



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE  
PROYECTOS

**“EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD DE USO DE PANELES  
FOTOVOLTAICOS EN EDIFICIOS PÚBLICOS DE LA CIUDAD DE  
MÉXICO”**

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

PRESENTA:  
**OMAR ALEJANDRO HERNÁNDEZ GARCÍA**

TUTOR PRINCIPAL:  
**DR. ALFONSO DURÁN MORENO FACULTAD DE QUÍMICA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., DICIEMBRE, 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Modesto Javier Cruz Gómez  
Secretario: M. en I. José Antonio Ortiz Ramírez  
Vocal: Dr. Alfonso Durán Moreno  
1er. Suplente: Dra. Cecilia Martín del Campo Márquez  
2do. Suplente: M. en I. Fabiola Rodiles Amaro

Lugar donde se realizó la tesis:

UNIDAD DE PROYECTOS Y DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL,  
CONJUNTO E, LABORATORIO 301, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

**TUTOR DE TESIS:**

DR. ALFONSO DURÁN MORENO

-----  
**FIRMA**

# Índice de Contenido

Capítulo 1.	Introducción.....	1
Capítulo 2.	Planteamiento del Problema .....	4
2.1	Situación Actual .....	4
2.2	Justificación.....	6
2.3	Objetivo.....	7
2.4	Objetivos Particulares .....	8
2.5	Pregunta de Investigación.....	8
2.6	Alcance .....	8
Capítulo 3.	Revisión Bibliográfica y Legal.....	10
3.1	Antecedentes .....	10
3.2	Energía eléctrica. ....	12
3.3	Energía renovable.....	12
3.4	Energía fósil .....	13
3.5	Energía Solar Fotovoltaica .....	14
3.6	Celdas y paneles fotovoltaicos.....	15
3.7	Balance del sistema (BoS).....	19
3.8	Tipos de sistemas fotovoltaicos .....	19
3.9	Generación distribuida .....	21
3.10	Aspectos que afectan el desempeño de las celdas fotovoltaicas .....	21
3.11	Avances tecnológicos y materiales .....	22
3.12	Tiempo de vida y manejo de desechos.....	23
3.13	¿Qué es un proyecto? .....	24
3.14	Evaluación de proyecto.....	25
3.15	Front-End Loading (FEL) .....	26



3.16	Evaluación de prefactibilidad .....	28
3.17	Caso de negocio .....	29
3.18	Selección tecnológica .....	30
3.19	Promethee .....	31
3.20	Clases de estimado de costos .....	33
3.21	Estudio de mercado .....	34
3.22	FODA.....	35
3.23	Estudio técnico.....	36
3.24	Estudio económico.....	37
3.25	Costo Anual Equivalente (CAE) .....	38
3.26	Normatividad.....	39
Capítulo 4.	Metodología de Trabajo.....	42
4.1	Etapa 1. Revisión bibliográfica .....	42
4.2	Etapa 2. Caso de negocio .....	42
4.3	Etapa 3. Estudio de Mercado .....	47
4.4	Etapa 4. Estudio Técnico .....	48
4.5	Etapa 5. Estudio Económico .....	49
Capítulo 5.	Caso de Negocio.....	55
5.1	Resumen ejecutivo.....	55
5.1.1	Descripción del proyecto .....	55
5.1.2	Identificación del problema a resolver .....	55
5.1.3	Características del proyecto .....	56
5.1.4	Justificación de la alternativa elegida .....	56
5.2	Objetivo del proyecto.....	56
5.3	Objetivos del negocio .....	57

5.4	Selección de tecnología .....	57
5.5	Estimado de inversión para el proyecto .....	61
Capítulo 6.	Estudio de Mercado.....	64
6.1	Objetivo del estudio de mercado .....	64
6.2	Selección de edificios.....	64
6.3	Demanda de energía actual .....	72
6.4	Análisis FODA.....	73
6.4.1	Fortalezas.....	73
6.4.2	Debilidades.....	73
6.4.3	Oportunidades .....	74
6.4.4	Amenazas.....	75
Capítulo 7.	Estudio Técnico.....	77
7.1	Localización del proyecto (ubicación de los edificios) .....	77
7.2	Instalaciones necesarias y lista de equipo .....	79
7.3	Predimensionamiento de equipo.....	79
7.4	Necesidades de obra civil .....	80
Capítulo 8.	Estudio Económico.....	81
8.1	Costo de la energía eléctrica.....	81
8.2	Consideraciones .....	81
8.3	Costo sin proyecto.....	82
8.4	Financiamiento.....	83
8.5	Caso con proyecto .....	84
8.6	Costo anual equivalente del proyecto .....	85
Capítulo 9.	Conclusiones.....	87

Capítulo 10. Anexo 1. Conceptos Básicos Acerca del Funcionamiento de las Celdas Fotovoltaicas .....	88
10.1 Radiación Solar.....	88
10.2 Campo Eléctrico.....	89
10.3 Frecuencia de Onda y Longitud de Onda .....	89
10.4 Irradiancia .....	90
10.5 Irradiación .....	90
10.6 Estructura Atómica.....	90
10.7 Solidos Cristalinos .....	91
10.8 Conductores.....	91
10.9 Aislantes .....	92
10.10 Semiconductores .....	92
10.11 Dopaje de materiales .....	93
10.12 Banda prohibida, de valencia y de conducción .....	93
10.13 Unión p-n .....	94
10.14 Efecto fotoeléctrico .....	95
10.15 Corriente directa .....	95
10.16 Corriente alterna .....	95
Capítulo 11. Anexo 2. Imágenes de los Edificios Seleccionados .....	97
Capítulo 12. Anexo 3. Criterios para Evaluación de Matriz Tecnológica. ....	125
Capítulo 13. Anexo 4. Pagos por Energía Eléctrica Caso sin Proyecto.....	127
Capítulo 14. Anexo 5. Pagos por Energía Eléctrica Caso con Proyecto.....	134
Capítulo 15. Bibliografía .....	141

## **Glosario de Acrónimos**

CENACE - Centro Nacional de Control de Energía.

CFE - Comisión Federal de Electricidad.

CONECC - Convergencia de la Política Energética y de Cambio Climático.

CONUEE - Comisión Nacional de Uso Eficiente de Energía.

FEL - Front-End Loading.

ICEE - Índice de Consumo de Energía Eléctrica.

IEA - International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía).

INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

IPA - Independent Project Analysis.

IRENA - International Renewable Energy Agency (Agencia Internacional de Energía Renovable).

OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

PERC - Passivated Emitter Rear Cell.

PMI - Project Management Institute.

PRODESEN - Prospectivas del Sector Energético.

SHCP - Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

SENER - Secretaría de Energía.

SIDP - Sistema Institucional de Desarrollo de Proyectos.

SIE - Sistema de Información Energética de SENER.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático).

## Índice de Figuras

Figura 1.1. Porcentaje de aportación de todas las fuentes de energía para generación de electricidad .....	2
Figura 2.1. Producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.....	5
Figura 3.1 Principales fuentes de energía.....	14
Figura 3.2. Instalación fotovoltaica.....	15
Figura 3.3. Juntura p-n.....	16
Figura 3.4. Instalación fotovoltaica con uso final.....	17
Figura 3.5. Gráfica corriente vs Voltaje.....	18
Figura 3.6. Sistema aislado.....	20
Figura 3.7. Sistema interconectado a la red.....	21
Figura 3.8. Fases de un proyecto.....	25
Figura 3.9. Etapas FEL.....	28
Figura 3.10. Formato de matriz tecnológica.....	31
Figura 4.1. Regresión lineal de la tarifa eléctrica variable.....	50
Figura 4.2. Regresión lineal de la tarifa eléctrica fija.....	51
Figura 5.1. Análisis Promethee I.....	59
Figura 5.2 Análisis Promethee II.....	60
Figura 6.1. Área de instalación de paneles 1.....	65
Figura 6.2 Área de instalación de paneles 2.....	65
Figura 6.3. Área de instalación de paneles 3.....	66
Figura 6.4. Área de instalación de paneles 4.....	66
Figura 6.5. Área de instalación de paneles 5.....	67
Figura 6.6. Área de instalación de paneles 6.....	67

Figura 6.7. Superficie disponible 1. ....	68
Figura 6.8. Superficie disponible 2. ....	68
Figura 6.9. Superficie disponible 3. ....	69
Figura 6.10. Superficie disponible 4. ....	69
Figura 6.11. Superficie disponible 5. ....	70
Figura 6.12. Superficie disponible 6. ....	70
Figura 10.1. Longitud de onda.....	89
Figura 10.2. Materiales de acuerdo con su conductividad. ....	93
Figura 10.3. Polos de una celda fotovoltaica.....	94
Figura 10.4. Onda de corriente alterna.....	96
Figura 11.1. Área de instalación 1 – Sistema de aguas. ....	97
Figura 11.2. Área de instalación 2 – Sistema de aguas. ....	98
Figura 11.3. Área de instalación 3 – Sistema de aguas. ....	98
Figura 11.4. Área de instalación 4 – Sistema de aguas. ....	99
Figura 11.5. Área de instalación 5 – Sistema de aguas. ....	99
Figura 11.6. Área de instalación 6 – Sistema de aguas. ....	100
Figura 11.7. Superficie disponible 1 – Sistema de aguas.....	100
Figura 11.8. Superficie disponible 2 – Sistema de aguas.....	101
Figura 11.9. Superficie disponible 3 – Sistema de aguas.....	101
Figura 11.10. Superficie disponible 4 – Sistema de aguas.....	102
Figura 11.11. Superficie disponible 5 – Sistema de aguas.....	102
Figura 11.12. Superficie disponible 6 – Sistema de aguas.....	103
Figura 11.13. Área de instalación 1 – Coordinación general de modernización administrativa. ....	103
Figura 11.14. Área de instalación 2 – Coordinación general de modernización administrativa. ....	104

Figura 11.15. Área de instalación 3 – Coordinación general de modernización administrativa.....	104
Figura 11.16. Área de instalación 4 – Coordinación general de modernización administrativa.....	105
Figura 11.17. Superficie disponible 1 – Coordinación general de modernización administrativa.....	105
Figura 11.18. Superficie disponible 2 – Coordinación general de modernización administrativa.....	106
Figura 11.19. Superficie disponible 3 – Coordinación general de modernización administrativa.....	106
Figura 11.20. Superficie disponible 4 – Coordinación general de modernización administrativa.....	107
Figura 11.21. Área de instalación 1 – Tesorería CDMX.....	107
Figura 11.22. Área de instalación 2 – Tesorería CDMX.....	108
Figura 11.23. Superficie disponible 1 – Tesorería CDMX.....	108
Figura 11.24. Superficie disponible 2 – Tesorería CDMX.....	109
Figura 11.25. Superficie disponible 3 – Tesorería CDMX.....	109
Figura 11.26. Superficie disponible 4 – Tesorería CDMX.....	110
Figura 11.27. Área de instalación 1 – Secretaria de salud CDMX.....	110
Figura 11.28. Área de instalación 2 – Secretaria de salud CDMX.....	111
Figura 11.29. Área de instalación 3 – Secretaria de salud CDMX.....	111
Figura 11.30. Área de instalación 4 – Secretaria de salud CDMX.....	112
Figura 11.31. Superficie disponible 1 – Secretaria de salud CDMX.....	112
Figura 11.32. Superficie disponible 2 – Secretaria de salud CDMX.....	113
Figura 11.33. Superficie disponible 3 – Secretaria de salud CDMX.....	113
Figura 11.34. Superficie disponible 4 – Secretaria de salud CDMX.....	114

Figura 11.35. Área de instalación 1 – Secretaria de trabajo CDMX. ....	114
Figura 11.36. Área de instalación 2 – Secretaria de trabajo CDMX. ....	115
Figura 11.37. Área de instalación 3 – Secretaria de trabajo CDMX. ....	115
Figura 11.38. Área de instalación 4 – Secretaria de trabajo CDMX. ....	116
Figura 11.39. Área de instalación 5 – Secretaria de trabajo CDMX. ....	116
Figura 11.40. Área de instalación 6 – Secretaria de trabajo CDMX. ....	117
Figura 11.41. Superficie disponible 1 – Secretaria de trabajo CDMX.....	117
Figura 11.42. Superficie disponible 2 – Secretaria de trabajo CDMX.....	118
Figura 11.43. Área de instalación 1 – PGJ CDMX. ....	118
Figura 11.44. Área de instalación 2 – PGJ CDMX. ....	119
Figura 11.45. Área de instalación 3 – PGJ CDMX. ....	119
Figura 11.46. Área de instalación 4 – PGJ CDMX. ....	120
Figura 11.47. Superficie disponible 1 – PGJ CDMX.....	120
Figura 11.48. Superficie disponible 2 – PGJ CDMX.....	121
Figura 11.49. Superficie disponible 3 – PGJ CDMX.....	121
Figura 11.50. Área de instalación 1 - SSC Tránsito .....	122
Figura 11.51. Área de instalación 2 – SSC Tránsito.....	122
Figura 11.52. Área de instalación 3 – SSC Tránsito.....	123
Figura 11.53. Área de instalación 4 – SSC Tránsito.....	123
Figura 11.54. Superficie disponible 1 – SSC Tránsito. ....	124
Figura 11.55. Superficie disponible 2 – SSC Tránsito. ....	124



## Índice de Tablas

Tabla 3.1. Etapas FEL.....	27
Tabla 4.1. Factores considerados para la evaluación de tecnología.....	43
Tabla 4.2. Esquema de pesos asignados a los criterios. ....	44
Tabla 4.3. Criterios y tipo de evaluación. ....	45
Tabla 4.4. Calificación de atributos cualitativos.....	45
Tabla 4.5. ICEE por tipo de edificio y región climática. ....	48
Tabla 5.1. Pesos asignados a los criterios. ....	57
Tabla 5.2. Flujos de dominancia tipo I y II. ....	58
Tabla 5.3. Dimensiones de paneles solares.....	61
Tabla 5.4. Costos de paneles solares. ....	62
Tabla 5.5. Costo total y espacio requerido por edificio.....	62
Tabla 6.1. Edificios seleccionados. ....	71
Tabla 6.2. Resultados de demanda energética. ....	72
Tabla 7.1. Localización de los edificios seleccionados (1). ....	78
Tabla 7.2. Localización de los edificios seleccionados (2). ....	78
Tabla 7.3. Lista de equipo. ....	79
Tabla 7.4. Especificaciones reportadas por proveedores.....	80
Tabla 8.1. Pagos de electricidad del STC metro – Sin proyecto. ....	82
Tabla 8.2. Tasas del financiamiento.....	83
Tabla 8.3. Esquema de pagos de los paneles fotovoltaicos.....	83
Tabla 8.4. Pagos de electricidad del STC metro – Con proyecto.....	84
Tabla 8.5. Valores de costo anual equivalente para ambos casos.....	85

Tabla 12.1. Fundamentos de los aspectos técnicos de la selección tecnológica. .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 12.2. Fundamentos de los aspectos técnicos-complementarios de la selección tecnológica. ....	126
Tabla 12.3. Fundamentos de los aspectos económicos de la selección tecnológica. .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 12.4. Fundamentos de los aspectos plausibles de la selección tecnológica. .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 13.1. Pagos de electricidad del Sistema de aguas – Sin proyecto. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 13.2. Pagos de electricidad de la Coordinación de modernización – Sin proyecto.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 13.3. Pagos de electricidad de la Tesorería – Sin proyecto. ....	129
Tabla 13.4. Pagos de electricidad de la Secretaría de salud – Sin proyecto.....	130
Tabla 13.5. Pagos de electricidad de la Secretaría de trabajo – Sin proyecto. ...	131
Tabla 13.6. Pagos de electricidad de la PGJ CMDX – Sin proyecto. ....	132
Tabla 13.7. Pagos de electricidad de la SSC Tránsito – Sin proyecto. ....	133
Tabla 14.1. Pagos de electricidad del Sistema de aguas – Con proyecto.....	134
Tabla 14.2. Pagos de electricidad de la Coordinación de modernización – Con proyecto.....	135
Tabla 14.3. Pagos de electricidad de la Tesorería – Con proyecto.....	136
Tabla 14.4. Pagos de electricidad de la Secretaría de salud – Con proyecto. ....	137
Tabla 14.5. Pagos de electricidad de la Secretaría de trabajo – Con proyecto...	138
Tabla 14.6. Pagos de electricidad de la PGJ CMDX – Con proyecto.....	139
Tabla 14.7. Pagos de electricidad de la SSC Tránsito – Con proyecto.....	140



## Capítulo 1. Introducción

Las actuales formas para la generación de energía eléctrica son insostenibles desde el punto de vista económico, ambiental y social. En este contexto, la Agencia Internacional de Energía (IEA) menciona que en 2016 un 32.5% de la energía primaria se produjo a partir de crudo, mientras que el 22% a partir de gas natural.

Así mismo, la UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) reporta que se busca reducir en un 50% para el año 2050, con respecto a lo reportado en el año 2000.

A su vez, se han realizado muchos esfuerzos por reducir el uso de combustibles fósiles como fuente principal de energía, pero éstos no han sido suficientes y la energía renovable sigue teniendo contribuciones muy bajas, a pesar de que se ha demostrado que puede ayudar a resolver problemas de seguridad energética, cambio climático y desempleo. Con relación a esto, la IEA realiza gráficas de las aportaciones anuales de todas las fuentes de electricidad en el mundo y cabe destacar que en 2018 las fuentes de energía limpia aportaron casi un 35% de la generación total.

En la figura 1.1 se muestra la aportación de todas las fuentes de energía para generación de electricidad a nivel mundial del año 2018.

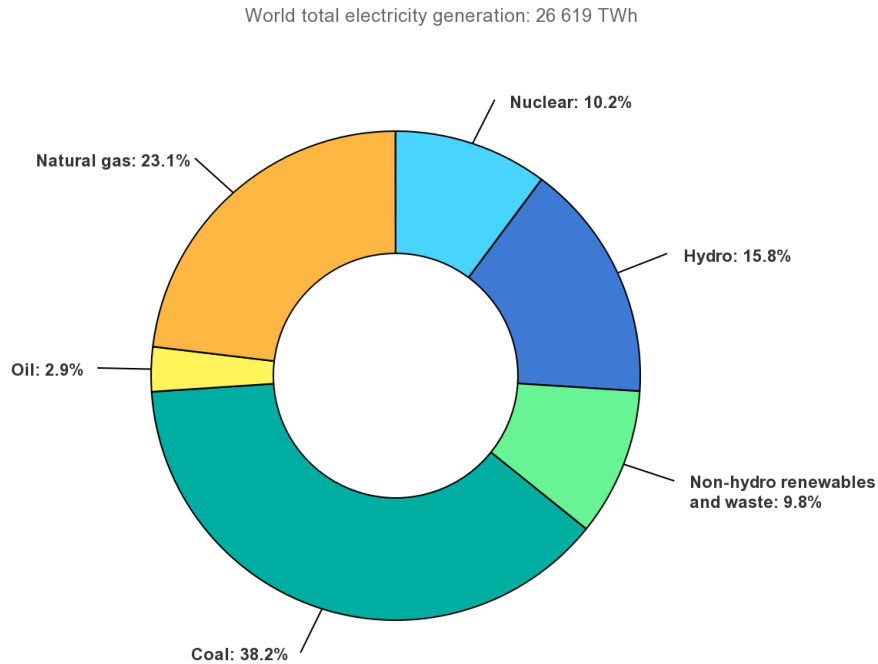


Figura 1.1. Porcentaje de aportación de todas las fuentes de energía para generación de electricidad. Fuente: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-share-of-electricity-generation-2018>. Fecha de consulta: 24/11/2020

Una alternativa de solución a este problema es el aprovechamiento de la energía solar y se justifica no sólo porque representa un ahorro por consumo de electricidad, si no también, por los beneficios ambientales y, además, según el Banco Mundial, la energía solar ocupa el primer lugar entre las energías en desarrollo.

La energía solar se refiere a la conversión de la luz solar en otras formas de energía que los humanos usan para satisfacer sus necesidades (Pérez et al., 2017).

En este trabajo se realiza un estudio de prefactibilidad que se ajusta a los objetivos del programa; “Ciudad Solar” implementado por el gobierno de la Ciudad de México en donde, en uno de los proyectos se pretende la reconversión energética de edificios públicos, mediante la instalación de paneles fotovoltaicos.

En el capítulo 2 se realiza un breve diagnóstico de la situación actual en México y en el mundo, se justifica la necesidad del estudio de prefactibilidad, se plantean los objetivos y el alcance de este trabajo.

En el capítulo 3 se hace una revisión bibliográfica y legal con el fin de sustentar todos los términos y métodos utilizados para el desarrollo del trabajo.

En el capítulo 4 se presenta la metodología implementada para la elaboración de los entregables (capítulos restantes) que comprende el estudio de prefactibilidad.

En el capítulo 5 se presenta un caso de negocio que se enfoca en un contexto estratégico acerca de la utilización de paneles fotovoltaicos para servicios urbanos en la Ciudad de México. En él se presenta la situación detonante para el aprovechamiento de energía solar, se presentan los objetivos del caso de negocio y del proyecto, se hace la selección de tecnología y un análisis del estimado de inversión.

En el capítulo 6 se presenta un estudio de mercado donde se seleccionan los edificios a los cuales se les van a instalar los paneles fotovoltaicos y posteriormente se hace un análisis de la demanda energética de cada uno de éstos. Además, se realiza un análisis FODA para identificar los puntos favorables y no favorables de la reconversión energética de estos edificios.

En el capítulo 7 se realiza un estudio técnico donde se muestra la localización exacta de los edificios donde se instalarán los equipos, tamaño de las instalaciones, la lista de equipos y los requerimientos de obra civil.

Por último, en el capítulo 8, se realiza un estudio económico utilizando el indicador financiero costo anual equivalente (CAE) para reconocer las bondades económicas producto de la instalación de los paneles solares.

## **Capítulo 2. Planteamiento del Problema**

En este capítulo se presenta la situación actual (problemática), así como la justificación, el alcance, el objetivo general y los objetivos particulares.

### **2.1 Situación Actual**

Actualmente, en el mundo se han tomado muchas acciones para evitar las consecuencias del cambio climático. De acuerdo con la ONU, en 2015 se firmó un acuerdo en donde las naciones se comprometen a no incrementar más de 2°C la temperatura media del planeta para el año 2100. Sin embargo, las tendencias de las emisiones apuntan a que no se cumplirá este objetivo (IRENA, 2018).

Para cumplir este objetivo, se han puesto en marcha diferentes proyectos de uso de energía fotovoltaica. Estos van desde pequeñas instalaciones en casa, hasta grandes parques fotovoltaicos. Por ejemplo, en California donde cuentan con equipos de captación de energía solar instalados para autoconsumo y almacenaje, en un modelo denominado como; “behind the meter” (Twitchell, 2019). El modelo se refiere a que con un sistema fotovoltaico generan la electricidad para un sitio en específico, ya sea una casa, edificios públicos o comercios y si existe un excedente, éste es enviado a la red pública.

En el Reino Unido, los proyectos de carácter energéticos y para autoconsumo son evaluados y realizados por la comunidad a la cual va a beneficiar el proyecto. Ellos buscan los recursos financieros y utilizan los modelos económicos para medir la rentabilidad de su inversión. Estos proyectos generan flujos de efectivo anticipados, lo cual ayuda a financiar otros proyectos con mayor resiliencia (Haggett & Aitken, 2015).

En Chile, la planta Amanecer Solar CAP, desarrollada por Grupo CAP, tiene una capacidad instalada de 100 MW (similar al consumo anual de 125000 hogares) con la cual generan un 15% de su energía para actividades mineras.

En México, de acuerdo con información publicada por SENER, a finales del 2017 se tenía una potencia instalada de 23,327 MW a partir de fuentes limpias. En la actualidad el gobierno mexicano tiene el compromiso de generar para el año 2024 un 35% de su energía eléctrica a partir de fuentes limpias y mantener incrementos graduales hasta poder producir un 50% para el 2050. En la figura 2.1 se muestran estos compromisos.



Figura 2.1. Producción de energía eléctrica a partir de fuentes limpias. Fuente: (SENER, 2018b).

Hoy en día la mayor parte de la población en México reside en zonas urbanas y se comprueba con los datos de la International Renewable Energy Agency (IRENA), donde afirma que el 80% de la población vive en estas zonas y consumen un promedio de 470 kWh en sus actividades diarias. Si consideramos que, de acuerdo con datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD por sus siglas en inglés), el mexicano promedio emplea 8.6 horas de su día en la oficina, por lo tanto, el mayor consumo de energía eléctrica lo hace en sus horas laborales, lo cual representa un gasto importante por consumo de electricidad.

Considerando estos números y queriendo llevar a cabo una nueva estrategia de sustentabilidad energética, en la Ciudad de México, con la implementación del programa Ciudad Solar, se planea la instalación de paneles solares en edificios de servicios



públicos para la autogeneración de energía eléctrica y así también contribuir a reducir el impacto ambiental.

## 2.2 Justificación

De acuerdo con la literatura revisada, el uso de paneles fotovoltaicos resulta la mejor opción para solucionar gran parte de los problemas energéticos actuales. Por ejemplo, para finales de 2017, en China se tenía una capacidad instalada de 52.8 GW, lo que representó la contribución más grande al mercado fotoeléctrico en ese tiempo (Strebkov & Bobovnikov, 2018).

Por otra parte, muchos autores y asociaciones aseguran que el uso de energía solar también puede solucionar problemas de desempleo, ya que la inversión en investigación, desarrollo y mano de obra para su instalación representa la creación de numerosas fuentes de empleo. La energía solar ha sido etiquetada como financieramente viable, adaptable con otras tecnologías, confiable e importante en el impacto del producto interno bruto de los países porque ayuda a la creación de empleos y de riqueza (Cho et al., 2019). Tan sólo en 2017, como menciona IRENA, en la Unión Europea se generaron casi 95,600 empleos gracias al mercado solar foto eléctrico.

México, a pesar de ser parte de muchas organizaciones que buscan promover el uso de energía renovable, tales como IRENA, IEA y ser uno de los países que se encuentra dentro de los tratados de París, no ha puesto mucha atención en la producción de energía eléctrica a través del aprovechamiento de la energía solar y otras fuentes renovables y prueba de esto es que, según datos del Balance Nacional de Energía de SENER, en 2017 la producción de energía fotovoltaica junto con la eólica y la geoenergía sólo aportaron un 2.6% a la producción nacional. Mientras que desde el punto de vista económico y de acuerdo con la misma fuente, la intensidad energética<sup>1</sup> del país tuvo un decremento del 0.8%.

---

<sup>1</sup> La intensidad energética es un indicador que mide la cantidad de energía requerida para producir un peso del PIB (SENER, 2018a).

Ahora, si nos fijamos en la Ciudad de México, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el 99.5% de la población reside en zonas urbanas y en la mayor parte de sus actividades productivas requieren de energía eléctrica. Basándonos en los datos anteriormente mencionados, con el actual sistema eléctrico cubrir la demanda total resulta una tarea muy difícil y cara, por lo cual, la instalación de paneles fotovoltaicos en techos de edificios de servicios públicos en la Ciudad de México es un proyecto que, además de representar un ahorro económico, una reducción en los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y cubrir parte de la demanda energética, es un medio para la generación de empleos y reducción de los niveles de pobreza.

Así mismo, de acuerdo con las buenas prácticas relacionadas con la ingeniería de proyectos, este trabajo representará, en cuanto a las etapas de Front-end-Loading (FEL), la primera puerta o FEL 1 donde se realizan las actividades que aseguran que el proyecto es rentable y técnicamente posible (visualización del proyecto). En este trabajo se pretende hacer una recopilación de elementos justificatorios que validen la oportunidad del proyecto de reconversión de edificios públicos para el aprovechamiento de energía fotovoltaica.

## **2.3 Objetivo**

Evaluar a nivel prefactibilidad la implementación de paneles fotovoltaicos en servicios urbanos en la Ciudad de México, a través de la elaboración de un caso de negocio, un estudio de mercado, un estudio técnico y un estudio económico, para identificar una alternativa que represente un ahorro en cuestión de consumo de energía eléctrica.

## 2.4 Objetivos Particulares

- Elaborar un caso de negocio, a partir de la identificación de un problema-oportunidad, donde se realice una selección tecnológica y se tengan estimados de costos de inversión de la implementación de los paneles.
- Realizar un estudio de mercado, utilizando la metodología propuesta por el Centro Europeo de Empresas e Innovación de Galicia (BIC) y adaptada a nuestro caso, para estimar la demanda energética de los edificios seleccionados.
- Elaboración de un estudio técnico, obteniendo los datos de fuentes secundarias de información, para determinar obras de instalación, equipo necesario, predimensionamiento y demás actividades necesarias para su puesta en marcha.
- Elaboración de un estudio económico, utilizando indicadores financieros, para medir las bondades económicas del proyecto y sustentar su rentabilidad.

## 2.5 Pregunta de Investigación

¿Es posible lograr un ahorro en la tarifa eléctrica y una reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en edificios públicos de la Ciudad de México, mediante la instalación de sistemas fotovoltaicos y así promover la sustentabilidad energética?

## 2.6 Alcance

- La selección de los edificios para este trabajo va a ser únicamente bajo el criterio de que cumplan con las características de espacio para la colocación de los paneles solares.
- Realizar un caso de negocio, un estudio de mercado, un estudio técnico y un estudio económico que sustenten el estudio de prefactibilidad.

- De acuerdo con las etapas FEL, se va a llegar a una fase 1 en cuanto al nivel de detalle de la información contenida en los estudios.
- Se va a realizar la selección de tecnología utilizando el método Promethee y a su vez, se va a utilizar el software Visual Promethee para así seleccionar aquella que se adapte mejor al proyecto.
- El estimado de inversión que se utilizará para este estudio, será de Clase V.
- El estudio de mercado se va a basar única y exclusivamente en la selección de los edificios, en un análisis de la demanda de electricidad calculada a partir del modelo propuesto por la Comisión Nacional de Uso Eficiente de Energía (CONUEE, 2019) y se va a complementar con un análisis FODA para identificar ventajas y desventajas de la instalación de equipos fotovoltaicos
- Se va a utilizar la herramienta Google Earth para ubicar y obtener las dimensiones de los edificios seleccionados.
- Determinar las bases de usuario para el funcionamiento de la instalación de generación distribuida.
- La información para el predimensionamiento de los paneles fotovoltaicos se va a obtener de hojas de datos de proveedores.
- Se va a utilizar el indicador costo anual equivalente (CAE) para medir las bondades económicas del proyecto.

## Capítulo 3. Revisión Bibliográfica y Legal

En este capítulo se presentan los antecedentes, así como el sustento teórico y legal del trabajo.

### 3.1 Antecedentes

En los últimos años la energía fotovoltaica ha tenido un gran desarrollo, desde el punto de vista tecnológico y económico, la instalación de estos equipos para producir energía eléctrica ha impulsado el desarrollo de muchos países que hoy en día son considerados potencia mundial. A pesar de que el mercado eléctrico sigue siendo dominado por los combustibles fósiles, se ha logrado un cambio importante en la cultura mundial y muchas universidades e instituciones han realizado múltiples esfuerzos por elaborar estudios técnico-económicos que demuestren que estos proyectos son posibles de llevar a cabo. Para esto consideran factores como la ubicación, la tecnología y demanda a cubrir

Un trabajo corresponde a (Gallego Landera et al., 2017), quienes realizaron un estudio para la colocación de paneles fotovoltaicos en el Islote Cayo Santa María ubicado en Cuba. Se tiene el problema de transporte de combustible para abastecer a las maquinas generadoras de electricidad. Dicho transporte representa un riesgo muy alto, ya que, en caso de presentarse un derrame, se puede producir un daño enorme al ecosistema de la región. El estudio consistió en la simulación de tres parques fotovoltaicos colocados en diferentes puntos, dos de ellos tenían una capacidad de 800 kW y uno de 1100 kW. El resultado fue positivo desde el punto de vista operativo y ambiental, ya que se cubre parte de la demanda eléctrica del islote Cayo Santa María y se reducen las necesidades de combustible. En este estudio no se hace referencia a la parte económica ya que ellos consideran que su problema es únicamente el daño al ecosistema que puede causar el derrame de combustible, por lo cual, demuestran las bondades ambientales de la instalación de paneles solares.

Otro caso es el reportado por (Babatunde et al., 2018). El estudio consiste en un análisis técnico-económico y ambiental para un hospital en una comunidad rural en Nigeria para proveer de energía eléctrica a dicho hospital. Consideran dos demandas diferentes a cubrir; la primera es de 13 kWh/día y la segunda con un 25% de incremento que resulta en 16.25 kWh/día, cabe mencionar que también incluyen una batería para almacenamiento ya que, al ser una zona rural, no se puede conectar a la red eléctrica y necesitan prevenir los días de baja irradiación solar con producción eléctrica baja. Ellos diseñan su arreglo fotovoltaico, con ayuda de HOMER, que es un software que permite diseñar y evaluar proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, ya sea que se encuentren o no conectados a la red eléctrica. Posteriormente, el estudio financiero, lo realizaron basándose en un análisis del costo de ciclo de vida, para esto obtienen el costo de capital, el valor presente de los costos de operación, mantenimiento y reemplazo de equipo. Los resultados para ambos casos informaron que se necesita un sistema de 3.6 kW para el caso base y un sistema de 6kW para el incremento de 25%, mientras que el costo total fue de \$17,909 dólares y de \$18,080 para el caso base y el incremento de 25%, respectivamente. A modo de conclusión se puede decir que el sistema fue factible, ya que se logró cubrir la demanda energética del lugar a un costo accesible y se sentaron las bases para la planeación de los centros de salud de comunidades rurales de la región.

Otras investigaciones se han enfocado más en los sistemas híbridos (energía solar y eólica) para contrarrestar las bajas en voltaje ocasionadas por los días nublados o por los días donde se tienen pocas corrientes de aire. Así mismo, en la India, se realizó un estudio de factibilidad donde simulaban la instalación de un sistema híbrido (energía solar y eólica) con una capacidad de 200 kW (Jeffy Johnson et al., 2018). Para esto, también se apoyaron del software HOMER. El resultado fue que el sistema híbrido si puede cubrir la demanda eléctrica de la zona y, además, generar un excedente de electricidad. El valor presente del proyecto fue de \$1,774,269 dólares, con un costo de operación total de \$3277 dólares.

### **3.2 Energía eléctrica.**

La energía eléctrica es un recurso fundamental para la vida de todos los seres humanos ya que se usa casi en todas las actividades diarias que van desde algún electrodoméstico hasta alguna actividad más compleja en el trabajo. El uso de la energía eléctrica crece debido al crecimiento y desarrollo de las poblaciones (Hernández-Callejo et al., 2019).

La electricidad se produce entre dos puntos con diferente potencial cuando se conectan a través de un material llamado conductor eléctrico. Esta energía se utiliza para servir a diferentes propósitos, tales como el alumbrado de casas y zonas públicas, energía mecánica, térmica, entre otras.

Existen diferentes medios de generación, tales como; combustibles fósiles, gas natural, carbón, hidroeléctricas, fuentes nucleares y fuentes renovables. La unidad que mide la capacidad de las tecnologías de energía renovable generalmente es el Megawatt (MW) y la unidad que mide la energía eléctrica producida en cierto tiempo es el kilowatt-hora (kWh) (Mayorga, 2014).

### **3.3 Energía renovable.**

Las fuentes renovables, incluyendo la solar, eólica, biocombustibles, entre otros, son el centro de una transición energética más sostenible para reducir el uso de carbón. Se caracterizan por regenerarse de manera natural y ser inagotables, frente a los combustibles fósiles y su inminente agotamiento. La energía renovable se puede definir como fuentes disponibles a largo plazo, a costo razonable y que pueden ser utilizadas sin efectos negativos (Alemán-Nava et al., 2014).

El principal objetivo de la energía renovable es sustituir a los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) como fuente principal de energía. Con el paso del tiempo el hombre se dio cuenta de que los recursos fósiles no pueden ser producidos tan rápido

como se consumen, además de representar un severo daño al ambiente por todos los contaminantes que se emiten durante su producción y combustión.

La energía renovable ha demostrado ser una alternativa en los países más desarrollados, tales como Inglaterra, Suiza, Japón, Francia, etc. A partir de la implementación de fuentes alternativas de energía y otras políticas exitosas han logrado posicionarse, de acuerdo con datos de la OECD, en los primeros 4 lugares en cuestión de calidad de vida y ambiental.

En los últimos años, la seguridad energética ha sido un factor clave para la diversificación energética a fin de limitar los efectos macroeconómicos adversos generados por la elevada dependencia de los combustibles fósiles y de reducir la vulnerabilidad a los eventos climáticos recurrentes (IRENA, 2016).

### **3.4 Energía fósil**

La producción de energía a partir de fuentes fósiles es proveniente del petróleo que es una mezcla de hidrocarburos y otros compuestos con altas concentraciones de azufre, nitrógeno y algunos metales como níquel, vanadio, etc. Éste se encuentra en depósitos naturales ubicado en la corteza superior de la Tierra y sus características son muy variadas, debido a las circunstancias de cómo se ha formado y acumulado.

Hoy en día el crudo es la principal fuente de producción de energía, pero sus altos contenidos de azufre provocan mucho daño al ambiente, además de un elevado costo en su proceso de refinación.

Las reservas de combustibles fósiles son limitadas y su uso a gran escala está relacionado con el deterioro ambiental (Alemán-Nava et al., 2014).



En la Figura 3.1 se muestran las principales fuentes de energía primaria.

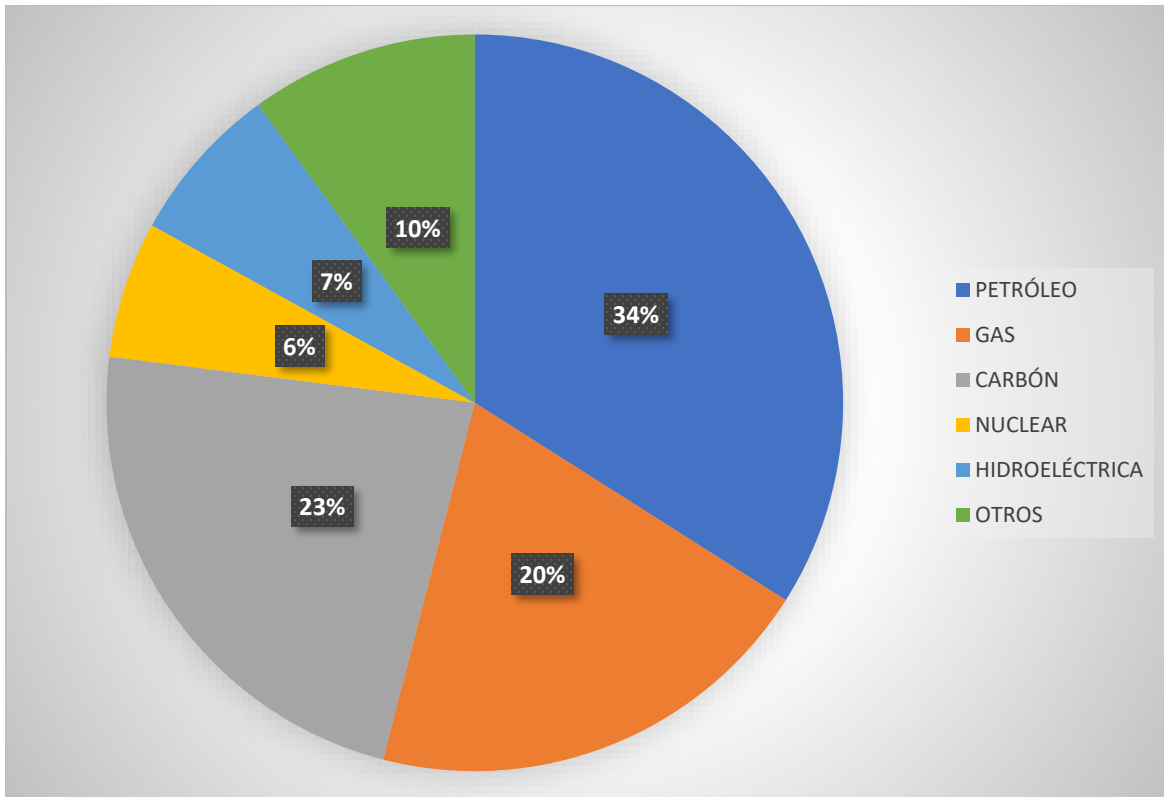


Figura 3.1 Principales fuentes de energía. Fuente: (Cortés del Pino, 2014)

### 3.5 Energía Solar Fotovoltaica

Es una energía limpia la cual es procedente de una conversión directa de la energía solar en energía eléctrica útil (García, 2017).

Se refiere a toda aquella energía que recibimos de manera natural por parte del sol mediante el vehículo de transferencia de energía llamado radiación. Ésta se propaga en la atmósfera y existe la posibilidad de aprovecharla gracias a los paneles fotovoltaicos.

La energía solar es una de las energías renovables más prometedoras. Es una fuente muy económica, con mucha disponibilidad y es amigable con el ambiente (libre de carbón) (Patil et al., 2019).

### 3.6 Celdas y paneles fotovoltaicos

Básicamente, una celda es una juntura tipo p-n fabricada en una capa semiconductor, donde la luz es absorbida por electrones excitados en la banda de valencia del semiconductor a la banda de conducción (Salamanca, 2013).

La diferencia entre una celda y un panel o módulo es que la celda es la unidad mínima para adquirir energía del sol y en la cual se genera energía eléctrica, en tanto que un módulo o panel solar es un arreglo de celdas con el objetivo de obtener mayor generación eléctrica (SENER, 2017c). En la figura 3.2 se muestra un esquema de una instalación fotovoltaica.

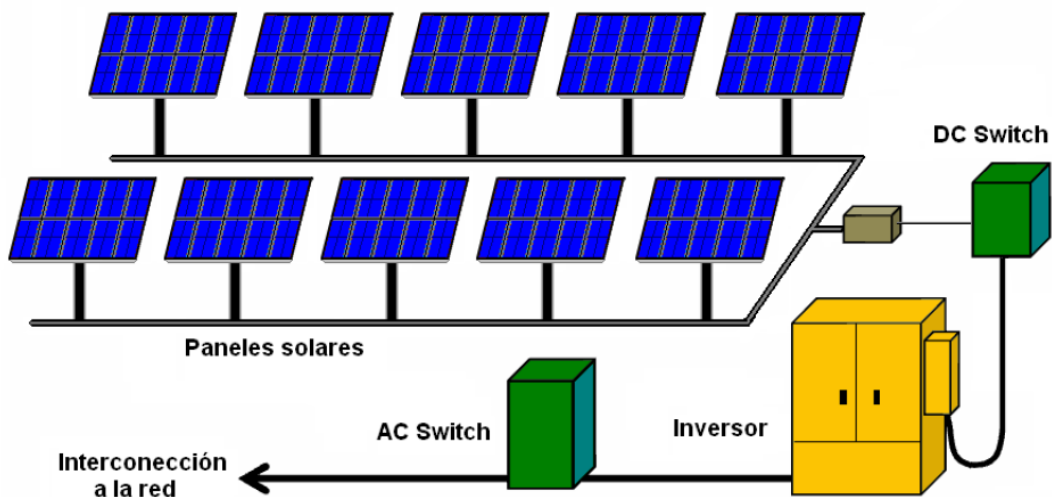


Figura 3.2. Instalación fotovoltaica. Fuente: (CFE, 2015)

Dicho de otra manera, es un conjunto de elementos que permiten generar y acondicionar electricidad a un voltaje específico a partir de la energía luminosa del sol. La producción de electricidad se basa en el principio fotoeléctrico.

Este principio establece, que bajo ciertas condiciones (de longitud de onda), el electrón de un material semiconductor puede absorber la energía del fotón y desprenderse de banda de valencia (último nivel energético) (Hernández-Callejo et al., 2019).

Los materiales semiconductores, si se les aplica la cantidad de energía suficiente, tienen la capacidad de desprenderse de uno de sus electrones de valencia y que éste pase a la banda de conducción y así, a través del material se conduzca la corriente eléctrica bajo la influencia de campos eléctricos internos de la juntura p-n, de esta forma los electrones portadores son barridos y generan una determinada corriente (I) y voltaje (V).

Una juntura tipo p-n es un material semiconductor dopado (regularmente silicio) con elementos de la familia (III) (donadores de espacios o cargas positivas y se usa usualmente boro) y elementos de la familia V (donadores de carga o electrones y usualmente es fósforo). Este proceso se realiza con el fin de generar un campo eléctrico y así poder producir electricidad. En la figura 3.3 se muestra la captación de la radiación solar en las juntas p-n de la celda.

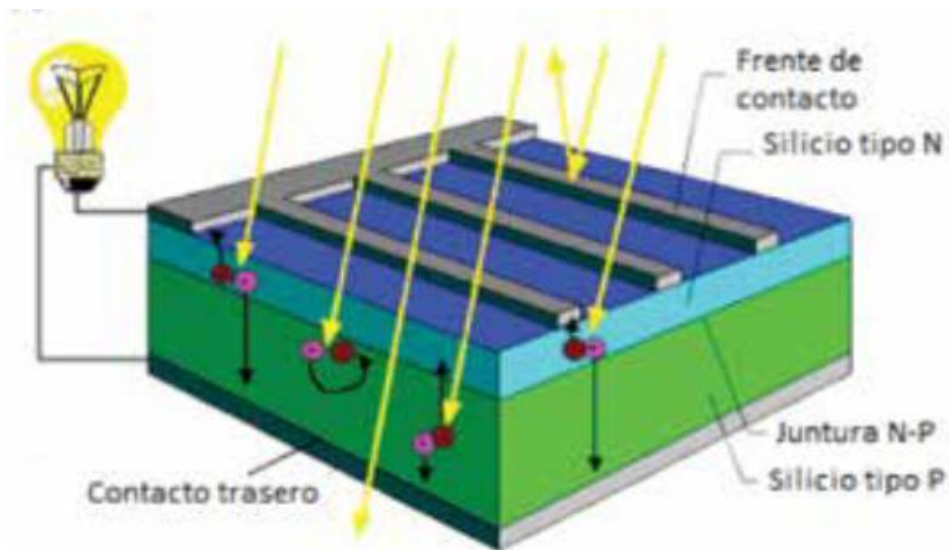


Figura 3.3. Juntura p-n. Fuente: (Noguera et al., 2018).

Después de ser captada la energía solar y a partir de lo explicado transformarla a energía eléctrica, se dirige a un inversor DC/AC para ser convertido de corriente directa a

corriente alterna y así poder proveer energía a la fuente final, o en su defecto, transferirla a la red eléctrica. Para este fin, se cuentan con medidores instalados en los puntos donde se produce la energía eléctrica. En la figura 3.4 se muestra un bosquejo más detallado de un sistema fotovoltaico.

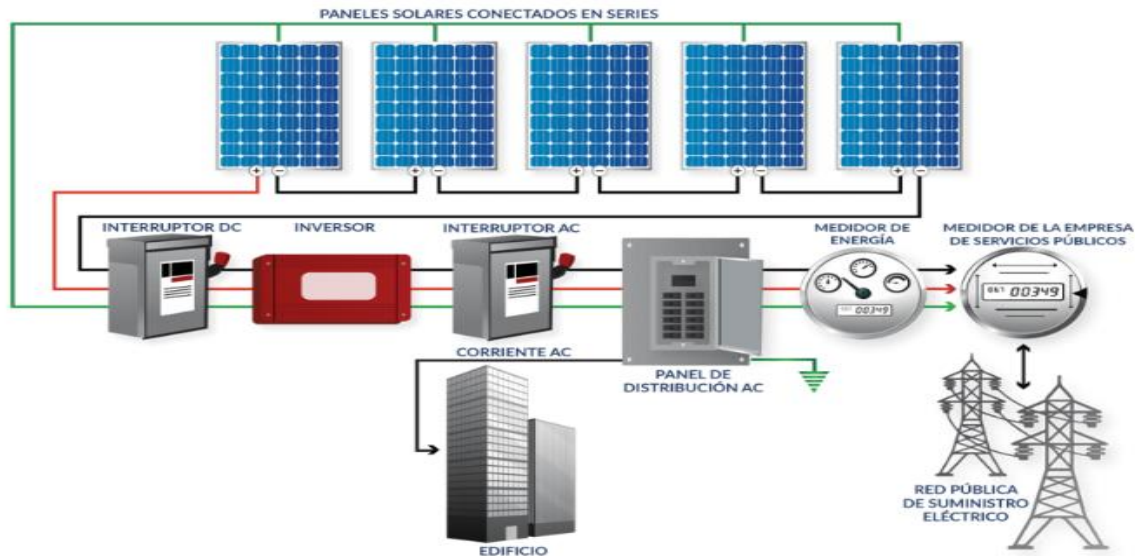


Figura 3.4. Instalación fotovoltaica con uso final. Fuente:

<http://www.innovasolarcolombia.com/faqs/> Fecha de consulta: 19/09/2019.

Los paneles son las unidades mínimas en donde se lleva a cabo la captación de la energía solar, mientras que un módulo es el conjunto de todas las celdas instaladas para la obtención de la energía eléctrica.

Las principales características de los módulos son (García, 2017):

- Potencia máxima ( $P_m$ ): es el punto donde se cruzan el voltaje de operación abierto y la corriente de operación. En la figura 3.4 es el punto negro más grande que se logra observar.
- Voltaje de operación ( $V_{mpp}$ ): es el voltaje con el que trabaja el módulo.
- Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ): es el máximo voltaje que aparece cuando no hay carga.

- Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ): magnitud de la corriente en caso de un corto circuito. Regularmente se considera como 0.8 la intensidad de corriente de suministro.
- Corriente de operación ( $I_{mpp}$ ): es la corriente que proporciona el módulo de salida.
- Temperatura: máxima temperatura de operación.
- Factor de llenado: es la razón entre la potencia máxima obtenida ( $P_m$ ) y el producto de la corriente de corto circuito ( $I_{cc}$ ) y el voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ).

$$F_F = \frac{P_m}{I_{CC} * V_{OC}}$$

- Eficiencia de la celda: es la razón de potencia eléctrica máxima que suministra la celda, entre la potencia de la radiación solar que incide sobre ésta.

$$\eta = \frac{P_M}{P_I}$$

En la figura 3.5 se muestran estos aspectos en la gráfica corriente vs voltaje donde se observan algunos de los puntos ya mencionados.

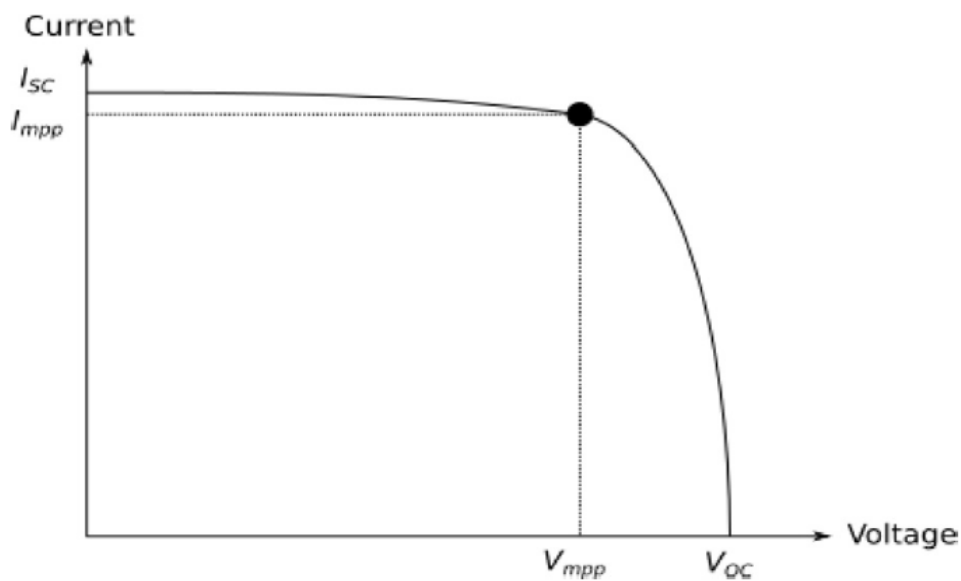


Figura 3.5. Gráfica corriente vs Voltaje. Fuente: (Hernández-Callejo et al., 2019).

### **3.7 Balance del sistema (BoS)**

Este componente de los sistemas fotovoltaicos de captación solar incluye todo lo que no son las celdas o módulos, tales como las baterías (aquí se almacena la energía eléctrica), los reguladores de carga, que sirven para proteger a la batería contra condiciones extremas de operación, transformadores, cableado, inversores (transforman la corriente continua a alterna), equipo de monitoreo y los demás componentes necesarios para su instalación.

### **3.8 Tipos de sistemas fotovoltaicos**

Los tipos de sistemas fotovoltaicos los podemos clasificar como aislados e interconectados a la red.

Los sistemas aislados son sistemas totalmente autónomos, que no están conectados a la red. Típicamente se instalan en lugares de acceso remoto, zonas no interconectadas o para alimentación de cargas pequeñas.

Estos se instalan con un banco de baterías que se carga de día y en la noche mientras no existe luz solar, se utiliza la energía acumulada. En la figura 3.6, se muestra un esquema de un sistema aislado.

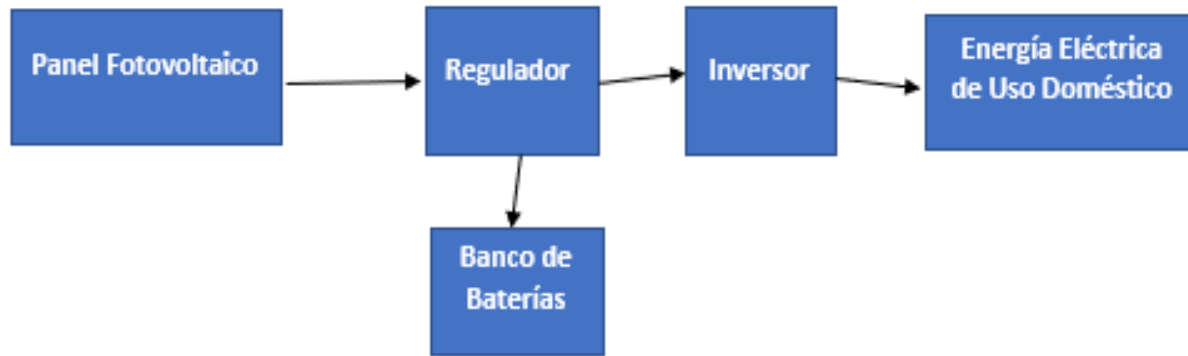


Figura 3.6. Sistema aislado. Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas interconectados utilizan la red eléctrica como su banco de baterías. Estos sistemas cuentan con las siguientes funciones (García, 2017):

- Distribución de la corriente alterna que fluye entre el sistema de acondicionamiento de potencia
- Provisión de medios de desconexión para seguridad y mantenimiento
- Medición de flujos de energía entre el sistema, las cargas locales y la red
- Protecciones para el sistema de corriente alterna que no sean proporcionadas por el inversor

Estos arreglos, por medio de un sistema de medición bidireccional, intercambian energía, proporcionando a la red la electricidad generada durante las horas de sol y tomando de ella la necesaria en la ausencia de luz solar (SENER, 2017a). En la figura 3.7, se muestra un esquema de los sistemas interconectados a la red.

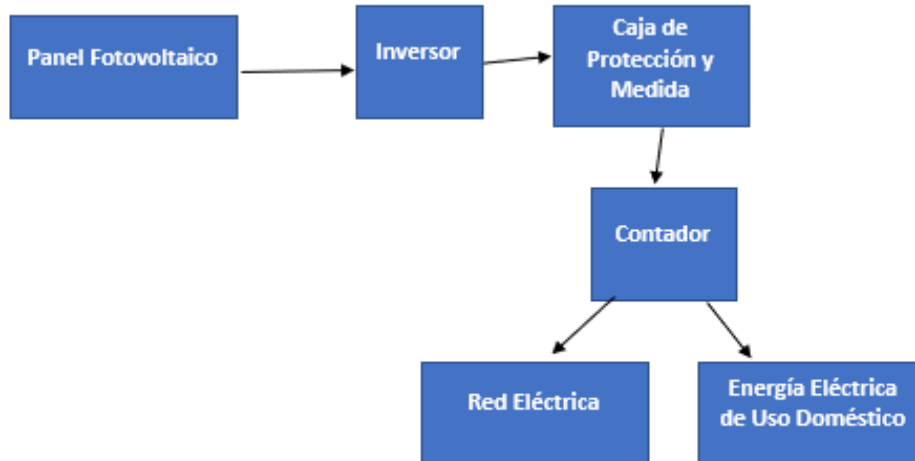


Figura 3.7. Sistema interconectado a la red. Fuente: Elaboración propia.

### 3.9 Generación distribuida

Este concepto se refiere a la generación de energía eléctrica lo más cercano posible al punto de consumo (Gallego Landera et al., 2017). La generación distribuida tiene como fin proveer de energía eléctrica a los lugares más alejados de las redes eléctricas y, a su vez, evitar la construcción de éstas.

### 3.10 Aspectos que afectan el desempeño de las celdas fotovoltaicas

Existen muchos aspectos que limitan y afectan el correcto desempeño de las celdas fotovoltaicas y pueden afectar su tiempo de vida. Tales aspectos pueden ser la degradación de la luz, los perfiles de temperatura (espacios más calientes que otros o como se llaman en inglés “hot spots”) o la corrosión (Azizi et al., 2018).

En consideración a estos factores, se han realizado múltiples investigaciones relacionado con esto. Una de ellas hecha por (Abderrezek & Fathi, 2017) estudio el efecto de la contaminación (polvo) sobre el desempeño en los paneles fotovoltaicos. Llegó a la



conclusión que las capas de polvo incrementaban los niveles de temperatura y afectaban el desempeño de las celdas, reduciendo el voltaje y la potencia entregada.

En otro trabajo realizado por (Osma Pinto et al., 2017) se encargó de estudiar el efecto de irrigar la superficie inferior de los paneles, con el fin de reducir la temperatura de operación. El resultado fue positivo ya que al irrigar los paneles se obtuvieron mejores resultados en cuanto al desempeño.

En conclusión, el desempeño de los paneles fotovoltaicos a elevadas temperaturas es uno de los aspectos cruciales a considerar durante la instalación de estos equipos, por lo cual, durante la etapa de planeación resulta importante considerar un buen esquema de mantenimiento y, tal vez, un sistema de enfriamiento para estos.

### **3.11 Avances tecnológicos y materiales**

Los materiales que más se utilizan para la producción de los módulos fotovoltaicos son: silicio monocristalino y policristalino en una aleación con materiales de la familia III como el galio, indio y boro y de la familia V como el fósforo y arsénico con el fin de tener 2 capas diferentes que produzcan un campo eléctrico con polos positivo y negativo (la juntura tipo p-n).

A lo largo de la historia, las combinaciones de materiales más utilizadas, teniendo como base el silicio son: galio-arsénico (GaAs), indio-galio-fósforo (InGaP) e indio-fósforo (InP) (Salamanca, 2013). Alcanzando eficiencias entre 12% y 17%.

Las celdas de silicio monocristalino tienen desventajas contra las celdas de silicio policristalino, a pesar de que las primeras presentan mayor eficiencia, las de silicio policristalino tienen un costo de producción más bajo, consumen menos energía durante su ciclo de vida, el cristal no debe tener una estructura perfecta y su tiempo de retorno de inversión es menor (Sampaio et al., 2018).

Existen otras celdas producidas, también, a partir de silicio y son llamadas nanotiras. Estas celdas necesitan mucho menos silicio que las celdas convencionales y, por lo tanto,

su costo de producción puede ser menor. A su vez, presentan eficiencias más elevadas (Sampaio et al., 2018).

Otras investigaciones a nivel laboratorio, como la realizada por (Patil et al., 2019), demostraron que las celdas hechas por  $ZnS_{0.2}Se_{0.8}$  y dopadas con ciertas concentraciones de hierro (Fe) mejoran el desempeño de las celdas fotovoltaicas, más específicamente, parámetros como el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y la corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ). Sin embargo, este tipo de celdas solo son producidas y utilizadas a nivel laboratorio.

También existen investigaciones para la construcción de celdas con materiales orgánicos. Estas celdas tienen una estructura de capa plana, donde la luz es absorbida entre 2 diferentes electrodos. Son construidas en capas muy delgadas de polímeros semiconductores (materiales orgánicos). En comparación con las celdas convencionales su proceso de manufactura es más barato. Sin embargo, tienen un tiempo de vida corto y una eficiencia menor en comparación con las celdas convencionales (Sampaio et al., 2018).

### **3.12 Tiempo de vida y manejo de desechos**

El tiempo de vida de los paneles fotovoltaicos es de aproximadamente 25 a 30 años y actualmente, en México no se cuenta con la experiencia necesaria o con un marco regulatorio para el tratamiento de estos residuos en gran volumen. Únicamente la Unión Europea es quien cuenta con un marco regulatorio para paneles fotovoltaicos y estos son tratados como aparatos de uso eléctrico y electrónico. Estos equipos pueden ser tratados como residuos no peligrosos ya que están compuestos en su mayoría por aluminio y vidrio.

### 3.13 ¿Qué es un proyecto?

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado, se llevan a cabo para cumplir objetivos mediante la producción de entregables (PMI, 2017). Todos los proyectos tienen un inicio y un final bien definido y el final se alcanza cuando se cumplieron los objetivos del proyecto o cuando se determina que estos no pueden ser cumplidos. Una definición más formal de este concepto es la siguiente: una organización temporal para producir/realizar un bien o un servicio predefinido, en un tiempo especificado y utilizando recursos limitados (Flanagan, 2018).

Las alternativas de solución que se proponen son el resultado de identificar las causas de los problemas y, con base en ello, generar posibles soluciones (Morales & Morales, 2008). Estos problemas pueden ser desde cosas relativamente sencillas hasta cosas muy complejas, tales como el cambio de maquinaria (reemplazo de equipo), el lanzamiento de nuevos productos, o hasta la inversión en una nueva planta para aumentar la capacidad de producción.

El ciclo de vida de todos los proyectos comprende 5 fases:

1. Iniciación
2. Planeación
3. Ejecución
4. Seguimiento y control
5. Cierre

En la figura 3.8 se observan las fases de cualquier proyecto.

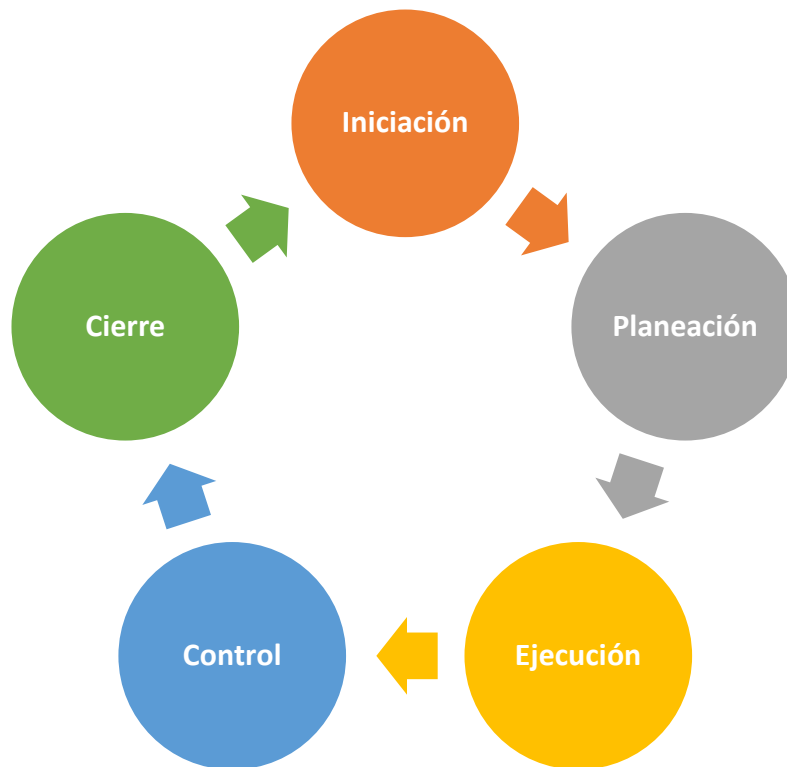


Figura 3.8. Fases de un proyecto.

### 3.14 Evaluación de proyecto

Consiste en la recopilación, creación y análisis de forma sistemática de un conjunto de antecedentes justificatorios para determinar cuantitativamente las ventajas y desventajas de un proyecto de inversión. Esta herramienta permite determinar si en un instante específico una inversión es conveniente o no y así asignar los recursos necesarios

El proceso de evaluación de proyectos consta de 6 etapas principales:

1. Identificación de oportunidades
2. Formulación y preparación del proyecto
3. Evaluación técnica

4. Evaluación administrativa
5. Evaluación económica
6. Conclusión acerca de la inversión

En esta última etapa del proceso es donde se decide si el proyecto va a dejar alguna utilidad y se toma la decisión de seguir adelante o no con él.

### **3.15 Front-End Loading (FEL)**

La metodología FEL surge como una necesidad de optimizar los proyectos, ya que existen estudios que demuestran que muchos proyectos salen mal, debido a una mala planeación, a una pobre definición del alcance o a la omisión de actividades necesarias para el éxito del proyecto, obteniendo así retrasos en el calendario y sobrecostos.

Esta metodología fue acuñada por Dupont en el año 1987 para industria química, refinerías y gas. Posteriormente fue presentada por el Independent Project Analysis (IPA) en el año 2000. Actualmente es una de las metodologías más utilizadas para realizar proyectos, con el fin de contar con un entendimiento adecuado del alcance del proyecto que atiende a objetivos mientras minimiza cambios durante las fases posteriores de los proyectos (PEMEX, 2014).

De acuerdo con el IPA, FEL es un proceso que traduce las oportunidades de negocios y tecnología a un proyecto de inversión. Dicha metodología se basa en el concepto de acreditación por compuertas, esta división está hecha en 3 etapas. Cada etapa FEL contiene un alcance particular e incrementa el nivel de definición del alcance de los proyectos conforme se desarrolla cada una de ellas, comúnmente se conocen como:

1. Visualización (FEL I)
2. Conceptualización (FEL II)
3. Definición (FEL III)

En la tabla 3.1, se muestra la descripción de las etapas de FEL.

Tabla 3.1. Etapas FEL.

Etapa FEL	Descripción
FEL I	Se contempla la planeación del negocio, estudios de mercado, opciones de sitio, alternativas técnicas, estimados de costo (Clase V), análisis económicos, entre otros, todo con un nivel de incertidumbre alto en la información disponible.
FEL II	De las opciones o escenarios seleccionados en la etapa FEL I, aquí se vuelve a evaluar y se selecciona aquella que genere mayor valor, se realiza la ingeniería conceptual de acuerdo con las bases de usuario obtenidas en la etapa anterior y se actualiza la información disponible, así como el estimado de costos a una clase IV para iniciar el proceso de definición.
FEL III	Se tiene un desarrollo del alcance detallado, se realiza la ingeniería básica de la opción seleccionada, se actualiza la información disponible y el estimado de costos a una clase III y se inicia con el plan de ejecución para el proyecto Ingeniería-Procurement-Construction (IPC).

Fuente: (PEMEX, 2014).

En la figura 3.9 se muestran las etapas de FEL y las posteriores a ella.

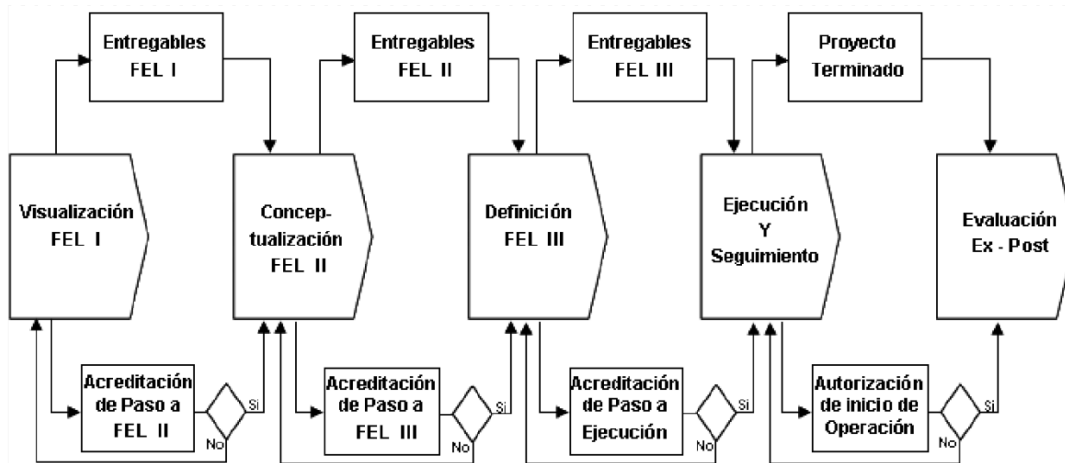


Figura 3.9. Etapas FEL. Fuente: (Diplomado de Ingeniería de Proyectos, 2018).

### 3.16 Evaluación de prefactibilidad

Es un análisis técnico-económico de las alternativas de inversión que dan solución a un problema planteado. Este estudio debe contener información de estudios técnicos, cotizaciones y encuestas elaboradas especialmente para llevar a cabo la evaluación de dicho programa o proyecto (SHCP, 2013).

El objetivo es que, a partir de estas fuentes de información secundarias, se defina con cierta aproximación las variables principales del mercado, las alternativas técnicas de producción y capacidad financiera de los inversionistas. Sirve para descartar soluciones con mayores elementos de juicio. Es una compuerta hacia el estudio de factibilidad. La evaluación debe realizarse comparando la situación con y sin proyecto.

Esta evaluación se realiza en la etapa de planeación de un proyecto, específicamente, en la etapa de preinversión, que es donde se comparan los costos totales del proyecto contra sus beneficios.

Para realizar esta evaluación se tienen 4 estudios principales (Morales & Morales, 2008), que son: estudio de mercado, técnico, administrativo y económico.

Para este caso, no se va a realizar el estudio administrativo porque no se tiene una organización que analizar, el fin de este trabajo es proveer un documento que sirva para saber si la instalación de paneles fotovoltaicos en edificios de servicios públicos de la Ciudad de México, con una determinada capacidad, puede representar un ahorro en la tarifa eléctrica y en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **3.17 Caso de negocio**

Es el documento donde se establecen las principales ventajas y los parámetros del proyecto. Aquí se identifica el ¿qué? y el ¿por qué? del proyecto.

El caso de negocio es un documento el cual debe ser desarrollado y revisado durante toda la duración del proyecto (Flanagan, 2018). Se tiene que demostrar como el proyecto se ajusta a los objetivos estratégicos de la empresa o de la entidad en cuestión.

Este documento sólo entregará los resultados esperados si el proyecto tiene un alcance bien definido desde el inicio.

Un caso de negocio bien estructurado permite:

- A la organización y a los principales interesados influir en la definición del alcance del proyecto e internarse en la planeación de este
- Ayudar a los responsables de la toma de decisiones a entender los factores clave, la información disponible y los ayuda a evitar cometer errores durante la ejecución
- Demostrar a todos los interesados la viabilidad del proyecto
- Proveer información base para la administración, monitoreo y ejecución antes, durante y después de la ejecución de proyecto.



Además, el contenido de un caso de negocio incluye:

1. Determinar la situación detonante de la necesidad (identificación del problema)
2. Definir de forma clara los objetivos
3. Definir un alcance
4. Identificar alternativas tecnológicas
5. Identificar los riesgos de la inversión

El fin de estas etapas es generar un documento que sirva para la toma de decisiones durante toda la vida del proyecto. En él se va a mencionar como los objetivos de este trabajo se ajustan a los objetivos del país y se van a responder preguntas como las siguientes: ¿dónde estamos? ¿a dónde queremos llegar? ¿cómo vamos a llegar?

### **3.18 Selección tecnológica**

La selección de tecnología es un proceso formal y sistemático mediante el cual se realiza la búsqueda de la mejor alternativa tecnológica para el desarrollo del proyecto. Es un método que asegura que la tecnología usada en los proyectos es la más competitiva para el logro de objetivos.

Este proceso se realiza durante la definición inicial del proyecto, ya que es una parte fundamental y se debe tener claras todas las opciones en etapas tempranas, donde los gastos son relativamente bajos y la habilidad para influir en el proyecto es grande. Así, se garantiza que la tecnología seleccionada es la más competitiva de todas las disponibles.

A su vez, actualmente, la selección tecnológica está considerada como una estrategia de sustentabilidad en las empresas, lo cual ha llevado a las mismas a poner especial atención en ellas, considerando que en los últimos años la cantidad de tecnologías ha crecido de manera importante y con esto se han generado diferentes métodos para seleccionar la tecnología más apropiada para un problema determinado. Los modelos de selección de tecnología ayudan a los encargados de la toma de decisiones a escoger la

mejor de ellas dentro de un conjunto evolutivo (Fan et al., 2019). Uno de estos modelos es el método Promethee que se explica a continuación.

### 3.19 Promethee

Este es un método tipo “outranking”. Estos métodos son también conocidos como PIR (por sus siglas en inglés) donde se pueden obtener preferencias (P), indiferencias (I) e incompatibilidades (R) entre pares de alternativas.

En este modelo, primero es necesario definir el conjunto de alternativas A y el conjunto de criterios C con los que se van a evaluar estas alternativas. También es necesario asignar a estos criterios un determinado peso W, que es la importancia relativa de dicho criterio. La matriz resultante se muestra en la figura 3.10.

		<b>Criterios</b>			
		C1	C2	...	Ci
		W1	W2	...	Wi
<b>Alternativas</b>	A1	C1(A1)	C2(A1)	...	Ci(A1)
	A2	C1(A2)	C2(A2)	...	Ci(A2)
	A3	C1(A3)	C2(A3)	...	Ci(A2)
	...	...	...	...	...
	Ai	C1(Ai)	C2(Ai)	...	Ci(Ai)

Figura 3.10. Formato de matriz tecnológica.

Promethee se basa en comparaciones de pares de alternativas mediante criterios Ci que poseen alguna interpretación física o económica fácilmente comprensible (pesos o calificaciones). Trabaja con funciones de preferencia que son utilizados para cuantificar

intensidad de preferencia de una alternativa a sobre una alternativa b  $P_j(a,b)$ , mediante un determinado criterio  $C_i$  (Wu et al., 2020).

El nivel de preferencia  $P_j(a,b)$  es un número real que varía entre 0 y 1. Esto significa que para cada criterio  $C_i$  el tomador de decisiones debe definir una función  $F_j$  que determine el nivel de preferencia (Paris, 2013). Siendo:

$$P_j = F_j [d_j(a, b)] \quad \text{E.c. (1)}$$

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1$$

Donde:

$$j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$d_j(a, b)$  = diferencia en la evaluación entre 2 alternativas.

Si el valor de esta función es 0, indica que a no tiene preferencia sobre b. Mientras el valor incrementa, indica una mayor preferencia de a sobre b, así hasta llegar a 1, donde a es completamente preferida sobre b.

Después de indicar las preferencias, se obtiene el flujo de dominancia  $\Phi$ , que indica el grado en que una alternativa domina o es dominada. Las alternativas son comparadas contra las demás  $n-1$  alternativas. Para una alternativa dominante se dice que tiene un carácter positivo o flujo parcial  $\Phi^+$  y si es dominada, tiene carácter negativo o flujo parcial  $\Phi^-$  (Paris, 2013). Siendo:

$$\Phi^+ a = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, x) \geq 0 \quad \text{E.c. (2)}$$

$$\Phi^- a = \frac{1}{n-1} \sum \pi(x, a) \geq 0 \quad \text{E.c. (3)}$$

Donde:

x = alterativa diferente de a

Existen muchos tipos de Promethee, pero para fines de este trabajo, sólo se van a utilizar 2 tipos, Promethee I y II.

Promethee I busca determinar una clasificación parcial entre las alternativas, mediante los flujos  $\Phi^+$  y  $\Phi^-$ . Mientras que Promethee II clasifica las alternativas en orden descendiente de acuerdo a un flujo total  $\Phi$  para obtener una clasificación de las alternativas (Wu et al., 2020). El flujo neto se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Phi_{total} = \Phi^+ a - \Phi^- a \quad \text{E.c. (4)}$$

### 3.20 Clases de estimado de costos

Es el proceso de desarrollar una aproximación de los recursos monetarios necesarios para completar el trabajo del proyecto (PMI, 2017). Los estimados de costo se realizan en función de la información disponible, de acuerdo con la etapa del proyecto en la que se encuentre. El grado de avance de la ingeniería es lo que determina el nivel o la clase del estimado de costos y el grado de incertidumbre del estimado disminuye conforme avanzan las etapas del proyecto o avanza el desarrollo de la ingeniería.

De acuerdo con el Manual del Sistema Institucional de Desarrollo de Proyectos de Pemex (SIDP), las clases de estimado de costos se clasifican de la siguiente manera:

- CLASE V (+50% / -30%). Se elabora en la etapa FEL I y se utiliza para la planeación estratégica de negocios, estudios de mercado, evaluación de factibilidad inicial, evaluación de esquemas alternativos para el proyecto, investigación y localización de sitio.
- CLASE IV (+35% / -20%). Se elabora en la etapa FEL II o FEL III y se utiliza para análisis de esquemas alternativos para la evaluación, selección y adquisición de tecnologías y la confirmación de la factibilidad técnico-económica.
- CLASE III (+25% / -15%). Se elabora en la etapa FEL II o FEL III, se realiza una vez que se cuenta con la información de la ingeniería básica y es utilizado como presupuesto del proyecto.

- CLASE II (+15% / -10%). Se elabora en la etapa FEL III siempre y cuando en la ingeniería básica extendida se incluya la estimación de conceptos y volúmenes de obra.
- CLASE I (+10% / -5%). Se elabora una vez que se dispone de la ingeniería de detalle; se deriva de la preparación de propuestas de las empresas contratistas y se utiliza para el control del proyecto durante su ejecución.

### 3.21 Estudio de mercado

Es un documento donde se determina la demanda y se justifica:

- La capacidad de producción
- Especificaciones (diseño de productos / servicios)
- Precio del producto

Un estudio de mercado es el resultado de recogida, análisis e interpretación de información relativa al mercado objeto de estudio (BIC, 2013). Proporciona información indispensable para las investigaciones posteriores del proyecto, como son los estudios para determinar su tamaño, localización e integración económica.

En esta parte del estudio es donde se responden las preguntas: ¿qué producir? ¿para quién producir? ¿cuánto producir?

Los objetivos del estudio de mercado son (Morales & Morales, 2008)

- Constatar la existencia de una necesidad insatisfecha y que el producto o servicio que se presta, pueda satisfacerla
- Mejores productos o servicios de los que brinda la competencia
- Estimar la demanda de mercado y la capacidad de poder adquirir el producto o servicio
- Conocer los canales de comercialización
- Disminuir el riesgo que se corre cuando el producto o servicio no se acepta

- Conocer el precio de productos o servicios similares, sustitutos o complementarios

Existen diferentes metodologías para la elaboración de estudios de mercado, algunas de ellas se basan en el método científico para la obtención de datos del mercado y su interpretación. Otras utilizan métodos de proyección, como puede ser el método subjetivo (consenso de panel, método Delphi), método causal (modelo de regresión, econométrico, encuestas de intenciones de compra y el método de insumo producto) o los modelos de serie de tiempo (el comportamiento del mercado futuro se determina por eventos pasados siempre y cuando se tenga la información disponible).

Para este caso, se va a adaptar la metodología propuesta por el Centro Europeo de Empresas e Innovación de Galicia (BIC) en su manual “*¿Cómo Realizar un Estudio de Mercado?*”, la cual consiste en:

1. Establecer objetivo del estudio
2. Determinar la necesidad de información
3. Recopilación, tratamiento y análisis de la información obtenida (estimación de la demanda)
4. Análisis FODA de los paneles fotovoltaicos
5. Elaboración de informe (datos para estudio técnico y económico)

Se adapta de esta manera ya que el programa Ciudad Solar ya tiene definido que va a producir, cuanto va a producir y para quien lo va a producir.

### **3.22 FODA**

La matriz FODA es una técnica desarrollada originalmente para negocios y marketing, pero ha sido adaptada y utilizada en otras ramas como el análisis de sectores energéticos (Chen et al., 2014).

Este análisis debe ser aplicado para detectar los factores internos (fortalezas y debilidades) y los factores externos (oportunidades y amenazas).

El objetivo es maximizar las fortalezas y encontrar los medios para superar las debilidades. Las oportunidades son cambios externos que pueden otorgar un valor agregado y las amenazas son factores externos que pueden causar problemas (Chen et al., 2014).

### **3.23 Estudio técnico**

Es la parte de la evaluación de proyectos donde se resuelven las siguientes preguntas: ¿Cómo producir? ¿Qué materias primas se requieren? ¿Dónde producir? ¿Qué instalaciones y equipos se requieren? ¿Cuánto y cómo producir?

En este análisis se determinará si el promotor dispone de la tecnología, recursos humanos y materiales para la ejecución de proyecto y la producción del bien o servicio que proveerá (CEPEP, 2017).

El estudio técnico es una parte fundamental del estudio de prefactibilidad y este debe ajustarse a los objetivos del proyecto. De este estudio se obtiene información en cuanto a la tecnología, materias primas, magnitud de los recursos económicos para inversión, producción y mantenimiento y todas las previsiones necesarias para que el proyecto opere de manera adecuada y sin daño al ambiente. Con la información recopilada en este estudio y en el estudio de mercado, es que se puede conocer la bondad económica del proyecto.

El objetivo general del estudio técnico es demostrar si el proyecto es o no técnicamente factible, justificando desde un punto de vista económico, haber seleccionado la mejor alternativa en tamaño, localización y proceso productivo para abastecer las zonas de interés. Todo en función de la disponibilidad de los recursos y factores productivos tales como: materias primas, tecnología, recursos humanos, costos y en algunos casos políticas de la empresa y del país.

Las partes que integran un estudio técnico a nivel prefactibilidad son las siguientes (Morales & Morales, 2008):

- Localización de las instalaciones
- Tamaño de las instalaciones
- Maquinaria y equipo
- Necesidades de obra civil
- Descripción de los procesos productivos

### **3.24 Estudio económico**

Es el estudio final que se realiza y el más importante dentro de una evaluación de prefactibilidad para determinar si la ejecución de un proyecto es conveniente o no. Se identifican, cuantifican y se valoran los costos y beneficios asociados al proyecto (Pimentel & Salcedo, 2018).

Para esto es necesario realizar el estimado de la inversión requerida, correspondientes a los activos y capital de trabajo.

Para medir la bondad económica del proyecto, es necesario utilizar parámetros económicos, que deben tener la característica de medir el valor del dinero en el tiempo. Algunos de estos son: valor presente (VP), tasa interna de retorno (TIR) y costo anual equivalente (CAE).

El parámetro económico seleccionado para este proyecto es el costo anual equivalente, porque en este proyecto, no se tienen ingresos por la instalación de los paneles fotovoltaicos, se tienen egresos por pago de energía eléctrica y lo que se busca es tener un número que permita la comparación del caso con proyecto y sin proyecto. Se descarta el uso de la tasa interna de retorno porque al momento de invertir en los módulos fotovoltaicos se busca obtener un ahorro por concepto de consumo de energía eléctrica, no hacer crecer la inversión a una determinada tasa de rendimiento en un determinado tiempo.



### 3.25 Costo Anual Equivalente (CAE)

Es un método particularmente útil para evaluar proyectos que constituyen fuentes de egresos, tales como prestar un servicio subsidiado o dar un servicio de apoyo para otras actividades

Para el cálculo del costo anual equivalente es necesario el uso del valor presente. Se tienen sumas de dinero que aparecen en diferentes momentos del tiempo y estas sumas, mediante modelos de matemáticas financieras se les obtiene su valor presente y posteriormente se les convierte en sumas uniformes de dinero a lo largo del tiempo que dura el proyecto. Todo esto se resume en la siguiente ecuación:

$$CAE = VP * \left[ \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right] \quad \text{E.c. (5)}$$

Donde:

CAE = costo anual equivalente

VP = valor presente

i = tasa de interés de oportunidad

n = duración del proyecto (años, meses, días, etc.)

Mientras que el cálculo del valor presente se realiza de la siguiente forma:

$$VP = -Inversión + \sum \frac{F_n}{(1 + i)^n} \quad \text{E.c. (6)}$$

Donde:

n = periodo de tiempo específico en donde se tiene el flujo de efectivo.

## **3.26 Normatividad**

A continuación, se presentan las normas oficiales vigentes, los principales reglamentos y acuerdos vigentes que aplican para este trabajo.

### **RES/142/2017 de la CRE, DOF 07/03/2017**

Definen los modelos de contratos para la interconexión de centrales eléctricas con capacidad menor de 0.5 MW a las redes de distribución, se establecen las especificaciones técnicas generales, el modelo de contrato para determinar la contraprestación aplicable por la energía eléctrica otorgada a la red.

### **NOM 001-SEDE-2012**

Establece las especificaciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a la utilización de energía eléctrica, para que sean seguras para las personas y sus propiedades. En su artículo 690, se especifican estos requerimientos mínimos de seguridad para que sea confiable, durable y segura para el usuario y para el suministrador.

### **NOM-009-STPS-2011**

Se establecen los requisitos mínimos de seguridad para la prevención de riesgos laborales por la realización de trabajos en altura.

### **NOM-017-STPS-2008**

El equipo de seguridad necesario que el patrón debe proveer a los trabajadores para garantizar su seguridad y salud durante la ejecución de sus actividades laborales.

### **NOM-029-STPS-2011**

Se establecen las condiciones mínimas de seguridad para la realización de actividades de mantenimiento de las instalaciones eléctricas.

### **NOM-113-STPS-2009**

Hace referencia a los requisitos mínimos que deberá cumplir el calzado ocupacional para tener la mayor protección posible.

### **PROY-NOM-008-SCFI-2017**

Se establecen las definiciones, símbolos y reglas de escritura de las unidades del Sistema General de Unidades de Medida.

### **Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad Menor a 0.5 MW**

Aquí se establecen las condiciones administrativas y de infraestructura que deben cumplir para la interconexión de la central eléctrica de generación distribuida a las redes generales de distribución.

### **IEC-61173**

Sistemas de protección para una sobrecarga de voltaje en los sistemas fotovoltaicos no conectados y conectados a la red.

### **IEC-60364-7-712**

Diseño seguro de los componentes de una instalación fotovoltaica.

### **IEC-60904-2**

Se refiere a los requerimientos para la clasificación, selección, etiquetado, calibración y cuidado de los dispositivos solares.

### **NMX-J-643/1-ANCE-2011**

Establece los procedimientos para la medición de las características corriente-tensión de dispositivos fotovoltaicos, con luz solar natural o con un simulador solar.

### **NMX-J-618/1-ANCE-2015**

Establece los requisitos para una operación mecánica y eléctrica segura de los módulos fotovoltaicos. Proporciona recomendaciones para prevención de choque eléctrico,

incendios y lesiones. Esta parte de la norma hace referencia a los requisitos para la construcción.

**NMX-J-618/4-ANCE-2012**

Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos, requisitos para calificar el diseño y aprobar los módulos de silicio cristalino.

## Capítulo 4. Metodología de Trabajo

En este capítulo se presenta metodología de trabajo utilizada en este proyecto.

### 4.1 Etapa 1. Revisión bibliográfica

En esta parte se van a revisar casos de éxito, artículos científicos, libros, tesis, reportes y notas para extraer información necesaria referente a la situación actual y a la experiencia que se tiene utilizando paneles fotovoltaicos a fin de sustentar las herramientas utilizadas durante el desarrollo del trabajo.

### 4.2 Etapa 2. Caso de negocio

El caso de negocio se va a desarrollar en las siguientes etapas principales

1. Resumen ejecutivo. Contiene los aspectos más importantes del proyecto, resaltando los números más importantes y los factores clave que lo componen. Para dar esta información, el contenido se va a dividir en los siguientes puntos clave:
  - Descripción del proyecto
  - Identificación del problema a resolver
  - Características del proyecto
  - Justificación de la alternativa elegida
2. Objetivos del proyecto y del negocio. Se van a responder las siguientes preguntas: ¿qué? ¿cómo? y ¿para qué? Del plan de negocio del proyecto.
3. Selección de la tecnología. Este se va a basar en el método Promethee y para desarrollarlo se van a seguir las siguientes etapas:

- Selección de alternativas tecnológicas: aquí se van a identificar las alternativas que dan solución al problema de selección tecnológica. Para este caso se seleccionaron 3 diferentes tecnologías que fueron: silicio PERC monocristalino, silicio policristalino y telururo de cadmio (CdTe). Se seleccionan estas tecnologías debido a que las 2 primeras son las más comunes dentro del mercado fotovoltaico y la última, porque en diferentes investigaciones han obtenido un excelente desempeño contra condiciones climatológicas adversas y altos niveles de contaminación.
- Selección de criterios: se seleccionan los criterios con el fin de poder asignarles un peso o una calificación. Esta selección de criterios se realizó bajo juicio propio, basando este principalmente en la información disponible en la literatura. En la tabla 4.1 se muestran los criterios seleccionados para la evaluación de la tecnología.

Tabla 4.1. Factores considerados para la evaluación de tecnología.

<b>Criterios</b>
Eficiencia
Actualización del proceso
Resistencia a los cambios de temperatura
Mantenimiento
Mano de obra requerida
Sistemas de seguridad
Espacio requerido para la instalación
Experiencia en el uso de la tecnología
Procura (nacional y extranjeros)
Costo de inversión estimado
Disponibilidad en el mercado

Es importante mencionar que una selección tecnológica más extensa incluye criterios, como lo son evaluación técnica del proyecto, evaluación financiera, evaluación ambiental, aspectos plausibles, aspectos contractuales, entre otras y a su vez, estos criterios contienen subcriterios que son aquellos que se mostraron en la tabla 4.1. Para fines de

este trabajo únicamente se presenta la selección de subcriterios, ya que mostrar la selección completa de criterios y subcriterios sale del alcance de este trabajo.

Definición de pesos o calificaciones: los pesos asignados a los criterios no dependen de una regla general, se van a asignar basándose en la información revisada en la literatura. Es importante mencionar que tanto la selección de los criterios y sus correspondientes pesos, dependen de las prioridades y percepciones de quien toma la decisión y esto representa la libertad que se tiene para la elección. En la tabla 4.2 se muestran una tabla esquema de los criterios y pesos asignados.

Tabla 4.2. Esquema de pesos asignados a los criterios.

Criterios	Peso
Eficiencia	P%
Actualización del proceso	P%
Resistencia a los cambios de temperatura	P%
Mantenimiento	P%
Mano de obra requerida	P%
Sistemas de seguridad	P%
Espacio requerido para la instalación	P%
Experiencia en el uso de la tecnología	P%
Procura (nacional y extranjeros)	P%
Costo de inversión estimado	P%
Disponibilidad en el mercado	P%

Donde se tiene que cumplir que:

$$\sum_{i=1}^{nC} P_i = 1 \text{ o } 100\%$$

E.c. (7)

Donde:

$P_i$  = porcentaje o peso del aspecto  $i$

$nC$  = número de criterios considerados

- Calificación de criterios: en cuanto a la calificación de criterios, estos se clasificaron en cuantitativos y cualitativos. Los primeros se calificaron de acuerdo con valores propios del criterio (eficiencia, área, etc.). En la tabla 4.3 se muestran los valores asignados a estos criterios y su clasificación.

Tabla 4.3. Criterios y tipo de evaluación.

Criterios	Tipo	Calificación
Eficiencia	cuantitativo	ef. %
Actualización del proceso	cualitativo	5 puntos
Resistencia a los cambios de temperatura	cualitativo	5 puntos
Mantenimiento	cuantitativo	precio
Mano de obra requerida	cualitativo	5 puntos
Sistemas de seguridad	cualitativo	5 puntos
Espacio requerido para la instalación	cuantitativo	m <sup>2</sup>
Experiencia en el uso de la tecnología	cualitativo	5 puntos
Procura (nacional y extranjeros)	cualitativo	5 puntos
Costo de inversión estimado	cuantitativo	precio
Disponibilidad en el mercado	cualitativo	5 puntos

Los criterios cualitativos, basándose en una escala llamada de 5 puntos, la cual se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Calificación de atributos cualitativos.

Descripción	Calificación
Muy pobre	1
Pobre	2
Promedio	3
Bueno	4
Muy bueno	5

- Determinar preferencias: Promethee, para cada criterio tiene asociada una función de preferencia para hacer las comparaciones de criterios en cada alternativa analizada. Para esto existen 6 funciones asociadas: común, U-



shape, V-shape, nivel, lineal y gaussiana. En criterios cuantitativos pueden utilizarse las funciones: lineal, U-shape o V-shape de acuerdo con el grado de preferencia que exista y en criterios cualitativos están las funciones: común y de nivel las cuales dependen del nivel de puntuación. En este trabajo, para los criterios cuantitativos se va a utilizar la función lineal, que indica si el criterio es indiferente o no y para los criterios cualitativos se va a utilizar la función común, por ser una escala de 5 puntos.

- Análisis Promethee: después de haber calificado los criterios, pesos y preferencias, se utiliza el software Visual Promethee, donde se van a obtener 2 tipos de resultados: el primero que corresponde a Promethee I corresponde a flujos o calificaciones parciales positivas y negativas ( $\Phi^+$  y  $\Phi^-$ ) de las alternativas, para obtener el grado en que las alternativas dominan y son dominadas. Mientras que en Promethee II se obtienen los flujos netos  $\Phi$ , donde el mayor se considera la mejor opción.
- Recomendar la tecnología: con base en los resultados de los flujos  $\Phi$  obtenidos con el software se recomienda la mejor tecnología para este proyecto. Esto se realiza en el siguiente capítulo.

4. Estimado de Inversión. Para la elaboración del estimado de inversión se van a utilizar cotizaciones de proyectos anteriores y precios aproximados reportados por proveedores en sus sitios de internet. Se hizo de esta manera porque a pesar de que, si existen costos unitarios de paneles fotovoltaicos, estos no consideran los costos por instalación. Cuando un proveedor hace una cotización, los primeros datos que solicitan son los últimos recibos de luz y los pisos del edificio en cuestión, esto para estimar la mano de obra (en caso de que hagan el montaje) y material necesario para la instalación y así incluirlo en el costo final. Es por eso, que con base en la información recopilada se hizo un estimado del costo por watt instalado, el cual fue de \$38.76 pesos. En el siguiente capítulo, se presenta esta información con más detalle.

### 4.3 Etapa 3. Estudio de Mercado

En esta parte se va a adaptar la metodología que propone el Centro Europeo de Empresas e Innovación. La metodología consiste en:

1. Establecer los objetivos. Se va a precisar que es lo que se quiere conseguir con dicho estudio, que en nuestro caso es seleccionar los edificios candidatos a la instalación de paneles fotovoltaicos y estimar su demanda energética a partir del modelo de cálculo propuesto por (CONUEE, 2019), que se basa en hacer una medida donde se indica la cantidad de electricidad consumida por unidad de área. Cada edificio tiene un ICEE (Índice de Consumo de Energía Eléctrica), el cual varía según la región climática en la que se encuentre.

Para estimar el consumo eléctrico se usa la siguiente ecuación:

$$E_{ij} = ICEE \times S \quad \text{E.c. (8)}$$

Donde:

S= La superficie del edificio

La superficie de cada edificio se va a estimar con ayuda del programa Google Earth.

2. Determinar las necesidades de información. Se obtiene la información necesaria para hacer el cálculo de consumo de energía eléctrica por edificio. Se necesitan los ICEE por región climática y la superficie de cada edificio. En la tabla 4.5 se muestran estos datos.

Tabla 4.5. ICEE por tipo de edificio y región climática.

Tipo de edificio	Cálido seco	Cálido húmedo	Templado
Hoteles	325.4	281	155.3
Oficinas	167.8	199.7	109.6
Escuelas	169.8	98.2	40.5
Hospitales	460.3	393.4	218.5
Restaurantes	326.7	336.3	210.3
Comercios	191.9	229.3	115.9
Supermercados	403.2	443.1	334.8
Cines	242.8	242.8	242.8

Fuente: (CONUEE, 2019).

3. Recopilación, tratamiento y análisis de la información obtenida. En este paso se va a obtener el consumo de energía eléctrica para cada edificio, a partir de la ecuación anteriormente presentada.
4. Análisis FODA. Se hace con el objetivo de analizar la situación actual de los equipos fotovoltaicos e identificar las principales fortalezas y debilidades de su implementación en edificios de servicios públicos, así como ofrecer un claro diagnóstico para poder tomar las decisiones oportunas y mejorar en el futuro.
5. Obtención de datos para el estudio técnico. Se van a recopilar los datos obtenidos y analizados con el fin de tener la información necesaria para seguir con el estudio técnico.

#### 4.4 Etapa 4. Estudio Técnico

Para realizar el estudio técnico se van a seguir los pasos propuestos por (Morales & Morales, 2008) en su libro: *“Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación”* y se van a adaptar a nuestro proyecto. La primera parte del estudio técnico va a consistir en identificar la macrolocalización y microlocalización de los edificios seleccionados,

posterior se van a identificar las instalaciones físicas necesarias, la lista de equipo, se va a realizar el predimensionamiento del mismo y las necesidades de obra civil.

1. Ubicación de edificios. Con ayuda del programa Google Earth se van a ubicar los edificios seleccionados en cuanto a latitud, longitud (macrolocalización) y dirección exacta (microlocalización), para la instalación de los paneles fotovoltaicos.
2. Instalaciones necesarias y lista de equipo. Se van a identificar todos los requerimientos técnicos y equipos necesarios para la puesta en marcha del proyecto.
3. Predimensionamiento. A partir de hojas de datos de proveedores se van a obtener las dimensiones preliminares de los paneles fotovoltaicos.
4. Obra civil. Se va a dar por hecho que los edificios seleccionados cumplen con el requerimiento estructural necesario para la instalación de los equipos.

## **4.5 Etapa 5. Estudio Económico**

El estudio económico únicamente va a consistir en un análisis del costo anual equivalente del caso “con proyecto” y “sin proyecto”. Para realizar dicho análisis se necesitan datos históricos de las tarifas eléctricas para estimar su crecimiento a futuro y a su vez, se va a considerar el caso donde los equipos fotovoltaicos se pagan en un plazo de 5 años, con una determinada tasa de interés. También van a ser necesarios datos obtenidos de los anteriores estudios, tales como el consumo eléctrico por edificio. El estudio se realizó de acuerdo con las siguientes etapas:

1. Búsqueda de datos históricos. En esta etapa se obtuvieron datos provenientes del Sistema de Información Energética (SIE) de SENER para poder estimar las tarifas eléctricas futuras. Es importante mencionar que, de acuerdo con el nuevo esquema tarifario, existen 2 tipos de tarifas; la variable y la fija. La primera corresponde al costo por kWh neto consumido en un determinado periodo, y los valores históricos si se encuentran en el banco de datos del SIE, mientras que la

segunda se refiere a la parte del consumo eléctrico que el usuario se compromete a comprar de manera fija durante un periodo de 12 meses y esta no se encuentra disponible en el SIE, únicamente en la página de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) a partir del año 2018. La tarifa fija depende de la categoría tarifaria en la cual se ubique el usuario, para este trabajo se va a considerar una tarifa PDBT (Pequeña Demanda en Baja Tensión) porque, en otras cotizaciones de proyectos similares, las evaluaciones se realizan en esta categoría tarifaria. Para poder decir de manera precisa la categoría tarifaria de cada edificio es necesario tener acceso a los recibos de electricidad, información con la cual no se cuenta y es por lo que se realiza esta aproximación. Las proyecciones de ambas tarifas se hicieron mediante una regresión lineal, para la tarifa variable se usaron valores promedios de las tarifas anuales (obtenidos de los valores de tarifas mensuales reportados en la página del SIE) a partir del año 2005 y hasta el año 2017, porque la página no tiene datos más recientes, y para las tarifas fijas a partir del año 2018 y hasta el año presente. En las figuras 4.1 y 4.2 se presentan las gráficas de las regresiones lineales para la tarifa variable y fija respectivamente.

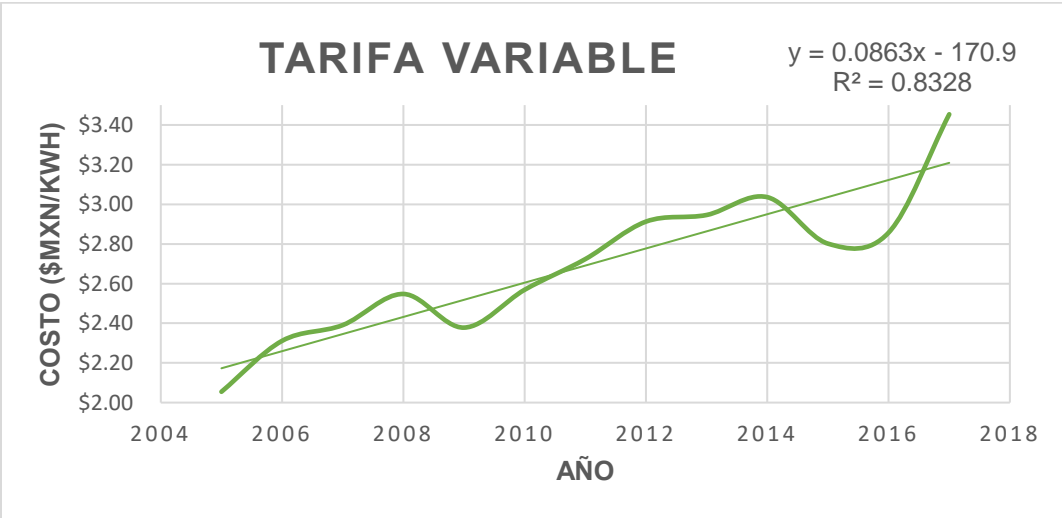


Figura 4.1. Regresión lineal de la tarifa eléctrica variable<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Fuente: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/precios-medios-de-energia-electrica-por-sector-tarifario>  
 Fecha de consulta: 20/02/20.

$$y = 0.0863x - 170.9$$

E.c. (9)

$$R^2 = 0.8323$$

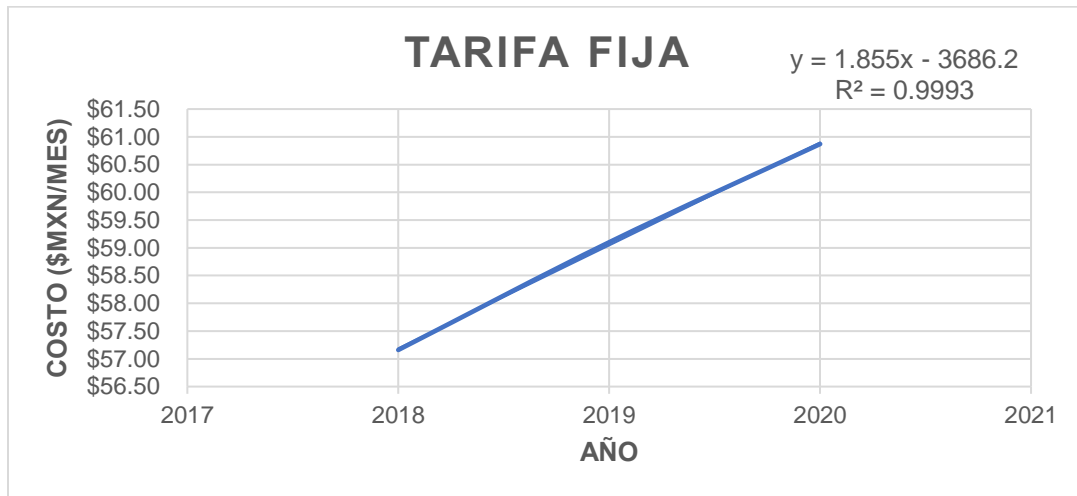


Figura 4.2. Regresión lineal de la tarifa eléctrica fija<sup>3</sup>.

$$y = 1.855 - 3686.20$$

E.c. (10)

$$R^2 = 0.9963$$

2. Financiamiento. Una de las consideraciones es que los paneles fotovoltaicos se van a poder pagar en un lapso de 5 años, a una determinada tasa de interés. El esquema de pagos que se usa la devolución del capital se hace en cuotas anuales iguales y los intereses causados se pagan al momento en que se generan. Este esquema es el que la mayoría de los bancos utilizan para el cálculo de los pagos cuando les solicitan un préstamo. El modelo es el siguiente:

- En el año 0 se obtiene el préstamo, aquí no se genera interés, si no hasta el siguiente año

<sup>3</sup> Fuente:

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/PequenaDemandaBT.aspx>  
Fecha de consulta 03/04/20.

- En el año 1 se paga el primer abono a capital (que es el mismo los 5 años), junto con el pago de interés correspondiente. El interés se considera de 14.5%, ya que, en proyectos similares las empresas que ofrecen financiamiento para el pago de los equipos fotovoltaicos usan esta tasa. Así mismo, se consideró la inflación anual reportada por Banxico<sup>4</sup> que fue de 3.2% y esta se descontó para obtener una tasa real con un valor de 10.9%.

$$R = P \left( \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad \text{E.c. (11)}$$

Donde:

R = pago anual

P = valor presente del monto a financiar

i = interés

n = periodo (5 años)

- En los años posteriores, el nuevo capital es la resta del capital del año anterior, menos el desembolso anual realizado (pago hecho a capital). Se explica en la siguiente ecuación.

$$CA_n = CA_{n-1} - (\text{pago a capital}) \quad \text{E.c. (12)}$$

Donde:

CAn = capital del año actual

CAn-1 = capital del año anterior

### 3. Cálculo del costo anual equivalente. Para el cálculo de los flujos de efectivo del proyecto y su posterior cálculo del CAE, se van a seguir los siguientes pasos:

- Consumo eléctrico: este dato se va a obtener del estudio de mercado y para estimar su aumento a lo largo del tiempo se va a considerar un incremento

---

<sup>4</sup> Fuente: <https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=inf&idioma=sp> fecha de consulta 25/02/20

del 2.4% anual, tal como lo estima la SENER en su documento PRODESEN 2019-2033.

- Tarifa eléctrica variable y fija: el costo de ambas a lo largo del tiempo para el cálculo de los flujos finales se va a realizar de la manera que se explicó anteriormente.
- Ahorro previsto y energía final: para estimar el ahorro previsto se va a considerar una producción anual constante de 153,931 kWh y la energía final va a ser la resta del consumo eléctrico menos este ahorro.
- Flujo de efectivo final: el flujo de efectivo final va a ser la suma del costo de energía que se va a comprar más el desembolso por el pago de los módulos fotovoltaicos los primeros 5 años y un costo de mantenimiento que se va a estimar de 10 dólares al año. Este costo se obtiene de la literatura revisada en la cual, todos los autores que han realizado estudios de prefactibilidad o de costo beneficio consideran este costo por mantenimiento de los equipos.

$$FE = CE + CA_n + M \quad \text{E.c. (13)}$$

Donde:

FE = Flujo de efectivo final

CE = Costo de la electricidad

CA = Costo del financiamiento

M = Costo del mantenimiento

4. Valor Presente. Una vez teniendo los flujos de efectivo final, a estos valores futuros, se les va a calcular su valor presente, con la siguiente ecuación:

$$VP = \sum \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad \text{E.c. (14)}$$

Donde:

$F_n$  = flujo de efectivo del año en cuestión

$i$  = tasa de interés del proyecto



La tasa de interés de este proyecto se va a considerar de 12%, basándonos en las tasas de descuento obtenidas en la página Damodaran, que es utilizada para estimar este tipo de información<sup>5</sup>. En este caso se utilizó la tasa que se presenta para proyectos “verdes y de energía renovable” que es de 11.79%, pero para fines de este trabajo, se redondea a 12%

5. Costo Anual Equivalente. El cálculo de este indicador se va a hacer con ayuda del VP a partir de la siguiente ecuación

$$CAE = VP * \left[ \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right] \quad \text{E.c. (15)}$$

---

<sup>5</sup> Fuente: [http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New\\_Home\\_Page/data.html](http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/data.html) fecha de consulta: 17/11/20

## **Capítulo 5. Caso de Negocio**

En este capítulo se presenta el caso de negocio del proyecto.

### **5.1 Resumen ejecutivo**

#### **5.1.1 Descripción del proyecto**

En la Ciudad de México, el gobierno capitalino lanzó el programa “Ciudad Solar” en donde uno de los proyectos plantea la instalación de sistemas fotovoltaicos en los techos de 300 edificios públicos (de gobierno) para finales del año 2024. De manera más puntual, se planea la reconversión de ocho edificios públicos por año, donde se pretende generar 153,931 kWh/año en cada uno de estos.

#### **5.1.2 Identificación del problema a resolver**

De acuerdo con información de SENER, en la capital del país se consumió un total de 12.6 TWh en el año 2017, lo que represento un 6.2% del consumo nacional. Además, gran parte de los habitantes pasan la mayoría de su tiempo en sus oficinas y la parte de estos que corresponde a trabajadores del gobierno local, representa un costo importante por consumo de electricidad. Con esto surge la necesidad de implementar un nuevo modelo energético para cubrir las necesidades actuales y además reduzca las emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente, cumpliendo así con los objetivos estratégicos ambientales del país.

### **5.1.3 Características del proyecto**

Adquisición, instalación y puesta en marcha de los módulos fotovoltaicos para la generación de la energía eléctrica. También la contratación de los servicios de mantenimiento para su correcto funcionamiento e incrementar su tiempo de vida útil.

### **5.1.4 Justificación de la alternativa elegida**

En la Ciudad de México se tiene un gran potencial para el aprovechamiento de la energía solar y uso sustentable de la energía gracias a su ubicación geográfica y condiciones climatológicas. De acuerdo con datos del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (National Renewable Energy Laboratory) en Alemania, que es un líder en cuanto a energía solar se refiere, se tiene una irradiancia promedio de 2.71 kWh/m<sup>2</sup> por día, mientras que en México se tiene 5.19 kWh/m<sup>2</sup> por día. Además, con el uso de la energía solar, se contribuye a la preservación de los medios energéticos no renovables, mejora la calidad de los servicios públicos, se reducen las tarifas por uso de electricidad y ayuda a mitigar el impacto ambiental.

La implementación de paneles fotovoltaicos para la captación de luz solar en techos de edificios de servicios públicos va a representar un ahorro por concepto de energía eléctrica y, así mismo, se ajusta a los objetivos político-energéticos que ha fijado el estado mexicano.

## **5.2 Objetivo del proyecto**

Instalar una red de generación distribuida (módulos fotovoltaicos) en techos de edificios de servicios públicos, para satisfacer los 153,931 kWh/año propuestos en el programa Ciudad Solar para la demanda neta eléctrica, asegurando la confiabilidad y seguridad del suministro eléctrico al escoger la mejor tecnología.

### 5.3 Objetivos del negocio

Reducir los costos de producción de energía eléctrica en los edificios de servicios públicos del gobierno de la CDMX, mediante la instalación de paneles fotovoltaicos en los techos de estos, para tener una red de generación distribuida que además de ser más confiable, reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente.

### 5.4 Selección de tecnología

Para la selección tecnológica, se utilizó el software Visual Promethee.

Primero se asignaron los correspondientes pesos a los criterios seleccionados. En la tabla 5.1 se muestran estos pesos

Tabla 5.1. Pesos asignados a los criterios.

Criterios	Peso
Eficiencia	10%
Actualización del proceso	5%
Resistencia a los cambios de temperatura	10%
Mantenimiento	3%
Mano de obra requerida	4%
Sistemas de seguridad	4%
Espacio requerido para la instalación	12%
Experiencia en el uso de la tecnología	8%
Procura (nacional y extranjeros)	12%
Costo de inversión estimado	10%
Disponibilidad en el mercado	22%

Posteriormente, con ayuda del software se obtuvieron los flujos de dominancia parciales  $\Phi+$  y  $\Phi-$  para el análisis tipo Promethee I, y un flujo total  $\Phi$  para el análisis Promethee II. Estos resultados se presentan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Flujos de dominancia tipo I y II.

Tecnología	$\phi$	$\phi+$	$\phi-$
Policristalino	0.2600	0.5200	0.2600
PERC	0.1350	0.4450	0.3100
CdTe	-0.3950	0.1250	0.5200

De acuerdo con los resultados se puede observar una fuerte dominancia de las tecnologías de silicio (policristalino y PERC) sobre la de telururo de cadmio (CdTe), así mismo la tecnología que obtiene un mayor flujo total es la tecnología basada en silicio policristalino.

La información que respalda la asignación de pesos a los criterios con los cuales el software cálculo los flujos  $\Phi$ , se encuentra en el Anexo 3. Criterios para Evaluación de Matriz Tecnológica.

En las figuras 5.1 y 5.2. se muestran las gráficas obtenidas con el software para Promethee I y II.

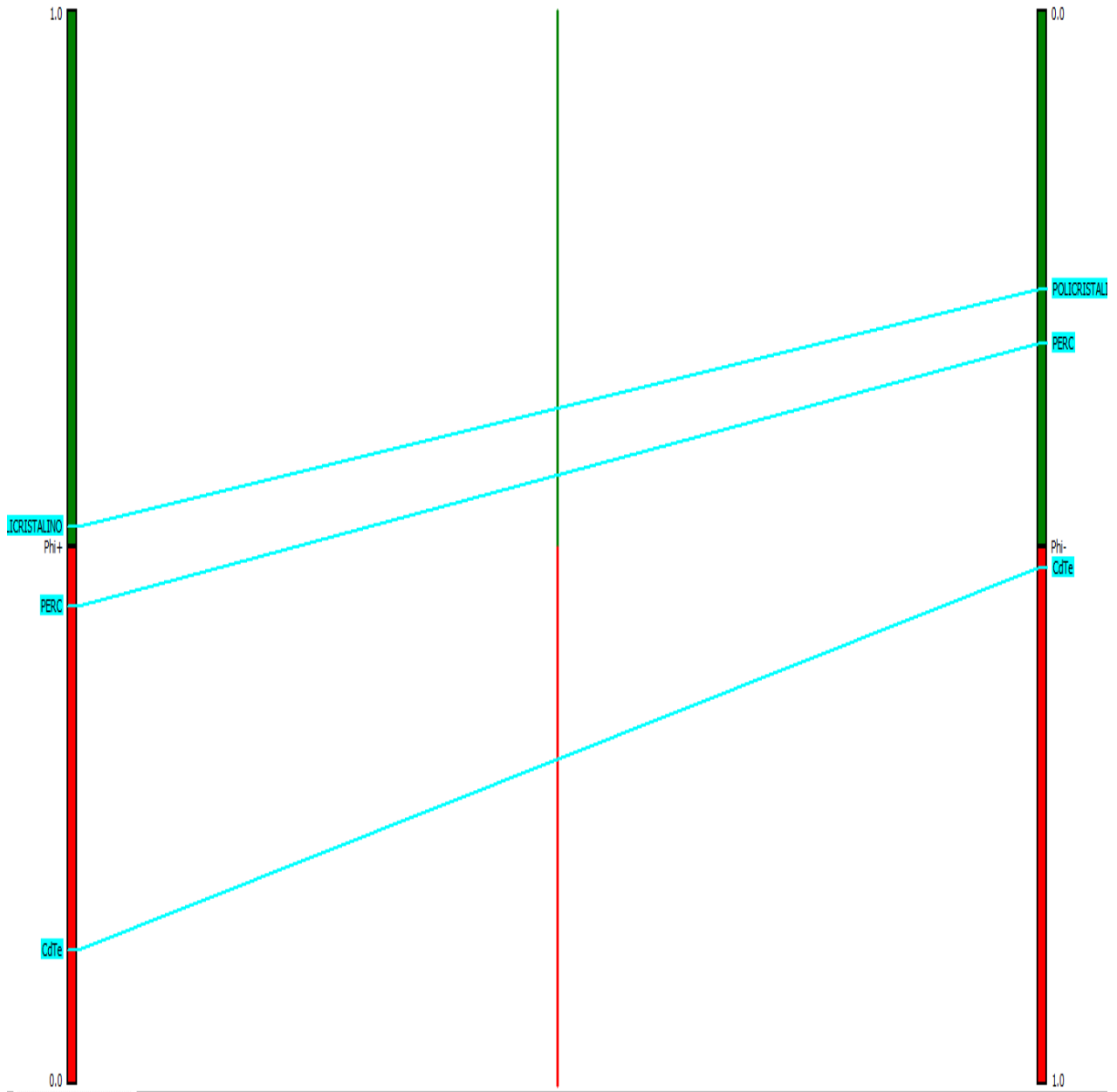


Figura 5.1. Análisis Promethee I.

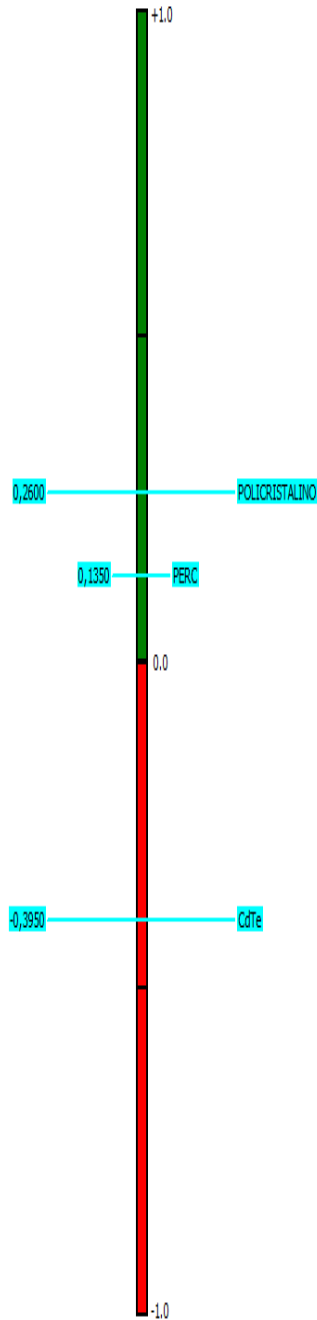


Figura 5.2 Análisis Promethee II.

De acuerdo con los datos obtenidos, se observa que la mejor opción es el silicio policristalino, mientras que la peor opción es el telururo de cadmio, por lo cual se selecciona el silicio policristalino para seguir adelante con este trabajo.

En cuanto a la potencia de los paneles fotovoltaicos, se seleccionaron equipos de 330W para hacer la estimación. Estos equipos, de acuerdo con la información de los proveedores, ocupan un espacio aproximado de 1.9 m<sup>2</sup> (ver tabla 5.1). Así mismo, el sistema estará compuesto por equipos adicionales como un inversor de corriente directa-corriente alterna (DC-AC), equipos medidores para contabilizar la cantidad de energía eléctrica producida, cables y estructuras para la instalación.

En la tabla 5.3 se muestran las dimensiones de los paneles solares de 3 diferentes proveedores, en el mercado mexicano.

Tabla 5.3. Dimensiones de paneles solares.

Proveedor	JA Solar	JinKo	Conermex
Tecnología	Policristalino	Policristalino	Policristalino
P máx. (W)	330	330	330
Largo (mm)	1960	1956	1970
Ancho (mm)	991	992	992

## 5.5 Estimado de inversión para el proyecto

El costo promedio de los paneles se va a considerar de 2.0\$USD/W producido o de 38.76\$MXN, dependiendo de la fecha del tipo de cambio. Este estimado se hizo de acuerdo con la información disponible en diversas cotizaciones de proyectos similares, donde el costo total incluye la instalación y equipos auxiliares necesarios. También se tomó información de costos por watt obtenidos de la feria “Inter Solar 2019” realizada en la Ciudad de México.

Estos equipos se van a ubicar en los techos de los edificios seleccionados, los cuales serán presentados en el estudio de mercado y ubicados en el estudio técnico.

En la tabla 5.4 se muestran los conceptos utilizados para hacer el estimado, así como el área del panel que reportan los proveedores de acuerdo con la potencia del panel.



Tabla 5.4. Costos de paneles solares.

Concepto	Valor	Unidad
Costo por Watt	\$ 2.00	\$USD/W
Costo por Watt	\$ 38.76	\$MXN/W
Potencia por panel	330	W/panel
Área del panel	1.9	m2/panel

En la tabla 5.5 se muestra el estimado de costo y espacio total para la instalación de paneles fotovoltaicos en los 8 edificios.

Tabla 5.5. Costo total y espacio requerido por edificio.

Concepto	Valor	Unidad
Costo por kW instalado	\$ 2,000.00	\$USD/kW
Potencia por panel	0.33	kW/panel
Costo de panel	\$ 660.00	\$USD/panel
Objetivos CDMX	153931	kWh/año/ed
	10	h/día
Jornada laboral	50	h/semana
	2100	h/año
Potencia por edificio	73.30	kW/ed
Tipo de cambio (1)	\$ 19.38	MXN/USD
Costo por edificio	\$ 146,600.95	\$USD/ed
	\$ 2,841,126.46	\$MXN/ed
Costo total (8 edificios)	\$ 22,729,011.66	\$MXN
Potencia por m2	0.17	kW/m2
Espacio por edificio	423.00	m2/ed
Espacio necesario	508.00	m2/ed
Módulos por edificio	223	panel/ed
Potencia total	74.00	kW/ed

Cabe mencionar la diferencia entre los 423 m<sup>2</sup> y los 508 m<sup>2</sup> radica en que se consideró un 20% de espacio adicional para la instalación de las estructuras necesarias, equipo complementario y para la colocación de líneas de vida o cualquier otra medida de protección necesaria para trabajos en alturas enunciada en la NOM-009-STPS-2011. También en el costo de panel aquí mencionado ya se considera el costo por instalación.

## **Capítulo 6. Estudio de Mercado**

En este capítulo se desarrolla el estudio de mercado de este trabajo, basado en la información antes presentada.

### **6.1 Objetivo del estudio de mercado**

Seleccionar los 8 edificios candidatos, de acuerdo con las características de espacio requerido, para poder establecer el sitio de instalación de los paneles fotovoltaicos.

Calcular la demanda de electricidad por cada edificio candidato, mediante la metodología propuesta por (CONUEE, 2019), para saber si la capacidad propuesta de 153,931 kWh/año cubre con los requerimientos energéticos actuales.

### **6.2 Selección de edificios**

Para la selección de edificios, como ya se mencionó antes, únicamente se utilizó el criterio de espacio suficiente para la instalación de los equipos fotovoltaicos.

Otra consideración importante, fue que del espacio total necesario se consideró un 20% adicional, para la instalación de las estructuras necesarias, equipo complementario y para la colocación de líneas de vida o cualquier otra medida de protección necesaria para trabajos en alturas. Por lo cual, el espacio mínimo requerido para la instalación de equipos es de 508 m<sup>2</sup>.

El primer espacio que se seleccionó fue el utilizado por el STC Metro de la CDMX, ubicado en la calle de Delicias 65, colonia Centro. Este terreno cuenta con múltiples edificios, de los cuales se eligieron, por cuestiones de espacio, el edificio anexo para control de líneas y un edificio para trabajo administrativo para la instalación de los equipos fotovoltaicos. La energía generada en estos puntos se espera que cubra parte de la

demanda de los edificios en cuestión y del edificio de oficinas centrales, que se encuentra en medio. En la figura 6.1 a la 6.6 se muestra el área seleccionada para la instalación de los paneles, mientras que en la figura 6.7 a la 6.12 se muestra la superficie total.

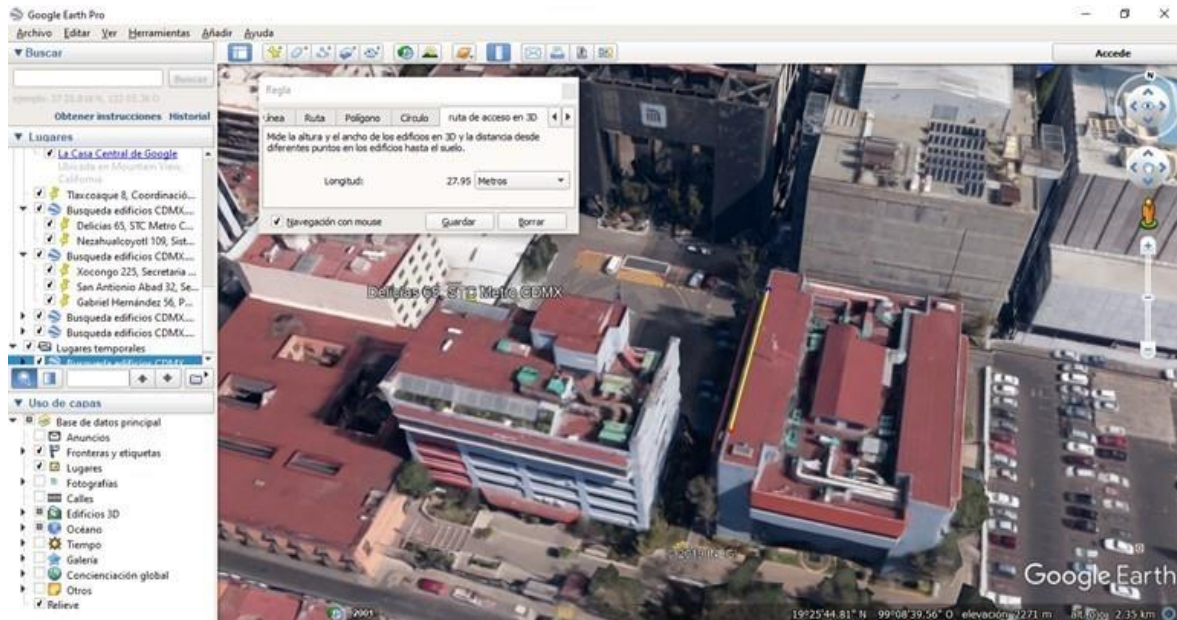


Figura 6.1. Área de instalación de paneles 1.

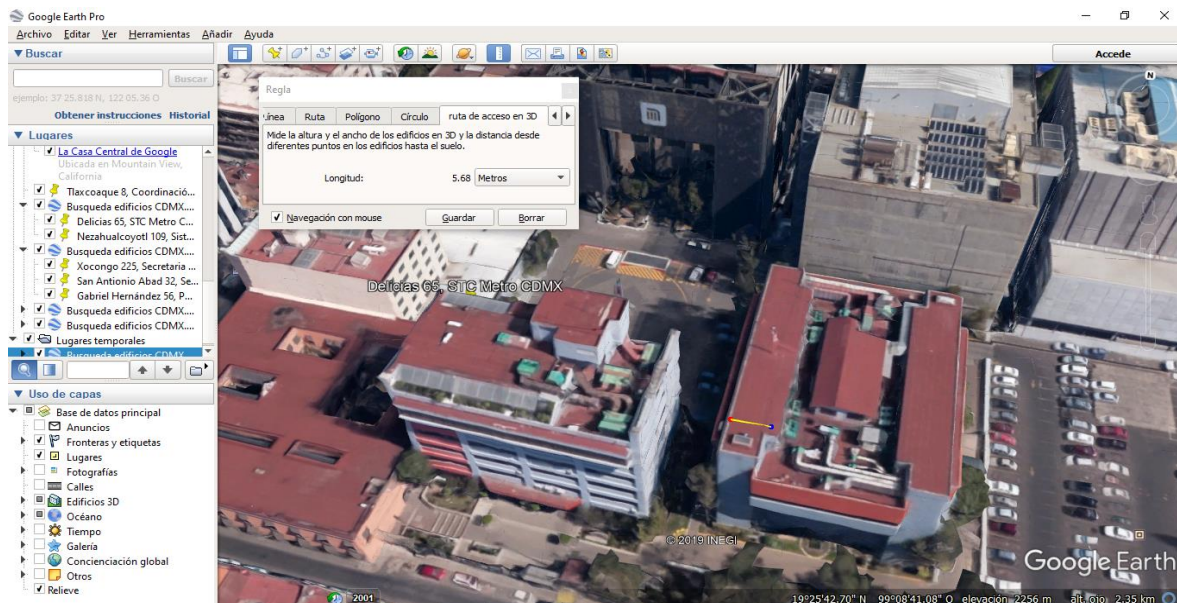


Figura 6.2 Área de instalación de paneles 2.





Figura 6.3. Área de instalación de paneles 3.

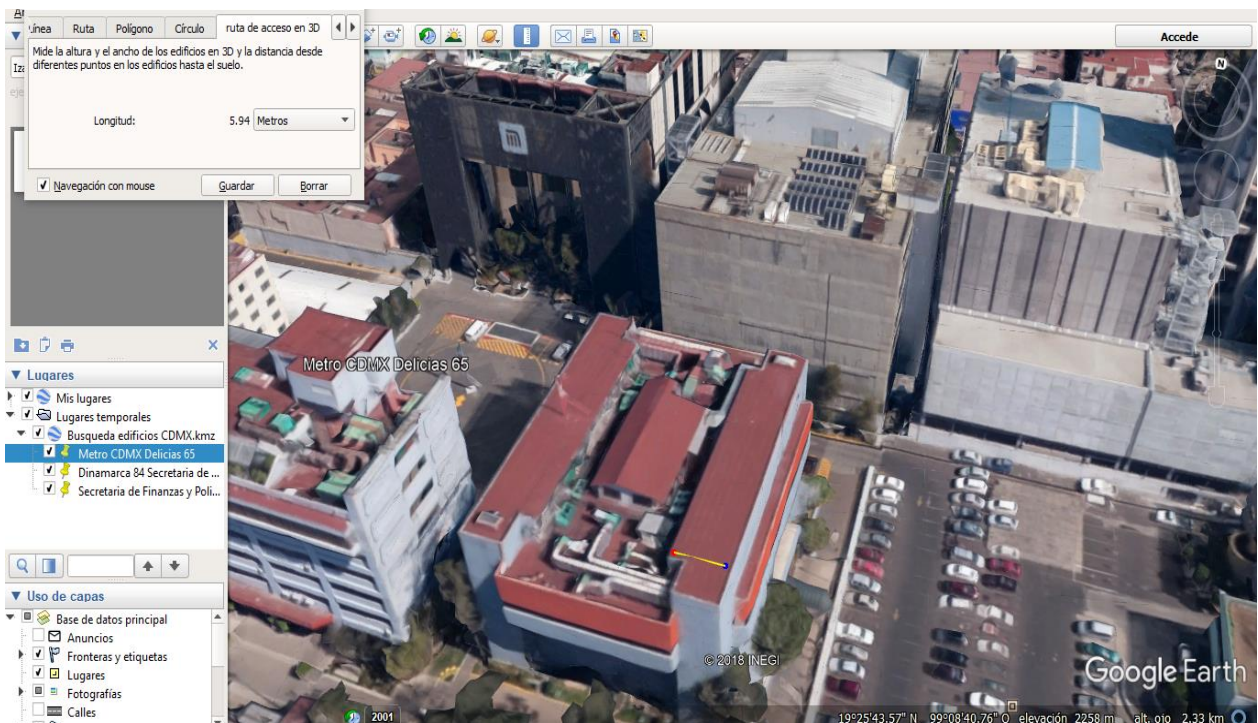


Figura 6.4. Área de instalación de paneles 4.



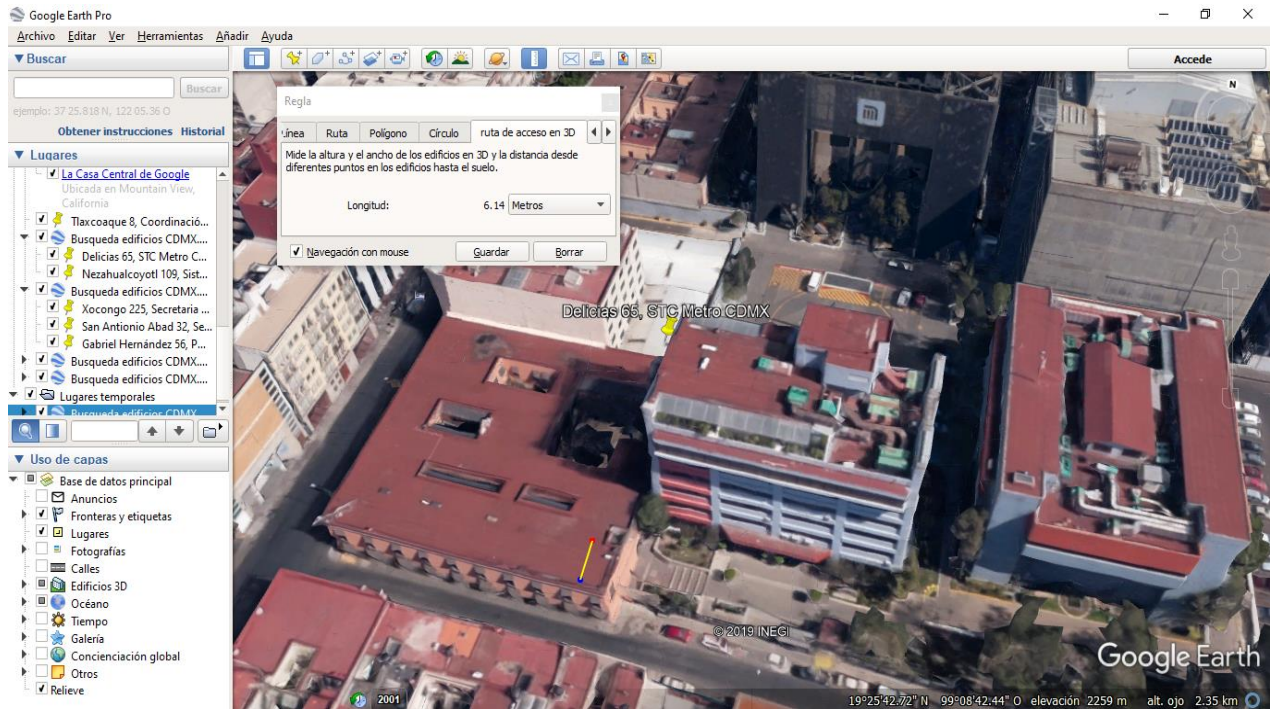


Figura 6.5. Área de instalación de paneles 5.

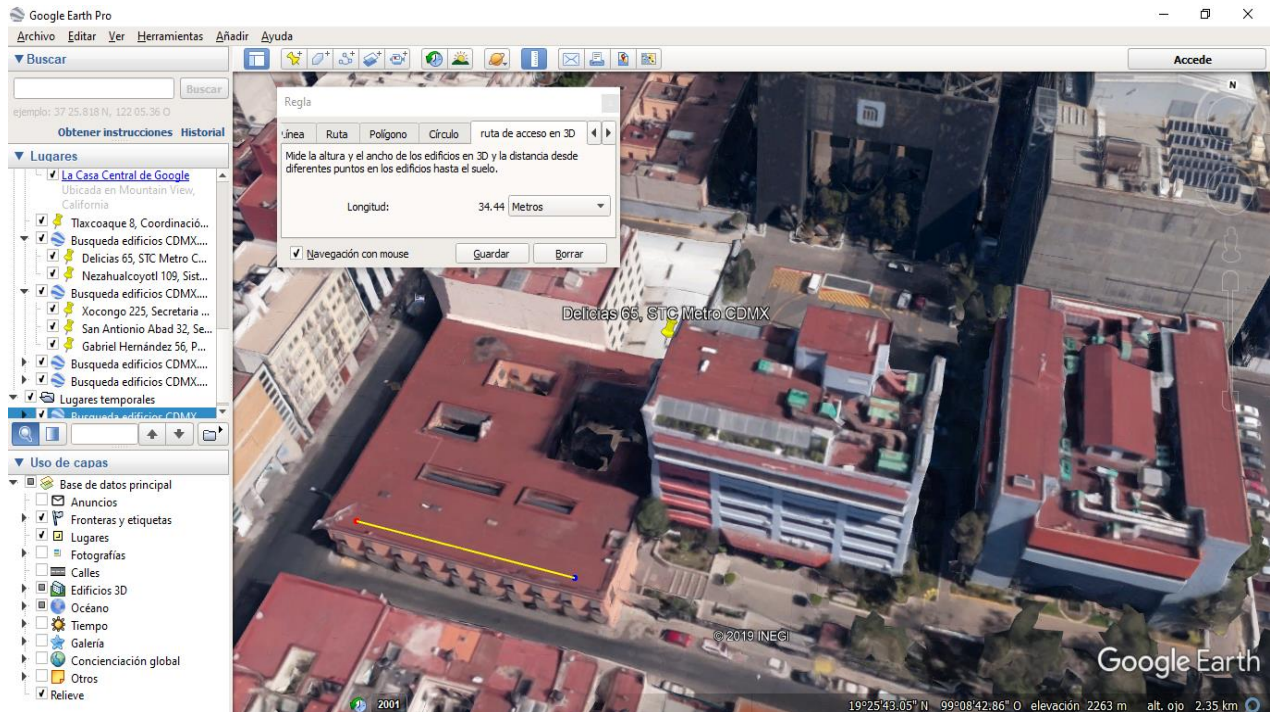


Figura 6.6. Área de instalación de paneles 6.



## Superficie

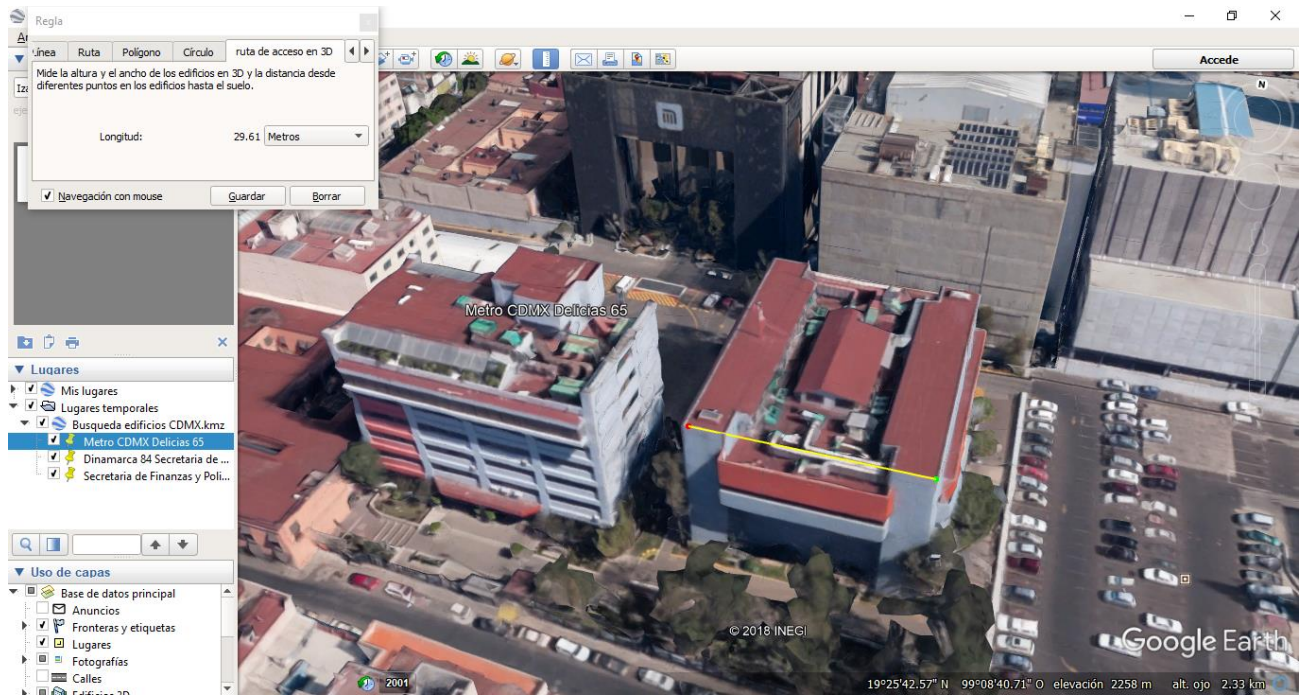


Figura 6.7. Superficie disponible 1.

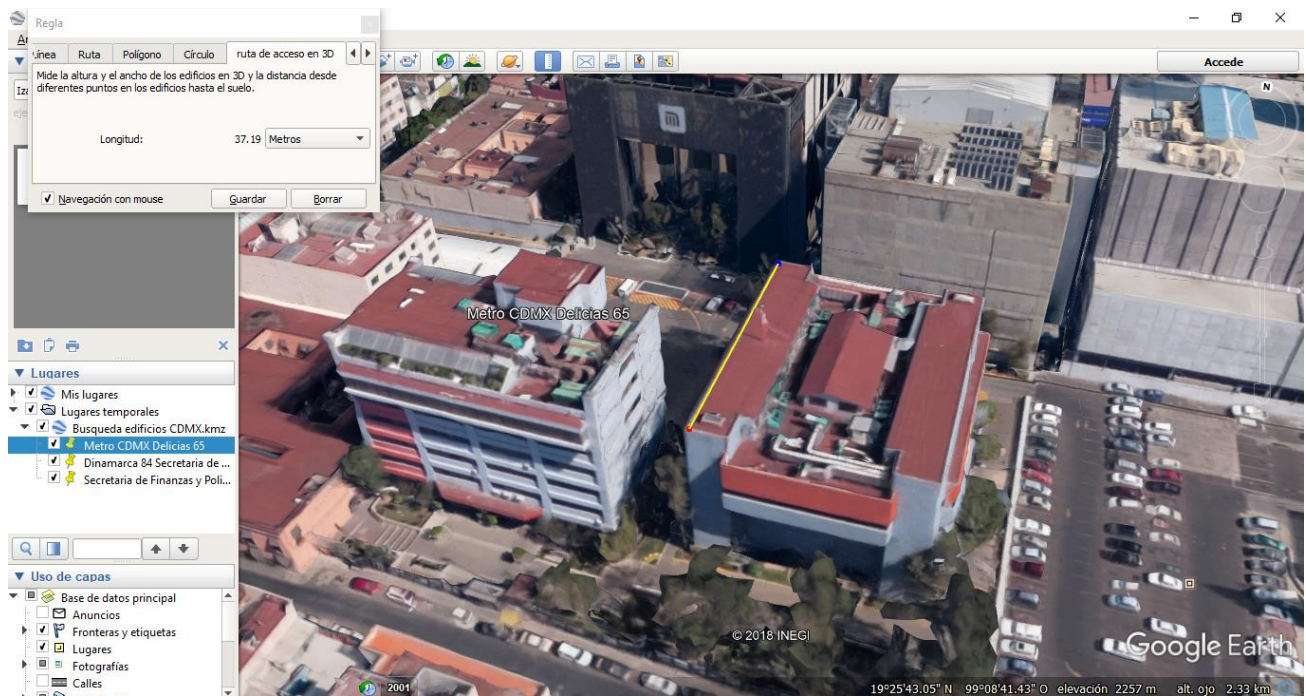


Figura 6.8. Superficie disponible 2.



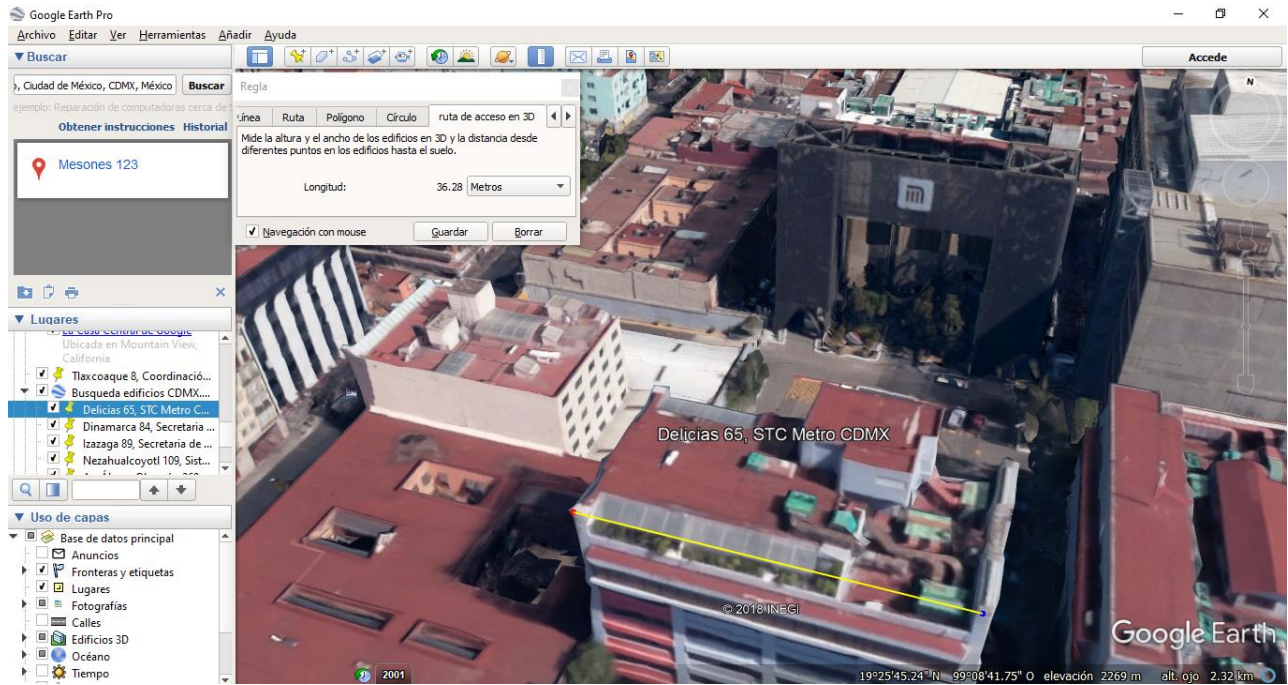


Figura 6.9. Superficie disponible 3.

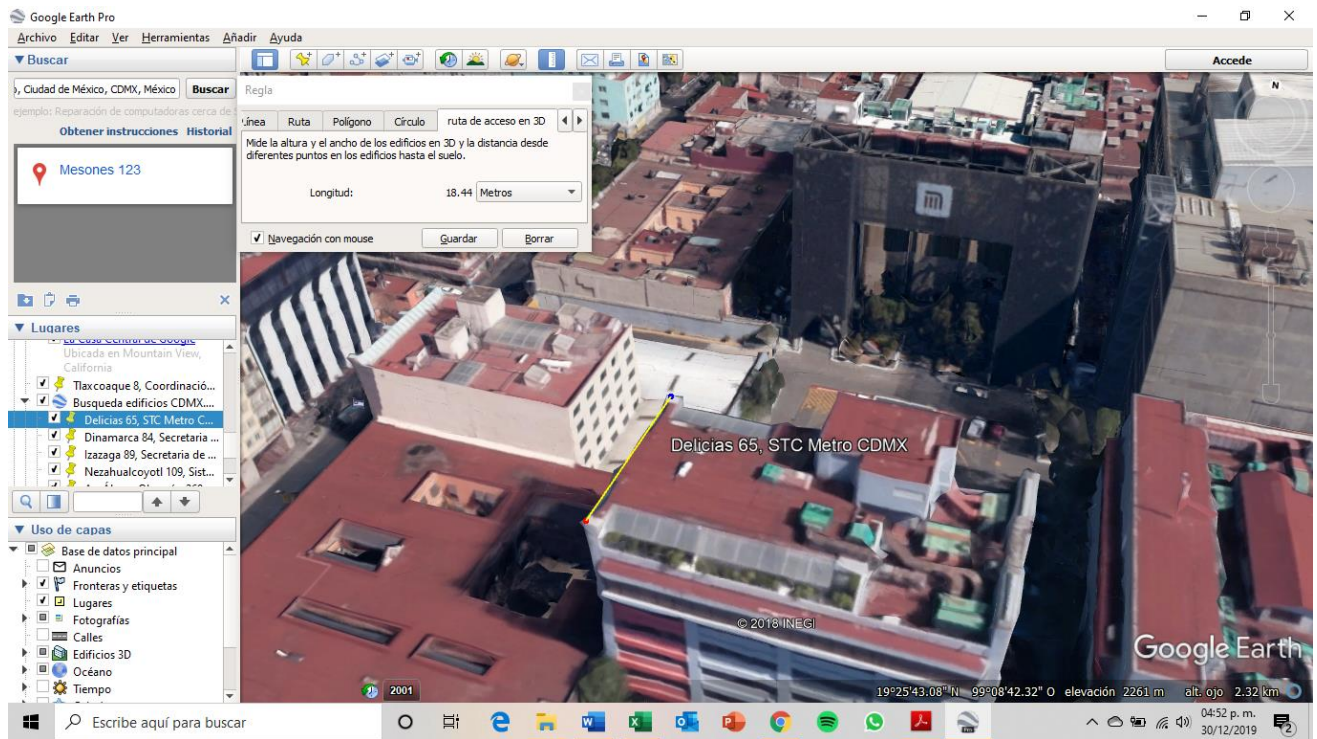


Figura 6.10. Superficie disponible 4.



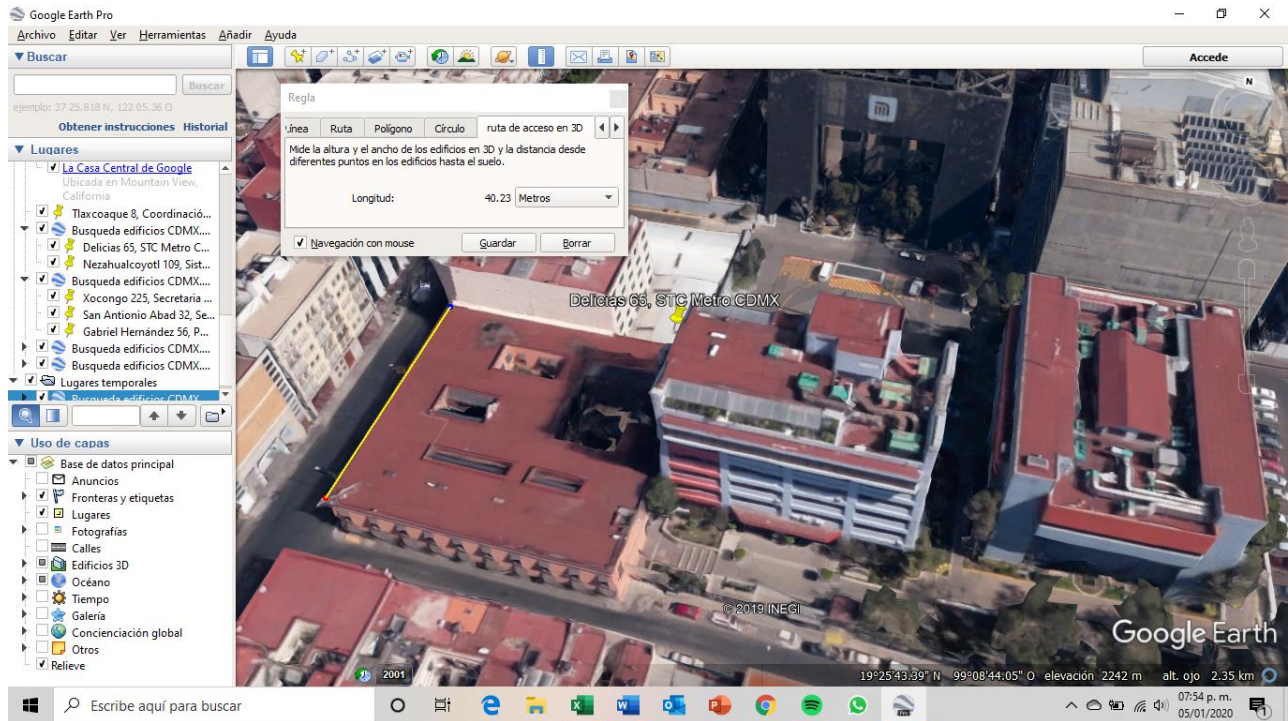


Figura 6.11. Superficie disponible 5.

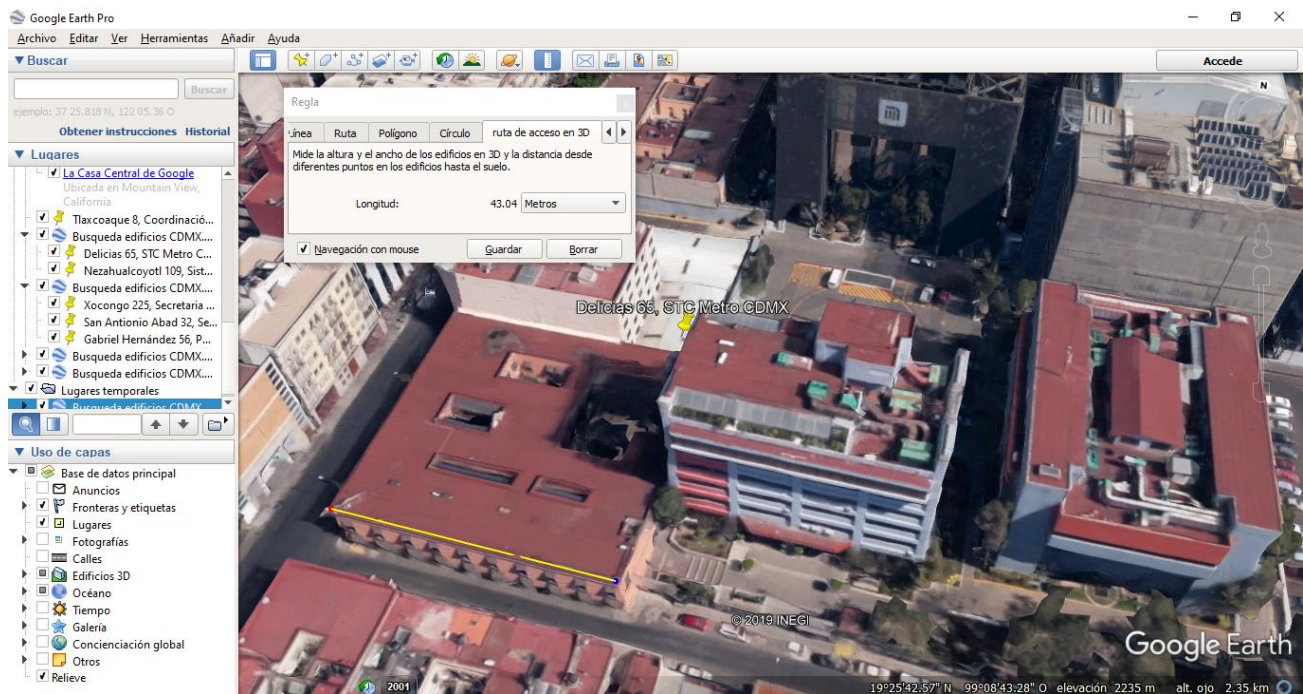


Figura 6.12. Superficie disponible 6.

Este sitio tuvo una superficie disponible para instalación de 538 m<sup>2</sup> y una superficie total de 3,502 m<sup>2</sup>. En la tabla 6.1 se resumen los edificios seleccionados y la superficie de cada uno de estos.

Tabla 6.1. Edificios seleccionados.

Clave	Edificio	Superficie disponible (m <sup>2</sup> )	Superficie total (m <sup>2</sup> )
STC	STC Metro	538.20	3501.70
SACMEX	Sistema de Aguas CDMX	594.62	1503.30
CGMA	Coordinación general de modernización administrativa	657.86	3023.32
TESORERÍA	Tesorería CDMX	533.21	9120.57
SALUD	Secretaría de salud CDMX	730.42	2429.35
STFE	Secretaría de trabajo y fomento al empleo CDMX	514.65	1543.73
PGJ	Procuraduría General de Justicia CDMX	678.01	15071.73
SUBCT	Subsecretaría de control de tránsito	563.31	1652.5

En el Anexo 2, se muestran las imágenes de los otros edificios seleccionados con los resultados de las mediciones hechas por Google Earth.

### 6.3 Demanda de energía actual

Para el cálculo de la demanda de energía, se utilizó la ecuación 8:

$$E_{ij} = ICEE \times S$$

Las unidades del ICEE Kwh/año/m<sup>2</sup>, mientras que las unidades de S (superficie ocupada por el edificio) son m<sup>2</sup>. Los resultados, junto con la energía necesaria a comprar y el porcentaje de ahorro, se muestran en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Resultados de demanda energética.

Edificio	CE (kWh/año)	Energía por comprar (kWh/año)	Energía por comprar	Ahorro
STC	383,786.13	229,855.13	59.89%	40.11%
SACMEX	164,761.73	10,830.73	6.57%	93.43%
CGMA	331,355.64	177,424.64	53.55%	46.45%
TESORERÍA	999,614.69	845,683.69	84.60%	15.40%
SALUD	266,256.56	112,325.56	42.19%	57.81%
STFE	169,192.94	15,261.94	9.02%	90.98%
PGJ	1,651,861.72	1,497,930.72	90.68%	9.32%
SUBCT	181,114.00	27,183.00	15.01%	84.99%

## 6.4 Análisis FODA

### 6.4.1 Fortalezas

- Evolución de los costos en el tiempo: Desde su introducción al mercado de los paneles solares hasta hoy en día, sus costos se han reducido en más de 6 veces. Hoy en día se tienen costos relativamente accesibles para paneles fotovoltaicos que en países como Italia, Grecia y Alemania la energía solar contribuye 7.9%, 7.6% y 70% respectivamente. Actualmente, los bajos costos de los paneles de silicio cristalino han desplazado a los de capa fina, a pesar de su ventaja en el ensamblado. Los costos por generación de 1 watt de potencia para paneles solares de silicio policristalino oscilan los 0.285\$ USD.
- Mantenimiento: Los costos por mantenimiento de los paneles rondan los 10\$USD, donde únicamente se requiere limpiar el panel debido a que las capas de polvo generadas por la exposición al ambiente pueden afectar su desempeño.
- No Generan Contaminación: Los paneles fotovoltaicos no generan ningún tipo de gas de efecto invernadero en comparación con las plantas de ciclo combinado o termoeléctricas
- Ciclo de Vida: Si ciclo de vida varía de los 25 a los 30 años, por lo cual son una buena alternativa a largo plazo.

### 6.4.2 Debilidades

- Eficiencia de las Celdas: De acuerdo con los últimos avances tecnológicos, la eficiencia de las celdas únicamente alcanza valores entre 10% y 15% de eficiencia, lo cual representa una gran pérdida en relación con la cantidad de energía captada del sol. Existen celdas que han reportado valores de eficiencia superior al 20%, sin embargo, sus costos son demasiado elevados y no representa una alternativa

viable para un proyecto que busque reducir costos por generación de energía eléctrica.

- Tecnología: Aunque existen celdas de diferentes materiales en el mercado, como las basadas en telururo de cadmio (CdTe), que en gran medida con este material se producen las celdas llamadas de "película delgada", o en calcopiritas (Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>) o CIGS, el mercado sigue dominado por las celdas silicio cristalino (monocristalino o policristalino), siendo las de policristalino las más vendidas debido a su bajo costo. Otro factor importante de los paneles solares es que son menos adaptables a las grandes fluctuaciones de carga y pueden colapsar.
- Componentes e Instalación: Los componentes como inversores o baterías muestran bajos desempeños y tienen una vida útil muy corta, por lo cual habría que cambiar de manera constante estos aparatos. En cuanto a la instalación, aunque ya existe una mayor capacitación de personal, sigue sin ser suficiente para cubrir la demanda. Otro aspecto importante es que no existen instalaciones para el reciclado de paneles debido a sus materiales (plata, telurio, cadmio, indio, etc.) lo cual representa un riesgo al medio ambiente.

### 6.4.3 Oportunidades

- Políticas Nacionales e Internacionales: El gobierno mexicano ha realizado muchos esfuerzos por elaborar leyes y reglamentos para promover el uso de energías renovables, un ejemplo de ello es la Reforma Energética y ha elaborado muchos documentos donde plantea sus visiones a futuro. Dichos documentos son: Mapa de ruta solar fotovoltaico, Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019-2033, Balance de Energía 2017, entre otros. Con respecto a la política internacional, México se encuentra dentro de los "Acuerdos de Paris" para combatir el cambio climático, a su vez, ya forma parte de los países adjuntos a IRENA, donde han sumado esfuerzos para planear estrategias para la implementación de energía solar y así se cumplan los objetivos ambientales previstos. También, se han establecido impuestos de carbono de

aproximadamente 6 a 10 tCO<sub>2</sub>/eq para combustibles fósiles. Por otro lado, aproximadamente un 56.6% de la inversión pública va destinada directamente a proyectos energéticos.

- Reducción en la Actividad Petrolera: De acuerdo con datos del INEGI la aportación de extracción de gas y petróleo al PIB en el primer trimestre del 2019 fue de 3.2%, en comparación con la del año 1996 que era del 9.2%. La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) afirma que las reservas de petróleo han caído de 29,327 mmb a 19,419 mmb de 2014 a 2018, mientras que las de gas natural han pasado de 59,665 mmmpc a 30,020 mmmpc en el mismo periodo, por lo cual es necesario la búsqueda de formas alternativas de generación de energía.
- Localización Geográfica: México se encuentra ubicado dentro del llamado cinturón de fuego y recibe una incidencia promedio de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día, lo cual lo hace ideal para la captación de equipos fotovoltaicos.

#### **6.4.4 Amenazas**

- Actividad Económica: La producción de energía en México es muy importante ya que aporta un 3% al PIB y los impuestos relacionados al petróleo componen un 37% del presupuesto federal. En 2018 solo un 0.7% de la electricidad producida fue a través de fuente fotovoltaica (CENACE, 2019), con lo que se demuestra un gran rezago en el país con respecto a esta tecnología. Por otra parte, México siempre ha sido un país petrolero que basa gran parte de sus ganancias en la venta de este producto, lo que hace muy difícil su sustitución.
- Políticas Nacionales: Las actuales políticas hacen énfasis en reactivar el sector petroquímico mexicano, lo cual representa un rezago en cuestión de energías renovables.
- Falta de Cultura y Desconocimiento: La falta de conciencia ambiental y la falta de conocimiento acerca de los beneficios de esta tecnología, dificultan que la sociedad opte por esta alternativa para la producción de electricidad.

- Subsidios: De acuerdo con CONECC (Convergencia de la Política Energética y de Cambio Climático) actualmente existen muchos subsidios hacendarios para consumo de electricidad. Tan solo en 2016 se otorgó un monto total de 130 mil millones de pesos en cuestión de subsidio (CONECC, 2018). Esto complica la transición a fuentes de energía más limpias
- Altos Niveles de Contaminación: De acuerdo con datos de la ONU, la Ciudad de México es la ciudad más contaminada de América Latina, lo cual puede afectar el desempeño de los paneles.

## Capítulo 7. Estudio Técnico

En este capítulo se desarrolla el estudio técnico del presente trabajo

### 7.1 Localización del proyecto (ubicación de los edificios)

Todos los edificios están situados en la zona centro de la Ciudad de México o al menos en colonias muy cercanas a él. Todos los edificios cumplen con un área mínima disponible de 508 m<sup>2</sup>. En cuanto al clima de la región, de acuerdo con datos del Sistema Meteorológico Nacional<sup>6</sup>, en 2019 la temperatura máxima que se registra en la zona es de 27°C en el mes de marzo, con una temperatura promedio de 18.8°C y teniendo los niveles más altos de precipitación (lluvia) en los meses de mayo a octubre teniendo un máximo en julio con un valor de 145.5 mm. En las tablas 7.1 y 7.2 se muestra la localización de los edificios seleccionados.

---

<sup>6</sup> Fuente: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias> Fecha de consulta: 25/03/2020.



Tabla 7.1. Localización de los edificios seleccionados (1).

Edificio	Latitud (°)	Longitud (°)	Nivel del mar (m)	Dirección
STC Metro	19.4289	-99.1454	2239	Calle Delicias 65, Colonia Centro, C.P. 06070, Alcaldía Cuauhtémoc, Ciudad de México
Sistema de Aguas CDMX	19.4251	-99.1371	2274	Calle Nezahualcóyotl, Colonia Centro, C.P. 06080, Alcaldía Cuauhtémoc, Ciudad de México
Coordinación general de modernización administrativa	19.4231	-99.1337	2254	Calle Tlaxcoaque 8, Colonia Centro, C.P. 06090, Alcaldía Cuauhtémoc, Ciudad de México
Tesorería CDMX	19.4233	-99.1503	2237	Dr. Lavista 144, Colonia Doctores, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06720, Ciudad de México

Tabla 7.2. Localización de los edificios seleccionados (2).

Edificio	Latitud (°)	Longitud (°)	Nivel del mar (m)	Dirección
Secretaría de salud CDMX	19.4220	-99.1307	2272	Calle Xocongo 225, Colonia Tránsito, Código postal 06820, Alcaldía Cuauhtémoc, Ciudad de México.
Secretaría de trabajo y fomento al empleo CDMX	19.4212	-99.1332	2257	Calzada San Antonio Abad 32, Colonia Tránsito, C.P. 06820, Alcaldía Cuauhtémoc, Ciudad de México
Procuraduría General de Justicia CDMX	19.4242	-99.1473	2259	Calle Gral. Gabriel Hernández 56, Colonia Doctores, C.P. 06720, Alcaldía Cuauhtémoc. Ciudad de México
Subsecretaría de control de tránsito	19.4019	-99.1573	2248	Calzada Obrero Mundial 358, Piedad Narvarte, C.P. 03000, Alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México

## 7.2 Instalaciones necesarias y lista de equipo

Para este proyecto se va a utilizar un sistema interconectado a la red, esto significa que toda la energía eléctrica que no se obtenga de los paneles fotovoltaicos se va a obtener de la red eléctrica pública, por lo cual no es necesario considerar baterías y sus respectivos reguladores de carga. Por lo tanto, los equipos necesarios para el proyecto se muestran en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Lista de equipo.

Clave	Equipo
PF-100	Paneles fotovoltaicos
I -100	Inversores
Et-100	Estructuras para instalación de paneles

## 7.3 Predimensionamiento de equipo

El predimensionamiento del equipo o especificaciones de estos, se va a obtener de hojas de datos de proveedores. En la tabla 7.4 se muestran las especificaciones técnicas que informa cada proveedor.

Tabla 7.4. Especificaciones reportadas por proveedores.

<b>Especificación</b>	<b>Conermex</b>	<b>JA Solar</b>	<b>JinKO</b>
Potencia nominal Pmax (W)	330.00	330.00	330.00
Voltaje en el punto Pmax-VMPP (V)	37.87	37.65	37.80
Corriente en el punto Pmax-IMPP (A)	8.71	8.77	8.74
Voltaje en circuito abierto-VOC (V)	46.79	46.40	46.90
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	9.18	9.28	9.14
Eficiencia del módulo (%)	17.01	16.73	17.01
Temperatura de operación (°C)	45.00	45.00	45.00

## 7.4 Necesidades de obra civil

Un punto importante para considerar es la capacidad de carga del edificio, de acuerdo con las hojas de datos, los equipos tienen un peso aproximado de 22.5 Kg/panel. Para fines de este estudio, se va a dar por hecho que los edificios seleccionados tienen al menos una capacidad disponible de 30 Kg/m<sup>2</sup>, considerando los equipos auxiliares, estructuras para instalación y estructuras necesarias para garantizar la seguridad del trabajador de acuerdo con la NOM-009-STPS-2011. Para estudios posteriores en donde se requiera información más detallada, es recomendable solicitar la información pertinente y consultar con un experto del tema antes de la instalación. Los pesos de los equipos fotovoltaicos de los proveedores JA Solar y JinKO son de 22.5 kg, y los de Conermex son de 22.8 kg.

## Capítulo 8. Estudio Económico

En este capítulo se desarrolla el estudio económico, que es la parte más importante porque aquí se determina si la ejecución del proyecto es conveniente o no. El indicador económico seleccionado para llevar a cabo este estudio es costo anual equivalente.

### 8.1 Costo de la energía eléctrica

Para estimar el costo futuro de las tarifas variables y fijas se utilizaron las ecuaciones 9 y 10 presentadas en la metodología de trabajo:

$$y = 0.0863x - 170.90 \quad \text{Ec. (9)}$$

$$y = 1.855x - 3686.20 \quad \text{Ec. (10)}$$

### 8.2 Consideraciones

- El horizonte de vida del proyecto es de 25 años, iniciando a partir del año 2021.
- Los equipos fotovoltaicos quedan totalmente instalados y listos para su funcionamiento en enero del 2021.
- Las estimaciones del consumo eléctrico realizados en el estudio de mercado se consideran del año 2021 y de ahí en adelante se considera el crecimiento anual.
- Las tasas utilizadas para el financiamiento de los módulos fotovoltaicos y para evaluar el proyecto, así como la categoría tarifaria en donde se ubicó al proyecto se hizo con base en información proveniente de fuentes secundarias (de otros proyectos similares) cumpliendo así con las características de un estimado clase V.

### 8.3 Costo sin proyecto

El costo sin proyecto únicamente contiene los costos por la compra de la energía eléctrica total consumida durante el horizonte de vida del proyecto. En la tabla 8.1 se muestran los pagos estimados del caso sin proyecto para las instalaciones del STC Metro.

Tabla 8.1. Pagos de electricidad del STC metro – Sin proyecto.

Año	CE (kWh/año)	Tarifa Variable (\$/kWh)	Tarifa Fija (\$/año)	Costo de la energía (Sin proyecto) (\$/año)
2021	383,786.13	\$ 3.55	\$ 730.44	\$ 1,364,741.51
2022	392,997.00	\$ 3.64	\$ 775.30	\$ 1,431,445.76
2023	402,428.93	\$ 3.73	\$ 797.56	\$ 1,500,541.39
2024	412,087.22	\$ 3.81	\$ 819.82	\$ 1,572,128.47
2025	421,977.32	\$ 3.90	\$ 842.08	\$ 1,646,286.81
2026	432,104.77	\$ 3.99	\$ 864.34	\$ 1,723,098.61
2027	442,475.29	\$ 4.07	\$ 886.60	\$ 1,802,648.54
2028	453,094.69	\$ 4.16	\$ 908.86	\$ 1,885,023.78
2029	463,968.97	\$ 4.24	\$ 931.12	\$ 1,970,314.15
2030	475,104.22	\$ 4.33	\$ 953.38	\$ 2,058,612.14
2031	486,506.72	\$ 4.42	\$ 975.64	\$ 2,150,013.00
2032	498,182.88	\$ 4.50	\$ 997.90	\$ 2,244,614.82
2033	510,139.27	\$ 4.59	\$ 1,020.16	\$ 2,342,518.62
2034	522,382.62	\$ 4.68	\$ 1,042.42	\$ 2,443,828.40
2035	534,919.80	\$ 4.76	\$ 1,064.68	\$ 2,548,651.29
2036	547,757.87	\$ 4.85	\$ 1,086.94	\$ 2,657,097.55
2037	560,904.06	\$ 4.94	\$ 1,109.20	\$ 2,769,280.77
2038	574,365.76	\$ 5.02	\$ 1,131.46	\$ 2,885,317.84
2039	588,150.54	\$ 5.11	\$ 1,153.72	\$ 3,005,329.16
2040	602,266.15	\$ 5.19	\$ 1,175.98	\$ 3,129,438.66
2041	616,720.54	\$ 5.28	\$ 1,198.24	\$ 3,257,773.95
2042	631,521.83	\$ 5.37	\$ 1,220.50	\$ 3,390,466.38
2043	646,678.36	\$ 5.45	\$ 1,242.76	\$ 3,527,651.19
2044	662,198.64	\$ 5.54	\$ 1,265.02	\$ 3,669,467.60
2045	678,091.40	\$ 5.63	\$ 1,287.28	\$ 3,816,058.92
2046	694,365.60	\$ 5.71	\$ 1,309.54	\$ 3,967,572.67

Las tablas con los resultados de los edificios restantes se encuentran en el Anexo 4. Pagos por energía eléctrica caso sin proyecto.

## 8.4 Financiamiento

Aquí se considera un financiamiento porque en este tipo de proyectos donde se compra equipo para proveer algún tipo de servicio, es muy común que el proveedor ofrezca un sistema de pago a plazos con una determinada tasa de interés. Las tasas utilizadas para el cálculo del financiamiento de los módulos fotovoltaicos se muestran en la tabla 8.2.

Tabla 8.2. Tasas del financiamiento.

Tasa nominal	14.5%
Inflación	3.2%
Tasa real	10.9%
Plazo máximo	5 años

En la tabla 8.3 se presenta el esquema de pagos y las cantidades a desembolsar. La tasa de 14.5% se obtiene de una cotización realizada por la empresa Enlight (una fuente secundaria), donde ellos ofrecen financiamiento para la compra e instalación de los equipos. Para el cálculo de los abonos se utilizó la ecuación 11.

Tabla 8.3. Esquema de pagos de los paneles fotovoltaicos.

Año	Capital	Abono	Interés	Pago a Capital	Deuda
0	\$ 2,841,126.46	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 2,841,126.46
1	\$ 2,841,126.46	\$837,540.63	\$411,963.34	\$ 425,577.30	\$ 2,415,549.16
2	\$ 2,415,549.16	\$837,540.63	\$350,254.63	\$ 487,286.01	\$ 1,928,263.15
3	\$ 1,928,263.15	\$837,540.63	\$279,598.16	\$ 557,942.48	\$ 1,370,320.67
4	\$ 1,370,320.67	\$837,540.63	\$198,696.50	\$ 638,844.14	\$ 731,476.54
5	\$ 731,476.54	\$837,540.63	\$106,064.10	\$ 731,476.54	\$ -

## 8.5 Caso con proyecto

En este caso, que es el más importante, primero se considera que en todos los años de vida útil del proyecto se van a producir los 153,931 kWh por año (la energía faltante se tendrá que comprar a CFE), seguido de un mantenimiento anual con un costo de \$10 dólares por año.

A continuación, en la tabla 8.4 se muestran los pagos a realizar para las instalaciones del STC metro de la Ciudad de México.

Tabla 8.4. Pagos de electricidad del STC metro – Con proyecto.

Año	Energía que comprar (kWh/año)	Pago por paneles	Costo energía (\$/año)	Mantenimiento (\$/año)	Costo con proyecto (\$/año)
2021	229,855.13	\$ -	\$ 817,656.64	\$ 249.90	\$ 817,906.54
2022	239,066.00	\$837,540.63	\$ 871,073.71	\$ 249.90	\$ 1,708,864.25
2023	248,497.93	\$837,540.63	\$ 926,882.16	\$ 249.90	\$ 1,764,672.70
2024	258,156.22	\$837,540.63	\$ 985,182.07	\$ 249.90	\$ 1,822,972.61
2025	268,046.32	\$837,540.63	\$1,046,053.24	\$ 249.90	\$ 1,883,843.77
2026	278,173.77	\$837,540.63	\$1,109,577.86	\$ 249.90	\$ 1,947,368.40
2027	288,544.29	\$ -	\$1,175,840.61	\$ 249.90	\$ 1,176,090.51
2028	299,163.69	\$ -	\$1,244,928.68	\$ 249.90	\$ 1,245,178.58
2029	310,037.97	\$ -	\$1,316,931.87	\$ 249.90	\$ 1,317,181.77
2030	321,173.22	\$ -	\$1,391,942.69	\$ 249.90	\$ 1,392,192.59
2031	332,575.72	\$ -	\$1,470,056.37	\$ 249.90	\$ 1,470,306.27
2032	344,251.88	\$ -	\$1,551,371.02	\$ 249.90	\$ 1,551,620.92
2033	356,208.27	\$ -	\$1,635,987.64	\$ 249.90	\$ 1,636,237.54
2034	368,451.62	\$ -	\$1,724,010.25	\$ 249.90	\$ 1,724,260.15
2035	380,988.80	\$ -	\$1,815,545.96	\$ 249.90	\$ 1,815,795.86
2036	393,826.87	\$ -	\$1,910,705.05	\$ 249.90	\$ 1,910,954.95
2037	406,973.06	\$ -	\$2,009,601.09	\$ 249.90	\$ 2,009,850.99
2038	420,434.76	\$ -	\$2,112,350.99	\$ 249.90	\$ 2,112,600.89
2039	434,219.54	\$ -	\$2,219,075.13	\$ 249.90	\$ 2,219,325.03
2040	448,335.15	\$ -	\$2,329,897.46	\$ 249.90	\$ 2,330,147.36
2041	462,789.54	\$ -	\$2,444,945.57	\$ 249.90	\$ 2,445,195.47
2042	477,590.83	\$ -	\$2,564,350.83	\$ 249.90	\$ 2,564,600.73
2043	492,747.36	\$ -	\$2,688,248.46	\$ 249.90	\$ 2,688,498.36

Año	Energía que comprar (kWh/año)	Pago por paneles	Costo energía (\$/año)	Mantenimiento (\$/año)	Costo con proyecto (\$/año)
2044	508,267.64	\$ -	\$2,816,777.70	\$ 249.90	\$ 2,817,027.60
2045	524,160.40	\$ -	\$2,950,081.84	\$ 249.90	\$ 2,950,331.74
2046	540,434.60	\$ -	\$3,088,308.41	\$ 249.90	\$ 3,088,558.31

En el Anexo 5. Pagos por energía eléctrica caso con proyecto se encuentran las tablas con los costos por electricidad de los edificios restantes para este caso.

## 8.6 Costo anual equivalente del proyecto

Para obtener el valor de este indicador primero se obtuvo el valor presente y posteriormente el costo anual equivalente para cada edificio seleccionado. En la tabla 8.5 se muestran los resultados del costo anual equivalente para todos los edificios seleccionados, para los casos con proyecto y sin proyecto.

Tabla 8.5. Valores de costo anual equivalente para ambos casos.

Edificio	VP sin proyecto	VP con proyecto	CAE sin proyecto	CAE con proyecto
STC Metro	\$ 15,282,748.71	\$ 12,937,735.34	\$ 1,948,550.00	\$ 1,649,560.87
Sistema de Aguas CDMX	\$ 6,565,050.50	\$ 4,220,037.12	\$ 837,043.74	\$ 538,054.61
Coordinación General de Modernización Administrativa	\$ 13,195,888.73	\$ 10,850,875.36	\$ 1,682,475.41	\$ 1,383,486.28
Tesorería CDMX	\$ 39,794,207.46	\$ 37,449,194.09	\$ 5,073,760.25	\$ 4,774,771.12
Secretaría de Salud CDMX	\$ 10,604,788.92	\$ 8,259,775.55	\$ 1,352,110.27	\$ 1,053,121.13
Secretaría de Trabajo y Fomento al Empleo CDMX	\$ 6,741,423.11	\$ 4,396,409.73	\$ 859,531.24	\$ 560,542.11
PGJ CDMX	\$ 65,755,208.92	\$ 63,410,195.55	\$ 8,383,787.15	\$ 8,084,798.02
SSC Tránsito	\$ 7,215,910.01	\$ 4,870,896.63	\$ 920,028.31	\$ 621,039.17



Para todos los casos, se observa que el costo anual equivalente es menor por aproximadamente \$300,000 pesos, lo que significa que la instalación de los equipos fotovoltaicos si va a traer ahorros anuales importantes. Por estos motivos, se recomienda seguir adelante con el proyecto.

## Capítulo 9. Conclusiones

- El uso del método Promethee para la selección tecnológica resultó adecuado, ya que pretende facilitar la toma de decisiones y elegir de una manera más objetiva la alternativa que más se ajuste a los requerimientos del proyecto.
- Los criterios considerados durante la evaluación tecnológica, junto con sus respectivas calificaciones adjudicadas, a pesar de ser asignadas conforme a un criterio personal, se consideran adecuadas ya que este se basó en una extensa búsqueda bibliográfica y de campo (visitas a exposiciones y ferias de productos solares) con el fin de revisar las características de las mejores tecnologías disponibles.
- La inversión de \$22,730,000 MXN representa únicamente un 3% de los \$740,000,000 MXN que el gobierno de la Ciudad de México tiene previsto invertir en el programa “Ciudad Solar”, sin considerar fuentes de financiamiento externo (SEDECO, 2019).
- En la Ciudad de México si existen los espacios adecuados para la instalación de paneles fotovoltaicos.
- En la mayoría de los edificios seleccionados se tiene un ahorro muy cercano o superior al 50% de la energía eléctrica consumida.
- Desde el punto de vista técnico si existe la tecnología adecuada para la instalación de la capacidad energética propuesta y a su vez, existe suficiente disponibilidad en el mercado nacional.
- Desde el punto de vista ambiental la instalación de 153,931 kWh/año por edificio, representa un ahorro de 64651.02 Kg CO<sub>2</sub>/año por edificio.
- Desde el punto de vista económico se tiene un ahorro anual de \$298,889.13 MXN, si se instalan los paneles fotovoltaicos.
- La elaboración de este estudio comprende únicamente el FEL I, por lo cual es importante que los responsables del proyecto se mantengan actualizando la información con fuentes más precisas en etapas más avanzadas (FEL I y II).

# Capítulo 10. Anexo 1. Conceptos Básicos Acerca del Funcionamiento de las Celdas Fotovoltaicas

## 10.1 Radiación Solar

La radiación solar es simplemente la transferencia de energía por ondas electromagnéticas resultado del proceso de fusión nuclear en el sol. Cuando la radiación solar llega al planeta es reflejada, dispersada y absorbida por los diferentes componentes que constituyen la atmósfera. Dichos componentes son O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, partículas de polvo y aerosoles (Cuahutle, 2016).

La radiación solar tiene diferentes longitudes de onda, pero la única que sufre dispersión y absorción al llegar a la atmósfera terrestre es aquella con longitud de onda entre 0.29 y 2.5 micrómetros y la zona útil para las celdas de silicio cristalino empieza en 0.35 micrómetros (Flores & Lazcano, 2012).

El grado de dispersión es función del número de partículas suspendidas las cuales debe atravesar la radiación y del tamaño de las partículas con respecto a la longitud de onda.

Existen diferentes tipos de radiación, ya que no toda pasa la atmósfera terrestre. Estas son: radiación directa, radiación difusa y radiación global.

- Radiación directa: es la que se recibe cuando los rayos solares no se desvían debido a la presencia de cuerpos (partículas) que desvíen su trayectoria
- Radiación difusa: Es aquella que se desvía producto del choque con moléculas presente en la atmósfera.
- Radiación global: Es la suma de la radiación directa y difusa

La radiación, de acuerdo con el Sistema Internacional, tiene unidades de Watt (W) / metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

## 10.2 Campo Eléctrico

Los campos eléctricos son magnitudes vectoriales. Estos pueden ejercer fuerzas a distancia e inducir un campo magnético (carga puntual o conjunto de cargas) y viceversa.

La radiación electromagnética es el medio de transferencia de energía de los campos eléctricos.

## 10.3 Frecuencia de Onda y Longitud de Onda

La frecuencia de onda es la cantidad de valles y crestas que pasan por unidad de tiempo por un punto específico en el espacio.

Y la longitud de onda es la distancia entre 2 puntos que tienen la misma perturbación. En la figura 10.1 se muestra un esquema de la longitud de onda.

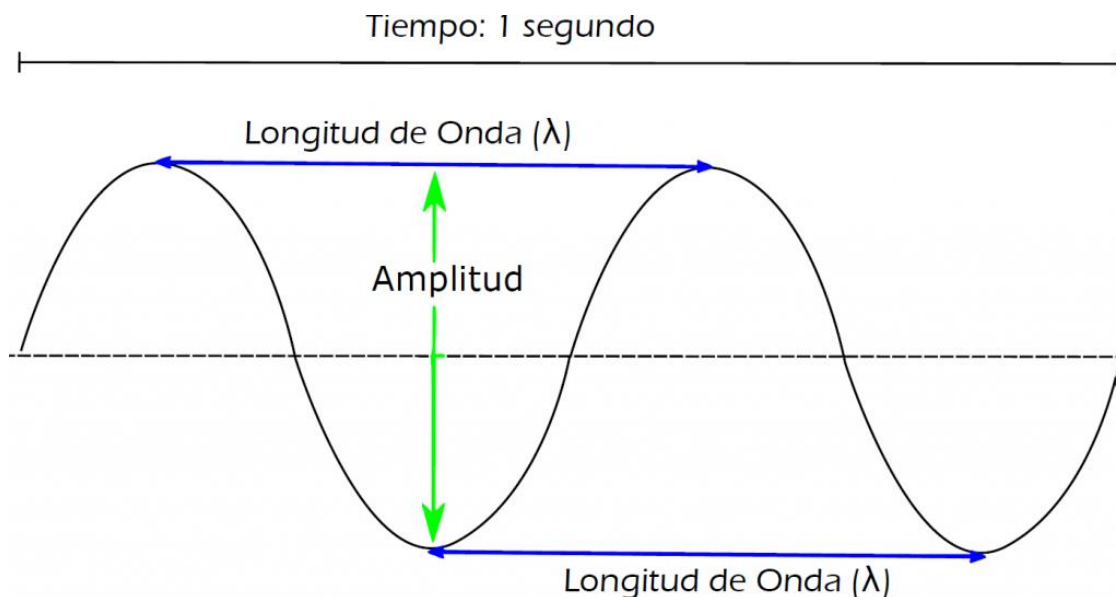


Figura 10.1. Longitud de onda. Fuente; <https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/caracteristicas-ondas/> consulta: 06/11/19.

## 10.4 Irradiancia

Es la magnitud que mide la cantidad de radiación que se emite en una determinada área (García, 2017). También se define como potencia incidente por unidad de superficie. Las unidades de esta magnitud son de potencia entre área, o por Sistema Internacional Watts (W) / metro cuadrado (m<sup>2</sup>). La irradiancia, se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{A} \quad \text{E.c. (16)}$$

Donde:

I = irradiancia

P = potencia incidente proveniente del sol

A = área

## 10.5 Irradiación

Es la energía incidente por unidad de superficie en un determinado lapso (Flores & Lazcano, 2015) Este se mide en KWh o por Sistema Internacional en Joules (J) / metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

## 10.6 Estructura Atómica

La materia se encuentra compuesta por átomos que en su centro tienen protones y neutrones. Los protones tienen carga positiva y los neutrones, como su nombre lo indica, tienen carga neutra. Alrededor del núcleo se encuentran los electrones (con carga negativa) deslocalizados en los diferentes niveles energéticos u orbitales. Los átomos

tienen la misma cantidad de protones y de electrones, por lo cual, a un elemento en estado puro se le considera eléctricamente neutro.

A los electrones del último nivel se denominan electrones de valencia y son los que interaccionan con otros átomos para formar una red cristalina (Jacobo, 2015).

## **10.7 Sólidos Cristalinos**

Los sólidos cristalinos se clasifican de acuerdo con la cantidad de energía que se necesita para que su electrón de valencia pueda estar libre en el enlace (Farrera, 2010). Se dividen en: conductores, semiconductores y aislantes.

## **10.8 Conductores**

Son materiales que su estructura electrónica les permite conducir la corriente eléctrica a bajas temperaturas o a temperatura ambiente (Farrera, 2010). Los electrones de valencia están débilmente ligados al núcleo, por lo cual pueden moverse a través de los átomos cuando se aplica una pequeña cantidad de energía.

De acuerdo con la teoría de bandas, son aquellos materiales cuyas bandas de valencia y bandas de conducción se encuentran muy próximas entre sí, al grado de que, en algunos casos, estas bandas se encuentran sobrepuestas (Farrera, 2010). Es por esto por lo que se necesita muy poca energía para “pasar” su banda prohibida.

## 10.9 Aislantes

Los aislantes son materiales con una banda prohibida muy grande, que hace muy difícil la conducción eléctrica en ellos. Los electrones de valencia están muy ligados al núcleo y se necesita mucha energía para separarlos (Jacobo, 2015).

Cabe destacar que, si se aplica la fuerza eléctrica necesaria para pasar la banda prohibida, estos materiales si pueden conducir la corriente. No existen los aislantes perfectos.

## 10.10 Semiconductores

En los semiconductores, los electrones de valencia están más fuertemente unidos al átomo, pero con la suficiente cantidad de energía se puede superar la banda prohibida y así conducir la corriente eléctrica. Existen 2 tipos de conductores:

- Intrínsecos: en este tipo de materiales cuando se transfiere un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción se crea un “hueco” que actúa como transportador de carga positiva, fenómeno que eventualmente puede crear una corriente positiva (Farrera, 2010). En estos materiales el número de electrones y huecos son los mismos, por lo tanto, los huecos dejados los ocupa otro electrón y no se produce corriente eléctrica.
- Extrínsecos: son materiales semiconductores a los cuales se les agrega “impurezas” para producir un campo eléctrico y así generar electricidad cuando un electrón de valencia rompe el enlace y se genera un hueco. Así, cuando se agrega una impureza “donadora de electrones”, la proporción de electrones será mayor que la de huecos y el material se comportará como “portador de carga negativa” y de la misma forma cuando se agrega una impureza “aceptora de electrones”, el material semiconductor se convertirá en un “portador de carga positiva” (Farrera, 2010). En la figura 10.2 se muestran los materiales de acuerdo con su conductividad.

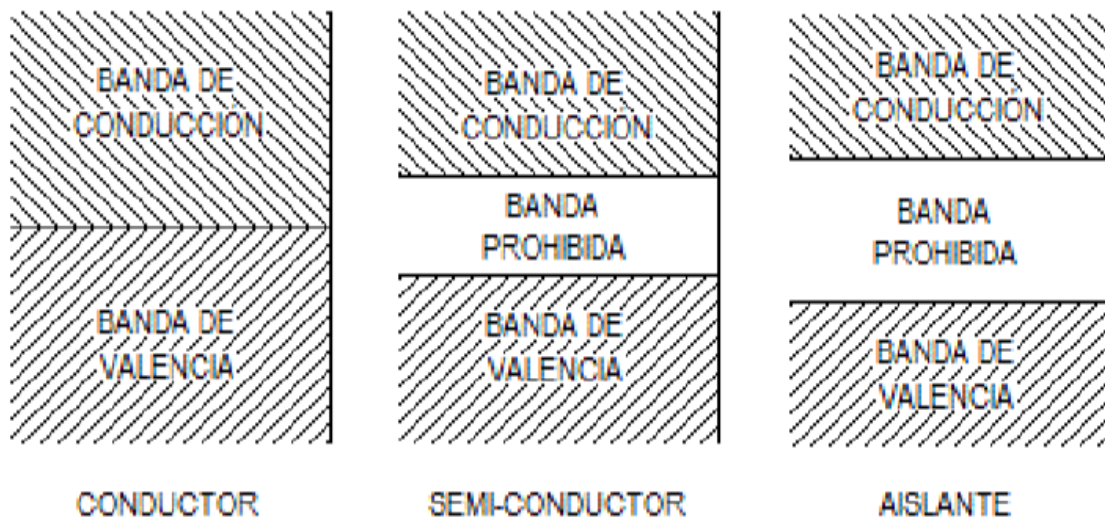


Figura 10.2. Materiales de acuerdo con su conductividad. Fuente (Farrera, 2010).

### 10.11 Dopaje de materiales

Es el proceso de agregar impurezas a un material semiconductor, con el fin de que produzca un campo eléctrico. Se introduce a la red cristalina del semiconductor elementos de otros grupos de la tabla periódica. El material (generalmente silicio) adquiere conductividad tipo p (positiva) dopándolo con elementos del grupo III como el boro y conductividad tipo n (negativa) dopándolo con elementos de la familia V como el arsénico (Flores & Lazcano, 2012).

### 10.12 Banda prohibida, de valencia y de conducción

La banda prohibida es la energía necesaria para que se pueda generar el par electrón-hueco (Jacobo, 2015).

La banda de valencia es el sitio donde se encuentran los electrones del último nivel energético y son los que permiten la formación de enlaces



La banda de conducción es el sitio donde se encuentran los demás electrones deslocalizados en niveles energéticos inferiores y conducen la corriente eléctrica

### 10.13 Unión p-n

La unión p-n es un elemento base de una celda solar. Requiere la existencia de una región p y otra región n (Flores & Lazcano, 2012).

Esta unión que es la responsable de generar un campo eléctrico para separar las cargas libres generadas por la absorción de fotones y así se pueda producir electricidad o de lo contrario, los electrones y huecos van a circular en una misma dirección y no se va a producir corriente eléctrica.

Los pares que no alcanzan la región de la unión p-n se recombinan y transforman su energía en calor (Flores & Lazcano, 2012). En la figura 10.3 se muestra un esquema de las capas de las celdas fotovoltaicas.

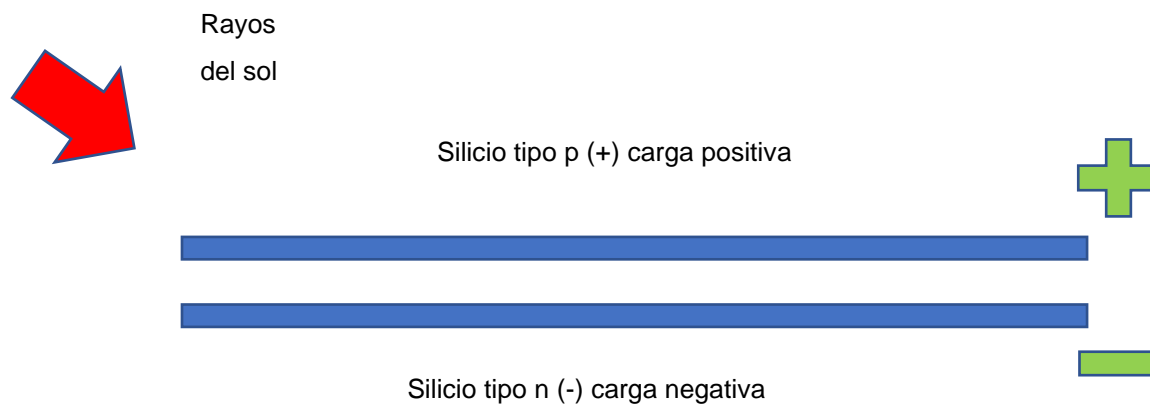


Figura 10.3. Polos de una celda fotovoltaica.

## 10.14 Efecto fotoeléctrico

Se refiere a la conversión de radiación solar en electricidad cuando un haz de luz incide en una superficie metálica (generalmente un material semiconductor) determinada, lo cual provoca que los electrones de valencia del material sean arrancados de su última capa, dejando la superficie con carga positiva. Así, se genera un voltaje entre las terminales y una corriente que circula por un circuito externo.

Los fotones con energía más grande que la banda prohibida son absorbidos y crean pares electrón-hueco (carga negativa-positiva, respectivamente) proporcional a la radiación incidente.

Los materiales semiconductores utilizados en las celdas generalmente son dopados con elementos del grupo III y V.

## 10.15 Corriente directa

La corriente directa presenta un flujo electrónico que se desplaza únicamente en una sola dirección. Existen 3 tipos de corriente directa:

- Corriente directa continua
- Corriente directa variable
- Corriente directa punzante

## 10.16 Corriente alterna

Es un tipo de corriente que se caracteriza por no ser constante a lo largo del tiempo, presenta cambios de intensidad y sentido (altas y bajas) en intervalos bien establecidos, su onda se caracteriza por tener una forma senoidal. Esta corriente es la que se utiliza para hogares y comercios. En la figura 10.4 se muestra la estructura de la onda.

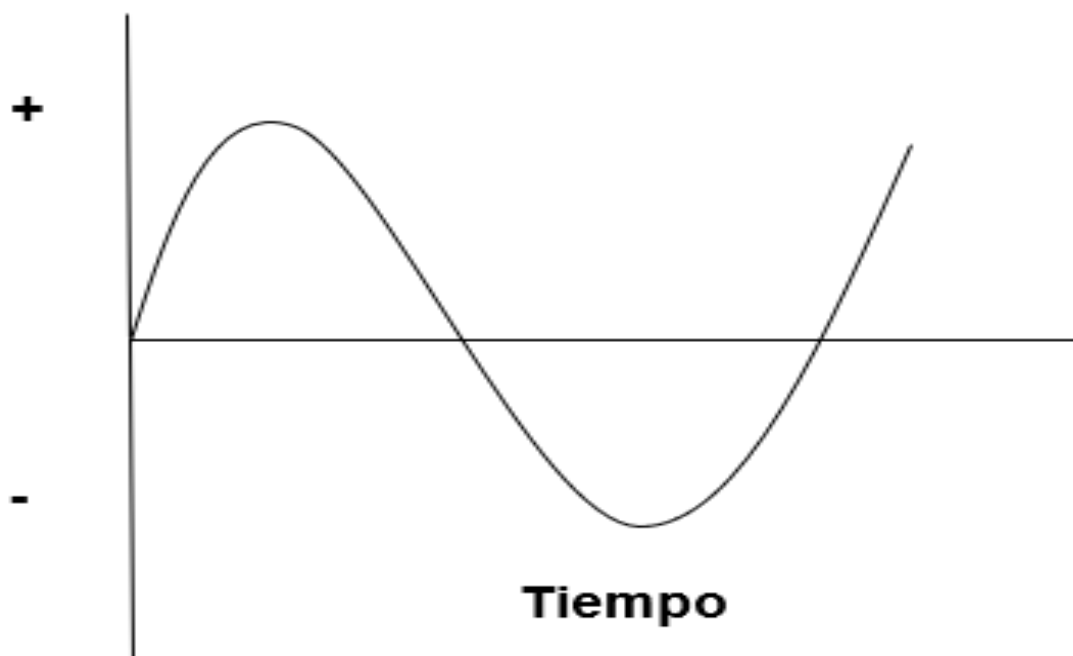


Figura 10.4. Onda de corriente alterna. Fuente (Flores & Lazcano, 2012).

# Capítulo 11. Anexo 2. Imágenes de los Edificios Seleccionados

Nezahualcóyotl 109, Sistema de Aguas CDMX

Área de instalación de paneles.

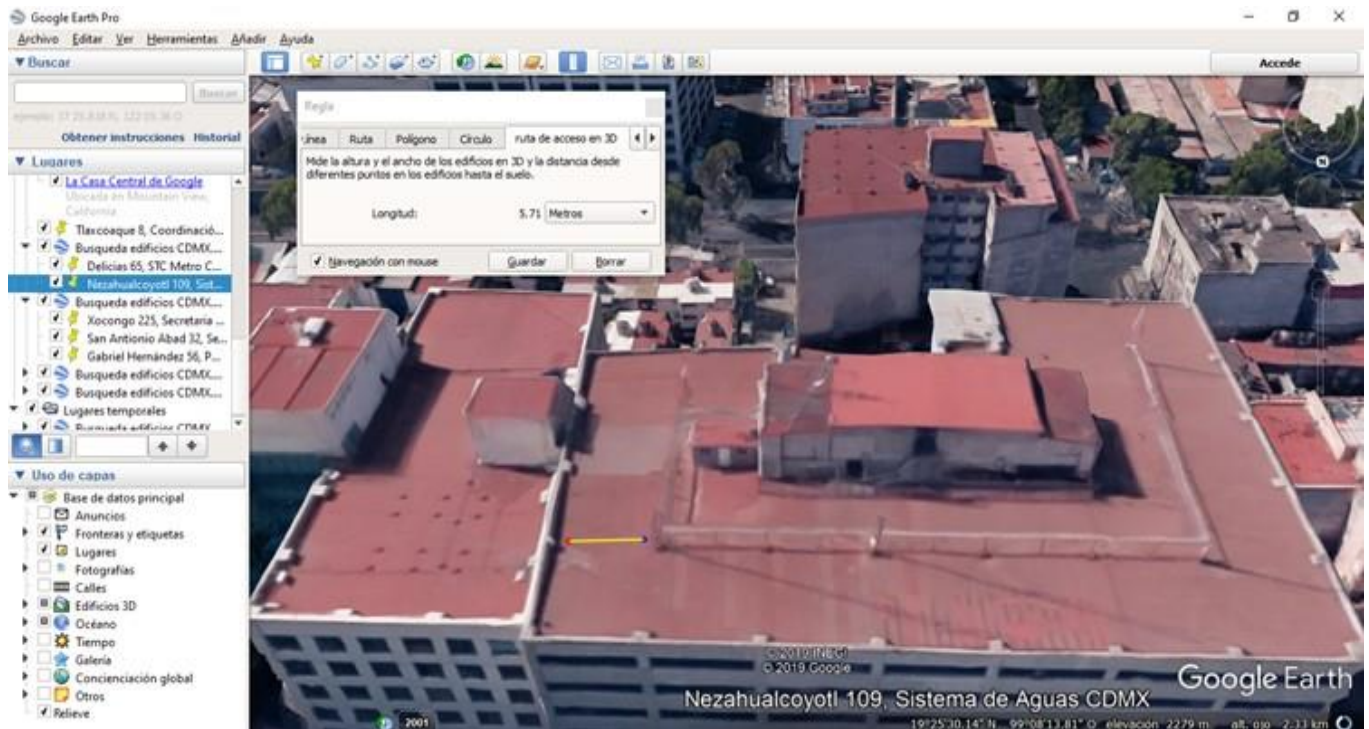


Figura 11.1. Área de instalación 1 – Sistema de aguas.

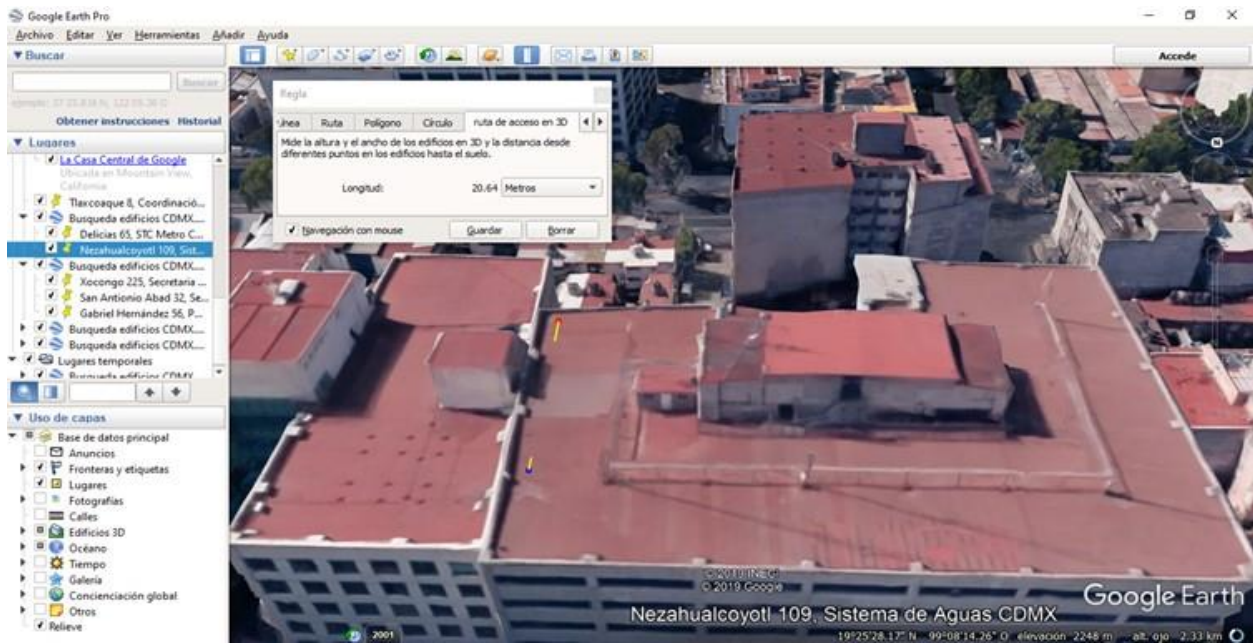


Figura 11.2. Área de instalación 2 – Sistema de aguas.

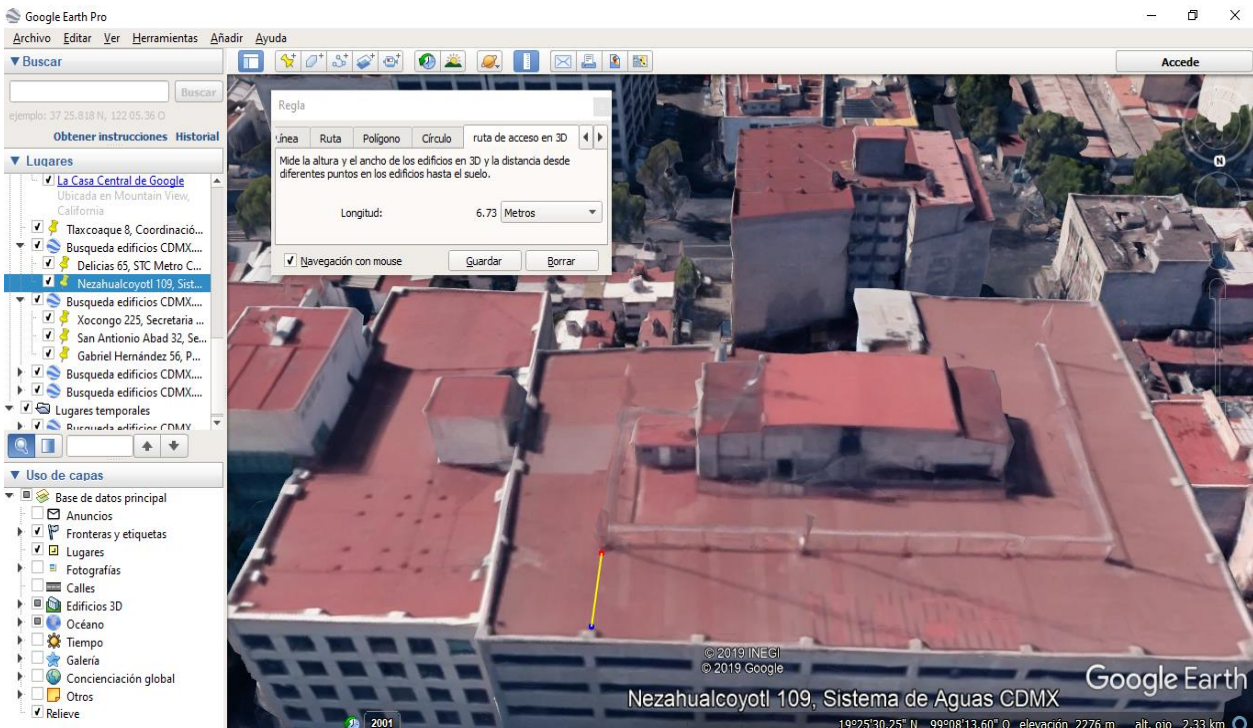


Figura 11.3. Área de instalación 3 – Sistema de aguas.



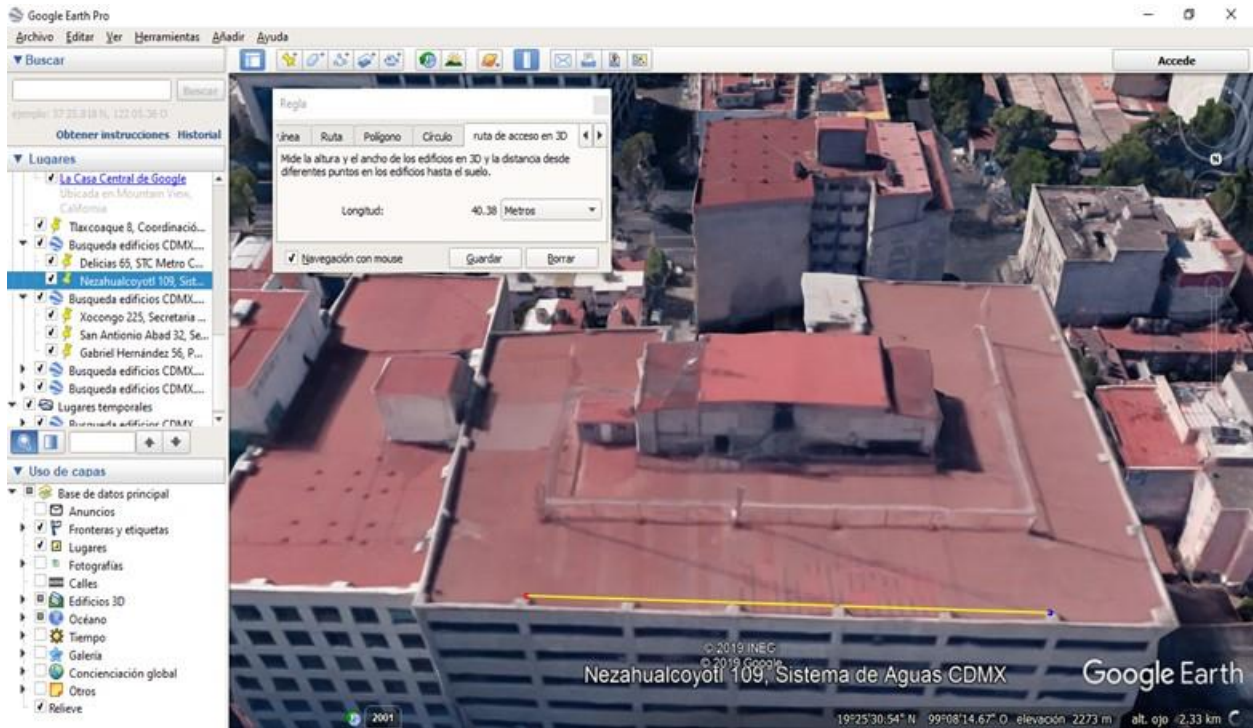


Figura 11.4. Área de instalación 4 – Sistema de aguas.

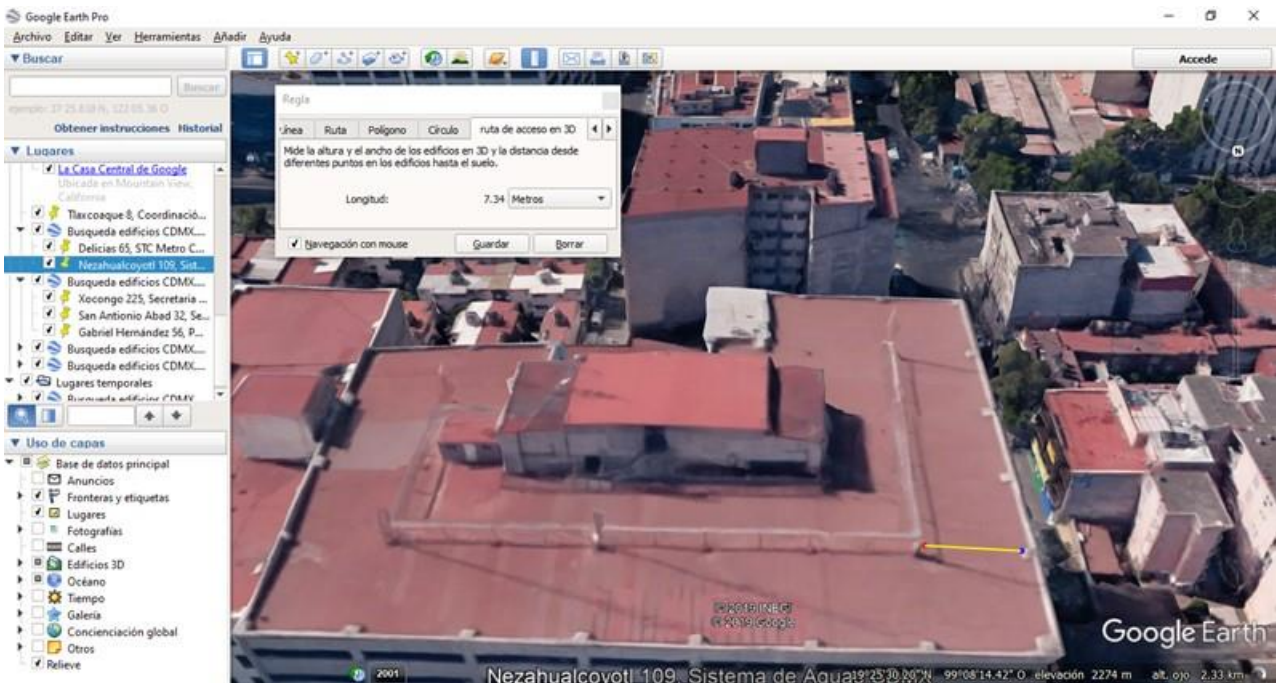


Figura 11.5. Área de instalación 5 – Sistema de aguas.

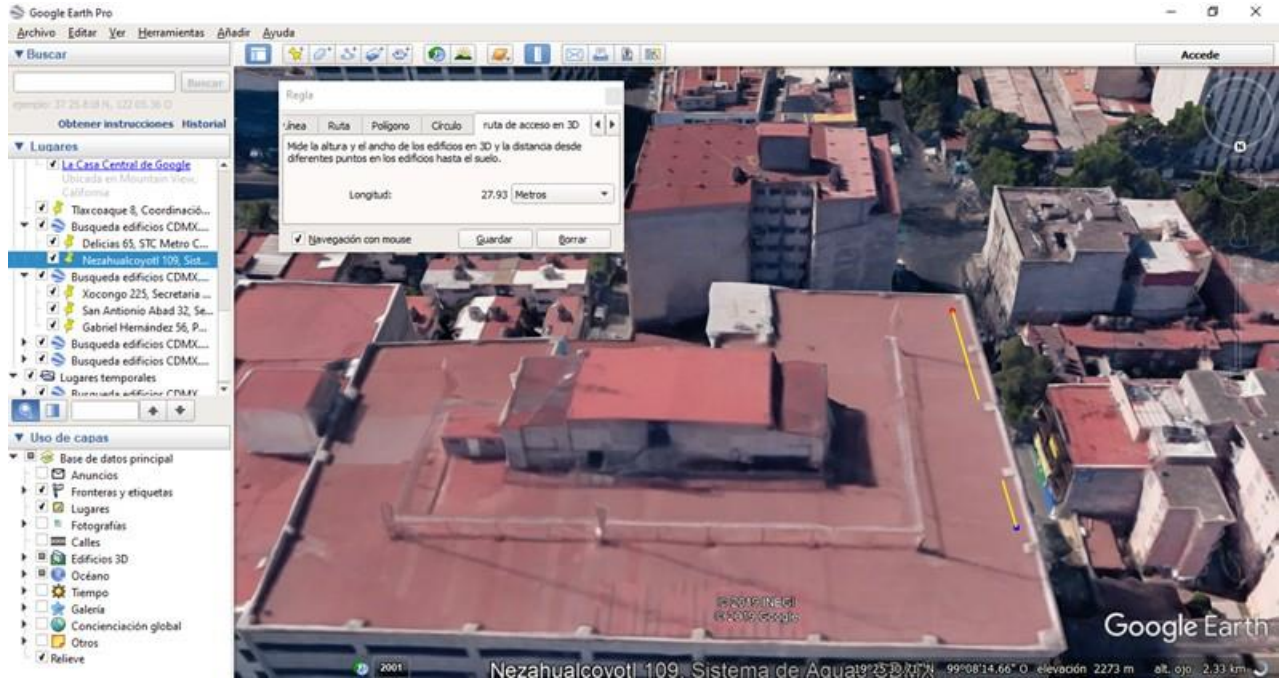


Figura 11.6. Área de instalación 6 – Sistema de aguas.

Superficie.

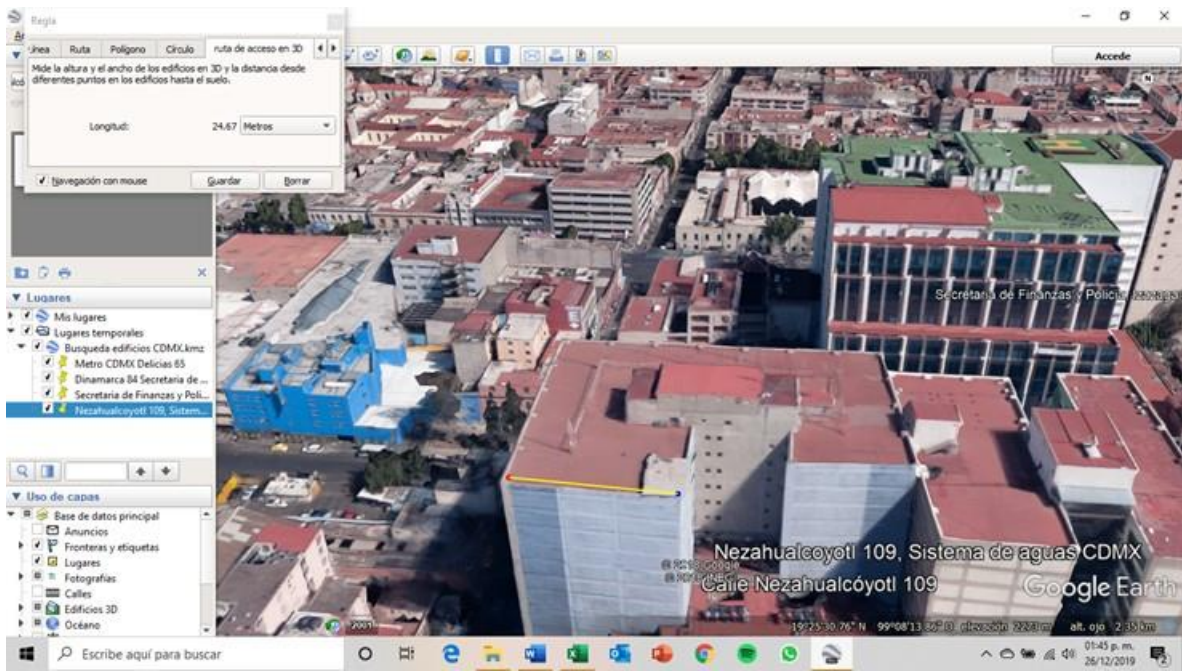


Figura 11.7. Superficie disponible 1 – Sistema de aguas.



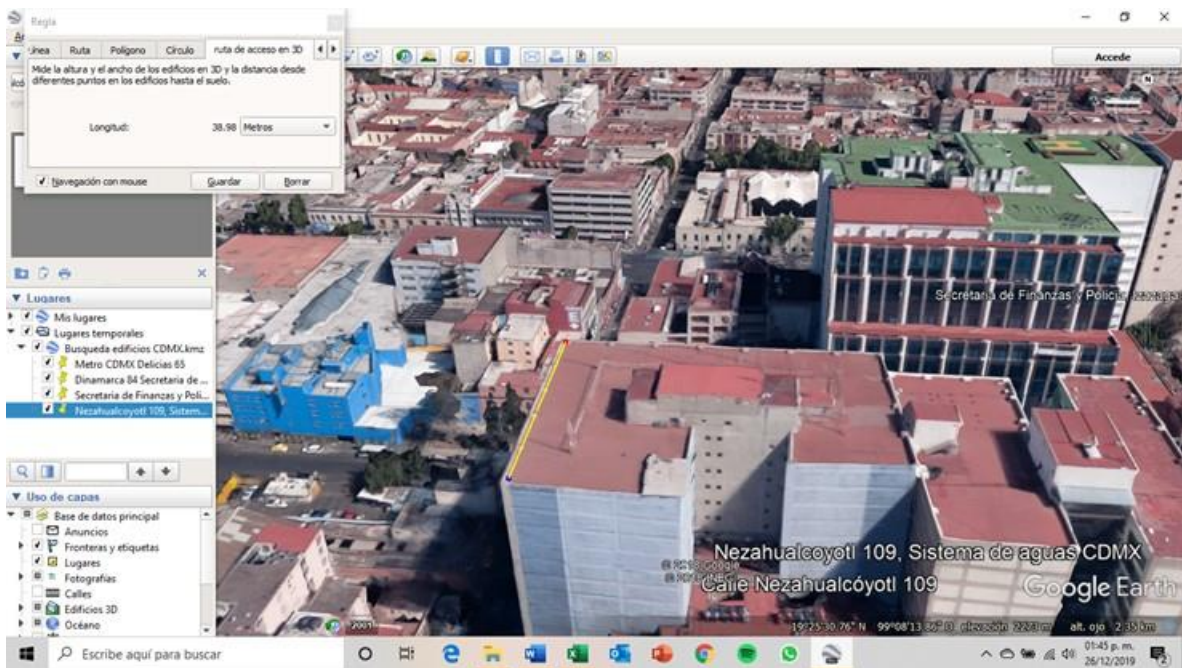


Figura 11.8. Superficie disponible 2 – Sistema de aguas.

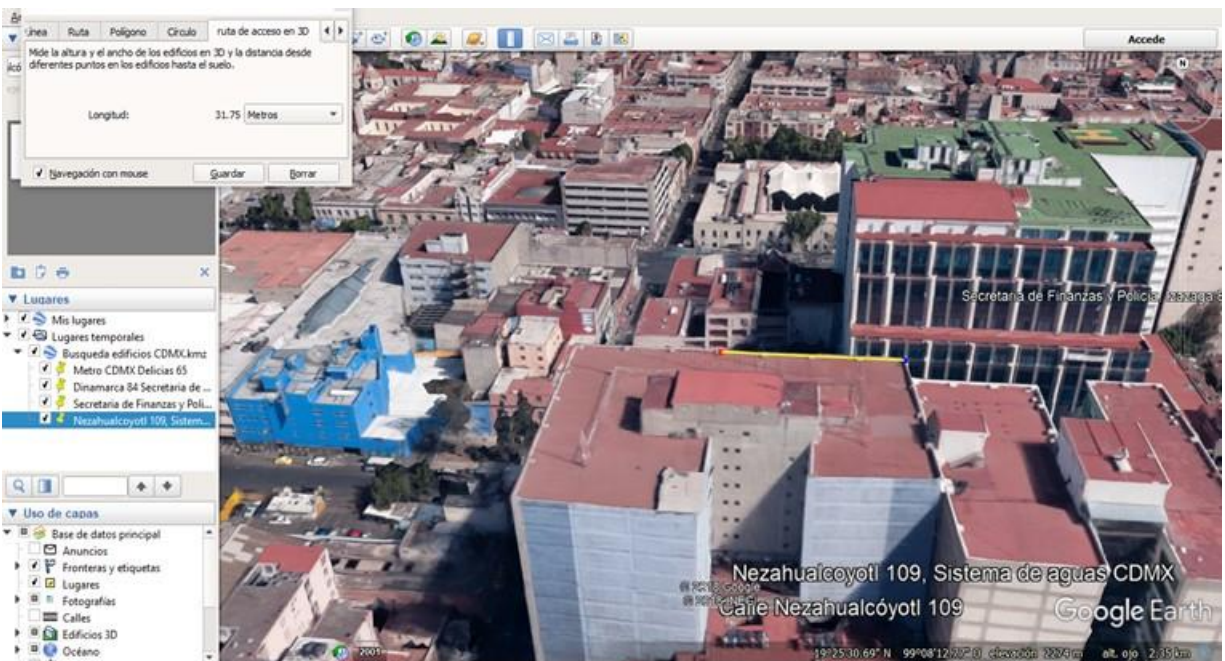


Figura 11.9. Superficie disponible 3 – Sistema de aguas.



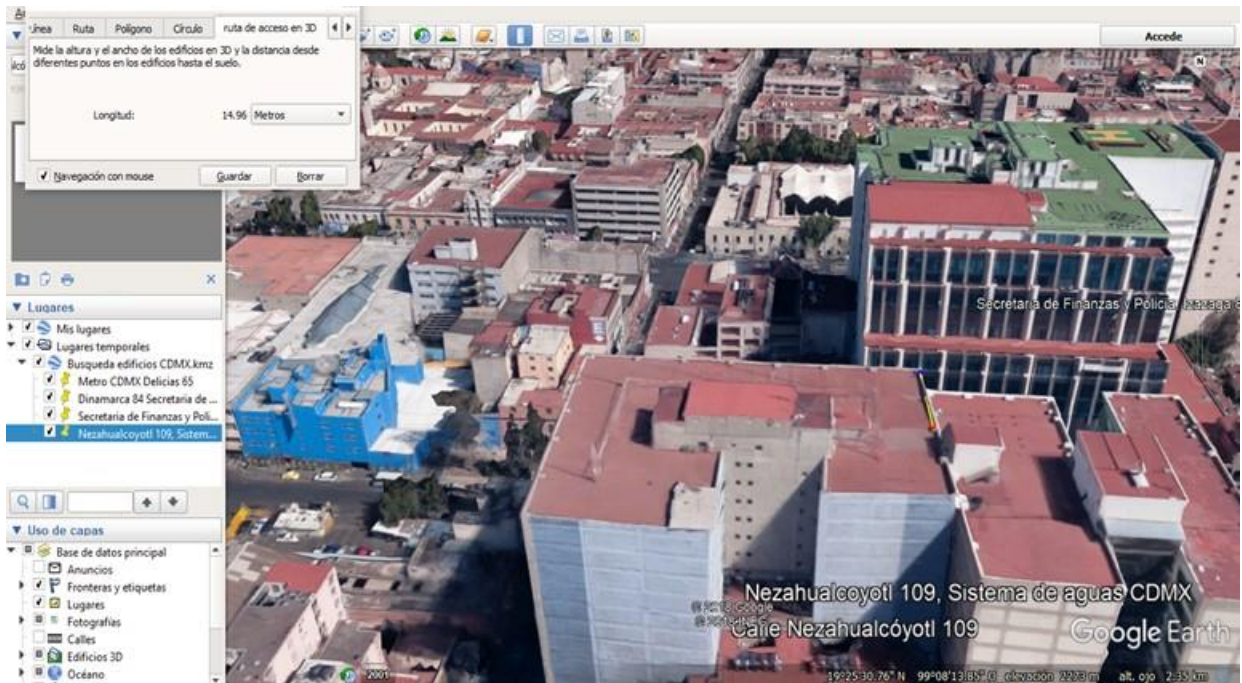


Figura 11.10. Superficie disponible 4 – Sistema de aguas.

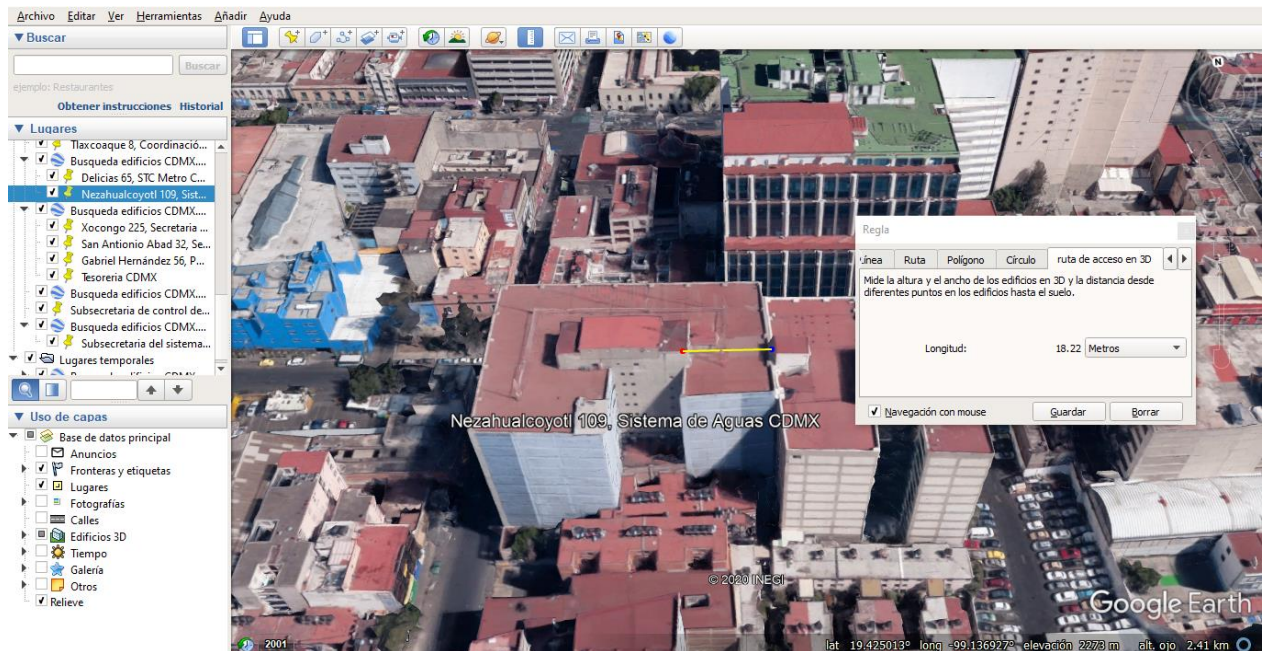


Figura 11.11. Superficie disponible 5 – Sistema de aguas.



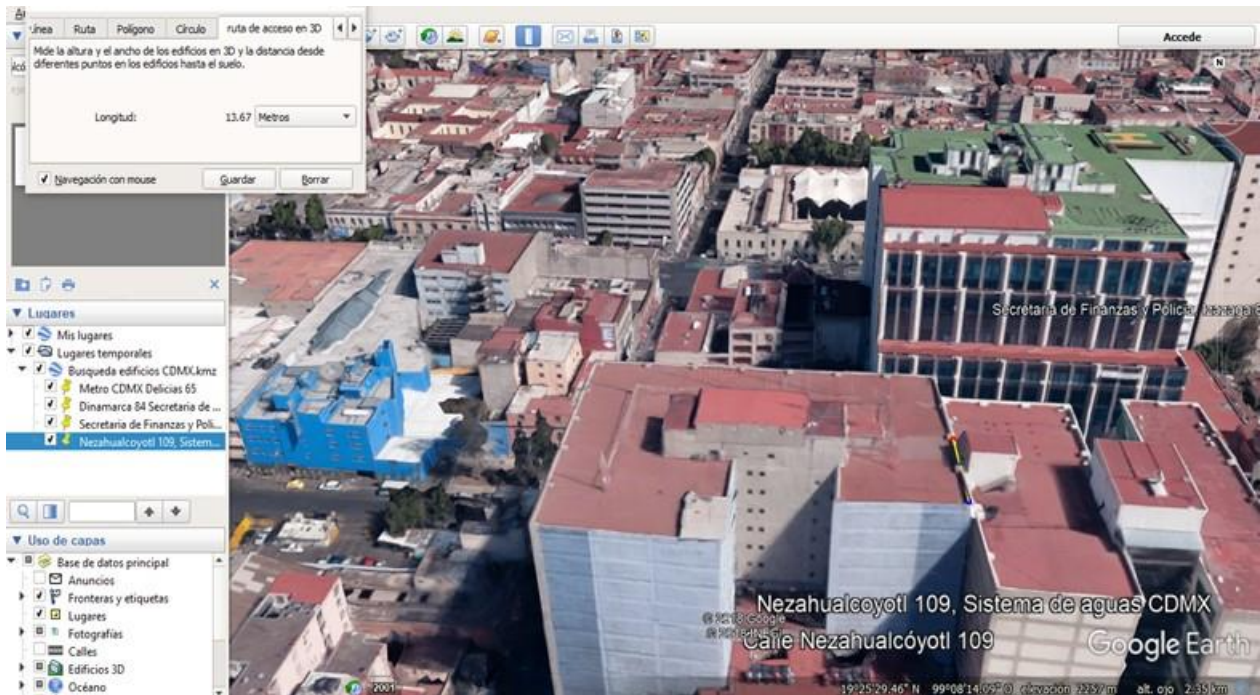


Figura 11.12. Superficie disponible 6 – Sistema de aguas.

Tlaxcoaque 8, Coordinación General de Modernización Administrativa

Área de instalación de paneles.

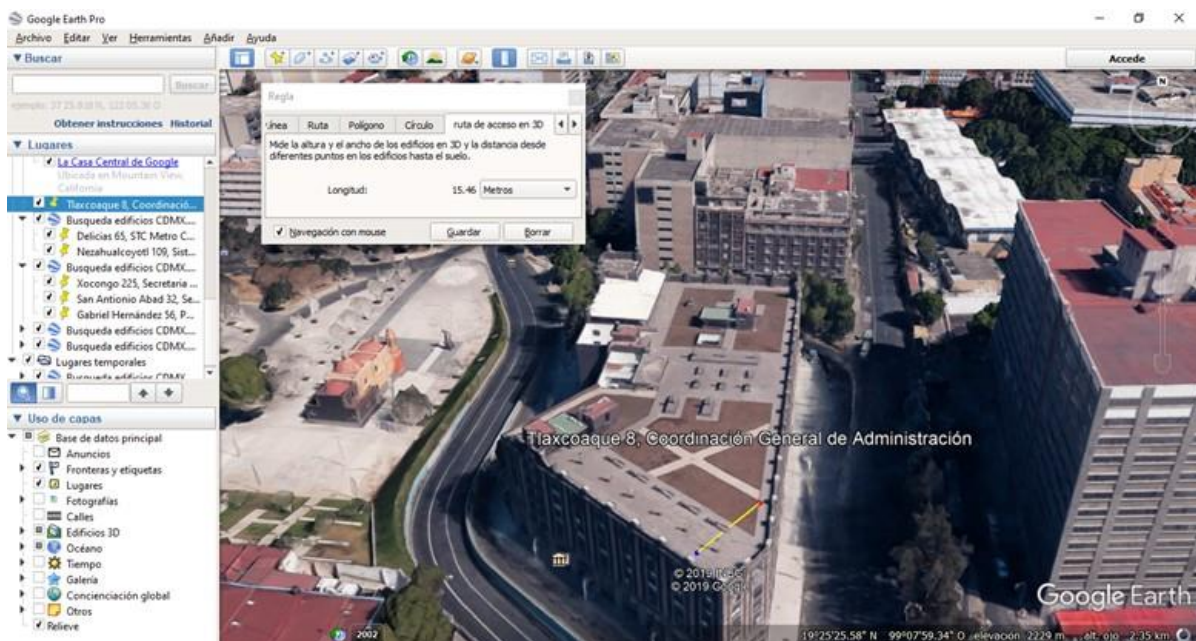


Figura 11.13. Área de instalación 1 – Coordinación general de modernización administrativa.



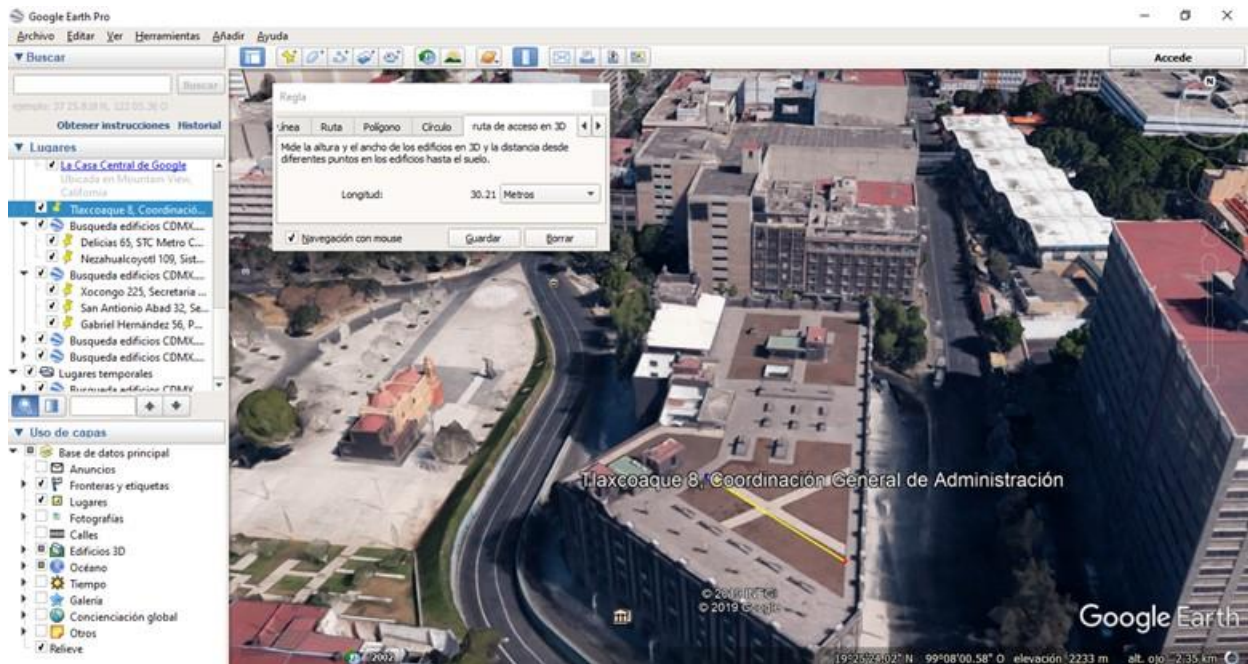


Figura 11.14. Área de instalación 2 – Coordinación general de modernización administrativa.

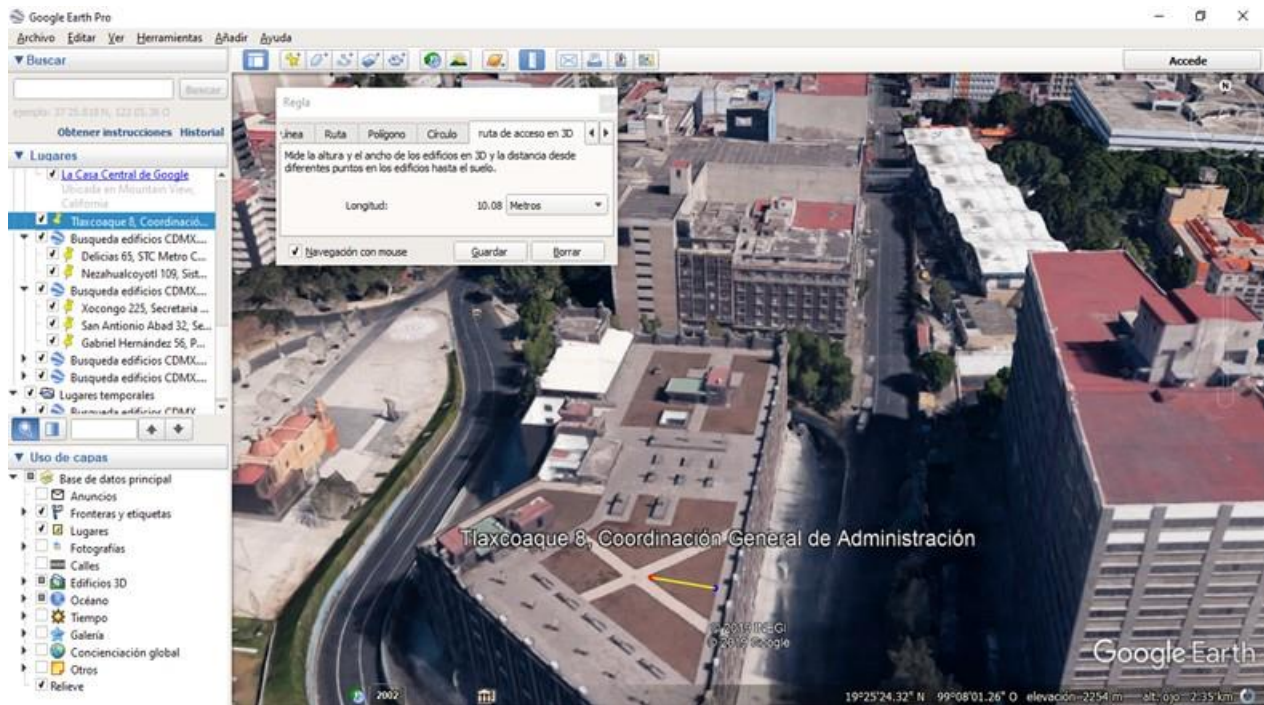


Figura 11.15. Área de instalación 3 – Coordinación general de modernización administrativa.



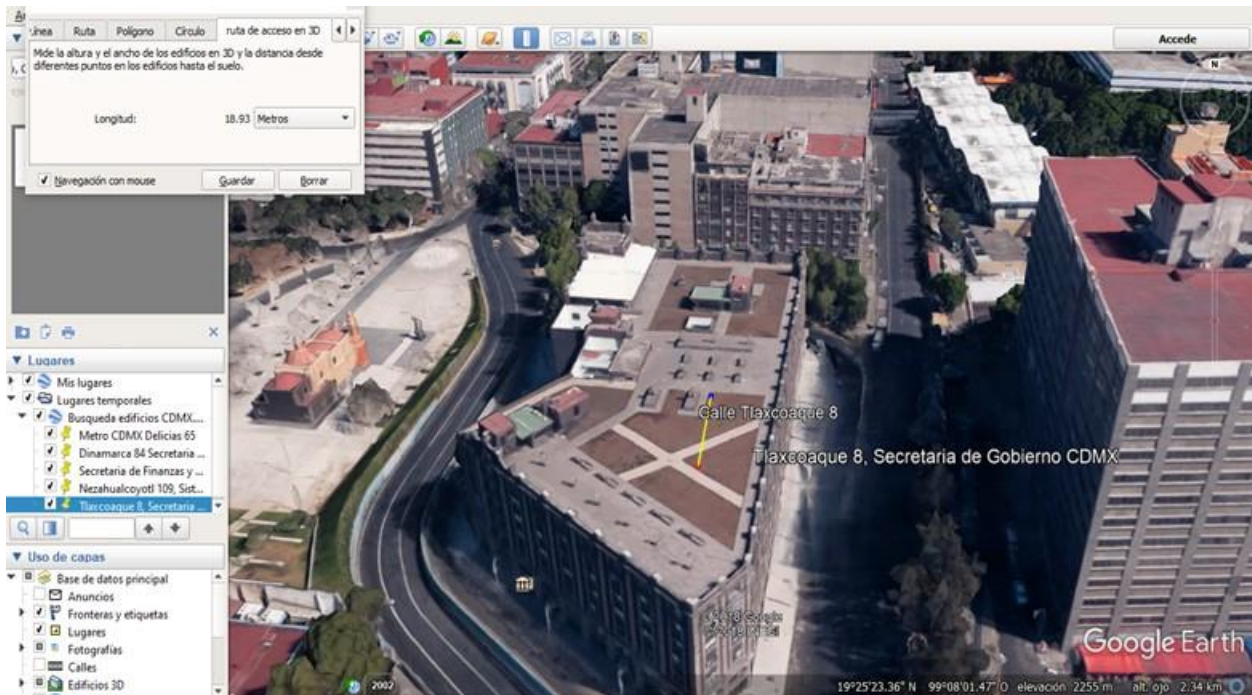


Figura 11.16. Área de instalación 4 – Coordinación general de modernización administrativa.

Superficie.

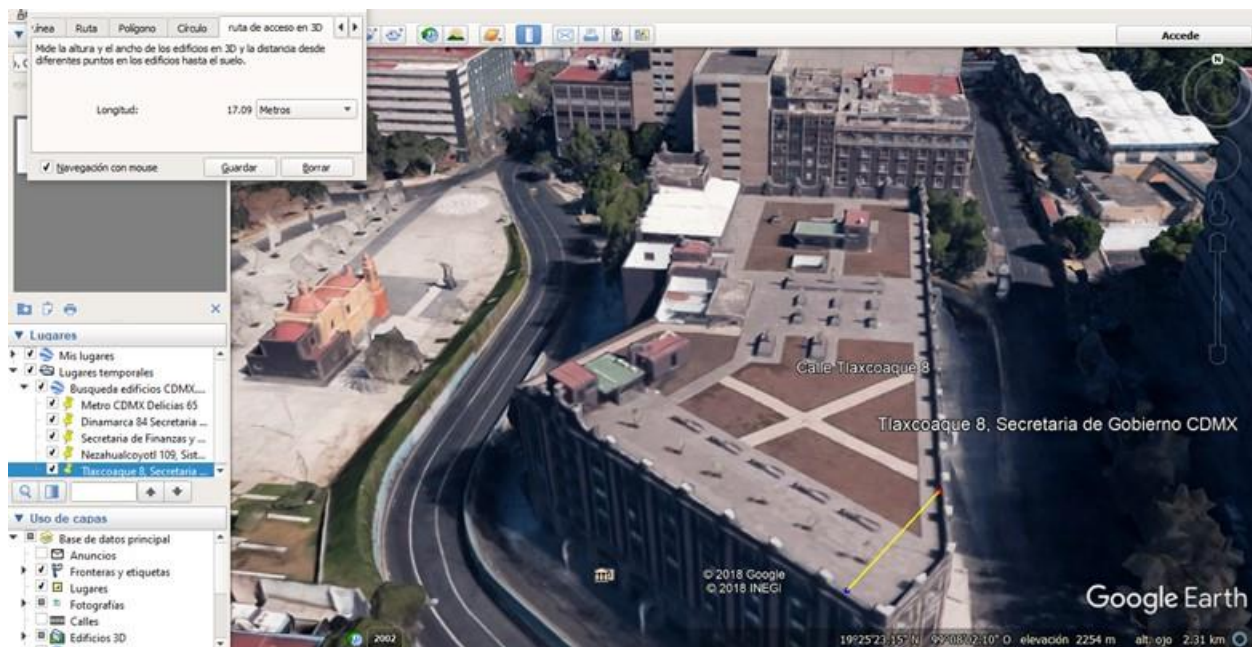


Figura 11.17. Superficie disponible 1 – Coordinación general de modernización administrativa.



Figura 11.18. Superficie disponible 2 – Coordinación general de modernización administrativa.

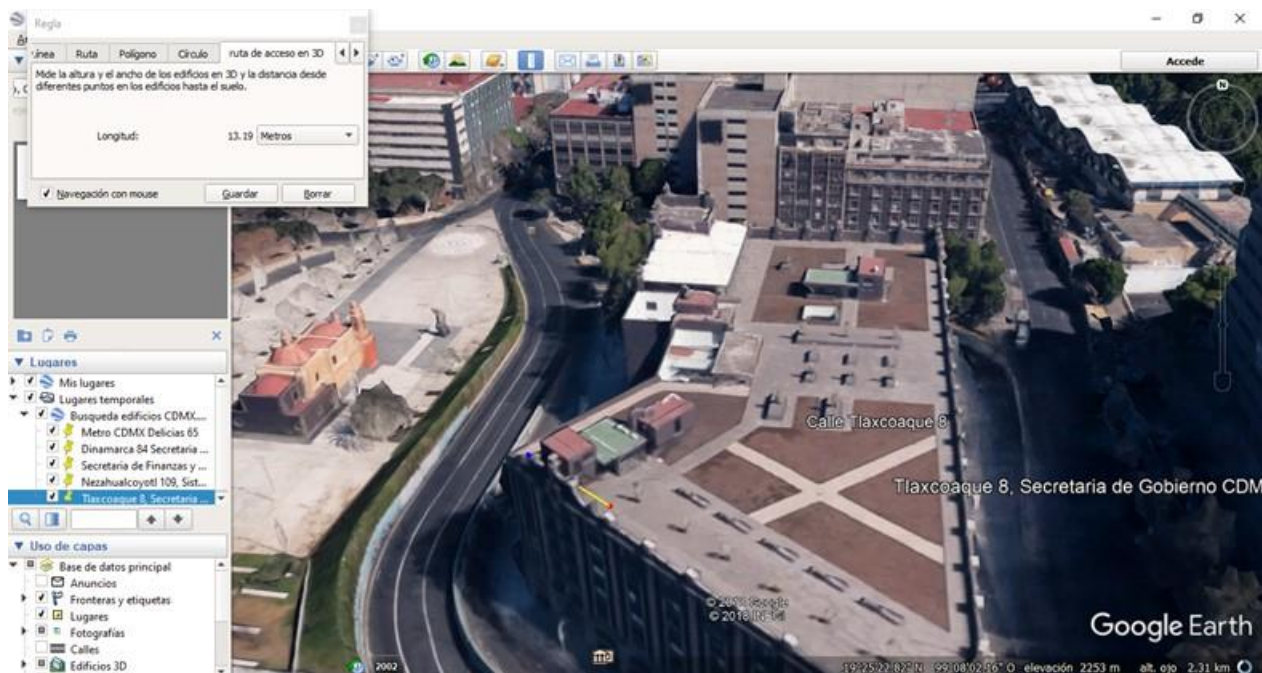


Figura 11.19. Superficie disponible 3 – Coordinación general de modernización administrativa.



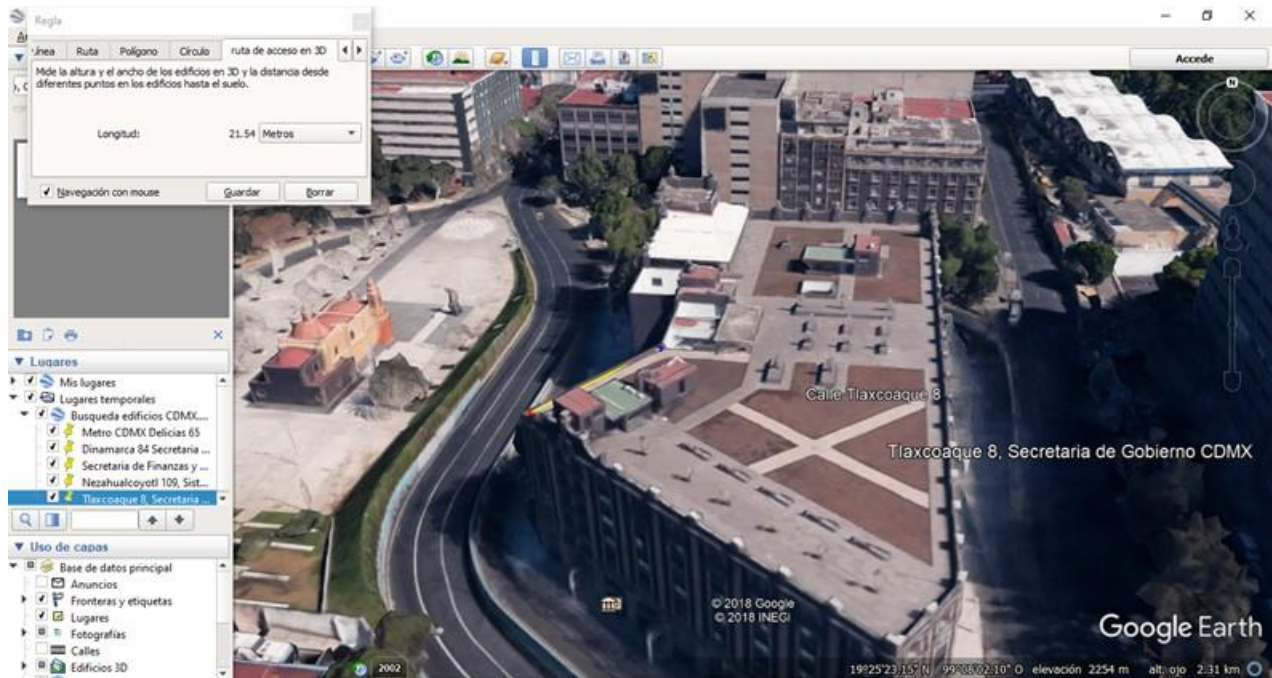


Figura 11.20. Superficie disponible 4 – Coordinación general de modernización administrativa.

Dr. Lavista 144, Tesorería CDMX

Área de instalación de paneles.

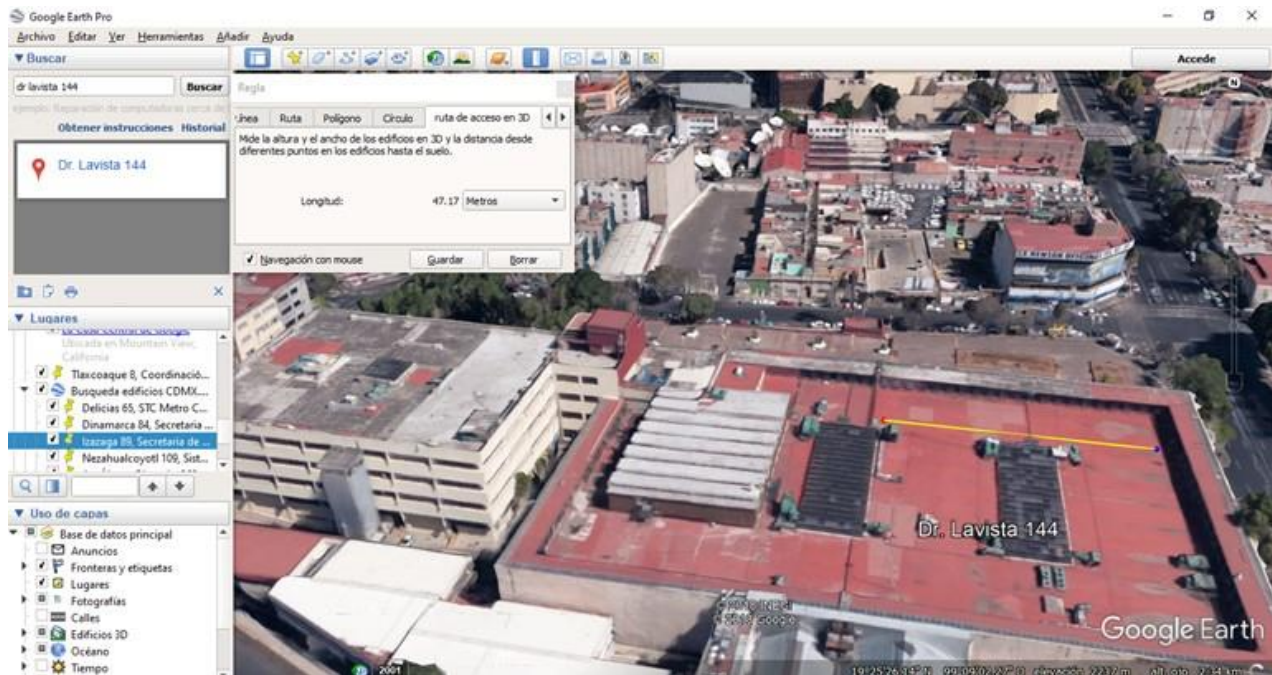


Figura 11.21. Área de instalación 1 – Tesorería CDMX.



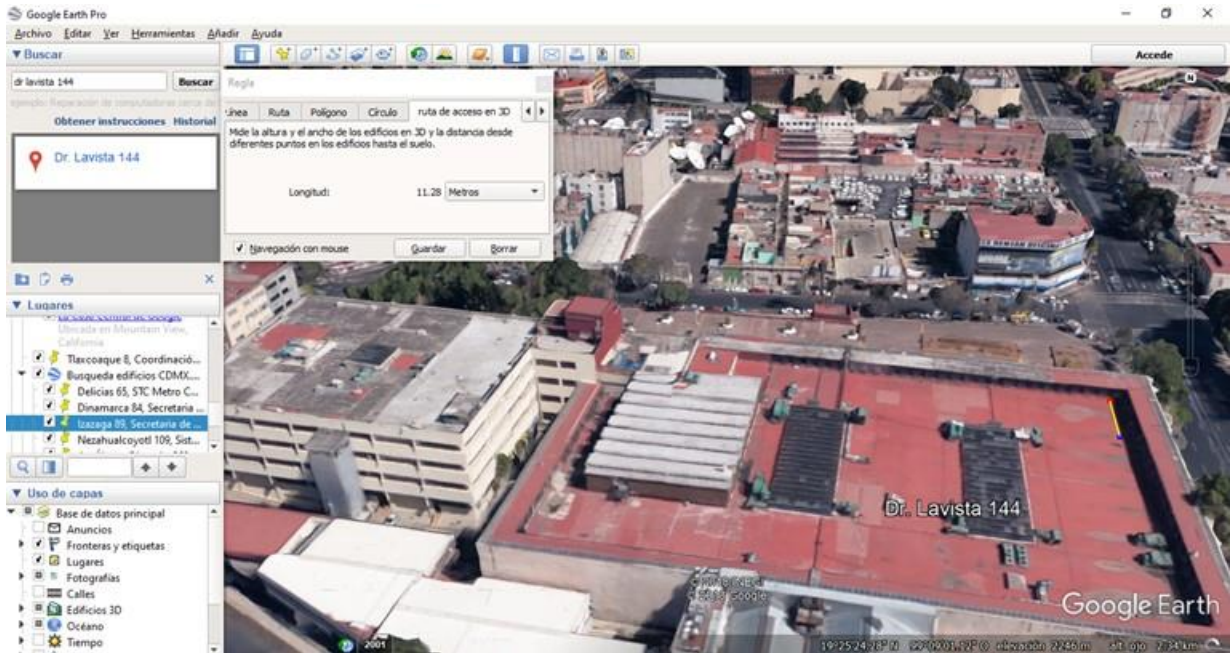


Figura 11.22. Área de instalación 2 – Tesorería CDMX.

Superficie.

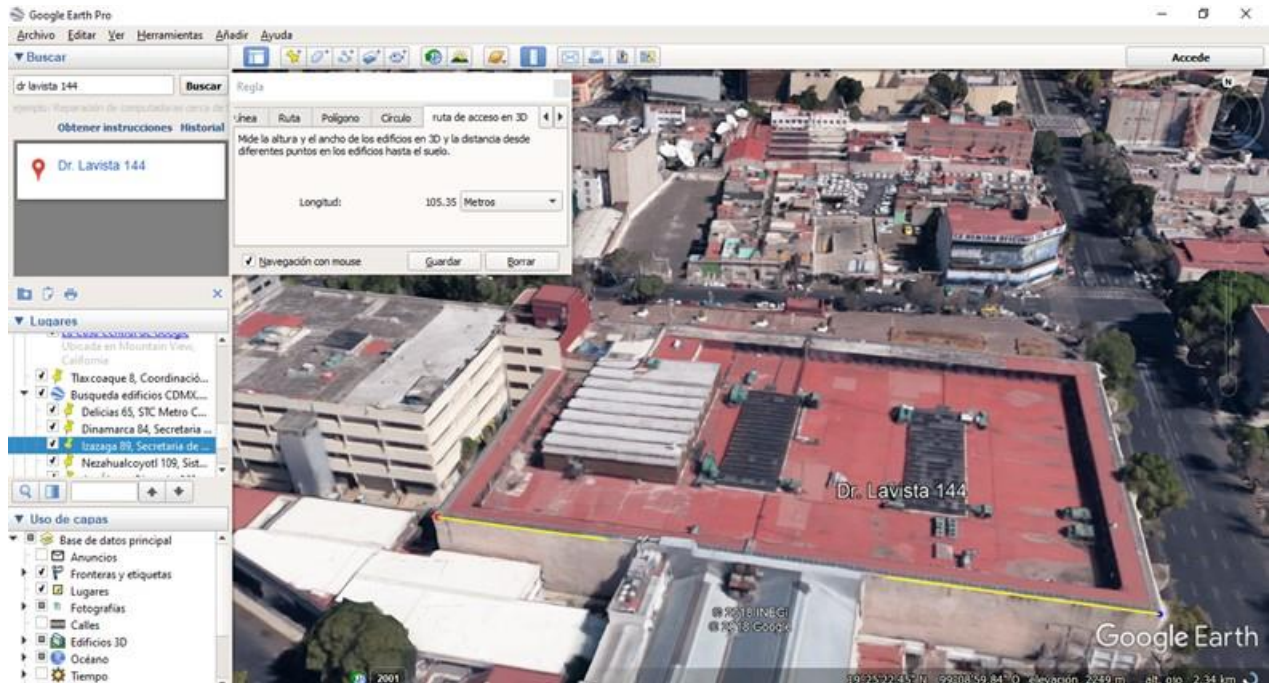


Figura 11.23. Superficie disponible 1 – Tesorería CDMX.



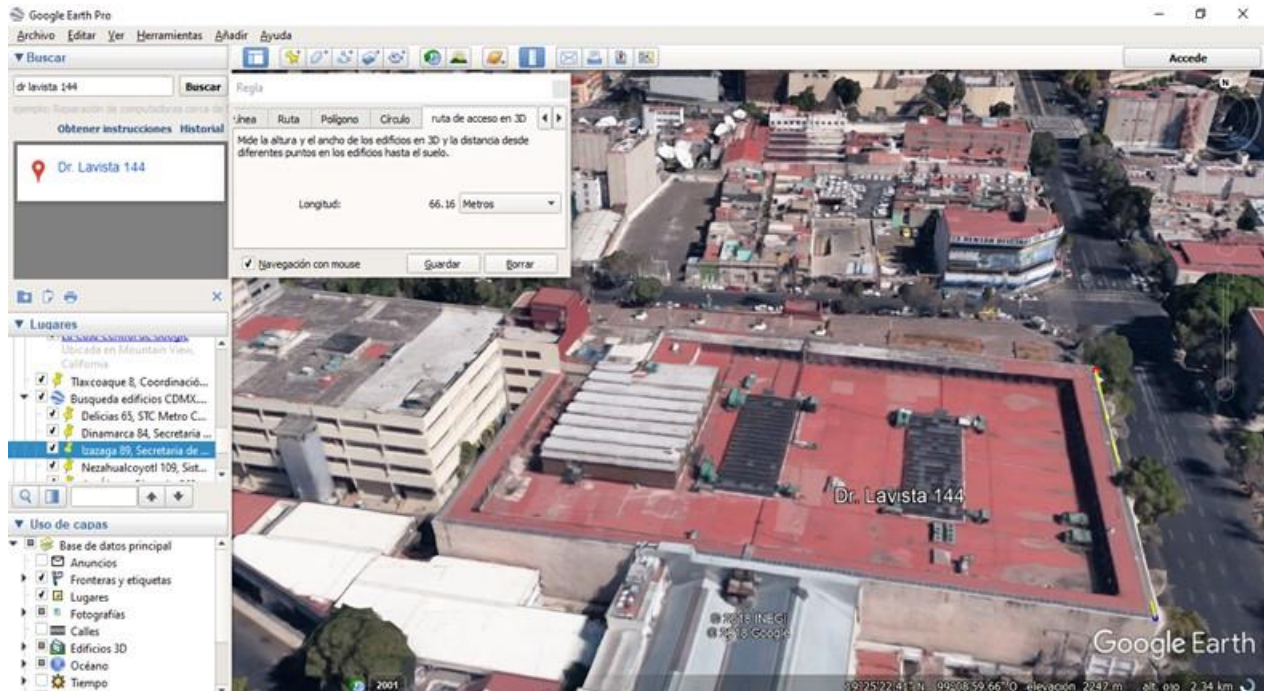


Figura 11.24. Superficie disponible 2 – Tesorería CDMX.

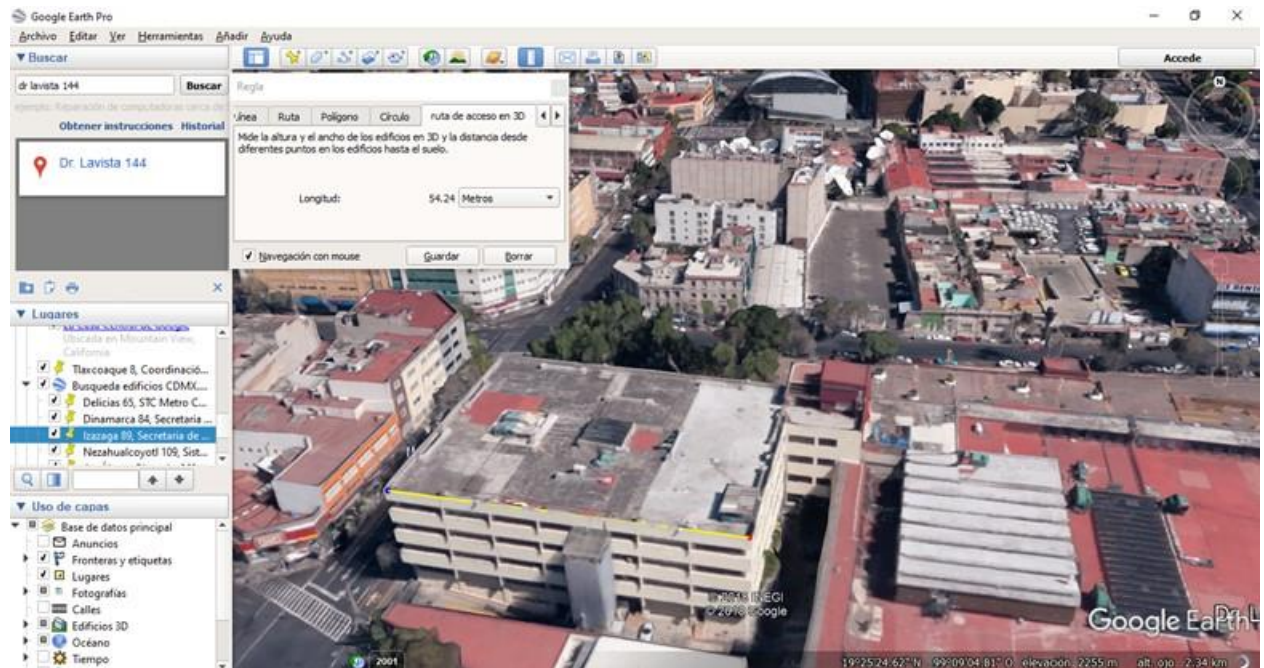


Figura 11.25. Superficie disponible 3 – Tesorería CDMX.



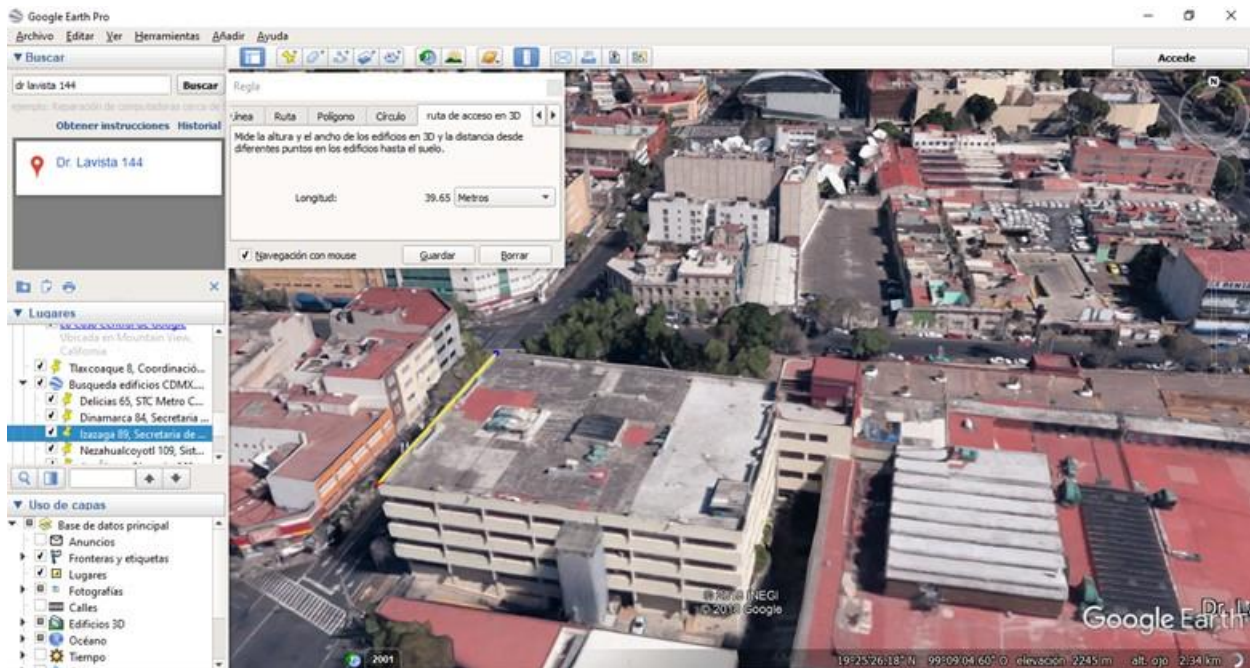


Figura 11.26. Superficie disponible 4 – Tesorería CDMX.

Xotepingo 225, Secretaria de Salud CDMX

Área de instalación de paneles.

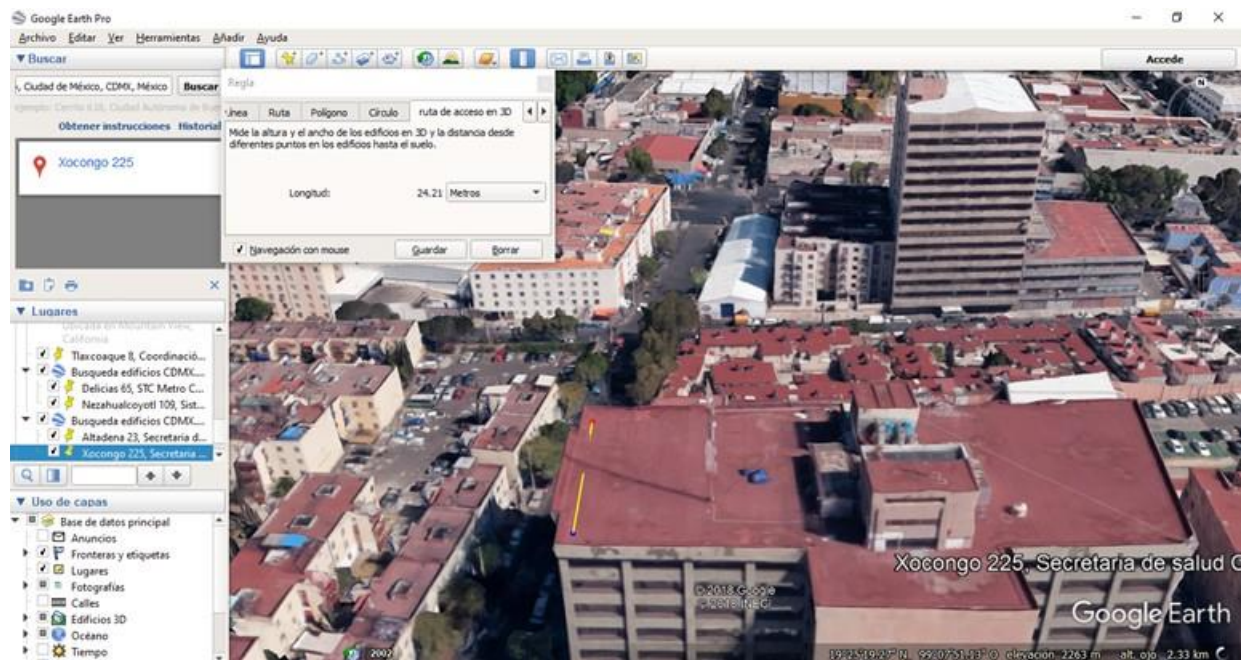


Figura 11.27. Área de instalación 1 – Secretaría de salud CDMX.



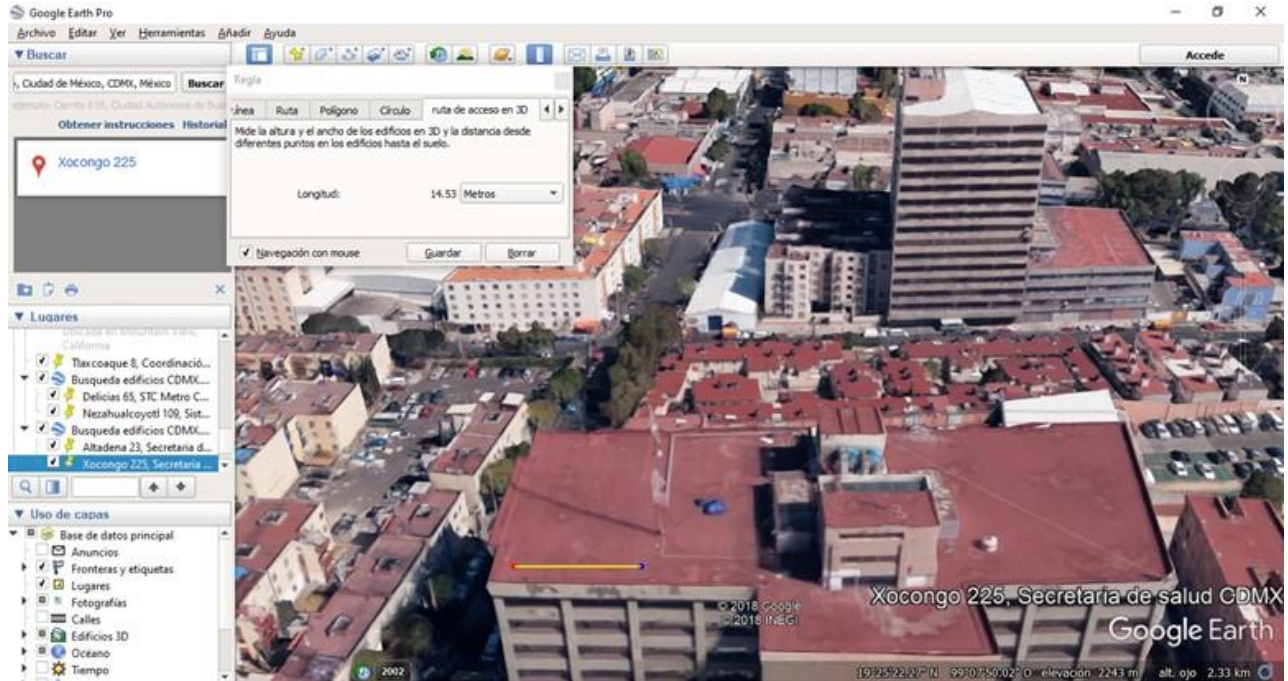


Figura 11.28. Área de instalación 2 – Secretaría de salud CDMX.

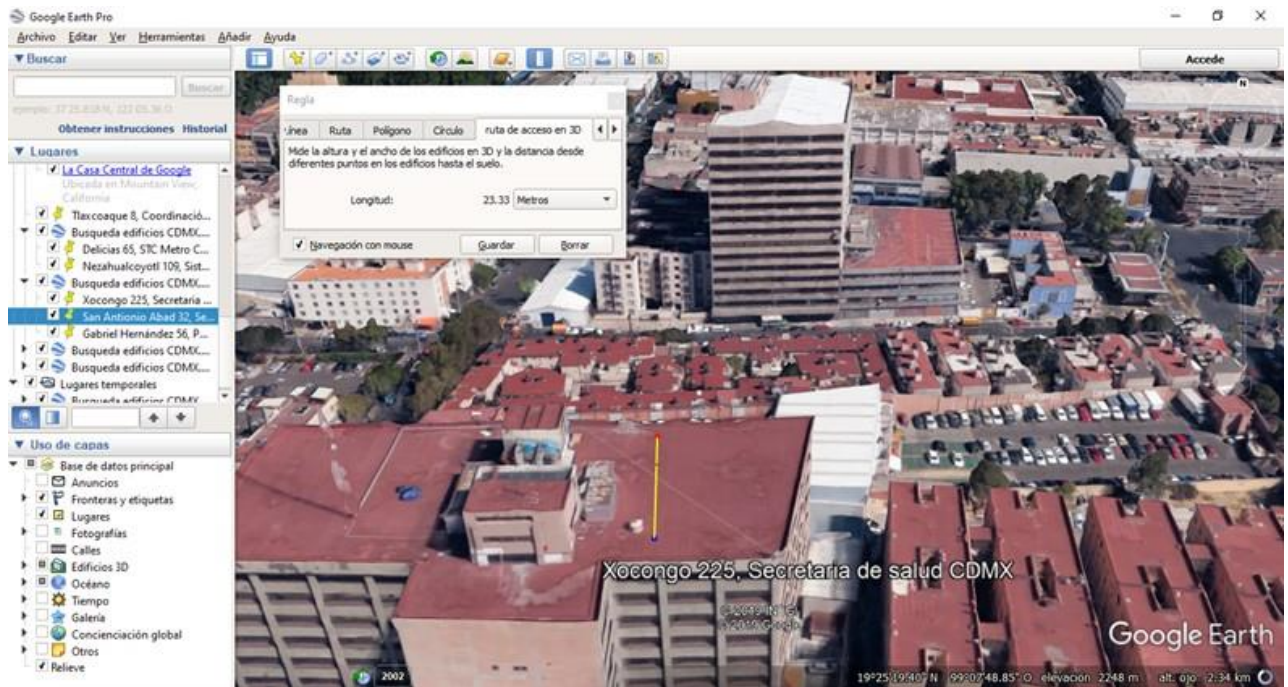


Figura 11.29. Área de instalación 3 – Secretaría de salud CDMX.



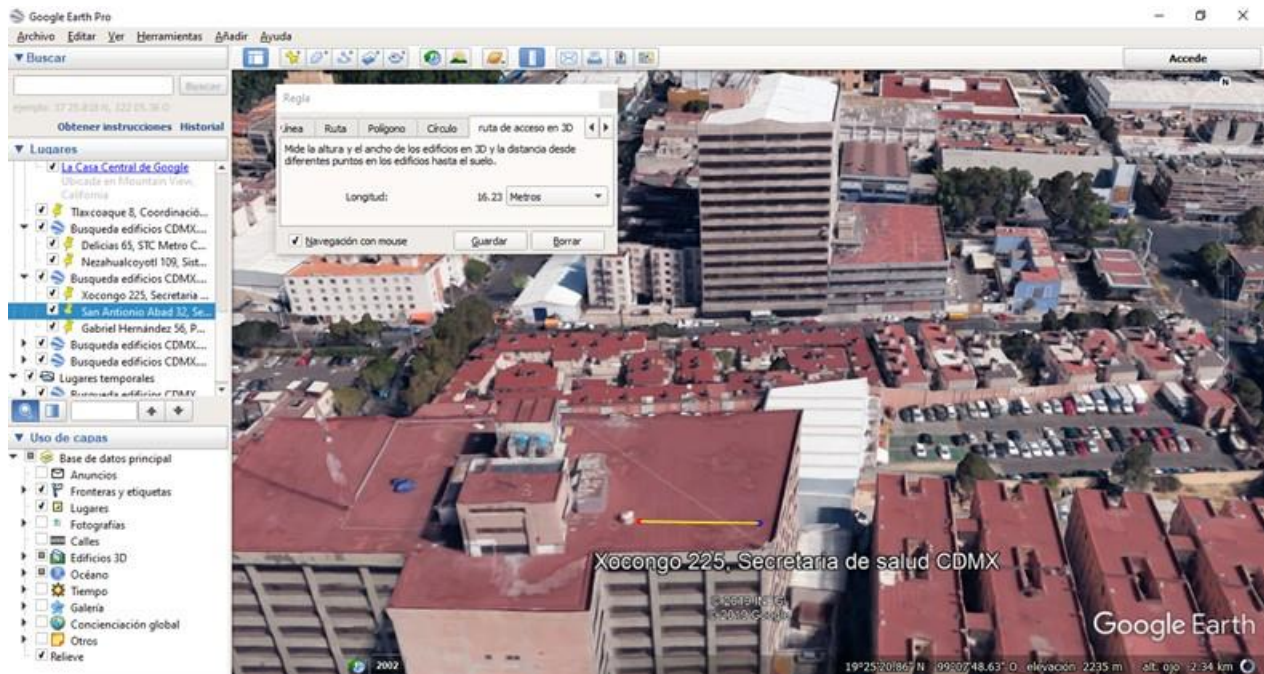


Figura 11.30. Área de instalación 4 – Secretaría de salud CDMX.

Superficie.



Figura 11.31. Superficie disponible 1 – Secretaría de salud CDMX.





Figura 11.32. Superficie disponible 2 – Secretaría de salud CDMX.



Figura 11.33. Superficie disponible 3 – Secretaría de salud CDMX.

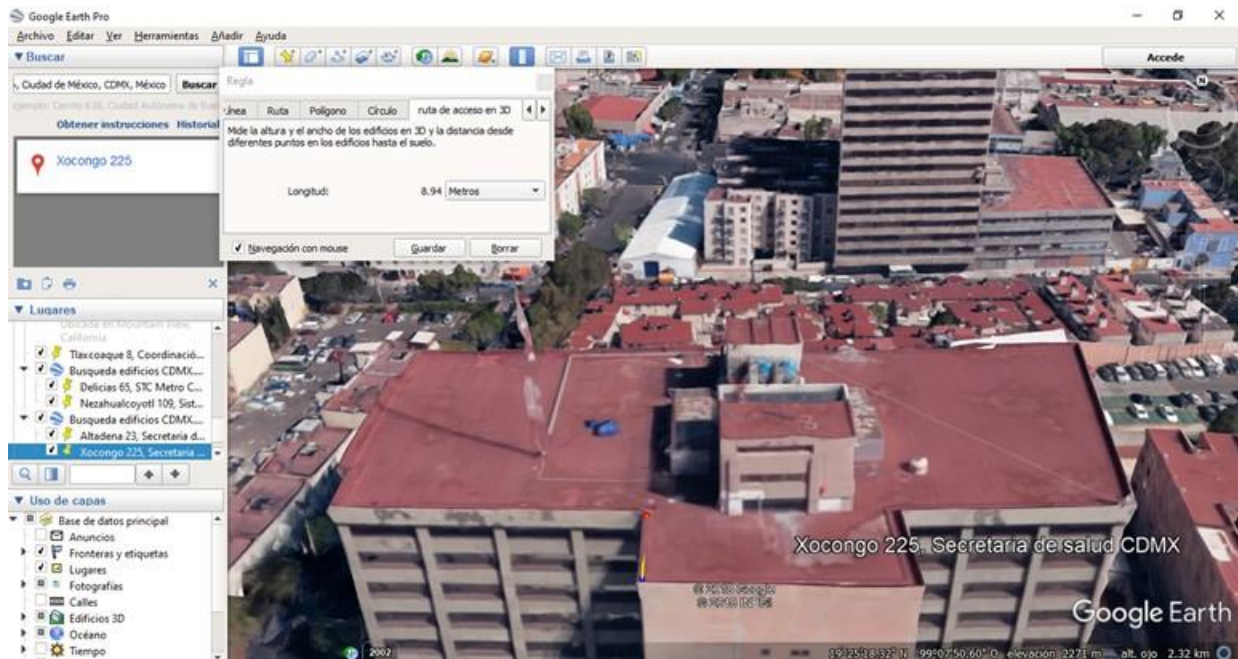


Figura 11.34. Superficie disponible 4 – Secretaría de salud CDMX.

Calzada San Antonio Abad 32, Secretaría de Trabajo y Fomento al Empleo CDMX  
 Área de instalación de paneles.

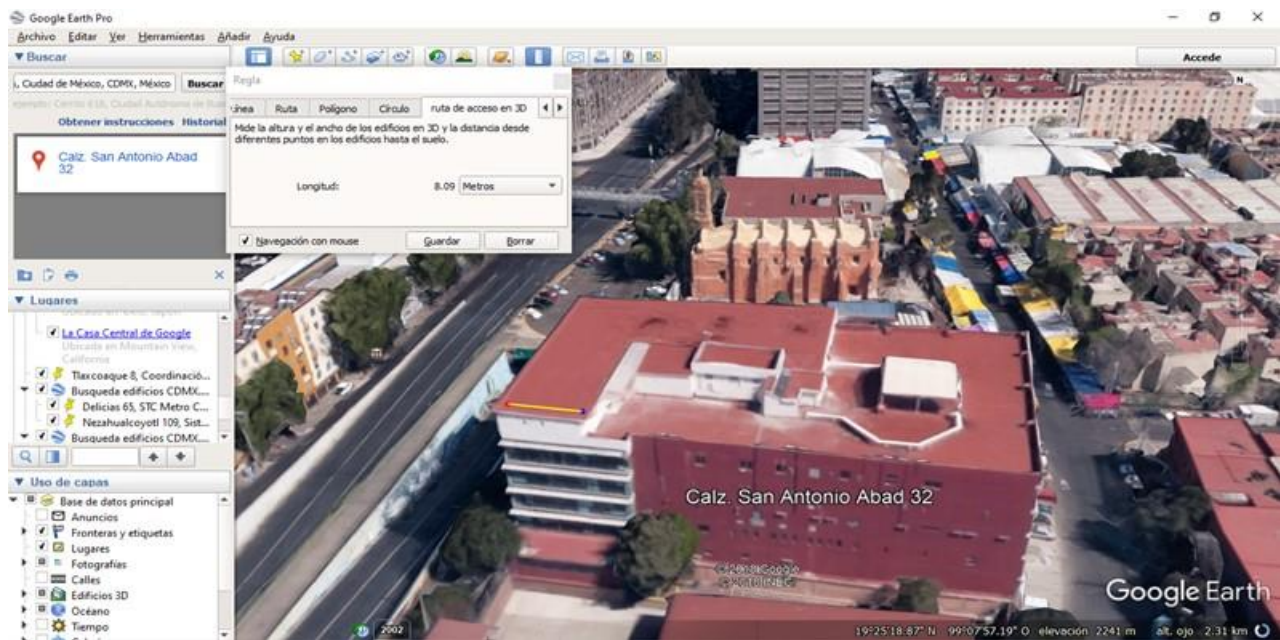


Figura 11.35. Área de instalación 1 – Secretaría de trabajo CDMX.



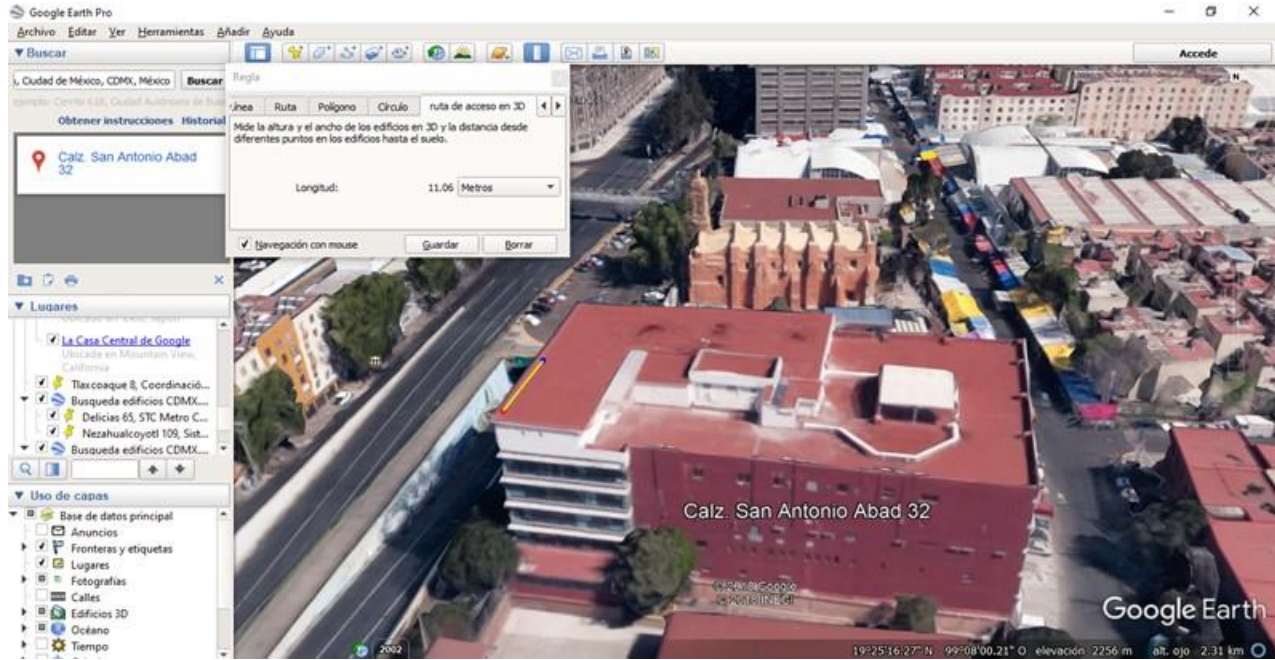


Figura 11.36. Área de instalación 2 – Secretaría de trabajo CDMX.

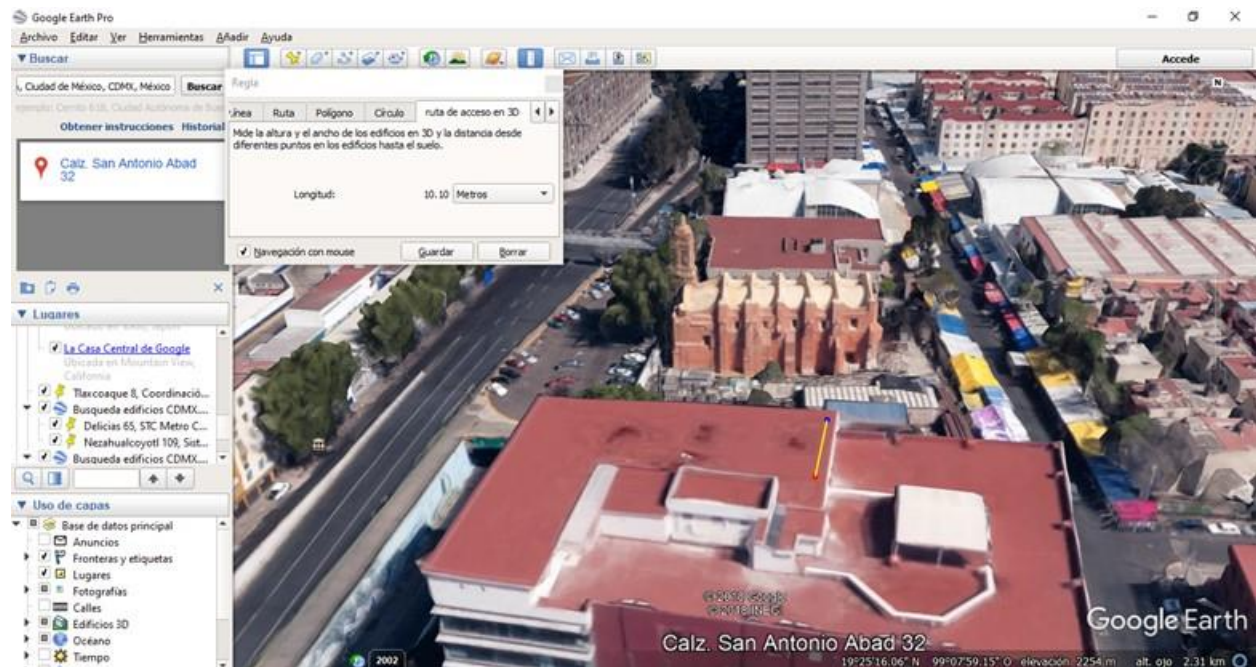


Figura 11.37. Área de instalación 3 – Secretaría de trabajo CDMX.



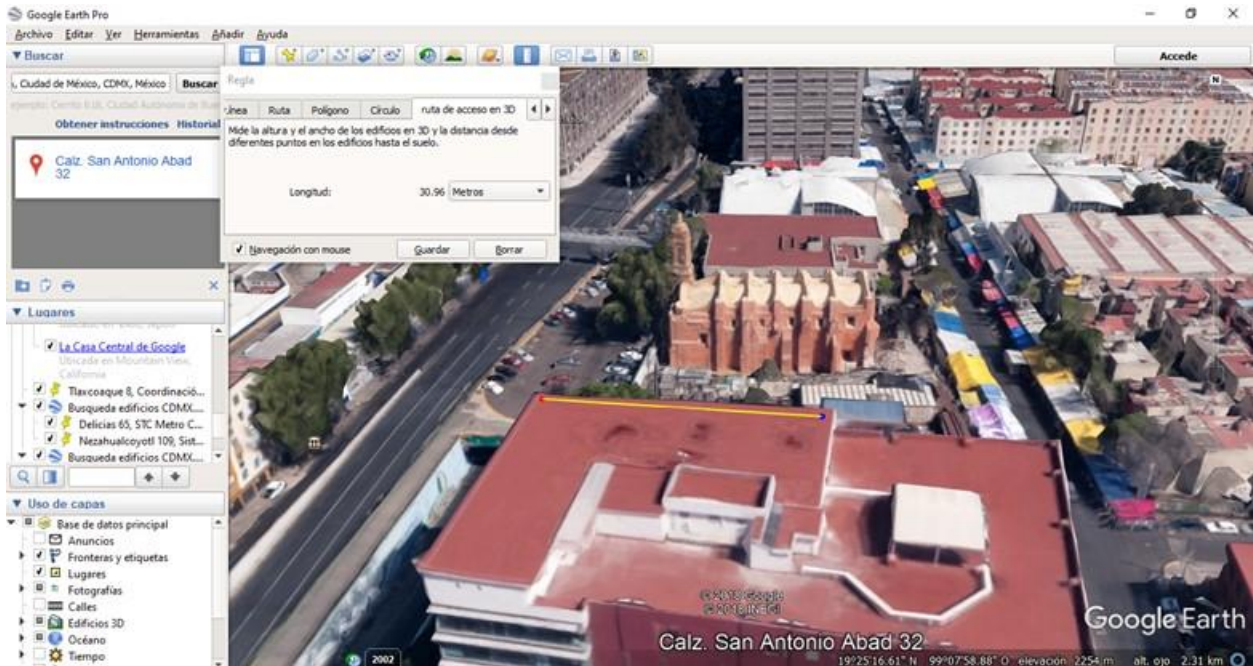


Figura 11.38. Área de instalación 4 – Secretaría de trabajo CDMX.

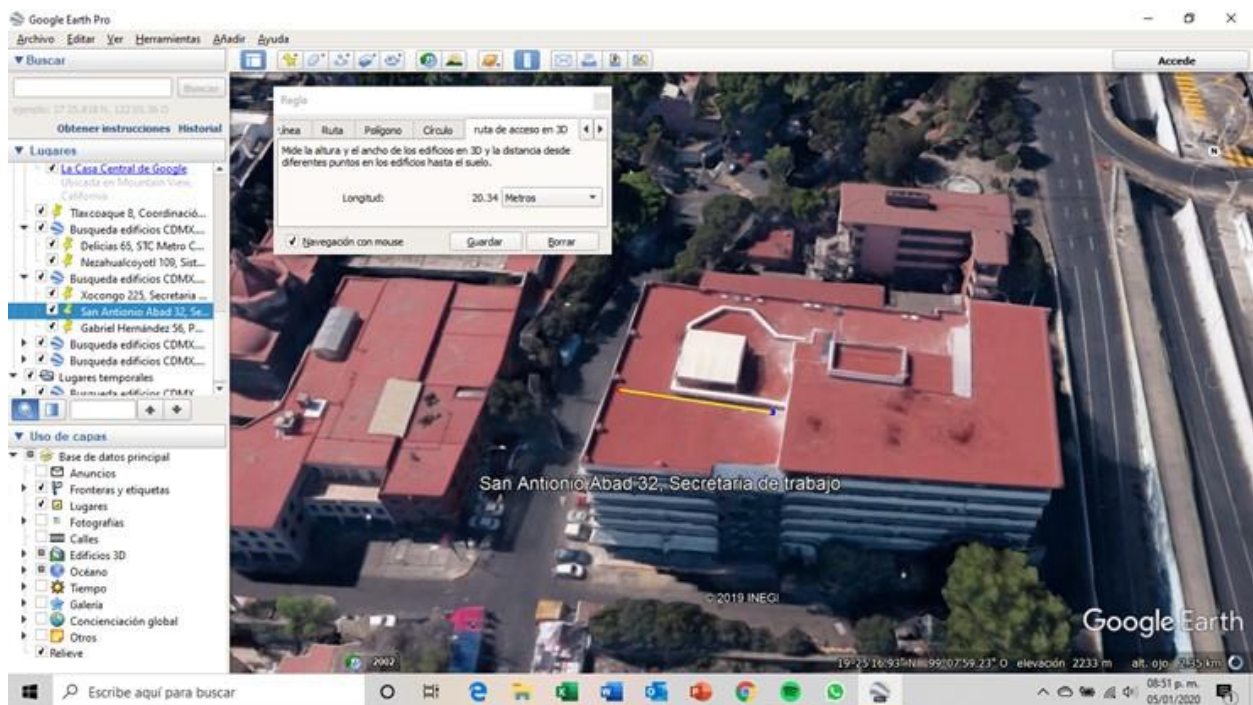


Figura 11.39. Área de instalación 5 – Secretaría de trabajo CDMX.



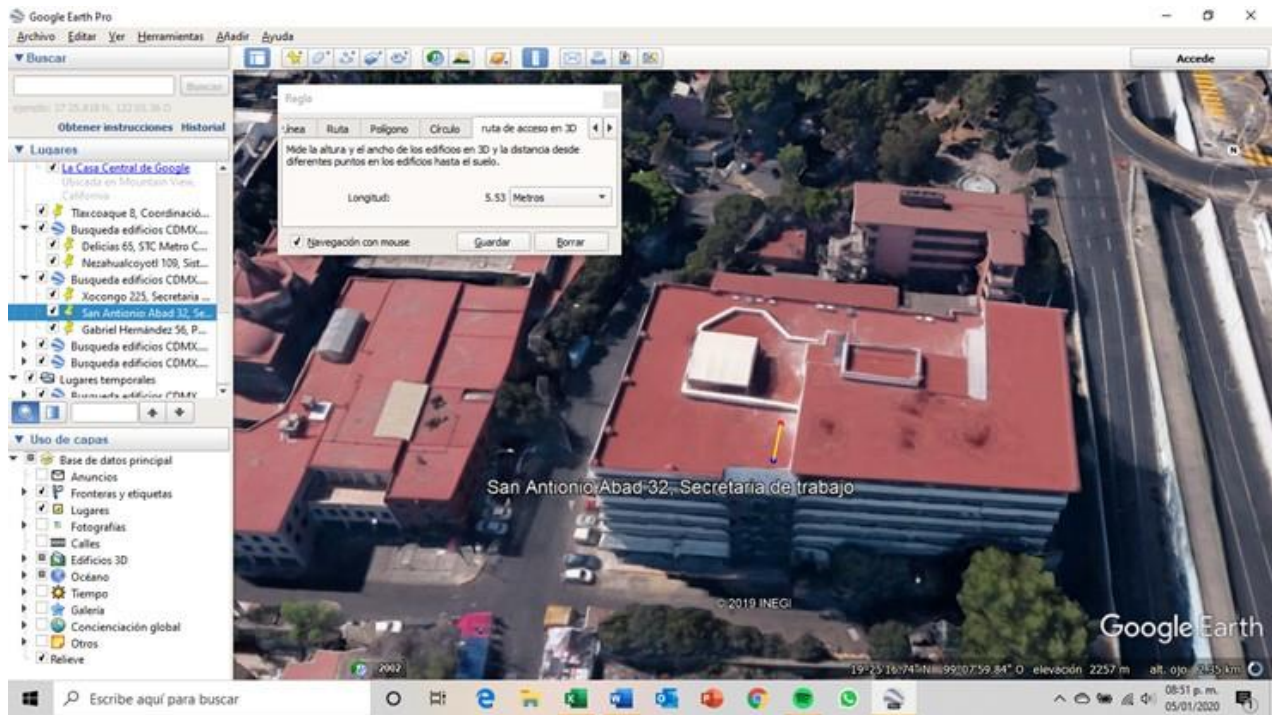


Figura 11.40. Área de instalación 6 – Secretaría de trabajo CDMX.

Superficie.

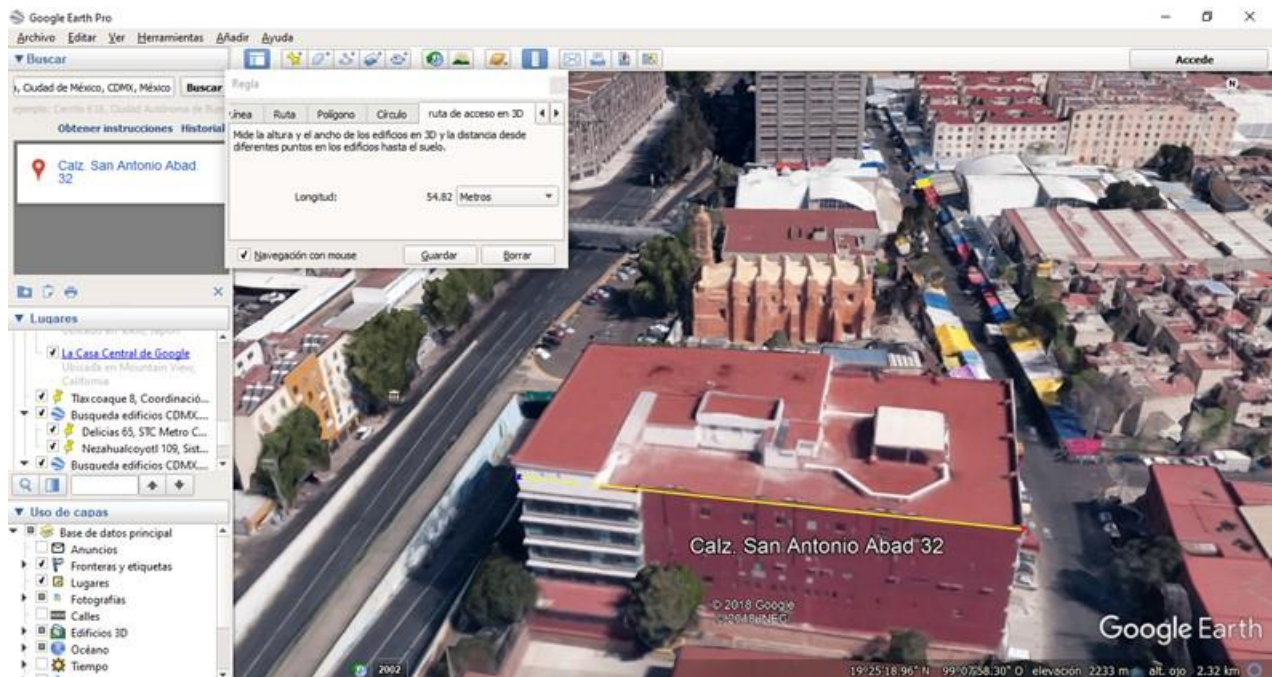


Figura 11.41. Superficie disponible 1 – Secretaría de trabajo CDMX.



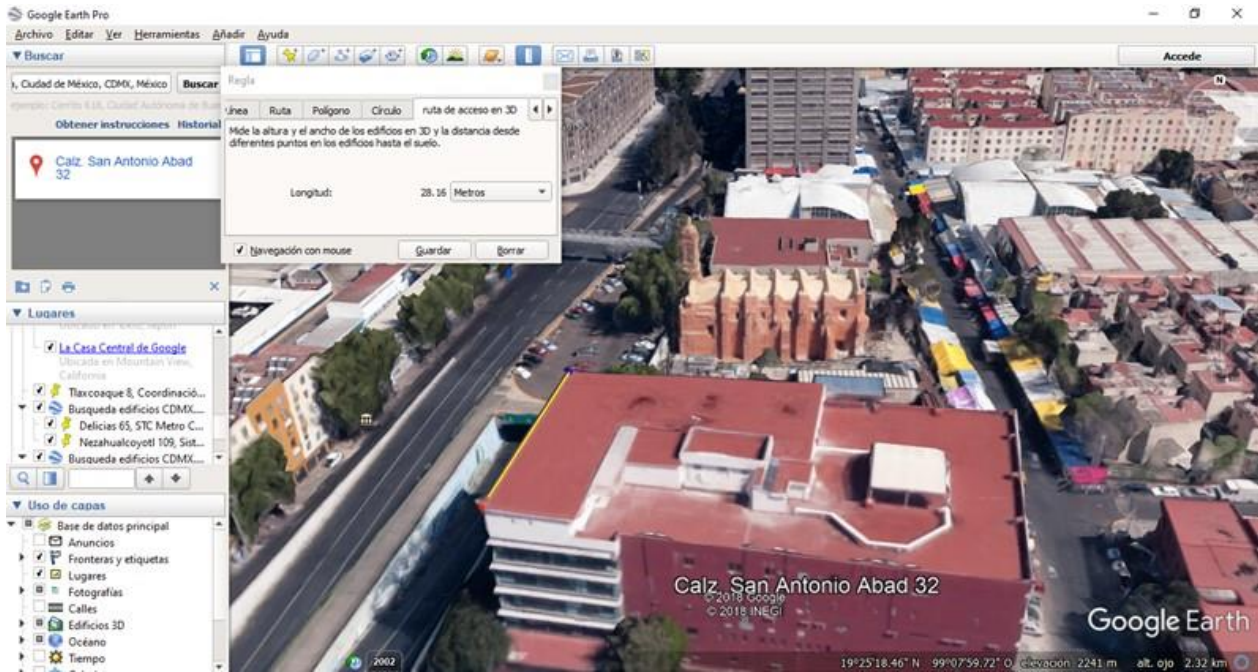


Figura 11.42. Superficie disponible 2 – Secretaría de trabajo CDMX.

Gabriel Hernández 26, PGJ CDMX

Área de instalación de paneles.

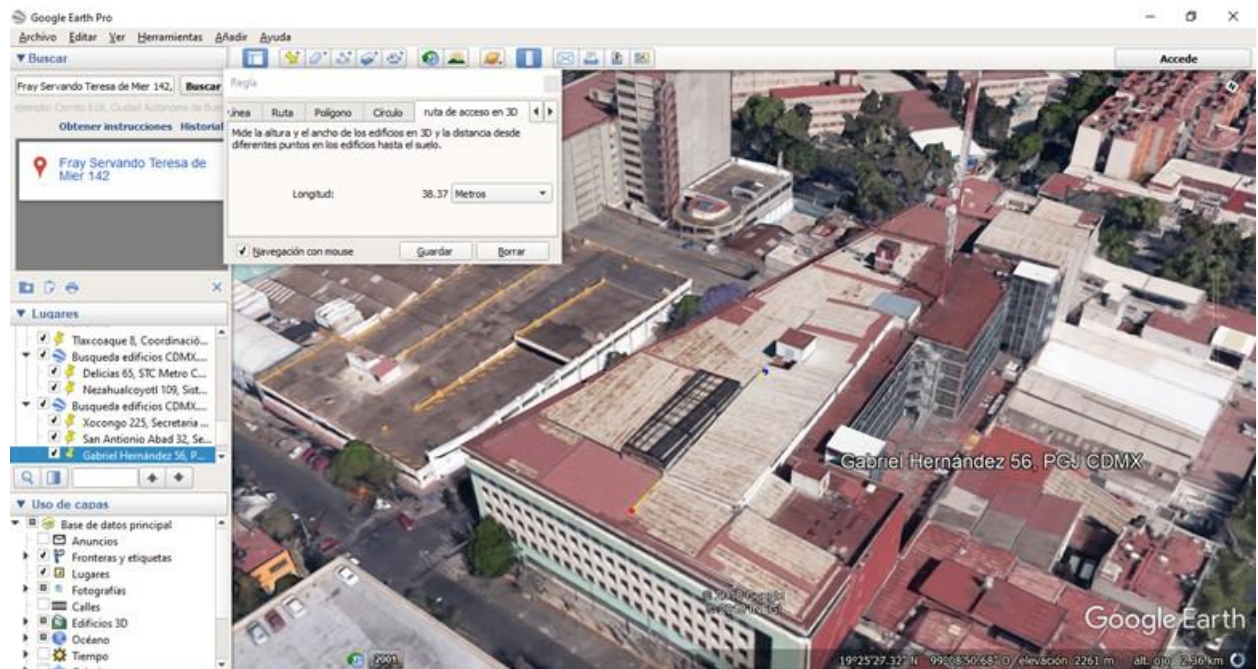


Figura 11.43. Área de instalación 1 – PGJ CDMX.





Figura 11.44. Área de instalación 2 – PGJ CDMX.

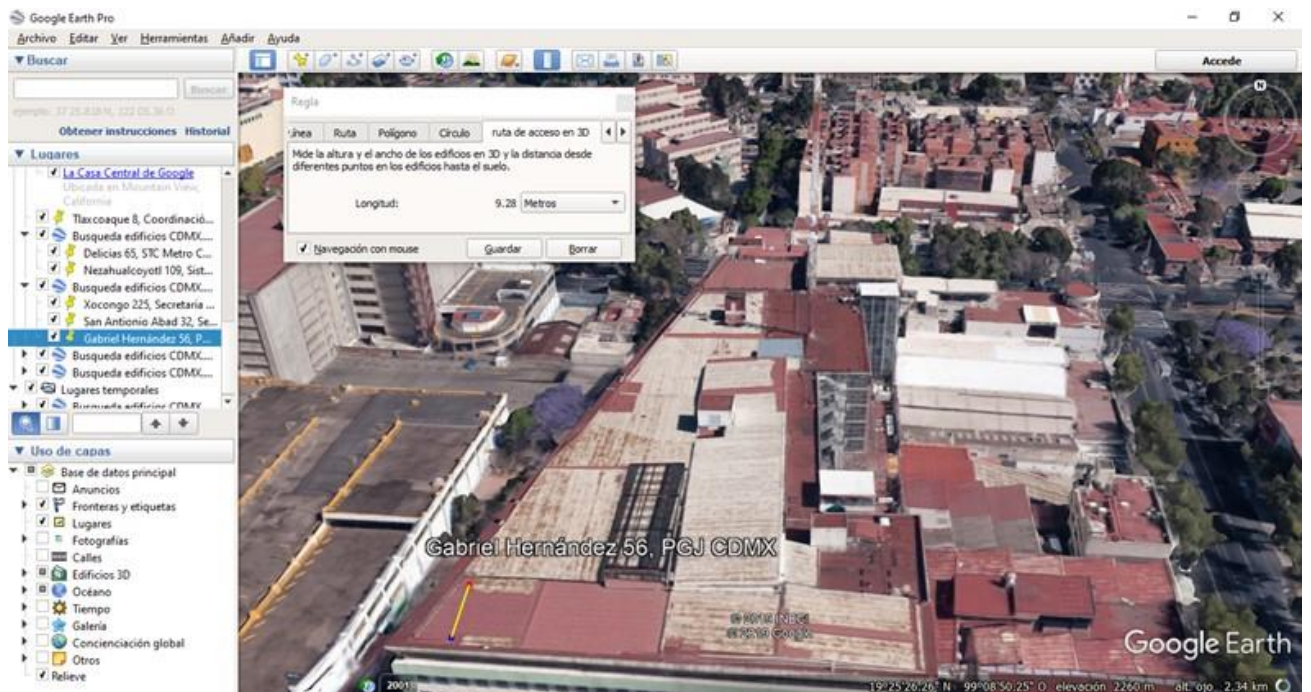


Figura 11.45. Área de instalación 3 – PGJ CDMX.



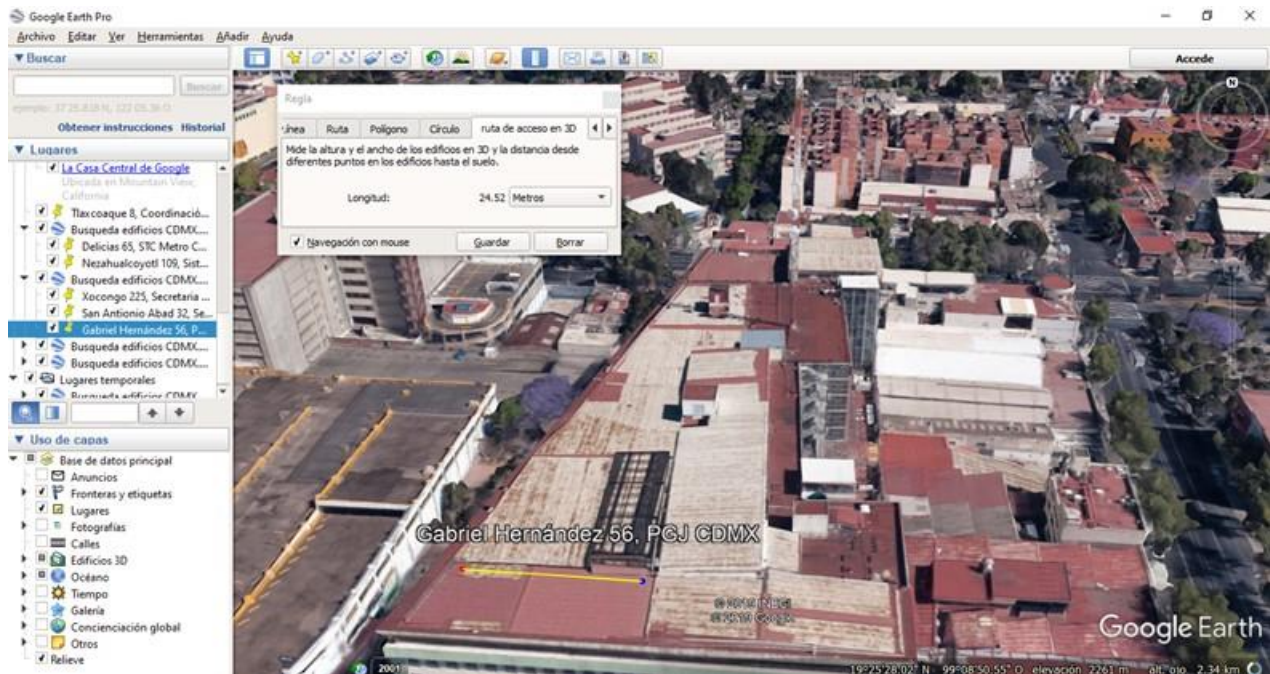


Figura 11.46. Área de instalación 4 – PGJ CDMX.

## Superficie.

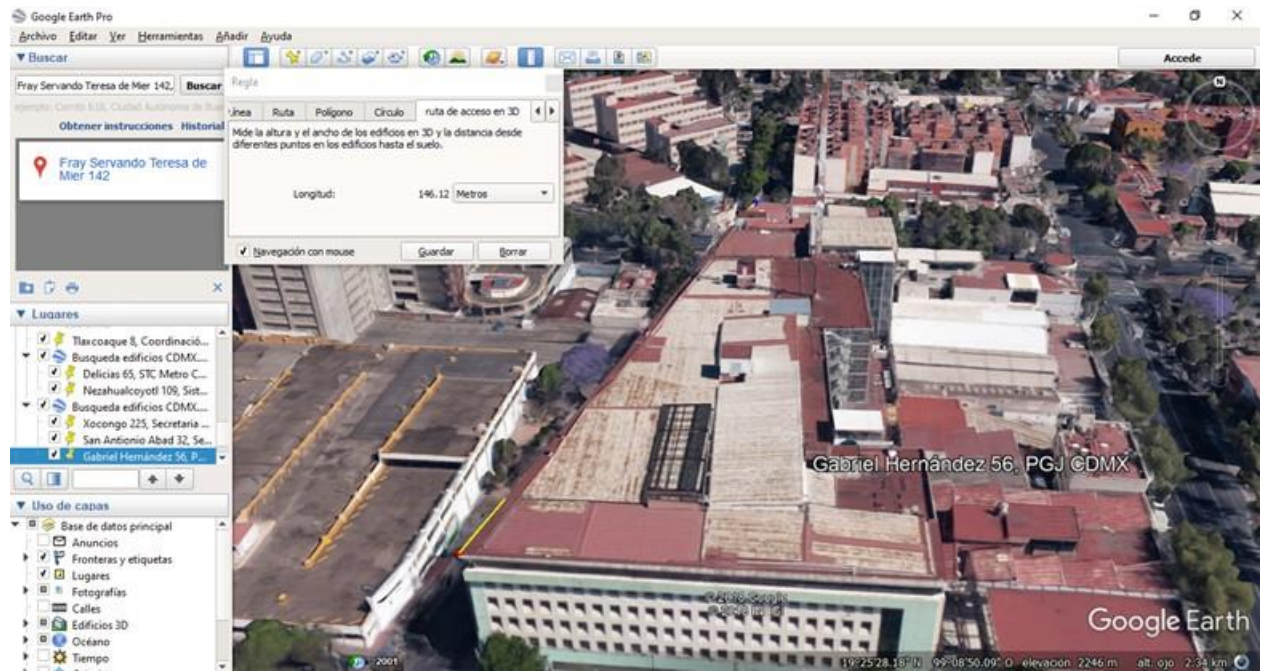


Figura 11.47. Superficie disponible 1 – PGJ CDMX.



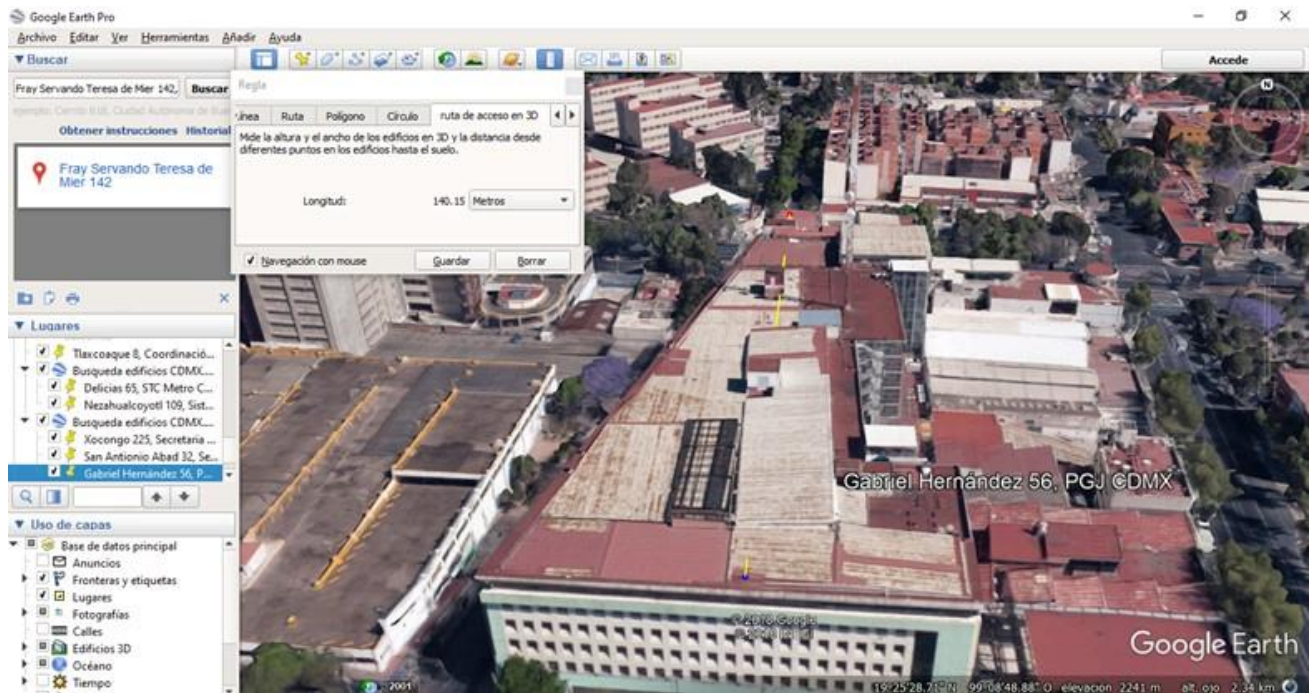


Figura 11.48. Superficie disponible 2 – PGJ CDMX.

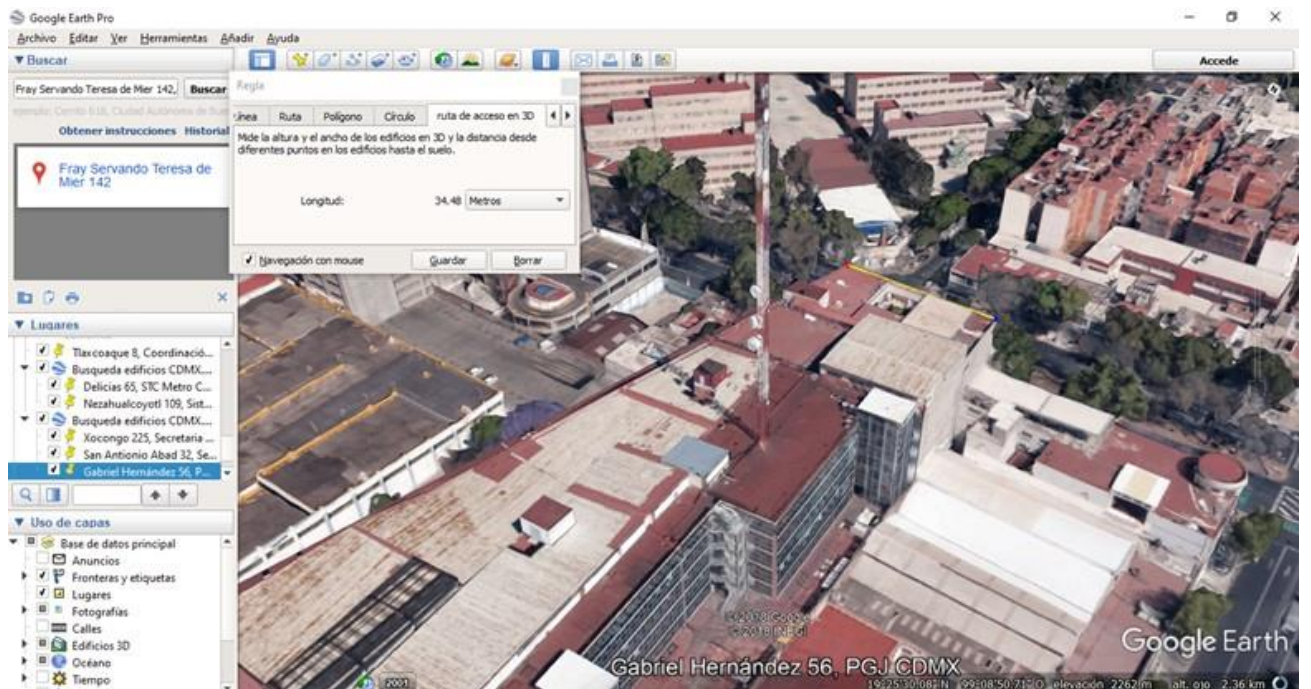


Figura 11.49. Superficie disponible 3 – PGJ CDMX.



## Calzada Obrero Mundial 358, SSC Tránsito CDMX

Área de instalación de paneles.

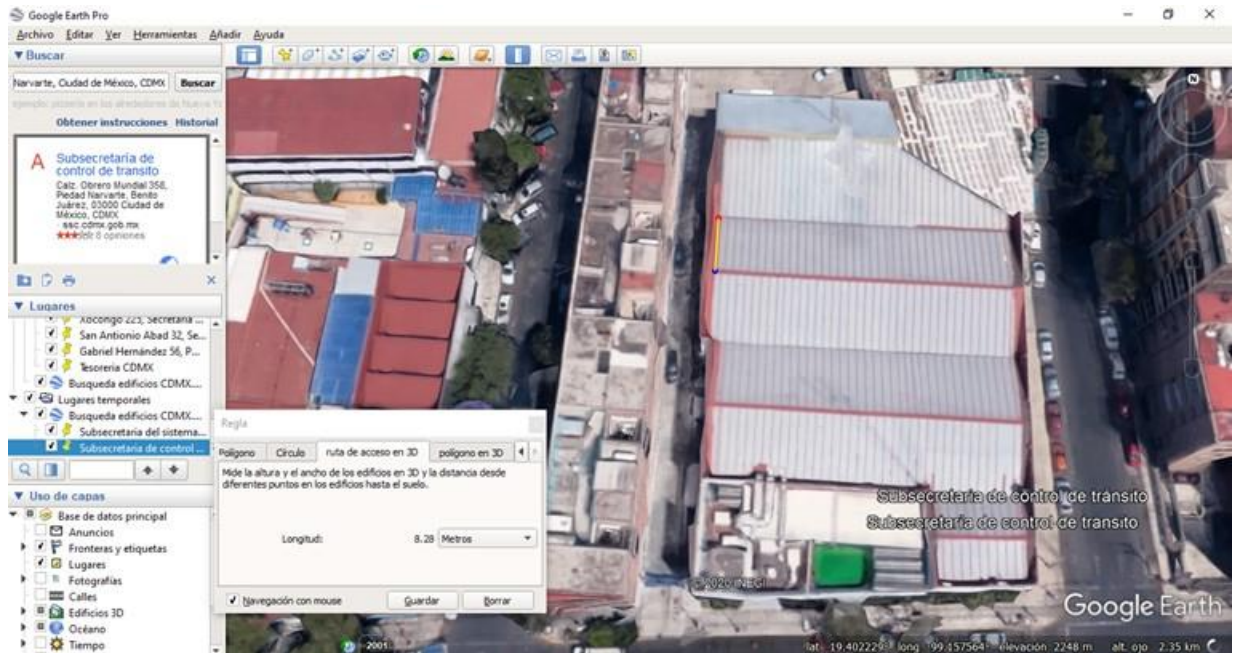


Figura 11.50. Área de instalación 1 - SSC Tránsito

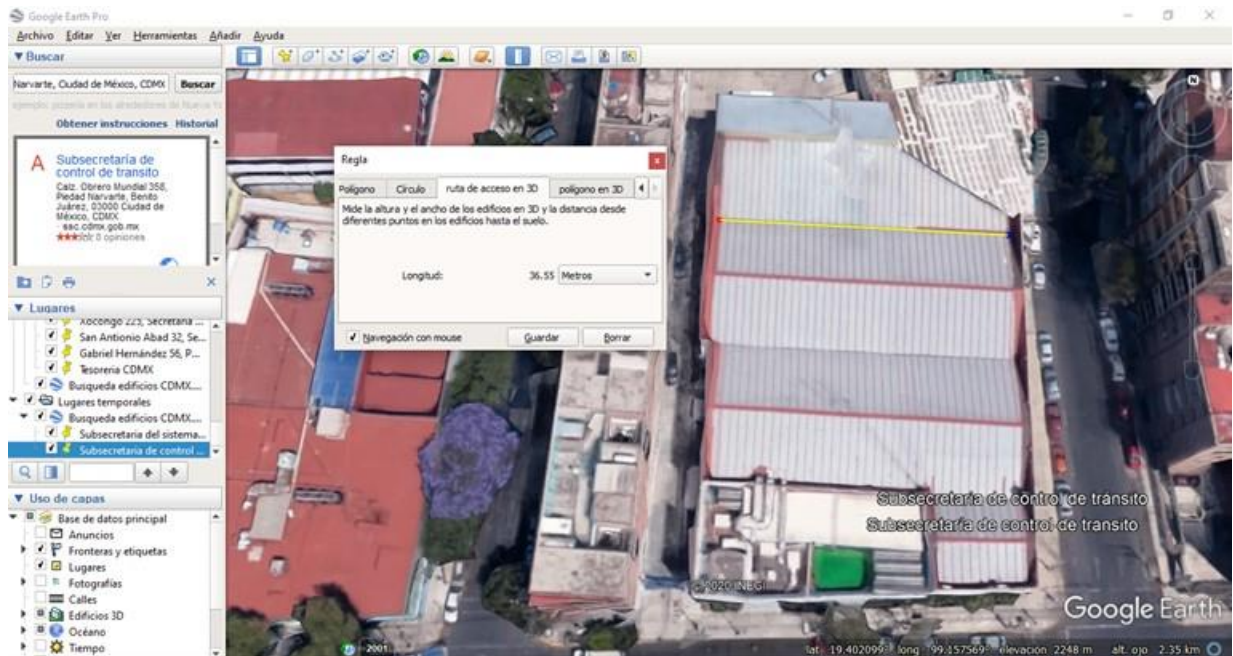


Figura 11.51. Área de instalación 2 – SSC Tránsito.

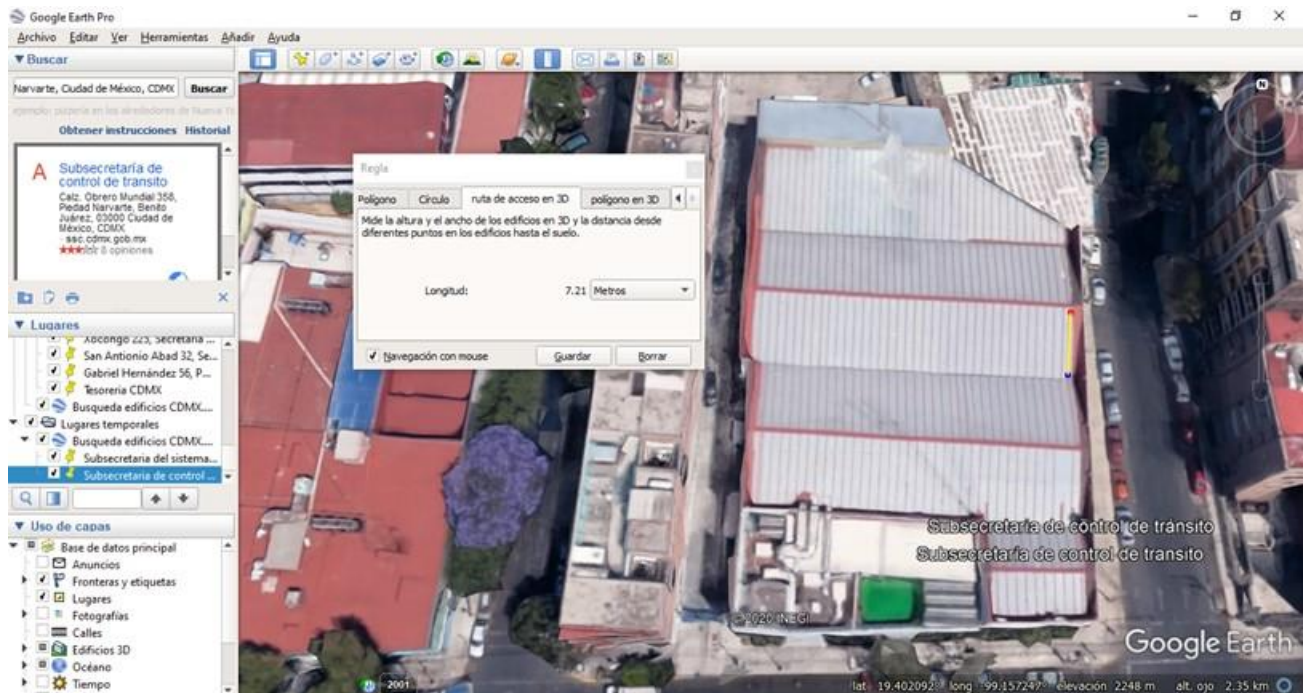


Figura 11.52. Área de instalación 3 – SSC Tránsito.

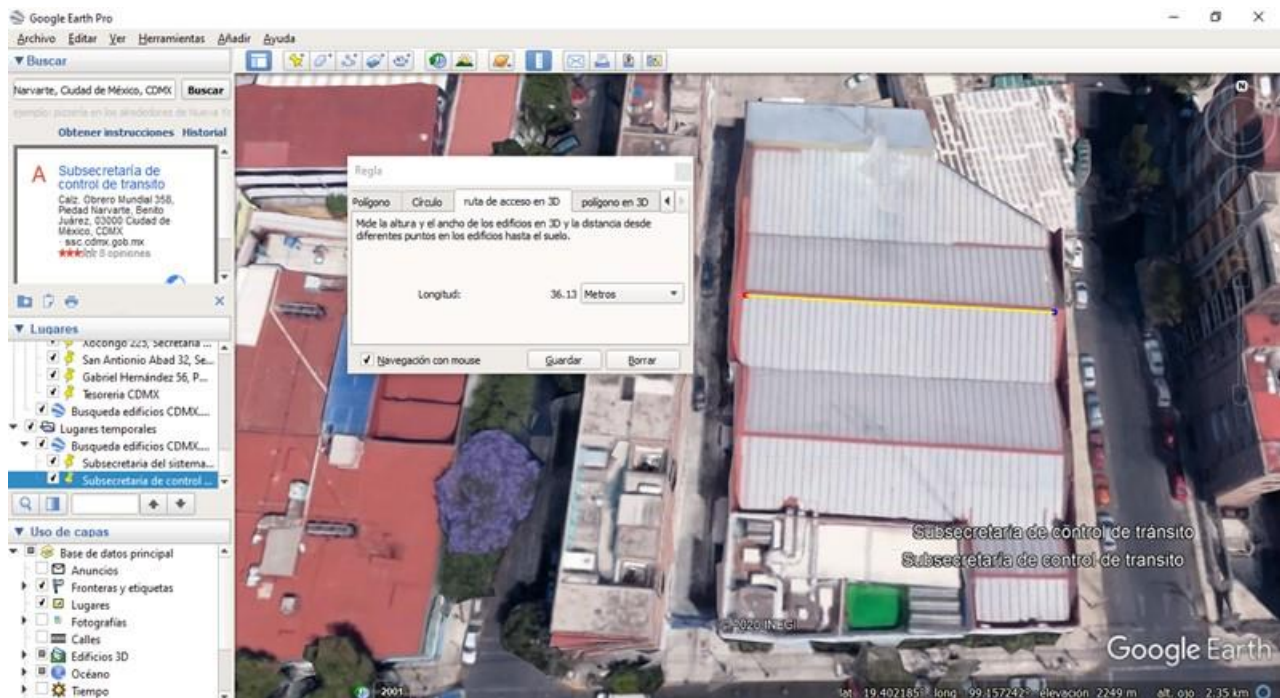


Figura 11.53. Área de instalación 4 – SSC Tránsito.



## Superficie.

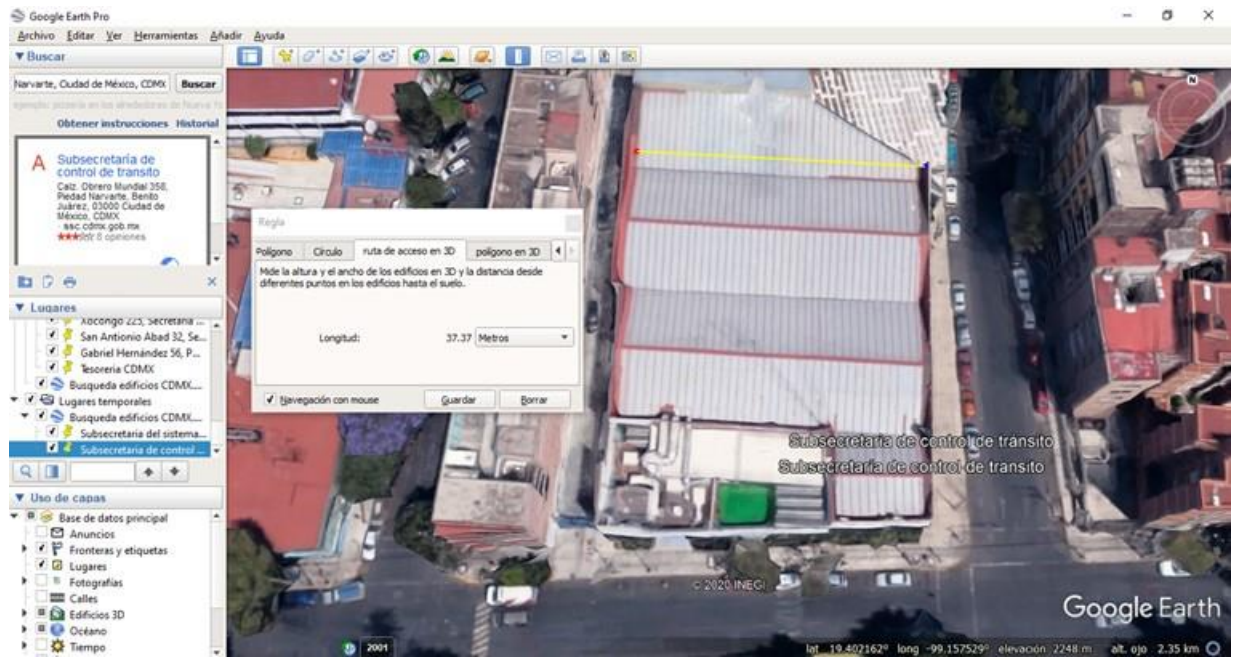


Figura 11.54. Superficie disponible 1 – SSC Tránsito.

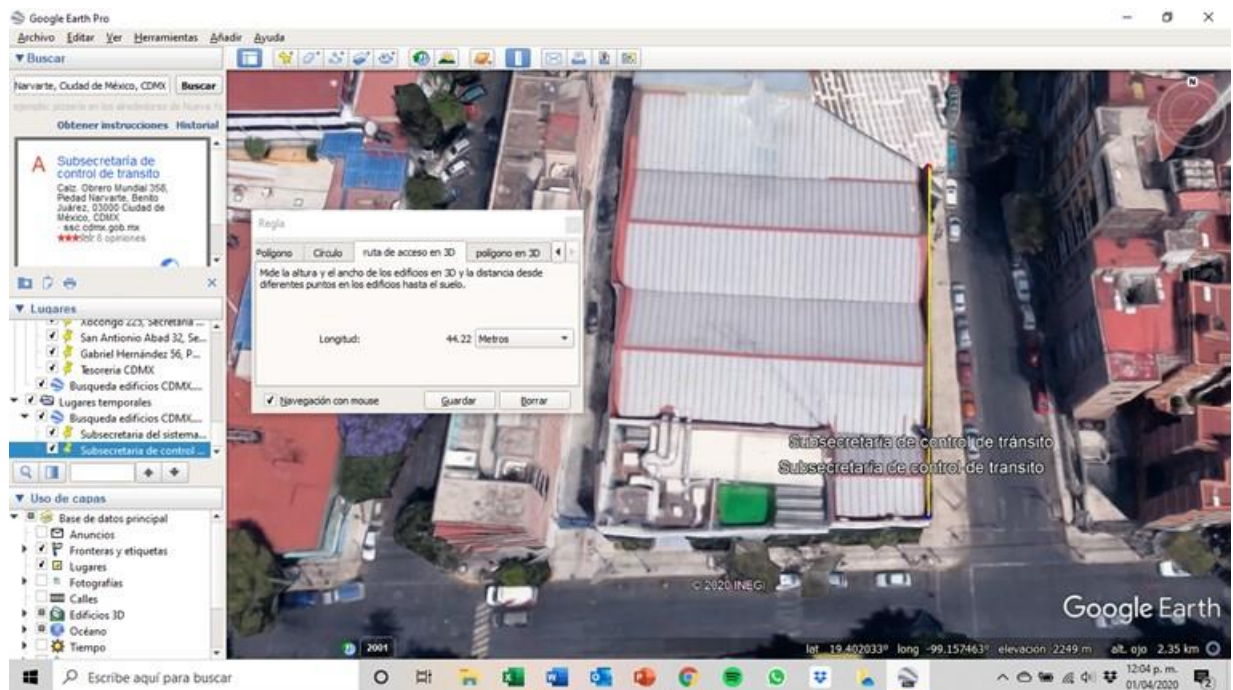


Figura 11.55. Superficie disponible 2 – SSC Tránsito.

## Capítulo 12. Anexo 3. Criterios para Evaluación de Matriz Tecnológica.

En la tabla 12.1 a la tabla 12.4, se muestran los fundamentos de todos los aspectos considerados en la matriz tecnológica.

Tabla 12.1. Fundamentos de los aspectos técnicos de la selección tecnológica.

Aspectos técnicos de la celda	Tipo de Criterio	Tecnología A	Tecnología B	Tecnología C
Eficiencia	Cuantitativo	Reportada por proveedores entre 19 y 21% (hojas de datos)	Reportada por proveedores de entre 17 y 19% (hojas de datos)	Reportada en la literatura de 16% a nivel comercial
Actualización del proceso	Cualitativo	Se inicio en la década de los 80 y actualmente tiene un gran impacto en el mercado	Es un proceso viejo, se ha utilizado desde el año de 1954	First Solar a partir de 2013 ha invertido en el mejoramiento de estas celdas
Resistencia a los cambios de temperatura	Cualitativo	Tiene una capa extra que impide que la radiación llegue a la capa de aluminio, disminuyendo la temperatura de operación	Pierden alrededor de 35 W por un incremento de 25 a 40 °C en la temperatura	Presentan una pérdida de hasta el 15% de la potencia total
Mantenimiento	Cuantitativo	El costo por mantenimiento es de 10 USD/año	El costo por mantenimiento es de 10 USD/año	El costo por mantenimiento es de 10 USD/año
Mano de obra requerida	Cualitativo	La mano de obra para la instalación es la misma para las 3 tecnologías	La mano de obra para la instalación es la misma para las 3 tecnologías	La mano de obra para la instalación es la misma para las 3 tecnologías
Sistemas de seguridad	Cualitativo	Todas las tecnologías están reguladas por la mismas Normas Oficiales	Todas las tecnologías están reguladas por la mismas Normas Oficiales	Todas las tecnologías están reguladas por las mismas Normas Oficiales



Tabla 12.2. Fundamentos de los aspectos técnicos-complementarios de la selección tecnológica.

Aspectos técnicos complementarios	Tipo de Criterio	Tecnología A	Tecnología B	Tecnología C
Espacio requerido para la instalación	Cuantitativo	465 m2	508 m2	No se encontraron dimensiones reportadas a nivel comercial
Experiencia en el uso de la tecnología	Cualitativo	A finales de 2018 se tenían 66.7 GW instalados en el mundo	A finales de 2018, se tenían más de 400 GW instalados en el mundo	First Solar instaló una planta de 5 GW
Procura (nacional y extranjeros)	Cualitativo	Se tienen suficientes proveedores en el mercado nacional	Se tienen suficientes proveedores en el mercado nacional	No se encontraron proveedores nacionales

Tabla 12.3. Fundamentos de los aspectos económicos de la selección tecnológica.

Aspectos económicos	Tipo de Criterio	Tecnología A	Tecnología B	Tecnología C
Costo de inversión estimado	Cuantitativo	44.37\$MXN/W	38.76\$MXN/W	No encontraron costos reportados a nivel comercial

Tabla 12.4. Fundamentos de los aspectos plausibles de la selección tecnológica.

Aspectos plausibles	Tipo de Criterio	Tecnología A	Tecnología B	Tecnología C
Disponibilidad en el mercado	Cualitativo	En 2017 ocupó un 20% del mercado y es ofertada por la mayoría de los proveedores	Presentan un dominio de casi 95% del mercado y es la celda más ofertada	Solo tienen un 3% del dominio del mercado

## Capítulo 13. Anexo 4. Pagos por Energía Eléctrica Caso sin Proyecto.

Sistema de aguas CDMX.

Tabla 13.1. Pagos de electricidad del Sistema de aguas – Sin proyecto.

Año	CE (kWh/año)	Tarifa Variable (\$/kWh)	Tarifa Fija (\$/año)	Costo de la energía (Sin proyecto) (\$/año)
2021	164,761.73	\$ 3.55	\$ 730.44	\$ 586,308.74
2022	168,716.02	\$ 3.64	\$ 775.30	\$ 614,970.88
2023	172,765.20	\$ 3.73	\$ 797.56	\$ 644,646.76
2024	176,911.57	\$ 3.81	\$ 819.82	\$ 675,392.24
2025	181,157.44	\$ 3.90	\$ 842.08	\$ 707,241.57
2026	185,505.22	\$ 3.99	\$ 864.34	\$ 740,230.05
2027	189,957.35	\$ 4.07	\$ 886.60	\$ 774,394.02
2028	194,516.32	\$ 4.16	\$ 908.86	\$ 809,770.92
2029	199,184.72	\$ 4.24	\$ 931.12	\$ 846,399.30
2030	203,965.15	\$ 4.33	\$ 953.38	\$ 884,318.87
2031	208,860.31	\$ 4.42	\$ 975.64	\$ 923,570.52
2032	213,872.96	\$ 4.50	\$ 997.90	\$ 964,196.37
2033	219,005.91	\$ 4.59	\$ 1,020.16	\$ 1,006,239.77
2034	224,262.05	\$ 4.68	\$ 1,042.42	\$ 1,049,745.38
2035	229,644.34	\$ 4.76	\$ 1,064.68	\$ 1,094,759.19
2036	235,155.81	\$ 4.85	\$ 1,086.94	\$ 1,141,328.54
2037	240,799.55	\$ 4.94	\$ 1,109.20	\$ 1,189,502.19
2038	246,578.73	\$ 5.02	\$ 1,131.46	\$ 1,239,330.32
2039	252,496.62	\$ 5.11	\$ 1,153.72	\$ 1,290,864.61
2040	258,556.54	\$ 5.19	\$ 1,175.98	\$ 1,344,158.29
2041	264,761.90	\$ 5.28	\$ 1,198.24	\$ 1,399,266.11
2042	271,116.19	\$ 5.37	\$ 1,220.50	\$ 1,456,244.49
2043	277,622.97	\$ 5.45	\$ 1,242.76	\$ 1,515,151.47
2044	284,285.93	\$ 5.54	\$ 1,265.02	\$ 1,576,046.83
2045	291,108.79	\$ 5.63	\$ 1,287.28	\$ 1,638,992.08
2046	298,095.40	\$ 5.71	\$ 1,309.54	\$ 1,704,050.56

Tabla 13.1. Pagos de electricidad del Sistema de aguas – Sin proyecto.

Coordinación General de Modernización Administrativa.

Tabla 13.2. Pagos de electricidad de la Coordinación de modernización – Sin proyecto.

Año	CE (kWh/año)	Tarifa Variable (\$/kWh)	Tarifa Fija (\$/año)	Costo de la energía (Sin proyecto) (\$/año)
2021	331,355.64	\$ 3.55	\$ 730.44	\$ 1,178,398.72
2022	339,308.17	\$ 3.64	\$ 775.30	\$ 1,235,996.38
2023	347,451.57	\$ 3.73	\$ 797.56	\$ 1,295,655.63
2024	355,790.41	\$ 3.81	\$ 819.82	\$ 1,357,465.96
2025	364,329.38	\$ 3.90	\$ 842.08	\$ 1,421,496.29
2026	373,073.28	\$ 3.99	\$ 864.34	\$ 1,487,817.58
2027	382,027.04	\$ 4.07	\$ 886.60	\$ 1,556,502.92
2028	391,195.69	\$ 4.16	\$ 908.86	\$ 1,627,627.60
2029	400,584.38	\$ 4.24	\$ 931.12	\$ 1,701,269.17
2030	410,198.41	\$ 4.33	\$ 953.38	\$ 1,777,507.48
2031	420,043.17	\$ 4.42	\$ 975.64	\$ 1,856,424.75
2032	430,124.21	\$ 4.50	\$ 997.90	\$ 1,938,105.70
2033	440,447.19	\$ 4.59	\$ 1,020.16	\$ 2,022,637.52
2034	451,017.92	\$ 4.68	\$ 1,042.42	\$ 2,110,110.03
2035	461,842.35	\$ 4.76	\$ 1,064.68	\$ 2,200,615.70
2036	472,926.57	\$ 4.85	\$ 1,086.94	\$ 2,294,249.75
2037	484,276.81	\$ 4.94	\$ 1,109.20	\$ 2,391,110.22
2038	495,899.45	\$ 5.02	\$ 1,131.46	\$ 2,491,298.07
2039	507,801.04	\$ 5.11	\$ 1,153.72	\$ 2,594,917.22
2040	519,988.26	\$ 5.19	\$ 1,175.98	\$ 2,702,074.69
2041	532,467.98	\$ 5.28	\$ 1,198.24	\$ 2,812,880.64
2042	545,247.21	\$ 5.37	\$ 1,220.50	\$ 2,927,448.49
2043	558,333.14	\$ 5.45	\$ 1,242.76	\$ 3,045,895.00
2044	571,733.14	\$ 5.54	\$ 1,265.02	\$ 3,168,340.36
2045	585,454.73	\$ 5.63	\$ 1,287.28	\$ 3,294,908.32
2046	599,505.65	\$ 5.71	\$ 1,309.54	\$ 3,425,726.23

Tabla 13.3. Pagos de electricidad de la Tesorería – Sin proyecto.

Año	CE (kWh/año)	Tarifa Variable (\$/kWh)	Tarifa Fija (\$/año)	Costo de la energía (Sin proyecto) (\$/año)
2021	999,614.69	\$ 3.55	\$ 730.44	\$ 3,553,452.62
2022	1,023,605.44	\$ 3.64	\$ 775.30	\$ 3,727,119.44
2023	1,048,171.97	\$ 3.73	\$ 797.56	\$ 3,907,051.15
2024	1,073,328.10	\$ 3.81	\$ 819.82	\$ 4,093,472.15
2025	1,099,087.98	\$ 3.90	\$ 842.08	\$ 4,286,590.27
2026	1,125,466.09	\$ 3.99	\$ 864.34	\$ 4,486,619.64
2027	1,152,477.27	\$ 4.07	\$ 886.60	\$ 4,693,780.75
2028	1,180,136.73	\$ 4.16	\$ 908.86	\$ 4,908,300.73
2029	1,208,460.01	\$ 4.24	\$ 931.12	\$ 5,130,413.49
2030	1,237,463.05	\$ 4.33	\$ 953.38	\$ 5,360,359.95
2031	1,267,162.16	\$ 4.42	\$ 975.64	\$ 5,598,388.18
2032	1,297,574.06	\$ 4.50	\$ 997.90	\$ 5,844,753.68
2033	1,328,715.83	\$ 4.59	\$ 1,020.16	\$ 6,099,719.54
2034	1,360,605.01	\$ 4.68	\$ 1,042.42	\$ 6,363,556.70
2035	1,393,259.53	\$ 4.76	\$ 1,064.68	\$ 6,636,544.12
2036	1,426,697.76	\$ 4.85	\$ 1,086.94	\$ 6,918,969.06
2037	1,460,938.51	\$ 4.94	\$ 1,109.20	\$ 7,211,127.29
2038	1,496,001.03	\$ 5.02	\$ 1,131.46	\$ 7,513,323.34
2039	1,531,905.06	\$ 5.11	\$ 1,153.72	\$ 7,825,870.77
2040	1,568,670.78	\$ 5.19	\$ 1,175.98	\$ 8,149,092.39
2041	1,606,318.88	\$ 5.28	\$ 1,198.24	\$ 8,483,320.54
2042	1,644,870.53	\$ 5.37	\$ 1,220.50	\$ 8,828,897.37
2043	1,684,347.42	\$ 5.45	\$ 1,242.76	\$ 9,186,175.11
2044	1,724,771.76	\$ 5.54	\$ 1,265.02	\$ 9,555,516.38
2045	1,766,166.28	\$ 5.63	\$ 1,287.28	\$ 9,937,294.44
2046	1,808,554.27	\$ 5.71	\$ 1,309.54	\$ 10,331,893.53

Tabla 13.4. Pagos de electricidad de la Secretaría de salud – Sin proyecto.

Año	CE (kWh/año)	Tarifa Variable (\$/kWh)	Tarifa Fija (\$/año)	Costo de la energía (Sin proyecto) (\$/año)
2021	266,256.56	\$ 3.55	\$ 730.44	\$ 947,030.65
2022	272,646.72	\$ 3.64	\$ 775.30	\$ 993,321.32
2023	279,190.24	\$ 3.73	\$ 797.56	\$ 1,041,264.12
2024	285,890.81	\$ 3.81	\$ 819.82	\$ 1,090,935.39
2025	292,752.19	\$ 3.90	\$ 842.08	\$ 1,142,390.51
2026	299,778.24	\$ 3.99	\$ 864.34	\$ 1,195,686.50
2027	306,972.92	\$ 4.07	\$ 886.60	\$ 1,250,882.10
2028	314,340.27	\$ 4.16	\$ 908.86	\$ 1,308,037.80
2029	321,884.43	\$ 4.24	\$ 931.12	\$ 1,367,215.91
2030	329,609.66	\$ 4.33	\$ 953.38	\$ 1,428,480.59
2031	337,520.29	\$ 4.42	\$ 975.64	\$ 1,491,897.93
2032	345,620.78	\$ 4.50	\$ 997.90	\$ 1,557,535.97
2033	353,915.68	\$ 4.59	\$ 1,020.16	\$ 1,625,464.81
2034	362,409.65	\$ 4.68	\$ 1,042.42	\$ 1,695,756.59
2035	371,107.49	\$ 4.76	\$ 1,064.68	\$ 1,768,485.63
2036	380,014.06	\$ 4.85	\$ 1,086.94	\$ 1,843,728.44
2037	389,134.40	\$ 4.94	\$ 1,109.20	\$ 1,921,563.80
2038	398,473.63	\$ 5.02	\$ 1,131.46	\$ 2,002,072.83
2039	408,037.00	\$ 5.11	\$ 1,153.72	\$ 2,085,339.04
2040	417,829.88	\$ 5.19	\$ 1,175.98	\$ 2,171,448.42
2041	427,857.80	\$ 5.28	\$ 1,198.24	\$ 2,260,489.49
2042	438,126.39	\$ 5.37	\$ 1,220.50	\$ 2,352,553.39
2043	448,641.42	\$ 5.45	\$ 1,242.76	\$ 2,447,733.93
2044	459,408.81	\$ 5.54	\$ 1,265.02	\$ 2,546,127.71
2045	470,434.63	\$ 5.63	\$ 1,287.28	\$ 2,647,834.13
2046	481,725.06	\$ 5.71	\$ 1,309.54	\$ 2,752,955.56



Secretaría de Trabajo y Fomento al Empleo CDMX

Tabla 13.5. Pagos de electricidad de la Secretaría de trabajo – Sin proyecto.

Año	CE (kWh/año)	Tarifa Variable (\$/kWh)	Tarifa Fija (\$/año)	Costo de la energía (Sin proyecto) (\$/año)
2021	169,192.94	\$ 3.55	\$ 730.44	\$ 602,057.65
2022	173,253.57	\$ 3.64	\$ 775.30	\$ 631,489.44
2023	177,411.66	\$ 3.73	\$ 797.56	\$ 661,962.84
2024	181,669.54	\$ 3.81	\$ 819.82	\$ 693,534.61
2025	186,029.60	\$ 3.90	\$ 842.08	\$ 726,239.92
2026	190,494.31	\$ 3.99	\$ 864.34	\$ 760,115.01
2027	195,066.18	\$ 4.07	\$ 886.60	\$ 795,197.21
2028	199,747.77	\$ 4.16	\$ 908.86	\$ 831,524.96
2029	204,541.71	\$ 4.24	\$ 931.12	\$ 869,137.85
2030	209,450.71	\$ 4.33	\$ 953.38	\$ 908,076.65
2031	214,477.53	\$ 4.42	\$ 975.64	\$ 948,383.37
2032	219,624.99	\$ 4.50	\$ 997.90	\$ 990,101.23
2033	224,895.99	\$ 4.59	\$ 1,020.16	\$ 1,033,274.77
2034	230,293.50	\$ 4.68	\$ 1,042.42	\$ 1,077,949.86
2035	235,820.54	\$ 4.76	\$ 1,064.68	\$ 1,124,173.69
2036	241,480.23	\$ 4.85	\$ 1,086.94	\$ 1,171,994.91
2037	247,275.76	\$ 4.94	\$ 1,109.20	\$ 1,221,463.57
2038	253,210.38	\$ 5.02	\$ 1,131.46	\$ 1,272,631.21
2039	259,287.43	\$ 5.11	\$ 1,153.72	\$ 1,325,550.90
2040	265,510.32	\$ 5.19	\$ 1,175.98	\$ 1,380,277.29
2041	271,882.57	\$ 5.28	\$ 1,198.24	\$ 1,436,866.62
2042	278,407.75	\$ 5.37	\$ 1,220.50	\$ 1,495,376.81
2043	285,089.54	\$ 5.45	\$ 1,242.76	\$ 1,555,867.47
2044	291,931.69	\$ 5.54	\$ 1,265.02	\$ 1,618,399.99
2045	298,938.05	\$ 5.63	\$ 1,287.28	\$ 1,683,037.53
2046	306,112.56	\$ 5.71	\$ 1,309.54	\$ 1,749,845.14

Tabla 13.6. Pagos de electricidad de la PGJ CMDX – Sin proyecto.

Año	CE (kWh/año)	Tarifa Variable (\$/kWh)	Tarifa Fija (\$/año)	Costo de la energía (Sin proyecto) (\$/año)
2021	1,651,861.72	\$ 3.55	\$ 730.44	\$ 5,871,598.29
2022	1,691,506.40	\$ 3.64	\$ 775.30	\$ 6,158,553.18
2023	1,732,102.55	\$ 3.73	\$ 797.56	\$ 6,455,875.53
2024	1,773,673.01	\$ 3.81	\$ 819.82	\$ 6,763,921.40
2025	1,816,241.17	\$ 3.90	\$ 842.08	\$ 7,083,034.28
2026	1,859,830.95	\$ 3.99	\$ 864.34	\$ 7,413,567.97
2027	1,904,466.90	\$ 4.07	\$ 886.60	\$ 7,755,886.86
2028	1,950,174.10	\$ 4.16	\$ 908.86	\$ 8,110,366.27
2029	1,996,978.28	\$ 4.24	\$ 931.12	\$ 8,477,392.74
2030	2,044,905.76	\$ 4.33	\$ 953.38	\$ 8,857,364.37
2031	2,093,983.50	\$ 4.42	\$ 975.64	\$ 9,250,691.12
2032	2,144,239.10	\$ 4.50	\$ 997.90	\$ 9,657,795.20
2033	2,195,700.84	\$ 4.59	\$ 1,020.16	\$ 10,079,111.37
2034	2,248,397.66	\$ 4.68	\$ 1,042.42	\$ 10,515,087.34
2035	2,302,359.20	\$ 4.76	\$ 1,064.68	\$ 10,966,184.10
2036	2,357,615.83	\$ 4.85	\$ 1,086.94	\$ 11,432,876.34
2037	2,414,198.60	\$ 4.94	\$ 1,109.20	\$ 11,915,652.84
2038	2,472,139.37	\$ 5.02	\$ 1,131.46	\$ 12,415,016.83
2039	2,531,470.72	\$ 5.11	\$ 1,153.72	\$ 12,931,486.44
2040	2,592,226.01	\$ 5.19	\$ 1,175.98	\$ 13,465,595.13
2041	2,654,439.44	\$ 5.28	\$ 1,198.24	\$ 14,017,892.10
2042	2,718,145.98	\$ 5.37	\$ 1,220.50	\$ 14,588,942.75
2043	2,783,381.49	\$ 5.45	\$ 1,242.76	\$ 15,179,329.15
2044	2,850,182.64	\$ 5.54	\$ 1,265.02	\$ 15,789,650.49
2045	2,918,587.03	\$ 5.63	\$ 1,287.28	\$ 16,420,523.61
2046	2,988,633.12	\$ 5.71	\$ 1,309.54	\$ 17,072,583.47

SSC Tránsito CDMX.

Tabla 13.7. Pagos de electricidad de la SSC Tránsito – Sin proyecto.

Año	CE (kWh/año)	Tarifa Variable (\$/kWh)	Tarifa Fija (\$/año)	Costo de la energía (Sin proyecto) (\$/año)
2021	181,114.00	\$ 3.55	\$ 730.44	\$ 644,426.19
2022	185,460.74	\$ 3.64	\$ 775.30	\$ 675,928.54
2023	189,911.79	\$ 3.73	\$ 797.56	\$ 708,547.48
2024	194,469.68	\$ 3.81	\$ 819.82	\$ 742,342.17
2025	199,136.95	\$ 3.90	\$ 842.08	\$ 777,350.27
2026	203,916.24	\$ 3.99	\$ 864.34	\$ 813,610.58
2027	208,810.23	\$ 4.07	\$ 886.60	\$ 851,163.05
2028	213,821.67	\$ 4.16	\$ 908.86	\$ 890,048.82
2029	218,953.39	\$ 4.24	\$ 931.12	\$ 930,310.29
2030	224,208.27	\$ 4.33	\$ 953.38	\$ 971,991.09
2031	229,589.27	\$ 4.42	\$ 975.64	\$ 1,015,136.18
2032	235,099.41	\$ 4.50	\$ 997.90	\$ 1,059,791.85
2033	240,741.80	\$ 4.59	\$ 1,020.16	\$ 1,106,005.76
2034	246,519.60	\$ 4.68	\$ 1,042.42	\$ 1,153,827.01
2035	252,436.07	\$ 4.76	\$ 1,064.68	\$ 1,203,306.14
2036	258,494.54	\$ 4.85	\$ 1,086.94	\$ 1,254,495.19
2037	264,698.41	\$ 4.94	\$ 1,109.20	\$ 1,307,447.76
2038	271,051.17	\$ 5.02	\$ 1,131.46	\$ 1,362,219.02
2039	277,556.40	\$ 5.11	\$ 1,153.72	\$ 1,418,865.78
2040	284,217.75	\$ 5.19	\$ 1,175.98	\$ 1,477,446.53
2041	291,038.98	\$ 5.28	\$ 1,198.24	\$ 1,538,021.49
2042	298,023.91	\$ 5.37	\$ 1,220.50	\$ 1,600,652.64
2043	305,176.49	\$ 5.45	\$ 1,242.76	\$ 1,665,403.81
2044	312,500.72	\$ 5.54	\$ 1,265.02	\$ 1,732,340.70
2045	320,000.74	\$ 5.63	\$ 1,287.28	\$ 1,801,530.93
2046	327,680.76	\$ 5.71	\$ 1,309.54	\$ 1,873,044.12

## Capítulo 14. Anexo 5. Pagos por Energía Eléctrica Caso con Proyecto.

Sistema de Aguas CDMX.

Tabla 14.1. Pagos de electricidad del Sistema de aguas – Con proyecto.

Año	Energía que comprar (kWh/año)	Pago por paneles	Costo energía (\$/año)	Mantenimiento (\$/año)	Costo con proyecto (\$/año)
2021	10,830.73	\$ -	\$ 39,223.86	\$ 249.90	\$ 39,473.76
2022	14,785.02	\$837,540.63	\$ 54,598.83	\$ 249.90	\$ 892,389.37
2023	18,834.20	\$837,540.63	\$ 70,987.54	\$ 249.90	\$ 908,778.07
2024	22,980.57	\$837,540.63	\$ 88,445.84	\$ 249.90	\$ 926,236.37
2025	27,226.44	\$837,540.63	\$ 107,007.99	\$ 249.90	\$ 944,798.53
2026	31,574.22	\$837,540.63	\$ 126,709.30	\$ 249.90	\$ 964,499.83
2027	36,026.35	\$ -	\$ 147,586.09	\$ 249.90	\$ 147,835.99
2028	40,585.32	\$ -	\$ 169,675.82	\$ 249.90	\$ 169,925.72
2029	45,253.72	\$ -	\$ 193,017.03	\$ 249.90	\$ 193,266.93
2030	50,034.15	\$ -	\$ 217,649.42	\$ 249.90	\$ 217,899.32
2031	54,929.31	\$ -	\$ 243,613.90	\$ 249.90	\$ 243,863.80
2032	59,941.96	\$ -	\$ 270,952.57	\$ 249.90	\$ 271,202.47
2033	65,074.91	\$ -	\$ 299,708.79	\$ 249.90	\$ 299,958.69
2034	70,331.05	\$ -	\$ 329,927.23	\$ 249.90	\$ 330,177.13
2035	75,713.34	\$ -	\$ 361,653.87	\$ 249.90	\$ 361,903.77
2036	81,224.81	\$ -	\$ 394,936.04	\$ 249.90	\$ 395,185.94
2037	86,868.55	\$ -	\$ 429,822.51	\$ 249.90	\$ 430,072.41
2038	92,647.73	\$ -	\$ 466,363.46	\$ 249.90	\$ 466,613.36
2039	98,565.62	\$ -	\$ 504,610.59	\$ 249.90	\$ 504,860.49
2040	104,625.54	\$ -	\$ 544,617.08	\$ 249.90	\$ 544,866.98
2041	110,830.90	\$ -	\$ 586,437.73	\$ 249.90	\$ 586,687.63
2042	117,185.19	\$ -	\$ 630,128.94	\$ 249.90	\$ 630,378.84
2043	123,691.97	\$ -	\$ 675,748.74	\$ 249.90	\$ 675,998.64
2044	130,354.93	\$ -	\$ 723,356.92	\$ 249.90	\$ 723,606.82
2045	137,177.79	\$ -	\$ 773,015.00	\$ 249.90	\$ 773,264.90
2046	144,164.40	\$ -	\$ 824,786.31	\$ 249.90	\$ 825,036.21

Coordinación General de Modernización Administrativa.

Tabla 14.2. Pagos de electricidad de la Coordinación de modernización – Con proyecto.

Año	Energía que comprar (kWh/año)	Pago por paneles	Costo energía (\$/año)	Mantenimiento (\$/año)	Costo con proyecto (\$/año)
2021	177,424.64	\$ -	\$ 631,313.85	\$ 249.90	\$ 631,563.75
2022	185,377.17	\$837,540.63	\$ 675,624.33	\$ 249.90	\$ 1,513,414.86
2023	193,520.57	\$837,540.63	\$ 721,996.40	\$ 249.90	\$ 1,559,786.94
2024	201,859.41	\$837,540.63	\$ 770,519.56	\$ 249.90	\$ 1,608,310.10
2025	210,398.38	\$837,540.63	\$ 821,262.72	\$ 249.90	\$ 1,659,053.25
2026	219,142.28	\$837,540.63	\$ 874,296.83	\$ 249.90	\$ 1,712,087.36
2027	228,096.04	\$ -	\$ 929,694.99	\$ 249.90	\$ 929,944.89
2028	237,264.69	\$ -	\$ 987,532.50	\$ 249.90	\$ 987,782.40
2029	246,653.38	\$ -	\$1,047,886.90	\$ 249.90	\$ 1,048,136.80
2030	256,267.41	\$ -	\$1,110,838.02	\$ 249.90	\$ 1,111,087.92
2031	266,112.17	\$ -	\$1,176,468.13	\$ 249.90	\$ 1,176,718.03
2032	276,193.21	\$ -	\$1,244,861.90	\$ 249.90	\$ 1,245,111.80
2033	286,516.19	\$ -	\$1,316,106.55	\$ 249.90	\$ 1,316,356.45
2034	297,086.92	\$ -	\$1,390,291.88	\$ 249.90	\$ 1,390,541.78
2035	307,911.35	\$ -	\$1,467,510.37	\$ 249.90	\$ 1,467,760.27
2036	318,995.57	\$ -	\$1,547,857.24	\$ 249.90	\$ 1,548,107.14
2037	330,345.81	\$ -	\$1,631,430.54	\$ 249.90	\$ 1,631,680.44
2038	341,968.45	\$ -	\$1,718,331.21	\$ 249.90	\$ 1,718,581.11
2039	353,870.04	\$ -	\$1,808,663.19	\$ 249.90	\$ 1,808,913.09
2040	366,057.26	\$ -	\$1,902,533.48	\$ 249.90	\$ 1,902,783.38
2041	378,536.98	\$ -	\$2,000,052.26	\$ 249.90	\$ 2,000,302.16
2042	391,316.21	\$ -	\$2,101,332.93	\$ 249.90	\$ 2,101,582.83
2043	404,402.14	\$ -	\$2,206,492.27	\$ 249.90	\$ 2,206,742.17
2044	417,802.14	\$ -	\$2,315,650.46	\$ 249.90	\$ 2,315,900.36
2045	431,523.73	\$ -	\$2,428,931.24	\$ 249.90	\$ 2,429,181.14
2046	445,574.65	\$ -	\$2,546,461.98	\$ 249.90	\$ 2,546,711.88

Tesorería CDMX.

Tabla 14.3. Pagos de electricidad de la Tesorería – Con proyecto.

Año	Energía que comprar (kWh/año)	Pago por paneles	Costo energía (\$/año)	Mantenimiento (\$/año)	Costo con proyecto (\$/año)
2021	845,683.69	\$ -	\$3,006,367.74	\$ 249.90	\$ 3,006,617.64
2022	869,674.44	\$837,540.63	\$3,166,747.39	\$ 249.90	\$ 4,004,537.93
2023	894,240.97	\$837,540.63	\$3,333,391.93	\$ 249.90	\$ 4,171,182.46
2024	919,397.10	\$837,540.63	\$3,506,525.75	\$ 249.90	\$ 4,344,316.28
2025	945,156.98	\$837,540.63	\$3,686,356.70	\$ 249.90	\$ 4,524,147.23
2026	971,535.09	\$837,540.63	\$3,873,098.88	\$ 249.90	\$ 4,710,889.42
2027	998,546.27	\$ -	\$4,066,972.82	\$ 249.90	\$ 4,067,222.72
2028	1,026,205.73	\$ -	\$4,268,205.63	\$ 249.90	\$ 4,268,455.53
2029	1,054,529.01	\$ -	\$4,477,031.22	\$ 249.90	\$ 4,477,281.12
2030	1,083,532.05	\$ -	\$4,693,690.49	\$ 249.90	\$ 4,693,940.39
2031	1,113,231.16	\$ -	\$4,918,431.55	\$ 249.90	\$ 4,918,681.45
2032	1,143,643.06	\$ -	\$5,151,509.88	\$ 249.90	\$ 5,151,759.78
2033	1,174,784.83	\$ -	\$5,393,188.57	\$ 249.90	\$ 5,393,438.47
2034	1,206,674.01	\$ -	\$5,643,738.55	\$ 249.90	\$ 5,643,988.45
2035	1,239,328.53	\$ -	\$5,903,438.79	\$ 249.90	\$ 5,903,688.69
2036	1,272,766.76	\$ -	\$6,172,576.55	\$ 249.90	\$ 6,172,826.45
2037	1,307,007.51	\$ -	\$6,451,447.61	\$ 249.90	\$ 6,451,697.51
2038	1,342,070.03	\$ -	\$6,740,356.49	\$ 249.90	\$ 6,740,606.39
2039	1,377,974.06	\$ -	\$7,039,616.75	\$ 249.90	\$ 7,039,866.65
2040	1,414,739.78	\$ -	\$7,349,551.19	\$ 249.90	\$ 7,349,801.09
2041	1,452,387.88	\$ -	\$7,670,492.16	\$ 249.90	\$ 7,670,742.06
2042	1,490,939.53	\$ -	\$8,002,781.81	\$ 249.90	\$ 8,003,031.71
2043	1,530,416.42	\$ -	\$8,346,772.39	\$ 249.90	\$ 8,347,022.29
2044	1,570,840.76	\$ -	\$8,702,826.48	\$ 249.90	\$ 8,703,076.38
2045	1,612,235.28	\$ -	\$9,071,317.36	\$ 249.90	\$ 9,071,567.26
2046	1,654,623.27	\$ -	\$9,452,629.28	\$ 249.90	\$ 9,452,879.18



Secretaría de Salud CDMX.

Tabla 14.4. Pagos de electricidad de la Secretaría de salud – Con proyecto.

Año	Energía que comprar (kWh/año)	Pago por paneles	Costo energía (\$/año)	Mantenimiento (\$/año)	Costo con proyecto (\$/año)
2021	112,325.56	\$ -	\$ 399,945.78	\$ 249.90	\$ 400,195.68
2022	118,715.72	\$837,540.63	\$ 432,949.27	\$ 249.90	\$ 1,270,739.81
2023	125,259.24	\$837,540.63	\$ 467,604.89	\$ 249.90	\$ 1,305,395.43
2024	131,959.81	\$837,540.63	\$ 503,988.99	\$ 249.90	\$ 1,341,779.53
2025	138,821.19	\$837,540.63	\$ 542,156.94	\$ 249.90	\$ 1,379,947.47
2026	145,847.24	\$837,540.63	\$ 582,165.75	\$ 249.90	\$ 1,419,956.29
2027	153,041.92	\$ -	\$ 624,074.17	\$ 249.90	\$ 624,324.07
2028	160,409.27	\$ -	\$ 667,942.70	\$ 249.90	\$ 668,192.60
2029	167,953.43	\$ -	\$ 713,833.63	\$ 249.90	\$ 714,083.53
2030	175,678.66	\$ -	\$ 761,811.14	\$ 249.90	\$ 762,061.04
2031	183,589.29	\$ -	\$ 811,941.30	\$ 249.90	\$ 812,191.20
2032	191,689.78	\$ -	\$ 864,292.17	\$ 249.90	\$ 864,542.07
2033	199,984.68	\$ -	\$ 918,933.83	\$ 249.90	\$ 919,183.73
2034	208,478.65	\$ -	\$ 975,938.44	\$ 249.90	\$ 976,188.34
2035	217,176.49	\$ -	\$1,035,380.30	\$ 249.90	\$ 1,035,630.20
2036	226,083.06	\$ -	\$1,097,335.94	\$ 249.90	\$ 1,097,585.84
2037	235,203.40	\$ -	\$1,161,884.12	\$ 249.90	\$ 1,162,134.02
2038	244,542.63	\$ -	\$1,229,105.98	\$ 249.90	\$ 1,229,355.88
2039	254,106.00	\$ -	\$1,299,085.01	\$ 249.90	\$ 1,299,334.91
2040	263,898.88	\$ -	\$1,371,907.22	\$ 249.90	\$ 1,372,157.12
2041	273,926.80	\$ -	\$1,447,661.11	\$ 249.90	\$ 1,447,911.01
2042	284,195.39	\$ -	\$1,526,437.84	\$ 249.90	\$ 1,526,687.74
2043	294,710.42	\$ -	\$1,608,331.20	\$ 249.90	\$ 1,608,581.10
2044	305,477.81	\$ -	\$1,693,437.80	\$ 249.90	\$ 1,693,687.70
2045	316,503.63	\$ -	\$1,781,857.05	\$ 249.90	\$ 1,782,106.95
2046	327,794.06	\$ -	\$1,873,691.30	\$ 249.90	\$ 1,873,941.20

Secretaría de Trabajo y Fomento al Empleo.

Tabla 14.5. Pagos de electricidad de la Secretaría de trabajo – Con proyecto.

Año	Energía que comprar (kWh/año)	Pago por paneles	Costo energía (\$/año)	Mantenimiento (\$/año)	Costo con proyecto (\$/año)
2021	15,261.94	\$ -	\$ 54,972.77	\$ 249.90	\$ 55,222.67
2022	19,322.57	\$837,540.63	\$ 71,117.39	\$ 249.90	\$ 908,907.92
2023	23,480.66	\$837,540.63	\$ 88,303.62	\$ 249.90	\$ 926,094.15
2024	27,738.54	\$837,540.63	\$ 106,588.21	\$ 249.90	\$ 944,378.74
2025	32,098.60	\$837,540.63	\$ 126,006.34	\$ 249.90	\$ 963,796.88
2026	36,563.31	\$837,540.63	\$ 146,594.26	\$ 249.90	\$ 984,384.80
2027	41,135.18	\$ -	\$ 168,389.29	\$ 249.90	\$ 168,639.19
2028	45,816.77	\$ -	\$ 191,429.86	\$ 249.90	\$ 191,679.76
2029	50,610.71	\$ -	\$ 215,755.57	\$ 249.90	\$ 216,005.47
2030	55,519.71	\$ -	\$ 241,407.20	\$ 249.90	\$ 241,657.10
2031	60,546.53	\$ -	\$ 268,426.74	\$ 249.90	\$ 268,676.64
2032	65,693.99	\$ -	\$ 296,857.43	\$ 249.90	\$ 297,107.33
2033	70,964.99	\$ -	\$ 326,743.80	\$ 249.90	\$ 326,993.70
2034	76,362.50	\$ -	\$ 358,131.70	\$ 249.90	\$ 358,381.60
2035	81,889.54	\$ -	\$ 391,068.37	\$ 249.90	\$ 391,318.27
2036	87,549.23	\$ -	\$ 425,602.41	\$ 249.90	\$ 425,852.31
2037	93,344.76	\$ -	\$ 461,783.89	\$ 249.90	\$ 462,033.79
2038	99,279.38	\$ -	\$ 499,664.35	\$ 249.90	\$ 499,914.25
2039	105,356.43	\$ -	\$ 539,296.87	\$ 249.90	\$ 539,546.77
2040	111,579.32	\$ -	\$ 580,736.09	\$ 249.90	\$ 580,985.99
2041	117,951.57	\$ -	\$ 624,038.24	\$ 249.90	\$ 624,288.14
2042	124,476.75	\$ -	\$ 669,261.26	\$ 249.90	\$ 669,511.16
2043	131,158.54	\$ -	\$ 716,464.75	\$ 249.90	\$ 716,714.65
2044	138,000.69	\$ -	\$ 765,710.09	\$ 249.90	\$ 765,959.99
2045	145,007.05	\$ -	\$ 817,060.45	\$ 249.90	\$ 817,310.35
2046	152,181.56	\$ -	\$ 870,580.88	\$ 249.90	\$ 870,830.78

Procuraduría General de Justicia CDMX

Tabla 14.6. Pagos de electricidad de la PGJ CMDX – Con proyecto.

Año	Energía que comprar (kWh/año)	Pago por paneles	Costo energía (\$/año)	Mantenimiento (\$/año)	Costo con proyecto (\$/año)
2021	1,497,930.72	\$ -	\$ 5,324,513.42	\$ 249.90	\$ 5,324,763.32
2022	1,537,575.40	\$837,540.63	\$ 5,598,181.13	\$ 249.90	\$ 6,435,971.67
2023	1,578,171.55	\$837,540.63	\$ 5,882,216.31	\$ 249.90	\$ 6,720,006.84
2024	1,619,742.01	\$837,540.63	\$ 6,176,975.00	\$ 249.90	\$ 7,014,765.54
2025	1,662,310.17	\$837,540.63	\$ 6,482,800.71	\$ 249.90	\$ 7,320,591.24
2026	1,705,899.95	\$837,540.63	\$ 6,800,047.22	\$ 249.90	\$ 7,637,837.75
2027	1,750,535.90	\$ -	\$ 7,129,078.93	\$ 249.90	\$ 7,129,328.83
2028	1,796,243.10	\$ -	\$ 7,470,271.17	\$ 249.90	\$ 7,470,521.07
2029	1,843,047.28	\$ -	\$ 7,824,010.46	\$ 249.90	\$ 7,824,260.36
2030	1,890,974.76	\$ -	\$ 8,190,694.92	\$ 249.90	\$ 8,190,944.82
2031	1,940,052.50	\$ -	\$ 8,570,734.50	\$ 249.90	\$ 8,570,984.40
2032	1,990,308.10	\$ -	\$ 8,964,551.40	\$ 249.90	\$ 8,964,801.30
2033	2,041,769.84	\$ -	\$ 9,372,580.40	\$ 249.90	\$ 9,372,830.30
2034	2,094,466.66	\$ -	\$ 9,795,269.19	\$ 249.90	\$ 9,795,519.09
2035	2,148,428.20	\$ -	\$10,233,078.77	\$ 249.90	\$ 10,233,328.67
2036	2,203,684.83	\$ -	\$10,686,483.84	\$ 249.90	\$ 10,686,733.74
2037	2,260,267.60	\$ -	\$11,155,973.16	\$ 249.90	\$ 11,156,223.06
2038	2,318,208.37	\$ -	\$11,642,049.98	\$ 249.90	\$ 11,642,299.88
2039	2,377,539.72	\$ -	\$12,145,232.42	\$ 249.90	\$ 12,145,482.32
2040	2,438,295.01	\$ -	\$12,666,053.93	\$ 249.90	\$ 12,666,303.83
2041	2,500,508.44	\$ -	\$13,205,063.72	\$ 249.90	\$ 13,205,313.62
2042	2,564,214.98	\$ -	\$13,762,827.20	\$ 249.90	\$ 13,763,077.10
2043	2,629,450.49	\$ -	\$14,339,926.42	\$ 249.90	\$ 14,340,176.32
2044	2,696,251.64	\$ -	\$14,936,960.59	\$ 249.90	\$ 14,937,210.49
2045	2,764,656.03	\$ -	\$15,554,546.54	\$ 249.90	\$ 15,554,796.44
2046	2,834,702.12	\$ -	\$16,193,319.22	\$ 249.90	\$ 16,193,569.12

SSC Tránsito.

Tabla 14.7. Pagos de electricidad de la SSC Tránsito – Con proyecto.

Año	Energía que comprar (kWh/año)	Pago por paneles	Costo energía (\$/año)	Mantenimiento (\$/año)	Costo con proyecto (\$/año)
2021	27,183.00	\$ -	\$ 97,341.31	\$ 249.90	\$ 97,591.21
2022	31,529.74	\$837,540.63	\$ 115,556.49	\$ 249.90	\$ 953,347.02
2023	35,980.79	\$837,540.63	\$ 134,888.25	\$ 249.90	\$ 972,678.79
2024	40,538.68	\$837,540.63	\$ 155,395.77	\$ 249.90	\$ 993,186.30
2025	45,205.95	\$837,540.63	\$ 177,116.70	\$ 249.90	\$ 1,014,907.23
2026	49,985.24	\$837,540.63	\$ 200,089.83	\$ 249.90	\$ 1,037,880.37
2027	54,879.23	\$ -	\$ 224,355.12	\$ 249.90	\$ 224,605.02
2028	59,890.67	\$ -	\$ 249,953.72	\$ 249.90	\$ 250,203.62
2029	65,022.39	\$ -	\$ 276,928.01	\$ 249.90	\$ 277,177.91
2030	70,277.27	\$ -	\$ 305,321.64	\$ 249.90	\$ 305,571.54
2031	75,658.27	\$ -	\$ 335,179.55	\$ 249.90	\$ 335,429.45
2032	81,168.41	\$ -	\$ 366,548.05	\$ 249.90	\$ 366,797.95
2033	86,810.80	\$ -	\$ 399,474.78	\$ 249.90	\$ 399,724.68
2034	92,588.60	\$ -	\$ 434,008.86	\$ 249.90	\$ 434,258.76
2035	98,505.07	\$ -	\$ 470,200.81	\$ 249.90	\$ 470,450.71
2036	104,563.54	\$ -	\$ 508,102.69	\$ 249.90	\$ 508,352.59
2037	110,767.41	\$ -	\$ 547,768.08	\$ 249.90	\$ 548,017.98
2038	117,120.17	\$ -	\$ 589,252.17	\$ 249.90	\$ 589,502.07
2039	123,625.40	\$ -	\$ 632,611.75	\$ 249.90	\$ 632,861.65
2040	130,286.75	\$ -	\$ 677,905.33	\$ 249.90	\$ 678,155.23
2041	137,107.98	\$ -	\$ 725,193.11	\$ 249.90	\$ 725,443.01
2042	144,092.91	\$ -	\$ 774,537.09	\$ 249.90	\$ 774,786.99
2043	151,245.49	\$ -	\$ 826,001.09	\$ 249.90	\$ 826,250.99
2044	158,569.72	\$ -	\$ 879,650.80	\$ 249.90	\$ 879,900.70
2045	166,069.74	\$ -	\$ 935,553.85	\$ 249.90	\$ 935,803.75
2046	173,749.76	\$ -	\$ 993,779.87	\$ 249.90	\$ 994,029.77

## Capítulo 15. Bibliografía

- Abderrezek, M., & Fathi, M. (2017). Experimental study of the dust effect on photovoltaic panels' energy yield. *Solar Energy*, 142, 308–320. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.040>
- Alemán-Nava, G. S., Casiano-Flores, V. H., Cárdenas-Chávez, D. L., Díaz-Chavez, R., Scarlat, N., Mahlknecht, J., Dallemand, J. F., & Parra, R. (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140–153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.004>
- Azizi, A., Logerais, P. O., Omeiri, A., Amiar, A., Charki, A., Riou, O., Delaleux, F., & Durastanti, J. F. (2018). Impact of the aging of a photovoltaic module on the performance of a grid-connected system. *Solar Energy*, 174(September), 445–454. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.022>
- Babatunde, O., Akinyele, D., Akinbulire, T., & Oluseyi, P. (2018). Evaluation of a grid-independent solar photovoltaic system for primary health centres (PHCs) in developing countries. *Renewable Energy Focus*, 24, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.10.005>
- BIC. (2013). *Como Realizar un Estudio de Mercado*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CEPEP. (2017). *Glosario de Términos para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos*. [https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/Glosario\\_de\\_Terminos\\_para\\_la\\_ESP.pdf](https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/Glosario_de_Terminos_para_la_ESP.pdf)
- CFE. (2015). *Copar 2014 - Generación*.
- Chen, W. M., Kim, H., & Yamaguchi, H. (2014). Renewable energy in eastern Asia: Renewable energy policy review and comparative SWOT analysis for promoting renewable energy in Japan, South Korea, and Taiwan. *Energy Policy*, 74(C), 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.019>

- Cho, Y. H., Shaygan, A., & Daim, T. U. (2019). Energy technology adoption: Case of solar photovoltaic in the Pacific Northwest USA. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 34(February), 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.05.011>
- CONUEE. (2019). *Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: La importancia del sector de servicios*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/455552/cuaderno3nvociclo\\_2.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/455552/cuaderno3nvociclo_2.pdf)
- Cortés del Pino, A. (2014). *Proceso de refinado del petróleo para la obtención de combustibles marinos (Tesis de Licenciatura)* (pp. 1–89). [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21742/PROYECTO\\_FINAL\\_DE\\_CARRERA\\_ETN\\_ADRIA\\_CORTES\\_DEL\\_PINO.pdf?sequence=7&isAllowed=y](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21742/PROYECTO_FINAL_DE_CARRERA_ETN_ADRIA_CORTES_DEL_PINO.pdf?sequence=7&isAllowed=y)
- Cuahutle, M. (2016). *Estimación De Radiación Solar Global a Partir De Imágenes De Satélite (Tesis de Maestría)* (p. 130).
- Fan, J., Li, Y., & Wu, M. (2019). Technology Selection Based on EDAS Cross-Efficiency Evaluation Method. *IEEE Access*, 7, 58974–58980. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2915345>
- Farrera, L. (2010). *Conductores semiconductores y aislantes*. [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/condsemicondais2\\_27505.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/condsemicondais2_27505.pdf)
- Flanagan, J. (2018). *Guide to Developing the Project Business Case - Better Business Cases: for better outcomes*. [www.gov.uk/government/publications](http://www.gov.uk/government/publications)
- Flores, J., & Lazcano, J. (2012). *Sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico para Casa Habitación con Tarifa DAC (Tesis de Licenciatura)* (p. 172).
- Gallego Landera, Y., Garcia Sánchez, Z., Casas Fernández, L., & Rivas Arocha, Y. (2017). Impacto de la implementación de paneles fotovoltaicos en el sistema eléctrico Cayo Santa María. *Ingeniería Energética*, 38(2), 76–87.
- García, R. (2017). *Diseño de la Instalación de Paneles Fotovoltaicos para la Auto Sustentabilidad de un Departamento con un Consumo Promedio Diario de 5kW (Tesis de Licenciatura)* (p. 87).



- Haggett, C., & Aitken, M. (2015). Grassroots Energy Innovations: the Role of Community Ownership and Investment. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 2(3), 98–104. <https://doi.org/10.1007/s40518-015-0035-8>
- Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S., & Alonso-Gómez, V. (2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, 188, 426–440. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.017>
- IRENA. (2016). *Análisis del Mercado de energías Renovables: América Latina*. 15. [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_Market\\_Analysis\\_Latin\\_America\\_summary\\_ES\\_2016.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Market_Analysis_Latin_America_summary_ES_2016.pdf)
- IRENA. (2018). *Transformación energética mundial: Hoja de ruta hasta 2050*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_Global\\_Energy\\_Transformation\\_2018\\_summary\\_ES.pdf?la=en&hash=A5492C2AAC7D8E7A7CBF71A460649A8DEDB48A82](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2018_summary_ES.pdf?la=en&hash=A5492C2AAC7D8E7A7CBF71A460649A8DEDB48A82)
- Jacobo, R. (2015). *Análisis del Funcionamiento de Paneles Fotovoltaicos y su Utilización en las Regiones de la Costa y Sierra del Ecuador. Caso Estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró (Tesis de Maestría)* (p. 98). Tesis de Maestría. <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1911/1/T-SENESCYT-01011.pdf>
- Jeffy Johnson, Mondal, S., Mondal, A. K., Rana, S., & Pandey, J. K. (2018). Feasibility Study of a 200 kW Solar Wind Hybrid System. *Applied Solar Energy*, 54(5), 376–383. <https://doi.org/10.3103/S0003701X18050080>
- Mayorga, S. (2014). *Evaluación Conceptual del Potencial de Aplicación de Energías Renovables en México (Tesis de Licenciatura)* (p. 302).
- Morales, A., & Morales, J. (2008). *Proyectos de Inversión Evaluación y Formulación*. Mc Graw Hill.
- Noguera, O., Villarreal, J., & Pinto, R. (2018). The efficiency of the new photosensitive material used in the manufacture of solar panels. *ITECKNE*, 15, 7–16.

- Osma Pinto, G. A., Florez Gomez, C. E., Rojas Zambrano, W. Y., Florez Reyes, J. O., & Ordoñez Plata, G. (2017). Mejoramiento del desempeño de paneles fotovoltaicos a partir de la irrigación forzada de la superficie superior. *Revista UIS Ingenierías*, 16(2), 161–172. <https://doi.org/10.18273/revuin.v16n2-2017015>
- Paris, E. (2013). *Tesis - Propuesta de una Metodología para la Evaluación Integral de Proyectos Industriales, Mediante un Análisis Multicriterio* (p. 172).
- Patil, N. M., Nilange, S. G., & Yadav, A. A. (2019). Photoelectrochemical performance of spray-deposited Fe-doped ZnS<sub>0.2</sub>Se<sub>0.8</sub> thin films. *Solar Energy*, 191(August), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.052>
- PEMEX. (2014). *Metodología FEL*.
- Pérez, E., Fernández, F., Villariño, D., Montaña, L., & Maldonado, A. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78(July 2016), 597–613. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.009>
- Pimentel, A., & Salcedo, S. (2018). *Estudio de prefactibilidad técnico-económico para el aprovechamiento de biogas y materia organica en el proceso de tratamiento de lodos residuales* (p. 166). <http://132.248.9.195/ptd2018/noviembre/0782382/Index.html>
- PMI. (2017). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK). In *Project Management Institute, Inc* (Vol. 1). <https://doi.org/10.31095/podium.2018.34.6>
- Salamanca, J. (2013). Celdas Fotovoltaicas De Alta Eficiencia Y Sistema De Paneles Solares Del Cubesat Colombia 1. *Redes de Ingeniería*, 3(2), 41–50. <https://doi.org/10.14483/2248762x.6381>
- Sampaio, P. G. V., González, M. O. A., de Vasconcelos, R. M., dos Santos, M. A. T., de Toledo, J. C., & Pereira, J. P. P. (2018). Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93(May), 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.033>
- SENER. (2017a). *Mapa de Ruta Tecnológica Energía Solar Fotovoltaica*. (p. 74).

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341708/MRT\\_TS\\_SENER\\_Final\\_Rev1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341708/MRT_TS_SENER_Final_Rev1.pdf)

SENER. (2017b). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2018-2032* (p. 176).

SENER. (2017c). *Reporte de Inteligencia Tecnológica - Energía Solar Fotovoltaica*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/306072/Inteligencia\\_Tecnologica\\_BCS\\_220218.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/306072/Inteligencia_Tecnologica_BCS_220218.pdf)

SENER. (2018a). Balance Nacional de Energía. In *Balance Nacional de Energía 2017*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance_Nacional_de_Energ_a_2017.pdf)

SENER. (2018b). *Prospectiva de Energías Renovables 2017 - 2031* (p. 92).  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/284342/Prospectiva\\_de\\_Energ\\_as\\_Renovables\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/284342/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2017.pdf)

SHCP. (2013). *Lineamientos Para la Elaboración y Presentación de los Análisis Costo y Beneficio de los Programas y Proyectos de Inversión*.

Strebkov, D. S., & Bobovnikov, N. Y. (2018). Technical and Economic Indicators of Solar Power Plants. *Applied Solar Energy*, 54(6), 456–460.  
<https://doi.org/10.3103/S0003701X18060142>

Twitchell, J. (2019). A Review of State-Level Policies on Electrical Energy Storage. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 6(2), 35–41.  
<https://doi.org/10.1007/s40518-019-00128-1>

Wu, X., Zhang, C., Jiang, L., & Liao, H. (2020). An Integrated Method with PROMETHEE and Conflict Analysis for Qualitative and Quantitative Decision-Making: Case Study of Site Selection for Wind Power Plants. *Cognitive Computation*, 12(1), 100–114.  
<https://doi.org/10.1007/s12559-019-09675-7>