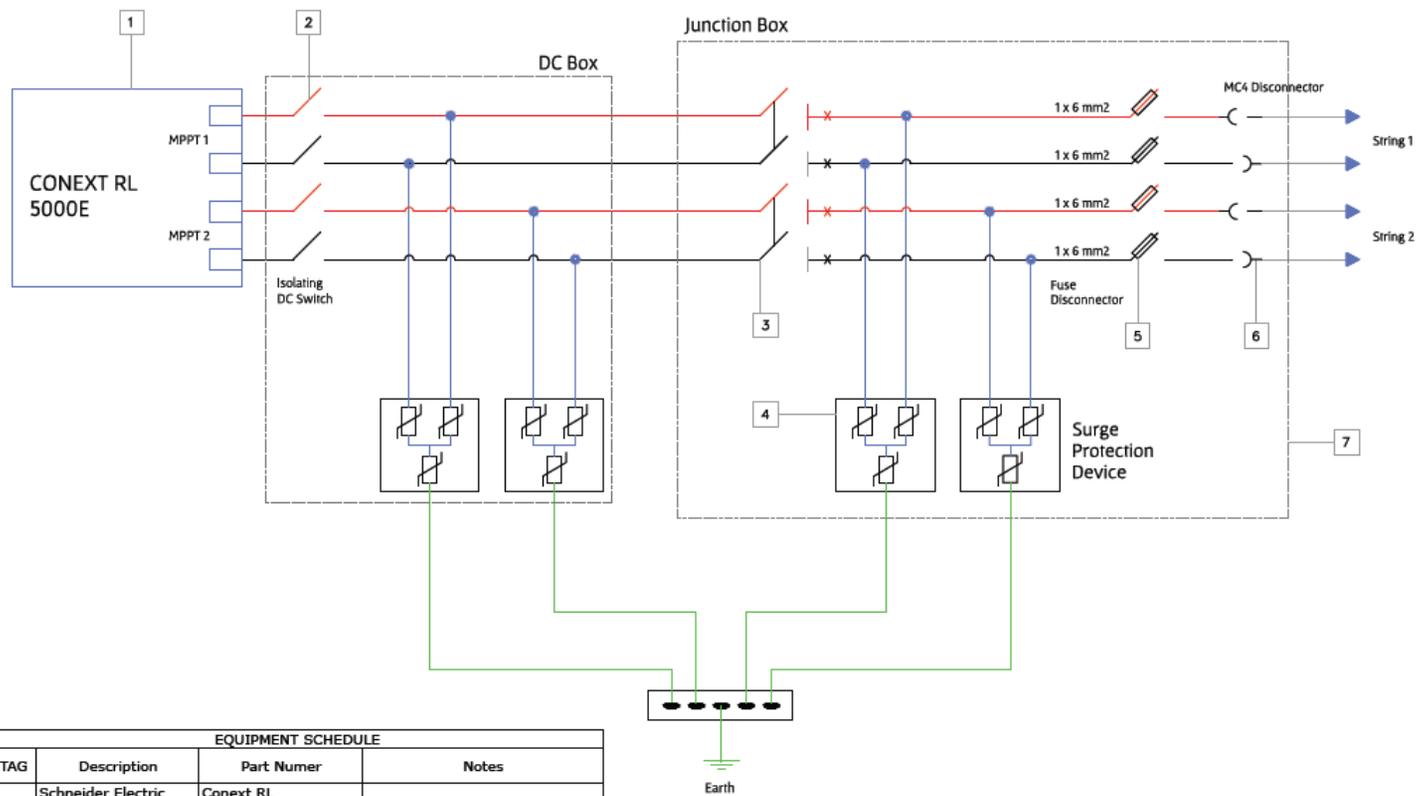
Drawn by JR

Checked by FG

Approved JT

PHOTOVOLTAIC SYSTEM DC CIRCUIT

**PV-011**

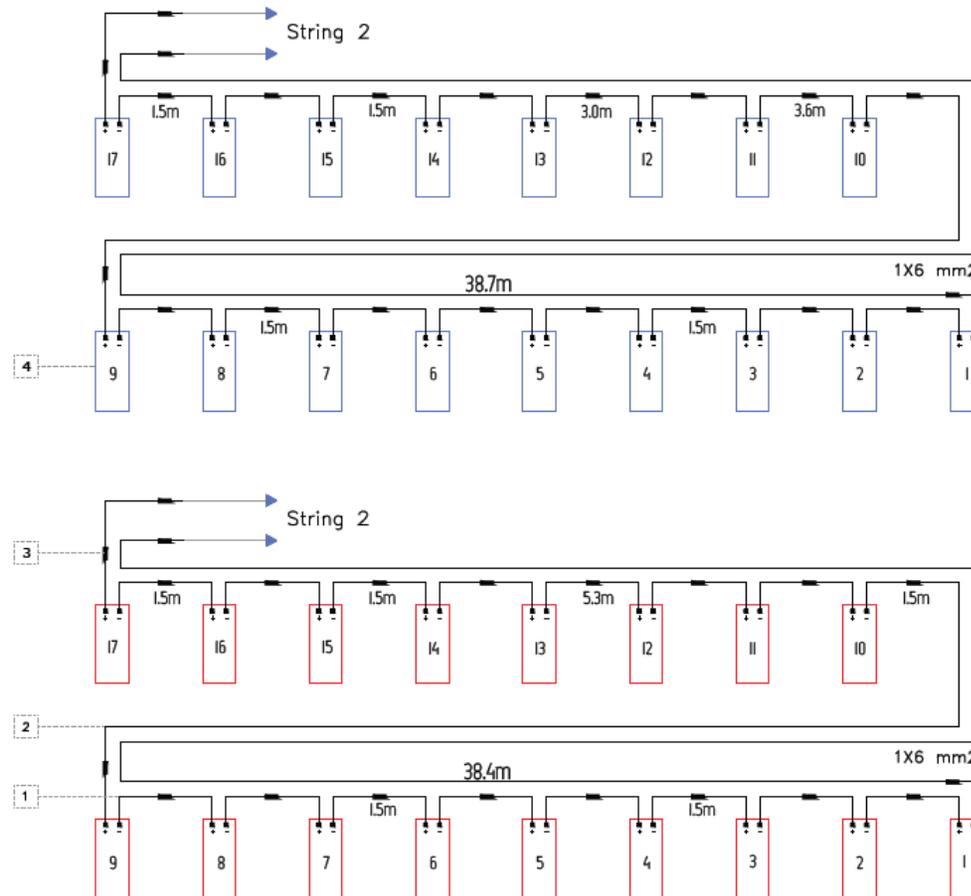


EQUIPMENT SCHEDULE			
TAG	Description	Part Nuner	Notes
1	Schneider Electric Skw Inverter	Conext RL 5000E	Works @ 60Hz/50Hz
2	Schneider Electric Internal DC switch	INS-PV1	Isolator DC switch
3	Schneider Electric DC PV switch	A9N61659	Amp rating 16[A]
4	Schneider Electric Surge Protection	A9L16434	iPRD_DC 40r 600PV modular surge arrester
5	DC Fuse	PVM-15	Amp rating 15[A]
5b	Schneider Electric Fuse disconnecter	DF101	Fuse disconnecter
6	MC4 disconnecter	Multi-Contact	Supports from 4mm <sup>2</sup> to 6mm <sup>2</sup>
7	Schneider Electric Junction Box	NSYCRN 33200-M	300x300x150mm, IP66 sealing. This box is located on the rooftop



TEAM MÉXICO UNAM

www.dsolar.mx



EQUIPMENT SCHEDULE			
TAG	Description	Part Number	Notes
1	PV wire	1x4mm <sup>2</sup>	Solar module includes 900mm of PV wire
2	PV wire	1x6mm <sup>2</sup>	Lapp Kabel, Photovoltaic wire, 600V
3	MC4 connector	Accepts 6mm <sup>2</sup>	MULTI CONTACT MC4 Connector
4	Solar Module	S36PC	145W Polycrystalline silicon

Mark	Deliberable	
1	01/04/2013	#1
2	01/07/2013	#2
3	01/11/2013	#3
4	03/03/2014	#4
5	30/04/2014	#5
6	02/06/2014	#6
Date		02/06/2014
Drawn by		JR
Checked by		FG
Approved		JT

PHOTOVOLTAIC SYSTEM DC CIRCUIT

**PV-012**



TEAM MÉXICO UNAM

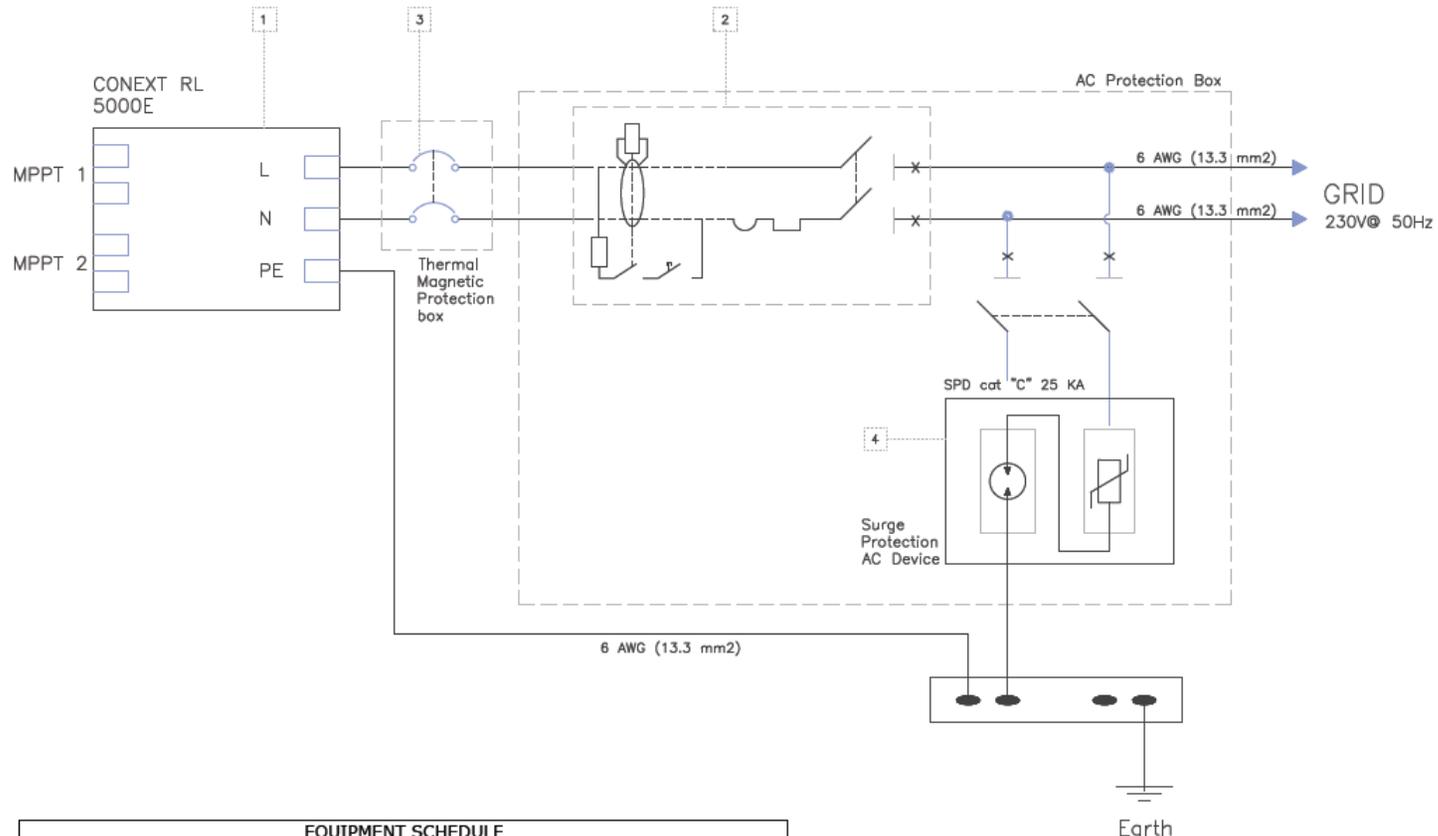
www.dsolar.mx



Mark	Deliberable	
1	01/04/2013	# 1
2	01/07/2013	# 2
3	01/11/2013	# 3
4	03/03/2014	# 4
5	30/04/2014	# 5
6	02/06/2014	# 6

Date 02/06/2014  
 Drawn by JR  
 Checked by FG  
 Approved JT

PHOTOVOLTAIC  
 SYSTEM AC CIRCUIT  
**PV-021**



EQUIPMENT SCHEDULE			
TAG	Description	Part Number	Notes
1	Schneider Electric Inverter	Conext RL 5000E	Works @ 60Hz/50Hz
2	RCCB	19776	Residual Current Circuit Braker 30mA sensitivity, 230 Vac
3	Thermal - Magnetic Protection	A9F74232	230V, Amp rating 32A
4	Surge Protection device	A9L16292	SPD cat "C" 25kA

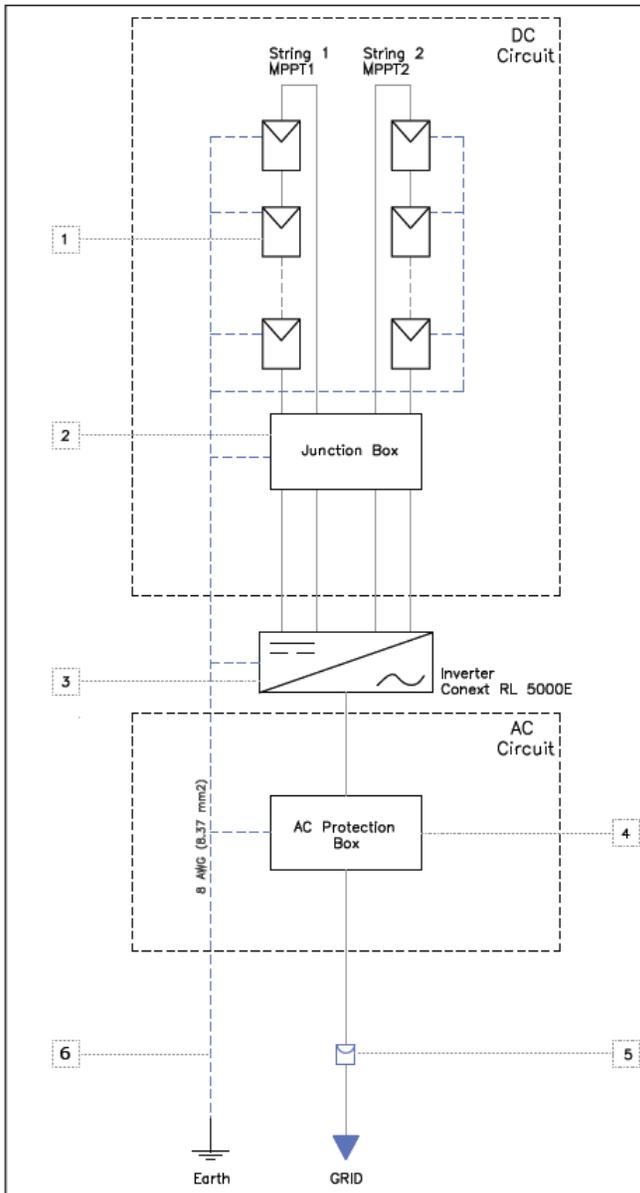


TEAM MÉXICO UNAM

www.dsolar.mx

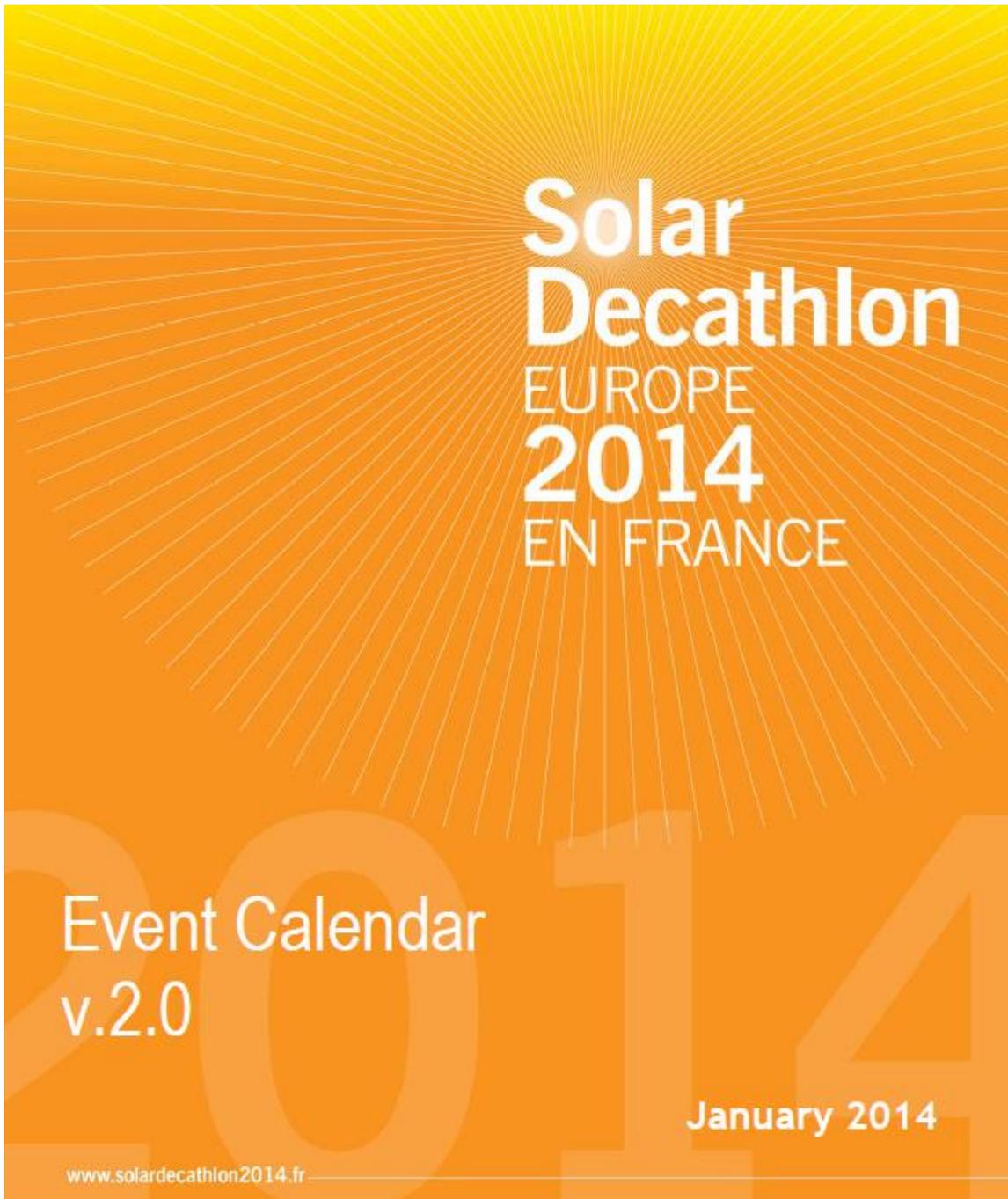


Mark	Deliberable	
1	01/04/2013	# 1
2	01/07/2013	# 2
3	01/11/2013	# 3
4	03/03/2014	# 4
5	30/04/2014	# 5
6	02/06/2014	# 6
Date 02/06/2014		
Drawn by JR		
Checked by FG		
Approved JT		
PHOTOVOLTAIC SYSTEM: GROUNDING SYSTEM <b>PV-031</b>		



EQUIPMENT SCHEDULE			
TAG	Description	Part Number	Notes
1	Solar Module	S36PC	145kW Polycrystalline Silicon
2	Junction Box	NSYCRN33200T	IP66 Sealing
3	Schneider Electric 5kW Inverter	Conext RL 5000E	Works @ 60Hz/50Hz
4	AC Protection Box	NSYCRN33200T	IP66 Sealing
5	Electricity meter	-----	SDE Electricity meter
6	Earthing cable	Condumex cable	1x8.37mm <sup>2</sup> uncoated copper cable

## Calendario de operatividad en competencia.



SOLAR DECATHLON EUROPE 2014 PRELIMINARY OVERVIEW EVENT CALENDAR

JUNE / JULY 2014

		MONDAY	TUESDAY	WEDNESDAY	THURSDAY	FRIDAY	SATURDAY	SUNDAY					
		9-Jun-14	10-Jun-14	11-Jun-14	12-Jun-14	13-Jun-14	14-Jun-14	15-Jun-14					
						DAY 1	DAY 2	DAY 3					
0:00	8:00	Security Commission for Agora and Quarter of decathletes	Security Commission for Agora and Quarter of decathletes	Security Commission for Agora and Quarter of decathletes	Security Commission for Agora and Quarter of decathletes	OPENING OF THE QUARTER OF DECATHLETES		SPS MEETING WELCOME CEREMONY FOR DECATHLETES AND VOLUNTEERS					
8:00	12:00												
12:00	14:00												
14:00	16:00												
16:00	18:00												
18:00	22:00												
22:00	0:00												
		16-Jun-14	17-Jun-14	18-Jun-14	19-Jun-14	20-Jun-14	21-Jun-14	22-Jun-14					
		DAY 4	DAY 5	DAY 6	DAY 7	DAY 8	DAY 9	DAY 10					
0:00	8:00	START ASSEMBLY PERIOD On Site Registration Health & Safety Supervisions and Site Operations Building Inspections	ASSEMBLY PERIOD Instrumentation Assembly & Building Inspections (9:00 to 20:00) On Site Registration, Health & Safety Supervisions and Site Operations	ASSEMBLY PERIOD Instrumentation Assembly & Building Inspections (9:00 to 20:00) On Site Registration, Health & Safety Supervisions and Site Operations	ASSEMBLY PERIOD Instrumentation Assembly & Building Inspections (9:00 to 20:00) On Site Registration, Health & Safety Supervisions and Site Operations	ASSEMBLY PERIOD Instrumentation Assembly & Building Inspections (9:00 to 20:00) On Site Registration, Health & Safety Supervisions and Site Operations	ASSEMBLY PERIOD Instrumentation Assembly & Building Inspections (9:00 to 20:00) On Site Registration, Health & Safety Supervisions and Site Operations	ASSEMBLY PERIOD Instrumentation Assembly & Building Inspections (9:00 to 20:00) On Site Registration, Health & Safety Supervisions and Site Operations					
8:00	12:00												
12:00	14:00												
14:00	16:00												
16:00	18:00												
18:00	22:00												
22:00	0:00												
		23-Jun-14	24-Jun-14	25-Jun-14	26-Jun-14	27-Jun-14	28-Jun-14	29-Jun-14					
		DAY 11	DAY 12	DAY 13	DAY 14	DAY 15	DAY 16	DAY 17					
0:00	10:00	ASSEMBLY PERIOD Water Delivery Instrumentation Assembly & Building Inspections (9:00 to 20:00) On Site Registration, Health & Safety Supervisions and Site Operations	ASSEMBLY PERIOD Water Delivery Instrumentation Assembly & Building Inspections (9:00 to 20:00) On Site Registration, Health & Safety Supervisions and Site Operations	FINAL ASSEMBLY PERIOD Water Delivery Instrumentation Assembly & Building Inspections (9:00 to 20:00) On Site Registration, Health & Safety Supervisions and Site Operations	MINOR FINAL ARRANGEMENTS & FINAL BUILDING INSPECTIONS TEAM'S PRIVATE VISITS FINAL ASSEMBLY PARTY	COMPETITION OPENING OFFICIAL MEDIA/INSTITUTIONAL VISITS	PUBLIC VISITS 10:00 - 22:00 Instrumentation Testing	PARADE PUBLIC VISITS 10:00 - 22:00 Instrumentation Testing					
10:00	12:00												
12:00	14:00												
14:00	16:00												
16:00	18:00												
18:00	20:00												
20:00	22:00												
22:00	0:00												
		30-Jun-14	01-Jul-14	02-Jul-14	03-Jul-14	04-Jul-14	05-Jul-14	06-Jul-14					
		DAY 18	DAY 19	DAY 20	DAY 21	DAY 22	DAY 23	DAY 24					
8:00	10:00	COMPETITION ACTIVITIES	COMPETITION ACTIVITIES	COMPETITION ACTIVITIES	COMPETITION ACTIVITIES	COMPETITION ACTIVITIES	PUBLIC VISITS 10:00 - 22:00 Architecture Contest Award	PUBLIC VISITS 10:00 - 22:00					
10:00	11:30												
11:30	14:30												
14:30	17:30												
17:30	19:30												
19:30	20:00												
20:00	22:00												
22:00	0:00												
		07-Jul-14	08-Jul-14	09-Jul-14	10-Jul-14	11-Jul-14	12-Jul-14	13-Jul-14					
		DAY 25	DAY 26	DAY 27	DAY 28	DAY 29	DAY 30	DAY 31					
8:00	10:00	COMPETITION ACTIVITIES	COMPETITION ACTIVITIES	COMPETITION ACTIVITIES	COMPETITION ACTIVITIES	COMPETITION ACTIVITIES	PUBLIC VISITS 10:00 - 19:30 Contest's Awards, Competition Awards Ceremony	PUBLIC VISITS 10:00 - 22:00 Fireworks of Château de Versailles					
10:00	11:30												
11:30	14:30												
14:30	17:30												
17:30	19:30												
19:30	20:00												
20:00	22:00												
22:00	0:00												
		14-Jul-14	15-Jul-14	16-Jul-14	17-Jul-14	18-Jul-14	19-Jul-14	20-Jul-14					
		DAY 32	DAY 33	DAY 34	DAY 35	DAY 36	DAY 37	DAY 38					
0:00	8:00	PUBLIC VISITS 10:00 - 22:00	START DISASSEMBLY PERIOD On Site Registration, Instrumentation Removal, Health & Safety Supervisions and Site Operations	DISASSEMBLY PERIOD On Site Registration, Instrumentation Removal, Health & Safety Supervisions and Site Operations	DISASSEMBLY PERIOD On Site Registration, Instrumentation Removal, Health & Safety Supervisions and Site Operations	DISASSEMBLY PERIOD On Site Registration, Instrumentation Removal, Health & Safety Supervisions and Site Operations	FINAL DISASSEMBLY PERIOD On Site Registration, Instrumentation Removal, Health & Safety Supervisions and Site Operations (finishing at 22:00)	DECATHLETES CHECK OUT: inventory and delivery of the keys					
8:00	12:00												
12:00	14:00												
14:00	16:00												
16:00	18:00												
18:00	22:00												
22:00	0:00												

Monday 30 <sup>th</sup> June								0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30
Type of activity	Section in R&R	Contest N°	Contest type	Total Pts Available	Total Periods or tasks	Daily Periods or tasks	Daily Pts Available																																																
Load consumption per measurable area	Competition	Rule 18.5	4.1	MEAS	40	1152	96	[Yellow]																																															
Electricity autonomy	Competition	Rule 18.5	4.2	MEAS	15	1152	96	[Yellow]																																															
Temporary generation-consumption correlation	Competition	Rule 18.5	4.3	MEAS	25	260	26	[Yellow]																																															
House adjustment to network load state	Competition	Rule 18.5	4.4	MEAS	25	120	12	[Yellow]																																															
Power peaks	Competition	Rule 18.5	4.5	MEAS	15	1152	96	[Yellow]																																															
Temperature	Competition	Rule 19.5	5.1	MEAS	60	792	72	[Yellow]																																															
Humidity	Competition	Rule 19.5	5.2	MEAS	10	792	72	[Yellow]																																															
Air Quality - CO2	Competition	Rule 19.5	5.3	MEAS	10	792	72	[Yellow]																																															
Air Quality - VOC **	Competition	Rule 19.5	5.4	TASK	5	1	1	[Grey]																																															
Natural Lighting **	Competition	Rule 19.5	5.5	TASK	20	1	1	[Grey]																																															
Accoustic Performance **	Competition	Rule 19.5	5.6	TASK	15	1	1	[Grey]																																															
Refrigerator	Competition	Rule 20.5	6.1	MEAS	5	1152	96	[Yellow]																																															
Freezer	Competition	Rule 20.5	6.2	MEAS	5	1152	96	[Yellow]																																															
Clothes-washer	Competition	Rule 20.5	6.3	TASK	20	10	1	[Blue]																																															
Clothes Drying	Competition	Rule 20.5	6.4	TASK	10	10	1	[Blue]																																															
Dishwasher	Competition	Rule 20.5	6.5	TASK	10	8	1	[Blue]																																															
Home Electronics	Competition	Rule 20.5	6.6	TASK	5	216	24	[Blue]																																															
Oven	Competition	Rule 20.5	6.7	TASK	5	8	1	[Blue]																																															
Cooking	Competition	Rule 20.5	6.8	TASK	5	8	1	[Blue]																																															
Hot Water Draws	Competition	Rule 20.5	6.9	TASK	20	20	3	[Blue]																																															
DAYLY AVAILABLE POINTS							67,995	[Grey]																																															
ACCUMULATED AVAILABLE POINTS							67,995	[Grey]																																															
On site - Registration	Competition	Rule 11.1		SDE				[Orange]																																															
Team / organizer meeting	Competition	Rule 2.4		SDE				[Orange]																																															
Public Visits	Competition	Rule 12.4		ACT				[Grey]																																															
Interior & Exterior Lighting	Competition	Rule 12.6		ACT				[Grey]																																															
Speed Peer Review	Competition	Rule 21	7	JURY				[Green]																																															

SEE JURY'S SCHEDULE

Tuesday 1 <sup>st</sup> July									0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30
Type of activity	Section in R&R	Contest N°	Contest type	Total Pts Available	Total Periods or tasks	Daily Periods or tasks	Daily Pts Available																																																	
Load consumption per measurable area	Competition	Rule 18.5	4.1	MEAS	40	1152	96	3,333																																																
Electricity autonomy	Competition	Rule 18.5	4.2	MEAS	15	1152	96	1,250																																																
Temporary generation-consumption correlation	Competition	Rule 18.5	4.3	MEAS	25	260	26	2,500																																																
House adjustment to network load state	Competition	Rule 18.5	4.4	MEAS	25	120	12	2,500																																																
Power peaks	Competition	Rule 18.5	4.5	MEAS	15	1152	96	1,250																																																
Temperature	Competition	Rule 19.5	5.1	MEAS	60	792	72	5,455																																																
Humidity	Competition	Rule 19.5	5.2	MEAS	10	792	72	0,909																																																
Air Quality - CO2	Competition	Rule 19.5	5.3	MEAS	10	792	72	0,909																																																
Air Quality - VOC **	Competition	Rule 19.5	5.4	TASK	5	1*	1*	0,000																																																
Natural Lighting **	Competition	Rule 19.5	5.5	TASK	20	1*	1*	0,000																																																
Acoustic Performance **	Competition	Rule 19.5	5.6	TASK	15	1*	1*	0,000																																																
Refrigerator	Competition	Rule 20.5	6.1	MEAS	5	1152	96	0,417																																																
Freezer	Competition	Rule 20.5	6.2	MEAS	5	1152	96	0,417																																																
Clothes-washer	Competition	Rule 20.5	6.3	TASK	20	10	1	2,000																																																
Clothes Drying	Competition	Rule 20.5	6.4	TASK	10	10	1	1,000																																																
Home Electronics	Competition	Rule 20.5	6.6	TASK	5	216	16	0,370																																																
Oven	Competition	Rule 20.5	6.7	TASK	5	8	1	0,625																																																
Cooking	Competition	Rule 20.5	6.8	TASK	5	8	1	0,625																																																
Hot Water Draws	Competition	Rule 20.5	6.9	TASK	20	20	2	2,000																																																
Dinner *	Competition	Rule 20.5	6.10	TASK	15	3	1	5,000																																																
DAYLY AVAILABLE POINTS							30,560																																																	
ACCUMULATED AVAILABLE POINTS							98,555																																																	
On site - Registration	Competition	Rule 11.1		SDE																																																				
Team / organizer meeting	Competition	Rule 2.4		SDE																																																				
Public Visits	Competition	Rule 12.4		ACT																																																				
Interior & Exterior Lighting	Competition	Rule 12.6		ACT																																																				
Communication & Social Awareness Jury Visits	Competition	Rule 21	7	JURY					SEE JURY'S SCHEDULE																																															

















