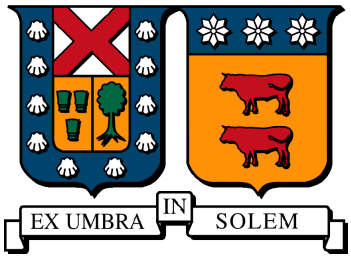
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO-CHILE



EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROCESO EN INSTALACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS DE 1 MW EN LOS CAMPUS Y SEDES DE LA UTFSM

FRANCISCO IGNACIO CERDA ALDEA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA : DR. MAURICIO OSSES ALVARADO
PROFESOR CORREFERENTE : DR. RODRIGO BARRAZA VICENCIO

Agosto 2018

Dedicado a mi familia y amigos,
que esperaban este momento.
Agradecimientos especiales a Javiera
que siempre me apoyó y acompañó,
y a todos los que me ayudaron

Resumen

Esta memoria se enmarca dentro de un contrato JCM entre Japón, varias instituciones internacionales y la Universidad. JCM es un mecanismo de financiamiento para proyectos que generen reducciones importantes de CO_2. El contrato compromete a la Universidad a comprar la energía eléctrica generada por los paneles por un período de 20 años, a un valor menor que el sistema tradicional de electricidad. Los módulos de alta eficiencia utilizados (HIT 320) fueron instalados en Campus Casa Central, Sede Viña del Mar, Campus San Joaquín y Campus Vitacura, sumando un total de 3054 paneles solares.

El objetivo general de este trabajo es la realización de una evaluación técnica y económica del proceso de instalación de 1MW de paneles fotovoltaicos en la UTFSM, siguiendo dos pasos. En primer lugar, para el análisis técnico, se desarrolló una bitácora de las instalaciones siguiendo los hitos relevantes. Segundo, para el análisis económico, se determinó un valor aproximado del ahorro esperado por el proyecto, además de los riesgos que se pudieran presentar en una inversión de este tipo.

Para poder realizar el análisis técnico, se verificó mensualmente la instalación mediante una bitácora para registrar avances con apoyo fotográfico, a nivel de suelo (cámara) y a nivel aéreo (dron), y una inspección visual del sombramiento de los paneles. En paralelo, se hizo una simulación del arreglo solar y una estimación de la reducción de CO_2. En lo económico, para determinar el ahorro que tendría la Universidad durante 20 años, se consideró el consumo promedio mensual entregado, y para los costos de la línea base, el tipo de cliente en cada establecimiento. Para analizar el caso hipotético de una inversión por parte de la UTFSM se usaron los criterios de VAN y TIR.

La generación producida por los paneles debiese cubrir un 68,9 % del consumo

anual de la Sede Viña del Mar, 25,4 % del Campus Vitacura y 10,7 % - 9,3 % para los Campus San Joaquín y Casa Central: el porcentaje global es de un 19,3 %. La simulación mostró una diferencia cercana al 10 % en la generación, debido a los cambios en la ubicación original de los paneles, sumado a un factor más realista de ensuciamiento. La reducción de CO_2 fue menor a lo esperada con un valor de 413 tCO_2. En evaluación económica, la generación al primer año fue de un 19,3 % del consumo total, pero, debido a la diferencia de precio de la línea base en cada establecimiento, el ahorro al primer año representa un 4,1 % del costo total. Con respecto a la inversión, Puede ser rentable si la tasa de descuento exigida no es superior al 5 % y un plazo de 25 años (garantía de paneles). En comparación con el caso hipotético de una inversión, el contrato no presenta riesgos para la Universidad, porque no se requirió de una inversión inicial, siempre se obtuvo un ahorro en la cuenta eléctrica, y una vez finalizado el contrato, los activos serán traspasados a la Universidad. Por otro lado, la empresa contratada presentó una tasa de retorno superior al 10 % si se considera un financiamiento JCM.

Se concluye que, primero, la demora de la realización del estudio estructural retrasó la instalación. Segundo, la generación del arreglo solar se podría ver disminuida dado el sombreamiento de paneles y el factor de ensuciamiento. Ante esto, se consideró recomendable un plan de limpieza para disminuir el impacto de dicho factor. Tercero, la reducción de CO_2 por el uso del sistema fotovoltaico es lo equivalente a 165 automóviles (413 tCO_2). Por otra parte, el ahorro total para la Universidad el primer año corresponde a $ 23.200 dólares, equivalente a un 4,1 % del costo total de la línea base. Finalizado los 20 años, se estima un ahorro de $ 426.700 dólares. Para el caso de una inversión con los mismos equipos, esta no es rentable a 20 años. Se concluyó que este caso hipotético es riesgoso porque lo que se busca con el proyecto es un ahorro, no una ganancia económica. La empresa contratista es altamente rentable al considerar un financiamiento JCM. De esta forma, se pudo comprender la importancia de ese tipo de mecanismo que permite rentabilizar proyectos relacionados con las ERNC.

Abstract

The context of this thesis is a JCM contract between Japan, several international institutions and the University. JCM is a financing mechanism for projects that generate significant CO_2 reductions. The contract commits the University to buy the electric energy generated by the solar panels for a period of 20 years at a lower value than the traditional electricity system. The high efficiency modules used (HIT 320) were installed in Campus Casa Central, Sede Viña del Mar, San Joaquin Campus and Vitacura Campus, adding a total of 3054 solar panels.

The general objective of this thesis is the execution of a technical and economic evaluation of the installation process of 1MW of photovoltaic panels in the UTFSM. First, for the technical analysis, a logbook of the facilities was developed to record the critical points. Second, for the economic analysis, an approximate value of the savings expected by the project was calculated. In addition, it was calculated the risks that could arise in an investment of this type.

To accomplish the technical analysis, the installation was recorded monthly through a logbook of the progress using photographic support at a ground level (camera) and at the aerial level (drone), also a visual inspection of the shadowing of the panels. In parallel, a simulation of the solar array and an estimation of the CO_2 reduction. In respect of the economic evaluation, to calculate the savings that the University would have for 20 years, the average monthly consumption delivered was considered. For the costs of the baseline, the type of client in each establishment was considered as well. The NPV and IRR criteria were used to analyze the hypothetical case of an investment by the UTFSM.

The generation produced by the solar panels should cover 68,9 % of the annual

energy consumption of Sede Viña del Mar, 25,4 % of Vitacura Campus and 10,7 % - 9,3 % for San Joaquín and Casa Central Campus respectively: the overall percentage is 19,3 %. The simulation showed a difference close to 10 % in the generation due to the changes in the original location of the panels, in addition to a more realistic factor of the soiling effect. The CO_2 reduction was lower than expected with a value of 413 tCO_2. Regarding the economic evaluation, the first-year generation was 19,3 % of the total energy consumption. Nevertheless, due to the difference in the price of the baseline in each establishment, the savings in the first year represented 4,1 % of the total cost. In respect of the investment, it can be profitable if the discount rate required is not higher than 5 % and a evaluation term of 25 years (panels guarantee). Compared to the hypothetical case of an investment, the contract did not presented risks for the University. First, because it did not required an initial investment. Second, savings were always obtained from the energy bills, and finally, once the contract is expired, the assets will be transferred to the University. On the other hand, the contracted company presented a rate of return of more than 10 % considering JCM financing.

The first conclusion is that the delay in the accomplishment of the structural study delayed the installation. The second is that the generation of the solar array could be diminished given the shading of panels and the soiling factor. As a consequence, a cleaning plan was considered advisable to reduce the impact of said factor. The third conclusion is that the reduction of CO_2 using the photovoltaic system is equivalent to 165 automobiles (413 tCO_2). Another conclusion is that the total savings for the University during the first year corresponds to $ 23,200 dollars, equivalent to 4,1 % of the total cost of the baseline. After 20 years, a saving of $ 426.700 dollars is estimated. In the case of an investment with the same equipment, this is not profitable for 20 years. In conclusion, this hypothetical case is risky because the purpose of the project is obtaining a saving, not economic profits. The contractor is highly profitable when a JCM financing is considered. Finally, the importance of this type of mechanism that allows the profitability of projects related to NCRE is understood throught the information presented in this thesis.

Glosario

Abreviaturas

AC	Corriente Alterna
ACS	Agua Caliente Sanitaria
AT	Alta Tensión
CDE	Contrato de Desempeño Energético
CERs	Certified Emission Reductions
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNE	Comisión Nacional de Energía
CNR	Comisión Nacional de Riego
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
DC	Corriente Continua
DGA	Direccion General de Aguas
ERNC	Energías Renovables no Convencionales
ESCO	Energy Service Companies
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
FS	Feasibility Study
GCF	Green Climate Fund
GEF	Global Environment Facility
GHG	Green Hause Gas
GIZ	Corporación Alemana para la Cooperación Internacional
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario
JC	joint committee
JCM	Joint Crediting Mechanism
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo

MMA	Ministerio de Medio Ambiente
MOEJ	Ministerio de Medio Ambiente de Japón
MW	Megawatts
NOCT	Normal Operating Cell Temp
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PMGD	Pequeños Medios de Generación Distribuidos
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PV	Photovoltaics
REDD o REDD+	Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación de lo bosques
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustible
SERCOTEC	Servicio de Cooperación Técnica
SHJ	Silicon Heterojunction
SHOA	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico la Armada
SIC	Sistema Interconectado Central
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande
STC	Standard Test Conditions
TIR	Tasa Interna de Retorno
UTFSM	Universidad Técnica Federico Santa María
VAD	Valor Agregado de Distribución
VAN	Valor Actual Neto
WLAN	Wireless Local Area Network

Índice general

Resumen II

Abstract IV

Glosario VI

Introducción XX

Motivación XX

Descripción del problema XX

Objetivos XXI

General XXI

Específicos XXI

1. Estado del arte 1

1.1. Energía Solar y paneles fotovoltaicos 1

Paneles solares 2

Semiconductores 2

Celdas fotovoltaicas 4

Tipos de paneles solares 4

Efecto sombra 6

Efecto Hot Spot (punto caliente) 7

1.2. Cambio climático: Mecanismos de financiamiento para países en vías de desarrollo 7

1.2.1. JCM (Join Crediting Mechanism) 9

1.2.2. Proyectos JCM en relación con paneles solares 10

1.2.3. Acuerdo JCM Chile – Japón 11

1.3. Regulación Nacional 12

1.3.1. Iniciativas en energía renovables no convencionales (ERNC) en Chile . . . 12
1.3.2. Techos solares: El caso de Teletón . . . 15
1.3.3. Ley 20.571 . . . 16

2. Metodología 18
Descripción de la metodología . . . 18
2.1. Registro y documentación . . . 19
2.1.1. Estado de la Universidad y primeros planos . . . 19
Casa Central . . . 20
Sede Viña del Mar . . . 21
San Joaquín . . . 23
Vitacura . . . 24
2.1.2. Equipos y estructuras . . . 26
Paneles solares . . . 26
Inversores . . . 28
Sensores . . . 29
Soportes . . . 31
Otros equipos . . . 32
2.1.3. Bitácora . . . 32
Equipos de documentación . . . 33
2.1.4. Carta Gantt . . . 33
2.2. Estudio Económico . . . 35
2.2.1. Tipo de cliente en consumo eléctrico por sede . . . 35
2.2.2. Consumos eléctricos por sede . . . 36
2.2.3. Estudio Económico y sus sensibilidades . . . 38
2.3. Otras Consideraciones . . . 43
2.3.1. Estudio de sombras . . . 43
2.3.2. Contrato por servicio de paneles fotovoltaicos . . . 44
2.3.3. Venta de excedentes al sistema . . . 45
2.3.4. Nuevo cálculo de generación con programa de simulación . . . 45
2.3.5. Estimación de reducción de GHG . . . 47

3. Análisis y resultados 48
3.1. Registro y documentación . . . 48

3.1.1. Resumen bitácora . . . 49
3.1.2. Resultados hasta mayo 2018 y próximos avances . . . 56
3.2. Estudio Económico . . . 62
3.2.1. Ahorro a través del contrato . . . 62
3.2.2. Viabilidad como inversión de proyecto por campus . . . 68
3.2.3. Análisis de sensibilidades . . . 71
3.2.4. Viabilidad como inversión total de proyecto . . . 73
3.2.5. Estimativo de la rentabilidad de la empresa contratada . . . 75
3.2.6. Caso Sede Viña del Mar con inyección al sistema . . . 76
3.2.7. Nueva simulación con la instalación actual . . . 77
3.2.8. Reducción de Dióxido de carbono . . . 78

4. Conclusiones 79
4.1. Conclusiones Generales . . . 79
4.2. Conclusiones especificas . . . 81
4.2.1. Conclusiones del análisis técnicas. . . . 81
Ubicación . . . 82
Análisis de las sombras . . . 82
Mantenimiento . . . 83
Mayor contratiempo . . . 83
Simulación . . . 84
Reducción de emisiones GHG . . . 84
4.2.2. Conclusiones del análisis económico . . . 85
Ahorro contrato . . . 85
Sensibilización del ahorro . . . 86
Inversión . . . 86
Inyección al sistema . . . 87
Rentabilidad de la empresa contratada . . . 88
4.3. Recomendaciones . . . 90

A. Bitacora 94
A.1. Casa Central . . . 94
A.2. Sede Viña del Mar . . . 103
A.3. Campus San Joaquín . . . 114
A.4. Campus Vitacura . . . 122

B. Figuras complementarias Metodología 132
B.1. Plano de instalación rieles 132
B.2. Gráficos de consumo 134
B.3. Variables de simulación 136

C. Figuras complementarias Análisis y Resultados 138
C.1. mapas de los campus 138
C.1.1. Casa Central 138
C.1.2. Sede Viña del Mar 139
C.2. Figuras complementarias del seguimiento 140
C.2.1. Casa Central 140
C.2.2. Sede Viña de Mar 144
C.2.3. Campus San Joaquín 151
C.2.4. Campus Vitacura 155

D. Tablas complementarias 160
D.1. Inversión por campus 160
D.2. Generación mensual de los campus 161
D.3. Flujo de caja para inversión 164
D.4. Sensibilidades 169

Índice de guras

1.1. Tipos de radiación y como se proyectan sobre un panel solar 1
1.2. Semiconductores dopados con fósforo P y otro con boro B 3
1.3. Tipos de celdas mas usados en paneles solares. 5
1.4. Las regiones que abarca el Programa Techos Solares. 14
1.5. Proyectos nalizados y en construcción del Programa de Techos Solares 15
1.6. Instalaciones registradas en SEC, 12 de mayo de 2017 17

2.1. Imagen satelital completa del campus Casa Central 20
2.2. Layout de plano de instalación 21
2.3. Imagen satelital completa de(.)-500(.)-50050(d8.)-500(.V)650(J 205.18 09.06 Td [(´)30

D.13. Flujo de caja para toda la Universidad, sin subsidio JCM 168
D.14. Flujo de caja para toda la Universidad, con subsidio JCM 169
D.15. Sensibilización del consumo en Casa Central 170
D.16. Sensibilización del factor de ensuciamiento en Casa Central 170

Introducción

Motivación

Chile es un país que ha crecido enormemente en energías limpias (ERNC), siendo reconocido a nivel internacional. Parques eólicos y paneles solares han sido los más destacados, se han creado grandes plantas fotovoltaicas, nuevas leyes permiten inyectar energía propia generada a la red y obtener así un beneficio de esto. Todo esto nos muestra un país que crece de una manera sustentable y amigable con el medio ambiente, lo que no deja de ser un tema contingente y de interés nacional, tanto en lo público, como en las ciencias. Dado este contexto de crecimiento de energías renovables, cabe destacar la importancia del proyecto que esta memoria abarca, ya que la realización de esta tarea implica poder ser parte y acompañar el proceso de instalación de paneles solares para que nuestra Universidad pueda ser autoabastecida eléctricamente, lo que sin dudas marca un hito en la historia de nuestra institución, marcando además una referencia para otras Universidades y aportando al crecimiento de presencia de ERNC en Chile. En definitiva, es relevante y de interés la evaluación técnico-económica de la implementación de dicho sistema, convirtiéndose así en un establecimiento educacional capaz generar 1 [MW] por medio de paneles solares rooftop.

Descripción del problema

En el marco del convenio entre Chile y Japón, MGM Innova Group postula al proyecto Joint Crediting Mechanism (JCM) con el fin de instalar paneles fotovoltaicos en los Campus y Sedes de la Universidad Técnica Federico Santa María, para que sean autoabastecidas eléctricamente. Es importante realizar el seguimiento de la instalación y registrar la documentación de este proceso, dada la relevancia del proyecto de energía solar (1MW) para la comunidad universitaria.

Objetivos

General

- Realizar evaluación técnica y económica del proceso en instalación de paneles fotovoltaicos de 1 MW en los Campus y Sedes de la UTFSM.

Específicos

- Revisar técnicamente las instalaciones de los elementos que componen los equipos solares, siguiendo la ruta crítica del proyecto.
- Desarrollar una bitácora de seguimiento del proyecto, considerando los hitos significativos y posibles modificaciones del plan original de trabajo.
- Realizar un análisis económico, estimando los costos de suministro a veinte años con el sistema actual de servicio eléctrico (línea base), comparado con la proyección estimada de ahorro con el nuevo sistema fotovoltaico.
- Realizar análisis de riesgos del proyecto, incluyendo sensibilización de precios, aumento de demanda y pérdida de eficiencia de los paneles en el tiempo.

Capítulo 1

Estado del arte

1.1. Energía Solar y paneles fotovoltaicos

Desde el Sol llega a la Tierra energía por medio de la radiación electromagnética, la que es producida por la fusión de dos núcleos de átomos de hidrógeno, formando así un núcleo de helio, lo que libera una gran cantidad de energía. Solo llega una fracción de dicha radiación, pues una parte de ella es reflejada en la atmósfera de la Tierra. Otra porción de ella es absorbida por las capas atmosféricas, llegando finalmente a la superficie de la Tierra.

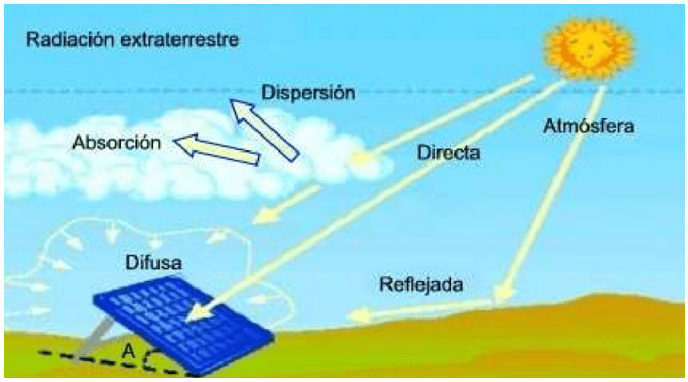


Figura 1.1: Tipos de radiación y como se proyectan sobre un panel solar

Fuente: [9]

Esta fuente de Energía renovable permite ser una solución sustentable y libre de emisiones contaminantes (GHG). Con el paso del tiempo y el avance de desarrollos tecnológicos se pueden observar dos métodos de generación de energía:

- **Energía solar térmica:** Consiste en capturar la energía enviada desde el Sol y transformarla en calor. Sus usos van desde calor para agua caliente sanitaria (ACS) hasta la generación de electricidad.

- **Energía solar fotovoltaica:**Por medio de células fotovoltaicas, es posible obtener electricidad directamente de la radiación solar, a través del efecto fotoeléctrico. Esta célula fotovoltaica o célula solar, está conformada por un material semi conductor, el cual permite la generación de electricidad.

La radiación solar que llega a la superficie y que es posible utilizar en la generación de energía, se puede describir en tres tipos: en primer lugar, radiación directa es la que impacta directamente sobre la superficie, además de generar sombra; en segundo lugar, la radiación difusa la cual es absorbida y esparcida por la atmosfera; y, por último, la radiación reflejada, que corresponde al rebote de la radiación directa sobre la superficie o cuerpos que se encuentren en su camino, como se puede apreciar en la figura 1.1

Para la instalación de estos equipos es necesario tener en cuenta factores como la orientación e inclinación de los dispositivos, latitud geográfica y rotación de la tierra.

Paneles solares

En esta sección se definieron conceptos clave relacionados con los paneles solares, con el fin de establecer definiciones específicas que sirvan para el posterior análisis del proyecto.

Semiconductores

Existen materiales conductores y no conductores (aislantes), los cuales se caracterizan atómicamente por la facilidad en pasar de una banda de valencia (más externa) a una conductora (en esta banda el electrón puede abandonar el átomo), esto producto a la excitación debido a una tensión o energía. Para los conductores, los electrones no presentan una fuerte unión en su banda de valencia, por lo cual les es fácil saltar a la banda de conducción, dado que requieren una menor energía. Por el contrario, los aislantes requieren una gran cantidad de energía en la banda de valencia para poder saltar a una banda de conducción.

Por último, se encuentran los materiales semiconductores, estos son un punto medio entre un conductor y aislante. A ciertas condiciones como la temperatura, presión, radiación, campo magnético o eléctrico, estos materiales pueden varias su comportamiento entre uno y otro. Los materiales más usados son el Silicio y el Germanio, los cuales poseen cuatro electrones de valencia. Estos elementos están unidos por enlaces covalentes: cuando un electrón es expulsado por la excitación de una energía externa, este deja un hueco en el enlace covalente, el cual es llenado por otro electrón que haya sido liberado. Como un efecto en cadena, los electrones van saltando de un enlace a otro, de esta manera circula una corriente eléctrica.

Ahora bien, estos semiconductores se pueden modificar agregando elementos como Arsénico, Fosforo, Aluminio, Boro, Galio, entre otros, lo que permite agregar electrones o vacíos (por la falta de electrones). Por un lado, cuando se agrega al semiconductor elementos como Arsénico o Fosforo, esto agregaría un electrón más y quedando fuera de los enlaces covalentes, como se aprecia en la imagen 1.2. Estos son denominados del tipo N (negativo por el electrón sobrante del enlace). Por otro lado, al agregar los elementos como Aluminio, Boro o Galio dejarían un espacio hueco dado la falta de un electrón para formar los enlaces covalentes. Este semiconductor es llamado del tipo P (positivo). Cabe mencionar que ambos semiconductores se encuentran en estado neutro.

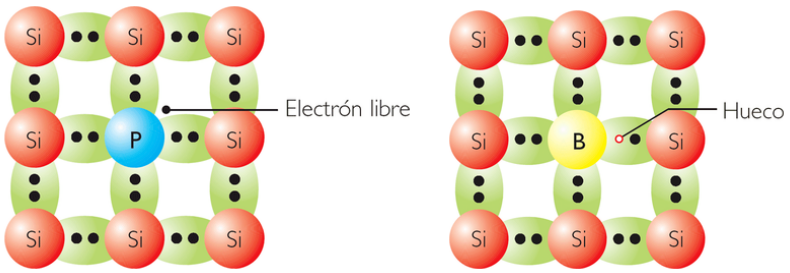


Figura 1.2: Semiconductores dopados con fósforo P y otro con boro B

Fuente: [14]

Al unir dos elementos del tipo P y N, los electrones libres de N se desplazan en los huecos presentes en P, generando un campo eléctrico. Al ser conectado a una fuente externa, dependerá del sentido de la corriente si esta unión NP se comporte como conductor eléctrico o aislante.

Celdas fotovoltaicas

Una celda fotovoltaica está compuesta por la unión de semiconductores NP de silicio, en donde los rayos de luz (fotones) impactan la cara del lado N, haciendo saltar los electrones libres desde el lado N al P, provocando de esta forma una conducción eléctrica. Estas celdas poseen conductores que captan estos electrones liberados, y son dirigidos por el panel con la finalidad de usar esta corriente.

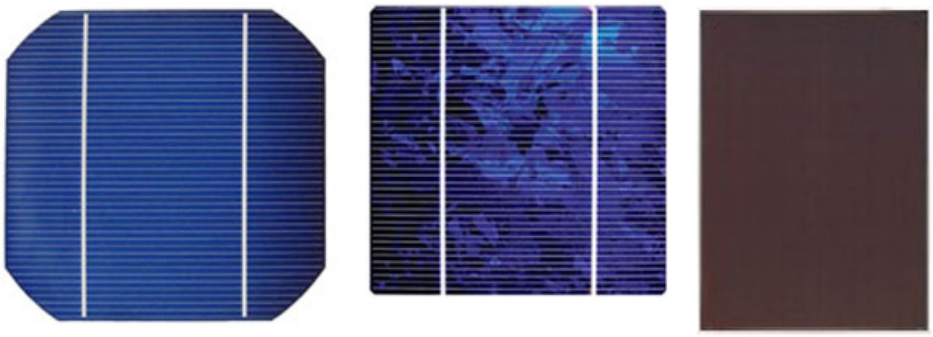
Un factor que influye en la elaboración de estas celdas es el espesor de las mismas, pues con un mayor espesor se tiene mayor probabilidad que un fotón sea absorbido por un electrón (Eficiencia cuántica). Pero, por otra parte, este aumento del espesor también aumenta las pérdidas por recombinación. Solución a esto: colocar una película reflectante sobre la capa P.

El tipo de corriente que generan estas celdas es continuo (DC), por lo tanto, para el uso de corriente alterna (AC) se requiere de un inversor.

En un comienzo, la primera celda fotovoltaica de paneles solares tenía una eficiencia del 1 %. Actualmente en el mercado se puede encontrar celdas fotovoltaicas de 6 %, 12 % hasta 20 % de eficiencia. En laboratorios se ha logrado llegar a un 45 % de eficiencia aproximadamente en celdas multi-unión, según National Renewable Energy Laboratory (NREL) y en la gráfica ”Best Research-Cell Efficiencies”. (dicho gráfico se puede encontrar en el anexo digital)

Tipos de paneles solares

El panel solar corresponde a la unión en serie y paralelo de celdas fotovoltaicas, la que crea una superficie mayor en la cual recibir la luz, cubiertas por un vidrio. Al conectar las celdas en series se permite el aumento de la tensión de salida, las que se pueden encontrar de 6, 12, 24 y 48 Volt. Este grupo de celdas en serie, a su vez, son conectadas en paralelo, con lo que de esta forma se aumenta la corriente de salida de este panel.



(a) Monocristalino (b) Policristalino (c) Capa fina

Figura 1.3: Tipos de celdas mas usados en paneles solares.

Fuente: [1]

Dentro de las clasificaciones de paneles solares se encuentran:

Tipo	Compuesto	Características	Eficiencia (comercial)
Monocristalinos	Silicio puro	Presenta un único cristal de silicio (Si) puro, luego de un proceso lento de fundido y enfriado, son más eficientes, pero más costosos de producir. Su estructura es rígida y requiere de un soporte.	15-20%
Policristalinos	Fragmentos de silicio	Está formado por múltiples cristales de silicio, formación que hace el proceso más sencillo y menos costoso, pero su eficiencia es menor. Su estructura es rígida y requiere de un soporte.	14-17%
Amorphos	Silicio no cristalizado	En el proceso de estas el silicio no es cristalizado, debido a esto su estructura molecular es más desordenada. El costo de producción es menor, pero baja su eficiencia. El nivel de degradación es mayor que los monocristalinos y policristalinos.	9-10%

Capa fina (Thin Film)	Silicio amorfo	Se logra por la pulverización de silicio amorfo, lo que logra una película delgada que puede ser rígida o flexible. El panel puede estar constituido por una única celda. Al estar hecho de silicio amorfo, su degradación es mayor con el pasar del tiempo.	8-10%
Orgánicos	Polímeros semiconductores	Se crean en la mezcla de un disolvente orgánico, un polímero conductor y un fullereno. Esto hace que sea fotoactivo funcionando de la misma forma que una celda de silicio. Sus eficiencias son bajas y su degradación acelerada. Las celdas son transparentes o de colores, los paneles rígidos pueden ser usados como ventanas, pero también se encuentran flexibles.	7-8%

Tabla 1.1: Tipos de celdas fotovoltaicas [8]

De la tabla anterior se puede apreciar la variedad de paneles presentes, donde los monocristalinos (figura 1.3(a)) y policristalinos (figura 1.3(b)) siguen siendo más eficientes y con una mayor duración. Además, las nuevas tecnologías permiten llegar a ser implementadas en otros usos, como son los paneles de capa fina (figura 1.3(c)), los que pueden ser usados para cargar celulares o equipos similares, dado su precio y flexibilidad.

Efecto sombra

Independientemente del tipo de panel que se utilice, todos sufren de los mismos fenómenos, como el efecto sombra. Este consiste en el bloqueo de la radiación directa: sombras sobre el panel provocadas por un árbol, objeto o estructura. Dicha sombra puede ser total o parcial. Este fenómeno tiene directa relación con la corriente que entregue el panel, afectando el sistema completo. El grado en que afecta la sombra dependerá de la configuración de las celdas en el panel: para las celdas que sean afectadas y que estén conectadas en paralelo, su voltaje se mantendrá igual y la corriente de salida será la suma, independiente de si la corriente de la celda sombreada sea muy inferior en comparación a la no afectada. Por otra parte, si la celda afectada es en serie, la corriente será limitada para toda la línea de celdas. Este fenómeno se ve replicado a escala mayor en la conexión de paneles, y también, si la sombra sobre el panel es total.

Efecto Hot Spot (punto caliente)

El efecto sombra también produce otro problema en los paneles y es el efecto hot spot, el que consiste en el sobrecalentamiento de una o más celdas. El fenómeno se puede presentar tanto en una conexión en serie como en paralelo. Cuando una celda conectada en serie es sombreada puede generar un voltaje inverso, y esta puede comportarse como una resistencia. La celda se sobrecalentará llegando incluso al punto de quemarse. Para evitar esto es necesario ubicar diodos de bypass, lo cuales harán que la corriente se salte la celda que está sombreada. Si bien la corriente final disminuirá, esta no dañará el sistema completo. En un sistema paralelo ocurre algo similar al sombrear una celda, y se soluciona de la misma forma, ocupando un diodo anti retorno entre las celdas. Este efecto hot spot se extrapola en la configuración serie/paralelo de los paneles solares.

Por lo dicho anteriormente es que es importante tener una zona despejada y que la ubicación de los paneles tenga una vista libre del Sol en toda hora, para que así se pueda obtener la eficiencia máxima siempre.

1.2. Cambio climático: Mecanismos de financiamiento para países en vías de desarrollo

El calentamiento global ha producido graves consecuencias en el planeta, desde deshielos en los casquetes polares hasta adelgazamiento de la capa de ozono y el alza de la temperatura de la superficie de la tierra. Las causas de este fenómeno mundial son la quema de combustibles fósiles, la deforestación y otras acciones de responsabilidad humana, las cuales provocan altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI o GHG, por sus siglas en inglés). Para enfrentar este problema, se creó en 1991 el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM en español y GEF por sus siglas en inglés Global Environment Facility, en adelante FMAM). Esta organización está conformada por 18 entidades y busca tratar los grandes problemas medioambientales. La forma de lograrlo es otorgar financiamiento a países en vías de desarrollo para la realización de proyectos, con la finalidad de mitigar y adaptar los impactos del cambio climático. Dichos proyectos están divididos en 7 áreas: biodiversidad, aguas internacionales, cambio climático, degradación del suelo, capa de ozono, gestión forestal sostenible y com-

puestos orgánicos persistentes. Actualmente los fondos a los cuales los países postulan provienen de fondos públicos internacionales, movilización de recursos privados, mercados de carbono y fondos nacionales. Además, existen otros medios como las fuentes innovadoras de financiamiento. [22]

En 1992 se creó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en adelante, CMNUCC en sus siglas) compuesta por 196 países, para así, de esta forma, entender el cambio climático como un problema real e inevitable, y para buscar soluciones como el FMAM. En 1997 se fundó el acuerdo de Protocolo de Kioto, esto dentro de la CMNUCC. Dentro de este acuerdo se encuentra el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el que tiene como propósito que los países desarrollados cumplan con la reducción de emisiones de GHG, y, por otra parte, que los países en vías de desarrollo logren un beneficio por los proyectos que generen certificados de carbono. En resumidas cuentas, los países en desarrollo obtienen tecnologías que permiten reducir sus emisiones (reducciones de emisiones certificadas CERs en inglés), y dichas emisiones reducidas (CERs) son otorgadas al país desarrollado que financió el proyecto, bajando así sus propios niveles de emisiones GHG, lo que finalmente implica un beneficio para ambas partes. Otra forma de transacción de carbono corresponde a la compra de derechos de emisión.

Otros medios de financiamiento para proyectos de descontaminación en países en desarrollo son:

- **REDD y REDD+:** Programa Noruego que consiste en la mitigación del cambio climático producto de la deforestación y degradación del bosque. El objetivo del programa es entregar incentivos para proteger los recursos naturales del país en desarrollo. Sus siglas en inglés corresponden a Programa de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques, UN-REDD.

- **FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Una de las áreas consiste en la mitigación del impacto y peligros en la agricultura para evitar desastres que afecten al medio ambiente. También posee una relación con el programa REDD y REDD+.

- **PNUD:** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Se encarga de fi-

nanciar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Dos de los objetivos del programa se enfocan en el cambio climático y en el riesgo de desastre, mediante la ayuda financiera para el desarrollo sostenible de países en desarrollo.

- **Fondo Verde para el Clima (GCF por sus siglas en inglés):** Creado en el 2010, es un fondo mundial con aporte de varios países que se encarga de subsidiar a países en las problemáticas del cambio climático.

- **JCM:** Mecanismo de acreditación conjunta. Originaria del Ministerio de Medioambiente de Japón, ayuda financieramente a países en la construcción o mejoramiento de sistemas energéticos con el fin de reducir los GHG siguiendo el principio de Mecanismo de Desarrollo Limpio explicado anteriormente.

Otros países también tienen sus mecanismos o sistemas de financiamiento, como Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, entre otros. En la mayoría de los casos, estos países pertenecen al CMNUCC, FMAM o MDL, y por medio de estas organizaciones llegan a los acuerdos entre país financiado y país financiador.

1.2.1. JCM (Join Crediting Mechanism)

Frente a las problemáticas del cambio climático a nivel mundial, se han buscado nuevas formas de reducir las emisiones en gases de efecto invernadero, nuevos caminos a través de la inversión de tiempo en investigación y dinero para nuevas tecnologías. Es por este motivo que el Mecanismo de Acreditación Conjunta (JCM por sus siglas en inglés, The Join Crediting Mechanism) nació en Japón el 2013, con el objetivo de reducir la huella de carbono en países en vías de desarrollo, y de esta manera, seguir los lineamientos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y ocupando al MDL.

El objetivo de JCM es facilitar las tecnologías de baja emisión de carbón o CO_2, ya sea en procesos, servicios o infraestructura. Con esto se consigue realizar acciones concretas en la mitigación del cambio climático. Un punto importante del JCM es que este mecanismo se lleva a cabo de forma conjunta entre Japón y un país asociado, alcanzando dos objetivos: favorecer el desarrollo sustentable de dicho país asociado, y lograr reducir las emisiones de CO_2 de Japón.

En la forma de proceder del modelo JCM figura B.9, ambos países han de formar un comité conjunto (JC, por sus siglas en inglés), en el cual se definen los lineamentos, condiciones, metodologías que regirán los proyectos. Las empresas participantes deben conformar un consorcio internacional con el fin de elaborar y ejecutar el proyecto, siendo la empresa japonesa la encargada de operarlo y de, posteriormente, medir y contabilizar las reducciones de emisión. Dicho proyecto es evaluado por el comité, en aspectos como: solidez, rentabilidad, potencial de difusión de tecnologías, entre otros, siguiendo los lineamientos establecidos por la JC. Una vez aceptado el proyecto por dicho comité, se entrega la acreditación de proyecto JCM, con lo que se otorga financiamiento para el país asociado y la reducción de emisión para Japón. Cabe señalar que el Ministerio de Medio Ambiente de Japón (MOEJ) es el encargado de subvencionar los costos iniciales de la implementación, el cual puede cubrir hasta 50 % de la inversión, dependiendo del resultado de la evaluación previa.

1.2.2. Proyectos JCM en relación con paneles solares

- **En Malindi, Kenia.** Para la fecha del 2015 fueron introducidos 991 kW por medio de paneles fotovoltaicos (PV), en la empresa de sal Krystalline Salt Limited (Kaysalt). Dicha empresa era abastecida por la red eléctrica, además de contar con generadores de combustión diesel como respaldo ante cortes del suministro. Actualmente, la electricidad es abastecida por los paneles solares y es consumida en su totalidad, retirando de su sistema la red eléctrica y generador diesel. En consecuencia, hay una reducción en el costo de la electricidad en 22 % [15]. Esto logra reducir 982 tCO_2 por año. [3]

- **En Tailandia, año 2015.** En una empresa de aceros y fabricación de muebles, se buscaba reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, instalando un sistema de paneles solares equivalente a 994 KW de capacidad instalada, separado en dos puntos (837 KW y 157 KW), capacidad que será consumida en su totalidad por la fábrica. Los equipos fueron de alta eficiencia e instalados en el techo de la industria. Se espera una reducción de 776 tCO_2 por año. [4]

- **Tailandia, año 2016**. En conjunto a la empresa de retail Big C‘s, se han de implementar sistemas de palenses solares (PV) en los techos de 28 tiendas a lo largo del país, alcanzando una capacidad instalada de 27 MW, lo que reduce el costo eléctrico. Se estima una reducción de 11.667 tCO_2 por año. [5]

- **Indonesia, año 2015.** La instalación de una planta solar (PV) que generará 1,6 MW de potencia instalada en un área de 2,5 hectáreas. Esta suministrará la electricidad para el complejo deportivo Jakarabing. El excedente de energía de esta planta se inyectará a la red como energía renovable al sistema. Los módulos serán de 255W con una eficiencia de 15,5 %. Esta planta estima reducir las emisiones de CO_2 en 1277 tCO_2 por año. [2]

JCM no solamente ha tenido proyectos relacionados con paneles fotovoltaicos, sino que también posee sistemas de cogeneración de energía, calderas altamente eficientes, entre otros.

1.2.3. Acuerdo JCM Chile – Japón

En el año 2015 se firmó el acuerdo "Low Carbon Growth Partnership", o también llamado JCM (Joint Credit Mechanism). Nació como una propuesta japonesa para adherir a Chile al acuerdo, así como lo han hecho más de 16 otros países. El mecanismo abarca distintas áreas, las cuales son definidas por el Comité Binominal, encargado de elaborar las guías y metodologías para la aplicación del Acuerdo. El Comité chileno estuvo conformado por los Ministerios de Relaciones Exteriores, de Medio Ambiente y de Energía.

El Acuerdo permitió generar oportunidades tanto para instituciones privadas de Chile como de Japón, a través de actividades en un formato de estudio de viabilidad (FS, Feasibility Study) o proyecto en conjunto. Dichas Actividades FS o Proyectos deben ser del tipo de reducción de emisiones GHG, energías renovables, gestión de residuos u otro definido en el acuerdo JCM.

Con respecto al alcance de áreas de proyecto en el modelo JCM, fueron acordados entre los países los siguientes ejes temáticos:

- Industrias de energía (recursos renovables y no renovables), distribución de energía y demanda de energía.
- Industrias manufactureras, industria química, construcción, transporte, minería, producción de metal.

- Emisiones fugitivas de combustibles (sólidos, petróleo o gas), emisiones fugitivas provenientes de la producción y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre
- Uso de solventes
- Depósito y manejo de desechos
- Forestación, reforestación y agricultura

Otro aspecto relevante a considerar es que todo proyecto debía realizarse en suelo chileno, ya que toda reducción de gases habría de ser monitoreada, revisada y verificada bajo la metodología acordada por el Comité Binominal. Toda actividad o proyecto se debe realizar en conjunto con colaboradores chilenos y japoneses.

1.3. Regulación Nacional

En los últimos años, el gobierno de Chile ha tomado varias medidas y políticas públicas para enfrentar el cambio climático y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. En el año 2017 se logró que el 19 % de la energía generada proviniera de fuentes limpias (ERNC), siendo estas lideradas por la energía solar, que corresponde al 46 % del total, seguida por la energía eólica con un 31 %, biomasa y minihidro, con 11 % cada una, y por último, geotérmica con el 1 %. Esto de acuerdo con los datos entregados por el Ministerio de Energía.

1.3.1. Iniciativas en energía renovables no convencionales (ERNC) en Chile

Para lograr la expansión de las ERNC, y además hacerlas cercanas a la comunidad, diversos ministerios se han unido para lograr este objetivo, como son el Ministerio de Energía, Ministerio de Medio Ambiente (MMA), además del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Estas iniciativas van desde herramientas técnicas hasta económicas, las que se mencionan a continuación:

- **Explorador solar:** Es una herramienta sencilla y gratuita que permite hacer un cálculo de ahorro, costo y beneficio en la instalación de paneles solares o térmicos, a nivel residencial o comercial (de empresa). Este es uno de varios programas desarrollados con el nombre de "exploradores", con el cual se pueden analizar distintos recursos naturales renovables, como el solar, el eólico y el marino.

  La aplicación Explorador Solar cuenta con un mapa geográfico de Chile, con los índices de radiación, en donde se puede encontrar cualquier ubicación en base a dirección o coordenadas, y con esa información, crear un cálculo de generación fotovoltaica y sistemas solares térmicos.

  Esta herramienta fue creada mediante una colaboración entre el Ministerio de Energía, la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, entre otros actores, como el SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada) y DGA (Dirección General de Aguas). [17]

- **Financiamientos:** Distintas instituciones estatales, tales como el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC), Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Comisión Nacional de Riego (CNR), Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), entre otros, entregan financiamiento para proyectos relacionados con Energía Renovables No Convencionales en pequeña escala, en forma de subsidios, créditos con garantía del estado, o beneficios tributarios.

- **Modelo ESCO:** Permite la implementación de proyectos del tipo eficiencia energética o ERNC, cuyo modelo es ofrecido por empresas de Servicios Energéticos (Energy Service Companies, ESCOs). La idea del modelo se basa en inversiones que se pagan con los ahorros, lo que es definido por el Contrato de Desempeño Energético (CDE). En los tipos de contrato, se encuentran los de venta de energía, donde la ESCO es quien implementa y cubre los gastos de equipo e instalación, mientras que el cliente paga por el servicio de energía, el cual tiende a ser un costo menor que el sistema tradicional (servicio de red eléctrica).

- **Programa Techos Solares:** Según las palabras de Andrés Rebolledo, Ministro de Energía (periodo 2014-2018), el Programa de Techos Solares Públicos: *"re-*

presenta un esfuerzo del Gobierno y el Sector Público por dar el ejemplo en la adopción de energías cada vez más limpias y más eficientes, a través de la implementación de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo en distintos edificios públicos. Hoy, estamos partiendo por casa, y esperamos así poder contribuir a la maduración de este mercado con nuevas y mejores soluciones para todos los chilenos"(Rebolledo, Ministerio de Energía [7]).

En noviembre del 2017 se logró implementar el edificio número 100 a cargo del Programa de Techos Solares, proyecto que correspondió al Palacio La Moneda, con una capacidad de 30 Kwp. En este se estimó un ahorro de 2.83 millones de pesos al año, además de aportar los excedentes energéticos al sistema interconectado central (SIC), específicamente los fines de semanas cuando el establecimiento no es ocupado en su 100 %. Por último, la reducción de GHG corresponde a 15 tCO_2 por año. [6]

Actualmente, el proyecto solar ya cuenta con más de 100 sistemas fotovoltaicos instalados y más de 15 en proceso de ser entregados a principios del 2018. Logrando una capacidad instalada de 4.2 MW y esperando llegar a los 4.8 MW. Esto repartido en 10 regiones, como se observa en el gráfico de la figura 1.4. La proyección para el 2018, figura 1.5, cuenta con proyectos aprobados y en proceso de construcción, omitiendo futuros proyectos o licitaciones realizadas.

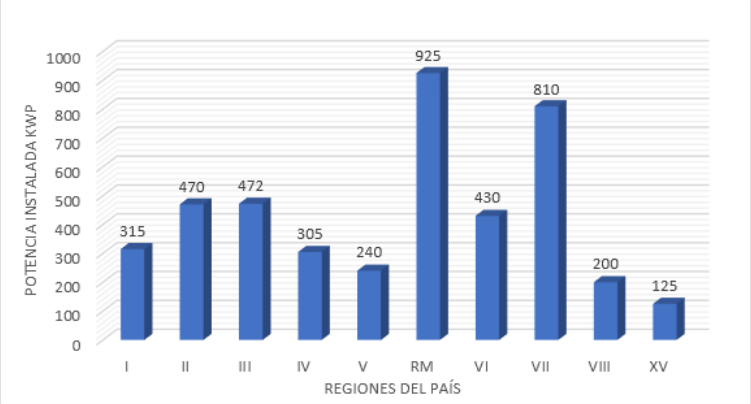


Figura 1.4: Las regiones que abarca el Programa Techos Solares.

Fuente:Elaboración propia

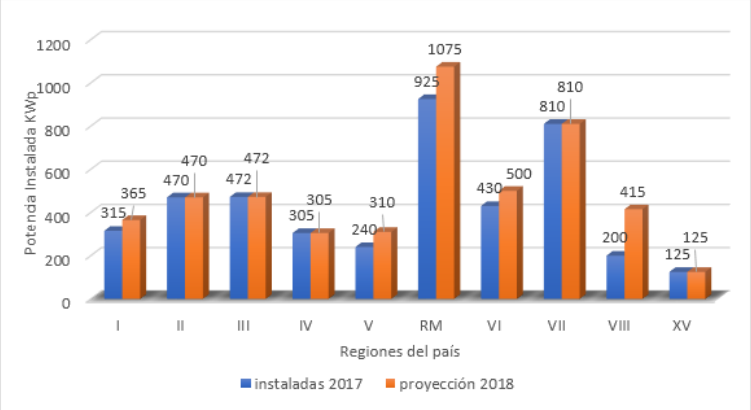


Figura 1.5: Proyectos finalizados y en construcción del Programa de Techos Solares

Fuente:Elaboración propia

Información detallada de los gráficos se encuentra en anexo digital.

1.3.2. Techos solares: El caso de Teletón

Dentro de los desarrollos energéticos, destaca la energía solar fotovoltaica, la cual corresponde a un 46 % de las ERNC, dada la facilidad de aplicación e instalación respecto de otras, como minihidro o biomasa. Además, puede ser usada a nivel residencial, con la posibilidad de ser "on grid" (conectado al servicio eléctrico), o bien, "off grid" (aislado del servicio eléctrico). Esto permite dar pasos a diversos proyectos apoyados por el gobierno de Chile.

La institución Teletón es actualmente partícipe del Programa Techos Solares, gracias al cual cuenta con sistemas de paneles en 6 de sus sedes (tabla 1.2), logrando una suma de 220 Kwp instalada, y una reducción en emisión de 197 tCO_2 al año. Estas instalaciones permiten a la institución generar su propia energía, y además, poder inyectar los excedentes a la red de distribución. Las sedes Teletón de Santiago, Atacama y Calama fueron puestas en marcha en el 2015. En tanto las de Iquique, Talca y Arica, comenzaron el proyecto en el año siguiente 2016.

Establecimiento	Potencia instalada (Kwp)	Reducción de GHG (tCO2/año)
Teletón Arica	25	34
Teletón Iquique	25	34
Teletón Santiago	70	39
Teletón Calama	40	55
Teletón Atacama	40	23
Teletón Talca	20	12
Total	220	197

Tabla 1.2: Centros Teletón del Programa Techos Solares

1.3.3. Ley 20.571

La ley 20.571 o "Ley de Generación Distribuida", permitió la autogeneración de energía por medio de sistemas ERNC. Entregó a los usuarios el derecho de poder vender sus excedentes directamente a las empresas de distribución eléctrica a un precio regulado, los cuales son descontados en la facturación de la cuenta de luz. De esta forma, toda persona ha podido integrar un sistema de energía en su hogar, siempre que sea diseñado para su autoconsumo y con la posibilidad de vender sus excedentes, con el fin de amortizar la inversión realizada y reduciendo su cuenta de luz. Todos los pasos para que el cumplimiento de la Ley se apruebe, sea supervisada y regulada, se encuentra en la página web de la SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustibles), en donde además se encuentra el trámite realizado en línea.

Los requisitos generales son:

- Clientes regulados, es decir, hasta 500 kW de potencia conectada o entre 0,5 y 5 MW que hayan optado por tarifas reguladas.
- Generación basada en ERNC o cogeneración eficiente.
- Capacidad de generación hasta 100 kW (proyectos pequeños).
- Inversores y módulos fotovoltaicos autorizados por SEC.
- Instalación ejecutada e inscrita por un electricista autorizado por SEC.

  Para sistemas de capacidad superior a 100 kW, se consideran proyectos con excedentes, pequeños medios de generación distribuidos (PMGD).

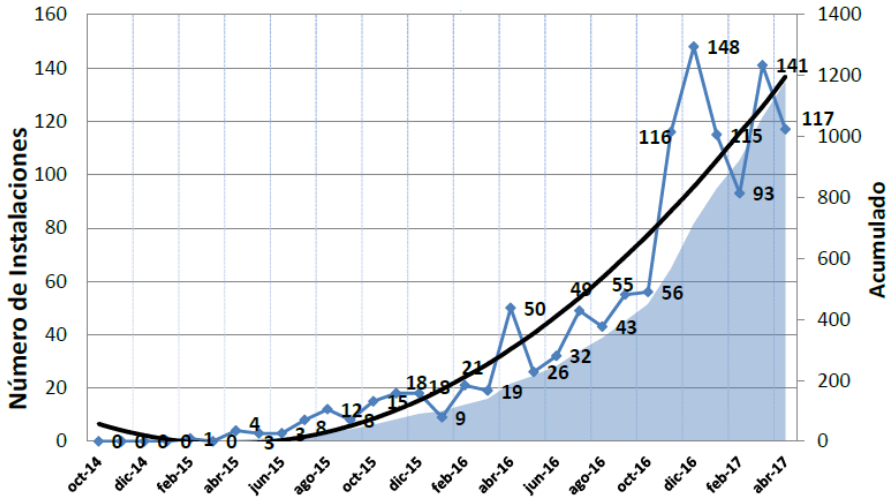


Figura 1.6: Instalaciones registradas en SEC, 12 de mayo de 2017

Fuente:División de Energías Renovables Ministerio de Energía

Para mayo del 2017 se registraron 1215 instalaciones declaradas en SEC, lo que equivale a 8.2 MW, como se puede apreciar el crecimiento en el gráfico de la figura 1.6.

Existen leyes similares en países como Alemania, Francia, México, Estados Unidos, entre otros. En Francia existe una legislación desde el año 2002, modificada en el 2006, en la que se fijó un precio de venta de energía para las personas pertenecientes a la generación distribuida. En México, en el año 2007 se regularon los sistemas productores de autoconsumo, mediante de contratos de vigencia un año. Alemania fue uno de los pioneros en regular la generación distribuida, ya que promulgó una ley en el año 2000 que permitió como logro que al año 2012 el 35 % de la potencia instalada generada por ERNC sea producto de la generación distribuida.

Capítulo 2

Metodología

Descripción de la metodología

La metodología se dividió en dos partes: en primer lugar, una parte técnica que consistió en el registro y documentación del avance del proyecto, en el cual se siguió la Carta Gantt propuesta por Panasonic, documento que luego se contrastó con los avances reales. En segundo lugar, una parte económica, consistente en una revisión económica de este proyecto.

Los pasos y herramientas fueron los siguientes. Se definió a qué tipo de cliente corresponde cada sede, y se utilizó una tabla entregada por la Universidad con los consumos energéticos, mensuales y anual. Ocupando un programa de simulación, se realizaron simulaciones con la finalidad de comparar el reporte entregado por Panasonic con el cálculo realizado en esta memoria. Por otra parte, con los consumos entregados por la Universidad, se propuso una proyección a 20 años (duración del contrato), comparando el costo y uso de los paneles instalados versus el uso de la red eléctrica tradicional en todos los campus. Para el modelo de proyección a 20 años en la V Región, debido a su geografía, hubo condiciones extras a considerar, como, por ejemplo, la presencia de fauna propia de la costa (gaviotas).

2.1. Registro y documentación

En esta sección se describieron los emplazamientos Campus y Sede en los que fueron instalados los paneles fotovoltaicos con sus respectivos layout. Junto con el lugar de instalación, se describieron los equipos a utilizar: paneles, inversores y sensores. Se presentaron las características principales con las cuales fue posible realizar una simulación.

Se describió la forma en que se hizo seguimiento del proyecto (Bitácora) y las herramientas utilizadas. Por último, se presentó la carta Gantt que definió el proceso de instalación.

2.1.1. Estado de la Universidad y primeros planos

Previamente, fue necesario conocer las ubicaciones donde se implementará este proyecto, y las características para cada establecimiento. Sumado a esto, se conoció el layout entregado por Panasonic para la instalación, y finalmente, se comparó con los cambios con el resultado final. La entrega de estos planos ocurrió en junio del 2017 y consistió en el diseño preliminar del proyecto.

El proyecto total contó con 3054 módulos de 325 Wp entregando un total de 992,55 kWp. Estos datos se resumieron en la siguiente tabla 2.1:

Ubicación	Numero de módulos (paneles)	Potencia instalada kWp	Numero de Inversores
Casa Central	798	259	11
Viña del Mar	1560	507	20
San Joaquín	306	99	4
Vitacura	390	127	5
Total	**3054**	**992**	**40**

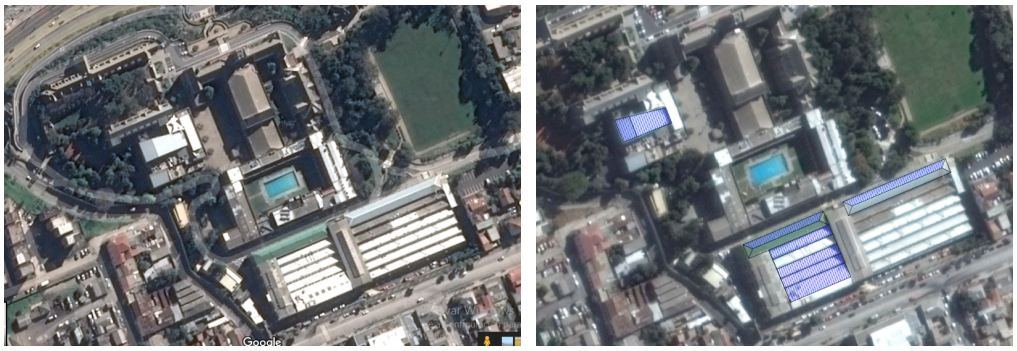
Tabla 2.1: Equipos instalados en los Campus y Sede de la Universidad

Casa Central

Para el campus de Valparaíso (Casa Central) figura 2.1(a), se contempló 798 Módulos de 325Wp (modelo HIT de Panasonic), equivalente a 259,35 kWp y 11 inversores. Estos módulos fueron repartidos entre los techos del edifico C (Departamentos de Mecánica, Obras Civiles, Procesos Químicos y Ciencias de Materiales, además de Laboratorios) y edificio D (Departamento de Arquitectura). Esto se representó en la figura 2.1(b), en la que se destacó en azul la zona donde fueron instalados los paneles. Cabe mencionar que varios techos de este campus son antiguos y no cuentan con las condiciones para instalar peso sobre de ellos. Otros techos serán remodelados en los siguientes años, por lo cual no se deben considerar.

El layout de la figura 2.2 contó con 234 paneles y 3 inversores ubicados en el edificio D, mientras que en el edificio C se instalaron 564 paneles y 8 inversores. Además, un medidor de radiación.

Sumado a lo anterior, para la conexión de los inversores de paneles solares a la red eléctrica de la Universidad, esta sede contó con 3 tableros cercanos a la ubicación de los módulos fotovoltaicos. Un tablero de 100 A, otro tablero de 160 A, y por último, uno de 300 A. Cabe destacar que mientras menos metros de cables sean utilizados, menores serán las pérdidas energéticas.



(a) Vista superior Casa Central (b) Zona de instalación de paneles

Figura 2.1: Imagen satelital completa del campus Casa Central

Fuente: La figura 2.1(a) fue extraída de oogle maps,y la figura 2.1(b) de Digital Globe

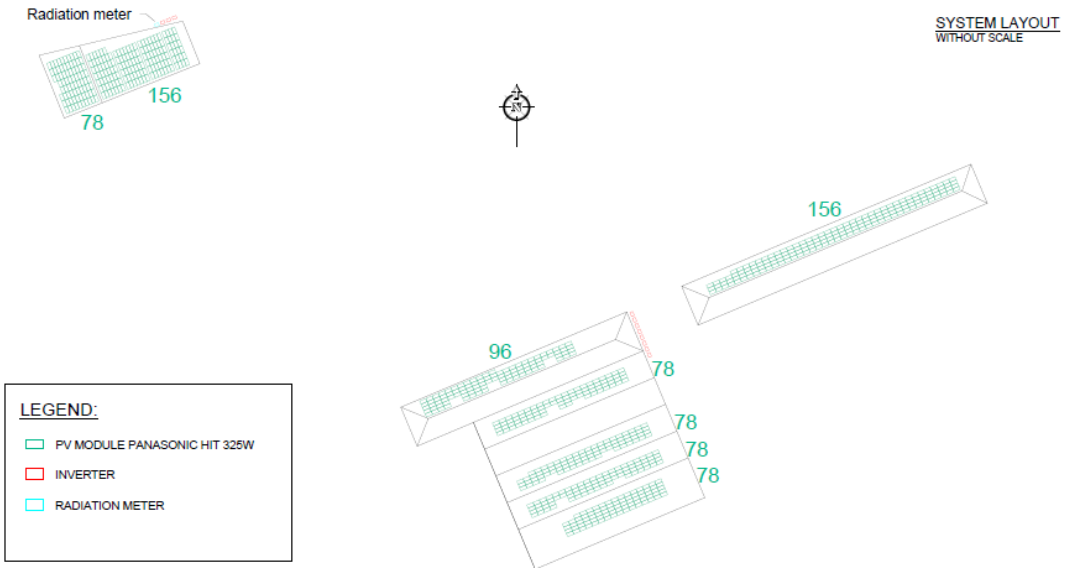


Figura 2.2: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

Sede Viña del Mar

El caso de la sede de Viña del Mar, es la más grande, como se pudo constatar en figura 2.3(a). Esta sede contó con 1560 módulos (modelo HIT 325Wp de Panasonic), los cuales poseen una potencia instalada de 507 kWp. En adición, se tuvieron 20 inversores distribuidos en sus instalaciones. Tal como se muestra, el plano contó con paneles en edificio F (Gimnasio), y el edificio C (Zona de Talleres, Laboratorios, Salas de clases y Auditorios). En la figura 2.3(b) se mostró el techo que será usado, el cual fue marcado con azul. Se debe tener en consideración que los techos serán remodelados, y por ende, descartados.

El layout figura 2.4 muestra que se instalaron en el edificio G lo correspondiente a 858 paneles y 11 inversores. En tanto en el edificio C a 702 paneles y 9 inversores, el que contó con un medidor de radiación.

Además, para la conexión de los inversores de paneles solares a la red eléctrica de la Universidad, esta sede contó con 3 tableros cercanos a la ubicación de los módulos fotovoltaicos: dos tableros de 400 A cada uno, otro tablero de 225. Cabe destacar que mientras menos metros de cables sean utilizados, menores serán las pérdidas energéti-

cas.

(a) Vista superior Campus Viña del Mar

(b) Zona de instalación de paneles

Figura 2.3: Imagen satelital completa de la sede Viña del Mar.

Fuente: La figura 2.3(a) fue extraida de google maps,y la figura 2.3(b) de Digital Globe

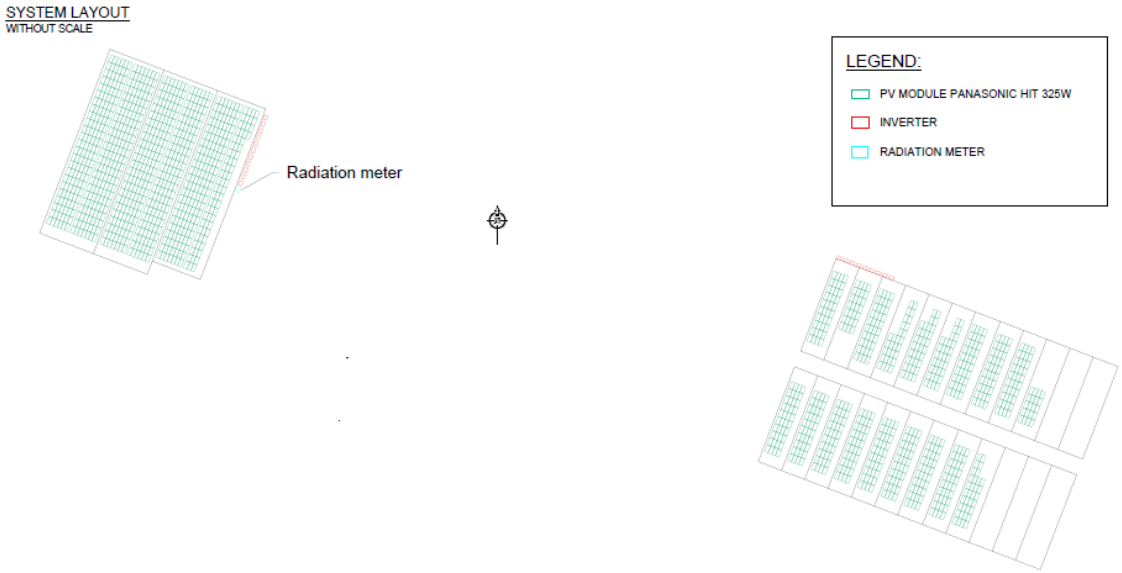


Figura 2.4: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

San Joaquín

Este Campus (figura 2.6(a)) es el que contó con la menor potencia instalada, la que corresponde a 99,45 kWp. Para esto se utilizó 306 módulos (modelo HIT 325Wp de Panasonic) y 4 Inversores. El plano de instalación (figura 2.6(b)) se centró en el edificio A (salas de clases), correspondiente a la zona que está marcada con azul. Este establecimiento es relativamente nuevo (año 2009) y presentó una gran disponibilidad de techos para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

Para el layout se presentó la figura 2.5, que nos mostró los techos del edificio A que fueron usados. En este se distribuyó la totalidad de los paneles, además del sensor de radiación y los 4 inversores ubicados a altura de suelo.

Además, para la conexión de los inversores de paneles solares a la red eléctrica de la Universidad, esta sede contó con un tablero cercano a la ubicación de los módulos fotovoltaicos de 200 A.

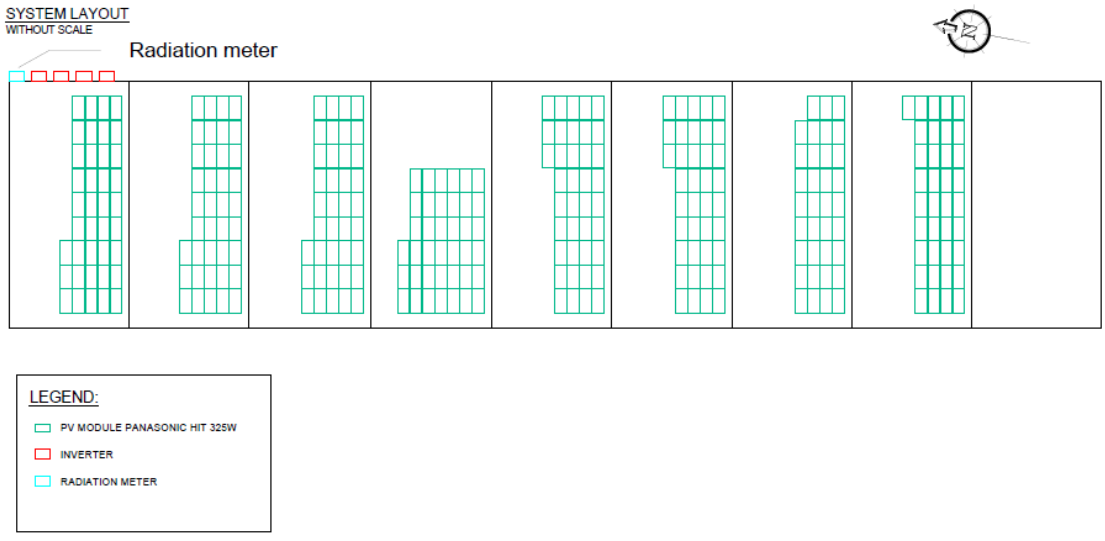


Figura 2.5: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

(a) Vista superior Sede San Joaquín (b) Zona de instalación de paneles

Figura 2.6: Imagen satelital completa del campus San Joaquín.

Fuente: La figura 2.6(a) fue extraida de google maps,y la figura 2.6(b) de Digital Globe

Vitacura

El caso del campus Vitacura figura 2.7(a), la cantidad de módulos fue de 390 (modelo HIT 325Wp de Panasonic), lo que significó una potencia instalada de 126,75 kWp y un total de 5 inversores. El plano de instalación, al igual que el campus San Joaquín, se concentró en solo un edificio: el B (Salas de clases), el que se puede apreciar en la figura 2.7(b) como la zona marcada en azul. Esta campus contó con techos que fueron remodelados y otros que están en vía de recambio.

En el layout figura 2.8 se observó la disposición en la que se ubicaron los paneles sobre el techo del edificio B, que además cuenta con un sensor de radiación y 5 inversores que irán a la altura de piso.

Además, para la conexión de los inversores de paneles solares a la red eléctrica de la Universidad, este campus contó con un tablero cercano a la ubicación de los módulos fotovoltaicos de 300 A. .

(a) Vista superior Sede Vitacura (b) Zona de instalación de paneles

Figura 2.7: Imagen satelital completa de la Sede Vitacura.

Fuente: La figura 2.7(a) fue extraida de google maps,y la figura 2.7(b) de Digital Globe

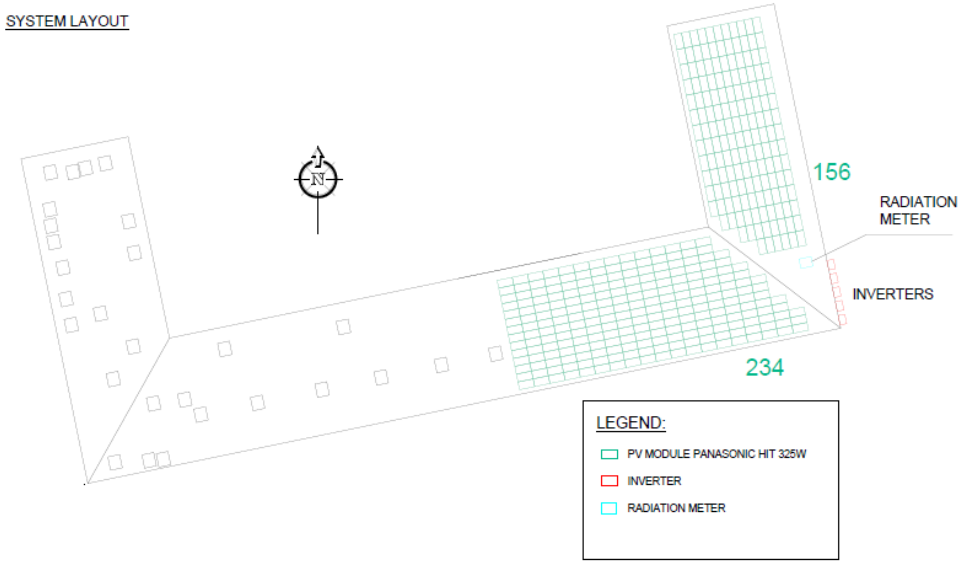


Figura 2.8: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

2.1.2. Equipos y estructuras

Los equipos instalados según el contrato fueron descritos en esta sección. Además, para el registro y documentación relevante para la bitácora, fue necesario de una cámara digital y un instrumento para la captura de imágenes aéreas (uso de dron).

Paneles solares

Con respecto a los paneles solares, en todos los campus se usó el mismo tipo (marca y modelo) de paneles. Los paneles utilizados fueron los HIT 325W de Panasonic (figura 2.9). Estos módulos entregan una alta eficiencia 19,4 %. Sobre ellos, además, Panasonic garantizó que a los 10 años se generará el 90 % de la potencia máxima y a los 25 años un 80 %. Las características del panel fueron:

Características	STC		NOCT		20% de radiación	
Potencia Máxima (Pmax)	325	W	249,3	W	62,3	W
Tensión para máxima Potencia (VMP)	57,6	V	56,1	V	56,4	V
Corriente para máxima potencia (Imp)	5,65	A	4,52	A	1,11	A
Tensión en circuito abierto (Voc)	69,6	V	65,9	V	65,3	V
Corriente en circuito abierto Isc	6,03	A	4,88	A	1,21	A
Protección contra sobrecorriente	15 A					
Eficiencia	19,4 %					

Tabla 2.2: Tabla resumen de las características del panel en 3 condiciones

La tabla 2.2, muestra el comportamiento del panel en tres condiciones:

- **STC (por sus siglas en inglés Standard Test Conditions)**: Donde las condiciones de operación son las siguientes: radiación de 1000 W/m^2, temperatura de celda de 25 grados y masa de aire 1.5.

- **NOCT (Por sus siglas en ingles Normal Operating Cell Temp):** Donde las condiciones de operación son las siguientes: radiación de 800 W/m^2, temperatura del aire de 20 grados, masa de aire 1.5. y velocidad del aire 1 m/s.

- **Baja Radiación (20 %):** Donde las condiciones de operación son de una radiación de 200 W/m^2, temperatura de celda de 25 grados y masa de aire 1.5.

El panel cuenta con 96 células y tiene una dimensión de 1590 mm de longitud, 1053 mm de ancho y 35 mm de alto. Su peso es de 18,5 kg. La garantía del panel es de 25 años.

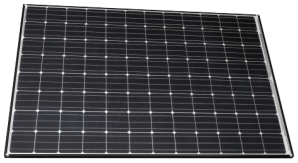


Figura 2.9: Panel fotovoltaico Panasonic, modelo HIT 325W

Fuente: Panasonic

Los módulos fotovoltaicos HIT fueron una nueva tecnología que logró llegar a un 19,7 % de eficiencia en paneles de 330 Watts. Esta eficiencia se logró por la combinación de una celda monocristalina y 2 láminas de capa extrafina de silicio amorfo, siendo así llamada silicon heterojunction cell (SHJ cell), que, a diferencia de otros tipos de paneles, se trató de una celda con una estructura n-p. Este tipo de unión SHJ permitió que la celda presentara una menor zona defectuosa debido a la lámina de silicio amorfo, con lo que logró minimizar las pérdidas de cargas, como se evidenció en la figura 2.10

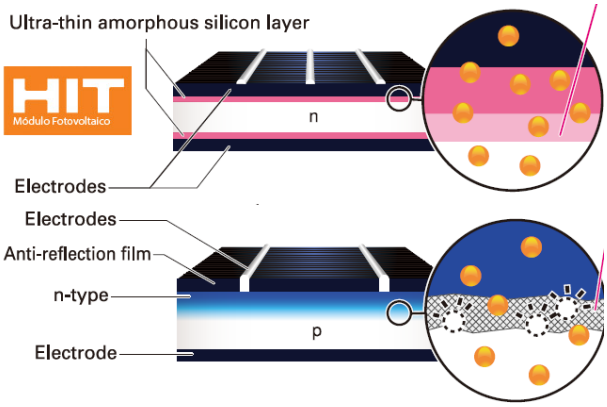


Figura 2.10: Comparación entre una celda HIT y un policristalino.

Fuente: Panasonic

Además, las celdas HIT contaron con 3 líneas de recolectores (figura 2.11), a diferencia de las celdas convencionales que suelen presentar solo 2. Esta nueva configuración permitió reducir las pérdidas de electricidad en los electrodos lineales y optimizar el área de captura de electrones.

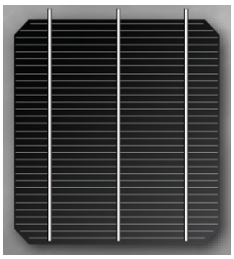


Figura 2.11: Celda HIT, con 3 lineas de recolectores.

Fuente: Panasonic

Finalmente, la superficie de las celdas posee una estructura piramidal, con la finalidad de capturar la mayor cantidad de luz, donde cada fotón reflejado logre ser absorbido y no enviado al ambiente (figura 2.12). La suma de todas estas innovaciones logró un mayor aprovechamiento de la luz diaria y una mayor eficiencia a altas temperaturas, debido a la capa de silicio amorfo que tiene un mayor coeficiente de temperatura. Por esto que es un panel de alta eficiencia por metro cuadrado.

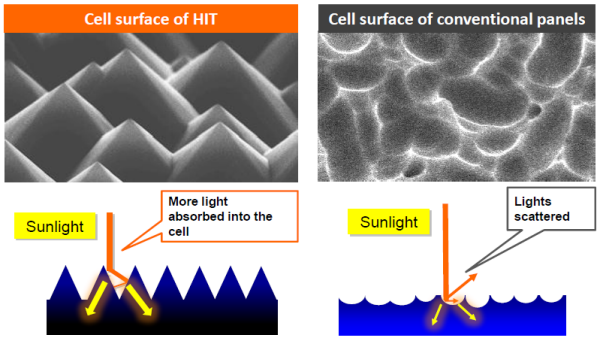


Figura 2.12: Forma de impacto de la radiación sobre paneles

Fuente: Panasonic

Inversores

El dispositivo utilizado como inversor fue de la marca Fronius, de modelos Eco 27, Symo 15 y Symo 20 (características generales en la tabla 2.3). Dentro de sus cualidades, se destacó la conexión de datos vía WLAN o Ethernet, la que permitió una visualización del consumo en tiempo real. Además, la instalación pudo ser tanto en interior como en exterior y en cualquier inclinación. Datos técnicos en la tabla 2.4 y 2.5

	Symo 15	Symo 20	Eco 27
Dimensiones (Alto x Ancho x profundidad)	725 x 510 x 225 mm	725 x 510 x 225 mm	725 x 510 x 225 mm
Peso	43,4 kg	43,4 kg	35,7 kg
Consumo nocturno	< 1 W	< 1 W	< 1 W
margen de temperatura ambiente	-40°C / +60°C	-40°C / +60°C	-25°C / +60°C
Máximo rendimiento	98,1%	98,1%	98,3%
Rendimiento europeo (ηEU)	97,8%	97,9%	98,0%

Tabla 2.3: Características generales de los inversores de la marca Fronius.

La combinación de estos permitió cubrir la potencia generada por los paneles para cada techo, separando estos en grupos.

		Symo 15	Symo 20	Eco 27
Datos de entrada	Máxima corriente de entrada (Idc máx 1 / Idc máx 2)	33 A / 27 A	33 A / 27 A	47,7 A
	Máxima Corriente (Idc 1+ Idc2)	51 A	51 A	47,7 A
	Mínima tensión de entrada (Udc mín)	200 V	200 V	580 V
	Tensión CC mín de puesta en servicio (Udc arranque)	200 V	200 V	650 V
	Tensión de entrada nominal (Udc, r)	600V	600V	580 V
	Máx tensión de entrada (Udc máx)	1.000 V	1.000 V	1000 V

Tabla 2.4: Características detalladas de datos de entrada de los inversores.

		Symo 15	Symo 20	Eco 27
Datos de salida	Potencia nominal CA (Pac, r)	15.000 W	20.000 W	27.000 W
	Máx potencia de salida (Pac máx)	15.000 VA	20.000 VA	27.000 VA
	Máx corriente de salida (Iac máx)	21,7 A	28,9 A	40,9 A / 39,1 A
	Acoplamiento a la red (Uac nom)	400/230 V, 380/220 V	400/230 V, 380/220 V	400/230 V, 380/220 V

Tabla 2.5: Características detallada de datos de salida de los inversores.

Sensores

Para el monitoreo y control se tuvieron tres sensores de la marca Fronius:

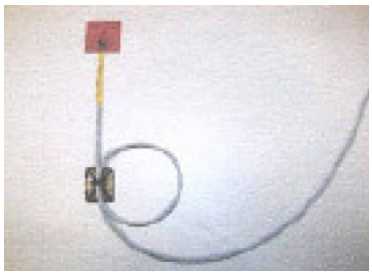
- **Sensor de temperatura ambiente:** Este sensor (figura 2.13(a)) permitió medir tanto temperatura al aire libre como al interior de un cuarto. Su rango de temperatura oscila entre los -40 y 180 grados Celsius con una precisión de $\pm$0,8 grados

Celsius. Sus dimensiones son de 50 mm de largo y 6 mm de diámetro, y permite un largo máximo de conexión de 20 metros.

- **Sensor de temperatura:** Este sensor (figura 2.13(b)), mide la temperatura en superficies, para este caso la superficie de los paneles solares. Su rango de temperatura oscila entre los -20 y 150 grados Celsius con una precisión de $\pm$ 0,45 grados Celsius. La dimensión es de 32 mm por 32 mm y permite un largo máximo de conexión de 20 metros.

- **Sensor de radiación:** Sensor que al ser ubicado al lado del panel (figura 2.13(c)) permite medir la cantidad de radiación que reciben los paneles. El sensor es en la mayoría de los casos una celda monocristalina y su calibración aproximada es de 75 mV a 1000 W/m^2. Su desempeño óptimo se da en una temperatura ambiente de -40 a 85 grados Celsius. Sus dimensiones son: largo 55mm, ancho 55 mm y alto 10 mm. El largo de conexión máximo es de 30 metros.

(a) Sensor de temperatura ambiente



(b) Sensor de superficie

(c) Sensor de radiación

Figura 2.13: sensores de temperatura y radiación

Fuente: Fronius

Si se agrega un sensor para la velocidad del viento, se puede lograr una estación de clima local. Eso es ideal para poder monitorear, controlar, y corregir cualquier impedimento que permita una óptima funcionalidad del sistema fotovoltaico.

Soportes

La estructura que mantuvo los paneles sobre el techo consistió en un sistema compuesto de rieles sobre los cuales se sostiene dicho panel. Este mecanismo correspondió a la marca Unirac y consistió en lo siguiente: rieles de aluminio (figura 2.14(a)) en paralelo, en donde se ubicaron los módulos fotovoltaicos. Los rieles se encontraron en dimensiones desde 3352 mm hasta 6096 mm de largo. Otra pieza fue la unión de rieles (figura 2.14(b)), que permitía la continuidad de los paneles. La fijación de este sistema al techo iba con una pieza en L (figura 2.14(c)), la cual permitió distintos tipos de anclajes dependiendo el tipo de techo, al igual que permitió variar la altura en la que se unirá el riel. Una abrazadera de cierre (figura 2.14(d)) fue instalada tanto al inicio del riel como al final. Esta misa abrazadera retuvo la serie de paneles dispuestos sobre los rieles, y entre cada módulo fue ubicado un espaciador (figura 2.14(e)). Plano de montaje en figuras B.1, B.2(a) y B.2(b) del anexo.

(a) Riel de aluminio (b) Unión de rieles (c) L-Foot

(d) abrazadera de cierre (e) Espaciador de paneles

Figura 2.14: Componentes del sistema de soporte panel-techo

Fuente: Unirac

Otros equipos

Para que la instalación estuviera completa, se debió contar con otros componentes como, equipos Data Logger, este dispositivo permitió el registro de datos en el tiempo, datos que para este caso fueron los entregados por medio de los sensores de temperatura y radiación. La cantidad estuvo relacionada con la ubicación final de cada arreglo de paneles.

El sistema fotovoltaico debió ser conectado a la red eléctrica en los Campus y Sedes de la Universidad, esto se realizó directamente sobre los tableros de cada sede, pero además se debieron considerar otras estructuras (tableros eléctricos) adicionales y complementarias a los tableros ya existentes en la Universidad. Además de estas nuevas conexiones fueron instalados protectores de sobretensión.

El cableado para la corriente continua utilizado (panel a inversor), fue específicos para aplicaciones solares, los cuales debieron tener una alta tolerancia a los rayos UV y una vida útil de 30 años a 90 grados Celsius, incluso pudiendo soportar hasta 120 grados Celsius. Para el caso del cableado de corriente alterna (inversor a tablero eléctrico), fue utilizado en función a la norma Chilena.

2.1.3. Bitácora

La bitácora o seguimiento del estudio se realizó en función a los puntos críticos marcados en la Carta Gantt que se expuso en esta sección y considerando hitos propios. Además, contó con datos relevantes de las últimas reuniones previo al inicio de obras, en términos de las decisiones comunicadas en diferentes instancias. El registro fotográfico in situ se realizó cada 2 o 3 semanas, dependiendo del avance que fue logrando en la instalación. Este registro fue realizado en dos días, visitando dos sedes por día. En el caso de la sede de Viña del Mar, se dejó un cámara fija en dirección al techo del edificio C, con el fin de capturar imágenes con un cierto intervalo de tiempo, para crear un Time Lapse (secuencia de imágenes que evidencia los cambios visibles) durante todo el proyecto de instalación.
La metodología de registro fotográfico de los campus siguió una modalidad exigida por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón. Esta consistió en que todas las imágenes

registradas durante el proyecto debían ser tomadas desde el mismo punto geográfico, y en cada toma de imagen se debía incluir una pizarra visible con los datos presente en la tabla 2.6. Todos los puntos geográficos donde fueron tomadas las imágenes debieron estar marcados en un mapa referencial, habiendo correlación entre la ubicación real desde donde se capturó la imagen y la ubicación del punto en el plano de referencia (mapa). De esta forma, la metodología de registro fotográfico con pizarra incluida permitió obtener un control visible del avance y progreso del proyecto.

Básicamente, cada fotografía capturada mostró el paisaje real del avance en la instalación y una pizarra blanca (puesta in situ) que presentaba los datos del lugar. El texto descriptivo se iba completando in situ, dependiendo del progreso que se presentara a la fecha.

Project Name	
Description	
Location	
Progress (%)	
Date	DD-MM-AAAA

Tabla 2.6: Formato de pizarra

Equipos de documentación

Para realizar la documentación se usaron dos cámaras digitales Sony Ilice 5100 de 24, 3 MP (figura 2.15(a)). Una de estas cámaras estuvo fija en Viña del Mar y la otra fue usada para tomar las fotografías en los otros Campus y Sedes . Además, se contó con un dron marca DJI modelo Mavic (figura 2.15(b)), equipo que permitió realizar tomas aéreas (tanto video como imagen) de los techos, con lo que se permitió visualizar el avance desde otra perspectiva, la que complementa la obtenida con las imágenes fotográficas con pizarra.

2.1.4. Carta Gantt

El cronograma para el Proyecto entregado por Panasonic fue presentado el de 10 de enero del 2018, en el que se mencionó cada Campus y Sede involucrada. En esta Carta Gantt destacaron 5 hitos definidos individualmente para cada caso. Todos los casos

(a) Cámara Sony Ilice 5100 (b) Dron DJI, Mavic

Figura 2.15: Equipos de documentación

Fuente: 2.15(a) sony store, 2.15(b) dji store

comenzaron con un estudio estructural y una revisión de las cubiertas, donde fueron reparadas de ser necesario. A continuación, un resumen de este documento. En anexo digital, se encuentra el documento completo.

Se dio comienzo a la instalación, con el montaje de soportes con fecha 30 de enero del 2018. Hito 1 “Entrega de Estructuras” se consideró completar la instalación de los soportes para dar paso al montaje de los paneles. Hito 2 “Entrega de instalación DC” fue planeada la entrega del montaje de panales y el cableado de estos. Hito 3 “Entrega de sistema de inyección” fue un trabajo en paralelo a la instalación de soportes y paneles, el que contempló tareas como la ubicación de inversores, instalación de tableros, pruebas de cableado, entre otros. La importancia de este hito fue que dio paso a la puesta en marcha del sistema fotovoltaico. El Hito 4 “Entrega de sistemas de monitoreo” correspondió a la instalación de sistemas y equipos de monitoreo para las pruebas y seguimientos futuros del arreglo fotovoltaico. Finalmente, se realizó el Hito 5 “Entrega final del sistema”, y se dio por completo el trabajo. Faltó una capacitación de 3 días al área de mantenimiento de la Universidad.

Las fechas correspondientes a cada hito separadas por sede se encuentra en la siguiente tabla 2.7

Dicha Carta Gantt presentó modificaciones, viéndose afectada la duración del proyecto. Esto hizo que la Carta Gantt presentada no se cumpliera. El principal motivo de este atraso fue debido al estudio estructural, el cual no fue realizado a tiempo, trayendo consigo una serie de contratiempos y detenciones de las instalaciones.

Campus y Sede	Fecha (2018)				
	Hito 1	Hito 2	Hito 3	Hito 4	Hito 5
Casa Central	1 de marzo	16 de marzo	16 de marzo	23 de marzo	13 de abril
Viña del mar	1 de marzo	21 de marzo	21 de marzo	28 de marzo	18 de abril
San Joaquín	9 de febrero	22 de febrero	22 de febrero	1 de marzo	15 de marzo
Vitacura	9 de febrero	22 de febrero	28 de febrero	7 de marzo	21 de marzo

Tabla 2.7: Fechas originales de hitos del proyecto

2.2. Estudio Económico

En esta sección se describieron las condiciones en las que se encontró la Universidad con respecto a la realización del estudio económico. En este contexto, fueron descritas las variables como tipo de cliente, y los consumos que presentaron cada campus en los años 2014, 2015 y 2016.

Por otra parte, se presentó el procedimiento para el análisis, criterios a evaluación como el VAN y el TIR en el caso de una inversión. Además, se definieron los casos que fueron evaluados para ver la sensibilidad del análisis.

2.2.1. Tipo de cliente en consumo eléctrico por sede

Según las definiciones conceptuales dadas por la Central de Energía de Chile, se pudieron distinguir dos tipos de clientes, de acuerdo con el criterio de potencia de energía consumida por parte de los consumidores. Esta distinción dada por la Central de Energía permitió comprender el contexto de la UTFSM en cuanto a consumo de energía.

- **Clientes libres.** El término se refiere al grupo de clientes cuya potencia conectada es de al menos 500 kW. Los clientes libres negocian libremente los precios de electricidad con las generadoras y fijan las condiciones mediante contratos de suministro.
- **Clientes regulados.** El término se refiere al grupo de clientes cuya potencia conectada es inferior a 500 kW. Los precios de los clientes regulados se fijan

mediante los decretos de precio de nudo que emite la CNE. A los clientes abastecidos por una empresa de distribución (p. ej. cliente residencial), la distribuidora les traspasa el precio de nudo (precio al que compró la energía) y adiciona el VAD (cargo que cubre los servicios de distribución). Los clientes cuya potencia conectada esté entre 500 y 2.000 kW pueden optar a ser clientes regulados. Definiciones de la Central de Energía Chile [12].

Dicho esto, los campus Vitacura y la sede de Viña del Mar han sido clientes regulados del tipo AT 4.3 y durante el 2017 Casa Central y el campus San Joaquín pasaron de ser cliente regulado a cliente libre para el inicio del 2018.

2.2.2. Consumos eléctricos por sede

La Universidad hizo entrega de los datos de consumo por Campus y Sede, valores que corresponden a los años 2015 y 2016. Casos especiales para Casa Central y campus Vitacura, donde en el primer campus mencionado se contó además con los datos del año 2014, y en el segundo solo se contó con datos del año 2015.

En los gráficos se ilustró el consumo respectivo para cada sede, separado por meses del año 2016. Se ilustró en la figura 2.16 el conjunto de todos los establecimientos. Los gráficos individuales se guardaron en el anexo desde figura B.3 a la figura B.6. Las tablas agrupadas en Casa Central y vitacura 2.8 y campus San Joaquín y sede Viña del Mar 2.9

Con respecto al caso de la sede Viña del Mar, se hizo notoria una leve diferencia entre los años. Distintos fueron los casos del campus San Joaquín y Casa Central, en donde se observó un incremento significativo entre los meses de un año a otro. Con respecto al campus Vitacura, en cambio, no se pudo apreciar variación significativa, debido a que se contó con los datos de un solo año.

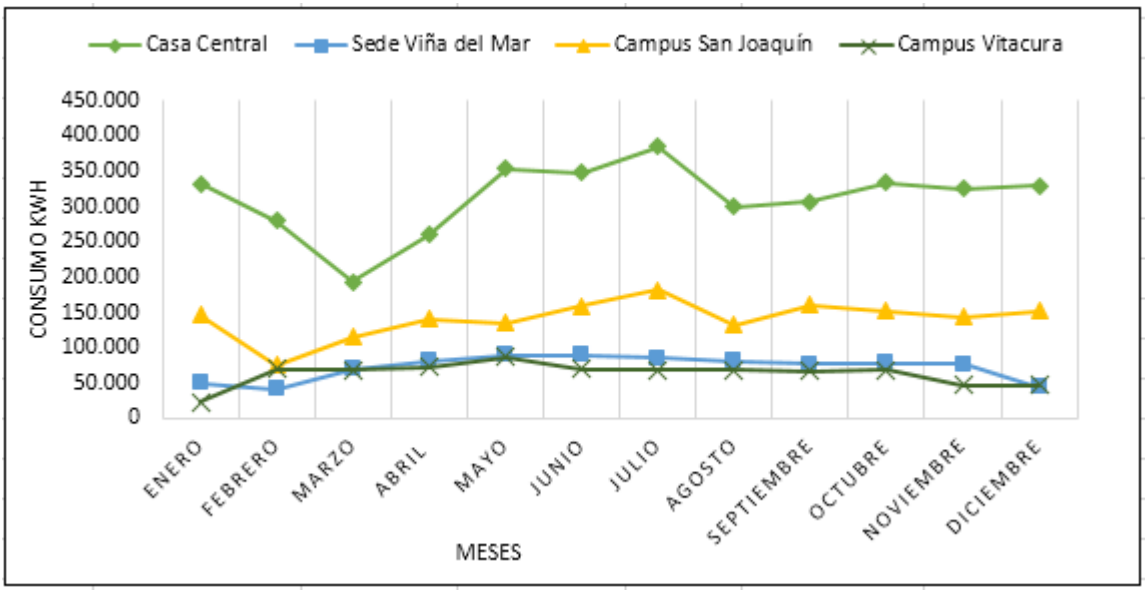


Figura 2.16: Consumo de los 4 establecimientos año 2016

Fuente:Elaboración propia

	Campus Casa Central			Campus Vitacura
Mes	Año de consumo (kWh)			Año de consumo (kWh)
	2014	2015	2016	2016
Enero	216.816	267.423	332.411	23.400
Febrero	235.855	237.042	279.512	70.200
Marzo	192.454	204.183	193.844	68.700
Abril	278.898	271.410	259.849	73.200
Mayo	297.161	320.569	353.213	86.700
Junio	315.048	295.172	348.301	69.600
Julio	340.155	310.513	384.445	68.941
Agosto	307.659	264.951	300.038	68.941
Septiembre	303.687	271.342	307.316	66.717
Octubre	285.156	318.578	333.194	68.700
Noviembre	321.849	288.733	325.543	47.100
Diciembre	296.742	314.052	330.092	47.700
Promedio	**282.623**	**280.331**	**312.313**	**63.325**

Tabla 2.8: Consumos de Casa Central y Valparaíso

Campus San Joaquín			Sede Viña del Mar	
Mes	Año de consumo (kWh)		Año de consumo (kWh)	
	2015	2016	2015	2016
Enero	84.173	146.166	50.570	49.579
Febrero	72.567	74.846	46.575	41.515
Marzo	99.450	114.657	73.668	69.563
Abril	130.875	140.484	82.091	81.250
Mayo	128.521	134.649	92.000	89.016
Junio	121.686	159.034	83.441	90.278
Julio	117.596	181.536	75.425	85.081
Agosto	104.816	132.198	82.367	80.539
Septiembre	97.705	160.593	80.233	77.223
Octubre	129.007	152.627	81.676	78.426
Noviembre	126.524	143.119	74.445	76.467
Diciembre	119.345	152.432	70.006	44.471
Promedio	**111.022**	**141.028**	**74.375**	**71.951**

Tabla 2.9: Consumos de San Joaquín y Viña del Mar.

2.2.3. Estudio Económico y sus sensibilidades

El objetivo del análisis en el contexto del Estudio Económico fue verificar los beneficios económicos que obtendría la Universidad por medio del contrato, análisis que contempló por separado a cada campus y también en una versión global del proyecto, a modo de panorámica. La forma de ver este beneficio económico fue por medio de una comparativa entre el costo de la electricidad "línea base" y el nuevo costo que tendrá para la Universidad con el uso de paneles fotovoltaicos. Este nuevo costo C_{elec} se define como:

$$C_{elec} = \sum_{i=1}^{n} (C_i - PV_i) \times T_{LB} + PV_i \times T_{PV} \tag{2.2.1}$$

Donde, C es el consumo en kWh, PV es la generación entregada por los paneles fotovoltaicos en kWh, T_{LB} es la tarifa de línea base en USD/kWh y T_{PV} la tarifa por la electricidad suministradas por los paneles en USD/kWh. Cada ciclo "n" corresponde a un año y se evalúa en 20 o 25 años dependiendo el caso.

El precio de la tarifa línea base se consideró constante durante los 20 años. Para el caso del campus San Joaquín la tarifa fue de 0,069 USD/kWh, mientras que para Casa

Central fue de 0,071 USD/kWh. Cabe indicar que estos valores fueron entregados por la Universidad. Para campus Vitacura se consideró una tarifa de 0,110 USD/kWh [11] y en el caso de la sede Viña del Mar la tarifa fue de 0,130 USD/kWh [21]. El valor de la generación de los paneles fue el entregado por Panasonic de su respectiva simulación. Para el consumo, usando de base a los datos entregados por la Universidad, se aplicó el promedio del total anual de los datos entregados, considerando como primer año de funcionamiento el 2018. Se consideró un valor de dólar igual a $ 603.45, valor correspondiente al mes de marzo 2018.

Simultáneamente, se realizó el análisis desde el supuesto en que la Universidad realizara la inversión para la misma instalación, considerando además el subsidio JCM. Para esto se calculó el VAN y TIR del proyecto durante 20 o 25 años.

VAN:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+k)^t} \tag{2.2.2}$$

Donde I_0 es la inversión, F_t es el ahorro producido por el uso de los paneles anualmente, el cual se obtiene al multiplicar la generación anual del arreglo solar por el precio de la línea base. La variable k es la tasa de retorno exigida que para la evaluación que considero es un 10 %. Y t es el periodo el cual será 20 o 25 años dependiendo del caso.

TIR:

$$TIR = \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+k)^t} = 0 \tag{2.2.3}$$

El TIR permite encontrar la tasa de descuento k cuando el VAN sea igual a 0.

Para estimar la inversión en cada campus, se separó en 4 ítems: paneles, inversores, estructuras - accesorios y mano de obra, como se mostró en la tabla 2.10. El valor de los paneles correspondió a 350.- dólares (USD) y los inversores 4.500.- USD precio mercado. El precio de los otros dos ítems se calculó en función del costo total de los

paneles. La mano de obra representa el 40 % del total de los paneles, las estructuras y accesorios un 20 % del total.

Como validación de la inversión estimada, se consideró el costo por potencia instalada en Wp. Este valor se obtuvo de la división entre el costo de inversión y la potencia instalada en el campus. Dicho valor debiendo estar entre 1,9 y 2,1 USD por Wp [10]. Según la comisión nación de Energía en el año 2015.

Inversión				
Equipos	Precio (USD)	Cantidad	Total (USD)	Porcentaje
Paneles	350	n_1	$n_1 \times 350 = x$	$\frac{x}{T} \times 100$
Inversor	4500	n_2	$n_2 \times 4500 = y$	$\frac{y}{T} \times 100$
Estructura y accesorios	w	1	$x \times 0{,}2 = w$	$\frac{w}{T} \times 100$
Mano de obra	z	1	$x \times 0{,}4 = z$	$\frac{z}{T} \times 100$
Total			$T = x + y + w + z$	100%

Tabla 2.10: Formato de la inversión

Para realizar los cálculos se consideraron los siguientes datos para cada emplazamiento correspondieron a la siguiente tabla tabla:

Campus o sede	Consumo año 0	Generación	Inversión	Pnon	precio kWh	Valor Wp instalado
	kWh	kWh	USD	kWp	USD	USD
Casa Central	3.501.069	325.100	$ 496.380	259	$ 0,071	$ 1,92
Viña del Mar	877.953	605.000	$ 963.600	507	$ 0,130	$ 1,90
San Joaquín	1.512.303	162.240	$ 195.202	99	$ 0,069	$ 1,96
Vitacura	759.899	192.900	$ 240.900	127	$ 0,110	$ 1,90
Total	6.651.223	1.285.240	$ 1.896.082	992,4		

Tabla 2.11: Datos fijos para los Campus y Sedes

El desglose de la inversión para cada campus se guardó en el anexo desde D.1 a D.4.

Para la sensibilidad, este análisis observó el comportamiento del VAN y el TIR al sensibilizar, los que correspondieron a lo siguiente: el precio de la línea base, el consumo, la duración del proyecto, la corrección del factor de ensuciamiento y el porcentaje de descuento en el pago del consumo energético por parte de los paneles.

Los supuestos para el estudio son los siguientes:

- La duración del contrato son 20 años.
- Para el caso de la inversión por parte de la universidad se consideraran dos plazos para evaluar, 20 y 25 años.
- Se consideró 25 años es la vida útil de los paneles fotovoltaicos.
- Se consideró el valor del dólar de $603.45,- valor que corresponde a la fecha de marzo 2018. Mes en el cual debió comenzar el funcionamiento del sistema.
- El Valor de la línea Base se consideró constante durante el período de evaluación.
- El consumo anual se consideró el promedio de los datos entregados por la Universidad.
- La generación y el consumo se consideró anual, sin considerar consumos fantasmas.
- Los valores de la generación presentan un factor de ensuciamiento del uno por ciento anual, para lo cual se considera una disminución de 1 % de la radiación global que incide sobre los paneles.
- El valor de la generación eléctrica por los paneles (contrato), se mantuvo constate y con un valor del 15 % menos que el valor de la línea base, respectivo para cada Campus y Sede.
- Para efectos de cálculo no se consideró rutina de cálculo.
- La degradación de los paneles se consideró lineal en todo momento, llegando en los primeros 10 años un 10 % menos y en los 15 años siguientes un 10 % mas del total en la generación.
- Para la inversión se consideró un costo de potencia instalada entre 1,9 y 2,1 USD/wp.

- No se consideró deuda para la inversión.
- La tasa de retorno esperada para el proyecto fue definida en 10 %.
- Se consideró un 30 % en el subsidio por parte del mecanismo JCM.
- No se consideraron otras pérdidas energéticas.

Para el caso de las sensibilidades y ver cómo impacta en el ahorro se consideró lo siguiente:

- Se varió el consumo anual desde un -20 % a un 20 % en intervalos de 4 %.
- Se varió el precio de la linea base desde un -20 % a un 20 % en intervalos de 4 %.
- Se varió el factor anual de ensuciamiento desde un 0 % hasta un 10 %, en intervalos de 1 %.
- Se modificó el precio de la generación solar, para eso se varió el valor del porcentaje de descuento respecto la linea base, para esto se manejaron valores entre un 5 % a un 25 % en intervalos de 2 %.
- Todos los cambios se mantuvieron constantes durante el período de evaluación.

Para el caso en que la Universidad hiciera una inversión, se consideró cada Campus o Sede, evaluado cada uno individualmente. Esto sumado a un análisis en el caso de que se realizara la inversión por el proyecto completo. Además, el caso de una inversión por el proyecto en su totalidad, se evaluó en tres escenarios: primero, el caso base, sin variaciones y evaluado en 20 y 25 años. Segundo, el caso más favorable, es decir, que en todos los campus tienen un aumento del 20 % en la tarifa de la línea base. Por último, el caso menos favorable, en el que no hubiera un aumento en la tarifa línea base, asimismo, se consideró un factor de ensuciamiento de 6 %. Todos estos casos se consideraron sin deuda, e incluyen el caso con subsidio del mecanismo JCM.

Por último, se analizó la rentabilidad para la empresa que ofrece el servicio de paneles fotovoltaicos, teniendo en cuenta que la información que se entregó fue que el monto de la inversión es de 1.2 millones de dólares aproximadamente sin considerar el subsidio del JCM. Sumado a lo anterior, se consideró una tasa de retorno del 10 % para efectos de VAN y TIR.

2.3. Otras Consideraciones

Como extensión de los capítulos anteriores (capítulos 2.1 “Registro y documentación” y 2.2 “Estudio Económico”), se consideraron nuevas aristas al estudio, como una nueva simulación en generación eléctrica, agregando un nuevo factor de ensuciamiento, con el fin de que fueran comparados con los valores entregados. Nuevos factores como la venta de excedentes (caso de la sede de Viña del Mar) y la estimación de la reducción de gases de efecto invernaderos.

Por otra parte, se realizó un nuevo análisis de la instalación, en donde se identificaron la ubicación y la orientación de las modificaciones realizadas sobre los arreglos solares en los Campus y Sedes. Así también se identificaron posibles sombras que se hubieran presentado durante el día sobre los paneles.

2.3.1. Estudio de sombras

Como parte de la inspección de las instalaciones, se realizó un estudio visual durante mayo 2018, con el fin de observar el comportamiento en la forma en que incidió la radiación del sol sobre los paneles, identificando factores importantes como sombras, polvo u otros que pudieron afectar el comportamiento normal de los módulos. Así se constituyó el estudio de sombras del sistema fotovoltaico en cada Campus y Sede.

Se tomaron 4 fotografías para cada techo en el que fueron instalados los módulos fotovoltaicos, dicho registro realizado en cada Campus y Sede, con un mismo aparato tecnológico de registro fotográfico. Cada una de las imágenes fueron tomadas en iguales horarios fijados previamente, los que se distribuyeron en el siguiente orden: 9 de la mañana (9:00hrs.), 12 del día (12:00hrs.), 3 de la tarde (15:00hrs.), y finalmente, 5 y media de la tarde (17:30hrs.). El motivo de esta distribución respondió a la necesidad de ilustrar el comportamiento en momentos claves del día, lo que favoreció la obtención de evidencia visual para el análisis del comportamiento de la sombra sobre los módulos.

Las fotografías fueron registradas mediante un Dron, Udi R/c, modelo U29W, para favorecer la obtención de la perspectiva aérea de las instalaciones.2.17

Figura 2.17: Dron Udi R/c, modelo U29W

Fuente: Registro propio

2.3.2. Contrato por servicio de paneles fotovoltaicos

MGM Innova Group es un grupo que ha llevado más de 17 años en el rubro de soluciones climáticas y energías sustentables. Esta organización "ofrece soluciones integrales ambientales, financieras y técnicas que contribuyen al manejo de la energía y a la mitigación y adaptación al cambio climático."

El contrato entre la Universidad y MGM consistió en la compra de energía limpia generada por paneles solares, acuerdo en el que la Universidad no realizó una inversión por los equipos. La duración de este acuerdo fue de 20 años y englobó a las 4 sedes USM. Además, el contrato fue apoyado por el gobierno de Japón mediante el Mecanismo de Crédito Conjunto (JCM).

Como se consignó en el acuerdo JCM, debió haber una parte del proyecto que fuera estudiada desde una entidad en Japón. Es por esto que la Universidad de Waseda fue seleccionada para estudiar la viabilidad y el cálculo de reducción de emisiones de gases invernaderos del proyecto de paneles solares del contrato USM - MGM, cálculo que estimó una disminución de 600 tCO_2 al año.

Otra arista del acuerdo involucró la participación de una empresa japonesa en el proyecto. En este caso se trató de la empresa Panasonic, la que además de instalar paneles de modelo HIT, ha de instalar Laboratorios Solares en la universidad como parte del contrato.

2.3.3. Venta de excedentes al sistema

En base a la Ley 20.571 que permitió la inyección y venta de electricidad al sistema eléctrico (excedentes), se analizó un caso especial que fue la sede de Viña del Mar. Durante los meses de diciembre, enero y febrero, en este campus se presentaron excedentes que pueden ser aportados al sistema. Con esta información se procedió a recalcular una posible inversión y rentabilidad para esta sede en particular. Cabe considerar que el precio de venta energética fue de $0,114 dólares el kWh. [21]

2.3.4. Nuevo cálculo de generación con programa de simulación

Se realizó una nueva simulación actualizada, dado que el proyecto tuvo variación en la ubicación de los módulos fotovoltaicos en cada sede, sumado a que la información entregada con anterioridad presentó un factor en ensuciamiento de 1 %, lejos de lo real. Se procedió a actualizar la distribución de los módulos (considerando orientación e inclinación) y los nuevos valores para el factor de ensuciamiento. [20].

Existen diversos programas como PVsyst, SAM, o el Explorador solar, utilizando este último para tener valores de referencia y ser comparados con los presentados.

Ubicación	Latitud	Longitud	Altura
Casa Central	-33.04° S	-71.60° W	51 m
Sede Viña del Mar	-33.04° S	-71.49° W	146 m
Campus San Joaquín	-33.38° S	-70.78° W	480 m
Campus Vitacura	-33.38° S	-70.58° W	710 m

Tabla 2.12: Ubicación de los Campus y Sede

Los valores para la radiación fueron los entregados por el programa y los datos de Meteonorm 7.1, con año 1990 para el ciclo de simulación. Se configuró el clima con los datos de Meteonorm 7.1 (valores para cada campus en anexo B.7(a),B.7(b),B.8(a) y B.8(b)), y la ubicación geográfica de cada campus manualmente (tabla 2.12).

Los valores para el albedo fue 0,20, considerando entorno Urbano.

La cantidad de módulos, además de su respectiva inclinación y orientación para cada campus, se definieron en la siguiente tabla:

Ubicación	Cantidad de módulos	Inclinación	Acimut
Casa Central			
Edificio C	672	20°	22°
Edificio D	91	15°	-68°
Edificio D	48	15°	112°
Sede Viña del Mar			
Edificio C	936	20°	-111°
Edificio C1 y C2	156	0°	-111°
Edificio W y C	156	5°	159°
Edificio D	156	10°	159°
Edificio G	78	5°	-21°
Edificio G	78	5°	159°
Campus San Joaquín			
Edificio C	306	20°	11°
Campus Vitacura			
Edificio B	78	4°	101°
Edificio B	234	4°	-169°
Edificio A	78	4°	-169°

Tabla 2.13: Orientación e inclinación de los módulos en los campus

Con respecto al factor de ensuciamiento, fueron tomados valores mensuales estimados para Santiago, Región Metropolitana. Según el estudio de Francisco RAU, de la UTFSM [20], en donde estudió el comportamiento del efecto soiling (ensuciamiento) en los paneles en una zona residencial de Santiago. En el caso de la V Región se mantuvieron los mismos valores, pero debe ser mencionado que para el clima, al ser más húmedo que Santiago, el factor puede ser menor que el usado. Sin embargo, aun así el factor en la región de Valparaíso y Viña del Mar debe ser considerado. [13]

Con estos valores se pudo calcular la energía generada a nivel mensual y anual. Los equipos y sus características fueron los mismos que los instalados en el campus (panel fotovoltaico e inversor).

Mes	Factor
Enero	10
Febrero	10
Marzo	8
Abril	7
Mayo	6
Junio	4
Julio	3
Agosto	4
Septiembre	4
Octubre	7
Noviembre	8
diciembre	9

Tabla 2.14: Factor porcentual de ensuciamiento [20]

2.3.5. Estimación de reducción de GHG

Para la estimación anual de reducción de CO_2, se calculó con la generación anual de cada campus, multiplicado por el factor de emisión del Sistema Interconectado Central (SIC) [18]. El cálculo quedó de la siguiente forma:

$$ReduccionCO_2 = Gen_{Anual} x FE \tag{2.3.1}$$

Donde, la generación anual correspondió a cada campus, tanto como el valor entregado como el nuevo calculado. Y FE, el factor de emisión igual a 0,3364 tCO_2/MWh ([18] valor anual para el año 2017).

Esta reducción ocurrió debido a la energía que se dejó de ocupar por el servicio eléctrico y que fue suplida por lo paneles solares.

Finalmente, cabe que destacar que el 2018 se unió el SIC con el SING (Sistema Interconectado del Norte Grande) [19], con lo cual el factor de emisión para los futuros años ha podido variar drásticamente (considérese que el factor del SING para el 2017 fue de 0,7667 [18]).

Capítulo 3

Análisis y resultados

Este capítulo se dividió en dos secciones. En la primera (Registro y documentación) se mostraron los avances realizados hasta el mes de mayo del 2018, con su respectiva documentación y observaciones. En la segunda sección (Estudio económico) se presentaron los resultados del estudio económico y la comparación establecida a partir de estos.

3.1. Registro y documentación

El día 21 de diciembre del 2017 se realizó la reunión "Kick off" en conjunto a MGM, Panasonic y la Universidad (representantes de cada sede). En esta junta se revisaron los planos para cada sede, y se realizaron observaciones pertinentes de plazos de instalación, la ubicación de materiales y planificación de obra. En la reunión se presentaron algunas inquietudes respecto a la ubicación de ciertos arreglos solares, sobre todo por la resistencia estructural que pueden tener las edificaciones. Por esto, en los días siguientes se modificaron algunos planos. Estos nuevos layouts fueron especificados para cada caso. Como se mostró en la sección de metodología, la Carta Gantt para este proyecto (2.7) fue presentada el 10 de enero del 2018, semanas posteriores a la reunión Kick off. Este documento fue modificado: se cambiaron los plazos de los hitos, tal como se observa en la tabla (3.1). Dicha modificación fue presentada el 22 de marzo del 2018.

De esta modificación de marzo 2018, se pudo observar un atraso cercano a los 3 meses con respecto a la planificación original (tabla 2.7), siendo notorio el caso de la

Emplazamientos	Fecha (2018)				
	Hito 1	Hito 2	Hito 3	Hito 4	Hito 5
Casa Central	10 de mayo	25 de mayo	25 de mayo	1 de junio	22 de junio
Viña del mar	23 de mayo	20 de junio	20 de junio	27 de junio	11 de julio
San Joaquín	24 de abril	24 de abril	24 de abril	26 de abril	15 de mayo
Vitacura	17 de mayo	3 de abril	3 de abril	10 de abril	24 de abril

Tabla 3.1: Nuevas fechas de hitos del proyecto

sede de Viña Del Mar, ya que esta sede presentó una condición crítica dada la cantidad de paneles instalados. En este caso, en un principio se planificó que la fecha de entrega (hito 5) correspondería al 18 de abril del 2018. Sin embargo, la nueva fecha de entrega se fijó para el 11 de julio del mismo año, consecuencia del resultado del estudio estructural.

Cabe destacar que, en el caso de Vitacura, existió una posible inexactitud en las fechas fijadas para el proyecto. Se presentó que el hito 5, el que corresponde a la entrega de obras, tiene fecha 24 de abril. Sin embargo, la finalización de instalación de paneles (hito 1) se fijó el día 17 de mayo, una fecha posterior al hito 5. Por lo tanto, hubo una inconsistencia en la cronología de los hitos, ya que, según las fechas, el proyecto en Vitacura se hubiera estado entregando antes que se diera por completa la instalación de los paneles, lo que generó esta inexactitud.

3.1.1. Resumen bitácora

El desarrollo de la bitácora se guardó en anexo A, dicho registro fue separado por Campus y Sede. La fecha de registro comenzó en noviembre del 2017 y la última entrada de información fue en mayo del 2018. El proyecto se siguió por 6 meses, período en el cual fue analizado. Dentro de las detenciones del proyecto, las obras fueron retomadas en junio del 2018, con la realización de los refuerzos estructurales en el campus Vitacura y la sede de Viña del mar.

Para el caso del campus Vitacura, la instalación de paneles fotovoltaicos comenzó en junio, fecha posterior al término de la bitácora, motivo por el cual no se encontraron los avances de este campus en dicha sección (Bitácora). No obstante lo anterior, sí

se cuenta con un registro fotográfico (imagen tomada con dron en el mes de junio), y dichas imágenes fueron presentadas en esta sección y en el siguiente (Resultados a la fecha y próximos avances).

Los avances durante el proceso de registro fueron los siguientes:

Casa Central

El 25 de enero comenzaron a llegar los materiales para la instalación, módulos, rieles e inversores. Con esto se dio inicio a la obra. Los techos que fueron usados: el edificio de C (3.1(a)) y el edificio D (3.2(a)). Para la fecha de mayo se habían instalado 328 paneles de 798. En el edificio C (3.1(b)) a la fecha de mayo del 2018 contaba con 202 paneles, mientras que el edificio D (3.2(b)) contaba con 126 módulos instalados. El porcentaje de avance para la instalación de módulos en mayo del 2018 correspondió a un 41,1 %.

En cuanto a los inversores para mayo del 2018, fueron instalados 4 de los 11 respectivos para el campus.

(a) Antes, enero 2018 (b) Después, mayo 2018

Figura 3.1: Edificio C

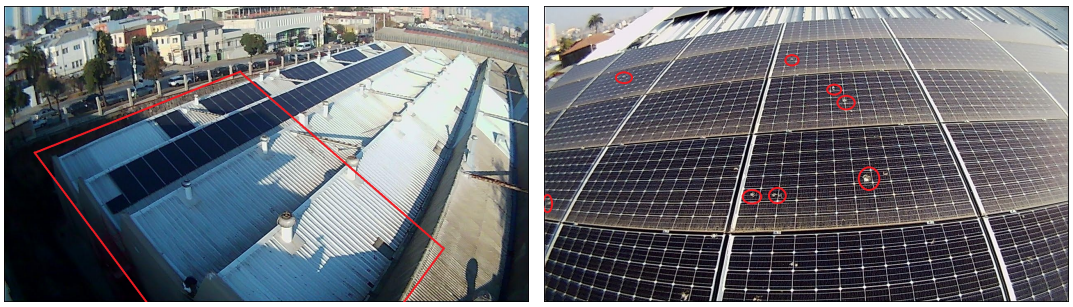
Fuente: Registro propio

(a) Antes, enero 2018 (b) Después, mayo 2018

Figura 3.2: Edificio D

Fuente: Registro propio

El 25 de mayo se hizo un registro visual del desplazamiento del sol y la forma en que incide sobre los paneles. En este registro se constató que una parte de los paneles del edificio C fueron sombreados durante la mañana por un edificio contiguo (3.3(a)), mientras que en el edificio D se destacó la suciedad producida por las aves de la zona (3.3(b)).



(a) Edificio C (b) Edificio D

Figura 3.3: Paneles sombreados

Fuente: Registro propio

Sede Viña del Mar

Los materiales llegaron el 25 de enero. Las obras comenzaron el 20 de enero con la revisión de las cubiertas.

La ubicación de los arreglos solares fue modificada dos veces durante el seguimiento, quedando el diseño de la figura en anexo (A.16). Se descartó la instalación de paneles en edificio F (gimnasio) y se procedió a instalar en los edificios, C (3.4(a)), W (3.6(b)), G (3.5(a)) y D (3.6(a)).

A la fecha de mayo 2018 se instalaron 942 módulos de 1560, distribuidos de la siguiente forma: 858 paneles en el edificio C (3.6(b)), 78 en el edificio W (3.6(b)) y 6 en el edificio G 3.5(b)). Esta distribución correspondió al 60,4 % instalado.

En el caso de los inversores, se instalaron 19 de 20.

(a) Antes, enero 2018 (b) Después, mayo 2018

Figura 3.4: Edificio C

Fuente: Registro propio

(a) Antes, enero 2018 (b) Después, mayo 2018

Figura 3.5: Edificio D

Fuente: Registro propio

(a) Edificio D, enero 2018 (b) Edificio W, mayo 2018

Figura 3.6: Casos especiales

Fuente: Registro propio

El 30 de mayo, en la inspección visual de la forma en que afectaría la sombra sobre los módulos instalados a la fecha, se pudo destacar lo realizado en el edificio W (3.7(a) donde se consideró la sombra producida por el árbol contiguo, ubicando los paneles fuera de la sombra producida. Lo que no fue así en el edificio C (3.7(b)), donde en cada cubierta del techo se sombrearon cerca de 130 módulos.

(a) Edificio C (b) Edificio W

Figura 3.7: Paneles sombreados

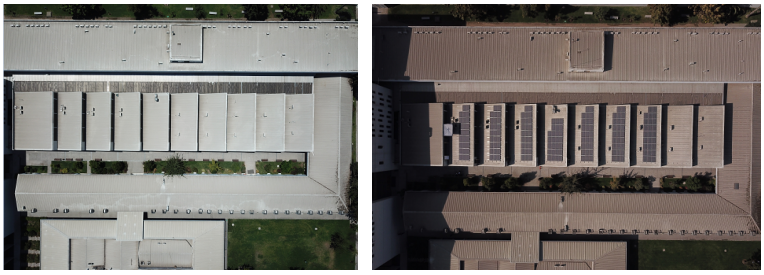
Fuente: Registro propio

Campus San joaquín

El 25 de enero llegaron los materiales y comenzó el seguimiento del proyecto. Se realizó una modificación al plano original. Sin embargo, por motivos estructurales este cambio se descartó y se retomó el diseño original 2.5).

Para mayo del 2018, se lograron instalar 182 paneles solares de 306 en el edificio A (3.8(b)), logrando un 59,9 % completado. Los inversores fueron instalados en su totalidad (4 equipos).

Los trabajos fueron retomados en junio, al igual que en todos los otros campus y sedes.

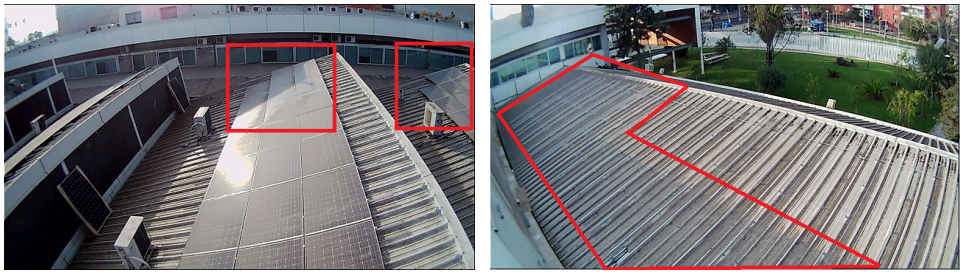


(a) Antes, enero 2018 (b) Después, mayo 2018

Figura 3.8: Edificio A

Fuente: Registro propio

El seguimiento visual para ver el comportamiento de las sombras se realizó el 14 de mayo, antes de que fuera informado el retorno al plan original de instalación. Es por esto que en la imagen3.9(b) se observó la sombra donde iban a ser instalados los paneles, lo que no ocurrió debido a que no fueron instalados en tal lugar. La imagen 3.9(a) mostró el leve sombreamiento durante la mañana en ciertas zonas del techo en el edifico A.



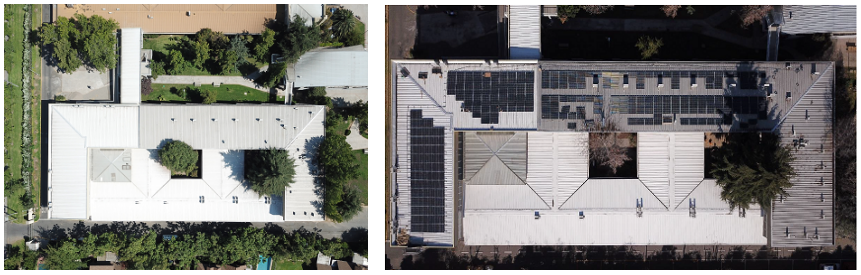
(a) Edificio A (b) Edificio A

Figura 3.9: Paneles sombreados

Fuente: Registro propio

Campus Vitacura

El día 25 de enero llegaron los equipos. Sin embargo, para mayo del 2018 la instalación solo contaba con el 80 % de los soportes instalados correspondiente al edificio B (3.10(a)). En junio se retomó la obra donde se instalaron los módulos de dicho edificio, como se muestra en la imagen 3.10(b). Para mayo los inversores no fueron instalados.

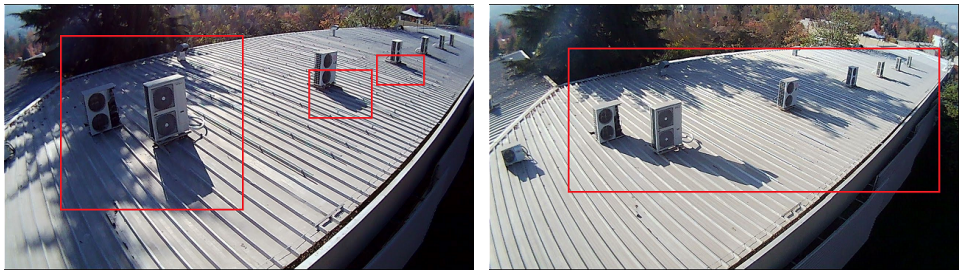


(a) Antes, enero 2018 (b) Después, junio 2018

Figura 3.10: Edificio B

Fuente: Registro propio

El 18 de mayo, durante la visita solo se consideró el edificio B, debido a que posterior a la fecha de visita se informó sobre la instalación de paneles en el edificio A. Como se observa en las imágenes 3.11(a) y 3.11(b), la sombra producida tanto por los intercambiadores de calor del aire acondicionado, como por los árboles en el centro del edificio, ambos factores obstruyeron la radiación directa sobre los paneles, siendo más notoria la sombra producida por los árboles en la imagen (3.10(b)).



(a) Edificio A (b) Edificio A

Figura 3.11: Paneles sombreados

Fuente: Registro propio

3.1.2. Resultados hasta mayo 2018 y próximos avances

Los resultados consistieron en que se presentó una nueva Carta Gantt y hubo retrasos debido a los estudios de refuerzo estructural. En consecuencia, el inicio de las obras ocurrió en junio de 2018.

Esta prolongación del proyecto cambió la planificación corregida en marzo, lo que llevó a un nuevo cronograma presentado por la empresa encargada de la instalación, Panasonic.

Campus	Fecha (2018)				
	Hito 1	Hito 2	Hito 3	Hito 4	Hito 5
Casa Central	12 de junio	10 de julio	10 de julio	12 de julio	19 de julio
Viña del mar	12 de julio	3 de agosto	14 de agosto	20 de agosto	24 de agosto
San Joaquín	15 de junio	26 de junio	18 de junio	20 de junio	3 de julio
Vitacura	18 de junio	6 de julio	25 de junio	27 de junio	9 de julio

Tabla 3.2: Nuevas fechas de hitos del proyecto

Campus Vitacura presentó nuevas modificaciones del plan original, a través del reordenamiento de la configuración de paneles (figura 3.12).

El proyecto fue un trabajo multifactorial con diversos integrantes, los cuales debieron ser coordinados. A modo de observación, se debió considerar un buen plan de mantenimiento y limpieza de los módulos en los campus de la V región, dado que las aves de la zona significaron un factor que no debiera subestimarse: esto porque de ser descuidada la zona afectada por la suciedad, se pueden provocar puntos calientes en los paneles, disminuyendo la generación eléctrica del panel afectado, o incluso, en el peor de los casos, un fallo completo del arreglo solar. En la línea de la importancia del plan de mantenimiento y limpieza, el caso de Santiago en campus San Joaquín, los paneles presentaron una mayor capa de suciedad y polvo, al estar expuestos a un clima más seco y con polución.

En definitiva, el plan de mantenimiento y limpieza de paneles debió ser considerado desde el inicio del proyecto, ya que es parte fundamental del funcionamiento efectivo del arreglo solar. Ello debió estar relacionado directamente con el factor de inclinación, ubicación y orientación de los módulos.

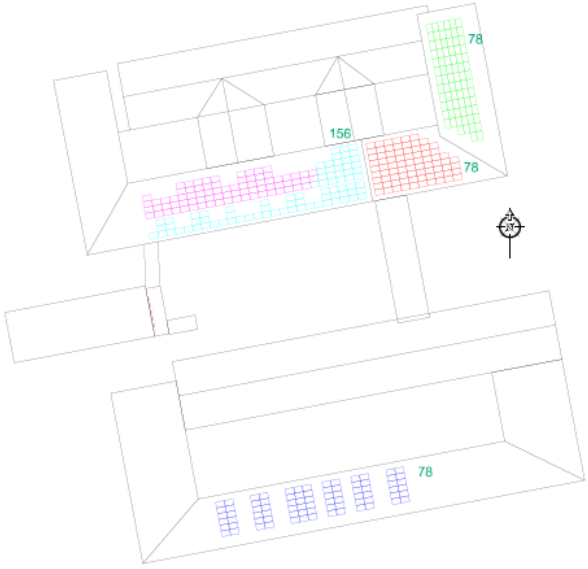


Figura 3.12: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

En la línea de lo anteriormente dicho, todos los paneles instalados en el proyecto presentaron la misma inclinación que los techos. Esto debido al tipo de montaje que fue directo a la estructura. La inclinación estuvo en el orden de los 20 a 30 grados. Se trató de un ángulo bastante favorable considerando que el tipo de instalación es fija, es decir, sin seguimiento del sol. Sin embargo, en algunos arreglos el ángulo de inclinación fue cercano a los 0 grados. A continuación, se desglosaron los resultados y observaciones según cada campus.

Casa Central. Todos sus paneles presentaron un ángulo de entre 20 y 30 grados. Los módulos del edificio C (A.10(a)) presentaron una orientación norte, y en el caso del edificio D (A.12(a)), una parte (78 módulos) con orientación noreste, y otra parte (48 módulos) suroeste. Estos últimos presentarían una menor eficiencia, al no quedar orientados directamente al sol durante gran parte del día. Otro punto que se tuvo presente fue la distancia existente entre los paneles y el techo, que de ser muy pequeña la brecha, podría generar sobrecalentamiento de los paneles. En cuanto a los inversores, estos fueron diseñados para estar tanto al interior como al exterior, y además, para resistir las condiciones climáticas. A pesar de esto, hubiera sido recomendable instalar

una estructura que los cubra de la lluvia, porque los inversores se encuentran expuestos al aire libre.

Por último, Valparaíso, como ciudad puerto, mostró una gran presencia de aves propias de la zona. Sus deposiciones pueden llegar a ser un gran inconveniente en el campus. Las revisiones, limpiezas y mantenciones deberían ser más próximas una de otra, dado el riesgo de generar un punto caliente sobre los paneles, en las zonas afectadas por las deposiciones.

Sede Viña del Mar. El campus destacó por ser el con mayor cantidad de paneles solares de los 4 campus, por lo tanto, el área usada fue notoriamente mayor. Se notó un sistema de una mayor dimensión, por lo cual ha de requerir mayores monitoreos, sumado a las mantenciones y limpiezas que pudieran más largas. Por esto debió ser importante tener buenos accesos y sistemas de seguridad que permitieran una revisión rápida de dichos paneles. En general, de los edificios que se trabajaron durante las visitas a terreno, el edificio C presentó una sobrecarga de módulos, lo que provocó que, desde cierta hora (aproximadamente las 2 de la tarde), se comenzaran a sombrear la primera fila de paneles de cada arreglo (imagen A.28(b)), lo que significó que unos 132 paneles (aproximadamente) no aportaran de manera significativa al sistema. Esta sobrecarga de paneles se debió a la falta de espacios disponibles en los cuales instalar los módulos. Otra observación relevante es que ningún techo, salvo una parte de las cubiertas del edificio G y el D, presentaban orientación norte, lo que redujo, en parte importante, su eficiencia.

Por otro lado, al igual que todas las otras sedes, el método de instalación fue unido a una estructura que estaba fijada al techo. En consecuencia, la distancia entre panel solar y techo fue muy acotada, lo cual puede traer problemas a futuro dada las altas temperaturas que pueden alcanzar los módulos. Por dicha cercanía entre panel y cubierta, se concluyó que existe el riesgo de sobrecalentamiento del panel, al no haber un espacio que facilite la circulación del aire entre ambos elementos.

Entre las observaciones positivas, cabe destacar la limpieza de los paneles que se encontraron el día de la visita en mayo, considerando que días antes hubo precipitaciones en la zona. El fenómeno fue beneficioso porque ayudó a mantener una limpieza de los paneles, favorecida por el clima de la zona. En definitiva, el factor clima contribuyó

en la programación de la limpieza de los paneles, un área importante del mantenimiento del arreglo solar.

Los inversores fueron ubicados lo más próximo a cada arreglo para evitar las pérdidas energéticas por transmisión. No obstante, la ubicación de dichos inversores se encontró en los pasillos (interiores y exteriores) del campus. Si bien esta ubicación permitió, en principio, un fácil acceso a los inversores ya sea para monitoreo, revisión regular o extraordinaria, también pudo ser un factor de riesgo para las personas que fueran a circular por estos pasillos del campus. Por ejemplo, si un inversor presenta una falla eléctrica, esta podría estar al alcance del contacto físico de un transeúnte en el pasillo. O bien, los inversores podrían ser manipulados por personas que no estén autorizadas.

Campus San Joaquín. Los paneles, al estar montados directamente al techo, presentaron una inclinación de entre los 20 y 30 grados. Además, tuvieron una orientación norte, permitiendo una mayor eficiencia de los paneles dada su ubicación. Se tuvo en cuenta los paneles ubicados en la zona demarcada en la imagen A.41(a). De los 72 paneles por instalar en esta área, la mayoría fueron sombreados durante la mañana, con lo que se redujo la eficiencia del sistema de este arreglo. Como se observó en la bitácora, a fines de mayo se decidió reubicar estos 72 paneles en las cubiertas, las que presentaron paneles. En gran medida, se solucionó el problema de la sombra, pero estos módulos sobrepasaron el límite de la sombra generada por el techo contiguo. Además, esta mayor cantidad de paneles en cada sección de techo complicaría su mantención y limpieza. Por último, lo cercano que estaban los paneles al techo puede generar un sobrecalentamiento.

El edificio F (imagen 3.13), el más nuevo del campus a la fecha en que fue tomado el registro en bitácora, presentó un área que pudo ser ocupada por los 306 módulos fotovoltaicos. Otra cualidad del edificio es ser más alto, por lo que no hubo obstrucción en la radiación directa sobre los paneles.

Campus vitacura. Es el campus que se vio más afectado por el retraso de las obras, pues no se alcanzaron a montar los paneles, salvo algunos de prueba. De las estructuras, faltó cerca del 20 % por instalar, las cuales correspondían a los 78 paneles que, como se muestra en la figura C.25(a), fueron reubicados en el edificio A. Dicho edificio no contó con imágenes de referencia, a excepción la imagen registrada por el dron con fecha 28 de mayo (imagen 3.14(a)).

Figura 3.13: Techo F San Joaquín

Fuente: Registro propio

Respecto a la ubicación de los paneles en el edificio B, fue importante tener en cuenta la sombra que generaron los 2 árboles ubicados en el centro del inmueble. Estos durante el día fueron proyectado una sombra sobre los paneles, la cual fue rotando dependiendo la hora del día. Ante esto, se debió evitar la mayor cantidad de obstáculos que pudieran sombrear los paneles. Para este caso, lo ideal hubiera sido implementar los paneles evitando la sombra de los árboles. No obstante, dada la cantidad de paneles y el espacio disponible, no fue posible evitar la sombra producida por los árboles.

En el mismo edificio B, el rango de sombra del intercambiador de calor del sistema de aire acondicionado fue inferior al generado por los árboles. Por esto era recomendable no ubicar los paneles fotovoltaicos al frente de estos intercambiadores, con el fin de limitar el sombreamiento producido por la interferencia de dicho intercambiador con el sol. Otra solución era la reubicación de los intercambiadores dejando una zona libre para el arreglo solar.

Por los motivos anteriores, antes de la instalación, hubiera sido relevante conocer el entorno y comportamiento de los elementos del lugar donde iban a ser implementados los sistemas fotovoltaicos.

En mayo fue modificado el layout del Campus, lo que implicó que se desplazaran los paneles al edificio A, tal como se registró en la figura 3.14(b). En junio se entregó una imagen aérea con el avance de la obra.

Respecto a la inclinación que tendrían los paneles, esta fue igual al techo. En el caso de los paneles ubicados en la zona sur del edificio B, se encontró una leve inclinación con orientación sur. En el caso de los paneles en lado oeste, estos tendrán una leve inclinación con orientación oeste. Fue relevante destacar que no son las mejores orientaciones, dado que ninguna apuntaba hacia el norte, dirección óptima para el arreglo solar.

La solución para evitar la sombra de los arboles actualmente hubiera sido cortar dichos arboles, lo cual hubiera ido en contra de un sistema sustentable y amigable con el medio ambiente. Si bien esta era una solución que pudo reducir los costos, la acción de talar los árboles hubiera sido una acción en contra de una ética sustentable, ya que el objetivo de instalar un sistema fotovoltaico era reducir el impacto medioambiental por contaminación de CO_2.

(a) Techo A Vitacura (b) Techo A Vitacura, junio 2018

Figura 3.14: Edificio A

Fuente: Registro propio

3.2. Estudio Económico

En esta sección se mostraron los datos calculados para el estudio económico, analizando los casos presentados en metodología.

3.2.1. Ahorro a través del contrato

Los resultados fueron presentados por campus, Mostrando el caso base, además los casos más y menos favorables, que se describieron a continuación.

Caso base: Valores base. **Caso más favorable:** El valor de la línea base se mantiene igual, pero el porcentaje de descuento del precio de la energía suministrada por los paneles pasa de un 15 % a un 20 %,respecto al valor de la línea base. **Caso menos favorable:** El valor de la línea base aumenta en un 20 %, y el facto de ensuciamiento remplaza por 6 %.

- El costo total mostrado en las siguientes tablas fue lo generado por el arreglo solar por su respectivo precio, más el consumo total descontando lo generado por los paneles solares, esto multiplicado por su costo de línea base, todo en dólares.
- El ahorro es la diferencia entre el costo total mostrado en las tablas y el costo sin el sistema solar que no fue expuesto en la tabla.

Casa Central

Como se ilustró en la tabla 3.4 el promedio de los casos la generación para el primer año representó un 9,3 % disminuyendo a 7,9 % a los 20 años producto de la degradación de los paneles. Dado que este fue un contrato por el cual se pagó un porcentaje inferior a la tarifa de la línea base, siempre habrá una ganancia por medio del ahorro para la Universidad, en donde el mayor ahorro se obtiene con un aumento en el descuento por contrato. Si bien al aumentar la tarifa (caso menos favorable), el ahorro aumentó, este fue proporcionalmente menor al ser comparado con los costos totales, ya sea al primer año o a los 20 años. Por lo tanto, si bien existió mayor ahorro, también el costo total aumentó.

El ahorro obtenido en 20 años en promedio fue de $73.600.- dólares aproximadamente, lo que representaría un 1,4 % del total. Ello en donde el mejor caso pudo lograr un ahorro esperado de $85.000.- dólares como se mostró en la tabla 3.3.

En el caso del primer año el ahorro fue de aproximadamente de $4000.- dólares (considerando el valor promedio de los 3 casos), lo que representó el 1,5 %, valor que con el tiempo fue disminuyendo, debido a la degradación de los paneles.

Los datos se mostraron en las siguientes tablas:

Casos	Consumo MWh		Generación MWh		Costo total USD		Ahorro USD	
	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años
Mas favorable	3.501	70.021	325	5.637	$ 245.210	$ 4.911.903	$ 4.640	$ 85.095
Base	3.501	70.021	325	5.637	$ 246.370	$ 4.933.177	$ 3.480	$ 63.821
Menos favorable	3.501	70.021	325	5.299	$ 295.894	$ 5.924.407	$ 3.926	$ 71.990
Promedio	3.501	70.021	325	5.524	$ 262.491	$ 5.256.496	$ 4.015	$ 73.635

Tabla 3.3: Valores para Casa Central en el primer año de funcionamiento y el total de los 20 años.

Porcentajes				
	Caso base	Menos favorable	Más favorable	Promedio
Generación 1 año	9,3%	9,3%	9,3%	9,3%
Generación 20 años	8,1%	7,6%	8,1%	7,9%
Ahorro 1 año	1,4%	1,3%	1,9%	1,5%
Ahorro 20 años	1,3%	1,2%	1,7%	1,4%

Tabla 3.4: Tabla de porcentajes comparativos de la tabla 3.3.

Viña del mar

La sede de Viña del Mar fue la que obtuvo una mayor potencia instalada respecto a los otros campus, en donde el primer año debió cubrir el 68,9 % del consumo en el establecimiento, haciendo que el establecimiento disminuyera su consumo mensual de la red eléctrica. Producto de la combinación de los factores, como el verano, cuando

hay mayor aporte de radiación solar y menor uso debido a las vacaciones de los estudiantes, se permitió que en algunos meses la generación eléctrica produjera excedentes energéticos. El ahorro proyectado a 20 años fue de $250.000 (ver tabla 3.5) dólares, considerando el valor promedio de los casos. Esto equivale al 11,4 % del costo total. Ocurrió el mismo fenómeno en el caso menos favorable, que al aumentar la tarifa de la línea base el ahorro aumentó, pero los costos totales también aumentaron, por lo tanto, porcentualmente fue un valor menor.

El ahorro para el primer año en promedio fue de $13.600.- dólares, valor que representa un 12,6 % del costo total.

El ahorro estuvo sujeto al descuento que se pudo lograr en el contrato, teniendo en cuenta que la sede de Viña del Mar es la que tenía la tarifa más alta respecto a los otros campus. Además, la energía generada dependió completamente de un correcta instalación y mantención de los módulos, lo que debiera permitir una máxima eficiencia, y así, aumentar el consumo de la energía generada por los paneles y reducir la compra de la energía de la línea base.

Los datos se ilustraron en las siguientes tablas:

Casos	Consumo MWh		Generación MWh		Costo total USD		Ahorro USD	
	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años
Mas favorable	878	17.559	605	11.095	$ 98.574	$ 1.997.648	$ 15.757	$ 288.972
Base	878	17.559	605	11.095	$ 102.513	$ 2.069.891	$ 11.818	$ 216.729
Menos favorable	878	17.559	605	10.429	$ 123.867	$ 2.499.474	$ 13.331	$ 244.470
Promedio	878	17.559	605	10.873	$ 108.318	$ 2.189.005	$ 13.635	$ 250.057

Tabla 3.5: Valores para la sede Viña del Mar en el primer año de funcionamiento y el total de los 20 años

Porcentajes				
	Caso base	Menos favorable	Más favorable	Promedio
Generación 1 año	68,9%	68,9%	68,9%	68,9%
Generación 20 años	63,2%	59,4%	63,2%	61,9%
Ahorro 1 año	11,5%	10,8%	16,0%	12,6%
Ahorro 20 años	10,5%	9,8%	14,5%	11,4%

Tabla 3.6: Tabla de porcentajes comparativos de la tabla 3.5

San Joaquín

El porcentaje de generación fue para el primer año de 10,7 % y para los 20 años en promedio fue de 9,6 %, como se mostró en la tabla 3.8. Muy similar a los valores de Casa Central. Si bien el consumo fue menor en el campus San Joaquín, también lo fue la potencia instalada respecto a Casa Central, obteniendo el campus San Joaquín un ahorro menor que la otra casa de estudio. Dicho esto, el ahorro proyectado a 20 años en promedio fue de $35.400.- dólares (tabla 3.7), lo que representó un 1,6 % del costo total.

El ahorro para el primer año fue de aproximadamente $1.900.- dólares, valor que representa el 1,8 % del total para el primer año.

Hay que destacar que este campus contó con el precio de energía más económico, lo cual hizo más difícil competir con el sistema eléctrico tradicional. Además, se contó con una posible expansión que incluiría un nuevo edificio. Esto aumentaría el consumo anual, disminuyendo el porcentaje de generación. El monto de ahorro no se vería afectado, debido a que este solo depende de la generación. Porcentualmente disminuiría el ahorro, porque el consumo total aumenta.

Los datos se mostraron en las siguientes tablas:

Casos	Consumo MWh		Generación MWh		Costo total USD		Ahorro USD	
	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años
Mas favorable	1.512	30.246	162	2.975	$ 101.808	$ 2.039.860	$ 2.232	$ 40.938
Base	1.512	30.246	162	2.975	$ 102.366	$ 2.050.095	$ 1.674	$ 30.703
Menos favorable	1.512	30.246	162	2.797	$ 122.959	$ 2.462.324	$ 1.889	$ 34.634
Promedio	1.512	30.246	162	2.916	$ 109.044	$ 2.184.093	$ 1.932	$ 35.425

Tabla 3.7: Valores para el campus San Joaquín en el primer año de funcionamiento y el total de los 20 años

Porcentajes				
	Caso base	Menos favorable	Más favorable	Promedio
Generación 1 año	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%
Generación 20 años	9,8%	9,2%	9,8%	9,6%
Ahorro 1 año	1,6%	1,5%	2,2%	1,8%
Ahorro 20 años	1,5%	1,4%	2,0%	1,6%

Tabla 3.8: Tabla de porcentajes comparativos de la tabla 3.7

Vitacura

La potencia instalada fue un poco superior al campus San Joaquín. Pero, el consumo fue cerca de la mitad. Esto permitió que la generación producida por lo paneles para primer año sea el 25,4 % del total del consumo, teniendo un posible mes que podría llegar a presentar excedentes energéticos. Para la proyección de los 20 años generara en promedio de 22,8 % como se muestra en las tablas 3.10.

El ahorro del campus en 20 años fue en promedio $67.500.- dólares, lo que representa un 3,9 % del costo total. Por otra parte, El ahorro para el primer año se calculó en $3.600.-dólares (tabla 3.9), lo cual representa el 4,3 % del consumo para el primer año.

Los datos se ilustraron en las siguientes tablas:

Casos	Consumo MWh		Generación MWh		Costo total USD		Ahorro USD	
	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años
Mas favorable	760	15.198	193	3.538	$ 79.624	$ 1.599.557	$ 4.259	$ 78.101
Base	760	15.198	193	3.538	$ 80.689	$ 1.619.083	$ 3.194	$ 58.576
Menos favorable	760	15.198	193	3.325	$ 97.057	$ 1.947.117	$ 3.603	$ 66.074
Promedio	760	15.198	193	3.467	$ 85.790	$ 1.721.919	$ 3.685	$ 67.583

Tabla 3.9: Valores para el campus Vitacura en el primer año de funcionamiento y el total de los 20 años

Porcentajes				
	Caso base	Menos favorable	Más favorable	Promedio
Generación 1 año	25,4%	25,4%	25,4%	25,4%
Generación 20 años	23,3%	21,9%	23,3%	22,8%
Ahorro 1 año	4,0%	3,7%	5,3%	4,3%
Ahorro 20 años	3,6%	3,4%	4,9%	3,9%

Tabla 3.10: Tabla de porcentajes comparativos de la tabla 3.9

En resumen, la sede de Viña del Mar representó el mayor porcentaje de generación, cercano al 68,9 % para el primer año y 61,9 % en el total de 20 años. Lo siguió el campus Vitacura con un 25,4 % de generación en el primer año, y en último lugar, los campus San Joaquín y Casa Central con solo un 10,7 % y 9,3 % respectivamente, para el primer año. Todos los módulos, en conjunto, representaron un 17,1 % de todo el consumo de la Universidad (los cuatro campus) en los 20 años, en cambio, para el primer año de funcionamiento la generación representó un 19,3 %. El ahorro para la Universidad significó aproximadamente de $426.700.- dólares en 20 años (como se mostró en la tabla 3.11). En definitiva, para el primer año de funcionamiento del sistema fotovoltaico se estimó un ahorro de $23.200.- dólares, equivalente al 4,1 % (presente en la tabla3.12) del costo total de la línea base, lo cual fue un gran ahorro considerando que la Universidad no realizó ninguna inversión.

Casos	Consumo MWh		Generación MWh		Costo total USD		Ahorro USD	
	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años	1 año	20 años
Mas favorable	6.651	133.024	1.285	23.245	$ 525.215	$ 10.548.969	$ 26.888	$ 493.106
Base	6.651	133.024	1.285	23.245	$ 531.938	$ 10.672.245	$ 20.166	$ 369.829
Menos favorable	6.651	133.024	1.285	21.850	$ 639.777	$ 12.833.322	$ 22.747	$ 417.167
Promedio	6.651	133.024	1.285	22.780	$ 565.643	$ 11.351.512	$ 23.267	$ 426.701

Tabla 3.11: Valores en conjunto todos los campus, en el primer año de funcionamiento y el total de los 20 años

Porcentajes				
	Caso base	Menos favorable	Más favorable	Promedio
Generación 1 año	19,3%	19,3%	19,3%	19,3%
Generación 20 años	17,5%	16,4%	17,5%	17,1%
Ahorro 1 año	3,8%	3,6%	5,1%	4,1%
Ahorro 20 años	3,5%	3,3%	4,7%	3,8%

Tabla 3.12: Tabla de porcentajes comparativos de la tabla 3.11

3.2.2. Viabilidad como inversión de proyecto por campus

Como ampliación de los datos ya entregados, se sumaron el VAN y el TIR de cada Campus y Sede como evaluación en el caso hipotético de una inversión. Se mantuvo los mismos 3 casos, el caso base, más favorable y el menos favorable. Estos nuevos datos fueron separados en dos grupos. Por una parte, estuvo Casa Central y el campus San Joaquín, los que, dado sus resultados, no tendrían una posibilidad de ser rentables como proyecto individual. Por otra parte, el segundo grupo con la sede de Viña del Mar y el campus Vitacura, los que presentaron valores un poco más favorables a evaluar.

Para este escenario el caso base se mantuvo igual que en la sección anterior, mientras que en los casos más y menos favorables tuvieron algunas variaciones.

Caso más favorable: se consideró un aumento en la línea base de un 20 %. **Caso menos favorable:** se considera un factor de ensuciamiento del 6 %, el cual reduce el valor anual de la generación.

Casa Central y campus San Joaquín:

Se observó que, con una tasa de descuento del 10 %, como se definió en metodología, en ninguna circunstancia se logró tener la ganancia esperada. Analizando la TIR, cuando el VAN fue igual a cero, para Casa Central ocurrió que en la mayoría de los casos mostró un valor negativo, lo que significa que no logró recuperar la inversión en ningún momento. El resto de los casos (base y más favorable) presentó una tasa interna de retorno que no superó el 2 % con una duración de 25 años. Esto hizo completamente arriesgado e inviable hacer una inversión: por lo tanto, se descartó. En el campus San Joaquín, si bien no se observó TIR negativa, los valores fueron muy bajos como se mostró en la tabla 3.13, lo cual hizo difícil ver una posible inversión compitiendo con una tasa menor que la esperada. El caso más favorable fue de 4,11 % que se cumplió a los 25 años.

Para los casos de Casa Central y San Joaquín es más seguro invertir en banco con una tasa de interés libre de riesgo de 1,02 % a 5 años o 1,86 % a 20 años, datos del Banco Central para el año 2017. Visto netamente como una inversión monetaria.

Casa Central				
	20 años		25 años	
Casos	VAN	TIR	VAN	TIR
Mas favorable	-$ 248.494	0,28%	-$ 248.494	1,95%
Base	-$ 282.288	-1,46%	-$ 282.288	0,41%
Menos favorable	-$ 292.426	-2,03%	-$ 292.426	-0,09%
Campus San Joaquín				
	20 años		25 años	
Casos	VAN	TIR	VAN	TIR
Mas favorable	-$ 74.600	2,70%	-$ 74.600	4,11%
Base	-$ 90.858	0,77%	-$ 90.858	2,39%
Menos favorable	-$ 95.735	0,16%	-$ 95.735	1,84%

Tabla 3.13: VAN y TIR, campus San Joaquín y Casa Central separados por casos

Sede Viña del Mar y campus Vitacura:

Al igual que en los campus anteriores, ninguno presenta un VAN positivo, por lo que ninguno cumple con la tasa de descuento propuesta.

Revisando las TIR para cada caso, estas fueron, en la mayoría, superior al 5 % (como se m en la tabla 3.13) lo que indica que sí se lograría pagar la inversión, no como el caso de Casa Central. Se pudo destacar el período de 25 años, si bien no se logró la tasa de descuento esperada, la Universidad podría tomar la decisión de invertir, esperando una tasa de retorno inferior, el beneficio económico existirá, pero en menor cantidad. Ahora bien, si se considera una tasa de descuento como referencia, un valor del 5 % en 25 años para ambos campus, dicha tasa será mayor si se compara con una posible inversión económica con una tasa libre de riesgo, donde la Universidad podría invertir sin preocupaciones. De esta forma se convierte más atractivo invertir en sistema solar, dado que obtendrá un beneficio económico, además de ser un proyecto sustentable al adquirir este tipo de sistemas.

Si bien la sede de Viña del Mar fue similar en tasa interna de retorno con el campus Vitacura, hubo una gran diferencia en el monto de inversión, dado que el valor en la sede de Viña del el Mar implicó casi el doble de la inversión realizada en el campus de Vitacura. Por lo tanto, de elegir en cuál de los 4 establecimientos sería posible realizar esta inversión, el campus Vitacura fue la mejor opción.

Sede Viña del Mar				
	20 años		25 años	
Casos	VAN	TIR	VAN	TIR
Mas favorable	-$ 187.450	6,62%	-$ 146.976	7,66%
Base	-$ 302.208	4,35%	-$ 268.480	5,60%
Menos favorable	-$ 336.636	3,63%	-$ 304.931	4,95%
Campus Vitacura				
	20 años		25 años	
Casos	VAN	TIR	VAN	TIR
Mas favorable	-$ 32.904	7,66%	-$ 21.965	8,62%
Base	-$ 63.920	5,29%	-$ 54.804	6,45%
Menos favorable	-$ 73.225	4,54%	-$ 64.656	5,77%

Tabla 3.14: VAN y TIR, campus Vitacura y sede Viña del Mar separados por casos

Finalmente, hay que mencionar que, si bien el estudio no consideró gastos por mantención y limpieza, de los cálculos realizados sí se pudo observar la reducción del ingreso anual (ahorro producido por el funcionamiento de los paneles), tablas en anexo (D.9, D.10, D.11, D.12). Entre el caso base y el menos favorable, solo dependen del factor ensuciamiento, dicho esto, en el caso del campus Vitacura se pudo ver una diferencia de $1.277.- dólares (ver tabla D.12 del anexo). Entre estos dos casos, puesto que se debe al cambio en el factor de ensuciamiento, se pudo concluir que: para mejorar el caso favorable se debe reducir el efecto del ensuciamiento, para esto es necesario el mantenimiento y limpieza del arreglo, el cual para el campus Vitacura no debe superar los $1.277.- dólares al año. Para la sede Viña del Mar, el monto máximo anual es de $4.727.- dólares. A pesar de que para el caso de Casa Central y el campus San Joaquín no es recomendable invertir, sus costos máximos en limpieza y mantención son de $1.390.- y $670.- dólares respectivamente.

3.2.3. Análisis de sensibilidades

En esta sección se buscó de qué forma impactan ciertas variables sobre el ahorro producido, en donde las variables modificadas son el consumo, cuya tabla se guardó en anexo D.15, el precio de la línea base 3.15, el factor anual de ensuciamiento que se guardó en anexo D.16, y por último, el descuento en el precio de la energía generada por el sistema solar (descuento por contrato) 3.16.

Como el método de cálculo es el mismo para todo los campus, las variaciones porcentuales para cada caso en cada campus o sede fueron las mismas, por lo tanto, las tablas mostradas son las pertenecientes a Casa Central.

Al variar el consumo se pudo observar que no tuvo ninguna relación con el ahorro, tabla D.15. Esto fue debido a que el precio de la generación está condicionado al precio de la línea base y el descuento que se logre en el contrato, sin importar el consumo que tenga la Universidad, sino que netamente con la generación que produzcan los paneles solares. Resultó importante este último punto, pues se consideró que todo lo generado es consumido, si bien la Universidad tiene programas diurnos y vespertinos, y con ello se podría asumir que durante el día la generación es completamente consumida, lo que no se puede asegurar para los fin de semanas, lo cual podría generar energía fantasma para los cálculos.

Variación precio línea base			
Variación	Ahorro primer año	Ahorro a los 20 años	Diferencia porcentual
-20%	$ 2.784	$ 51.057	-25%
-16%	$ 2.923	$ 53.610	-19%
-12%	$ 3.062	$ 56.163	-14%
-8%	$ 3.202	$ 58.715	-9%
-4%	$ 3.341	$ 61.268	-4%
0%	$ 3.480	$ 63.821	0%
4%	$ 3.619	$ 66.374	4%
8%	$ 3.758	$ 68.927	7%
12%	$ 3.898	$ 71.480	11%
16%	$ 4.037	$ 74.032	14%
20%	$ 4.176	$ 76.585	17%

Tabla 3.15: Sensibilización del factor de ensuciamiento en Casa Central

El caso de la variación del precio de la línea base tabla 3.15, se observó que no hay una relación lineal, si bien el comportamiento lógico que al disminuir el precio de la línea base disminuye el ahorro, el ahorro presentó un disminución mayor cuando se redujo en un 20 % la tarifa que cuando este presentó un aumento del 20 %, lo que lo hizo más sensible a la baja de precio que al aumento, sobre todo luego del $\pm$ 8 %.

Variación Descuento por contrato			
Variación	Ahorro primer año	Ahorro a los 20 años	Diferencia porcentual
5%	$ 1.160	$ 21.274	-200%
7%	$ 1.624	$ 29.783	-114%
9%	$ 2.088	$ 38.293	-67%
11%	$ 2.552	$ 46.802	-36%
13%	$ 3.016	$ 55.312	-15%
15%	$ 3.480	$ 63.821	0%
17%	$ 3.944	$ 72.331	12%
19%	$ 4.408	$ 80.840	21%
21%	$ 4.872	$ 89.349	29%
23%	$ 5.336	$ 97.859	35%
25%	$ 5.800	$ 106.368	40%

Tabla 3.16: Sensibilización del factor de ensuciamiento en Casa Central

El factor de ensuciamiento tabla D.16 dejó de tener un comportamiento linealial

luego del 6 %, en donde el ahorro se ve reducido en mayor medida respecto al porcentaje de ensuciamiento.

Por último, la variación del contrato tiene un gran impacto sobre el ahorro, sobre todo si el descuento es menor, el ahorro disminuye notoriamente respecto al caso base. A medida que el descuento aumenta, el ahorro aumenta, pero cada vez menos respecto al ahorro anterior.

Las diferencias porcentuales fueron calculadas en comparación al caso base, el cual se mostró resaltado en cada tabla.

3.2.4. Viabilidad como inversión total de proyecto

Para esta sección se consideró la inversión total por los cuatro Campus y Sedes, además se consideró un subsidio del 30 % por parte del acuerdo del JCM.

Para este escenario se consideró los mismos casos que la sección anterior, es decir:

Caso más favorable: se consideró un aumento en la línea base de un 20 %. **Caso menos favorable:** se considera un factor de ensuciamiento del 6 %, el cual reduce el valor anual de la generación.

De los datos obtenidos, se ilustró la siguiente tabla:

Sin subsidio JCM				
	20 años		25 años	
Casos	VAN	TIR	VAN	TIR
Mas favorable	-$ 548.759	4,83%	-$ 479.693	6,03%
Base	-$ 744.584	2,72%	-$ 687.030	4,13%
Menos favorable	-$ 803.332	2,05%	-$ 749.232	3,35%
Con subsidio JCM (30%)				
	20 años		25 años	
Casos	VAN	TIR	VAN	TIR
Mas favorable	-$ 31.646	9,60%	$ 37.420	10,42%
Base	-$ 227.471	7,04%	-$ 169.916	8,05%
Menos favorable	-$ 286.218	6,23%	-$ 232.117	7,31%

Tabla 3.17: Valores de VAN y TIR por inversión del proyecto

Como se observó en la tabla 3.17, sin el subsidio JCM fue bastante difícil poder lograr la tasa de rentabilidad propuesta. No se alcanzó la rentabilidad del 10 %, ya sea evaluado en 20 años o en 25 años. Por otra parte, si se cuenta con el subsidio JCM, en el caso más favorable se logró una rentabilidad mayor al 10 %.

A 25 años y con subsidio JCM, si la Universidad estuviera dispuesta de obtener una tasa de rentabilidad no mayor al 7 % este podría cumplir con los parámetros de inversión, pues la tasa interna de retorno es de 7,31 % en el peor caso. También existe la posibilidad que fuera financiado por un banco, el cual podría mejorar un poco los valores obtenidos. El caso del financiamiento no se consideró, debido a que el ahorro por contrato (visto en la sección anterior) no se obtuvo con algún financiamiento bancario, por lo tanto, el caso de una posible inversión se quiso mantener en esa misma línea, es decir, solo con el dinero de la Universidad.

El objetivo de ver si fuese rentable con una tasa de descuento esperada del 10 % no se logró. El Estudio se basó utilizando los mismos equipos que son instalados. Se podrían reducir los costos de inversión ocupando otro tipo de panel, por un lado, y estableciendo un mejor acuerdo con la empresa instaladora, por otro. Esto sumado a dar una mayor prioridad a la ubicación de los paneles, con el fin de lograr la mayor eficiencia posible, y así, en definitiva, una mayor rentabilidad. El valor del wp instalado fue de 1,91 USD/wp, valor que según la comisión de energía del 2015 estaría dentro de los parámetros, pero con valores más actuales como el programa de techos solares, el promedio del valor wp instalado es de 1,39 USD/wp siendo el menor 0,95 USD/wp y el mayor 1,89 USD/wp. Respecto a estos valores la inversión para los cálculos pudo ser sobreevaluada.

Manteniendo la misma potencia instalada, pero con otra marca y modelo en paneles e inversores, se lograría disminuir el valor de la inversión, lo que mejoraría considerablemente la rentabilidad. Como caso ilustrativo, la tabla 3.18, si se considerara que el costo del wp instaldo es de 1,39 USD/wp el valor de la inversión sería de $ 1.379.436.- dólares, ocupando los mismo valores utilizados para los cálculos anteriores se obtiene un VAN de $101.304.- dólares, en un plazo de 20 años, y de $158.858.- dólares, con un período de 25 años. Esto si se considera un subsidio JCM en el proyecto, lo que dejaría una inversión de $965.605.- dólares.

subsidio JCM (30%)				
	20 años		25 años	
Casos	VAN	TIR	VAN	TIR
Base	$ 101.304	11,716%	$ 158.858	12,394%

Tabla 3.18: Valores de VAN y TIR por inversión del proyecto un valor de potencia instalada menor que el propuesto

3.2.5. Estimativo de la rentabilidad de la empresa contratada

Con los datos que fueron entregados, donde la inversión por este proyecto fue de aproximadamente $1,2 millones de dólares sin considerar el subsidio JCM y una rentabilidad del 10 %, se pudo observar que solo se considera rentable si el proyecto es subsidiado con el sistema JCM, acuerdo que cubrió el 30 % de la inversión. Cabe destacar que, aunque se considere el caso más desfavorable, siguió siendo rentable aún con esas condiciones.

Sin subsidio JCM		
	20 años	
Casos	VAN	TIR
Mas favorable	-$ 92.200	8,70%
Base	-$ 258.651	6,23%
Menos favorable	-$ 308.587	5,45%
	20 años	
Casos	VAN	TIR
Mas favorable	$ 235.072	14,46%
Base	$ 68.621	11,34%
Menos favorable	$ 18.686	10,37%

Tabla 3.19: VAN y TIR para la empresa contratada

De este modo fue posible entender la importancia de los convenios como el JCM, donde el hecho de financiar proyectos de este tipo hizo posible la efectiva inversión en estas tecnologías. En consecuencia, de dicha manera se hizo rentable para una empresa negociar este tipo de contratos.

3.2.6. Caso Sede Viña del Mar con inyección al sistema

Al realizar el caso especial de la sede de Viña del Mar, se pudo observar que el ahorro percibido a los 20 años, considerando la venta de excedentes, fue menor respecto al cálculo anterior. Esto debido a que, al considerar la generación anual versus su respectivo consumo anual, la energía producida por los paneles era completamente consumida por la institución. Por lo tanto, el modelo asumió que toda la energía generada es auto-consumida. No obstante, al revisar mensualmente se observó que hay 3 meses en los cuales se presentaron excedentes, y estos no fueron comprados a la empresa del contrato, pues solo se paga por el kWh consumido. Quien se vio beneficiado fue la empresa, debido a que vendería los excedentes a un precio ligeramente superior al cual compra la Universidad.

Las variables para esta arista fueron las mismas que las propuestas para el caso base. El ahorro calculado por contrato a los 20 años fue de $125.552.- dólares menor a lo mostrado en la tabla 3.5 debido que la venta de excedentes no representan un ingreso para la Universidad.

Si la Universidad hubiera realizado la inversión individual del campus, con una tasa de retorno del 10 %, se obtuvo lo siguiente:

Caso con excedentes				
	20 años		25 años	
Casos	**VAN**	**TIR**	**VAN**	**TIR**
Considerando excedentes	-$ 310.141	4,2%	-$ 276.740	5,46%
No considerando excedentes	-$ 302.208	4,35%	-$ 268.480	5,60%

Tabla 3.20: VAN y TIR para la sede Viña del Mar

Aun con la venta de los excedentes, el resultado final siguió siendo no rentable. El resultado de la TIR fue levemente menor que el caso base para la sede Viña del Mar. El motivo de la baja porcentual de la TIR fue que la venta de energía al sistema fue menos conveniente que su consumo. Dicho de otra forma, el valor del precio de venta del kWh fue inferior al precio de compra del servicio eléctrico. Por lo tanto, era más conveniente consumir en su totalidad la generación eléctrica que vender ese excedente.

Los otros campus no lograron producir excedentes energéticos debido a su alto consumo y menor generación, razón por la cual no fue necesario analizarlos en detalle.

3.2.7. Nueva simulación con la instalación actual

Con la nueva simulación se obtuvieron los siguientes valores de la generación anual de los campus:

Ubicación	Valor calculado	Valor entregado	Diferencia porcentual
	MWh	MWh	%
Casa Central	305,77	325,15	5,96%
Sede Viña del Mar	535,95	613,34	12,62%
Campus San Joaquín	146,27	162,26	9,85%
Campus Vitacura	167,91	196,34	14,48%
Total	1.155,89	1.297,09	10,89%

Tabla 3.21: Generación del sistema fotovoltaico

La comparativa mensual se guardó en Anexo D.5, D.6, D.7 y D.8.

Se observó que existió una disminución respecto a la entregada en un comienzo. Esto era esperable, pues ahora no solo era un cambio de posición de los paneles, sino que además apareció un nuevo factor de ensuciamiento.

El caso del campus San Joaquín fue el mejor para observar el efecto producido por el ensuciamiento, debido a que la ubicación final fue la misma a la propuesta en un principio. En consecuencia, el factor más importante en la simulación corresponde al factor de ensuciamiento. Con respecto a los casos de Vitacura y Viña del Mar, los que logran la mayor diferencia porcentual – con 14,48 % y 12,62 % respectivamente -, fue posible observar una estrecha relación con la ubicación inicial versus la final, donde muchos paneles fueron trasladados a las cubiertas con una inclinación leve, y en algunos casos, con una orientación desfavorable.

Con respecto al caso del campus de Casa Central, que presenta la menor diferencia porcentual de 5,96 %, fue posible concluir que las nuevas ubicaciones de los paneles solares fueron mejor que las propuestas desde un principio, lo que permitió mejorar la eficiencia en cuanto a la generación de energía.

Cabe destacar que pudo haber menores variaciones respecto a otras variables aplicadas por el programa y las variables usadas por la empresa. Principalmente, para las variables que no fueron consideradas, se mantuvieron las propuestas por el programa, las que pudieron ser distintas a las propuestas por la empresa en su simulación. De esta forma, el foco estuvo puesto en la nueva ubicación y en las pérdidas por ensuciamiento.

3.2.8. Reducción de Dióxido de carbono

Se calcularon dos valores para la reducción de emisiones de gases: uno para los valores entregados, y otro con los calculados, en donde se pudo observar una diferencia del 11 %, siendo con los datos simulados una reducción de 388 tCO2año, aproximadamente. Si bien fueron 4 puntos distintos, los 4 se abastecen del SIC. En consecuencia, todos los campus tuvieron el mismo factor de emisión que corresponde a 0,3364 tCO_2/MWh . Si bien este fue un valor aproximado, dado que fue calculado en base a la estimación de generación por parte de los paneles fotovoltaicos, luego del primer año de funcionamiento se podrá obtener un valor exacto de cuánto fue la reducción de emisiones por uso de sistemas fotovoltaicos.

Ubicación	Reducción emisión con valor entregado	Reducción emisión con valor calculado
	tCO_2/año	tCO_2/año
Casa Central	109,38	102,86
Sede Viña del Mar	206,33	180,29
Campus San Joaquín	54,58	49,21
Campus Vitacura	66,05	56,48
Total	436,34	388,84

Tabla 3.22: Reducción de CO_2 por el proyecto de paneles solares

Un vehículo promedio recorre 18000 km. al año, cuyo factor promedio de emisión de CO_2 es de 137 $grCO_2/km$, es decir que un vehículo contamina 2,5 tCO_2 al año. En comparación con la contaminación producida por un vehículo al año, la reducción de emisiones de gases contaminantes por el uso de paneles fotovoltaicos de este proyecto equivale a 165 automóviles.

Capítulo 4

Conclusiones

Las conclusiones se dividieron en tres secciones: generales, específicas y recomendaciones. La primera sección respondió a la interrogante del objetivo general. La segunda abarcó los objetivos específicos en relación al ámbito técnico y económico. Por último, las propuestas de estudio y recomendaciones.

4.1. Conclusiones Generales

A nivel técnico, la instalación de paneles fotovoltaicos se evaluó de la siguiente manera. En cuanto al progreso, el proyecto dejó un avance del 50 % en mayo de 2018, lo que contempló la instalación de estructuras, paneles solares e inversores. El avance de la sede Viña del Mar fue el más notorio debido a la cantidad de módulos por instalar (1560 paneles). Por otra parte, el campus Vitacura fue el que presentó un mayor atraso en las instalaciones de los paneles. Se concluyó que gran parte de los atrasos fueron producto de la no realización a tiempo de los estudios estructurales, lo que provocó la detención de las obras hasta que dichos estudios fueran realizados, aprobados y posteriormente ejecutados los refuerzos pertinentes, lo que significó un rango de tiempo de tres meses, variando en cada Campus y Sede.

Con respecto a la ubicación de los equipos instalados, esta estuvo limitada por la orientación e inclinación de los edificios en cada Campus y Sede, aunque hubo módulos con orientación sur, otros con leve o nula inclinación. Sin embargo, dada la cantidad de paneles, y considerando las opciones reales de instalación, la mayoría de las decisiones en reubicación fueron acertadas. No obstante, en el caso del campus San Joaquín, el

edificio F tenía mejor potencial como base sobre la cual montar los arreglos solares. Cabe mencionar que la cercanía en que fueron instalados los módulos al techo, provocarían una mayor temperatura en las celdas, lo que produciría una reducción en el eficiencia de los módulos.

A raíz de la ubicación de la instalación de los paneles y el fenómeno de sombreamiento descubierto en el análisis en terreno, se concluyó que a futuro sería fundamental el correcto mantenimiento y limpieza de los módulos, para que así tuvieran un óptimo funcionamiento, con el fin de minimizar las pérdidas. Ello debido a que el mayor problema detectado en la Quinta Región fueron las deposiciones de las aves (peligro de producción de hot spot), y en la Región Metropolitana, la alta polución capitalina que implica un alto ensuciamiento en los módulos. El problema del ensuciamiento podría llegar a mermar en un 10 % de la generación total.

Para cerrar las conclusiones sobre la evaluación técnica, se destacó que la reducción de emisiones de CO_2 por el uso de paneles solares en la Universidad fue de aproximadamente 413 tCO_2, lo que equivale a la emisión producida por 165 automóviles al año.

A nivel económico, el proyecto se evaluó contemplando el ahorro producido por el contrato y una posible inversión de parte de la Universidad para realizar la instalación. De los resultados obtenidos del análisis económico, se observó claramente que el establecimiento más favorecido fue la sede de Viña del Mar, donde la generación debería cubrir un 68,9 % de la demanda del primer año. Lo siguieron el campus Vitacura con un 25,4 %, y finalmente, Casa Central y campus San Joaquín con un 9,3 % y 10,7 %. El beneficio económico calculado para la Universidad en el primer año fue de $23.200.- dólares aproximadamente, resultado equivalente al 4,1 % del costo total de la línea base. El cálculo de beneficio a los 20 años estuvo en los $426.000.- dólares.

Continuando con el análisis económico, en el caso de que la Universidad hubiera decidido realizar la inversión, se consideró un costo por inversión de $1.900.000.- dólares y una rentabilidad esperada del 10 %. Se concluye que la inversión no logró ser rentable a veinte años. Pero, en el caso del financiamiento JCM, sumado a un período de 25 años (por la garantía de los paneles solares), solo en el caso más favorable se logra ser rentable para la tasa de retorno propuesta. Si la Universidad está dispuesta a contar con una tasa del 5 %, la cual es mayor que en alguna inversión con una tasa libre

de riesgo, este proyecto puede ser rentable con un subsidio JCM.

A pesar de los cálculos anteriores, se concluyó que la inversión era una opción complicada. La razón de esto radica en que, para realizar la inversión, el dinero tiene que provenir de la Universidad o de algún un crédito en el caso de ser financiada. Por lo tanto, los ingresos con los cuales sería pagado el crédito -o la recuperación del dinero invertido- vendrían del ahorro producido por los paneles (rebaja de costo de energía eléctrica), ahorro que dependería de otros factores que no necesariamente hubieran sido la generación de los paneles. Es por lo anterior que el contrato se evaluó como la mejor opción en el plano económico, puesto que en ese contexto contractual no existió la necesidad de realizar una inversión por parte de la Universidad, e incluso, luego de veinte años los activos pasarán a ser de la casa de estudios.

Por otra parte, la empresa contratada presentó una inversión de 1,2 millones de dólares sin considerar el subsidio del mecanismo JCM, monto menor a lo estimado anteriormente. Esto pudo ocurrir porque existió un acuerdo entre las empresas involucradas, lo cual permitió tener costos más bajos. El resultado del análisis económico mostró una TIR superior al 10 % en todos los casos (desde el menos favorable hasta el más favorable), si y solo si se cuenta con un subsidio por parte del acuerdo JCM. Estos datos contribuyeron a hacer más comprensible la importancia de ese tipo de mecanismo que permite rentabilizar proyectos relacionados con las ERNC.

4.2. Conclusiones especificas

Conclusiones que respondieron a lo planteado en los objetivos específicos, separadas en dos grupos: el análisis técnico y análisis económico.

4.2.1. Conclusiones del análisis técnicas.

De la bitácora en la cual se realizó el registro del proyecto, con fechas entre noviembre del 2017 y mayo del 2018, se concluyó con 4 puntos importantes, más la simulacion y la reducción de CO_2. Primero, la disposición (Ubicación) en la cual fueron instalados los módulos considerando su orientación e inclinación, además de la distribución de los inversores. Segundo, el efecto de las sombras (Análisis de las sombras) sobre la distribución de los arreglos solares en el proyecto. Tercero, la importancia del mantenimiento

dada las condiciones en la que se encuentran los Campus y Sedes (Mantenimiento). Por último, el factor que provocó el retraso de las obras (Mayor contratiempo).

Ubicación

Respecto a la instalación, debido de la cantidad de paneles y los edificios disponibles, algunos arreglos solares no quedaron ubicados en las mejores condiciones. Esta disposición provocaría una disminución de la generación esperada, así como se pudo observar en la nueva simulación realizada.

Para los techos que no presentaron inclinación, se podría cambiar el tipo de montaje por uno con inclinación existente en el mercado. Aun así, este sistema tendría sus consideraciones, por un lado, el costo, y por otro, el peso. Este sistema podría provocar un efecto vela. Como consecuencia de dicho efecto podría inducir la elevación y caída de los paneles. Para esto se agrega peso sobre los rieles de la estructura inclinada para así contrarrestar dicho efecto, el cual fue efectivamente detectado en el análisis en terreno. No obstante, este cambio propuesto significaría agregar más peso sobre los techos, provocando posiblemente un refuerzo estructural del edificio, con lo que se hubiera aumentado el tiempo y los costos.

La ubicación de los inversores fue óptima en el caso del campus San Joaquín, donde quedaron emplazados en una habitación especial de fácil acceso y solo a personal autorizado. En cambio, en los otros casos, como Casa Central, los inversores fueron instalados en los techos donde quedaron montados los paneles. Si bien se ubicaron en un lugar de acceso restringido, no fue de fácil acceso. En el caso de la sede de Viña del Mar y de campus Vitacura, los inversores fueron montados en los pasillos de dichos establecimientos. Si bien era de fácil acceso, podría ser un riesgo para los transeúntes, por lo cual se debe hacer una estructura de seguridad que cubriera los inversores, y así, restringir el acceso a estos equipos.

Análisis de las sombras

En todos los campus hay paneles que serán sombreados durante el día, ya fuera producto de edificios contiguos, presencia de árboles, u otras causa. Debido a los diversos cambios en ubicaciones de los módulos y los espacios disponibles, se optó por que durante ciertas horas del día fueran sombreados algunos paneles, en lugar de no ser

instalados o de ser ubicados lejos del arreglo principal. Con respecto a esto último, analizado desde el punto de la eficiencia, resultó una posición inconveniente, pero resultó más probable que, en la relación costo – beneficio, fue mejor mantener un gran arreglo solar junto que más segregado. En base a la decisión tomada en el proyecto, la mejor propuesta que se pudo proyectar a partir de este análisis, fue identificar los paneles que fueron sombreados durante el día, y sobre estos arreglos, instalar sistemas de diodos bypass. Con esta medida, cuando los módulos sean sombreados, el efecto producido por la obstrucción de la luz sería la mínima, ello en comparación a que si estos bypass no existiesen.

Mantenimiento

Un tema relevante que fue notorio -y que debió ser planeado- desde el inicio del proyecto fue la forma en la cual sería realizado el mantenimiento, asegurando accesos, puntos de anclaje para la cuerda de vida, idealmente pasillos sobre los techos, para realizar una limpieza y mantenimiento eficiente y seguro.

En los techos de los Campus y Sedes, la cantidad de módulos en una superficie limitada generó una gran densidad de paneles, lo que dificultaría, en cierta medida, el paso de un trabajador sobre las cubiertas, lo que implicaría un asunto de seguridad que fue necesario tener presente a la hora de crear el plan de mantenimiento. Por una parte, la limpieza fue un factor vital a considerar en los paneles dada la alta polución de Santiago, la que se suele dar con mayor énfasis durante el verano. Por otra parte, en la Quinta Región, el problema mayor fueron las deposiciones de las aves de la zona, debido a que estos excrementos podrían provocar puntos calientes que dañarían seriamente un panel, y por consiguiente, afectar a un arreglo completo.

Mayor contratiempo

El proyecto tenía un orden secuencial de instalación, con algunos pasos que pudieron ser en paralelo, como fue el caso del montaje de paneles e inversores. En base a la carta Gantt, el caso más crítico fue la sede de Viña del Mar, debido a la gran cantidad de paneles fotovoltaicos que fueron instalados allí. Durante el período de seguimiento, el mayor problema fue producto de un factor que no fue considerado: el estudio estructural. El campus con menor cantidad de paneles a instalar fue el campus San Joaquín con 306 módulos, y el de mayor instalación de paneles fue la sede de Viña del Mar

con 1560 módulos. En consecuencia, se debió realizar el estudio estructural durante la Ingeniería de detalles en los espacios en los que fueron instalados dichos módulos.

Consecuencia de esto, en la sede de Viña del Mar se quiso ubicar 868 paneles solares sobre una estructura tipo galpón que correspondía al gimnasio del campus. Esta era una estructura donde claramente no era posible soportar el peso de tal cantidad de paneles solares. Luego de varios planeamientos, finalmente la idea fue descartada completamente. Los trabajos no comenzaron hasta tener una ubicación clara y con estudios que demostraran la posibilidad de instalación. Esto provocó un significativo retraso en las obras, ya que no se cumplió la primera y segunda planificación entregada. En definitiva, la demora de la realización del estudio estructural terminó retrasando las obras en un rango de tres meses, variando en cada Campus y Sede.

Simulación

Se pudo ver el efecto del ensuciamiento en la generación anual. Ello especialmente en el caso del Campus San Joaquín, donde la diferencia con los valores anteriores entregados fue de 9,85 % (donde la ubicación se mantuvo al primer plano entregado), y lo que corresponde a 16 MWh al año. Esto muestra la importancia de un correcto mantenimiento y limpieza. Para Casa Central, el efecto del ensuciamiento se vio disminuido por la reubicación, logrando una mayor eficiencia por parte de los paneles. De esta forma, se obtuvo una diferencia porcentual de 5,96 % aproximadamente 19 MWh al año. Esto permitió destacar la importancia de una correcta ubicación de los módulos.

El caso del campus Vitacura y sede Viña del Mar, se mostró que una mala ubicación y la consideración del factor ensuciamiento no redujeron en gran medida la generación obtenida. Para el campus Vitacura, la diferencia fue de 14,4 % lo que representó un poco más de 28 MWh al año. Por otro lado, la sede de Viña del Mar tuvo una diferencia de 12,62 % lo que representó 77 MWh al año. Considerando el total, la suma de los cuatro campus, existió una diferencia porcentual del 10,89 %.

Reducción de emisiones GHG

Del proyecto completo se estimó reducir entre 436 tCO_2/año usando los valores entregados y 389 tCO_2/año con los valores calculados, equivalente a las emisiones de 165 automóviles. En adición a este hecho, no se consideró el efecto sombra sobre lo

paneles, y este valor pudo verse reducido de igual manera.

El valor definitivo será obtenido luego del primer año de funcionamiento, evaluando efectivamente cuánto fue la generación por parte de los módulos.

4.2.2. Conclusiones del análisis económico

De lo observado en el análisis, se hizo una conclusión en 5 partes: primero, el ahorro proyectado para la Universidad; segundo, la sensibilidades del ahorro; tercero, el caso de que el proyecto fuera una inversión por parte de la Universidad; cuarto, el caso particular de la sede de Viña del Mar que vendió sus excedentes energéticos; y en última parte, la estimación de la rentabilidad de la empresa contratada.

Ahorro contrato

El tipo de contrato fue favorable y se pudo considerar una opción conveniente, ya que la energía pagada por la generación de los paneles solares fue menor que el servicio de la línea base. Dicho esto, los factores que afectaron directamente en el ahorro fueron el porcentaje de descuento sobre la línea base y la generación misma de los paneles. Fue por esto que el mayor ahorro se encontró en la sede de Viña del Mar, donde en 20 años se proyectó un ahorro de $250.000.- dólares, y para el primer año de funcionamiento, un ahorro de $13.600.- dólares.

En la siguiente tabla se mostró el ahorro y el porcentaje de generación respecto al consumo para cada campus:

	Ahorro		Porcentaje de generación
	Primer año	20 años	primer año
Casa Central	$ 4.015	$ 73.635	9,3%
Sede Viña del Mar	$ 13.635	$ 250.057	68,9%
Campus San Joaquín	$ 1.932	$ 35.425	10,7%
Campus Vitacura	$ 3.685	$ 67.583	25,4%
TOTAL	$ 23.267	$ 426.701	19,3%

Tabla 4.1: Resumen de ahorro por contrato

Como Universidad conjunta, en los 4 Campus y Sedes se proyectó un ahorro de $426.000.- dólares, y para el primer año de funcionamiento de los sistemas fotovoltai-

cos fue de aproximadamente $23.000.- dólares, en donde la generación total representara un 19,3 % del consumo.

Fue destacable que para los siguientes años, el ahorro iría disminuyendo en función al rendimiento de los paneles, además que no se consideró el factor de generación fantasma, puesto que se tomó como supuesto que toda la generación era consumida, cosa que los fines de semanas pueda que no ocurra.

Sensibilización del ahorro

Dentro de las variables presentes en el modelo, la variación del consumo no afectó en el resultado del ahorro, debido a que se consideró que toda la energía generada por los paneles era consumida. El factor de ensuciamiento presentó un comportamiento lineal hasta el 6 %, luego de eso, el porcentaje de ahorro disminuía mas rápido, para el estudio se considero un 6 %, el cual se encuentra al límite del comportamiento línea.

Las variables que más afectaron al cálculo, son el precio de la línea base y el descuento por el contrato con la empresa del sistema fotovoltaico. Debido que estas tienen directa relación con el ahorro esperado, mientras más aumente la línea de base, mayor es el ahorro. No obstante, cabe destacar que no solo el ahorro es el que aumenta, sino que además, el costo total por el servicio eléctrico. Por otro lado, está el valor del contrato con la empresa que entregó el servicio del arreglo solar, dado que el precio de la energía eléctrica de los módulos está condicionado al precio de la línea base, mientras mayor el descuento, mayor el ahorro, y sin aumentar el costo total por servicio eléctrico. Por lo cual este factor es clave en la negociación del contrato. Entre un 15 % y un 20 % de descuento en el precio del sistema, hay una diferencia de un 24 % más en el ahorro .

Inversión

Se concluyó que era una inversión riesgosa en este tipo de proyecto. Casos como el campus San Joaquín o Casa central fueron descartados completamente: es preferible invertir en la bolsa con una tasa libre de riesgo, que está entre los 1,02 a 1,86 por ciento. La sede Viña del Mar, dada la potencia instalada, lo hizo posiblemente realizable, siempre y cuando la Universidad no exigiera una tasa superior al 5 %. Sin embargo, el campus Vitacura fue el más cercano a una posibilidad de inversión siguiendo la misma idea de que la Universidad decida reducir la tasa de retorno a un 5 %, ya que no necesitó

de una gran potencia instalada para que fuera atractivo, y por consiguiente, una menor inversión.

Escenario distinto ocurrió si se consideraba el proyecto completo, además de un posible subsidio del mecanismo JCM, el cual cubrió hasta el 30 % de la inversión. Solo se cumple la tasa esperada en el caso más favorable, no cumpliendo el objetivo de estudio.

Comparado con otras posibles inversiones que podría realizar la Universidad la cual fuera libre de riesgo, no alcanzaría una tasa mayor al 2 %, por lo tanto, si el establecimiento decidiera recibir una tasa de descuento menor a la propuesta, pero mayo a lo ofrecido por la bolsa, con una tasa de descuento entre el 2 % y el 6 %, lograría ser rentable ya sea 20 o 25 años considerando un subsidio JCM.

La inversión propuesta estima un costo de potencia instalada de 1,91 USD/wp, valor que actualmente es algo elevado a lo que ofrece el mercado(el promedio del programa "Techos Solares", es de 1,39 USD/wp), por consiguiente, con otros equipos de menor valor, pero manteniendo la misma potencia instalada se podría reducir la inversión, y obtener una mayor rentabilidad.

Considerando un costo de potencia instalada de 1,39 USD/wp, logra ser rentable con una tasa de descuento del 10 %, considerando un acuerdo JCM.

Inyección al sistema

La sede Viña del Mar presentó excedentes energéticos en 3 meses del año. La venta de excedentes no fue favorable para una inversión, en base al supuesto de que toda la energía es consumida. Como el precio de venta de excedentes menor que la compra del suministro energético, fue preferible consumir en su totalidad la energía generada, que realizar una venta de excedentes. Claro está que si no existiera la venta de los excedentes, esta energía producida al no ser consumida, se perdería y por lo tanto no se obtendría beneficio económico, lo cual sí es perjudicial para la inversión.

De aquí la importancia de considerar los perfiles horarios de consumo y generación, pera evitar generaciones fantasmas.

Rentabilidad de la empresa contratada

Se consideró una tasa de retorno del 10 %. Un caso más desfavorable siguió siendo rentable para la empresa, siempre y cuando se contara con algún tipo de financiamiento, como el mecanismo JCM, lo que permitió el negocio de estas tecnologías y la expansión de las mismas a un nivel más competitivo.

En resumen, el contrato fue una gran oportunidad de negocio. Las ventajas para la Universidad fueron: primero, que no necesitó realizar una inversión inicial para eso; segundo, que el beneficio económico se vio desde el primer mes del funcionamiento, donde se logró reducir el pago por el servicio eléctrico. Otro punto relevante es que, luego de los 20 años de contrato, el activo pasaría a ser parte de la Universidad, sin tener que pagar un adicional. Esto significaría un ahorro mayor después de los 20 años, puesto que ya no se pagará por la generación producida por los paneles fotovoltaicos.

Para cerrar se puede concluir en los siguientes puntos.

- Las ubicaciones y orientaciones finales no son las óptimas. Esto provocará una disminución en la generación esperada.
- El tipo de montaje no permite una ventilación adecuada, por consiguiente, provocará un alza en la temperatura de las celdas, disminuyendo su eficiencia.
- Todos los campus presentan sombras, algunos más notorias (campus Vitacura) que otros (campus San Joaquín). Sistemas como diodos Bypass en los arreglos solares afectados por las sombras disminuirían el impacto en la generación.
- La Región Metropolitana presenta una alta polución que podría llegar a disminuir hasta en un 10 % al total de la generación si no se realiza un correcto mantenimiento y limpieza.
- La Quinta Región presenta un caso especial en suciedad, que es producto de las deposiciones de las aves, las cuales podrían provocar puntos calientes.
- La no realización del estudio estructural a tiempo provocó un retraso cercano a los 3 meses.
- La reducción de CO_2 esperado es de 413 tCO_2/año, equivalente a 165 automóviles.

- El ahorro esperado a los 20 años es de $426.000.- dólares y $23.000.- dólares para el primer año de funcionamiento.
- Para efectos del ahorro, la variación del consumo no afecto en el resultado.
- El aumento del valor de la linea base significa un aumento en el ahorro, pero este se ve opacado pues también aumenta el costo total del servicio eléctrico.
- La diferencia entre 20 % y el 15 % en el descuento por contrato puede significar un 24 % más en el ahorro.
- El no considerar generaciones fantasmas puede disminuir el ahorro esperado.
- Individualmente ningún campus o sede fue rentable bajo los criterios propuestos, tampoco en el caso de una inversión para los 4 establecimientos.
- En el caso de aceptar un tasa de descuento inferior a la propuesta, el campus Vitacura es el mejor candidato para el proyecto.
- El proyecto completo puede ser rentable con una tasa de descuento menor a la propuesta y considerando un acuerdo JCM.
- Con un costo de potencia instalada inferior, 1,39 USD/wp de referencia al programa ”Techos Solares”del Gobierno de Chile logra ser rentable con una tasa de descuento del 10 %.
- En base al supuesto que toda la energía generada es consumida, la venta de excedentes no contribuye en mejorar la rentabilidad. Pero, en el caso de presentar excedentes, y estos al no ser aportados a la red, sí disminuyen la posibilidad de ser rentable el proyecto.
- Mecanismos como el JCM permiten rentabilizar proyectos de tipo ERNC.

4.3. Recomendaciones

El proyecto abrió varias aristas para estudiar y analizar, desde buscar la ubicación óptima hasta un plan de mantenimiento. En detalle, alguna de estas propuestas futuras fueron las siguientes:

Simulación completa de los campus: Realizar una simulación para cada campus manejando todas las variables y considerando el efecto sombra, realizando una modelo 3D de los campus. Esta precisión de los datos obtenidos por la simulación podrían ser claves en la determinación de ahorro.

Modificación o reubicación de módulos: Analizar la ubicación actual de los arreglos solares y buscar la mejor solución para mejorar su eficiencia, como eliminando sombras, modificando inclinaciones u orientaciones.

Plan de mantenimiento: Es clave el mantenimiento para el sistema y cada Campus y Sede tiene condiciones diferentes que deben ser resueltas. Generar un plan para cada campus que optimice el trabajo y la seguridad de las personas que lo realizan, además de identificar los puntos críticos de cada establecimiento.

Sistemas de limpieza Idear sistemas de limpieza, ya sean manuales o automáticos, dadas las condiciones de cada Campus y Sede.

Analizar el comportamiento de los módulos en las distintas zonas: Usando el sistema que permite la información en línea de la generación eléctrica, realizar un análisis del comportamiento de los arreglos solares, teniendo en cuenta la variada ubicación (4 Campus y Sedes que además están separados en 2 Regiones) y con especial atención en la sede de Viña del Mar que presenta 1560 paneles y una potencia instalada de 507 kWp.

Bibliografía

[1] Tipos de paneles fotovoltaicos. Noviembre 2014. Recuperado de: http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/.

[2] 1.6mw solar pv power plant project in jakabaring sport city. GEC, 2015. Recuperado de: http://gec.jp/jcm/projects/15pro_ina_06/.

[3] Introduction of solar pv system at salt factory. GEC, 2015. Recuperado de: http://gec.jp/jcm/projects/15pro_ken_02/.

[4] Introduction of solar pv system on factory rooftop. GEC, 2015. Recuperado de: http://gec.jp/jcm/projects/15pro_tha_04/.

[5] Introduction of 27mw rooftop solar power system to large supermarkets. GEC, 2016. Recuperado de: http://gec.jp/jcm/projects/16pro_tha_12/.

[6] Palacio la moneda. Ministerio de Energía, 2017. Recuperado de: http://www.minenergia.cl/techossolares/?proyecto=palacio-la-moneda.

[7] Programa techos solares públicos. Ministerio de Energía, 2017. Recuperado de: http://www.minenergia.cl/techossolares/.

[8] Diego; Ordoñez A. Leiny; Martínez O. Lisbeth. Aguirre L., Ángela; Hernández B. Comparación de eficiencias de conversión de energía en celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino, policristalino y amorfo para mediciones meteorológicas de la ciudad santiago de cali. 2016.

[9] Ricardo David Buitrón Proaño, Gisela Valentina Burbano Gube, and Luis Paucar. Elaboración de una normativa para el diseño y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el ecuador. 2018.

[10] Comisión Naciona de Energia. Informe costos de inversión por tecnología de generación. 2015. Recuperado de: https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/11/Informe-Costos-de-Inversi%C3%B3n-Tec-de-Generaci%C3%B3n-Ago-2015.pdf.

[11] Enel. Tarifas de suministro eléctrico. 2018. Recuperado de: https://www.eneldistribucion.cl/tarifas,.

[12] Central Energia. Glosario del mercado eléctrico. Recuperado de: http://www.centralenergia.cl/biblioteca/glosario-mercado-electrico/.

[13] Paz N Hurtado V. Termografía infrarroja aplicada al análisis del efecto de ensuciamiento en equipos solares fotovoltaicos. 2016.

[14] JF. Paneles solares. 2017. Recuperado de: http://panelesolares321.blogspot.com/.

[15] Kaysalt. By the power of solar. 2017. Recuperado de: http://www.kaysalt.com/2017/06/03/by-the-power-of-solar/.

[16] Japan Ministry of the Environment. The joint crediting mechanism (jcm): Progress of jcm financing programme and feasibility studies for jcm projects by moej. Global Environment Centre Foundation, 2015.

[17] Francisco Molina, Alejandra M y Martínez. Modelo de generación fotovoltaica. 2017.

[18] Comisión nacional de energia. Factor de emisión. Recuperado de:http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/245975/factor-de-emision-promedio-anual/.

[19] ADN Radio. Nueva sistema de interconexión eléctrica nacional une al sing con el sic. Radio ADN 91.7. 21 de Noviembre de 2017. Recuperado de: http://www.adnradio.cl.

[20] Francisco J Rau. Estudio del efecto soiling en el rendimiento de paneles solares fotovoltaicos en una zona residencial. 2017.

[21] Chilquinta Energía S.A. Tarifas de suministro eléctrico de chilquinta energia s.a. 2018. Recuperado de: https://www.chilquinta.cl/uploads/2012/09/20120902231358-201806chilquintasuministro.pdf.

[22] Roberto B Cabral y Bowling. Fuentes de financiamiento para el cambio climatico. 2014. Recuperado de: https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/4.r.cabral_bowling.pdf.

Anexo A

Bitacora

A continuación, se presenta la bitácora, cuyas entradas se dividen por cada campus de la Universidad.

A.1. Casa Central

29 de noviembre de 2017

En este día se realizó el proceso de ingeniería de detalles por parte de Panasonic. En esta visita ellos procedieron a la revisión de los techos en los cuales serán ubicados los paneles fotovoltaicos (A.1(a),A.1(b),A.2(a)), según el plano mostrado con anterioridad (2.2). Además, revisaron la disponibilidad de espacio para la instalación de los inversores, los tableros eléctricos existentes en donde serán conectados los sistemas fotovoltaicos, y finalmente, evaluaron el mejor camino por el cual conducir el sistema de cables.

En esta fecha realicé el siguiente registro fotográfico:

Las imágenes con orientación sureste (fotografias A.1(a) y A.1(b)), fueron tomadas ese día en el techo del edificio C (para mayor información ver en anexo la imagen C.1). En estas imágenes pude apreciar una superficie amplia en la cual se pueden instalar paneles fotovoltaicos. Destaco que los techos de color café en la imagen corresponden a una estructura antigua, lo que implica que esta estructura puede ser renovada posterior-

(a) Cubierta Norte (b) Cubierta sur

Figura A.1: Cubiertas del edificio C

Fuente: Registro propio

mente. A la fecha (29 de noviembre) existe la posibilidad de no instalar los módulos en estos techos. Según el plano de instalación (layout), los inversores serán ubicados en la muralla contigua al techo del edificio C. Las imágenes fotos A.2(a) y A.2(b) tomadas hoy representan lugares del edificio D (para mayor información sobre las instalaciones de la Universidad ver en anexo la imagen C.1)). La imagen A.2(a) muestra el techo por utilizar en la instalación de los paneles. A simple vista, no se observan obstáculos que pueden interferir entre el sol y los paneles. La otra imagen A.2(b) muestra la ubicación en donde serán instalados los inversores. Mas imágenes en anexo (ref del anexo).

(a) Cubierta edificio D (b) Ubicación inversores

Figura A.2: Emplazamientos del edificio D

Fuente: Registro propio

8 de diciembre de 2017

Me entregaron la nueva modificación de los planos del campus (figura A.3) son cambios producto de la visita anterior, en la que se hizo revisión de las instalaciones.

21 de diciembre de 2017

Reunión Kick off.

18 de enero de 2018

Recibo la información de que se mantiene el plano presentado el 8 de diciembre (figura A.3) y se acepta la propuesta de diseño presentado. Sin embargo, por motivos de seguridad, a futuro serán necesarios los estudios estructurales pertinentes para que se apruebe la instalación de los paneles.

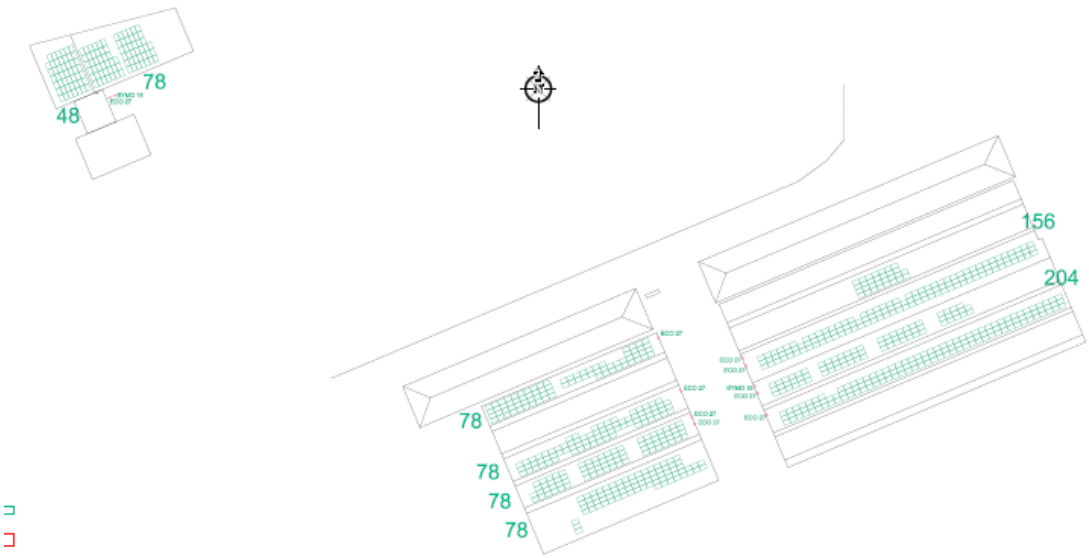
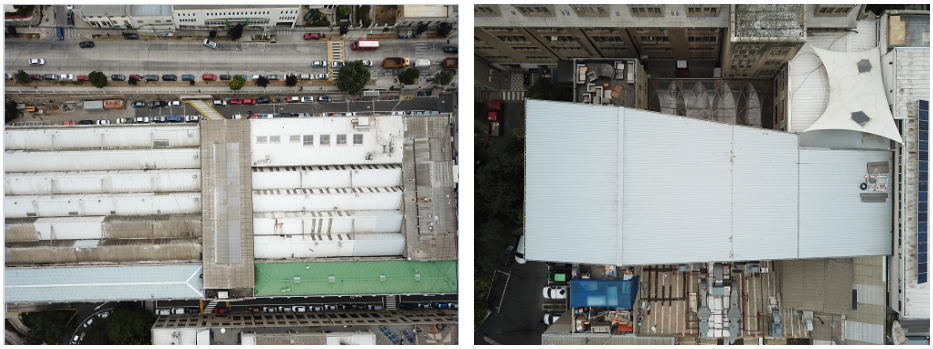


Figura A.3: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

19 de enero de 2018

Se comenzó el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de enero.



(a) Cubierta edificio C (b) Cubierta edificio D

Figura A.4: Techos Casa Central

Fuente: Registro propio

La imagen A.5 es una representación espacial de la Universidad de elaboración propia, en la que señalo la dirección y lugar en donde he de tomado las fotografías. El conjunto de imágenes (ver en anexo figuras, C.3(a), C.3(b), C.3(c) y C.3(d)) muestra algunas de las que obtuve, en las que se presentan los tableros y el techo del edificio D que se encontró accesible. Además, como apoyo pude obtener dos imágenes con un dron (Figuras A.4(a) y A.4(b)), en las que se muestran imágenes aéreas de los emplazamientos en los que se instalarán los paneles: edificio C y edificio D.

Es importante tener estas imágenes antes del comienzo de las obras, pues permite ilustrar visiblemente un antes y un después del proyecto. Por último, a la fecha (19 de enero), aun no comienzan las obras, dado que se encuentran en fase de inspección de las cubiertas. Según la Carta Gantt, la fecha de inicio de obra es el 30 de enero del 2018.

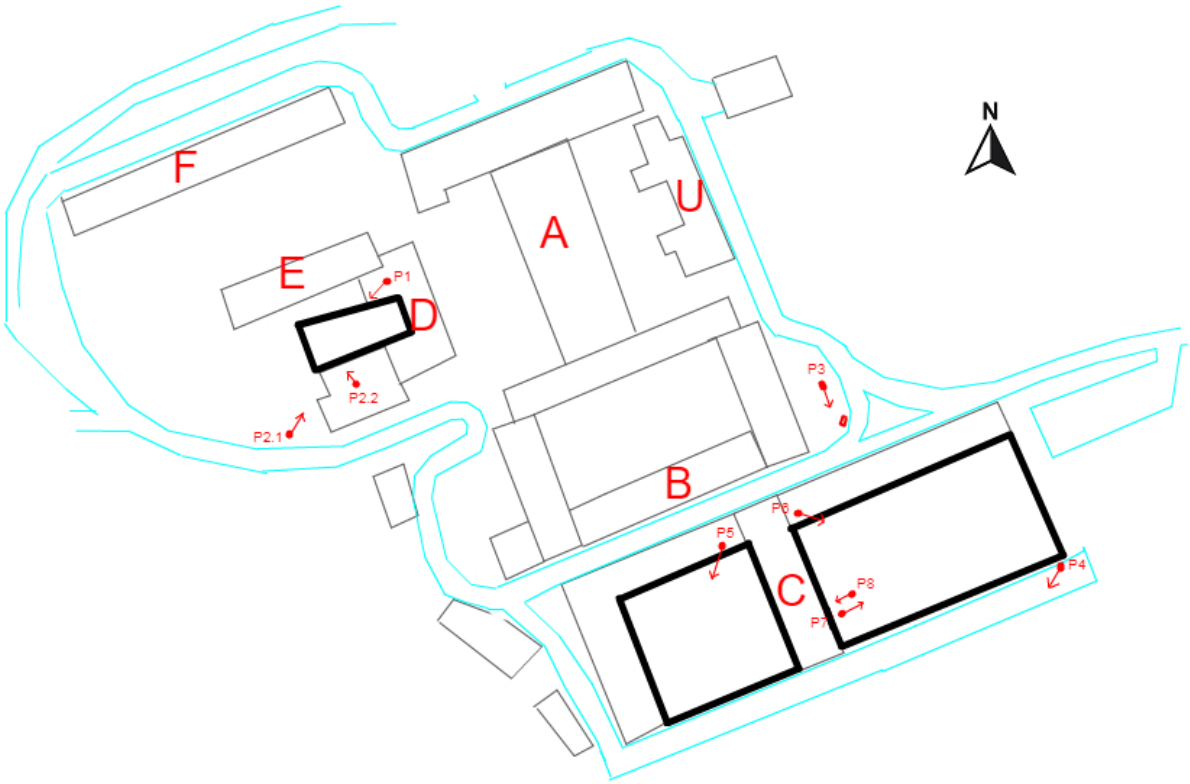


Figura A.5: Plano referencial Casa Central

Fuente: Elaboración propia

25 de enero del 2018

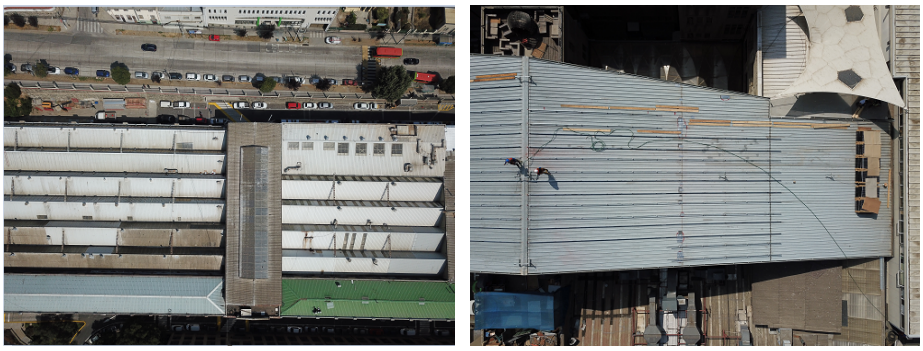
Se me informa que en este día se dará comienzo a la llegada de los materiales al campus: paneles, estructuras y cables.

Considero que es importante tener presente un fácil acceso a la ubicación de los materiales, además de que estén protegidos del clima u otros factores, teniendo en cuenta que son equipos eléctricos.

28 de febrero de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de febrero.

Nuevamente utilicé el dron para realizar un registro aéreo de los edificios C y D. En



(a) Cubierta edificio C (b) Cubierta edificio D

Figura A.6: Techos Casa Central

Fuente: Registro propio

la imagen A.7(a) nos muestra el avance en el techo del edificio D, el que corresponde a la instalación de los soportes. Este proceso se encuentra en un avance mayor al 80 % completado (como se observa en la imagenA.6(b) tomada con el dron), aunque en la pizarra informativa se señale un porcentaje menor. Una vez finalizada la instalación de los soportes se dará inicio al montaje de los módulos fotovoltaicos.

En cambio, en el edificio C, se encuentra entre un 20 % a 30 % de avance en lo que respecta a la instalación de los rieles (como se observa en la imagenA.6(a) tomada con el dron). Parte de los inversores se encuentran instalados en este mismo edificio (imaginen A.7(b)). Ver fotos complementarias en anexo.

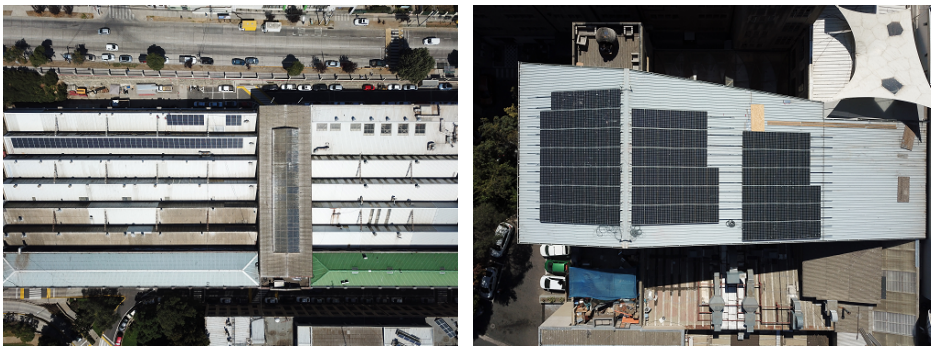
(a) P1 - Cubierta edificio D (b) P8 - Ubicación inversores

Figura A.7: Imágenes de avance

Fuente: Registro propio

20 de marzo de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de marzo.



(a) Cubierta edificio C (b) Cubierta edificio D

Figura A.8: Techos Casa Central

Fuente: Registro propio

Al llegar a terreno, puedo observar un retraso en la instalación, el cual se me había informado durante este mes. Según el cronograma original, los rieles debieron estar listos para el 1 de marzo del 2018. No obstante, a la fecha, faltaría por instalar un 70 % de los rieles en el edificio C (imagen A.8(a)). En lo que respecta a los paneles, se han instalado 286 módulos, los que corresponden a un 35,8 % de la totalidad, faltando por instalar el resto de los paneles en los techos del edificio C. Para el caso del edificio D (imagen A.9(a)), se completó la instalación de estructuras y paneles, los que corresponden a 126 módulos (con mayor detalle en la imagen aérea A.8(b)) del total de los instalados.

Parte del retraso de las obras es producto de los estudios estructurales. Para completar el porcentaje de rieles faltantes, la empresa responsable de instalarlos se encuentra a la espera de dichos resultados. Debido a esto, se avanzó en las áreas que no representaban un riesgo en la instalación, mientras se busca una solución óptima.

Ante este escenario, considero que otras soluciones son considerar primeramente la posibilidad de nuevos espacios, antes que la implementación de refuerzos en las estructuras, teniendo en cuenta factores como costo y tiempo disponible.

(a) P1 - Cubierta edificio D

(b) P6 - Cubierta edificio C norte

Figura A.9: Imágenes de avance

Fuente: Registro propio

22 de marzo del 2018

Se me informó sobre el nuevo cronograma de trabajo.

24 de abril del 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de abril.

(a) Cubierta edificio C norte

(b) Cubierta edificio D

Figura A.10: Techos Casa Central

Fuente: Registro propio

Los progresos fueron mínimos. Pude observar que se cuenta con 42 nuevos paneles instalados en el edifico C (imagen A.10(a)), llegando a un total 328, lo que corresponde

al 41,1 % de módulos instalados. A la fecha, no se han instalado nuevas estructuras. El edificio D se mantiene igual al registro de abril (imagen A.10(b)).

Actualmente se encuentra detenida la obra en el campus, al igual que en los otros. Esto hasta que se encuentre la solución para los problemas estructurales en todos los campus.

25 de mayo de 2018

Salida a terreno para inspección de sombras en el campus.

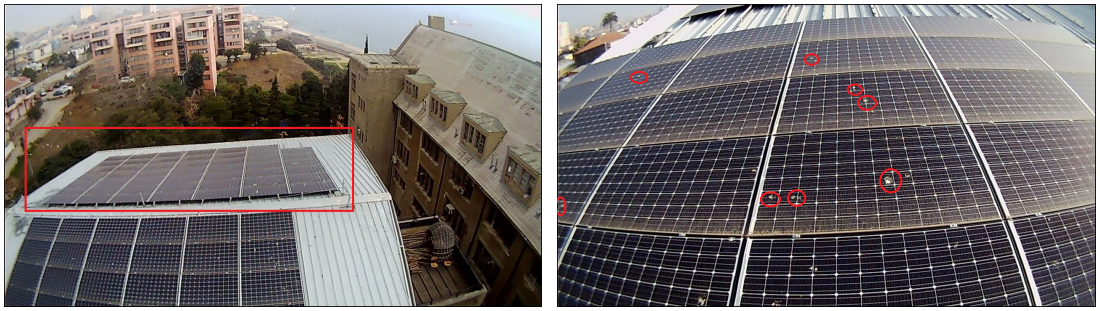
Durante el día registré un set de fotografías para los techos de los edificios C y D. Con esto obtuve el comparativo de las 4 imágenes (fotos desde la C.7(a) hasta la C.7(d)). Estas fotos muestran las maneras en las que incide el sol sobre el arreglo fotovoltaico durante todo el día. En el caso del edificio D, solo pude registrar 3 fotografías, puesto que para el horario correspondiente a la toma de la última imagen, el acceso se encontraba cerrado a toda persona al recinto.

Figura A.11: Cubierta edificio C, nueve de la mañana

Fuente: Elaboración propia

Puedo observar a las 9 de la mañana que es notoria una gran área de paneles sombreados, afectados por un edificio contiguo a las dependencias de la Universidad (imagen A.11). Esta misma zona a las 12 del día (anexo C.7(b))ya no se ve afectada por la sombra de dicho edifico, debido a la orientación del sol. Esto implica que, durante las primeras horas del día, un área importante del arreglo solar es sombreado. Dicho fenómeno puede durar hasta las 10 o 11 de la mañana.

Los paneles del edificio D no presentan problemas de sombreamiento, pero sí es necesario mencionar que 48 paneles (figura A.12(a)) se encuentran en una orientación que no corresponde al norte, sino a una orientación suroeste.



(a) Paneles orientación sur (b) Paneles ensuciados

Figura A.12: Paneles instalados en el edificio D

Fuente: Registro propio

Cabe destacar que por el tipo de clima de la zona, no se presenta una alta polución, pero sí son visible alguna deposiciones de las aves del sector (figura A.12(b)), lo que puede provocar puntos calientes (Hot spot).

A.2. Sede Viña del Mar

29 de noviembre de 2017

Con los planos entregados para el campus (imagen 2.4), se comienza la revisión de las instalaciones para corroborar la posibilidad de implementar dicho plano en el campus. Los puntos que fueron revisados son 3: primero, las cubiertas seleccionadas en las cuales fueron montados los paneles. Sobre esto, cabe mencionar que es el campus con la mayor cantidad de módulos, lo que implica una mayor superficie. Segundo, la ubicación de los inversores, donde todos estos se instalaron en las murallas de los edificios donde se emplazaron los paneles. Por último, se revisaron los tableros donde se conectó al sistema fotovoltaico.

En esta fecha realicé el siguiente registro fotográfico:

(a) Cubierta edificio C (b) Cubierta edificio F

Figura A.13: Ubicación de paneles fotovoltaicos

Fuente: Registro propio

La imagen A.13(a) es una fotografía tomada al techo del edificio C (imagen C.2), en dirección oeste. Se observa un gran espacio disponible y nada que interrumpa la radiación del sol. Estas cubiertas tienen una inclinación cercana a los 30 grados con orientación este. La imagen A.14(a) muestra una posible ubicación de los inversores, lugar que actualmente está ocupado con casilleros. Para el techo del gimnasio (imagen A.13(b)) no hubo forma de acceder a él, por lo cual se tomaron las fotografías desde el edificio de enfrente (edificio R ver imagen C.2). En esta cubierta se instalará una gran cantidad de paneles (868 módulos), pero, como se aprecia en la imagen A.14(b), la estructura del edificio no sería capaz de resistir ese peso extra sobre el techo, por lo tanto, se requerirá de un estudio estructural para ver la viabilidad de la instalación.

Las imágenes C.9(a) y C.9(b) del anexo muestran dos posibles techos en los cuales se podrían instalar los paneles, los que corresponderían al edificio H y el G. Las imágenes fueron tomadas desde el edificio R.

8 de diciembre de 2017

Me entregaron la nueva modificación de los planos del campus (imagen A.15). Estos cambios son producto de la visita anterior, en la que se hizo revisión de las instalaciones.

(a) Ubicación inversores (b) Cubierta edificio F

Figura A.14: Ubicación de equipos

Fuente: Registro propio

En este nuevo plano se reubican los paneles del gimnasio hacia los edificios H y D. Para mayor referencia ver el plano del anexo C.2.

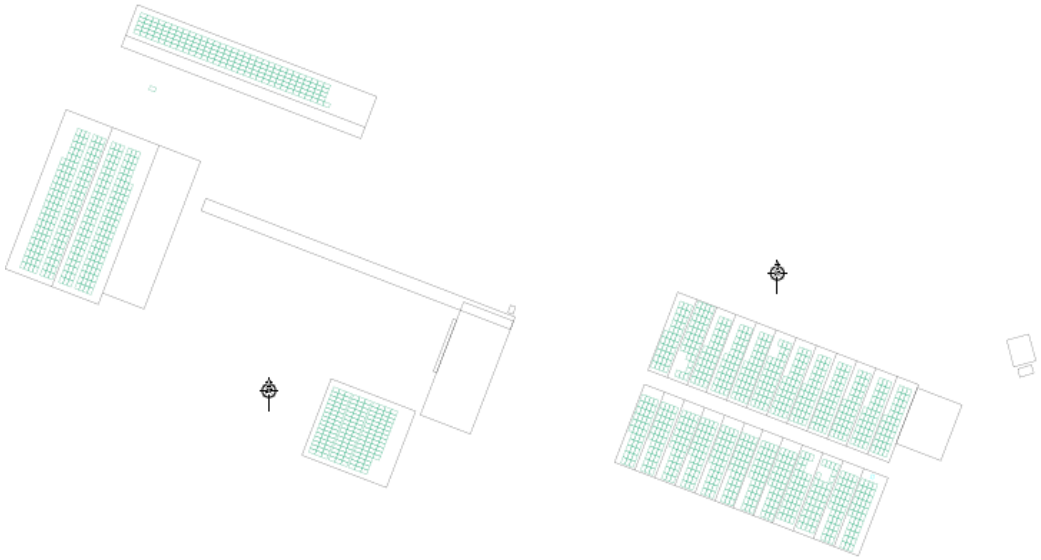


Figura A.15: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

21 de diciembre de 2017

Reunión Kick off.

18 de enero de 2018

Dada la estructura del gimnasio (edificio F), se decide descartar completamente la utilización de este edificio. Ello obligó a distribuir los módulos entre los edificios C, C1, C2, W, G y D, quedando de la forma siguiente:

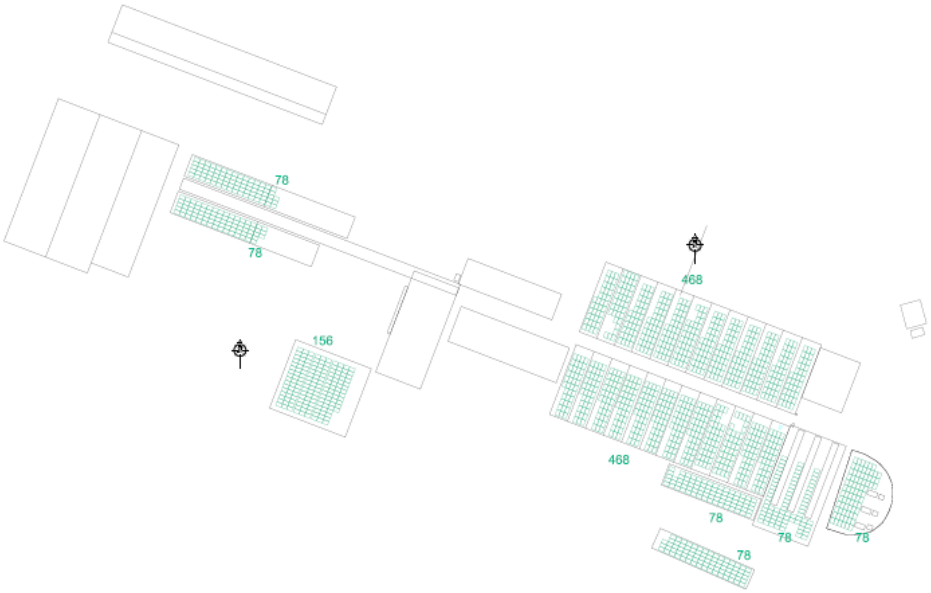


Figura A.16: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

19 de enero de 2018

Se comenzó el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de enero.

Para comenzar con el registro, se usó una representación espacial de la Universidad de elaboración propia. Ocupando este mapa (imagen A.17) me dirigí a los puntos del mapa que a la fecha presentaban acceso. Puesto que las obras aun no comienzan, las imágenes A.18(a) y A.18(b), muestran las cubiertas del edificio C, donde posteriormente comenzarán los trabajos. La imagen del anexo C.10(a) es la cubierta del edificio C1. Por último, las imágenes C.10(b) y C.10(c) corresponden el emplazamiento que se

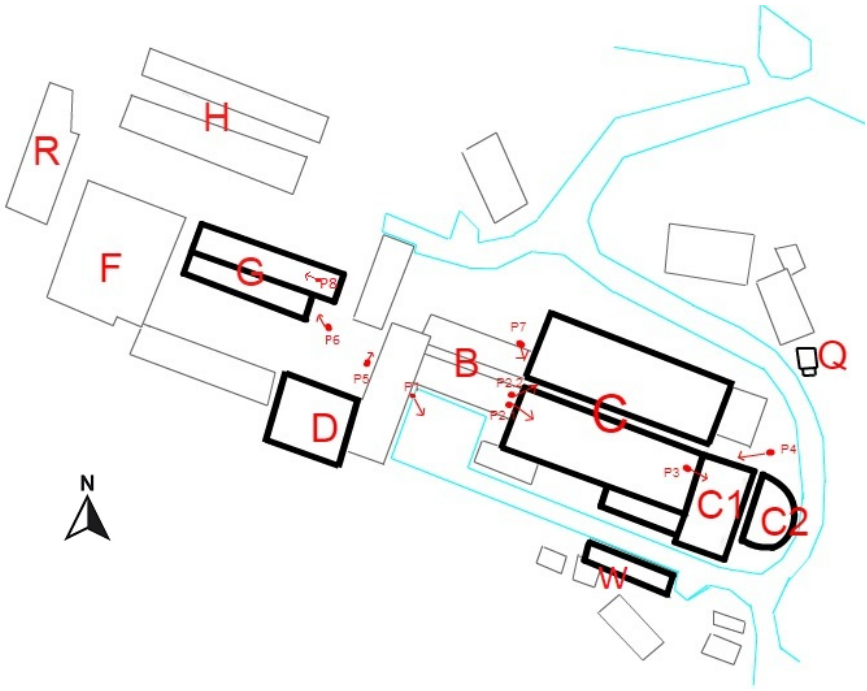


Figura A.17: Plano referencial sede Viña del Mar

Fuente: Elaboración propia

usará de bodega, a la que desde el día 20 de enero comenzarán a llegar los equipos. La otra imagen corresponde a la ubicación de los inversores.

Para un mayor detalle de los trabajos, con el dron registré imágenes aéreas de los techos C (imagen A.19(a)), D (imagen A.20) y G (imagen A.19(b))

25 de enero del 2018

Este día corresponde a la llegada de los materiales: paneles, estructura, inversores y cables.

28 de febrero de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de febrero.

Una vez en el lugar puedo ver el avance realizado: primeramente, se trabajó solo en

(a) P2.1 - Cubierta edifico C (b) P2.2 - Cubierta edifico C

Figura A.18: Visita 19 de enero sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

(a) Cubierta edificios C, C1 y C2 (b) Cubierta edificio G

Figura A.19: Techos sede Viña del Mar

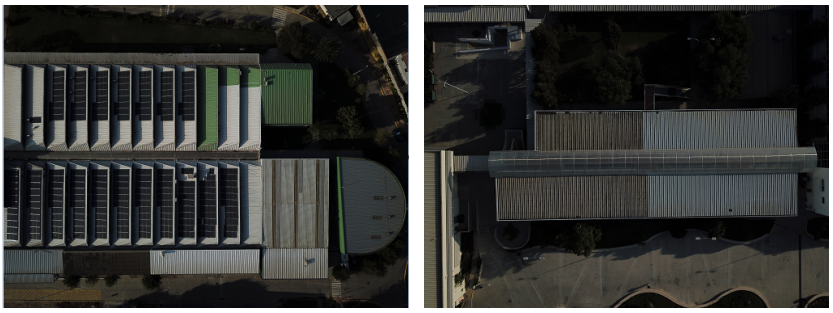
Fuente: Registro propio

el edifico C. Como se observa en la imagen tomada con el dron (imagen A.21(a)), se han instalado 617 paneles, cantidad que corresponde al 40 % del total. Estimo que los rieles para el edificio C están al 90 %. A la par de este avance, se han ido montando los módulos fotovoltaicos (imágenes A.22(a) y A.22(b)). En los edificios C1, C2, G (imagen A.21(b)), se encuentran a la espera de los resultados de estudio estructural para dar comienzo a la instalación de los rieles.

Los inversores correspondientes para los edificios C, C1 y C2 ya están ubicados (imagen del anexo C.11(a) y C.11(c)), al igual que los inversores para el edifico D (imagen C.11(b)). El avance se ha visto ralentizado puesto que no es posible el trabajo en todos los edificios. No obstante, respecto a los otros campus, Viña del Mar es el primero en ubicar los paneles.

Figura A.20: Cubierta edificio D

Fuente: Registro propio



(a) Cubierta edificios C, C1 y C2 (b) Cubierta edificio G

Figura A.21: Techos sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

Hay que destacar que el edificio C tiene orientación oeste. El caso de los edificios G y D, estos presentan una inclinación cercana a 0, con una leve orientación al norte. Dicha inclinación y orientación será la misma que tendrán los paneles, esto debido al tipo de montaje que es directo a las cubiertas.

20 de marzo de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de marzo.

Como se observa en la imagen registrada con el dron (imagen A.23(a)), se continuó trabajando en el edificio C. Para este edificio, estimo que el porcentaje de avance para los rieles es del 95 % y para los paneles instalados el avance es del 90 % (imágenes A.24(a) y A.24(b)). Hay un total de 942 paneles instalados lo que corresponde a un 60 %

(a) P2.1 - Cubierta edifico C

(b) P2.2 - Cubierta edifico C

Figura A.22: Visita 28 de febrero sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

(a) Cubierta edificios C, C1 y C2

(b) Cubierta edificio G

Figura A.23: Techos sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

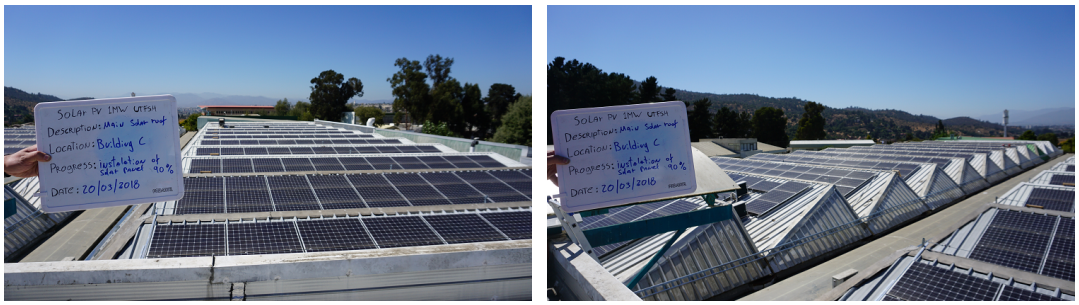
del total. En el edificio G solo se pudieron instalar los soportes (imágenes A.23(b)). Para poder montar los paneles primero es necesario la realización de los refuerzos. El resto de los edificios se encuentra a la espera de los estudios.

A la fecha no hay modificación en los inversores, salvo la instalación de uno en el edificio G (imagen C.12(d)).

24 de abril del 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de abril.

Se instalaron los rieles y paneles del edificio W (imagen A.25(b)) sumando otros 78 paneles, lo que representa un 65 % del total. En la ubicación de los inversores fueron



(a) P2.1 - Cubierta edifico C (b) P2.2 - Cubierta edifico C

Figura A.24: Visita 20 de marzo sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

(a) Cubierta edificios C, C1 y C2 (b) Cubierta edificio W

Figura A.25: Techos sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

instaladas las canaletas por donde circularan los cables (imágenes del anexo C.13(b) y C.13(b)). En el resto no hubo avances. Se espera que la obra retome una vez que los refuerzos estén aprobados e instalados.

30 de mayo de 2018

Salida a terreno para inspección de sombras en el campus.

Durante la visita al campus tomé registro de 4 fotografías aéreas representando los techos C, W y G, los cuales a la fecha presentaron avances. La cubierta del edificio C un avance del 90 %, el W de un 100 % de paneles instalados y el edificio G con el 100 % de los rieles instalados. Este set de 4 imágenes muestra el comportamiento de la radiación, específicamente para buscar sombras de objetos o estructuras que puedan

interrumpir dicha radiación sobre los paneles.

La instalación de los paneles sigue la misma inclinación y orientación de las cubiertas. Sobre esto, de los 3 edificios, solamente el edificio C presenta una inclinación del orden de 25 a 30 grados. A simple vista, observé que no hay grandes objetos que puedan afectar con sombreamientos.

(a) Edificio C, 9 de la mañana (b) Edificio W, 9 de la mañana

Figura A.26: Sede Viña del Mar a las 9 de la mañana

Fuente: Registro propio

A las 9 de la mañana, observé que no se presentan sombras sobres los paneles en los 3 edificios. Sin embargo, cabe destacar que la orientación de los paneles en el edifico C es oeste: dado que el Sol sale desde el este, la radiación no impacta directamente sobre ellos (imagen A.26(a)). El caso del edificio W (imagen A.26(b)), el cual presenta una leve orientación sur, ocurre un fenómeno similar al edificio C. Por último, en la cubierta del edificio G (imagen A.27), el techo está dividido en dos grandes áreas: una de ellas presenta una leve inclinación norte y al otro sur.

A las 12 del día observo que aun sigue sin presentarse sombras sobre los paneles.

A las 3 de la tarde se puede observar que, dada la posición del Sol, hay ciertos objetos o estructuras que irrumpen la radiación directa. Para el caso del edificio W (imagen A.28(a)), se aprecia cómo la sombra producida por el árbol fue considerada en la ubicación de los módulos, dado que estos no se ven afectados por dicha sombra. En el edificio C, se nota la sombra producida por la cubierta que la antecede (imagen A.28(b)). Esta sombra afecta a los primeros 6 paneles ubicados en cada arreglo solar, lo

Figura A.27: Techo G, 9 de la mañana sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

(a) Edificio W, 3 de la tarde

(b) Edificio C, 3 de la tarde

Figura A.28: Sede Viña del Mar a las 3 de la tarde

Fuente: Registro propio

que correspondería en un mínimo de 132 módulos, los cuales estarían completamente impedidos de radiación directa. Además, como se observa en la imagen A.29, en la primera fila de paneles, el edificio de salas de clases, que antecede a la cubierta con módulos, bloquea gran parte de la radiación sobre los paneles. El edifico G sigue sin presentar sombras.

Ya al finalizar la jornada, a las 5 de la tarde, la radiación que llega es bastante difusa, dada la posición del sol y la nubosidad presente a esa hora. En los paneles solares no se distinguen suciedades, ya sea producida por ave o por presencia de polvo. El set de imágenes completas en anexo.

Figura A.29: Techo c, 3 de la tarde sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

A.3. Campus San Joaquín

28 de noviembre de 2017

Se realizó la segunda inspección por parte de Panasonic, la que corresponde a la ingeniería de detalle, con el fin de comprobar en terreno su plano previamente planteado (figura 2.5). Se revisaron las cubiertas donde se montarán los paneles (imagen A.30(a) y A.30(b)). Además, se identificó el tablero de conexión (figura A.31(b)) y los posibles lugares de instalación de los inversores.

En esta fecha realicé el siguiente registro fotográfico:

(a) Cubierta edificio A (b) Cubierta edificio A

Figura A.30: edificio A

Fuente: Registro propio

Las imágenes corresponden al techo del edificio A según el plano entregado, los

paneles en su totalidad serán instalados sobre las cubiertas del edificio A. Esto permite una mayor facilidad en la conexión. Por su parte, los inversores serán ubicados en la misma sala (imagen A.31(a)) donde están los tableros eléctricos y de empalme, a un costado del edificio A. Esta cercanía entre los equipos permite reducir las pérdidas por transmisión.

(a) Área de inversores y tableros

(b) tableros

Figura A.31: Cubiertas del edificio C

Fuente: Registro propio

8 de diciembre de 2017

Me entregaron la nueva modificación de los planos del campus (figura A.32). Se presentan cambios que son producto de la visita anterior, en la que se hizo la revisión de las instalaciones.

21 de diciembre de 2017

Reunión Kick off.

18 de enero de 2018

Se mantiene el layout entregado en diciembre, aunque el plano requiere de estudios estructurales para ser aprobado. Dependiendo de los resultados de dicho estudio, la disposición de los paneles podría variar.

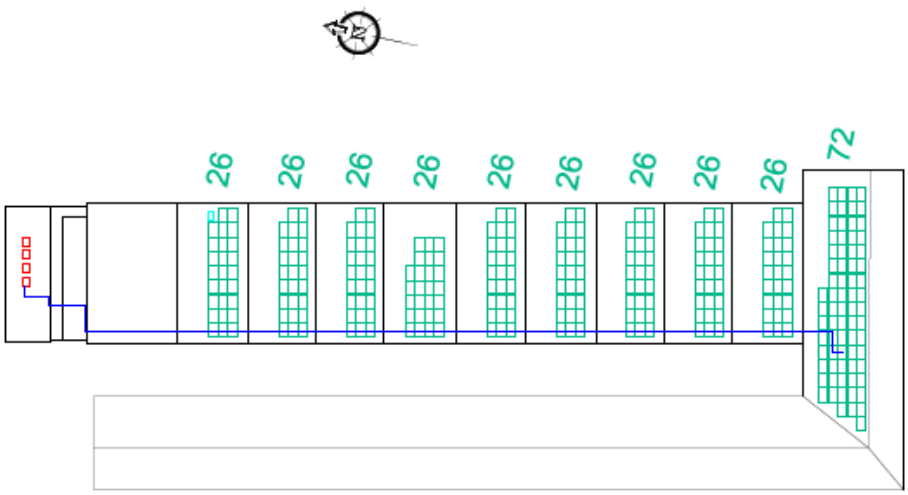


Figura A.32: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

25 de enero de 2018

Se comenzó el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de enero.

Figura A.33: Techo San Joaquín

Fuente: Registro propio

Comenzaron a llegar los materiales y equipos al campus: paneles, rieles de la estructura y el cableado.

La imagen A.34 es una representación de la Universidad, en la que señalo los puntos en los cuales serán tomadas las fotografías y la dirección que tienen las imágenes. La imagen C.17(a) señala el lugar donde serán instalados los paneles, las imagenes C.17(b) y C.17(c) corresponden a la ubicación de los inversores y el tablero eléctrico. Imágenes ubicadas en Anexo. El inicio de las obras es mañana 26 de enero del 2018.

Finalmente, cuento con una imagen registrada con el dron (imagen A.33), la que nos permite ver los avances desde otra perspectiva.

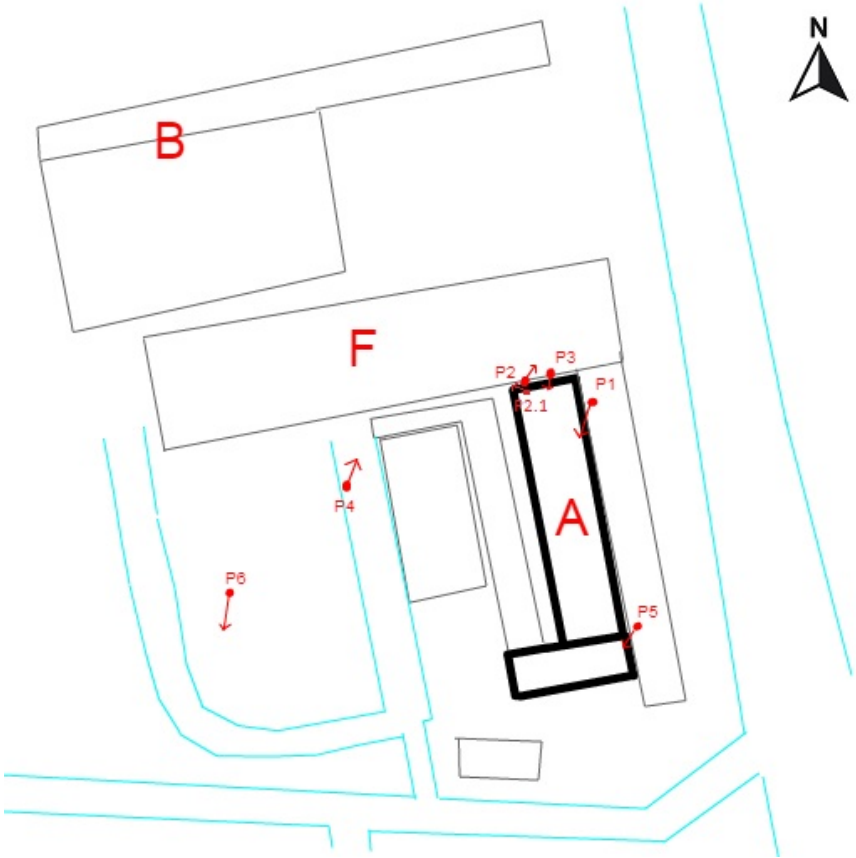
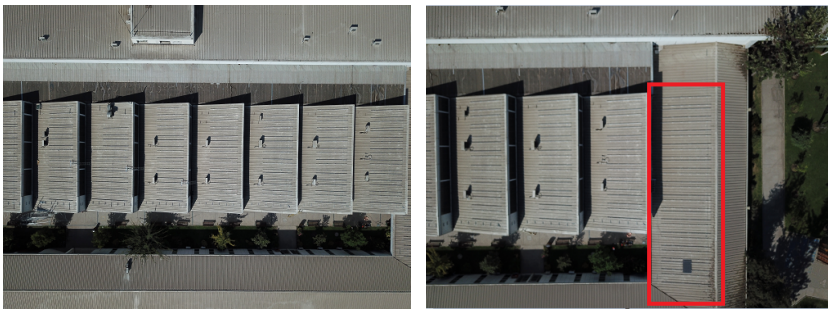


Figura A.34: Plano referencial campus San Joaquín

Fuente: Elaboración propia

27 de febrero de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de febrero.



(a) Cubierta edificio A (b) Cubierta edificio A

Figura A.35: edificio A

Fuente: Registro propio

Se ha instalado la mayoría los rieles que soportan las estructuras (imágenes A.36(a) y C.18(a)), por lo que se espera alcanzar el 100 % en los siguientes días. Sin embargo, los inversores aún no han sido instalados (imagen A.36(b)). La fotografía registrada por el dron nos muestra los trabajos con más detalle (imágenes A.35(a) y A.35(b)). Por otra parte, la imagen (A.35(b)) muestra el montaje en el área demarcada que se encuentra a la espera de los resultados del estudio estructural. Es posible que sea necesario reforzar antes de instalar los paneles.

(a) P1 - cubierta edificio A (b) P2 - Ubicación de inversores

Figura A.36: Visita 27 de febrero campus San Joaquín

Fuente: Registro propio

23 de marzo de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de marzo.

Figura A.37: Techo San Joaquín

Fuente: Registro propio

Se encuentran instalados 182 módulos (imagen A.37), los que corresponden al 59,5 % instalado. Los inversores fueron reubicados en el mismo lugar e instalados (imagen A.38(b)). El estudio estructural arrojó que el área señalada anteriormente requerirá refuerzos (imagen A.35(b)). No obstante, ante la complejidad de este trabajo, se evalúa la opción de que sean repartidos los 72 paneles en las áreas en las que ya se cuenta con paneles. Esto representa un retraso: el no poder seguir instalando paneles faltantes sumando el receso que estarían presentando los otros campus.

(a) P1 - cubierta edificio A

(b) P2.1 - Ubicación de inversores

Figura A.38: Visita 23 de marzo campus San Joaquín

Fuente: Registro propio

Ambas soluciones planteadas representan un problema. La realización de los refuerzos retrasaría el proyecto. Además, significa un costo adicional. Sin embargo, de reubicar los paneles en el poco espacio que aún queda, es altamente probable que estos módulos sean sombreados durante el día, y por tanto, sería más difícil poder realizar una mantención o limpieza. Una tercera opción sería ubicar los 72 módulos faltantes sobre otro techo. El inconveniente de esto es que nuevamente se necesitaría un estudio estructural para verificar que resiste el peso.

25 de abril de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de abril.

Figura A.39: Techo San Joaquín

Fuente: Registro propio

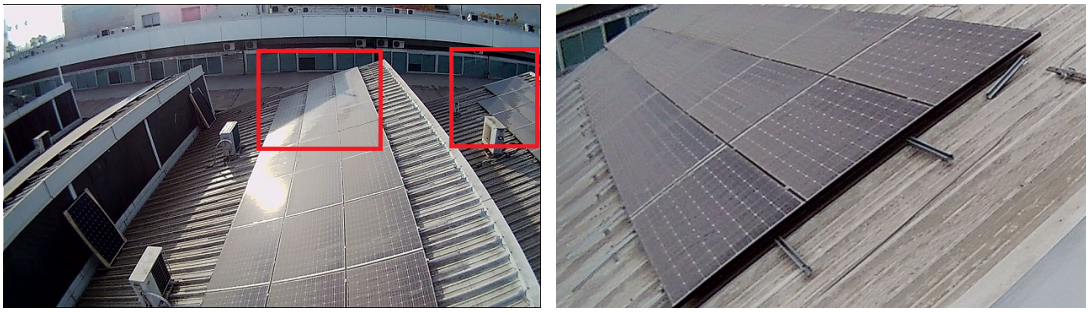
Los trabajos se detuvieron. No se han instalado nuevos paneles ni estructuras. Nada más que destacar.

14 de mayo de 2018

Salida a terreno para inspección de sombras en el campus.

Se realiza el seguimiento de los paneles. El día estuvo semi nublado, pero aun así pude observar las sombras que se generan en los techos. A las 9 de la mañana detecté sombras en algunos paneles producto del techo contiguo (imagen A.40(a)) y de los intercambiadores del sistema de aire acondicionado. Se destaca una gran sombra en la

cubierta que está con problemas estructurales (imagen A.41(a)). A las 12 (mediodía), se siguieron presentando sombras (imagen A.41(b)). Ya para la tarde observé que no habían obstáculos que impidieran la radiación directa. Otra observación es la cantidad de polvo presente en los paneles y lo cercano al techo que están instalados (imagen A.40(b)).



(a) Edificio A San Joaquín, nueve de la mañana (b) Polución en paneles

Figura A.40: Paneles en campus San Joaquín

Fuente: Registro propio

(a) Edificio A San Joaquín, nueve de la mañana (b) Edificio A San Joaquín, medio día

Figura A.41: Techos San Joaquin

Fuente: Registro propio

19 de mayo de 2018

Finalmente se decide no hacer refuerzos y que los 72 paneles que estaban ubicados en esa zona fueran reasignados a las áreas que ya presentan paneles.

A.4. Campus Vitacura

28 de noviembre de 2017

Se realizó la inspección de ingeniería de detalle. Lo primero que se realizó fue la revisión de las cubiertas del edificio en donde serán implementados los paneles, según el layout presentado anteriormente (2.8). Posterior a eso, se buscó el mejor lugar para instalar los inversores, los que serán ubicados a altura del primer piso. Se identificaron los tableros eléctricos existentes y la subestación a la cual unirse.

En esta fecha realicé el siguiente registro fotográfico:

(a) Cubierta sur (b) Cubierta este

Figura A.42: Cubiertas del edificio B

Fuente: Registro propio

Las imágenes fueron registradas desde una esquina del techo correspondiente al edificio B del campus. Se nos muestra las dos áreas a utilizar. La imagen (A.42(a)) tomada con dirección oeste, se observan dos árboles que podrían obstruir el paso de la luz a los paneles que fueran instalados cercano a dichos árboles. Además, se puede ver una leve inclinación de este techo, la cual tendría orientación sur. La imagen (A.42(b)) es la segunda fotografía registrada, esta vez con dirección norte. Allí se nos muestra una zona despejada, sin obstrucciones, en la que se podrían instalar los módulos. La leve inclinación de esta parte del techo tiene orientación este.

La imagen (C.23(b)) es parte del techo del edificio A, el que estaría ubicado en la parte norte de este edificio. Posee una menor altura y un área donde los módulos podrían ser reubicados. El edificio que se encuentra al frente, que corresponde al edi-

ficio A (C.23(a)), sería una estructura antigua, próxima a remodelación (techo naranjo).

La imagen (C.23(c)), sería la ubicación de los de los 5 inversores. Gran espacio y de buena ventilación ubicado en la muralla del edificio B. La imagen (C.23(d)) es una segunda posibilidad de ubicación para los inversores: este es un edificio adyacente al B y el cableado DC debería recorrer una mayor distancia, además de ser aterrizado por la escalera.

8 de diciembre de 2017

Me entregaron la nueva modificación de los planos del campus (imagen A.43) cambios que son producto de la visita anterior, en la que se hizo revisión de las instalaciones.

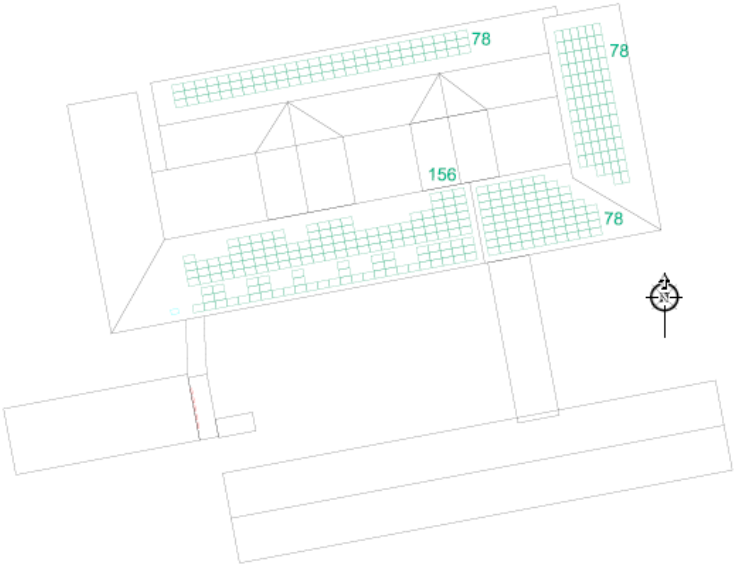


Figura A.43: Layout de plano de instalación

Fuente: Extracto del layout entregado por Panasonic

21 de diciembre de 2017

Reunión Kick off.

18 de enero de 2018

Recibo la información de que se mantiene el plano presentado el 8 de diciembre y se acepta la propuesta de diseño presentado. Sin embargo, por motivos de seguridad, a futuro serán necesarios los estudios estructurales pertinentes para que se apruebe la instalación de los paneles.

25 de enero de 2018

Se comenzó el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de enero.

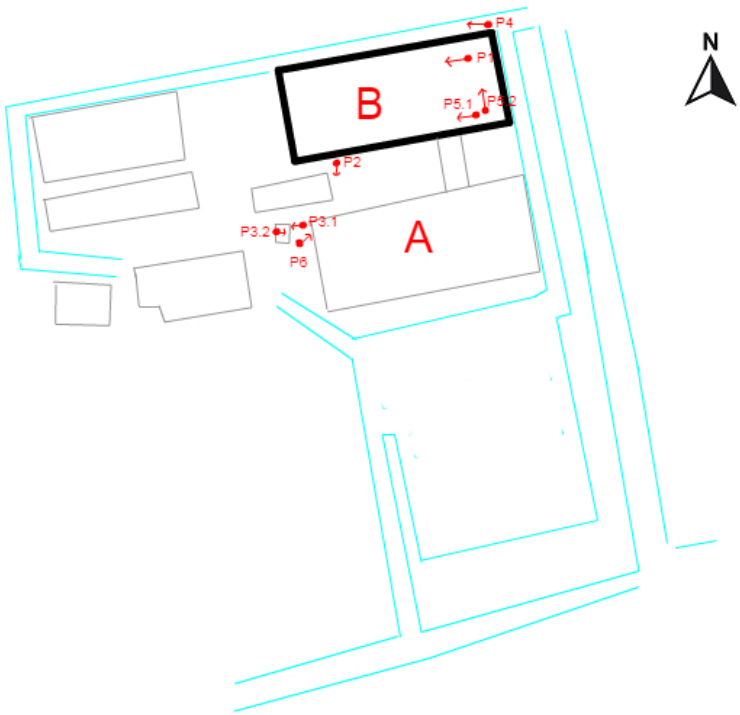


Figura A.44: Plano referencial campus Vitacura

Fuente: Elaboración propia

La imagen A.44 es una representación espacial de la Universidad, destacando los edificios B y A del campus. Esta representación muestra, además, las imágenes a tomar mensualmente, destacando la ubicación y dirección de la fotografía. La imagen A.45(a)

representa el techo B en la zona norte, lugar donde se instalarán los 78 módulos. No se cuenta con un acceso para el techo principal del edificio B, por lo cual no se logró obtener una imagen de esta cubierta durante mi visita. La imagen A.45(b) corresponde a la ubicación de los inversores.

(a) P1 - cubierta edificio B zona norte (b) P2 - Ubicación de inversores

Figura A.45: Visita 25 de enero campus Vitacura

Fuente: Registro propio

Este mismo día llegaron los equipos: paneles solares, estructuras y cables, los cuales se pueden ver en la imagen C.24(a). A pesar de no poder subir al techo, sí logré obtener una imagen aérea con un dron (imagen A.46), registro que permitirá ver el antes y el después de la instalación de los arreglos solares.

Figura A.46: Techo Vitacura

Fuente: Registro propio

1 de marzo de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de febrero.

Figura A.47: Techo Vitacura

Fuente: Registro propio

En el segundo registro de avance puedo observar un gran atraso de la obra. La imagen A.47 tomada con un dron se muestra la instalación de 11 paneles solares, los cuales estarían ubicados en modo de pruebas, y no en su posición final. Esto se debe a que no se instalarán los módulos hasta cuando se tenga el resultado del estudio estructural del campus. Por otro lado, las imágenes A.48(a) y A.48(b) son del techo A, donde estaría instalado cerca del 90 % de las estructuras, faltando la del área norte de este edificio (imagen C.25(a) del anexo). Los inversores no han sido instalados (imagen C.25(b) del anexo). Más fotos en el anexo.

(a) P5.1 - cubierta edificio B zona sur (b) P5.2 - cubierta edificio B zona este

Figura A.48: Visita 1 de marzo campus Vitacura

Fuente: Registro propio

23 de marzo de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de marzo.

Figura A.49: Techo Vitacura

Fuente: Registro propio

La imagen registrada por el dron es lo suficientemente descriptiva para comprender el panorama de avance (imagen A.49). Durante el mes de marzo, en efecto, no hubo avances desde la fecha anterior de la bitácora. Las obras están detenidas mientras no esté entregado el estudio estructural y se tome la decisión de realizar los refuerzos. Habría 78 paneles por instalar en la zona norte del edificio B (imagen C.26(a)), sin embargo, para esto es necesario realizar un refuerzo a la estructura. Mientras no se llegue a una solución en todos los campus, no se continuarán las obras.

(a) P5.1 - cubierta edificio B zona sur (b) P5.2 - cubierta edificio B zona este

Figura A.50: Visita 1 de marzo campus Vitacura

Fuente: Registro propio

25 de abril de 2018

Se continúa el seguimiento de las obras ocupando la metodología de registro fotográfico. Esta es la visita correspondiente al mes de abril.

Figura A.51: Techo Vitacura

Fuente: Registro propio

A la fecha, los trabajos siguen detenidos, a casi un mes de la última observación que realicé. No se han instalado nuevos paneles ni estructuras, tampoco los inversores (imagen A.52(a)). Se evalúa un posible traslado de los 78 paneles a instalar en la zona norte del edificio B (imagen A.52(b)). Dicho traslado sería al edificio A, en una zona que ya fue remodelada. Nada más que destacar para esta entrada de bitácora.

(a) P1 - cubierta edificio B zona norte (b) P2 - Ubicación de inversores

Figura A.52: Visita 25 de abril campus Vitacura

Fuente: Registro propio

A modo de conclusión, a la fecha este campus es el más atrasado de los 4, porque en las otras 3 sedes llevan por lo menos un 40 % de los paneles instalados. Gran parte del retraso se debe al estudio estructural, del cual la sede exigió no instalar los paneles hasta que el estudio fuera revisado y aprobado por la Universidad. Una vez realizados estos trabajos de refuerzos, se reiniciará la obra, continuando con la instalación que ahora se encuentra detenida. Dado esto, la empresa instaladora evalúa la opción de trasladar los paneles a un techo cercano que no requiera refuerzos.

18 de mayo de 2018

Salida a terreno para inspección de sombras en el campus.

Aclaración:

Para comprender la entrada de bitácora en esta fecha, debo aclarar que para entonces yo desconocía la decisión final respecto a los 78 paneles que faltarían por definir su posición final, por lo que solamente seguí el comportamiento de la radiación sobre el techo del edificio B del campus, puesto que tampoco manejaba información oficial con respecto a en qué lugar del edificio A serían instalados dichos paneles.

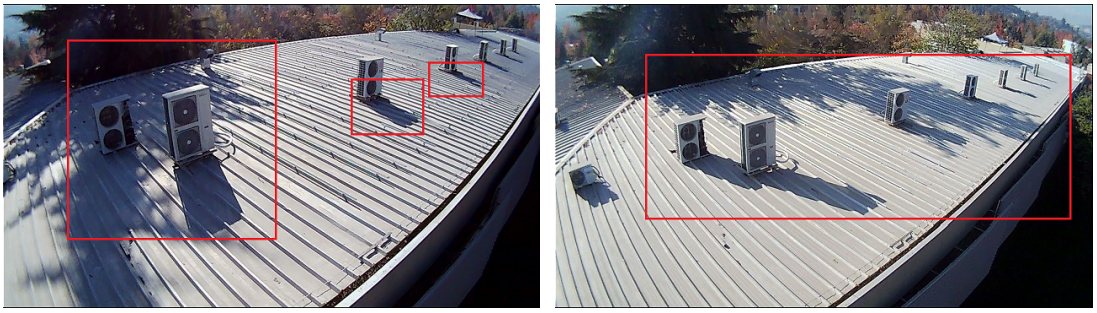
De ahora en adelante, se presenta la observación que realicé el día 18 de mayo:

Hay que tener en consideración que el edificio B cuenta con dos árboles en el centro, los que superan la altura misma del edificio, por lo que estimo que son un factor

importante, pues es altamente probable que se proyecte una gran sombra sobre el techo.

Las fotos del área sur del edificio B las separé en dos grupos: este y oeste. Sobre la zona este, como se puede observar en el grupo de imágenes del anexo (del C.28(a) al C.28(d) y del C.29(a) al C.29(d)), durante el día la sombra que recae sobre esta cubierta es mínima, dado que no hay objetos que interfieren entre el sol y el techo. Por el contrario, en la zona oeste (y parte del centro) los paneles a instalar presentaran diversas sombras producto de los árboles y de los intercambiadores de calor del sistema de aire acondicionado. La sobra que produce el pino comenzó a afectar a los paneles desde las 12 del día (imagen A.53(a) e imagen A.53(b)) hasta finalizar el día. Además, los intercambiados fueron bloqueando parte de la radiación sobre el áreas de paneles (imagen A.54(a)). Dicha sombra varía según la hora del día, pues se encuentra opuesta a la orientación del sol.

Respecto a la zona norte del techo, no hay gran obstrucción de luz, salvo durante la mañana cuando aparece sombra producto del mismo edificio (imagen A.54(b)).



(a) Edificio B campus Vitacura oeste, doce del día (b) Edificio B campus Vitacura oeste, tres de la tarde

Figura A.53: Techos campus Vitacura

Fuente: Registro propio

(a) Edificio B campus Vitacura oeste, doce del día

(b) Edificio B campus Vitacura norte, nueve de la mañana

Figura A.54: Techos campus Vitacura

Fuente: Registro propio

Anexo B

Figuras complementarias Metodología

B.1. Plano de instalación rieles

Secuencia de imágenes que muestran el método de instalación de los soportes, donde quedaron montados los paneles.

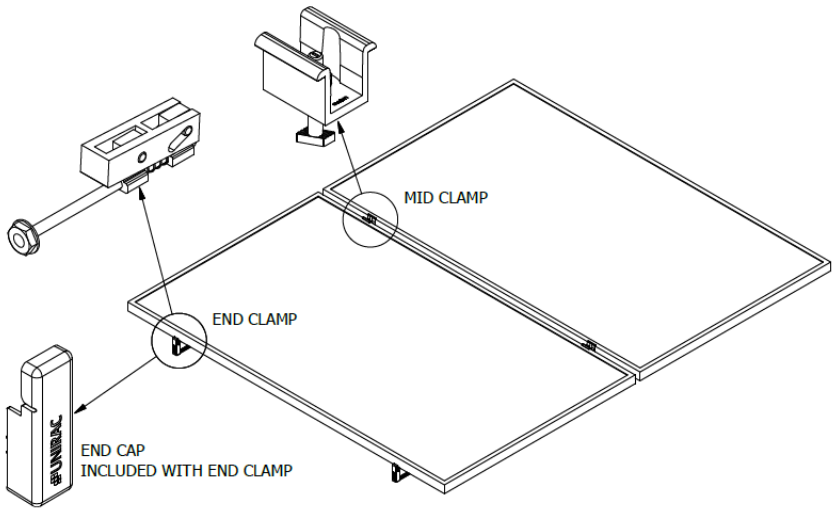
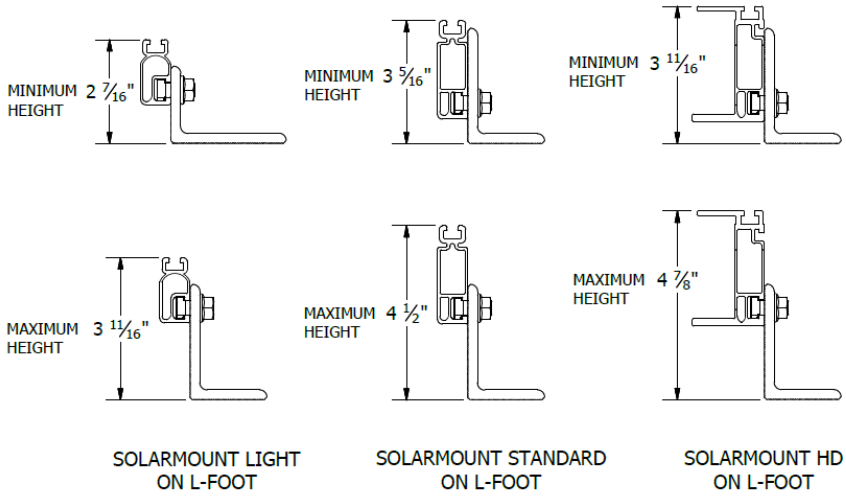
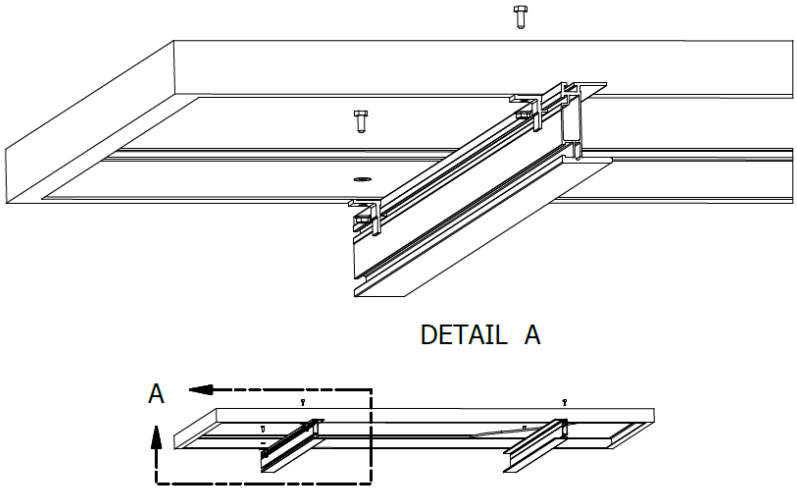


Figura B.1: Método de instalación soportes 1

Fuente:Extraído de UniRac



(a) Método de instalación soportes 2



(b) Método de instalación soportes 3

Figura B.2: Método de instalación soportes

Fuente: Extraído de UniRac

B.2. Gráficos de consumo

En los gráficos se ilustró el consumo respectivo para cada sede, separado por meses del año 2016.

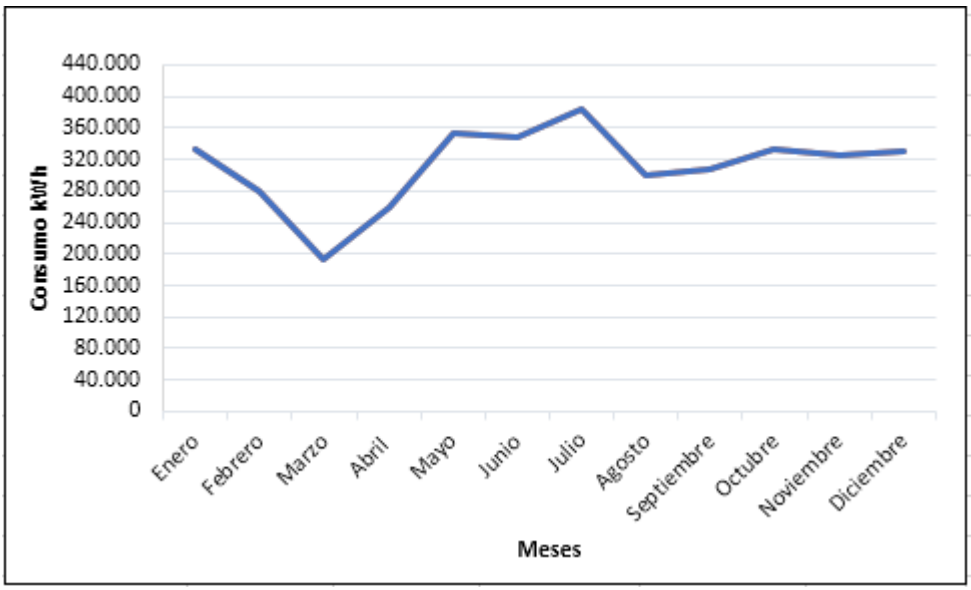


Figura B.3: Consumo Casa Central año 2016

Fuente:Elaboración propia

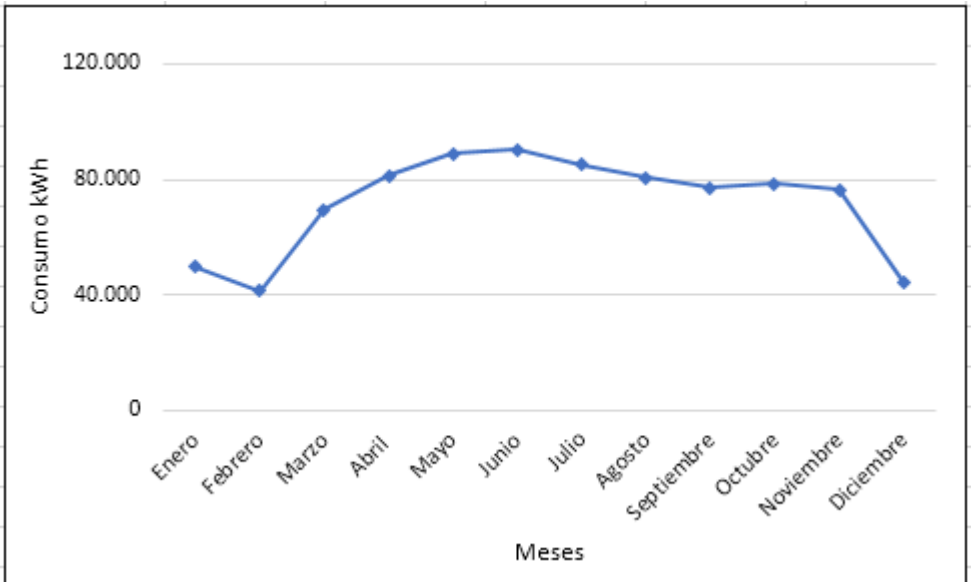


Figura B.4: Consumo sede Viña del Mar año 2016

Fuente:Elaboración propia

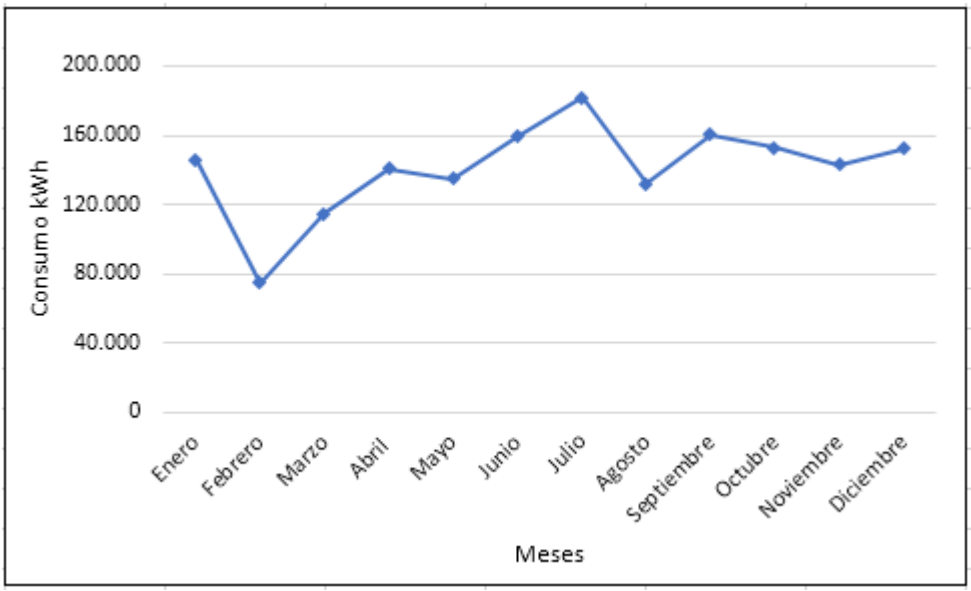


Figura B.5: Consumo campus San Joaquín año 2016

Fuente:Elaboración propia

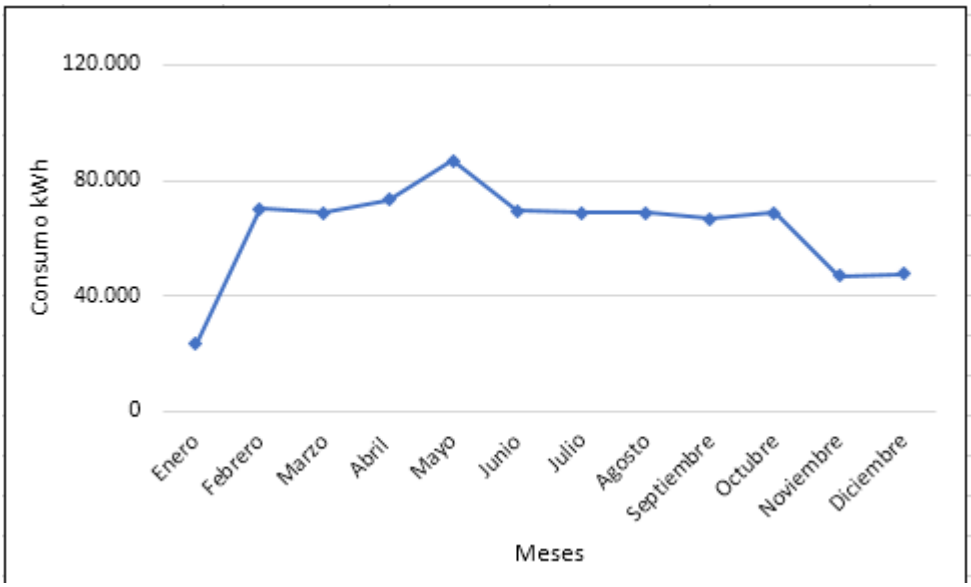


Figura B.6: Consumo campus Vitacura año 2016

Fuente:Elaboración propia

B.3. Variables de simulación

Variables de radiación, temperatura y velocidad del viento según la ubicación de los paneles, datos de meteonorn 7.1

	Irrad. Global	Difuso	Temp	Vel. Viento
	kWh/m² mes	kWh/m² mes	°C	m/s
Enero	187,7	85,0	22,9	3,29
Febrero	147,3	83,3	21,9	3,00
Marzo	127,9	69,5	19,9	2,60
Abril	87,1	53,0	15,6	2,09
Mayo	61,7	34,3	11,6	1,71
Junio	49,6	32,3	9,3	1,59
Julio	57,1	33,7	9,3	1,70
Agosto	79,6	46,2	10,6	2,00
Septiembre	107,4	62,1	12,7	2,20
Octubre	146,4	72,4	16,5	2,70
Noviembre	170,5	83,9	19,0	3,09
Diciembre	190,6	95,2	21,6	3,39
Año	1412,9	750,9	15,9	2,40

(a) Variables de clima para Casa Central

	Irrad. Global	Difuso	Temp	Vel. Viento
	kWh/m² mes	kWh/m² mes	°C	m/s
Enero	188,5	83,7	22,7	3,40
Febrero	148,1	82,8	21,6	3,00
Marzo	128,5	70,1	19,8	2,60
Abril	87,5	48,2	15,4	2,10
Mayo	61,9	36,9	11,4	1,70
Junio	49,7	31,1	9,2	1,61
Julio	57,3	29,7	8,7	1,70
Agosto	79,8	46,9	10,4	1,90
Septiembre	107,8	57,7	12,5	2,19
Octubre	146,8	73,7	16,2	2,70
Noviembre	171,5	85,3	18,7	3,10
Diciembre	191,4	96,4	21,3	3,39
Año	1418,8	96,4	15,7	2,40

(b) Variables de clima para sede Viña del Mar

Figura B.7: Variables de clima para la Quinta Región

Fuente: Elaboración Propia

	Irrad. Global	Difuso	Temp	Vel. Viento
	kWh/m² mes	kWh/m² mes	°C	m/s
Enero	341,0	74,8	21,5	3,59
Febrero	192,1	61,6	20,5	3,20
Marzo	162,8	65,6	18,9	2,70
Abril	107,2	50,2	14,6	2,19
Mayo	72,8	35,5	10,8	1,70
Junio	54,2	34,0	8,6	1,60
Julio	68,1	36,1	8,4	1,69
Agosto	87,5	41,9	9,8	1,91
Septiembre	122,7	64,0	11,7	2,20
Octubre	171,7	71,9	15,1	2,70
Noviembre	216,7	75,6	17,5	3,19
Diciembre	240,8	81,2	20,1	3,59
Año	1737,6	692,4	14,8	2,50

(a) Variables de clima para campus San Joaquín

	Irrad. Global	Difuso	Temp	Vel. Viento
	kWh/m² mes	kWh/m² mes	°C	m/s
Enero	238,5	74,4	21,8	3,40
Febrero	190,8	62,9	20,7	2,99
Marzo	161,8	66,6	18,7	2,61
Abril	107,1	49,7	14,3	2,10
Mayo	73,1	39,9	10,3	1,70
Junio	54,6	29,8	8,0	1,58
Julio	68,2	35,0	7,7	1,69
Agosto	87,8	36,4	9,3	2,01
Septiembre	122,5	59,1	11,5	2,20
Octubre	171,2	78,2	15,3	2,69
Noviembre	214,9	71,9	17,9	3,10
Diciembre	238,8	82,3	20,4	3,40
Año	1729,3	686,2	14,7	2,50

(b) Variables de clima para campus Vitacura

Figura B.8: Variables de clima para la Región Metropolitana

Fuente: Elaboración propia

Esquema de funcionamiento y participantes de proyectos JCM explicado en el capitulo 1.2.1

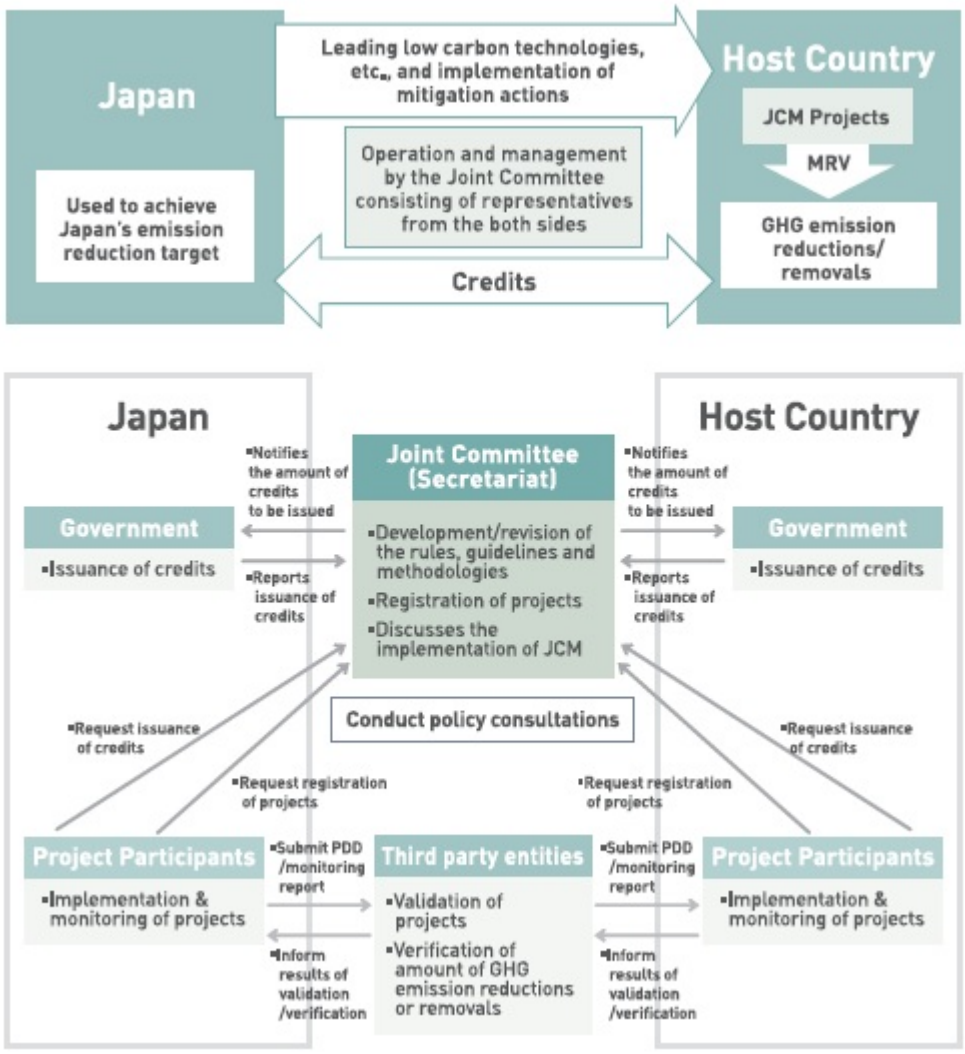


Figura B.9: Esquema de funcionamiento y participantes de proyectos JCM

Fuente:JCM Booklet 2015 [16]

Anexo C

Figuras complementarias Análisis y Resultados

C.1. mapas de los campus

C.1.1. Casa Central

Figura C.1: Mapa de la Casa Central

Fuente:http://www.centroeventos.utfsm.cl

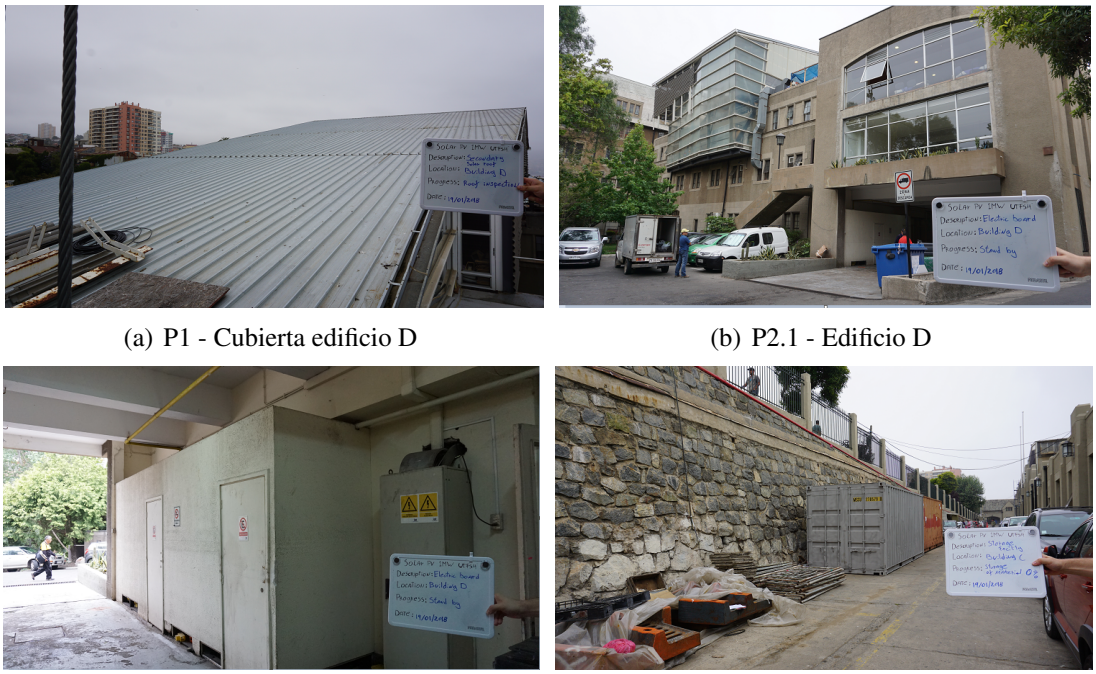
C.1.2. Sede Viña del Mar

Figura C.2: Mapa del Viña del Mar

Fuente:http://www.elo.jmc.utfsm.cl/ubicacion/

C.2. Figuras complementarias del seguimiento

C.2.1. Casa Central



(a) P1 - Cubierta edificio D

(b) P2.1 - Edificio D

(c) P2.2 - Tablero edificio D

(d) P4 - Bodega

Figura C.3: Visita 19 de enero Casa Central

Fuente: Registro propio

(a) P6 - Cubierta edificio C norte

(b) P5 - Cubierta edificio C sur

(c) P3 - Tablero edificio C

(d) P4 - Bodega

Figura C.4: Visita 28 de febrero Casa Central

Fuente: Registro propio

(a) P5 - Cubierta edificio C sur

(b) P4 - Bodega

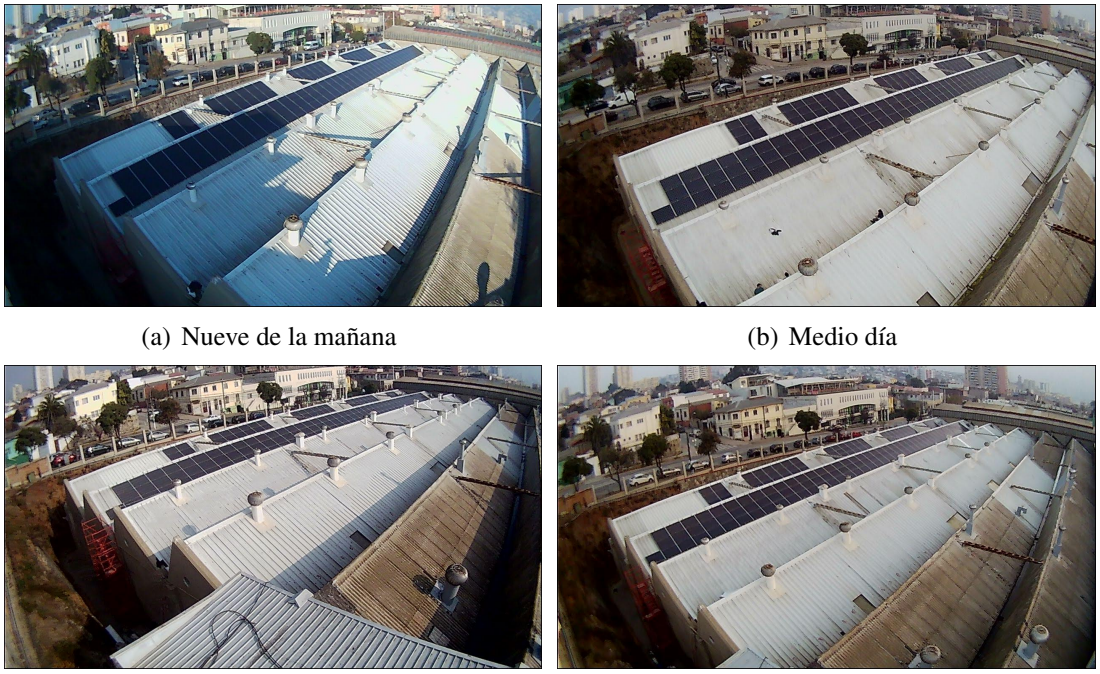
Figura C.5: Visita 20 de marzo Casa Central

Fuente: Registro propio

(a) Cubierta edificio C sur (b) Bodega

Figura C.6: Visita 24 de abril Casa Central

Fuente: Registro propio



(a) Nueve de la mañana (b) Medio día

(c) Tres de la tarde (d) Cinco y media de la tarde

Figura C.7: Identificación de sombras en edificio C, Casa Central

Fuente: Registro propio

(a) Nueve de la mañana

(b) Medio día

(c) Tres de la tarde

Figura C.8: Identificación de sombras en edificio D, Casa Central

Fuente: Registro propio

C.2.2. Sede Viña de Mar

(a) Edificio H

(b) Edificio G

Figura C.9: Visita 29 de noviembre sede Viña Del Mar

Fuente: Registro propio

(a) P3 - Cubierta edificio C1

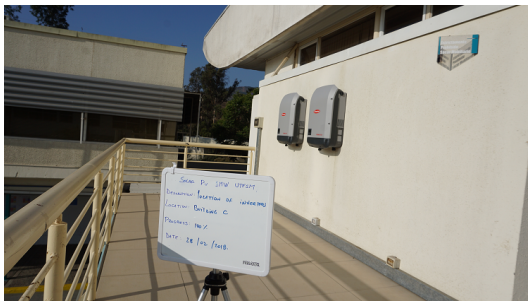
(b) P1 - Bodega

(c) P4 - Ubicación de inversores

Figura C.10: Visita 19 de enero sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

(a) P4 - Ubicación de inversores C, C1 y C2



(b) P5 - Ubicación de inversores D

(c) P8 - Ubicación de inversores C

Figura C.11: Visita 28 de febrero sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

(a) P4 - Ubicación de inversores C, C1 y C2

(b) P5 - Ubicación de inversores D

(c) P8 - Ubicación de inversores C

(d) P6 - Ubicación de inversores G

Figura C.12: Visita 20 de marzo sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

(a) P4 - Ubicación de inversores C, C1 y C2

(b) P5 - Ubicación de inversores D

(c) P8 - Ubicación de inversores C

(d) P6 - Ubicación de inversores G

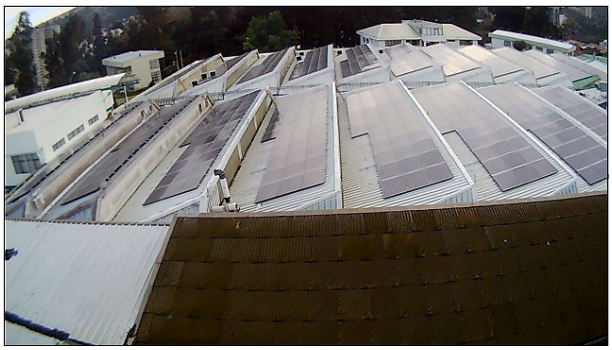
(e) P2.1 - Cubierta edifico C

(f) P2.2 - Cubierta edifico C

(g) Cubierta edificio G

Figura C.13: Visita 24 de abril sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio



(a) Nueve de la mañana

(b) Medio día

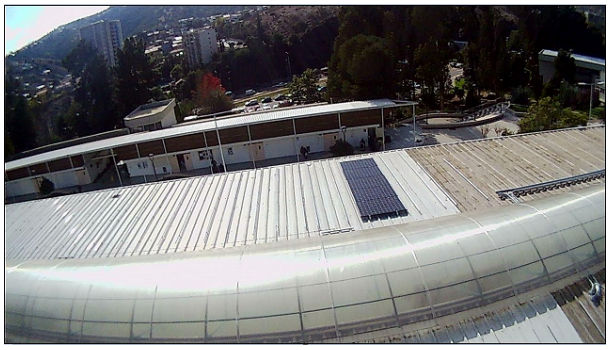
(c) Tres de la tarde

(d) Cinco y media de la tarde

Figura C.14: Identificación de sombras en edificio C, sede Viña del Mar

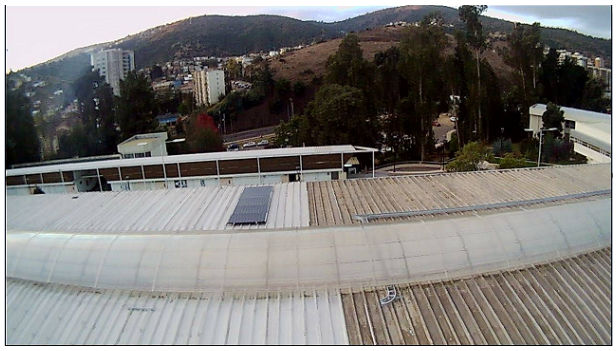
Fuente: Registro propio

(a) Nueve de la mañana



(b) Medio día

(c) Tres de la tarde



(d) Cinco y media de la tarde

Figura C.15: Identificación de sombras en edificio G, sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

(a) Nueve de la mañana

(b) Medio día

(c) Tres de la tarde

(d) Cinco y media de la tarde

Figura C.16: Identificación de sombras en edificio G, sede Viña del Mar

Fuente: Registro propio

C.2.3. Campus San Joaquín

(a) P1 - cubierta edificio A

(b) P2 - Ubicación de inversores

(c) P3 - Tablero eléctrico

(d) P4 - Bodega

Figura C.17: Visita 25 de enero campus San Joaquín

Fuente: Registro propio

(a) P5 - Cubierta edificio A

(b) P6 - Bodega

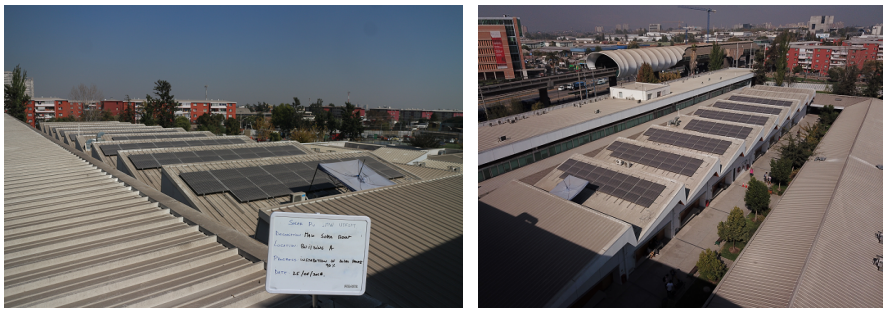
Figura C.18: Visita 27 de febrero campus San Joaquín

Fuente: Registro propio

(a) P5 - Cubierta edificio A (b) Edificio A

Figura C.19: Visita 23 marzo campus San Joaquín

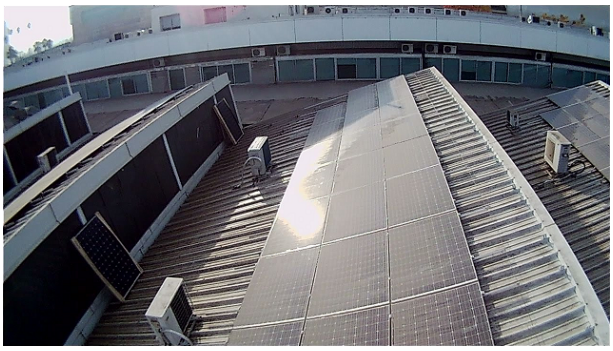
Fuente: Registro propio



(a) P1 - Cubierta edificio A (b) Edificio A

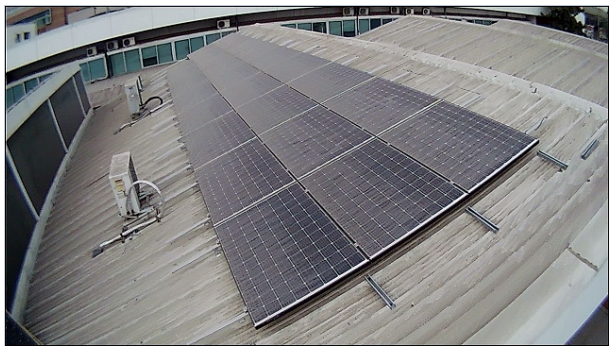
Figura C.20: Visita 25 de abril campus San Joaquín

Fuente: Registro propio



(a) Nueve de la mañana

(b) Medio día



(c) Tres de la tarde

(d) Cinco y media de la tarde

Figura C.21: Identificación de sombras en edificio A primera parte, campus San Joaquín

Fuente: Registro propio

(a) Nueve de la mañana

(b) Medio día

(c) Tres de la tarde

(d) Cinco y media de la tarde

Figura C.22: Identificación de sombras en edificio A segunda parte, campus San Joaquín

Fuente: Registro propio

C.2.4. Campus Vitacura

(a) Edificio A

(b) Techo norte edificio B

(c) Ubicación inversores 1

(d) Ubicación de inversores 2

Figura C.23: Visita 28 de noviembre campus Vitacura

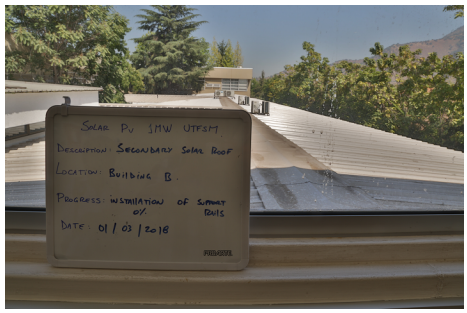
Fuente: Registro propio

(a) P4 - almacenamiento

(b) P3.1 - Posible tablero de inyección

Figura C.24: Visita 25 de enero campus Vitacura

Fuente: Registro propio



(a) P1 - cubierta edificio B zona norte

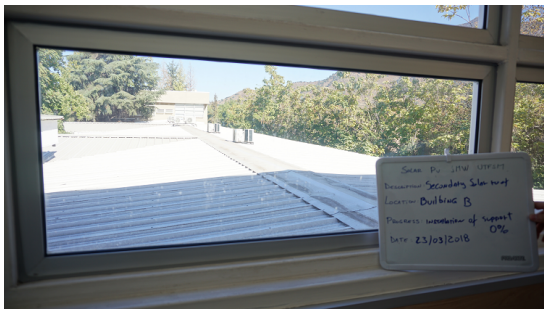
(b) P2 - Ubicación de inversores

(c) P4 - almacenamiento

(d) P6 - tablero electro

Figura C.25: Visita 1 de marzo campus Vitacura

Fuente: Registro propio



(a) P1 - cubierta edificio B zona norte

(b) P2 - Ubicación de inversores

(c) P4 - almacenamiento

(d) P6 - tablero electro

Figura C.26: Visita 1 de marzo campus Vitacura

Fuente: Registro propio

(a) P4 - almacenamiento

(b) P6 - tablero electro

Figura C.27: Visita 25 de abril campus Vitacura

Fuente: Registro propio

(a) Nueve de la mañana

(b) Medio día

(c) Tres de la tarde

(d) Cinco y media de la tarde

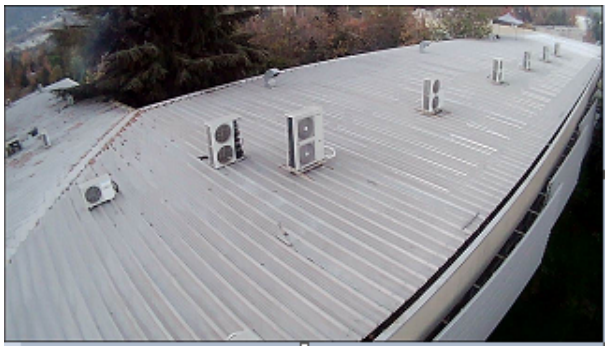
Figura C.28: Identificación de sombras en edificio B, zona este

Fuente: Registro propio

(a) Nueve de la mañana

(b) Medio día

(c) Tres de la tarde



(d) Cinco y media de la tarde

Figura C.29: Identificación de sombras en edificio B, zona sur

Fuente: Registro propio

Anexo D

Tablas complementarias

D.1. Inversión por campus

En Estructuras y accesorios se cuenta con medidores, tableros, cables, entre otros.

Inversión: Casa Central				
Equipos	Precio	Cantidad	Total (USD)	Porcentaje
Paneles	$ 350	798	$ 279.300	56%
Inversor	$ 4.500	11	$ 49.500	10%
Estructura y accesorios*	$ 55.860	1	$ 55.860	11%
Mano de obra	$ 111.720	1	$ 111.720	23%
Total			$ 496.380	100%

Tabla D.1: Inversión para el Campus Valparaiso

Inversión: Viña del mar				
Equipos	Precio	Cantidad	Total (USD)	Porcentaje
Paneles	$ 350	1560	$ 546.000	57%
Inversor	$ 4.500	20	$ 90.000	9%
Estructura y accesorios*	$ 109.200	1	$ 109.200	11%
Mano de obra	$ 218.400	1	$ 218.400	23%
Total			$ 963.600	100%

Tabla D.2: Inversión para la sede de Viña del Mar

Inversión: San Joaquín				
Equipos	Precio	Cantidad	Total (USD)	Porcentaje
Paneles	$ 350	306	$ 107.100	57%
Inversor	$ 4.500	4	$ 18.000	10%
Estructura y accesorios*	$ 21.420	1	$ 21.420	11%
Mano de obra	$ 42.840	1	$ 42.840	23%
Total			$ 189.360	100%

Tabla D.3: Inversión para el Campus San Joaquín

Inversión: Vitacura				
Equipos	Precio	Cantidad	Total (USD)	Porcentaje
Paneles	$ 350	390	$ 136.500	57%
Inversor	$ 4.500	5	$ 22.500	9%
Estructura y accesorios*	$ 27.300	1	$ 27.300	11%
Mano de obra	$ 54.600	1	$ 54.600	23%
Total			$ 240.900	100%

Tabla D.4: Inversión para el Campus Vitacura

D.2. Generación mensual de los campus

	Generación MWh - Casa Central				Valor anterior	Diferencia porcentual
	Edificio C	Edificio D	Edificio D	Total		
Ene	29,88	4,10	2,12	36,10	39,40	8%
Feb	24,62	3,28	1,67	9,57	32,49	9%
Mar	23,11	3,02	1,44	27,57	29,76	7%
Abr	17,53	2,09	1,01	20,63	21,99	6%
May	13,45	1,55	0,70	15,70	16,33	4%
Jun	11,03	1,28	0,57	12,88	13,48	4%
Jul	13,16	1,50	0,67	15,33	15,24	-1%
Agos	17,40	2,05	0,95	20,40	20,79	2%
Sept	21,26	2,75	1,28	25,29	26,31	4%
Oct	26,40	3,45	1,73	31,58	33,48	6%
Nov	28,21	3,91	1,98	34,11	36,29	6%
Dic	30,17	4,28	2,17	36,62	39,59	8%
TOTAL	256,22	33,27	16,28	305,77	325,15	

Tabla D.5: Generación mensual Casa Central

	Generación MWh - Sede Viña del Mar							Valor anterior	Diferencia porcentual
	Edifico C	Edificio C1 y C2	Edificio W y C	Edificio D	Edificio G	Edificio G	TOTAL		
Ene	41,55	7,14	7,11	7,01	3,58	3,56	69,94	78,86	11,3%
Feb	32,44	5,66	5,58	5,48	2,86	2,79	4,82	62,43	12,2%
Mar	28,55	5,04	4,88	4,70	2,26	2,44	47,86	54,59	12,3%
Abr	18,64	3,49	3,31	3,12	1,83	1,66	32,05	37,27	14,0%
May	13,19	2,51	2,34	2,16	1,34	1,17	22,71	26,28	13,6%
Jun	10,90	2,06	1,89	1,73	1,11	0,94	18,63	21,31	12,6%
Jul	12,82	2,40	2,18	1,97	1,31	1,09	21,78	24,53	11,2%
Agos	17,16	3,34	3,15	2,95	1,76	1,58	29,94	34,59	13,4%
Sept	24,59	4,51	4,34	4,15	2,34	2,17	42,10	46,63	9,7%
Oct	33,42	5,88	5,77	5,64	2,99	2,88	56,57	63,42	10,8%
Nov	39,99	6,73	6,68	6,60	3,38	3,34	66,71	73,52	9,3%
Dic	43,35	7,39	7,38	7,35	3,69	3,69	72,85	89,91	19,0%
TOTAL	316,60	56,15	54,60	52,84	28,45	27,30	535,95	613,34	

Tabla D.6: Generación mensual sede Viña del Mar

Generación MWh - Campus San Joaquín		Valor anterior	Diferencia porcentual
	Edificio A		
Enero	17,53	19,99	12,3%
Febrero	14,94	17,03	12,3%
Marzo	13,96	15,72	11,2%
Abril	10,23	11,42	10,4%
Mayo	7,52	8,25	8,8%
Junio	5,77	6,04	4,5%
Julio	7,41	7,92	6,4%
Agosto	8,96	9,47	5,4%
Septiembre	11,49	12,19	5,7%
Octubre	14,39	15,91	9,6%
Noviembre	16,54	18,56	10,9%
Diciembre	17,53	19,76	11,3%
Total	146,27	162,26	

Tabla D.7: Generación mensual campus San joaquín

	Generación MWh – Campus Vitacura				Valor anterior	Diferencia porcentual
	Edificio B	Edificio B	Edificio A	Total		
Ene	4,51	13,59	4,53	22,63	26,07	13,2%
Feb	3,63	10,79	3,60	18,02	21,06	14,4%
Mar	3,16	9,27	3,09	15,52	18,07	14,1%
Abr	2,14	6,14	2,05	10,32	12,54	17,7%
May	1,48	4,19	1,40	7,07	8,56	17,5%
Jun	1,12	3,14	1,05	5,31	6,36	16,6%
Jul	1,43	4,01	1,34	6,77	8,08	16,2%
Agos	1,83	5,17	1,72	8,72	10,33	15,5%
Sept	2,55	7,45	2,49	12,48	13,94	10,5%
Oct	3,42	10,16	3,39	16,97	19,78	14,2%
Nov	4,22	12,62	4,21	21,05	24,60	14,4%
Dic	4,59	13,85	4,62	23,06	26,95	14,5%
TOTAL	34,07	100,38	33,46	167,91	196,34	

Tabla D.8: Generación mensual campus Vitacura

D.3. Flujo de caja para inversión

Acontinuacion de muestran los flujos de caja separados por campus y sede, con los cuales se calculo el VAN y TIR.

Casa Central:

	Periodo 20 años			Periodo 25 años		
	Menos favorable	Caso base	Mas favorable	Menos favorable	Caso base	Mas favorable
año 0	-$ 496.380	-$ 496.380	-$ 496.380	-$ 496.380	-$ 496.380	-$ 496.380
año 1	$ 21.808	$ 23.200	$ 27.840	$ 21.808	$ 23.200	$ 27.840
año 2	$ 21.590	$ 22.968	$ 27.562	$ 21.590	$ 22.968	$ 27.562
año 3	$ 21.374	$ 22.739	$ 27.286	$ 21.374	$ 22.739	$ 27.286
año 4	$ 21.161	$ 22.511	$ 27.014	$ 21.161	$ 22.511	$ 27.014
año 5	$ 20.949	$ 22.286	$ 26.743	$ 20.949	$ 22.286	$ 26.743
año 6	$ 20.740	$ 22.063	$ 26.476	$ 20.740	$ 22.063	$ 26.476
año 7	$ 20.532	$ 21.843	$ 26.211	$ 20.532	$ 21.843	$ 26.211
año 8	$ 20.327	$ 21.624	$ 25.949	$ 20.327	$ 21.624	$ 25.949
año 9	$ 20.124	$ 21.408	$ 25.690	$ 20.124	$ 21.408	$ 25.690
año 10	$ 19.922	$ 21.194	$ 25.433	$ 19.922	$ 21.194	$ 25.433
año 11	$ 19.723	$ 20.982	$ 25.178	$ 19.723	$ 20.982	$ 25.178
año 12	$ 19.592	$ 20.842	$ 25.011	$ 19.592	$ 20.842	$ 25.011
año 13	$ 19.461	$ 20.703	$ 24.844	$ 19.461	$ 20.703	$ 24.844
año 14	$ 19.331	$ 20.565	$ 24.678	$ 19.331	$ 20.565	$ 24.678
año 15	$ 19.202	$ 20.428	$ 24.514	$ 19.202	$ 20.428	$ 24.514
año 16	$ 19.074	$ 20.292	$ 24.350	$ 19.074	$ 20.292	$ 24.350
año 17	$ 18.947	$ 20.157	$ 24.188	$ 18.947	$ 20.157	$ 24.188
año 18	$ 18.821	$ 20.022	$ 24.027	$ 18.821	$ 20.022	$ 24.027
año 19	$ 18.695	$ 19.889	$ 23.867	$ 18.695	$ 19.889	$ 23.867
año 20	$ 18.571	$ 19.756	$ 23.707	$ 18.571	$ 19.756	$ 23.707
año 21				$ 18.447	$ 19.624	$ 23.549
año 22				$ 18.324	$ 19.494	$ 23.392
año 23				$ 18.202	$ 19.364	$ 23.236
año 24				$ 18.080	$ 19.235	$ 23.081
año 25				$ 17.960	$ 19.106	$ 22.928
Diferencia en el primer año entre el caso base y el menos favorable				$ 1.392		

Tabla D.9: Flujo de caja para la Casa Central

Sede Viña del Mar:

	Periodo 20 años			Periodo 25 años		
	Menos favorable	Caso base	Mas favorable	Menos favorable	Caso base	Mas favorable
año 0	-$ 963.600	-$ 963.600	-$ 963.600	-$ 963.600	-$ 963.600	-$ 963.600
año 1	$ 74.059	$ 78.786	$ 94.543	$ 74.059	$ 78.786	$ 94.543
año 2	$ 73.318	$ 77.998	$ 93.598	$ 73.318	$ 77.998	$ 93.598
año 3	$ 72.585	$ 77.218	$ 92.662	$ 72.585	$ 77.218	$ 92.662
año 4	$ 71.859	$ 76.446	$ 91.735	$ 71.859	$ 76.446	$ 91.735
año 5	$ 71.141	$ 75.681	$ 90.818	$ 71.141	$ 75.681	$ 90.818
año 6	$ 70.429	$ 74.925	$ 89.910	$ 70.429	$ 74.925	$ 89.910
año 7	$ 69.725	$ 74.175	$ 89.010	$ 69.725	$ 74.175	$ 89.010
año 8	$ 69.028	$ 73.434	$ 88.120	$ 69.028	$ 73.434	$ 88.120
año 9	$ 68.337	$ 72.699	$ 87.239	$ 68.337	$ 72.699	$ 87.239
año 10	$ 67.654	$ 71.972	$ 86.367	$ 67.654	$ 71.972	$ 86.367
año 11	$ 66.977	$ 71.253	$ 85.503	$ 66.977	$ 71.253	$ 85.503
año 12	$ 66.531	$ 70.778	$ 84.933	$ 66.531	$ 70.778	$ 84.933
año 13	$ 66.087	$ 70.306	$ 84.367	$ 66.087	$ 70.306	$ 84.367
año 14	$ 65.647	$ 69.837	$ 83.804	$ 65.647	$ 69.837	$ 83.804
año 15	$ 65.209	$ 69.371	$ 83.246	$ 65.209	$ 69.371	$ 83.246
año 16	$ 64.774	$ 68.909	$ 82.691	$ 64.774	$ 68.909	$ 82.691
año 17	$ 64.343	$ 68.450	$ 82.139	$ 64.343	$ 68.450	$ 82.139
año 18	$ 63.914	$ 67.993	$ 81.592	$ 63.914	$ 67.993	$ 81.592
año 19	$ 63.488	$ 67.540	$ 81.048	$ 63.488	$ 67.540	$ 81.048
año 20	$ 63.064	$ 67.090	$ 80.508	$ 63.064	$ 67.090	$ 80.508
año 21				$ 62.644	$ 66.642	$ 79.971
año 22				$ 62.226	$ 66.198	$ 79.438
año 23				$ 61.811	$ 65.757	$ 78.908
año 24				$ 61.399	$ 65.318	$ 78.382
año 25				$ 60.990	$ 64.883	$ 77.860
Diferencia en el primer año entre el caso base y el menos favorable				$ 4.727		

Tabla D.10: Flujo de caja para la sede Viña del Mar

Campus San Joaquín:

	Periodo 20 años			Periodo 25 años		
	Menos favorable	Caso base	Mas favorable	Menos favorable	Caso base	Mas favorable
año 0	-$ 189.360	-$ 189.360	-$ 189.360	-$ 189.360	-$ 189.360	-$ 189.360
año 1	$ 10.492	$ 11.161	$ 13.394	$ 10.492	$ 11.161	$ 13.394
año 2	$ 10.387	$ 11.050	$ 13.260	$ 10.387	$ 11.050	$ 13.260
año 3	$ 10.283	$ 10.939	$ 13.127	$ 10.283	$ 10.939	$ 13.127
año 4	$ 10.180	$ 10.830	$ 12.996	$ 10.180	$ 10.830	$ 12.996
año 5	$ 10.078	$ 10.722	$ 12.866	$ 10.078	$ 10.722	$ 12.866
año 6	$ 9.978	$ 10.614	$ 12.737	$ 9.978	$ 10.614	$ 12.737
año 7	$ 9.878	$ 10.508	$ 12.610	$ 9.878	$ 10.508	$ 12.610
año 8	$ 9.779	$ 10.403	$ 12.484	$ 9.779	$ 10.403	$ 12.484
año 9	$ 9.681	$ 10.299	$ 12.359	$ 9.681	$ 10.299	$ 12.359
año 10	$ 9.584	$ 10.196	$ 12.235	$ 9.584	$ 10.196	$ 12.235
año 11	$ 9.489	$ 10.094	$ 12.113	$ 9.489	$ 10.094	$ 12.113
año 12	$ 9.425	$ 10.027	$ 12.032	$ 9.425	$ 10.027	$ 12.032
año 13	$ 9.362	$ 9.960	$ 11.952	$ 9.362	$ 9.960	$ 11.952
año 14	$ 9.300	$ 9.894	$ 11.872	$ 9.300	$ 9.894	$ 11.872
año 15	$ 9.238	$ 9.828	$ 11.793	$ 9.238	$ 9.828	$ 11.793
año 16	$ 9.176	$ 9.762	$ 11.715	$ 9.176	$ 9.762	$ 11.715
año 17	$ 9.115	$ 9.697	$ 11.636	$ 9.115	$ 9.697	$ 11.636
año 18	$ 9.054	$ 9.632	$ 11.559	$ 9.054	$ 9.632	$ 11.559
año 19	$ 8.994	$ 9.568	$ 11.482	$ 8.994	$ 9.568	$ 11.482
año 20	$ 8.934	$ 9.504	$ 11.405	$ 8.934	$ 9.504	$ 11.405
año 21				$ 8.875	$ 9.441	$ 11.329
año 22				$ 8.815	$ 9.378	$ 11.254
año 23				$ 8.757	$ 9.316	$ 11.179
año 24				$ 8.698	$ 9.254	$ 11.104
año 25				$ 8.640	$ 9.192	$ 11.030
Diferencia en el primer año entre el caso base y el menos favorable				$ 670		

Tabla D.11: Flujo de caja para el campus San Joaquín

Campus Vitacura:

	Periodo 20 años			Periodo 25 años		
	Menos favorable	Caso base	Mas favorable	Menos favorable	Caso base	Mas favorable
año 0	-$ 240.900	-$ 240.900	-$ 240.900	-$ 240.900	-$ 240.900	-$ 240.900
año 1	$ 20.016	$ 21.294	$ 25.552	$ 20.016	$ 21.294	$ 25.552
año 2	$ 19.816	$ 21.081	$ 25.297	$ 19.816	$ 21.081	$ 25.297
año 3	$ 19.618	$ 20.870	$ 25.044	$ 19.618	$ 20.870	$ 25.044
año 4	$ 19.422	$ 20.661	$ 24.793	$ 19.422	$ 20.661	$ 24.793
año 5	$ 19.227	$ 20.455	$ 24.546	$ 19.227	$ 20.455	$ 24.546
año 6	$ 19.035	$ 20.250	$ 24.300	$ 19.035	$ 20.250	$ 24.300
año 7	$ 18.845	$ 20.048	$ 24.057	$ 18.845	$ 20.048	$ 24.057
año 8	$ 18.656	$ 19.847	$ 23.816	$ 18.656	$ 19.847	$ 23.816
año 9	$ 18.470	$ 19.649	$ 23.578	$ 18.470	$ 19.649	$ 23.578
año 10	$ 18.285	$ 19.452	$ 23.343	$ 18.285	$ 19.452	$ 23.343
año 11	$ 18.102	$ 19.258	$ 23.109	$ 18.102	$ 19.258	$ 23.109
año 12	$ 17.981	$ 19.129	$ 22.955	$ 17.981	$ 19.129	$ 22.955
año 13	$ 17.862	$ 19.002	$ 22.802	$ 17.862	$ 19.002	$ 22.802
año 14	$ 17.742	$ 18.875	$ 22.650	$ 17.742	$ 18.875	$ 22.650
año 15	$ 17.624	$ 18.749	$ 22.499	$ 17.624	$ 18.749	$ 22.499
año 16	$ 17.507	$ 18.624	$ 22.349	$ 17.507	$ 18.624	$ 22.349
año 17	$ 17.390	$ 18.500	$ 22.200	$ 17.390	$ 18.500	$ 22.200
año 18	$ 17.274	$ 18.377	$ 22.052	$ 17.274	$ 18.377	$ 22.052
año 19	$ 17.159	$ 18.254	$ 21.905	$ 17.159	$ 18.254	$ 21.905
año 20	$ 17.045	$ 18.132	$ 21.759	$ 17.045	$ 18.132	$ 21.759
año 21				$ 16.931	$ 18.012	$ 21.614
año 22				$ 16.818	$ 17.892	$ 21.470
año 23				$ 16.706	$ 17.772	$ 21.327
año 24				$ 16.595	$ 17.654	$ 21.185
año 25				$ 16.484	$ 17.536	$ 21.043
Diferencia en el primer año entre el caso base y el menos favorable				$ 1.278		

Tabla D.12: Flujo de caja para campus Vitacura

Flujo de caja sin subsidio:

	Periodo 20 años			Periodo 25 años		
	Menos favorable	Caso base	Mas favorable	Menos favorable	Caso base	Mas favorable
año 0	-$ 1.896.082	-$ 1.896.082	-$ 1.327.257	-$ 1.896.082	-$ 1.896.082	-$ 1.896.082
año 1	$ 126.375	$ 134.441	$ 134.441	$ 126.375	$ 134.441	$ 161.330
año 2	$ 125.111	$ 133.097	$ 133.097	$ 125.111	$ 133.097	$ 159.716
año 3	$ 123.860	$ 131.766	$ 131.766	$ 123.860	$ 131.766	$ 158.119
año 4	$ 122.621	$ 130.448	$ 130.448	$ 122.621	$ 130.448	$ 156.538
año 5	$ 121.395	$ 129.144	$ 129.144	$ 121.395	$ 129.144	$ 154.973
año 6	$ 120.181	$ 127.852	$ 127.852	$ 120.181	$ 127.852	$ 153.423
año 7	$ 118.979	$ 126.574	$ 126.574	$ 118.979	$ 126.574	$ 151.889
año 8	$ 117.790	$ 125.308	$ 125.308	$ 117.790	$ 125.308	$ 150.370
año 9	$ 116.612	$ 124.055	$ 124.055	$ 116.612	$ 124.055	$ 148.866
año 10	$ 115.446	$ 122.814	$ 122.814	$ 115.446	$ 122.814	$ 147.377
año 11	$ 114.291	$ 121.586	$ 121.586	$ 114.291	$ 121.586	$ 145.904
año 12	$ 113.529	$ 120.776	$ 120.776	$ 113.529	$ 120.776	$ 144.931
año 13	$ 112.772	$ 119.971	$ 119.971	$ 112.772	$ 119.971	$ 143.965
año 14	$ 112.021	$ 119.171	$ 119.171	$ 112.021	$ 119.171	$ 143.005
año 15	$ 111.274	$ 118.376	$ 118.376	$ 111.274	$ 118.376	$ 142.052
año 16	$ 110.532	$ 117.587	$ 117.587	$ 110.532	$ 117.587	$ 141.105
año 17	$ 109.795	$ 116.803	$ 116.803	$ 109.795	$ 116.803	$ 140.164
año 18	$ 109.063	$ 116.025	$ 116.025	$ 109.063	$ 116.025	$ 139.229
año 19	$ 108.336	$ 115.251	$ 115.251	$ 108.336	$ 115.251	$ 138.301
año 20	$ 107.614	$ 114.483	$ 114.483	$ 107.614	$ 114.483	$ 137.379
año 21				$ 106.896	$ 113.719	$ 136.463
año 22				$ 106.184	$ 112.961	$ 135.554
año 23				$ 105.476	$ 112.208	$ 134.650
año 24				$ 104.773	$ 111.460	$ 133.752
año 25				$ 104.074	$ 110.717	$ 132.861

Tabla D.13: Flujo de caja para toda la Universidad, sin subsidio JCM

Flujo de caja cin subsidio:

	Periodo 20 años			Periodo 25 años		
	Menos favorable	Caso base	Mas favorable	Menos favorable	Caso base	Mas favorable
año 0	-$ 1.327.257	-$ 1.327.257	-$ 1.327.257	-$ 1.327.257	-$ 1.327.257	-$ 1.327.257
año 1	$ 126.375	$ 134.441	$ 161.330	$ 126.375	$ 134.441	$ 161.330
año 2	$ 125.111	$ 133.097	$ 159.716	$ 125.111	$ 133.097	$ 159.716
año 3	$ 123.860	$ 131.766	$ 158.119	$ 123.860	$ 131.766	$ 158.119
año 4	$ 122.621	$ 130.448	$ 156.538	$ 122.621	$ 130.448	$ 156.538
año 5	$ 121.395	$ 129.144	$ 154.973	$ 121.395	$ 129.144	$ 154.973
año 6	$ 120.181	$ 127.852	$ 153.423	$ 120.181	$ 127.852	$ 153.423
año 7	$ 118.979	$ 126.574	$ 151.889	$ 118.979	$ 126.574	$ 151.889
año 8	$ 117.790	$ 125.308	$ 150.370	$ 117.790	$ 125.308	$ 150.370
año 9	$ 116.612	$ 124.055	$ 148.866	$ 116.612	$ 124.055	$ 148.866
año 10	$ 115.446	$ 122.814	$ 147.377	$ 115.446	$ 122.814	$ 147.377
año 11	$ 114.291	$ 121.586	$ 145.904	$ 114.291	$ 121.586	$ 145.904
año 12	$ 113.529	$ 120.776	$ 144.931	$ 113.529	$ 120.776	$ 144.931
año 13	$ 112.772	$ 119.971	$ 143.965	$ 112.772	$ 119.971	$ 143.965
año 14	$ 112.021	$ 119.171	$ 143.005	$ 112.021	$ 119.171	$ 143.005
año 15	$ 111.274	$ 118.376	$ 142.052	$ 111.274	$ 118.376	$ 142.052
año 16	$ 110.532	$ 117.587	$ 141.105	$ 110.532	$ 117.587	$ 141.105
año 17	$ 109.795	$ 116.803	$ 140.164	$ 109.795	$ 116.803	$ 140.164
año 18	$ 109.063	$ 116.025	$ 139.229	$ 109.063	$ 116.025	$ 139.229
año 19	$ 108.336	$ 115.251	$ 138.301	$ 108.336	$ 115.251	$ 138.301
año 20	$ 107.614	$ 114.483	$ 137.379	$ 107.614	$ 114.483	$ 137.379
año 21				$ 106.896	$ 113.719	$ 136.463
año 22				$ 106.184	$ 112.961	$ 135.554
año 23				$ 105.476	$ 112.208	$ 134.650
año 24				$ 104.773	$ 111.460	$ 133.752
año 25				$ 104.074	$ 110.717	$ 132.861

Tabla D.14: Flujo de caja para toda la Universidad, con subsidio JCM

D.4. Sensibilidades

Continuación se presentan las sensibilidades del consumo y el factor de ensuciamiento.

Variación del consumo:

Variación de consumo		
Variación	Ahorro primer año	Ahorro a los 20 años
-20%	$ 3.480	$ 63.821
-16%	$ 3.480	$ 63.821
-12%	$ 3.480	$ 63.821
-8%	$ 3.480	$ 63.821
-4%	$ 3.480	$ 63.821
0%	$ 3.480	$ 63.821
4%	$ 3.480	$ 63.821
8%	$ 3.480	$ 63.821
12%	$ 3.480	$ 63.821
16%	$ 3.480	$ 63.821
20%	$ 3.480	$ 63.821

Tabla D.15: Sensibilización del consumo en Casa Central

Variación del factor de ensuciamiento:

Variación porcentaje de ensuciamiento			
Variación	Ahorro primer año	Ahorro a los 20 años	Diferencia porcentual
0%	$ 3.480	$ 63.821	0%
1%	$ 3.445	$ 63.183	-1%
2%	$ 3.410	$ 62.545	-2%
3%	$ 3.376	$ 61.906	-3%
4%	$ 3.341	$ 61.268	-4%
5%	$ 3.306	$ 60.630	-5%
6%	$ 3.271	$ 59.992	-6%
7%	$ 3.236	$ 59.354	-8%
8%	$ 3.202	$ 58.715	-9%
9%	$ 3.167	$ 58.077	-10%
10%	$ 3.132	$ 57.439	-11%

Tabla D.16: Sensibilización del factor de ensuciamiento en Casa Central