



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE PUEBLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTRATEGIAS PARA LOGRAR LA
SOSTENIBILIDAD EN LA
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL

PRESENTA:
GERARDO TREJO DÍAZ

DIRECTOR DE TESIS:
MTRO. CARLOS BUSTOS MOTA

ASESOR DE TESIS:
MTRO. CARLOS BUSTOS MOTA

MARZO 2021

ÍNDICE

Agradecimientos	5
Introducción	6
Planteamiento del problema.....	7
Justificación	8
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
Pregunta de investigación o hipótesis	9
Metodología de la investigación	10
Capítulo 1.- Estado actual de la contaminación.....	12
1.1 Clima y atmósfera.....	12
1.2 Contaminación del medio ambiente.....	14
1.2.1 Generalidades.....	14
1.2.2.- Desarrollo urbano y contaminación	22
1.3 Cambio climático	25
1.3.1 Definición	25
1.3.2 Evidencias del cambio climático	25
Capítulo 2.- Construcción sostenible.....	29
2.1 Desarrollo sostenible	29
2.1.1 Generalidades.....	29
2.1.2 Dimensiones del desarrollo sostenible	30
2.1.3 Principios del desarrollo sostenible	32
2.2 Generalidades de la construcción sostenible.....	32
2.3 Principios de la construcción sostenible	33
2.4 Contaminación en los sistemas actuales de construcción	34
2.4.1 Deficiencias del ambiente interior de edificaciones	34
2.5 Transición hacia la construcción sostenible.....	36
2.6 Aspectos a considerar para lograr que los edificios sean sostenibles.....	37
2.7 Beneficios construcción sostenible	38
Capítulo 3.- Certificaciones de edificios sostenibles	41
3.1 Definición.....	41
3.2 Características de sistemas de certificación	41
3.3 Tipos de certificaciones	41

3.3.1 LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)	42
3.3.2 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology)	44
3.3.3 Living Building Challenge	46
3.3.4 DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges).....	47
3.3.5 HQE (Haute Qualité Environnementale).....	48
3.4 Sistemas de certificación en México	50
3.5 Sistema de certificación más usado en México.....	52
Capítulo 4.- Estrategias y recomendaciones para conseguir que un edificio sea sostenible.....	54
4.1 Modelo de estudio	54
4.1.1 Descripción general del predio	55
4.1.2 Descripción constructiva del edificio propuesto	56
4.1.3 Descripción constructiva del edificio de comparación.....	57
4.2 Categorías de certificación LEED	58
4.2.1 Eficiencia en agua.....	58
4.2.1.1 Prerrequisito EA: Reducción del consumo de agua en el exterior	58
4.2.1.2 Crédito EA: Reducción de consumo de agua en el exterior.....	58
4.2.1.3 Prerrequisito EA: Reducción de consumo del agua en el interior	69
4.2.1.4 Crédito EA: Reducción de consumo de agua en el interior.....	69
4.2.1.5 Prerrequisito EA: Medición de agua a nivel de todo el edificio.....	76
4.2.1.6 Crédito EA: medición de agua.....	77
4.2.2 Energía y atmósfera.....	78
4.2.2.1 Prerrequisito EYA: Recepción y verificación básicas.....	78
4.2.2.2 Crédito EYA: Recepción y verificación avanzadas	79
4.2.2.3 Prerrequisito EYA: Mínima eficiencia energética	80
4.2.2.4 Crédito EYA: Mínima eficiencia energética.....	80
4.2.2.5 Prerrequisito EYA: Medición de energía a nivel de todo el edificio	160
4.2.2.6 Crédito EYA: Medición de energía a nivel de todo el edificio.....	160
4.2.2.7 Prerrequisito EYA: Gestión básica de refrigerantes.....	161
4.2.2.8 Crédito EYA: Gestión mejorada de refrigerantes	161
4.2.2.9 Crédito EYA: Respuesta a la demanda	163
4.2.2.10 Crédito EYA: Producción de energía renovable	165
4.2.2.11 Crédito EYA: Energía verde y compensación de carbono	172

4.2.3 Materiales y recursos	173
4.2.3.1 Prerrequisito MR: Almacenamiento y recogida de reciclables	173
4.2.3.2 Prerrequisito MR: Planificación de la gestión de residuos de construcción y demolición.	173
4.2.3.3 Crédito MR: Gestión de residuos de construcción y demolición.	177
4.2.3.4 Crédito MR: Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio.....	178
4.2.3.4 Crédito MR: Revelación y optimización de los productos del edificio- Declaraciones ambientales de productos.....	197
4.2.3.5 Crédito MR: Revelación y optimización de los productos del edificio- Fuentes de materias primas.....	197
4.2.3.6 Crédito MR: Revelación y optimización de los productos del edificio- Componentes de los materiales	197
Capítulo 5.- Presupuesto	198
5.1 Descripción del procedimiento.....	198
5.2 Presupuesto del edificio sostenible propuesto	198
5.3 Presupuesto del edificio de comparación.....	220
5.4 Análisis comparativos finales.....	238
Resumen final de las características más relevantes del edificio sostenible	244
Metodología utilizada para determinar el diseño del edificio.....	245
Conclusiones	246
ANEXOS.....	250

Agradecimientos

Primero quisiera agradecer a todos los integrantes de mi familia, principalmente a mis padres, a mi hermano y a mis abuelos, por todo el apoyo incondicional que siempre me brindaron.

Agradecimiento a mi asesor de tesis, quien me ayudó y me orientó en el desarrollo de este tema de investigación para poder alcanzar los objetivos planteados.

Agradecimiento a la Universidad, lugar donde tuve la oportunidad de estudiar y formarme profesionalmente, y gracias a la cuál pude conocer e investigar acerca de este tema que es la construcción sostenible.

Agradecimiento a mis amigos por acompañarme en este proceso y ayudarme cuando los necesité.

Agradecimiento a las organizaciones y asociaciones que se enfocan en el área de desarrollo sostenible y preservación del medio ambiente, haciendo mención principal en algunas de las que contribuyeron en el desarrollo de esta investigación (*U.S. Green Building Council, Environmental Protection Agency, Water Sense, ASHRAE, Food and Agriculture Organization, U.S. Department of Energy's, Alliance for Sustainable Energy, GreenDelta*) por brindar información así como herramientas informáticas accesibles para el público y que son de gran utilidad para el desarrollo de investigaciones y proyectos referentes al área de estudio.

Introducción

El presente trabajo de investigación está destinado a la obtención de métodos para lograr hacer un edificio sostenible desde su diseño.

En la actualidad existe evidencia del aumento de los niveles de sustancias contaminantes en el ambiente, algunas organizaciones a nivel mundial como la Organización Mundial de la Salud (OMS), o a nivel nacional como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) presentan en sus páginas de Internet [120] datos y estadísticas sobre la calidad del aire en las ciudades, donde se puede apreciar que en la mayoría de ellas los niveles de contaminación exceden los límites fijados de acuerdo a las normativas correspondientes, de igual manera estas organizaciones muestran todas las consecuencias que genera la contaminación, las cuáles van desde daños directos al medio ambiente, hasta millones de muertes al año a nivel mundial. Una de las causas principales de dicha contaminación es debido a la poca atención que se les presta al impacto ambiental que puedan generar las actividades de producción que se realizan; en este estudio se hará hincapié en una de ellas, que es la de la industria de la construcción.

En el sector de la industria de la construcción, la construcción sostenible se presenta como una buena alternativa de solución para este problema de la contaminación; el término de construcción sostenible surge a partir de la creación del término “desarrollo sostenible”, el cual fue implementado por primera vez en el informe Brundtland a cargo de la “Comisión Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo” de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el año de 1987 [22]. En dicho informe se menciona lo siguiente: “El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987). Posterior a ello se han ido aplicando las bases teóricas que engloba el desarrollo sostenible para aplicarlas en áreas específicas de estudio, como lo es el caso de la “construcción sostenible”; la definición exacta de dicho término puede variar entre diferentes autores, pero todos se guían del concepto de desarrollo sostenible. Como se indica más adelante en la sección 2.2, tomando como referencia la información presentada por diversos autores sobre construcción sostenible se llegó a la siguiente definición del término “construcción sostenible”: construir una obra de ingeniería que sea compatible con el ecosistema y que presente un ambiente saludable para sus ocupantes, haciendo un uso eficiente de recursos y disminuyendo el impacto ambiental que pueda generar a lo largo de su ciclo de vida.

Al considerar los impactos ambientales que puede producir el edificio en todo su ciclo de vida, y analizando cuáles son las mejores modificaciones a realizar en su diseño para

revertirlo, se pueden reducir notablemente dichos impactos, y a su vez generar un ambiente interior del edificio más saludable para sus ocupantes.

En esta investigación, basándose en un modelo de estudio, se pretende determinar cuáles son algunas de las mejores estrategias a llevar a cabo en el diseño del edificio, para lograr que sea sostenible sin elevar considerablemente los costos de la obra.

En el capítulo 1 se habla sobre los niveles de contaminación actuales, sus principales consecuencias, y cómo tiene incidencia en dichos problemas la industria de la construcción.

En el capítulo 2 se habla primero sobre el surgimiento del término “desarrollo sostenible”, posteriormente se hace referencia sobre el tema de “construcción sostenible”, en el cual se mencionan sus aspectos generales de acuerdo con el punto de vista de varios autores, y los principios fundamentales de los cuales se basa. Finalmente se hace mención de algunas deficiencias en los sistemas constructivos actuales y de los beneficios que se obtienen con la construcción sostenible.

En el capítulo 3 se habla sobre algunas de las certificaciones de construcción sostenible más conocidas a nivel internacional, y sus principales características de cada una de ellas.

En el capítulo 4 se presenta el diseño arquitectónico de un edificio que sirvió como modelo de estudio de la investigación, y con base en el cual se hizo el análisis para determinar cuáles son las mejores modificaciones a realizarle para hacerlo sostenible, de acuerdo a los criterios de la certificación *LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)*, considerando únicamente 3 de sus categorías, las cuáles son: Eficiencia en agua, Energía y atmósfera, y Materiales y recursos.

En el capítulo 5 se hace un cálculo de los costos del modelo del edificio original, y luego del mismo edificio pero con las modificaciones realizadas para hacerlo sostenible. Posteriormente se presentan las comparativas finales entre ambos edificios, donde se contrastaron algunas características como: consumo de agua, consumo energético, costos, impacto ambiental, entre otras.

Planteamiento del problema

Actualmente en el país se presentan niveles de contaminación cada vez más altos y críticos para la población, esto a su vez ha ido generando el cambio climático, el cual se manifiesta de diferentes formas, algunas de ellas son: elevación de la temperatura media, elevación del nivel del mar, variación en patrones de precipitación, aumento de

frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, cambios en los ecosistemas, etc.

Uno de las principales razones de este alto grado de contaminación es debido a la industria de la construcción; ya que, desde el proceso de fabricación de materiales, durante los procesos constructivos, y durante su funcionamiento de los edificios, se producen una gran cantidad de contaminantes, los cuales tienen repercusiones directas en el medio ambiente y en nuestra salud.

La industria de la construcción es uno de los principales motores económicos del país, pero también uno de los principales detonadores de contaminación del mismo, por ello debido al gran aumento de urbanización que se ha presentado en los últimos años es necesario empezar a tomar medidas para reducir esta contaminación. Por tal motivo es la importancia de comenzar a hacer estudios para determinar estrategias efectivas que nos ayuden a tener un proceso de construcción más sostenible, tratando de minimizar esta contaminación que generamos en el ambiente.

Justificación

La industria de la construcción es de los principales motores de producción industrial del país; según estadísticas de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) del 2014 al 2016 el Producto Interno Bruto (PIB) ha registrado crecimientos de entre 2 y 3% en cada año, en el 2017 se registró un decaimiento de 1%, y en el primer semestre de 2018 se obtuvo un aumento del 2%. Además de estas cifras que nos indican el beneficio económico que se obtuvo en el país, también se sabe que se obtuvieron grandes beneficios en la sociedad con todas las obras realizadas.

Ahora en contraste con los datos anteriores, según estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se estima que en el año 2016 los costos por agotamiento y degradación ambiental fueron equivalentes al 4.6% del PIB; para la estadística de estos costos se consideraron algunos rubros como: contaminación de agua, residuos sólidos, degradación de suelo, emisiones al aire, entre otros. Se sabe que todos esos costos por contaminación no sólo son por la industria de la construcción, pero si influye en gran medida para generarlos.

Partiendo de lo anterior se puede notar el gran impacto que tiene la construcción de obras civiles en el ambiente. Es importante saber que así como la industria de la construcción tiene una participación considerable en la generación de contaminación, también tiene un gran potencial para disminuirla.

Debido a la etapa crítica en que estamos actualmente en materia ambiental, es necesario empezar a hacer la implementación de nuevas tecnologías, mejorar los procesos de planeación y construcción, llevar un mejor control de todos los residuos que se generan en el proceso, y en general hacer un análisis adecuado para determinar qué opciones son las mejores para cada diseño con el fin de hacerlo sostenible; todo esto para evitar que siga aumentando la contaminación y poder preservar los recursos para las futuras generaciones.

Objetivo general

- Identificar las estrategias viables para que un edificio sea sostenible sin incrementar considerablemente su costo.

Objetivos específicos

- Explorar las bases teóricas de la construcción sostenible y cómo llevarlas a cabo en un proyecto.
- Identificar los criterios que se toman en cuenta para catalogar una construcción como “sostenible” basándose en la certificación *Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)* (Considerando únicamente las categorías: Gestión del agua, Energía y atmósfera, Materiales y recursos)
- Realizar una comparativa entre los costos de una edificación construida de manera convencional y otra considerando los criterios de la certificación *LEED*.
- Identificar los aspectos clave que deben ser modificados en el proyecto para lograr una reducción de su impacto ambiental y al mismo tiempo no incrementar considerablemente los costos totales de la obra.

Pregunta de investigación o hipótesis

Al hacer un análisis adecuado considerando todos los factores que influyen en el impacto ambiental de una edificación, se pueden determinar modificaciones en el proyecto ejecutivo para lograr hacerlo sostenible.

¿Qué estrategias son más eficientes para lograr una certificación de construcción sostenible en edificaciones, disminuyendo el impacto ambiental que se genera y sin aumentar considerablemente los costos de la obra?

Metodología de la investigación

En este trabajo de investigación la recolección de información se realizó con base en el análisis de contenido bibliográfico; se consultaron libros, artículos de revistas, artículos en internet, artículos de divulgación, informes técnicos, reportes de conferencias, normas, leyes, reglamentos, diccionarios, datos y estadísticas de organismos públicos y privados, manuales u otros tipos de recursos bibliográficos expedidos por organizaciones.

Con base en todo el contenido bibliográfico consultado se elaboraron las bases teóricas de la investigación. Después para el desarrollo de los cálculos del modelo de estudio se tomó como guía el documento de “*LEED v4 para diseño y construcción de edificios*” elaborado por el *US Green Building Council (USGBC)* y traducido por el *Spain Green Building Council*, además de otros documentos de ayuda relacionados a la obtención de la certificación *LEED*, todos ellos obtenidos de la página oficial del *U.S. Green Building Council (USGBC)* [151] y del *Spain Green Building Council* [131].

Una vez consultado toda la información necesaria referente a la certificación *LEED v4* se recurrió al proceso de cálculo del modelo de estudio. Para lo cual primero se revisaron todas las especificaciones del diseño del edificio y se definieron las características faltantes.

Para la categoría de “Eficiencia en agua” se revisó que estuvieran todas las especificaciones necesarias del proyecto para hacer los cálculos de consumo de agua, una vez que se tuvieron todos los datos necesarios se procedió a hacer el cálculo de la demanda de agua en el edificio, considerando todos los muebles y accesorios del edificio que generen un consumo de agua, y el número de personas que usan el edificio. Para el cálculo de consumo de agua exterior se recurrió a usar la “Herramienta del presupuesto en agua responsable (Water sense water budget tool)” elaborada por la Agencia de Protección Medioambiental (EPA). También se calculó la cantidad de agua pluvial que se puede obtener con base en los datos climatológicos del sitio; y la cantidad de agua gris que se puede reutilizar con base en la cantidad de agua utilizada por los muebles que generan aguas grises y el número de usos de cada uno de esos muebles. Considerando las instalaciones extra que se deben hacer para una u otra opción y los costos respectivos de cada una, se decidió cuál sería la mejor opción para el abastecimiento de agua del edificio y el cumplimiento de la certificación *LEED*.

Para el análisis de la categoría de “Eficiencia energética” primero se realizó el modelo del edificio en el programa Sketchup 2017, con ayuda de la extensión del programa OpenStudio se definieron todas las características necesarias para el modelado

energético del edificio, una vez modelado y definido todas las consideraciones importantes en el edificio, se recurrió a correr el modelo en el programa EnergyPlus 9.1.0. Con base en los resultados arrojados por el programa se hicieron las modificaciones necesarias hasta obtener el diseño óptimo donde se reduzca de la mejor manera el consumo energético del edificio. Finalmente, con toda la información del edificio definida se hacen algunos arreglos más hasta cumplir con las características que se piden en el documento “*LEED* v4 para diseño y construcción de edificios” en la categoría de Eficiencia energética.

Para la categoría de “Materiales y recursos” se realizó una cuantificación de todos los materiales de construcción, y de los desperdicios generados. Se recurrió al uso del programa de OpenLCA para realizar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de los materiales que conforman el edificio, y a partir de esa información se determinaron los elementos más convenientes a incluir en el edificio para conseguir un diseño sostenible.

Después de terminar la parte de cumplimiento de los requisitos para la certificación *LEED* se procedió a realizar el cálculo de los costos de los edificios, el primer proceso de cálculo se realizó considerando el diseño original del edificio, y el segundo con las modificaciones necesarias para obtener la certificación *LEED*. Para los cálculos de precios unitarios se recurrió al uso del software Neodata 2021 y de la aplicación Microsoft Excel.

Capítulo 1.- Estado actual de la contaminación

1.1 Clima y atmósfera

El clima se puede definir como: Conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región.

Para determinar el clima de alguna región es necesario hacer el estudio de varios elementos meteorológicos que son los que lo conforman, como lo son principalmente: la temperatura, la humedad atmosférica, el viento, la precipitación y la presión atmosférica; los cuáles varían generalmente dependiendo las características geográficas de la región, como lo pueden ser: el relieve, corrientes oceánicas, distancia al mar, altitud y latitud de la zona. Estos estudios se hacen por varios años para poder determinar las características generales del clima en esa región.

El estado de tiempo, a diferencia del clima (en el que se debe basar en estudios por periodos de tiempo muy largos), se basa en el estudio de las condiciones meteorológicas en un periodo corto de tiempo.

En conclusión, el clima es un promedio de los elementos meteorológicos que se estudian por un largo periodo de tiempo para obtener una generalización de clima en cierta región; y el estado de tiempo son las condiciones meteorológicas que se presentan en un momento en específico en cierta región.

El estado del tiempo y el clima son el resultado de la interacción entre la atmósfera, los océanos, los continentes, los hielos y las diversas formas de vida en el planeta (Conde, 2006).

Tener el conocimiento de las características del clima en una región sirve para saber varias condiciones de esta, como lo pueden ser el tipo de flora y fauna, los recursos naturales disponibles, entre otros. También el tipo de infraestructura entre una región y otra puede variar dependiendo de las condiciones climatológicas que se presenten en cada una.

Para el diseño y la planeación de obras de construcción influyen varios parámetros del clima, por ejemplo, conocer los periodos de estiaje, los periodos más frecuentes de lluvias, la lámina máxima de precipitación, la velocidad máxima que pueda alcanzar el viento, las temperaturas máximas y mínimas que se puedan llegar a presentar etc., con base a este tipo de datos se puede determinar ciertas características de la construcción, por ejemplo: los materiales a usar, si es necesario la adición de algún tipo de químico en

ellos, y también tiene influencia para determinar las dimensiones de algunas estructuras en las obras civiles.

Para el estudio del clima se han recolectado datos por largos periodos de tiempo y con base en ellos se ha logrado determinar el comportamiento general que presenta en determinada región; también se han logrado hacer predicciones con base en toda la información del clima, y como ya se mencionó, estos datos se utilizan para el diseño de varias estructuras.

Cuando la cantidad de sustancias contaminantes en el ambiente se incrementan y sobrepasa los niveles máximos permisibles indicados por la OMS [90], se pueden ir produciendo una serie de consecuencias negativas, como lo son: variaciones en el clima, la generación enfermedades respiratorias, problemas con los cultivos, sequías, inundaciones, lluvia ácida, entre otros.

Una de las principales afectaciones que se produce en la industria de la construcción es debido a que las obras de infraestructura fueron diseñadas para ciertas condiciones climáticas y al variar de una manera que no se tenía contemplada, se puede ver afectada la funcionalidad de las mismas.

Características de la atmósfera

La atmósfera terrestre es la capa gaseosa que rodea al planeta Tierra. La cuál está compuesta por 5 capas, que son: la tropósfera, estratósfera, mesósfera, termósfera y exósfera

La vida actual en la Tierra depende, entre otros factores, de una delgada capa gaseosa: la atmósfera. Esta capa es una mezcla de gases en la que dominan principalmente el nitrógeno (78.1%) y el oxígeno (20.9%), así como pequeñas cantidades de argón (0.93%). Entre las funciones más importantes de la atmósfera podemos mencionar su control como filtro de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre, su acción protectora al destruir una gran cantidad de meteoritos que, de otra manera, llegarían a la superficie de la Tierra y regular la temperatura, esto último por medio del llamado “efecto invernadero” (SEMARNAT, 2009)

La atmósfera se ha ido transformado a lo largo de su existencia durante varios millones de años, hasta que llegó a un punto donde se produjo oxígeno en ella, y posteriormente se llegó a una combinación con otros compuestos químicos que hizo posible que se desarrollara la vida en la superficie terrestre.

1.2 Contaminación del medio ambiente

1.2.1 Generalidades

El calentamiento global tiene diversas causas que lo generan, uno de los principales factores de los que depende la intensidad con que se pueda llegar a presentar, es la composición de la atmósfera; la cual a su vez se ve afectada principalmente por la contaminación que los seres humanos producimos.

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, vienen de cualquier naturaleza. (Martínez y Díaz, 2004)

Consecuencias por contaminación

La contaminación del medio ambiente tiene varias consecuencias, algunas de las más conocidas son:

- Producción de GEI. Cuando los niveles de los GEI son excesivos se produce un aumento de temperatura en el planeta, lo que se le conoce como calentamiento global.
- Daño a la capa de ozono. Algunos contaminantes como los clorofluorocarbonos afectan la concentración de ozono en la estratósfera, al disminuir los niveles de ozono en esa zona llega un mayor porcentaje de rayos Ultravioleta a la Tierra, lo cual puede afectar la salud de los seres vivos.
- Problemas respiratorios. el aire contaminado influye de forma directa en la función pulmonar para el proceso respiratorio, lo que puede producir enfermedades más graves.
- Fenómenos meteorológicos extremos con más intensidad y frecuencia. La OMS menciona lo siguiente sobre los desastres naturales “Cada año esos desastres causan más de 60 000 muertes, sobre todo en los países en desarrollo” (OMS, 2018)

A parte de los problemas anteriormente mencionados que genera la contaminación, también tiene otra consecuencia económica en el país, ya que con base en las

estadísticas del INEGI en el año 2017 en México se tuvieron gastos de \$947,662,000.00 en costos por agotamiento y degradación ambiental y \$124,449,000.00 en costos por protección ambiental.

Estado actual de contaminación

En la página oficial de la OMS [91] se publicó un artículo de un comunicado de prensa en el cual se informó lo siguiente: “La OMS ha elaborado un nuevo modelo de calidad del aire que confirma que el 92% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de calidad del aire exceden los límites fijados por la OMS”. (OMS, 2018)

La OMS estima que aproximadamente el 90% de las personas de todo el mundo respiran aire contaminado. En los últimos seis años, los niveles de contaminación del aire ambiente han permanecido elevados y más o menos estables, y se han registrado disminuciones de las concentraciones en algunas partes de Europa y en las Américas. (OMS, 2018)

Actualmente la mayoría de la población vive en zonas donde no se respetan las directrices de calidad de aire, lo cual tiene varios efectos perjudiciales en la salud de los habitantes de dichas zonas.

La OMS elaboró una guía de calidad de aire, en donde se presentan los límites permisibles de la presencia de los principales contaminantes [90]. Por ello es importante tener un adecuado monitoreo de la calidad del aire y tener una buena gestión de los datos, para que se pueda reconocer cuando se están excediendo los límites de contaminación del aire y poder elegir las mejores decisiones para revertirlo.

Estado de contaminación en México

En la página de Internet de la SEMARNAT [120] se publicó un Informe del Medio Ambiente del país de México. En dicho informe se presenta un tema sobre el monitoreo y calidad del aire de México; la información más importante se presenta a continuación:

Los sistemas de monitoreo de la calidad del aire permiten conocer las concentraciones de contaminantes a las que está expuesta la sociedad. Con el crecimiento de la población también crece la demanda de servicios como transporte, agua, electricidad y su infraestructura asociada, así como la generación de residuos y la emisión y concentración de contaminantes en la atmósfera (Lezama, 2010). En este contexto, la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012 establece la instalación y operación de unidades de monitoreo en las zonas o centros de población que cuenten con alguna de las siguientes condiciones: asentamientos humanos con más de 500

mil habitantes, zonas metropolitanas, asentamientos humanos con emisiones superiores a 20 mil toneladas anuales de contaminantes criterio primarios a la atmósfera, conurbaciones y actividad industrial que por sus características requiera del establecimiento de estaciones de monitoreo de calidad del aire y/o de muestreo de contaminantes atmosféricos (DOF, 2012). (SEMARNAT, 2015)

En México se han establecido estaciones y redes de monitoreo atmosférico en sitios que van desde ciudades y zonas metropolitanas, hasta localidades donde existe una intensa actividad industrial. Hasta 2015, el país contaba con equipos instalados para la medición de contaminantes atmosféricos en 29 estados de la república, con un total de 243 estaciones de monitoreo; sin embargo, existían también localidades con más de 500 mil habitantes que no contaban con estos sistemas. Es importante resaltar que no todas las ciudades que cuentan con sistemas de monitoreo poseen datos suficientes ni confiables que permitan examinar la evolución de las concentraciones de contaminantes y por tanto, la calidad del aire en periodos largos de tiempo. (SEMARNAT, s.f.)

El INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) elabora de manera periódica el “Informe Nacional de la calidad del aire en México”, en el cual se presenta un diagnóstico de la calidad del aire en México durante el año en estudio, así como una descripción de las tendencias históricas de los contaminantes atmosféricos. En la siguiente figura se muestran las ciudades y zonas metropolitanas con monitoreo de calidad del aire en México (2018), incluidas en el informe.



Figura 1.- Ciudades y zonas metropolitanas con monitoreo de calidad del aire en México, 2018. Fuente: INECC.

● **Zonas metropolitanas y ciudades con monitoreo de calidad del aire**

AGUASCALIENTES	HIDALGO	SAN LUIS POTOSÍ
1 Aguascalientes	33 Atitalaquia	62 San Luis Potosí
BAJA CALIFORNIA	34 Atotonilco de Tula	63 Soledad de Graciano Sánchez
2 Ensenada	35 Huichapan	SONORA
3 Mexicali	36 Lolyta	64 Agua Prieta
4 Tecate	37 Pachuca de Soto	65 Cajeme
5 Tijuana	38 Tepeapulco	66 Hermosillo
COAHUILA	39 Tepeji del Río de Ocampo	67 Nogales
6 Monclova	40 Tepetitlán	68 San Luis Río Colorado
7 Piedras Negras	41 Tizayuca	TABASCO
8 Saltillo	42 Tlaxcoapan	69 Balancán
9 Torreón	43 Tula de Allende	70 Centla
CHIHUAHUA	44 Tulancingo de Bravo	71 Centro
10 Chihuahua	45 Zapotlán de Juárez	72 Comalcalco
CIUDAD DE MÉXICO	JALISCO	73 Cunduacán
11 Ciudad de México y área conurbada	46 Zona Metropolitana de Guadalajara	74 Huimanguillo
DURANGO	MEXICO	75 Macuspana
12 Durango	47 Zona Metropolitana de Toluca	76 Paraíso
13 Gómez Palacio	MICHOACAN	TLAXCALA
14 Lerdo	48 Morelia	77 Apizaco
GUANAJUATO	MORELOS	78 Cuapiaxtla
15 Abasco	49 Cuautla	79 Tlaxcala
16 Acámbaro	50 Cuernavaca	VERACRUZ
17 San Miguel de Allende	51 Ocuilco	80 Xalapa
18 Celaya	52 Zacatepec	81 Minatitlán
19 Cortazar	NAYARIT	82 Poza Rica de Hidalgo
20 Dolores Hidalgo Cuna de la Independencia Nacional	53 Tepic	YUCATÁN
21 Guanajuato	NUEVO LEÓN	83 Mérida
22 Irapuato	54 Zona Metropolitana de Monterrey	
23 León	OAXACA	
24 Moreleón	55 Oaxaca de Juárez	
25 Purísima del Rincón	PUEBLA	
26 Salamanca	56 Coronango	
27 San Francisco del Rincón	57 Puebla	
28 San José Iturbide	QUERÉTARO	
29 San Luis de la Paz	58 Corregidora	
30 Santa Cruz de Juventino Rosas	59 El Marqués	
31 Silao	60 Santiago de Querétaro	
32 Villagrán	61 San Juan del Río	

Figura 2.- Ciudades y zonas metropolitanas con monitoreo de calidad del aire en México (continuación), 2018. Fuente: INECC.

En el Informe Nacional de la calidad del aire en México 2018 también se indica el porcentaje de ciudades que cumplen y no cumplen con los límites de concentración de algunos tipos de contaminantes. La SEMARNAT presentó un informe en su página web sobre el monitoreo y evaluación de la calidad del aire, en donde se presenta un resumen de la relación de ciudades que cumplen y no cumplen con la normativa de calidad de aire, basándose en lo presentado en el Informe Nacional de la calidad del aire en México 2018.

- De las ciudades que tuvieron capacidad de medición de ozono: 19% cumplieron la Norma correspondiente, 53% no lo hicieron y en el 28% no se pudo evaluar la misma.
- De las ciudades que tuvieron capacidad de medición de partículas suspendidas PM10: 4.5% cumplieron la Norma correspondiente, 47.8% no lo hicieron y en el 47.8% no se pudo evaluar la Norma.
- De las ciudades que tuvieron capacidad de medición de partículas suspendidas PM2.5: 7% cumplieron la Norma; 42% no cumplieron la Norma correspondiente y en 52% no se pudo evaluar la misma. (SEMARNAT, 2020)

Como se puede ver en los datos presentados por la SEMARNAT, un porcentaje considerable de las estaciones de monitoreo no generan información suficiente para evaluar el cumplimiento de las normas de calidad de aire, por lo cual, con base en los datos anteriores se procedió a calcular la relación correspondiente del cumplimiento de la calidad de aire considerando solamente las estaciones que presentan registros válidos, esto con el fin de tener una mejor idea de la proporción del cumplimiento de la calidad del aire en el país.

Contaminante / Estatus de cumplimiento	Cumple	No cumple
PM10	8.61%	91.39%
PM25	13.79%	86.21%
O3	26.38%	73.62%

Tabla 1.- Estatus de cumplimiento de concentración de contaminantes en México. Fuente: SEMARNAT

Aunque no se tiene certeza de las condiciones exactas de calidad de aire en todo el país, de las zonas que tienen sistemas de monitoreo con registros válidos se puede notar que la mayor parte no cumple con las normas de calidad de aire.

Gases de efecto invernadero

El efecto invernadero se produce cuando la radiación solar llega a la superficie de la Tierra y gracias a los gases presentes en la atmósfera se evita que la energía solar vuelva inmediatamente al espacio, estos gases absorben parte de esta energía, dejando pasar una parte hacia la superficie terrestre y la otra es devuelta hacia la atmósfera. Esta energía solar que permanece en la superficie terrestre es la que produce que la temperatura se eleve, y así se puedan dar las condiciones para tener un clima adecuado.

La RAE define el término “efecto invernadero” como: Elevación de la temperatura de la atmósfera próxima a la corteza terrestre, por la dificultad de que se disipe la radiación calorífica, debido a la presencia de una capa de gases, especialmente dióxido de carbono, procedente de las combustiones industriales y otras actividades.

En una publicación en la página de Internet oficial de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [94] se indica lo siguiente:

Los gases de efecto invernadero (GEI) se producen de manera natural y son esenciales para la supervivencia de los seres humanos y de millones de otros seres vivos ya que, al impedir que parte del calor del sol se propague hacia el espacio, hacen la Tierra habitable. Pero después de más de un siglo y medio de industrialización, deforestación y agricultura a gran escala, las cantidades de gases de efecto invernadero en la atmósfera se han incrementado en niveles nunca antes vistos en tres millones de años. A medida que la población, las economías y el nivel de vida crecen, también lo hace el nivel acumulado de emisiones de ese tipo de gases. (ONU, 2019)

Se han relacionado científicamente varios hechos:

- La concentración de GEI en la atmósfera terrestre está directamente relacionada con la temperatura media mundial de la Tierra;
- Esta concentración ha ido aumentando progresivamente desde la Revolución Industrial y, con ella, la temperatura mundial;
- El GEI más abundante y que representa alrededor de dos tercios de todos los tipos de GEI, es el dióxido de carbono (CO₂), resultado de la quema de combustibles fósiles. (ONU, 2019)

La principal consecuencia que se tiene por el aumento de los GEI es la variación del clima, que como ya se hizo mención en el capítulo 1.1, esa variación puede repercutir negativamente en varios aspectos de nuestra vida cotidiana.

Los principales gases de Efecto Invernadero (GEI) son: el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), el ozono (O₃) y el vapor de agua (H₂O).

Gases de Efecto Invernadero en México

En México existe un Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, el cual contiene la estimación de las emisiones antropogénicas de gases y compuestos de efecto invernadero, y de la absorción por los sumideros en México. El

Inventario es elaborado por el INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático).

Actualmente dicho inventario tiene datos de la emisión de GEI en el periodo comprendido del año de 1990 al año 2015 [117].

El inventario comprende las emisiones de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre y carbono negro. Siendo el más relevante el dióxido de carbono con 71% de las emisiones. En dicho inventario todos los compuestos de GEI se manejan con su equivalencia al dióxido de carbono (dióxido de carbono equivalente) ya que es el compuesto más común entre los GEI.

En el inventario se presentan dos resultados finales de emisiones de GEI. El primero presenta la suma total de todos los GEI generados por los diferentes sectores; el segundo presenta esa misma cantidad, pero restándole la cantidad de GEI que son absorbidos principalmente por bosques y selvas.

Se elaboraron dos gráficas con los datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. La primera gráfica (Figura 3) se elaboró considerando la cantidad de emisiones totales (sin contar la cantidad de GEI absorbidos por la vegetación); y la segunda gráfica (Figura 4) se elaboró considerando la cantidad de emisiones netas (restando la cantidad de GEI absorbidos por la vegetación).

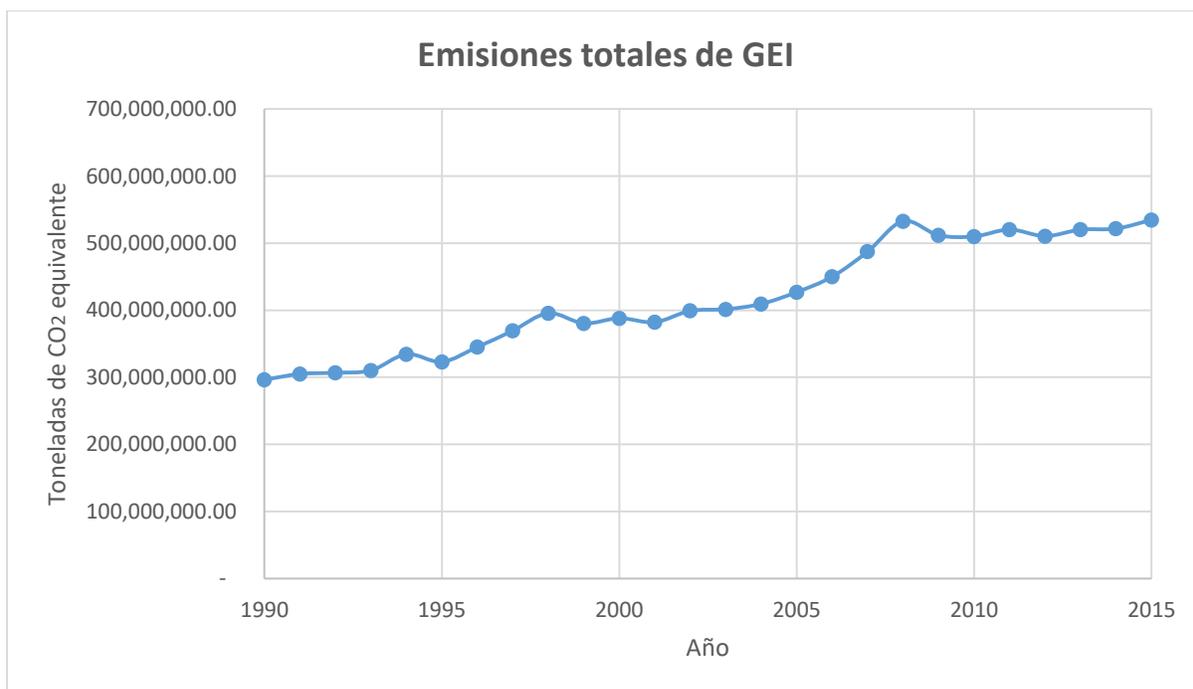


Figura 3.- Emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero 1990-2015. Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero.

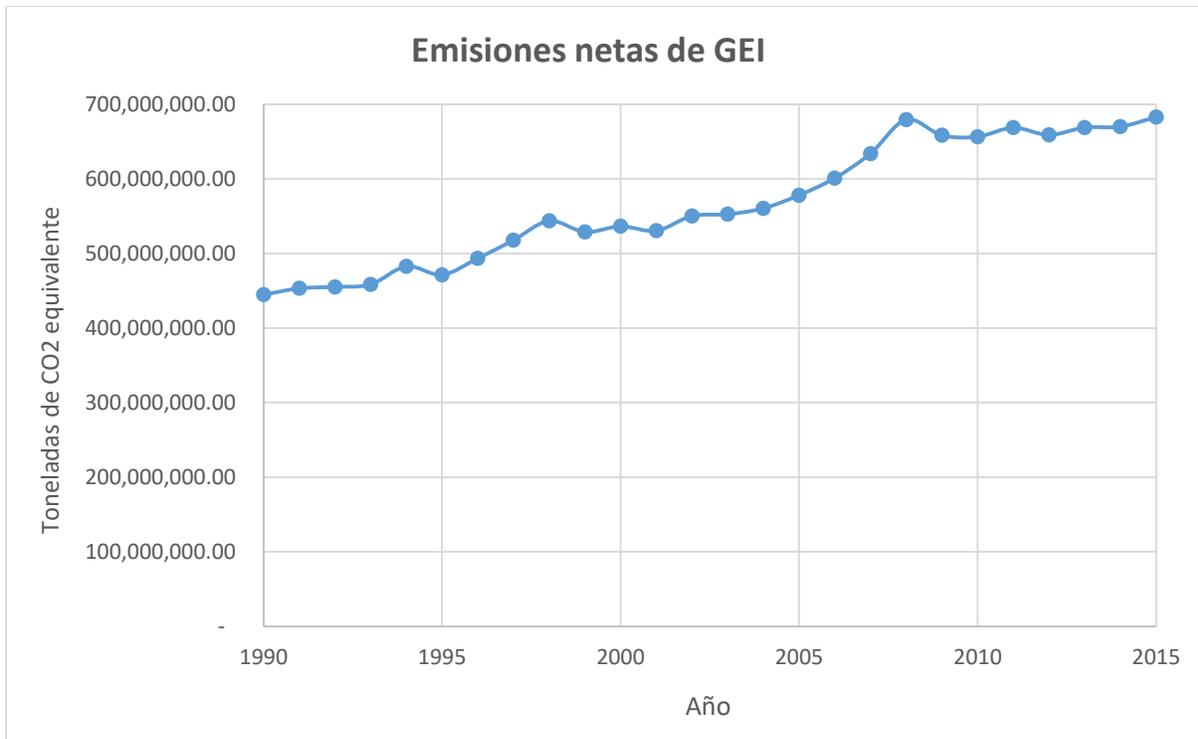


Figura 4.- Emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero 1990-2015. Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero.

Como se puede apreciar en la Figura 4 la cantidad de GEI que se generan en el país ha ido aumentando considerablemente en el transcurso de los años, teniendo un total de 683 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas en el 2015. En 1990 se tuvo un registro de 445 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente; con lo cual se puede observar que del año de 1990 al año 2015 se tuvo un aumento del 54% de las emisiones de GEI.

Generación de GEI por sector.

El INECC dividió la cantidad de GEI de acuerdo al sector que los emitió, teniéndose 4 sectores, los cuáles son: Energético, Procesos Industriales y Usos de Productos (*IPPU*, por sus siglas en inglés), residuos, y Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (*AFOLU*, por sus siglas en inglés).

A su vez generó diversas categorías por cada sector. Con base en los datos del INECC se elaboró la siguiente gráfica (Figura 5), la cual muestra el porcentaje de GEI generados por cada categoría.

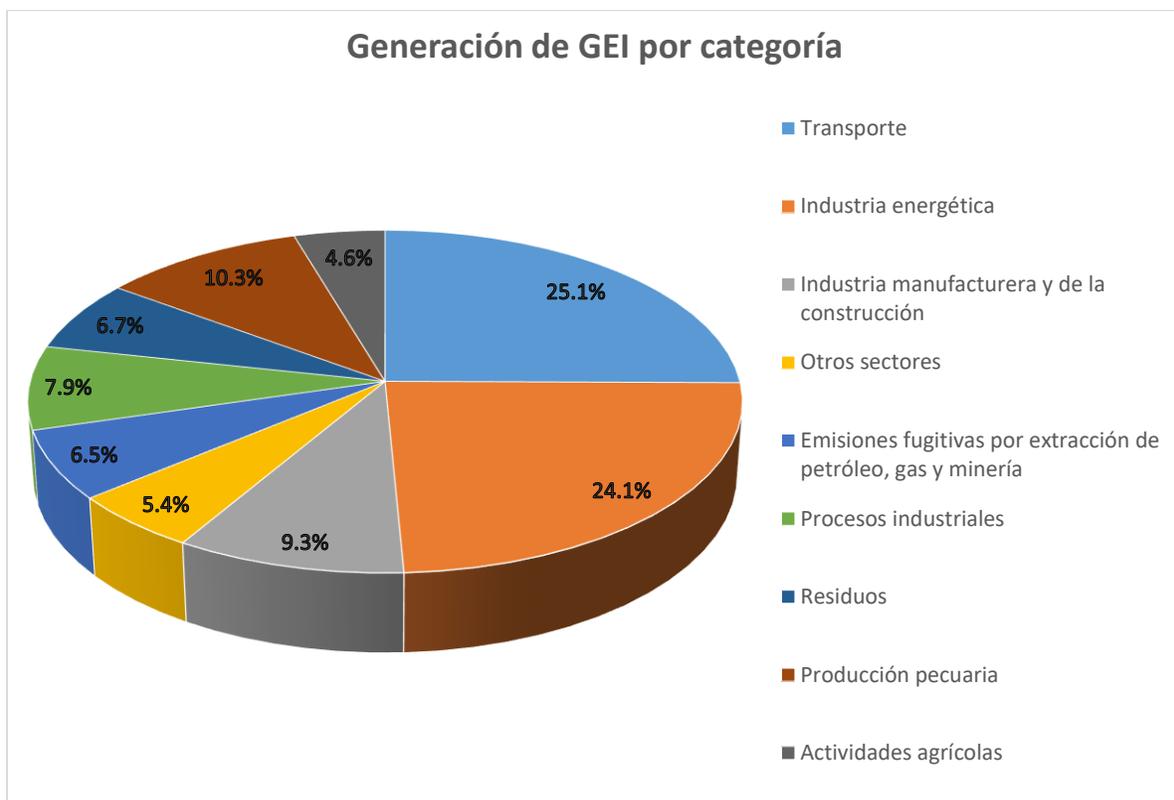


Figura 5.- Generación de Gases de Efecto Invernadero por categoría 2015. Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

En varias categorías mostradas en la Figura 5 tiene participación la industria de la construcción, por lo cual también tiene la posibilidad de reducir la producción de GEI y otros contaminantes que están afectando al medio ambiente.

1.2.2.- Desarrollo urbano y contaminación

Actualmente la mayoría de la población de México se encuentra viviendo en zonas urbanas, desde la revolución industrial se generó un gran aumento de las áreas urbanas y conforme fue pasando el tiempo más personas emigraron hacia esas zonas.

El INEGI lleva estadísticas para saber qué porcentaje de la población vive en áreas y urbanas y en áreas rurales, como se muestra en la Figura 6:

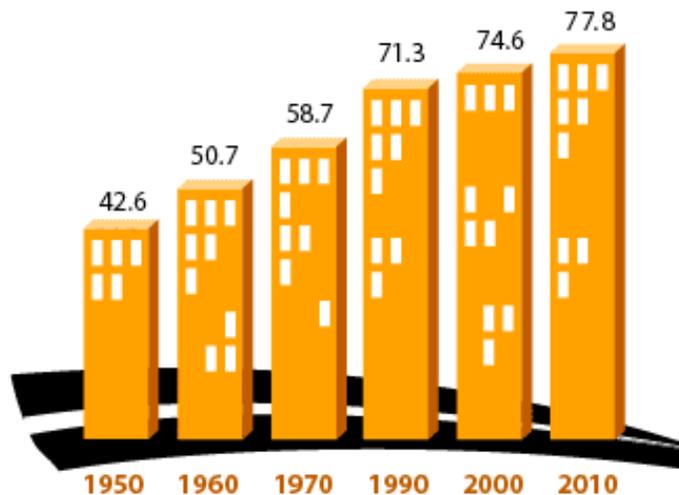


Figura 6.- Volumen y crecimiento. Población total según tamaño de localidad para cada entidad federativa. Fuente: INEGI.

En la Figura 6 se observa cómo ha ido en aumento el número de personas que viven en zonas urbanas y comienzan a dejar las zonas rurales. Las razones por las que las personas hacen este cambio y deciden mudarse a zonas urbanas pueden variar, pero algunas de las principales razones son las siguientes:

- Disminución de la productividad del trabajo en el campo
- Mejores oportunidades de trabajo y bien remunerados en las zonas urbanas
- Mejores servicios tanto de educación como de salud en zonas urbanas
- Mayor disponibilidad de bienes y servicios en zonas urbanas

Al ir en aumento el número de habitantes en una localidad y el número de personas que deciden vivir en zonas urbanas se ha hecho necesario la construcción de más infraestructura en dichas áreas; lo cual ha traído una gran cantidad de beneficios económicos y sociales en las localidades.

Anteriormente se le ha dado más importancia a cubrir esos aspectos (económicos y sociales) a la hora de planear y construir nuevas obras en las ciudades, pero se ha descuidado otro aspecto que en la actualidad presenta una importancia mayor que la que se le percibía antes, ese aspecto es el ambiental.

Durante la última década, las áreas urbanas han pasado a ocupar un papel central en el debate internacional sobre cambio climático. La nueva geografía de la urbanización contemporánea identifica las áreas urbanas como un elemento clave de los procesos de globalización y de transición hacia nuevos esquemas de ocupación del territorio a nivel mundial (Seto, Sánchez-Rodríguez y Fragkias, 2010). Más del 50 % de la

población total del planeta vive ya en áreas urbanas, y se estima que ese porcentaje será del 75% antes de 2050 (ONU- Hábitat, 2011). Las áreas urbanas son también un elemento central de la economía global en cuanto centros vitales de producción y consumo, y a nivel nacional como componentes centrales de la economía nacional (Seto, Sánchez-Rodríguez y Fragkias, 2010). (Sánchez, 2013)

En años anteriores no había escasez de recursos naturales, ni había tanta contaminación en el ambiente como lo hay hoy en día, no se tenía previsto o no se concebía la idea que todos esos procesos de urbanización podrían traer consigo una gran cantidad de impactos negativos en el ambiente.

Como ya se mencionó, la urbanización ha traído una gran cantidad de beneficios a las ciudades, sin embargo, en muchas ocasiones no se le dio su debida importancia a hacer un estudio sobre el impacto ambiental que las obras pudieran generar en el ambiente, ni cómo poder disminuirlo.

Algunos de los principales impactos negativos en el ambiente que se tiene en varias ciudades son los siguientes:

- Emisiones de GEI en al ambiente
- Consumo de recursos no renovables
- Pérdida de biodiversidad
- Niveles altos de ruido ambiental
- Efecto de isla de calor
- Deforestación
- Generación de residuos

Todos esos impactos en el ambiente tienen repercusión directa en la salud de las personas, como pueden ser enfermedades respiratorias, problemas de salud mental, y una menor productividad en las labores que realicen.

Se puede tener la idea de que al hacer modificaciones en los diseños y procesos de construcción para reducir la contaminación que generan, implica costos más altos que generalmente no están dispuestos a pagar. Pero esos gastos extra de inversión, serán recuperados en algunos años, y a cambio estarán consiguiendo reducir considerablemente el daño que le puedan causar al medio ambiente, y también tendrán mejores condiciones de vida al estar en construcciones sostenibles.

Por tal motivo es la importancia que se tiene por parte de los profesionistas relacionados con la construcción, para tratar de reducir de la mejor manera posible todos los efectos dañinos que se puedan presentar en la construcción de alguna obra.

1.3 Cambio climático

1.3.1 Definición

Los científicos definen al cambio climático como “...todo cambio que ocurre en el clima a través del tiempo resultado de la variabilidad natural o de las actividades humanas.” El calentamiento global, por su parte, es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales. (SEMARNAT, 2009)

Las condiciones climáticas siempre se han ido modificando por factores naturales desde que surgió la Tierra, se han hecho una gran cantidad de estudios y recolectando datos sobre los patrones que ha presentado el clima para entenderlo mejor. Para que se produzca el cambio climático depende de diversas variables, algunas de las causas naturales que lo pueden propiciar son las siguientes:

- Movimientos de las placas tectónicas
- Erupciones volcánicas
- Variaciones en la radiación solar
- Variaciones en la órbita de la Tierra

Son varios los factores naturales que pueden influir a provocar el cambio climático y no está en nuestras posibilidades cambiar eso. Pero en los últimos años se ha presentado una aceleración de este cambio climático, y hay evidencias de que en ese lapso de tiempo la intervención humana ha influido considerablemente en las alteraciones del clima.

Desde la revolución industrial, el gran avance de tecnología y todos los procesos de urbanización que se han realizado en el planeta se han generado una gran cantidad de sustancias en la atmósfera que han afectado su composición, produciendo varios cambios negativos en el ambiente; lo que ha conllevado a que se presente con mayor intensidad el cambio climático, con la diferencia de que en estas causas del cambio climático, si está en nuestras manos la posibilidad de reducirlas y mantener en mejores condiciones nuestro planeta.

1.3.2 Evidencias del cambio climático

La relación unidireccional entre el clima y la sociedad comenzó a transformarse rápidamente a partir de la revolución industrial. Las observaciones recientes indican que las emisiones GEI están desplazando muchos indicadores climáticos más allá de

los patrones de variabilidad natural dentro de los que se han desarrollado la economía y la sociedad contemporáneas (Seneviratne y otros, 2012). Estos indicadores incluyen la temperatura media de la superficie del planeta, la elevación del nivel del mar, la temperatura oceánica global, la extensión del hielo marino del Ártico, la acidificación oceánica y los acontecimientos climáticos extremos (Steffen, Crutzen y McNeill, 2007; Rockstrom y otros, 2009). Si no se frenan las emisiones GEI, es probable que muchas tendencias climáticas se aceleren, lo que aumentará el riesgo de que se produzcan variaciones bruscas o irreversibles del clima, con consecuencias importantes para la sociedad (Richardson y otros, 2009). (Sánchez, 2013)

Son varias las evidencias que se tienen sobre la presencia de los efectos del cambio climático en nuestro planeta, lo cual nos va trayendo cada vez más consecuencias negativas.

En un artículo publicado por la página oficial de la OMS [92] el 1° de febrero de 2018, se menciona lo siguiente con respecto al cambio climático:

Durante los últimos 50 años, la actividad humana, en particular el consumo de combustibles fósiles, ha liberado cantidades de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero suficientes para retener más calor en las capas inferiores de la atmósfera y alterar el clima mundial. (OMS, 2018)

En los últimos 130 años el mundo se ha calentado aproximadamente 0,85 °C. Durante los últimos 30 años cada década ha sido más cálida que cualquier década precedente desde 1850. (OMS, 2018)

El nivel del mar está aumentando, los glaciares se están fundiendo y los regímenes de lluvias están cambiando. Los fenómenos meteorológicos extremos son cada vez más intensos y frecuentes. (OMS, 2018)

En México la evidencia más notoria del cambio climático es el aumento de temperatura. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) tiene registros desde el año 1985 hasta la actualidad de las temperaturas máxima, media y mínima en todos los estados del país [124]. Con base en los datos de la temperatura media y máxima se elaboraron las siguientes gráficas:

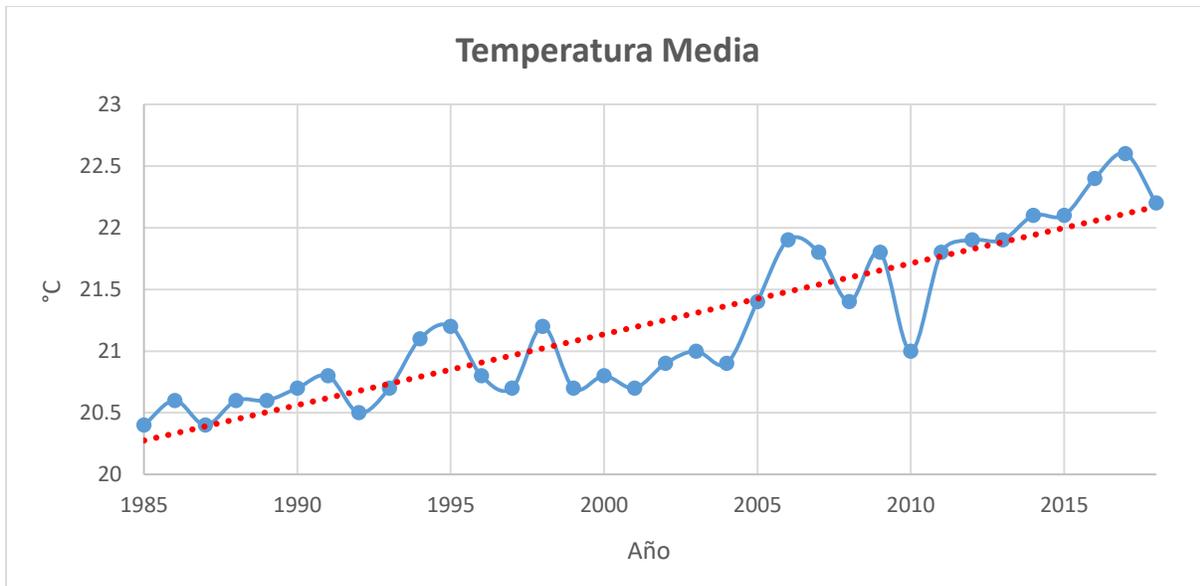


Figura 7.- Promedio de la temperatura media en México 1985-2018. Fuente: Servicio Meteorológico

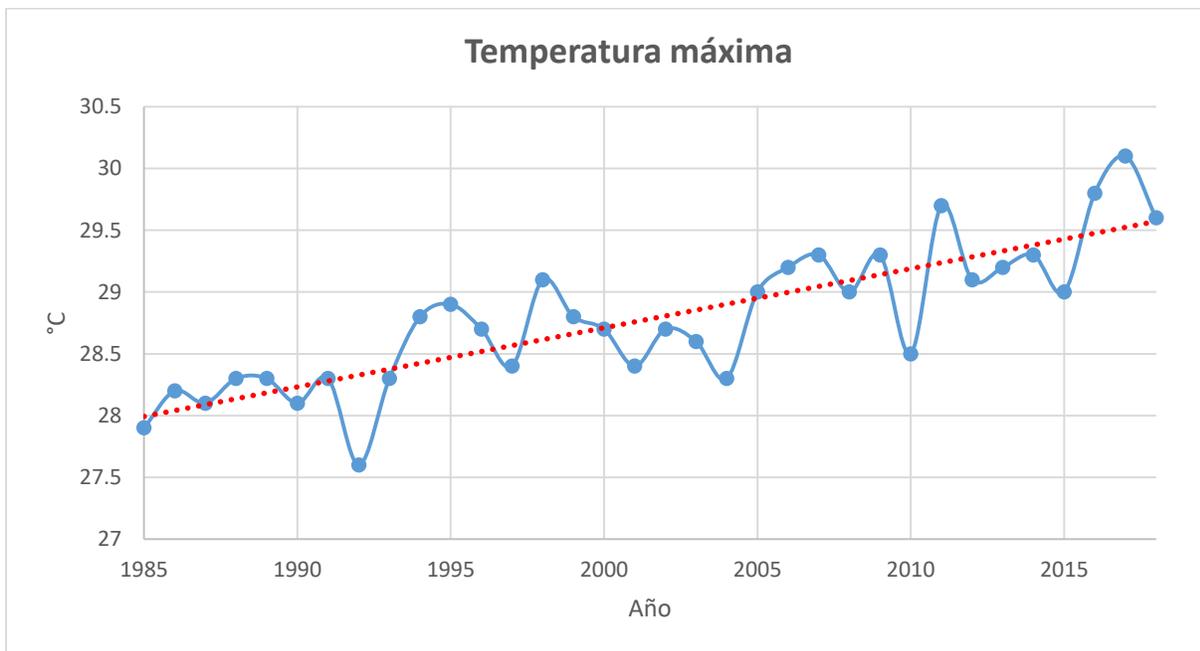


Figura 8.- Promedio de la temperatura máxima en México 1985-2018. Fuente: Servicio Meteorológico

En las Figuras 7 y 8 la línea azul presenta el comportamiento de la temperatura con base en los registros del Servicio Meteorológico Nacional, mientras que la línea roja representa una línea de tendencia lineal de dicha gráfica.

Como se puede observar, aunque no se presenta un aumento constante cada año, el promedio de temperatura se ha ido elevando, y continuará aumentando sino se toman las medidas adecuadas para remediarlo.

Capítulo 2.- Construcción sostenible

2.1 Desarrollo sostenible

2.1.1 Generalidades

El primer término oficial utilizado en referencia al concepto de sostenibilidad que se conoce actualmente fue el de “desarrollo sostenible”. Al respecto del tema se menciona lo siguiente:

El concepto de “desarrollo sostenible” tiene su origen en la Organización de las Naciones Unidas (ONU) cuando se publicó el informe Brundtland a cargo de la Comisión Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1983.

En dicho informe se señala que el concepto de desarrollo sostenible se define de la siguiente manera: El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades. (Ramírez, 2004)

Esta definición de desarrollo sostenible es la más conocida que existe, y a partir de ella se han creado otros términos en distintas áreas de estudio, pero siempre con la misma esencia de la definición original.

Diferencia entre sustentable y sostenible.

Actualmente se usa el término desarrollo sustentable y desarrollo sostenible como sinónimos, pero el significado de cada palabra (sustentable y sostenible) es diferente, a continuación se muestra la diferencia entre cada uno de los términos para determinar cuál es término correcto a utilizar.

La RAE define la palabra “sustentable” como: adj. Que se puede sustentar o defender con razones

Para el término “sostenible” la RAE tiene 2 significados, los cuales se indican a continuación:

1. adj. Que se puede sostener.
2. adj. Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente.

La SEMARNAT publicó un artículo en su página de internet oficial el día 24 de julio de 2018 [119]. En dicho artículo se menciona lo siguiente:

Según las raíces de las palabras, sustentable y sostenible no significan lo mismo, sin embargo, durante mucho tiempo hemos empleado ambas como sinónimos. Lo sustentable se aplica a la argumentación para explicar razones o defender, en tanto que lo sostenible es lo que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos. (SEMARNAT, 2018)

Esta última característica es propia del desarrollo sostenible, concepto que se aplica desde 1987 cuando el Informe Brundtland, conocido como “Nuestro Futuro Común”, planteó “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades y aspiraciones.” (SEMARNAT, 2018)

Partiendo de lo anterior podemos concluir que para hacer referencia al desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades, el término adecuado a utilizar es el de “sostenible”

2.1.2 Dimensiones del desarrollo sostenible

La sostenibilidad consiste en algo más que el medio ambiente, por esa razón, para su estudio y análisis esta se divide en tres dimensiones o escenarios principales:

- Económico
- Sociocultural
- Ambiental (Estrella y González, 2014)

Dimensión económica

La RAE define la palabra economía como:
Administración eficaz y razonable de los bienes.

...Este es un ideal que se enfoca principalmente en garantizar el bienestar de la población y el crecimiento de la economía, a través de la satisfacción de las necesidades básicas del hombre, la producción de bienes y la prestación de servicios. (Gracia-Rojas, 2015)

La crítica que se ha hecho del análisis económico clásico, es el no considerar como un costo el valor de los recursos y servicios naturales que fueron empleados en el proceso de producción... (Riestra, 2018)

En el escenario económico, todo proceso o actividad económicamente activo debe demostrar su sostenibilidad ecológica, la cual se define como la capacidad de un sistema (o un ecosistema) de mantener su estado en el tiempo, conservando para ello los parámetros de volumen, tasas de cambio y circulación invariables, o haciendo fluctuar dichos parámetros cíclicamente en torno a valores promedio. (Estrella y González, 2014)

En consecuencia, tanto la producción, como el intercambio de bienes y servicios, necesarios para la satisfacción de las necesidades, se deben ajustar en favor del desarrollo sostenible. A su vez, se debe dar cumplimiento a las regulaciones ambientales nacionales e internacionales, deben hacer efectiva la puesta en marcha

de procesos de producción más limpia y eficiente, así como la agregación de valor a las materias primas por la utilización de estos procesos. (Riestra, 2018)

En conclusión, la dimensión económica implica una administración y uso razonable de los bienes, donde se debe incorporar también la consideración del uso y las alteraciones que se puedan generar a los recursos naturales en los procesos de producción, de manera que no se vea afectado su futuro aprovechamiento para las generaciones venideras.

Dimensión social

Las ideologías presentes en este enfoque se centran en crear una actitud responsable en las actividades consumistas y explotadoras de recursos, con el objetivo de asegurar a las generaciones venideras la posibilidad de que satisfagan sus necesidades al igual que sus antepasados. (Gracia-Rojas, 2015).

Con esta dimensión se busca lograr que haya una buena cohesión social y se busquen cumplir objetivos en común; donde también se pueda tener una buena calidad de vida, igualdad social y un manejo adecuado de los recursos naturales.

Se considera que se alcanza la sostenibilidad social cuando los costos y los beneficios son distribuidos de manera adecuada y equitativa tanto entre el total de la población actual (equidad intrageneracional) como entre las generaciones presentes y futuras (equidad intergeneracional). (Estrella y González, 2014)

Dimensión ambiental

Esta dimensión o escenario surge de la premisa que sostiene que el futuro del desarrollo depende de la capacidad que tengan los actores institucionales y los agentes económicos para conocer y manejar, según una perspectiva a largo plazo, los recursos naturales renovables y su medio ambiente. Desde esta perspectiva, es indispensable prestar especial atención a la biodiversidad, principalmente a los recursos naturales indispensables para la vida en la Tierra, como el suelo, el agua y la flora, que son los factores que en un plazo menor determinan la capacidad productiva de determinados espacios. (Estrella y González, 2014)

Los aportes de la naturaleza son esenciales para la producción de bienes y servicios que satisfagan las necesidades de las personas. No es posible planificar el desarrollo, sin los recursos que proporciona el medio natural, ni puede concebirse la vida humana sin el sustento de la naturaleza, de allí la necesidad de la racionalidad en el aprovechamiento y utilización del llamado Capital Natural. (Riestra, 2018)

...En un modelo sostenible, la utilización de los recursos naturales y energéticos se limita a la capacidad que tiene el medio natural para recuperarse, vale decir su regeneración. En los procesos productivos, la generación de residuos se limita igualmente a la capacidad de asimilación del ecosistema. En consecuencia, la

Dimensión Ecológica es fundamental para proteger la base de recursos naturales mirando hacia el futuro y cuidando, los recursos genéticos, los forestales, los pesqueros y los recursos microbiológicos, así como el agua, el suelo y el aire. Estos recursos deben ser usados con racionalidad, a fin de que puedan servir para la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes, sin menoscabo de la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras. (Riestra, 2018)

En conclusión, para lograr un desarrollo sostenible se deben cumplir los 3 aspectos anteriormente mencionados (económico, social y ambiental);

2.1.3 Principios del desarrollo sostenible

El economista Herman Daly formuló 3 principios que se deben de seguir para poder alcanzar un desarrollo sostenible. Esos principios son:

1. Para una fuente de recursos renovable, no consumirla a una velocidad superior a la de su renovación natural.
2. Para una fuente no renovable, no consumirla sin dedicar la parte necesaria de la energía resultante en desarrollar una nueva "fuente" que, agotada la primera, nos permita continuar disfrutando de las mismas prestaciones.
3. Para un residuo, no generar más que aquél que el sumidero correspondiente sea capaz de absorber y hacer inerte de forma natural (Xercavins i Valls, 1996, citado por Alavedra et al., 1997).

2.2 Generalidades de la construcción sostenible

Desde la presentación del informe Brundtland en 1983 donde se dio a conocer el término "desarrollo sostenible" se han incluido nuevos términos basados en ese concepto, uno de ellos es el de "construcción sostenible".

La Construcción sostenible, que debería ser la construcción del futuro, se puede definir como aquélla que, con especial respeto y compromiso con el Medio Ambiente, implica el uso sostenible de la energía. Cabe destacar la importancia del estudio de la aplicación de las energías renovables en la construcción de los edificios, así como una especial atención al impacto ambiental que ocasiona la aplicación de determinados materiales de construcción y la minimización del consumo de energía que implica la utilización de los edificios (Casado, 1996, citado por Alavedra et al., 1997).

Kibert en su libro habla sobre el surgimiento de dicho término, del cual podemos concluir lo siguiente:

El término construcción sostenible aborda cuestiones ecológicas, sociales y ambientales de una construcción en el contexto de su comunidad. En 1994 el Consejo

Internacional de construcción (*Conseil International du Bâtiment*) define el término de construcción sostenible como: Crear y operar construcciones con un ambiente saludable basadas en el uso eficiente de recursos y en un diseño ecológico. (Kibert, 2013)

Edificio sostenible se refiere a la utilización de prácticas y materiales respetuosos del medio ambiente (con ventajas ambientales o ambientalmente preferibles) en la planeación, diseño, ubicación, construcción, operación, y demolición de viviendas. El término se aplica tanto a la renovación y reacondicionamiento de edificios preexistentes como a la construcción de nuevos edificios. (Morillón, 2011)

La Construcción Sostenible se puede definir como aquella que teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales. (Ramírez, s.f.)

Partiendo de estas definiciones se puede concluir que la construcción sostenible es: construir una obra de ingeniería que sea compatible con el ecosistema y que presente un ambiente saludable para sus ocupantes, haciendo un uso eficiente de recursos y disminuyendo el impacto ambiental que pueda generar a lo largo de su ciclo de vida. Y siempre teniendo en cuenta las 3 dimensiones que abarca el desarrollo sostenible (social, económica y ambiental).

2.3 Principios de la construcción sostenible

El *Conseil International du Bâtiment* (*CIB* por sus siglas en francés), actualmente llamado *International Council for Research and Innovation in Building* (Consejo Internacional de Investigación e Innovación en Edificación y Construcción) formuló 7 principios de construcción sostenible que se deben tomar en cuenta en cada una de las fases del proceso de construcción y diseño. Esos principios son:

1. Reducir el consumo de recursos (reducir).
2. Reutilizar recursos (reutilizar).
3. Utilizar recursos reciclables (reciclar).
4. Proteger la naturaleza (naturaleza).
5. Eliminar los tóxicos (tóxicos).
6. Aplicar los costos del ciclo de vida (economía).
7. Centrarse en la calidad (calidad). (Kibert, 2013)

Es importante tener en cuenta estos principios a la hora de determinar las características del proyecto a construir. La aplicación de los principios puede variar entre un proyecto y otro, pero es una guía adecuada que se debe de seguir para determinar las opciones más viables con la finalidad de conseguir la sostenibilidad en una construcción.

2.4 Contaminación en los sistemas actuales de construcción

Desde épocas anteriores se fue desarrollando el actual sistema de planeación y construcción de edificaciones, que es el que la mayoría de profesionistas usan hoy en día, pero en el periodo donde surgió, aún no se presentaba la problemática que actualmente tenemos en cuanto a escasez de recursos naturales y contaminación del medio ambiente; por esta razón surge la necesidad que se tiene de empezar a cambiar esto y darle su debida importancia al contexto ambiental a la hora de planear nuevas construcciones.

El hombre transforma constantemente el medio ambiente para adaptarlo a sus necesidades, la mayoría de esa transformación es debido a la construcción de obras civiles, las cuáles se requieren para que las personas puedan tener un espacio adecuado en dónde vivir y realizar sus actividades de una manera cómoda y segura; derivado de eso, se consigue un avance en el desarrollo social y económico para esa localidad.

El Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) (Comisión de América del norte que colabora en la protección del medio ambiente) menciona lo siguiente sobre los procesos actuales de construcción:

Las prácticas modernas de edificación suelen prestar poca atención a la eficiencia energética o los impactos económicos, ambientales o sociales más amplios en el ambiente edificado. La edificación sostenible se propone acabar con estas prácticas. (Secretariado de la CCA, 2008)

Los impactos ambientales de las edificaciones tienen lugar durante todas sus etapas de vida: desde el diseño hasta la demolición, pasando por la ubicación, construcción, uso y renovación. Las decisiones que en materia de edificación se toman a lo largo de estas etapas de vida afectan también el valor comercial, la salud y productividad de los trabajadores, así como aspectos sociales o de calidad de vida. (Secretariado de la CCA, 2008)

La construcción de un nuevo proyecto implica siempre algún impacto ambiental sobre el ecosistema que habita, donde generalmente esos impactos tienen repercusiones negativas a lo largo de toda la vida útil de las obras; pero ese impacto ambiental no tiene porqué ser siempre así, se debe de tratar que la contaminación que generen las nuevas obras sea mínima (acciones de mitigación), además de que la construcción sea compatible con el ecosistema.

2.4.1 Deficiencias del ambiente interior de edificaciones

Por lo regular se llega a pensar que la contaminación del aire sólo está presente en espacios abiertos, pero muchas de las construcciones donde pasamos la mayor parte de tiempo no cumplen con las normas de calidad de aire.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la población de las ciudades pasa entre el 80 y el 90% de su tiempo en recintos cerrados cuyo ambiente está contaminado en mayor o menor grado. Se estima que los niveles de contaminación pueden llegar a ser de 10 a 100 veces más elevados que las concentraciones exteriores. Estudios actuales ponen en evidencia que en edificios como escuelas, hospitales, oficinas, centros comerciales o residencias de mayores, entre otros, coexisten organismos patógenos (hongos, virus, ácaros), partículas y compuestos volátiles que alteran la calidad del ambiente interior y originan efectos nocivos en la salud de las persona. (Dirección General de salud pública de Madrid, 2018)

En el aire interior se encuentra una mezcla de contaminantes procedentes de diferentes fuentes. La mayor parte de estas fuentes se encuentran en el interior, pero es de destacar el hecho de que el aire exterior que entra en la vivienda, puede introducir contaminantes que no se originan en este ambiente, por lo que dicho aire exterior se encuentra reseñado como una de las fuentes de contaminación en el interior. El ambiente interior en cualquier clase de edificio, incluidas viviendas, es un resultado de la interacción entre el sistema del edificio, las técnicas de construcción, las fuentes de contaminación (materiales de construcción y mobiliario, humedad, procesos y actividades dentro del edificio), los ocupantes del edificio y las fuentes externas. (Unión Europea, 2011)

Una de las principales maneras en que se manifiesta la deficiencia en la calidad del ambiente interior, es debido a que se presenta un fenómeno conocido con el nombre de “síndrome del edificio enfermo”

El término “síndrome del edificio enfermo” hace referencia a edificios en los cuales la mayoría de los ocupantes experimentan efectos agudos en la salud y el confort que parecen estar relacionados con el tiempo que pasan en el edificio, pero que no pueden relacionarse con ninguna enfermedad específica ni puede identificarse ninguna causa. (Unión Europea, 2011)

2.4.1.1 Factores que influyen en el ambiente interior de edificaciones

Rodríguez y Alonzo (2004) mencionan en su obra los principales factores que pueden influir en la presencia del síndrome del edificio enfermo, los cuáles se resumen a continuación:

Factores físicos.- Estos factores afectan principalmente la productividad y comodidad de las personas aunque en algunos casos más graves también pueden generar algunos efectos en su salud, los principales factores son: la iluminación, el ruido, la temperatura, humedad relativa y la ventilación. (Rodríguez y Alonzo, 2004)

Factores químicos.- Algunas sustancias químicas de los materiales de las construcciones o de sus acabados presentes en cantidades elevadas, así como otros compuestos que se forman mientras se utiliza el edificio pueden ser dañinas para la salud del cuerpo humano, algunos de esos compuestos son: Dióxido de carbono, dióxido de azufre, magnesio, éter, plomo, policlorados y algunos compuestos orgánicos volátiles. (Rodríguez y Alonzo, 2004)

Factores biológicos.- Una amplia variedad de microorganismos como hongos (mohos y levaduras), bacterias, virus pueden ser encontrados en el ambiente interior (Pasagui, 2003). Estos contaminantes pueden reproducirse en el agua estancada acumulada en conductos, humectadores y ductos de desagüe, o donde el agua se ha reunido sobre azulejos de techo, alfombra, o material de aislamiento. (Rodríguez y Alonzo, 2004)

Contaminación exterior.- El aire exterior que entra a una edificación puede ser una fuente de contaminación atmosférica del interior, algunas sustancias que pueden generar esta contaminación son el humo producido por los escapes de automóviles, gases de caldera, productos usados en trabajos de construcción y mantenimiento, entre otros. Y cuando no hay una adecuada ventilación en el interior del edificio puede generar problemas para sus ocupantes. (Rodríguez y Alonzo, 2004)

En todas las construcciones se presentan algunos problemas de calidad de ambiente interior debido a los factores ya mencionados, es muy difícil lograr que siempre se esté libre de todas las sustancias dañinas y se encuentre en perfectas condiciones la calidad del ambiente interior; pero es posible tomar ciertas medidas y hacer arreglos en el diseño para lograr que todos los factores ya mencionados, cumplan con los estándares que se dictan sobre la calidad de aire y ambiente interior, para que no presenten problemas en la salud y productividad de sus ocupantes.

2.5 Transición hacia la construcción sostenible

La industria de la construcción es uno de los sectores que más contribuyen al desarrollo social y económico de un país; pero también son uno de los sectores que tienen incidencia en generar impactos negativos en el ambiente. En esta época que se comienzan a resentir más los problemas por el cambio climático es importante comenzar a revertir eso. Basándose en las investigaciones que se han realizado y en las nuevas tecnologías que se han desarrollado es necesario empezar a generar el cambio en los procesos de planeación y diseño encaminado a lograr un desarrollo sostenible.

El entorno de construcción, incluidos los edificios y sistemas de transporte, es responsable de más de dos tercios de todas las emisiones de gases de efecto invernadero. Las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de numerosos componentes del entorno construido, incluidos los sistemas de edificios y el uso de la energía, el transporte, el uso y el tratamiento del agua, el cambio de la cubierta terrestre, los materiales y la construcción. Al mejorar la eficiencia de los edificios y las

comunidades, podemos reducir considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero. (USGBC, s.f.)

En lo conceptual se trata de entender que estas actividades, que contribuyen en la actualidad a resolver nuestros problemas urgentes, deben ser examinadas con respecto a su impacto ambiental y en el aspecto social, económico y técnico, en la búsqueda de no comprometer la capacidad de las generaciones futuras para resolver sus propios problemas, es decir, con el objetivo de lograr una arquitectura y construcción sostenibles. Debemos enfocar nuestros esfuerzos para que en nuestra sociedad ocurra la transición hacia el desarrollo sostenible. (Acosta, 2009)

La industria de la construcción siendo uno de los sectores que tiene una participación considerable en la emisión de contaminantes en el medio ambiente, también tiene la posibilidad de reducir notablemente esos contaminantes. Tomando en cuenta los principios de la construcción sostenible (formulados por Consejo Internacional de Investigación e Innovación en Edificación y Construcción) y haciendo modificaciones pertinentes en los procesos de planeación y diseño es posible conseguir una reducción del impacto ambiental que las estructuras generan y a su vez conseguir un ambiente interior más saludable para sus ocupantes.

2.6 Aspectos a considerar para lograr que los edificios sean sostenibles

Como ya se mencionó anteriormente la mayoría de los actuales procesos de construcción son insostenibles, y es necesario empezar a hacer las modificaciones necesarias para cambiar eso.

Para hacer un análisis adecuado y determinar todos los cambios necesarios a realizar en el diseño y la planeación, primero es importante conocer de qué aspectos nos vamos a guiar para hacer las modificaciones necesarias y poder conseguir que la construcción sea sostenible.

El Consejo Internacional de Investigación e Innovación en Edificación y Construcción elaboró un marco de referencia para la construcción sostenible, el cual se presenta en la siguiente imagen.

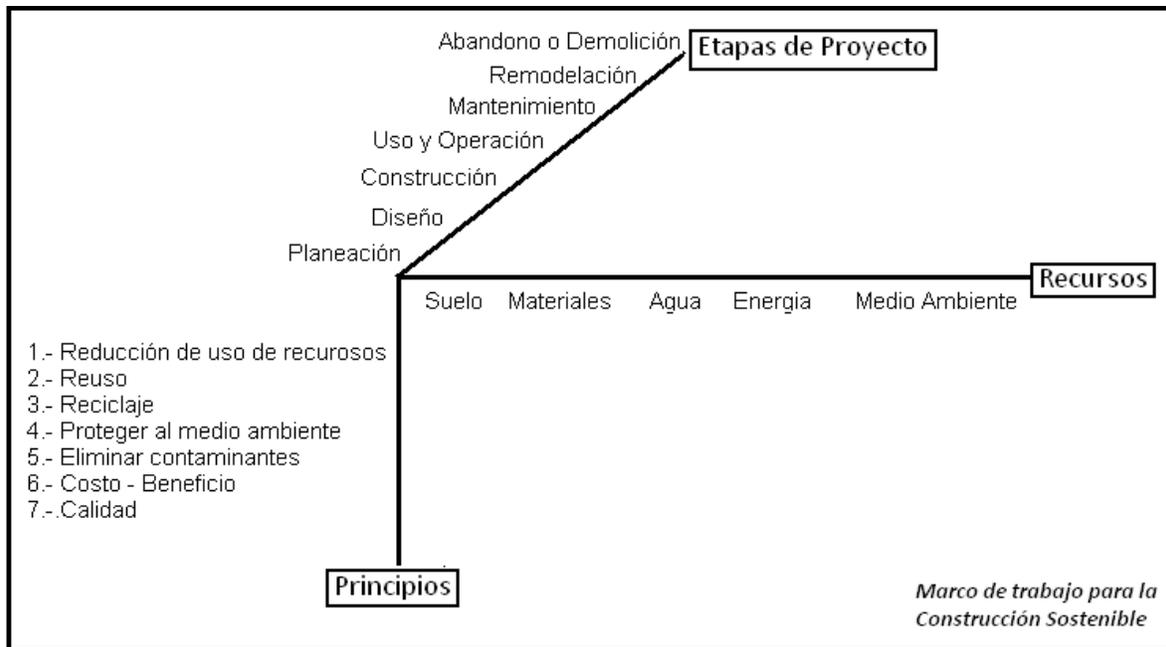


Figura 9.- Marco de referencia para la construcción sostenible. Adaptado de Kibert, Charles. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery. 2a Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2008. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2509/TESIS.pdf?sequence=1>

En la Figura 9 se muestran los principales aspectos a considerar en una construcción para hacerla sostenible, dichos aspectos se agruparon en 3 sectores, los cuales son: los principios de la construcción sostenible, las etapas del ciclo de vida de una construcción, y los principales recursos a tomar en cuenta.

Al hacer un análisis partiendo de cada etapa del ciclo de vida de la construcción, y en cada una aplicar los 7 principios de la construcción sostenible considerando también los recursos que tienen participación en ella, se pueden encontrar las opciones óptimas para hacer sostenible la construcción.

2.7 Beneficios construcción sostenible

Los principales beneficios que se obtienen con las construcciones sostenibles son los siguientes:

Mejores condiciones para los ocupantes.

Una de las características de los edificios sostenibles es que desde la planeación del proyecto se busca tomar las mejores consideraciones para tener un ambiente interior adecuado; esto implica que la calidad de aire interior cumpla con la normativa, y que se presente un adecuado confort térmico, acústico y visual para sus ocupantes.

En cualquier tipo de edificio, la mejora de la calidad del aire interior beneficia a los usuarios de diversas maneras. Principalmente, se reduce la cantidad de

enfermedades e irritaciones respiratorias en los usuarios, baja la cantidad de asma en adultos, y la cantidad de alergias causadas por contaminantes provenientes de los materiales. Tanto en oficinas u otros espacios de trabajo como en escuelas, un diseño y funcionamiento sostenible ayuda a que la gente se enferme menos, y a su vez falte menos días de trabajo o escuela. (Broutin, 2010)

Numerosas investigaciones dan fe de los beneficios para la salud humana y la productividad derivados de características o elementos con ventaja ambiental, por ejemplo: iluminación diurna, mayor ventilación con aire natural y reducción de la humedad, o bien uso de alfombras, pegamentos, pinturas y otros recubrimientos y accesorios de interiores de baja emisividad. (Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008)

Al tener una mejor calidad de ambiente interior en el edificio, con todas las características que eso implica, ayuda a sus ocupantes a preservar su salud y tener una mejor productividad en las labores que realicen.

Ahorro energético

La edificación sostenible aborda el cambio climático y otras emisiones atmosféricas relacionadas con la energía de dos formas básicas: en primer lugar (y lo más importante), reduciendo la energía usada para alumbrar, calentar, enfriar y operar edificios y sus aparatos; segundo, sustituyendo la energía producida con emisiones de carbono por alternativas que no generan gases de efecto invernadero ni otras emisiones atmosféricas. Ahora es común que las edificaciones que incorporan características con ventaja ambiental reduzcan en 30, 40 o incluso 50 por ciento el consumo de energía en comparación con las edificaciones convencionales; incluso, los inmuebles más eficientes alcanzan hoy un desempeño superior en más de 70 por ciento. (Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008)

Al reducir la demanda energéticas del edificio, incluir métodos de generación de energía renovable, tener una instalación eléctrica más eficiente y usar aparatos electrónicos de bajo consumo energético, se presenta una reducción considerable del consumo energético del edificio.

Reducción de consumo de agua

En la edificación sostenible se usan varias técnicas para mejorar la calidad y disponibilidad del agua. Estas técnicas pueden ayudar a reducir el consumo de agua, así como permitir la limpieza *in situ* de aguas residuales y su reutilización, y el filtrado *in situ* de agua de lluvia. El manejo del agua representa un costo considerable y un importante tema ambiental para los países. (Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008)

Además de las técnicas ya mencionadas para la reducción de consumo de agua, también en los edificios sostenibles se tiene un mejor control del uso de agua, con contadores de

agua y otros aparatos que facilitan la revisión del consumo de agua en el edificio se puede tener una mejor gestión y buscar oportunidades adicionales de ahorro de agua.

En un edificio sostenible, el uso de agua es reducido, y esto colabora con mantener las fuentes de agua naturales para las próximas generaciones, y a la vez, al consumir menos agua, se generan menos aguas residuales. (Broutin, 2010)

Reducción de residuos

En las edificaciones sostenibles se busca hacer un uso eficiente de los recursos. Teniendo en cuenta los principios del desarrollo sostenible formulados por Herman Daly (mencionados en la sección 2.1.3), y haciendo una adecuada planeación, se logra una reducción de residuos procedentes de los procesos constructivos.

La reducción de desechos mediante un mejor diseño de productos, reciclaje y reutilización de materiales tendrá como resultado enormes reducciones en el uso de materias primas, en los impactos ambientales asociados y en el costo para el sector privado y los gobiernos locales de eliminar estos materiales... La reducción de residuos de la construcción y la creación de componentes de edificación reutilizables y reciclables son, pues, beneficios fundamentales que habrán de derivarse de un mayor énfasis en la edificación sostenible. (Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008)

Compatibilidad con el ecosistema

Uno de los fines principales de la construcción sostenible es la preservación del medio ambiente. El proyecto debe ser compatible con el ecosistema donde se construirá, eso se logra tomando en cuenta las características de la región, considerando una adecuada selección de materiales de construcción basándose en los principios del desarrollo sostenible, además debe tener un impacto positivo para la sociedad.

La edificación sostenible es un componente fundamental para formar comunidades saludables, vibrantes y económicamente prósperas. Comunidades destacadas en todo el mundo reconocen que la gente quiere vivir en lugares con un fuerte sentido comunitario, viviendas agradables y cómodas, calles en las que se pueda caminar, abundantes espacios verdes y cercanía a medios de transporte, tiendas y trabajo. (Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008)

Menor generación de contaminantes

Durante todo el proceso de diseño, planeación y construcción de un edificio sostenible se tienen en cuenta todos los impactos ambientales que se puedan generar; las decisiones que se toman para definir las características del diseño, los materiales y equipos a utilizar y los procesos de construcción, se analizan considerando la cantidad de contaminantes que se puedan generar, y posteriormente determinando cuáles son las mejores opciones que cumplan con los alcances de la obra y generen la menor cantidad posible de sustancias contaminantes.

Capítulo 3.- Certificaciones de edificios sostenibles

3.1 Definición

Partiendo de las definiciones de la RAE de la palabra “sistema” y la palabra “certificación” se puede concluir que los sistemas de certificación de edificios sostenibles son: un procedimiento de evaluación llevado a cabo por una organización, donde se tiene la función de comprobar que el edificio en estudio cumple con los requerimientos necesarios para ser catalogado como “sostenible”, basados en los principios ya establecidos de la misma organización.

3.2 Características de sistemas de certificación

Hay diversos sistemas de certificación, y entre uno y otro pueden llegar a variar los procesos de certificación, o algunos criterios al realizar el estudio; pero todos se basan de los mismos principios de la construcción sostenible.

Al surgir la necesidad de calificar los edificios en términos de sostenibilidad, aparecen los sistemas de certificación de edificios en diversas partes del mundo. La mayoría califican el desempeño de los sistemas del edificio en términos de eficiencia energética, uso de agua, localización, materiales utilizados y la calidad del aire interior. (Rocha, 2011)

Estos sistemas de certificación tienen ciertos requisitos que se deben cumplir para poder lograr la certificación de “construcción sostenible”, además de que cuentan con métodos para calificar si se cumplen o no con los mismos. Por eso es importante identificar todos los requisitos que se piden para poder hacer un análisis adecuado y determinar la manera óptima en que se pueden cumplir.

3.3 Tipos de certificaciones

Algunos de los sistemas de certificación internacionales de edificios sostenibles más conocidos se muestran en el siguiente listado:

- LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) – Estados Unidos
- BREAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*) – Reino Unido
- *Living Building Challenge* – Estados Unidos
- DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges*) – Alemania
- HQE (*Haute Qualité Environnementale*) – Francia

- CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*)
– Japón

A continuación, se hace una descripción general de las características de los sistemas de certificación:

3.3.1 LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)

El siguiente resumen del sistema de certificación *LEED* se elaboró con base en la información recolectada de la página oficial del *U.S. Green Building Council* [148] y la página del *Spain Green Building Council* [131].

Origen

LEED (sigla de *Leadership in Energy & Environmental Design*) es un sistema de certificación de edificios sostenibles, que fue lanzado al mercado en el año 2000, utilizándose en varios países desde entonces.

Organización a cargo

El Consejo de la Construcción Ecológica de Estados Unidos (*U.S. Green Building Council - USGBC*) es el encargado de gestionar el sistema *LEED*. Esta organización promueve la industria de la construcción de los edificios verdes, incluyendo los materiales medioambientalmente responsables, técnicas de arquitectura sostenible y cumplimiento de las normativas públicas vigentes.

Criterios de certificación

Para evaluar los proyectos que buscan la certificación se basan en la puntuación que obtengan considerando 8 categorías, en cada categoría se tienen créditos que tienen un rango de puntuación que pueden obtener con base en los estándares que solicita cada uno, y al final se hace una suma de los puntos obtenidos en cada una de las categorías para obtener el total y saber en qué nivel de certificación ha llegado. A continuación, se presentan las 8 categorías y la cantidad máxima de puntos que se pueden obtener en cada una.

- Ubicación y Transporte (16 puntos)
- Sitios sostenibles (10 puntos)
- Uso Eficiente del Agua (11 puntos)
- Energía y Atmósfera (33 puntos)

- Materiales y Recursos (13 puntos)
- Calidad Ambiental Interior (16 puntos)
- Innovación en el diseño (6 puntos)
- Prioridad Regional (4 puntos)

Niveles de certificación

- 40 a 49 puntos – LEED Certified (Certificado)
- 50 a 59 puntos – LEED Silver (Plata)
- 60 a 79 puntos – LEED Gold (Oro)
- 80 o más puntos – LEED Platinum (Platino).

Procedimiento de certificación

El sistema para otorgar la certificación *LEED* se fundamenta en realizar el análisis y valoración de los aspectos anteriormente citados por parte de un agente o certificador independiente acreditado por el *USGBC (US Green Building Council)*.

El proceso de certificación para un proyecto sostenible, de manera general, es el siguiente:

- Validación de los Requerimientos Mínimos del Programa. Para garantizar que los inmuebles participantes apliquen a la certificación *LEED* y cumplan con las condiciones mínimas indispensables establecidas por el sistema *LEED*.
- Selección Sistema *LEED*. Cada construcción es distinta, por lo que se debe de especificar en cuál sistema *LEED* es viable registrar el proyecto. Es decir, los requerimientos cambian de acuerdo con el régimen al cual la construcción se somete. Las necesidades y áreas de aprovechamiento de un hospital serán distintas que las de un *retail* o que un área de oficinas.
- Registro del Proyecto. Una vez determinado el sistema *LEED* que regirá la construcción, se procede al registro de esta. Éste se hace a través del portal *LEED Online*. Además, durante este paso, los integrantes del equipo alimentarán este portal con cálculos, información y/o fotos para informar el avance del proyecto.
- Aplicación para Certificación. Cuando el proyecto termine, se recopilan todas las pruebas pendientes y se muestran a la plataforma en línea. Cuando todas las evidencias se han recopilado, el líder de proyecto aplica por una revisión primaria de todo el proyecto.

- Revisión preliminar. Esta revisión tiene como finalidad una retroalimentación por parte del consejo aprobatorio, donde expresarán posibles dudas sobre los créditos aplicados.
- Revisión final. Después de la revisión preliminar, se recaba toda la información aclaratoria para esclarecer las dudas que el consejo aprobatorio pudo haber tenido sobre las estrategias de sostenibilidad aplicadas durante el proyecto.

3.3.2 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology)

El siguiente resumen del sistema de certificación BREEAM se elaboró con base en la información recolectada de su página oficial [18].

Origen

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) es un método de evaluación y certificación de la sostenibilidad de la edificación desarrollado en el Reino Unido y publicado por primera vez en 1990, siendo el más antiguo de todos los sistemas destinados a la certificación de edificios sostenibles.

Organización a cargo

El *Building Research Establishment (BRE)* es la entidad que lo gestiona. Fundada en 1921, fue la primera organización orientada a la investigación en el sector de la edificación en el mundo. Independiente y sin ánimo de lucro, actualmente lleva a cabo la investigación, asesoramiento y pruebas para los sectores de la construcción y el entorno construido en el Reino Unido y participa en la elaboración de normas nacionales e internacionales y códigos de construcción.

Evolución

Presente en el Reino Unido desde 1990, el boom de la demanda de certificación de sostenibilidad a nivel global dio lugar a la aparición en el año 2008 del esquema de certificación *BREEAM International*, aplicable a edificios fuera del Reino Unido. Este esquema permite cierto margen de adaptación a la normativa local de cada país y constituye el mayor factor de diferenciación y éxito de *BREEAM*: ofrece una perspectiva y prestigio mundial, a la vez que es un certificado local.

A finales de 2009, *BREEAM* dio un paso más en su estrategia con la creación de *National Scheme Operator* (Operadores Nacionales), entidades que asumen en exclusiva la

adaptación del certificado *BREEAM* al idioma, normativa y práctica constructiva de un determinado país.

Criterios de certificación

Evalúa impactos en 10 categorías:

- Gestión
- Salud y Bienestar
- Energía
- Transporte
- Agua
- Materiales
- Residuos
- Uso ecológico del suelo
- Contaminación
- Innovación.

Niveles de certificación

La certificación se divide en 5 niveles de acuerdo al puntaje obtenido, los cuáles son:

- Correcto
- Bueno
- Muy Bueno
- Excelente
- Excepcional

Procedimiento de evaluación

- El Asesor *BREEAM* elegido por el cliente lidera un proceso de evaluación en el que todas las partes (promotor, equipo de diseño, contratista...) deben implicarse para alcanzar la mejor puntuación posible en el nivel de sostenibilidad del edificio.
- El método de certificación se basa en la otorgación de puntos según el grado de cumplimiento de los requisitos establecidos en cada una de las 10 categorías evaluadas, y siempre en función de las evidencias aportadas por el Asesor *BREEAM*.
- Se suman los puntos obtenidos en cada categoría, se aplica un factor de ponderación ambiental que tiene en cuenta la importancia relativa de cada área de impacto, y se suman puntos directos en el caso de existir una innovación o un rendimiento ejemplar en un requisito concreto.

3.3.3 Living Building Challenge

El siguiente resumen del sistema de certificación *Living Building Challenge* se elaboró con base en la información recolectada en su página oficial [74].

Origen

El *Living Building Challenge* es un programa internacional de certificación de edificios sostenibles creado en 2006, se caracteriza principalmente porque para lograr esta certificación es en base a un rendimiento real (demostrado durante 12 meses), y no uno proyectado, como lo es en la mayoría de los demás sistemas de certificación.

Organización a cargo

La organización encargada de dicho sistema es el *International Living Future Institute* ubicada en Estados Unidos. Esta organización describe a El *Living Building Challenge* como una filosofía, una herramienta de promoción y un programa de certificación que promueve la medición más avanzada de la sostenibilidad en el entorno construido.

Criterios de certificación

Living Building Challenge comprende siete áreas de rendimiento:

- Sitio
- Agua
- Energía
- Salud y felicidad
- Materiales
- Equidad y belleza.

Cada área de actuación tiene su propia intención y se subdivide en un total de veinte Imperativos, cada uno de los cuales se centra en una esfera específica de influencia.

Niveles de certificación

Hay 3 vías de certificación:

- Certificación de edificios vivos. Requiere todas las áreas de rendimiento (pétalos) y los veinte imperativos.
- Certificación de pétalos. Al menos tres de las siete áreas de actuación (pétalos), uno de los cuales debe ser: Agua pétalo, Energía pétalo, Materiales pétalo; además, cada uno de los cuatro imperativos básicos, 05 Transparente Salud de

materiales, 07 de la Lista Roja, 09 Industria responsable, y se requieren 20 Inspiración + Educación.

- Certificación de energía cero. El cien por ciento de las necesidades energéticas del edificio sobre una base anual neta debe ser abastecido por energía renovable en el sitio. No se permite la combustión.

Procedimiento de evaluación

La certificación se basa en el rendimiento real, en lugar de modelado o anticipado. Por lo tanto, los proyectos deben estar operativos durante al menos 12 meses consecutivos antes de la evaluación. Los tipos de proyectos que pueden certificarse incluyen, entre otros, edificios existentes o nuevos, residenciales unifamiliares, residenciales multifamiliares, edificios institucionales (gobierno, educación, investigación o religiosos), comerciales (oficinas, hotelería, comercio minorista), y edificios médicos o de laboratorio.

3.3.4 DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges)

El siguiente resumen del sistema de certificación *DGNB* se elaboró con base en la información recolectada en su página oficial [46].

Origen

El Consejo de Construcción Sostenible de Alemania (*DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* eV) fue fundado en 2007 por 16 iniciadores de diversas áreas temáticas dentro de los sectores de la construcción y los bienes raíces. El objetivo era promover la construcción sostenible y económicamente eficiente aún más en el futuro.

Organización a cargo

La organización encargada del sistema *DGNB* es la *German Sustainable Building Council* (Asociación Alemana de la Construcción Sostenible).

Criterios de certificación

Al evaluar un edificio, el certificado *DGNB* no solo incluye aspectos ecológicos, económicos y socioculturales. En total, se definieron seis temas, que deben tenerse en cuenta en la planificación y construcción de un edificio sostenible:

- Calidad ecológica
- Calidad económica
- Calidad sociocultural

- Calidad técnica
- La calidad del proceso
- Calidad de la ubicación (no incluida en la calificación general de la calidad del edificio)

Cada área temática contiene criterios especiales que, según el perfil de uso (según el tipo de edificio, el nuevo edificio o el edificio existente), se incluyen en la evaluación general con diferentes ponderaciones.

Niveles de certificación

Dependiendo del cumplimiento de los requisitos definidos, el edificio recibe un premio.

- Bronce (de un grado de cumplimiento total del 35%)
- Plata (de un grado de finalización total del 50%)
- Oro (de un grado de finalización total del 65%)
- Platino (de un total de Grado de finalización global del 80%).

Procedimiento de evaluación

Para el desarrollo del proceso de certificación se contemplan cuatro fases:

- Preparación y registro: donde el cliente escoge a un auditor *DGNB* y éste registra el edificio para el proceso de certificación. Paralelamente el cliente y *DGNB* firman el contrato para la certificación.
- Presentación: El auditor presenta los documentos requeridos en *DGNB*.
- Cumplimiento y pruebas: *DGNB* analiza los documentos enviados por el auditor y éste le envía un informe. Finalmente, el cliente declara su conformidad con el resultado de la evaluación, después de una segunda revisión y el comité de certificación confirma el resultado.
- Resultado y premio: El edificio se premia con una pre-certificación o certificación.

3.3.5 HQE (Haute Qualité Environnementale)

El siguiente resumen del sistema de certificación *HQE* se elaboró con base en la información recolectada en su página oficial [27].

Origen

HQE es la certificación francesa otorgada a la construcción y gestión de edificios, así como a proyectos de planificación urbana. *HQE* promueve las mejores prácticas, la calidad sostenible en los proyectos de construcción y ofrece orientación de expertos durante toda la vida del proyecto.

Organización a cargo

ASSOHQE (Asociación Francesa para la Alta Calidad del Medio Ambiente) es la organización encargada de gestionar el sistema *HQE*.

Cerway es un organismo de certificación y el operador de *HQE* fuera de Francia. *Cerway* brinda apoyo a las partes interesadas de todo el mundo durante toda la duración de su proyecto.

Criterios de certificación

Se estructura en torno a 4 compromisos:

- Calidad de vida
- Respeto al medio ambiente
- Desempeño económico
- Gestión responsable

En base a los cuáles se desarrollan 14 objetivos definidos por el enfoque *HQE* son:

- La armoniosa relación de los edificios con su entorno inmediato
- La elección integrada de procesos y productos de construcción
- Sitios de baja molestia (residuos, ruido, contaminación)
- Gestión energética
- Gestión del agua
- Actividad de gestión de residuos
- Mantenimiento y gestión de mantenimiento
- Confort higrotérmico
- Confort acústico
- Confort visual
- Comodidad olfativa
- Las condiciones sanitarias de los espacios
- La calidad del aire
- La calidad del agua.

Niveles de certificación

- Base
- Bueno
- Muy bueno
- Excelente
- Excepcional

Procedimiento de certificación

- El solicitante emite una solicitud de aplicación con la descripción de los objetivos ambientales que el proyecto tiene previsto alcanzar.
Cerway realiza la verificación de la elegibilidad.
Cerway, el operador correspondiente realiza una oferta con esta la que se inicia el proceso de certificación.
- Auditorías
Las auditorías son procesos de evaluación de terceras partes y su objeto es verificar que se cumplen los criterios de alta calidad medioambiental.
Los resultados de cada auditoría se reflejan en un informe.
- Certificación
Los informes de auditoría se presentan a una comisión dirigida por el operador del sistema.
Después de la revisión de la documentación presentada, la comisión podrá emitir su aprobación y emite un pre-certificado. Esto se puede hacer después de cada fase de auditoría: luego la comisión simplemente actualiza el pre-certificado medida que el proyecto evoluciona desde el inicio, hasta el diseño y finalmente su ejecución
- El certificado final *HQE* se entrega con la aprobación final y auditoría de cierre.

3.4 Sistemas de certificación en México

BOMA (*Building Owners and Managers Association*)

IMEI: Asociación Mexicana del Edificio Inteligente y Sustentable A.C.

El siguiente resumen del BOMA se elaboró con base en la información presentada en su página [123] y la página del IMEI [14].

Origen

La *BOMA International (Building Owners and Managers Association International)* es una de las asociaciones más grandes y con mayor experiencia en el mundo en lo que refiere a la comercialización, operación, mantenimiento y estándares en la industria inmobiliaria. Comenzó en Canadá y actualmente tiene filiales en varias partes del mundo, la filial en México fue implementada por el IMEI.

Se trata de una herramienta de administración para generar mejoras operativas continuas, enfocada en la operación del edificio más que en la inversión inicial. El programa ha sido revisado y actualizado en 2016 por más de 100 profesionales de bienes raíces.

Organización a cargo

La Asociación Mexicana del Edificio Inteligente y Sustentable A.C. (IMEI) es una organización no lucrativa que agrupa a profesionales y empresas vinculados con el concepto del cual toma nombre.

Consciente de la importancia de preservar el medioambiente y conservar los recursos naturales, el IMEI ha orientado sus acciones a la capacitación y difusión de los conceptos de sostenibilidad, ahorro de energía y tecnologías ambientales

Criterios de certificación

Las principales áreas de evaluación son diez:

- Gestión de energía
- Aprovechamiento del agua
- Calidad del aire
- Confort
- Salud y bienestar
- Compras
- Seguridad
- Manejo de basura y desechos
- Ubicación del inmueble
- Compromiso de grupos de interés.

En cada una se considera la demostración, evaluación, operación y mantenimiento e innovación de los sistemas instalados.

Proceso de certificación

Como primer paso, los administradores inscriben su edificio con IMEI-BOMA México, mediante el pago de una tarifa de bajo costo. Con eso pueden acceder a una plataforma en línea, a fin de facilitar el proceso de certificación. A continuación, deben completar un cuestionario de alrededor de 170 preguntas, un proceso que arroja ideas para hacer cambios significativos en los inmuebles y que dura cerca de 3 meses. Una vez concluido, se suben las respuestas al portal para validarlas, el IMEI recibe la información y asigna un verificador externo. Éste realiza una visita al edificio para asegurarse de que las preguntas han sido contestadas correctamente y confirmar el nivel alcanzado (Certificado, Bronce, Plata, Oro o Platino).

La evidencia muestra que *BOMA Best®* impulsa la mejora continua, ya que es una certificación que debe renovarse cada 3 años. Dado que el rendimiento del edificio mejora con el tiempo, la recertificación a menudo captura esas mejoras para un mayor desempeño y asegura que los administradores y propietarios sean recompensados por su trabajo en curso.

Un inmueble que forma parte del programa es operado de manera más eficiente, impulsando el desempeño ambiental, reduciendo los costos y aumentando el valor de los activos. La certificación es una excelente herramienta para maximizar las utilidades, mediante el ahorro de energía, agua y recursos humanos.

En consecuencia, también se incrementa el valor patrimonial de las construcciones. Estudios independientes han demostrado una mayor ocupación en ellos, así como una elevación en las puntuaciones de satisfacción de los inquilinos y las tasas de renovación de los contratos de arrendamiento.

La certificación se complementa con el programa *BOMA Best® Sustainable Workplaces*. Éste está enfocado en atraer la atención de los inquilinos para la implementación de buenas prácticas de sostenibilidad, dado que sus acciones contribuyen directamente al rendimiento de los edificios en los que alquilan un espacio.

Por ejemplo, a través de este programa, los arrendatarios pueden tomar medidas sencillas y eficaces para utilizar su espacio comercial de manera sostenible y alentadora, a fin de aumentar el número de auténticos edificios verdes en su localidad.

3.5 Sistema de certificación más usado en México

De todos los sistemas de certificación anteriormente mencionados el más conocido y que se ha usado con más frecuencia en todo el país es el sistema *LEED*. Por lo cual para todo el proceso de investigación posterior se recurrió al uso de dicho sistema de certificación.

Capítulo 4.- Estrategias y recomendaciones para conseguir que un edificio sea sostenible.

Para poder definir algunas de las estrategias más efectivas a aplicar en el diseño de edificios para hacerlos sostenibles, se va a tomar como modelo de estudio el diseño arquitectónico de un edificio de oficinas ubicado en la ciudad de León en el estado de Guanajuato. Con base en el diseño de dicho edificio se va a determinar cuáles son las mejores modificaciones a realizar para convertirlo en un edificio sostenible.

En esta investigación para determinar qué tan sostenible es el edificio en estudio, se va a basar en los criterios usados por la certificación *LEED* v4 para diseño y construcción de edificios (*Building design and construction, BD + C*, por sus siglas en inglés). Considerando únicamente la implementación de 3 categorías de dicha certificación, las cuáles son: eficiencia en agua, eficiencia energética, y materiales y recursos.

4.1 Modelo de estudio

Para aspirar a lograr la certificación *LEED* primero es necesario cumplir con todos los prerrequisitos de las categorías que los soliciten (Localización y transporte, parcelas sostenibles, eficiencia en agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad y ambiente interior), posterior a ello se va determinando cuáles créditos de cada categoría se tiene posibilidad de cumplir para ir sumando los puntos posibles de cada crédito y determinar a qué tipo de certificación se puede aspirar a llegar.

Como ya se mencionó en capítulos anteriores en este trabajo de investigación sólo se enfoca al estudio en 3 categorías, las cuáles son: eficiencia en agua, energía y atmósfera, y materiales y recursos; por lo cual para el proyecto de estudio de esta investigación se considera que ya se cumplen con los prerrequisitos de las demás categorías.

El propósito del proyecto de estudio que a continuación se presenta es meramente informativo. Para el desarrollo del mismo se ocupó toda la información y datos a los que se tuvieron acceso, los datos faltantes, o las modificaciones en el diseño, se definieron considerando las mejores soluciones para obtener la certificación sin aumentar considerablemente el costo de la obra; sabiéndose que en un proyecto real influyen más factores para la determinación del diseño final del proyecto, como lo pueden ser los requerimientos que establece el dueño del proyecto o el criterio de otros especialistas que colaboran en el proyecto, entre otros.

El diseño y los planos originales del proyecto de estudio se obtuvieron de un enlace de internet [20].

Se revisó la ubicación original del proyecto utilizando la herramienta de Google Maps, en dicha ubicación se podía apreciar una abundante vegetación y muy poco espacio urbanizado. Aunque no se desarrolló el crédito de Localización y transporte; en la medida

que fue posible se realizaron algunas modificaciones para que el proyecto se apegara más a un proyecto que busca obtener la certificación *LEED*. Debido a lo anterior se optó por modificar la ubicación del proyecto, aunque permaneciendo en la misma ciudad de León, Guanajuato.

4.1.1 Descripción general del predio

El predio se encuentra ubicado en la calle Monte Carmelo en la Colonia Arroyo Hondo en León, Guanajuato; entre las calles Vencedor y Boulevard Torres Landa Poniente.

El predio es de forma rectangular y tiene un área total de 2646 m², como se puede apreciar en la figura 10.



Figura 10.- Ubicación del predio. Fuente: Google Maps

Descripción del proyecto

El edificio tendrá un uso de oficinas, será un centro de negocios que cuenta con los siguientes cuartos:

12 oficinas privadas

15 baños

6 salas de juntas

4 salas de espera

3 terrazas
2 cuartos de Archivo con cocineta
2 cuartos de Archivo
1 comedor
1 cocina
1 cuarto de bombeo
1 cuarto de máquinas

Cuenta con un total de 1061 m² de superficie construida y tiene aproximadamente 173.58 m² de áreas verdes.

4.1.2 Descripción constructiva del edificio propuesto

Columnas.

Las columnas serán de acero perfil IPR 310 x 73.

Vigas

Las vigas serán de acero perfil IPR 310 x 67, IPR 250x44.8, IPR 250x38.5, e IPR 150x22.5.

Cimentación

La cimentación será de zapatas aisladas, las zapatas de esquinas serán de 1.2 x 1.2 m., las zapatas laterales de 1.5 x 1.5 m., y las zapatas centrales serán de 1.8 x 1.8 m., todas con una altura de 0.62 m. Los dados de todas las zapatas serán de 0.4 x .04 m con una altura de 0.68 m. Las columnas de acero se unirán a la zapata por medio de una placa de acero y anclaje con varillas de acero corrugado.

Muros perimetrales

Los muros perimetrales del edificio serán paneles prefabricados compuestos de poliestireno expandido y reforzados con postes de lámina galvanizada G-60 calibre 20. Dichos paneles tendrán un acabado final colocándoles la placa de revestimiento especial.

Estos muros perimetrales tendrán un espesor de 17.0 cm. y serán colocados por la parte exterior de vigas y columnas, cubriendo uniformemente toda la envolvente del edificio; esto con el fin de evitar los puentes térmicos que generan las vigas y columnas de acero.

Muros interiores.

Los muros interiores del edificio serán paneles prefabricados compuestos de poliestireno expandido y reforzados con postes de lámina galvanizada G-60 calibre 20. Tendrán un espesor de 12.7 cm.

Ventanas

Las ventanas del edificio serán de vidrio formadas por doble acristalamiento de espesor de 4.0 mm. y 6.0 mm., separados en su interior por una cámara de aire de 12 mm. de espesor.

Para los muros de cristal de la fachada principal se usará el mismo tipo de vidrio, sólo que se le añadirá una película reflectante exterior para disminuir la ganancia solar.

Marcos de ventanas.

El marco de las ventanas será de PVC que cuenta con 6 cámaras de aire, tiene 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho.

Losa de azotea

La losa de azotea será compuesta por paneles para entrepiso aislante que funcionarán como cimbra permanente para soportar el peso de la capa de concreto; dichos paneles son de poliestireno expandido de alta densidad reforzados con canaletas de acero galvanizado calibre 22, y tendrán un espesor de 20.0 cm.; a su vez la capa de concreto que se verterá encima será de 5 cm. de espesor.

Piso interior.

El piso interior del edificio será piso laminado de 8.0 mm. de espesor; el cuál se colocará sobre un firme de concreto de 10.0 cm. de espesor.

Edificio de comparación

Para determinar las características del edificio de comparación se basó en lo que indica la Norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1, Apéndice G.

4.1.3 Descripción constructiva del edificio de comparación

Columnas.

Las columnas serán de acero perfil IPR 310 x 73.

Vigas

Las vigas serán de acero perfil IPR 310 x 67, IPR 250x44.8, IPR 250x38.5, y IPR 150x22.5.

Cimentación

La cimentación será de zapatas aisladas, las zapatas de esquinas serán de 1.2 x 1.2 m., las zapatas laterales de 1.5 x 1.5 m., y las zapatas centrales serán de 1.8 x 1.8 m., todas con una altura de 0.62 m. Los dados de todas las zapatas serán de 0.4 x .04 m con una altura de 0.68 m. Las columnas de acero se unirán a la zapata por medio de una placa de acero y anclaje con varillas de acero corrugado.

Muros perimetrales e interiores

Los muros perimetrales e interiores del edificio serán del tipo multipanel de 1 pulgada de espesor. Es un panel metálico tipo sándwich en línea continua formado por dos caras de láminas prepintadas y aisladas con espuma de poliuretano expandido de alta densidad.

Ventanas

Las ventanas del edificio serán de vidrio formado por un solo cristal de 6 mm. de espesor con una capa de control solar reflectante.

Para los muros de cristal de la fachada principal se usará el mismo tipo de vidrio.

Marcos de ventanas.

El marco de ventanas será de PVC con una profundidad constructiva de 86 mm.

Losa de azotea

La losa será formada por un sistema de entrepiso metálico de Ternium Losacero 25 calibre 20, con una capa de concreto de 10 cm. de espesor a partir de la cresta, con un peralte total de la losa de 16.35 cm., y al final tendrá un aplanado de yeso de aproximadamente un 1cm. de espesor.

Piso interior.

El piso interior del edificio será de cerámica con un espesor de 9mm.

4.2 Categorías de certificación LEED

4.2.1 Eficiencia en agua

En la certificación *LEED v4 BD + C (Building design and construction)* para la categoría de eficiencia de agua se manejan 3 prerrequisitos y 4 créditos, de los cuales no se pudo desarrollar un crédito, ya que en el edificio no se tiene previsto el uso de torres de refrigeración. A continuación, se presentan los procesos de cálculo que se requieren en cada crédito, y las estrategias seleccionadas para usar en el modelo de estudio.

4.2.1.1 Prerrequisito EA: Reducción del consumo de agua en el exterior

4.2.1.2 Crédito EA: Reducción de consumo de agua en el exterior

Para el cumplimiento de este prerrequisito primero es necesario calcular el consumo de agua del jardín, para lo cual se hará el cálculo con la ayuda de la Herramienta del presupuesto en agua responsable (*Water sense water budget tool*). Dicho programa fue elaborado por *Water Sense*, quien es una asociación voluntaria patrocinada por la Agencia de Protección Ambiental (*EPA*, por sus siglas en inglés), la cual se encarga principalmente de fomentar la eficiencia del uso del agua para conservar los recursos hídricos para las generaciones futuras.

Desarrollo del crédito

La asociación *Water Sense* en su documento "*WaterSense Water Budget Approach*" menciona lo siguiente sobre el programa:

... El presupuesto en agua responsable es un método a aplicar en un sitio específico para calcular la cantidad admisible de agua para ser utilizada por el paisaje y luego diseñar el paisaje para cumplir con este presupuesto. El presupuesto tiene en cuenta el tipo de planta, las necesidades de agua de la planta, el diseño del sistema de riego y el agua aplicada que el paisaje recibe, ya sea por riego o por precipitación... (*Water Sense*, 2014)

En dicha herramienta el resultado final es el porcentaje de reducción de consumo de agua, el cual se obtiene de la comparativa de dos valores, la Línea base (*Baseline*) y la cantidad de agua requerida para el jardín (*Landscape water requeriment*).

Fórmulas de cálculo

La fórmula para obtener la línea base es la siguiente:

$$\text{Baseline (gal/mes)} = E_{To} * A * C_u$$

Donde:

E_{To} .- es la evapotranspiración de referencia de la zona (in/mes)

A.- es el área total del jardín (ft²)

C_u .- es un factor de conversión igual a 0.6233

La cantidad de agua requerida para el jardín (*Landscape water requeriment*) se obtiene con la siguiente fórmula:

$$LWR = (1/DU_{LQ}) * [(E_{To} * KL) - R_a] * A * C_u$$

Donde:

LWR.- es la cantidad de agua requerida para el jardín (gal/mes)

DU_{LQ} .- el porcentaje de uniformidad de distribución de agua en el riego (adimensional)

E_{To} .- es la evapotranspiración de referencia de la zona (in/mes)

KL.- es el coeficiente de tipo de planta en el jardín (adimensional)

R_a .- es el 25% del promedio de la cantidad máxima de lluvia del mes (in/mes)

A.- es el área de jardín que se está analizando (ft²)

C_u .- es un factor de conversión igual a 0.6233

Y el porcentaje de reducción del consumo de agua se obtiene de la siguiente manera:
 $100\% - (LWR / \text{Baseline})$

Determinación de valores

El valor de ETo así como de Ra depende de las condiciones climatológicas de la zona; el área del jardín (que depende de las especificaciones del proyecto) influye en la cantidad total de agua necesaria para riego, sin embargo en la misma medida en que modifica esa cantidad, también modifica la de la Línea base; por lo tanto, aunque afecte directamente el resultado de la cantidad de agua necesaria para riego, no influye en el resultado del porcentaje de reducción del consumo de agua.

Los factores de los que depende la reducción del porcentaje del consumo de agua son los siguientes:

- Coeficiente de tipo de planta en el jardín (KL)
- Porcentaje de uniformidad de distribución de agua en el riego (DU_{LQ})

Los cuáles se describen a continuación:

- Coeficiente de tipo de planta en el jardín (KL)

Este coeficiente depende del tipo de vegetación presente en el jardín y sus características de consumo de agua. En la siguiente tabla elaborada por la EPA se muestran los distintos valores de KL que se pueden presentar.

Tipo de planta o características de superficie	KL		
	Consumo de agua		
	Bajo	Medio	Alto
Árboles	0.2	0.5	0.9
Arbustos	0.2	0.5	0.7
Plantas de tierra	0.2	0.5	0.7
Césped	0.6	0.7	0.8
Piscina, Spa o Fuente de agua	0.8		
Acabados permeable	0		
Zona de jardín sin vegetación	0		

Tabla 2.- Factor de consumo de agua según el tipo de vegetación. Fuente: *Water Sense*

El primer paso para calcular el *LWR* para una hidrozona consiste en modificar *Eto* según el tipo de planta. Dado que *Eto* se basa en los requisitos de agua de un césped con alto consumo de agua, los porcentajes relativos de *Eto* se establecen como requisitos para diferentes categorías de vegetación. Las plantas con bajo consumo de agua, como una cubierta vegetal nativa, requieren un porcentaje mucho más bajo de *Eto* que un árbol con alto consumo de agua, como un árbol frutal. Como se explicó anteriormente, los porcentajes utilizados para modificar *Eto* en la herramienta no son determinaciones exactas de los requisitos de agua de plantaciones específicas, pero son porcentajes relativos basados en una cantidad limitada de datos recopilados sobre el uso del agua de la vegetación en California. Las piscinas, los balnearios y las características ornamentales del agua tienen asignado el mismo coeficiente que el césped de alto consumo de agua para dar cuenta de la gran cantidad de evaporación esperada de estas características. (*Water Sense*, 2014)

Si no está familiarizado con los valores de *KL* para los tipos de plantas propuestos, comuníquese con su extensión cooperativa local, vivero o profesional del paisaje para obtener orientación. (*Water Sense*, 2014)

Si para el tipo de planta que se va a utilizar se tienen estudios y pruebas adecuadas donde se demuestre que tienen un valor de *KL* diferente a los estándares que se muestran en la tabla es posible su uso. Es necesario conocer el nivel de consumo de agua de la vegetación que se va a utilizar para poder tener un cálculo más preciso.

- Porcentaje de uniformidad de distribución de agua en el riego (DU_{LQ})

El cual varía en función del sistema de riego a utilizar, en la tabla 3 se presenta cada tipo de sistema de riego y el valor de DU_{LQ} que le corresponde.

Sistemas de riego	DU_{LQ}
Goteo estándar	0.7
Goteo con presión compensada	0.9
Riego fijo	0.65
Micro riego	0.7
Rotor	0.7

Tabla 3.- Factor de uniformidad de distribución de agua según el sistema de riego. Fuente: *Water Sense*

Los sistemas de riego rara vez riegan las plantas con un 100 por ciento de eficiencia. Por ejemplo, el agua rociada de las boquillas puede verse afectada por cantidades moderadas de viento y la forma del diseño de un paisaje puede no coincidir con el patrón en el que se distribuye el agua. Esto da como resultado que algunas áreas del

paisaje reciban menos agua que el resto del paisaje. Para evitar parches de vegetación marchita, los sistemas de riego están programados para entregar más agua que la cantidad requerida en función únicamente del tipo de vegetación. Esta herramienta modifica el LWR utilizando el valor promedio de uniformidad de distribución más bajo en el trimestre (DU_{LQ}) para cada tipo de equipo de riego. La uniformidad de distribución es la medida de la uniformidad del riego de agua aplicada sobre un área. DU_{LQ} es la relación entre el promedio del 25 por ciento más bajo de las mediciones y la medición promedio general. Esto es más de lo que normalmente se requeriría al programar un sistema de riego, que debe basarse en las condiciones específicas del sitio y minimizarse tanto como sea posible, pero se incluye en la herramienta para promover un diseño de paisaje más conservador. Los datos para el tipo de riego y DU_{LQ} se basan en la Programación de Riego de Paisajes y la Gestión del Agua de la Asociación de Riego (*Irrigation Association's Landscape Irrigation Scheduling and Water Management*) (IA 2005). (*Water Sense*, 2014)

A su vez *Water Sense* también menciona de manera general el tipo de sistema de riego que se recomienda para cada tipo de planta, como se indica a continuación:

...Use los siguientes tipos de riego como se indica:

- Estándar de goteo: árboles, arbustos y cobertura del suelo que usan poca agua.
- Spray fijo: todas las categorías de césped y árboles, arbustos y cobertura del suelo que usan agua media y alta.
- Sin riego: zonas de zonas duras permeables y zonas del jardín no vegetadas. (*Water Sense*, 2014)

Para el proceso de cálculo se necesitan dos datos que dependen de las condiciones climatológicas del sitio donde se va a construir el edificio, los cuáles son: la precipitación y la evapotranspiración del mes de riego máximo.

Se designó el mes de riego máximo para ser el mes en que ET_o excede la precipitación en la mayor cantidad. Este mes fue elegido porque identifica el mes durante el cual el paisaje requerirá el riego más suplementario. Para lugares donde la precipitación siempre excede ET_o , el mes de riego máximo es el mes con el ET_o más alto. (*Water Sense*, 2014).

Para obtener estos datos es necesario acceder a la base de datos de alguna institución que tenga registros de información de estaciones climatológicas. Aquí en México una de las instituciones que tiene dicha información de manera pública es el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

En la página oficial de Internet del Gobierno de México [62] se menciona lo siguiente sobre las funciones y objetivos del SMN:

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país. El Servicio Meteorológico Nacional, depende de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (Gobierno de México, s.f.)

En la página del SMN [124] se puede consultar la información climatológica nacional, en dichos registros con acceso público aparece información de datos como lo son: temperatura, evaporación y precipitación. En el SMN no se presenta información de la evapotranspiración de referencia (Eto); para calcular dicho valor, se puede usar el método de Penman-Monteith, el cual es uno de los métodos más exactos.

Evapotranspiración de referencia

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *FAO*, por sus siglas en inglés (*Food and Agriculture Organization*) en su libro sobre evapotranspiración de cultivos menciona lo siguiente:

La ETo se puede calcular utilizando datos meteorológicos. Como resultado de una consulta de expertos realizada en mayo de 1990, el método de *FAO* Penman-Monteith ahora se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia. El método de *FAO* Penman-Monteith requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento. (*FAO*, 2006)

Debido a que en el SMN no se presentan algunos datos como la humedad atmosférica, la velocidad del viento o la duración de insolación, no es posible calcular la evapotranspiración de referencia.

Por lo tanto, para el cálculo de la evapotranspiración de referencia de este modelo de estudio se recurrió al uso del programa CROPWAT 8.0 y CLIMWAT 2.0 para CROPWAT.

CLIMWAT es una base de datos climática que se utiliza en combinación con el programa informático CROPWAT, y permite el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos, el suministro de riego y la programación del riego para varios cultivos para una variedad de estaciones climatológicas en todo el mundo. (*FAO*, s.f.)

CLIMWAT 2.0 para CROPWAT es una publicación conjunta de la Unidad de Gestión del Desarrollo del Agua (*Water Development and Management Unit*), y el Cambio Climático y Bioenergía (*Climate Change and Bioenergy Unit*) de la *FAO*. (*FAO*, s.f.)

CROPWAT es una herramienta de apoyo a la decisión desarrollada por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la *FAO*. (*FAO*, s.f.)

CROPWAT 8.0 para Windows es un programa informático para el cálculo de los requisitos de agua de los cultivos y los requisitos de riego en función de los datos del

suelo, el clima y los cultivos. Además, el programa permite el desarrollo de cronogramas de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de suministro de agua para diferentes patrones de cultivo. CROPWAT 8.0 también se puede utilizar para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y para estimar el rendimiento de los cultivos en condiciones de riego y de secano. (FAO, s.f.)

En el programa CLIMWAT 2.0 para CROPWAT aparecen todas las estaciones meteorológicas de las que se tienen registro. En dicho programa se cuenta con un total de 55 estaciones, a diferencia del SMN que cuenta con alrededor de 5500 estaciones climatológicas. Debido a ello se debe seleccionar la estación meteorológica más cercana al lugar de construcción del edificio; aunque la estación esté a una distancia más retirada en comparación con las distancias que se encuentran entre estaciones en el SMN, se recurrió a ella debido a que presenta directamente el dato de evapotranspiración de referencia.

Del programa de CROPWAT se obtuvo la siguiente tabla que muestra los valores promedios de la Evapotranspiración de referencia (Eto) en mm/día, en una estación meteorológica ubicada en León.

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January	7.1	23.6	61	86	4.8	12.5	2.43
February	8.5	25.6	55	112	5.7	15.0	3.19
March	10.5	28.0	49	112	5.1	16.0	3.74
April	12.8	30.3	47	112	4.4	16.1	4.13
May	14.7	31.4	49	130	4.7	17.0	4.57
June	15.3	29.6	58	156	4.2	16.2	4.40
July	14.5	27.8	62	147	4.3	16.2	4.07
August	14.4	27.8	64	138	4.7	16.6	3.98
September	14.1	27.0	66	173	4.2	15.0	3.77
October	11.7	26.8	62	156	5.1	14.8	3.59
November	9.3	25.7	60	112	5.4	13.4	2.94
December	7.7	23.9	62	86	4.6	11.6	2.37
Average	11.7	27.3	58	127	4.8	15.0	3.60

Figura 11.- Datos climatológicos de la estación meteorológica en León, Guanajuato, obtenidos con el programa CROPWAT 8.0. Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de los datos anteriores se convirtió la evapotranspiración de referencia a las unidades de mm/mes.

Mes	Eto (mm/mes)
Enero	75.33

Febrero	89.32
Marzo	115.94
Abril	123.90
Mayo	141.67
Junio	132.00
Julio	126.17
Agosto	119.40
Septiembre	116.87
Octubre	111.29
Noviembre	88.20
Diciembre	73.47

Tabla 4.- Evapotranspiración de referencia por mes. Fuente: elaboración propia.

Precipitación

Para el dato de precipitación se recurrió a los registros del Servicio Meteorológico Nacional. A continuación, se presentan los datos de la estación meteorológica seleccionada

ESTACIÓN:	11095
NOMBRE:	LEON (DGE)
ESTADO:	GUANAJUATO
MUNICIPIO:	LEON
LATITUD (°):	21.1361
LONGITUD (°):	-101.6989
ALTURA (msn):	1,828
SITUACIÓN:	OPERANDO
DATOS DESDE:	1 de agosto de 1946
HASTA:	31 de diciembre de 2017

Figura 12.- Datos de la estación meteorológica más cercana al edificio. (2017) Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

De la estación meteorológica mostrada en la figura 12 se tomaron los datos del promedio de la lluvia media por mes de todos los años que se tienen registrados, quedando como valores de diseño los siguientes:

Mes	LL (mm/mes)
Enero	12.427
Febrero	8.6014
Marzo	6.6188

Abril	9.3304
Mayo	27.895
Junio	110.63
Julio	161.72
Agosto	155.03
Septiembre	111.84
Octubre	38.57
Noviembre	10.241
Diciembre	8.9385
Total	661.84

Tabla 5.- Promedio de la lluvia media mensual de todos los años de registro de la estación meteorológica. Fuente: elaboración propia.

Con base en los datos de precipitación y evapotranspiración se determinó que el mes de abril es el mes máximo de riego, debido a que es el mes en donde la diferencia entre evapotranspiración y precipitación es mayor.

Plantas

Las plantas que se consideraron para el jardín del edificio se seleccionaron con base en catálogos de plantas silvestres del municipio de León, los catálogos se consultaron en los siguientes documentos:

Plantas Silvestres en el Paisaje Urbano del Municipio de León, Gto [135].

Paleta vegetal [34].

Para la selección de las plantas se buscaron las que se acoplaran a las condiciones del proyecto y que no tuvieran alto consumo de agua. Las plantas que se seleccionaron se muestran en el siguiente listado.

Arbustos:

Salvia Mexicana (*S. polystachya*)

Malva (*Allowissadula sessei*, *Kearnemalvastrum lacteum*)

San Nicolas (*Chrysactinia mexicana*)

Plantas cubresuelo:

Garañona (*Calyptocarpus vialis*)

Árboles:

Bricho Retama (*Senna multiglandulosa*)

Para fines de cálculo se le asignó un valor de KL (consumo de agua) a cada tipo de planta con base en las características indicadas en la descripción de los catálogos anteriores.

Para los arbustos se seleccionó el método de riego por goteo, para los árboles y la planta cubresuelo el riego por aspersión.

Resumen de valores a utilizar

Planta	Categoría de vegetación	Área (m ²)	Área (ft ²)	KL (-)	DULQ (-)
Salvia	Arbustos	9.60	103.33	0.2	0.9
San nicolás	Arbustos	27.82	299.45	0.2	0.9
Malva	Arbustos	7.92	85.25	0.2	0.9
Garañona	Cubresuelo	118.84	1279.18	0.5	0.7
Bricho	Árbol	9.40	101.18	0.5	0.7
Total		173.58	1868.39		

Tabla 6.- Especificaciones de las plantas del edificio para el cálculo de consumo de agua exterior. Fuente: elaboración propia.

Los datos de la lámina de precipitación y la evapotranspiración de referencia del mes máximo de riego se convirtieron a las unidades de pulgadas/mes, ya que el programa de Herramienta del presupuesto en agua responsable pide esas unidades para ingresar los datos.

Mes máximo de riego	LL (in/mes)	Eto (in/mes)
Abril	0.3673	4.8780

Tabla 7.- Mes de riego máximo. Fuente: elaboración propia.

Cálculo de consumo de agua exterior

Los datos anteriores se ingresaron en el programa Herramienta del presupuesto en agua responsable como se muestra a continuación:

To calculate the Baseline and LWA for a site, enter the designed landscaped area and average monthly reference evapotranspiration for the site's peak watering month. (Enter data in white cells only.)

STEP 1A - ENTER THE LANDSCAPED AREA (A)

1,868 Area of the designed landscape (square feet)

STEP 1B - ENTER THE AVERAGE MONTHLY REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION (ET_o)

4.87 Average monthly reference ET (inches/month) for the site's peak watering month

Obtain from Water Budget Data Finder at www.epa.gov/watersense/nhspeccs/wb_data_finder.html

OUTPUT - BASELINE FOR THE SITE

5,672 Monthly baseline (gallons/month) based on the site's peak watering month

Figura 13.- Ingreso de datos en la hoja de cálculo “*Water sense water budget tool*”. Fuente: elaboración propia

To calculate the LWR for the site, enter the information requested below for the site's peak watering month. (Enter data in white cells only.)

STEP 2A - ENTER THE AVERAGE MONTHLY RAINFALL (R) AT THE SITE FOR THE PEAK WATERING MONTH IDENTIFIED IN PART 1

0.367 Average monthly rainfall (inches/month) for the site's peak watering month

Obtain from Water Budget Data Finder at www.epa.gov/watersense/nhspeccs/wb_data_finder.html

STEP 2B - COMPLETE TABLE 1 BELOW (enter data in white cells only)

Enter the area of the hydrozone (square feet). The total area must equal the landscaped area entered in Step 1A.

Choose the plant type from the dropdown list (source data is displayed in Table 2).

Choose the irrigation type from the dropdown list (source data is displayed in Table 3; guidance is displayed in Table 4 and Table 5).

Figura 14.- Ingreso de datos en la hoja de cálculo “*Water sense water budget tool*”. Fuente: elaboración propia

Table 1. Landscape Water Requirement

Zone	Hydrozone/Landscape Feature Area (sq. ft.)	Plant Type or Landscape Feature	Landscape Coefficient (K _L)	Irrigation Type	Distribution Uniformity (DU _{LQ})	LWR _H (gal/month)
1	488	Shrubs - Low water requirement	0.2	Drip - Press Comp	90%	298
2	1,279	Groundcover - Medium water requirement	0.5	Micro Spray	70%	2,669
3	101	Trees - Medium water requirement	0.5	Micro Spray	70%	211
4						-
5						-
6						-
7						-
8						-
9						-
10						-
11						-
12						-
13						-
14						-
15						-
Total Area =	1,868	Landscape Water Requirement for the Site (gal/month)				3,179

Figura 15.- Cálculo del requisito de agua exterior en la hoja de cálculo “*Water sense water budget tool*”. Fuente: elaboración propia.

This worksheet determines if the designed landscape meets the water budget.

If the landscape water requirement is LESS than the landscape water allowance, then the water budget criterion is met.
 If the landscape water requirement is GREATER than the landscape water allowance, then the landscape and/or irrigation system needs to be redesigned to use less water.

Your total landscape area in Step 2B is not equal to the total landscape area in Step 1A. Please complete Step 2B.

STEP 3A - REVIEW THE LWA AND LWR FROM PART 1 AND PART 2
 LWA (gallons/month) LWR (gallons/month)

STEP 3B - REVIEW THE TOTAL AREA OF TURFGRASS* IN THE DESIGNED LANDSCAPE FROM STEP 2B
 The designed landscape contains square feet of turfgrass.* This is of the landscaped area.
*This includes the area of any pools, spas, and/or water features, designated by WaterSense to be counted as turfgrass.

OUTPUT - DOES THE DESIGNED LANDSCAPE MEET THE WATER BUDGET?

If YES, then the water budget criterion is met.
 If NO, then the landscape and/or irrigation system needs to be redesigned to use less water.

The designed landscape water requirement is a reduction in water use from the baseline calculated in Part 1.

Figura 16.- Resultados del cálculo de agua exterior en la hoja de cálculo “*Water sense water budget tool*”. Fuente: elaboración propia.

Cómo se indica en los resultados del programa de la figura 16, el porcentaje de reducción de consumo de agua en el jardín es del 44%.

Si existen fuentes alternativas de agua que se usen para abastecer el consumo de agua de jardín también se considera esa cantidad de agua utilizada para el porcentaje total de reducción de consumo de agua en el exterior.

Cómo se muestra más adelante en la sección 4.2.1.4 se instalará un sistema de captación pluvial que servirá para abastecer agua a todos los muebles y accesorios que lo requieran en el edificio. Con lo cual se tiene un porcentaje de reducción final de agua en el exterior de 80.39%.

Cumplimiento del prerrequisito: Si

Puntos posibles: 1-2

Puntos a obtener: 1

4.2.1.3 Prerrequisito EA: Reducción de consumo del agua en el interior

4.2.1.4 Crédito EA: Reducción de consumo de agua en el interior

Desarrollo del crédito

Para determinar el porcentaje de reducción del consumo de agua primero es necesario calcular el consumo de agua por día del edificio, para lo cual es necesario determinar lo siguiente: el número de ocupantes del edificio, el número de usos de cada accesorio que consuma agua, y la cantidad de agua consumida por cada accesorio.

Número de ocupantes del edificio

Si en el proyecto no se indica el número de ocupantes del edificio, para su uso en los cálculos referentes al proceso de certificación LEED se pueden determinar de la siguiente manera:

En el documento *LEED v4 para Diseño y Construcción de edificios del Spain Green Building Council* se presenta la tabla “Números de Ocupación por defecto”, como se indica en el Anexo 1, en la cual se presenta el área del edificio que se considera por cada ocupante y transeúnte, para cada uso distinto de edificio, considerando ese valor y el área total de superficie construida del edificio se puede determinar el número de ocupantes y transeúntes.

Con base en dicha tabla se tiene que para edificios de oficinas en general se consideran 23m² brutos por cada ocupante y 0m² por cada transeúnte. Considerando que la superficie bruta construida del edificio es de 1061m², se tiene que el número de ocupantes a considerar para el diseño es de 47.

Debido a las condiciones del diseño del edificio se tiene contemplada la presencia de transeúntes, por lo cual el método anterior para calcular el número de ocupantes no serviría en este caso de estudio. En consecuencia de lo anterior se van a recurrir a utilizar las densidades de ocupación indicadas en el documento “*Standard ANSI/ASHRAE 62.1-2007*” [10], este cálculo se explica con mayor detalle en la parte de “Cargas térmicas internas debido a personas” de la sección 4.2.2.4 de este documento.

El número de personas consideradas para el diseño del edificio es de: 37 ocupantes, y 59 transeúntes.

Número de usos de accesorios que consumen agua

En el documento Guía de Estudio de *LEED AP Diseño y Construcción de Edificios del USGBC (USGBC LEED AP Building Design + Construction Study Guide)* se presenta la tabla: “Usos de accesorios predeterminados por tipo de ocupación”, como se muestra en el Anexo 1, en la cual se indica con base en el tipo de accesorio, y el tipo de ocupante, la cantidad de usos al día que se tiene para cada accesorio.

En el edificio en estudio se consideran los siguientes accesorios: inodoro, orinal, y lavamanos. Como se indica en la tabla de usos de accesorios predeterminados por tipo de ocupación, los usos al día para estos accesorios son los siguientes:

Tipo de accesorio	Usos/día de ocupantes	Usos/día de visitantes
Inodoro		
*Hombre	1	0.1
*Mujer	3	0.5
Orinal		
*Hombre	2	0.4

Grifo lavatorio; duración de 15 s.	3	0.5
---	---	-----

Tabla 8.- Extracto de la tabla “Usos de accesorios predeterminados por tipo de ocupación” del *USGBC*.
Fuente: elaboración propia

Consumo de agua por accesorio

Para calcular el consumo de agua por día del edificio se van a considerar los valores de línea base que se indican en la tabla “Consumo de agua de línea base para aparatos y accesorios” elaborada por el *Spain Green Building Council* en el documento *LEED v4* para Diseño y Construcción de edificios, como se indica en el Anexo 2.

Considerando los accesorios que se van a usar en el edificio se tiene lo siguiente:

Aparato o accesorio	Línea base (unidades SI)
Sanitarios	6 litros por descarga
Urinarios	3.8 litros por descarga
Grifos de cuartos de baño de servicios públicos	8.3 litros por minuto a 415 Kpa

Tabla 9.- Extracto de la tabla “Consumo de agua de línea base para aparatos y accesorios” elaborada por *SpainGBC*. Fuente: elaboración propia.

Para la cantidad de agua necesaria en la limpieza del edificio se tomó como referencia el dato que se indica en la tesis “Estudio de factibilidad técnico económica de la captación y tratamiento de agua de lluvia en zona urbana” [78]. De la tabla “Escenarios de usos del agua de lluvia según (Belmeziti, 2013)” se tomó el dato de: Dotación para limpieza de suelo = 0.15 L/m²

Cálculo de consumo de agua considerando aparatos de consumo normal

El cálculo del consumo de agua al día de todo el edificio se obtuvo multiplicando el consumo de agua de cada aparato por el número de usos totales al día de todos los ocupantes del edificio

Considerando que un año natural tiene 52.14 semanas, y que en el edificio se va a laborar únicamente de lunes a sábado, el número de días al año que se va a utilizar el edificio es de 313.

Multiplicando el valor de consumo de agua de todo el edificio al día por 313 días en que se usa el edificio, se obtiene la cantidad total de agua que el edificio consume anualmente.

Consumo muebles (línea base)

Aparato	Litros/año
WC	170710.20
Orinal	58994.24
Lavamanos	91251.24
Limpieza	57949.71
Total	378905.39

Tabla 10.- Consumo total de agua interior del edificio por año.
Fuente: elaboración propia.

Cálculo de consumo de agua considerando aparatos de bajo consumo.

Los muebles de bajo consumo de agua que se seleccionaron para la instalación se indican a continuación:

WC

WC de 3.8 Litros por descarga

Mingitorio

Mingitorio seco

Lavamanos

Lavamanos con consumo de 3.7 litros por minuto

Con los nuevos consumos de los muebles ahorradores se hizo el mismo cálculo para determinar el consumo de agua por año como se muestra a continuación

Aparato	Litros/año
WC	121318.80
Orinal	0
Lavamanos	40678.26
Limpieza	57949.71
Total	219946.78

Tabla 11.- Consumo total de muebles de bajo consumo de agua por año. Fuente: elaboración propia

Considerando estos muebles de bajo consumo se tiene un ahorro anual de agua de 41.9%.

Como se indica en la siguiente sección “Fuentes alternativas de agua” se tendrá un sistema de captación de agua pluvial para el edificio; considerando el uso del agua proveniente de lluvia se tendría un ahorro total de 71.22%

Puntos posibles: 1-6

Puntos a obtener: 6

Fuentes alternativas de agua

En el documento *LEED* v4 para diseño y construcción de nuevas construcciones se indica que para los créditos de reducción de consumo interior y reducción de consumo exterior se pueden obtener ahorros adicionales de agua potable por encima del nivel del prerrequisito utilizando fuentes de agua alternativa.

Para este caso de estudio se consideró como fuentes de agua alternativa la obtenida por captación de agua pluvial.

Captación de agua pluvial.

Para hacer los cálculos se basó en el procedimiento y fórmulas de la Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 (EDIFICACIÓN SUSTENTABLE - CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS).

En el cual se indica la siguiente fórmula para calcular el volumen anual promedio de captación (VA):

Fórmula

$$VA = (\bar{p} * A * Ke) / 1000$$

Donde:

VA: Volumen promedio de captación anual, en m³.

\bar{p} : Precipitación promedio anual, en mm.

A: Área de la proyección horizontal de las instalaciones de captación, en m².

Ke: Coeficiente de escurrimiento de acuerdo con el material de las instalaciones de captación, adimensional.

Para determinar el valor de la precipitación promedio anual fue necesario recopilar la información pluviométrica de la zona de por lo menos 10 años anteriores y con base en dichos datos calcular un valor promedio.

El área de proyección horizontal se obtuvo de acuerdo con las medidas especificadas en el proyecto, que en este caso fue igual a: 1013.05m²

Para determinar el coeficiente de escurrimiento, en la misma norma mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013, se tiene una tabla con los diferentes valores de ke dependiendo el tipo de material de construcción, como se indica en el anexo 3. Para este caso de estudio corresponde el valor de ke=0.9.

Para el valor de la precipitación promedio anual, se usa el valor calculado anteriormente, $\bar{p}= 661.84\text{mm}$.

Sustituyendo los valores anteriores queda de la siguiente manera la fórmula:

$$VA = (661.84 \cdot 1013.05 \cdot 0.9) / 1000$$

$$Va = 603.429 \text{ m}^3.$$

Se realizó el cálculo para determinar el consumo de agua de cada mes, y posteriormente se calculó la captación de agua pluvial de cada mes para determinar el ahorro de agua total.

Mes	WC (m ³)	Lavamanos (m ³)	Orinal (m ³)	Limpieza (m ³)	Jardín (m ³)	Demanda total (m ³)
Enero	10.110	3.390	0	4.829	6.933	25.262
Febrero	10.110	3.390	0	4.829	8.578	26.907
Marzo	10.110	3.390	0	4.829	11.400	29.729
Abril	10.110	3.390	0	4.829	12.051	30.380
Mayo	10.110	3.390	0	4.829	12.774	31.103
Junio	10.110	3.390	0	4.829	6.960	25.289
Julio	10.110	3.390	0	4.829	3.384	21.713
Agosto	10.110	3.390	0	4.829	3.087	21.416
Septiembre	10.110	3.390	0	4.829	5.351	23.680
Octubre	10.110	3.390	0	4.829	9.062	27.391
Noviembre	10.110	3.390	0	4.829	8.369	26.698
Diciembre	10.110	3.390	0	4.829	6.947	25.276
Total	121.319	40.678	0	57.950	94.897	314.844

Tabla 12.- Consumo total de agua del edificio propuesto por mes. Fuente: elaboración propia

Se consideró una cisterna de 30m³ de capacidad para almacenar el agua pluvial. A continuación se presenta una tabla con la cantidad de agua demanda por el edificio por mes, y la cantidad de agua de captación pluvial por mes. En el proceso de cálculo cuando la captación supera a la demanda se consideró que se almacena en la cisterna la diferencia del volumen de agua, considerando como máximo los 30 m³ de capacidad de

la cisterna. El cálculo se realizó considerando como inicio el mes de máxima captación que es el de julio.

Mes	Demanda total (m ³)	Captación de agua pluvial (m ³)	Agua suministrada por servicio de agua potable (m ³)
Enero	25.262	11.330	13.931
Febrero	26.907	7.842	19.065
Marzo	29.729	6.035	23.695
Abril	30.380	8.507	21.873
Mayo	31.103	25.433	5.670
Junio	25.289	100.866	3.390
Julio	21.713	147.447	3.390
Agosto	21.416	141.348	3.390
Septiembre	23.680	101.970	3.390
Octubre	27.391	35.166	3.390
Noviembre	26.698	9.337	3.390
Diciembre	25.276	8.150	4.487
Total	314.844	603.431	109.061

Tabla 13.- Comparación de la demanda de agua y la captación de agua pluvial por mes del edificio propuesto. Fuente: elaboración propia

Considerando sólo la reducción del consumo de agua de muebles interiores se tendría un ahorro de 71.22%.

Considerando el consumo de agua total del edificio se tendría un ahorro total de 80.46%

Tratamiento de aguas pluviales

Para el tratamiento del agua pluvial se va a recurrir a usar el filtro Up-Flo.

La empresa Soluciones Hidropluviales en su página de internet [129] menciona lo siguiente sobre el filtro Up-Flo:

El Filtro **Up-Flo®** es la tecnología disponible de alta velocidad más eficiente para la filtración del agua de lluvia, remueve basura, sedimentos, nutrientes, metales e hidrocarburos del flujo del escurrimiento pluvial. Como tecnología única de filtración de lecho fluidizado por capas con flujo hacia arriba, el Filtro de flujo ascendente Up-Flo® provee un alto nivel de tratamiento, una mayor velocidad de filtración, mayor vida del medio filtrante y un ciclo de mantenimiento más espaciado que el de otros sistemas de filtro. (Soluciones Hidropluviales, s.f.)

...El Up-Flo® pulirá el agua de lluvia retirando la carga contaminante que es arrastrada durante la tormenta, removiendo metales, materia orgánica, aceites y nutrientes con un tamaño de partícula menor a 20 micras. (Soluciones Hidropluviales, s.f.)

El agua resultante quedará apta para su uso en sanitarios, mingitorios, torres de enfriamiento para aire acondicionado, así como limpieza de áreas comunes y vehículos. Esta aplicación les permitirá reducir el consumo de la red de Sistema de Agua Potable de la Ciudad. Obteniendo a su vez el Crédito 6.2 – Diseño de tormentas pluviales: control de calidad para la certificación LEED. (Soluciones Hidropluviales, s.f.)

El filtro está compuesto por varios módulos y dependiendo el caudal a tratar va variando el número de módulos a colocar en el filtro, la empresa Soluciones Hidropluviales menciona lo siguiente para determinar el número de módulos:

Se configura de acuerdo al volumen de agua que debe ser tratado, cada módulo tiene una capacidad de 1.6 lps, la configuración estándar es de 6 módulos que puede tratar hasta 9.6 lps, pero esta se puede ampliar a configuraciones de 18 módulos para tratar hasta 28.3 lps. Los módulos alojan en su interior 2 bolsas de medio filtrante cada uno. (Soluciones Hidropluviales, s.f.)

En el edificio se manejará un gasto máximo de 16.45 lps, por lo cual para el filtro Up-Flo se solicitará que trabaje con 12 módulos.

Posterior a su paso por el filtro el agua será almacenada en una cisterna de concreto.

En la cisterna de concreto recibirá un tratamiento de cloración para que esa agua se pueda conservar almacenada por periodos de tiempo más extensos.

Para el tratamiento con cloro se recurrirá al uso de bomba dosificadora de cloro automática con un panel para medición y control de pH y cloro libre.

Utilización de aguas grises

En este caso la única producción de aguas grises se obtiene por el uso de los lavamanos, como ya se calculó anteriormente su cantidad de agua usada al día, se produciría un total de 40.678 m³ de aguas grises al año.

El volumen de producción de aguas grises es pequeño en comparación con la demanda de agua del edificio, además se requería la instalación de otros filtros y sistemas de tratamiento para poder usar las aguas grises. Así mismo, a pesar de que se incluyera la utilización de aguas grises, aun así, sería necesaria la aportación de agua por parte del Sistema de Agua Potable de León; por lo cual se ha decidido no utilizar aguas grises como fuente alternativa de agua.

4.2.1.5 Prerrequisito EA: Medición de agua a nivel de todo el edificio

Para el cumplimiento de este prerrequisito es necesario hacer lo siguiente:

Instalar contadores permanentes de agua que midan el consumo total de agua potable en el edificio y los terrenos asociados. Los datos del contador se deben compilar en resúmenes mensuales y anuales: las lecturas del contador pueden ser manuales o automáticas.

Comprometerse a compartir con USGBC los datos de consumo de agua de todo el edificio resultantes para un periodo de cinco años que comience en la fecha en la que el edificio acepte la certificación LEED o la ocupación habitual.

Este compromiso se debe llevar a efecto durante cinco años o hasta que el edificio cambie de propietario o arrendatario.

4.2.1.6 Crédito EA: medición de agua

Es necesario instalar contadores de agua permanentes para dos o más de los siguientes subsistemas de agua, en función de las necesidades de edificio:

- Riego. Medir los sistemas de agua que suministran al menos al 80% de la superficie ajardinada regada. Calcular el porcentaje de superficie ajardinada regada servida por el contador como el área total de jardines regados con contador dividida por el área ajardinada regada total. Las superficies ajardinadas completamente cubiertas por vegetación autóctona que no requiere un riego periódico se pueden excluir del cálculo.
- Aparatos y accesorios interiores de fontanería. Medir los sistemas de agua que sirven al menos al 80% de los aparatos y accesorios interiores descritos en el Prerrequisito EA Reducción de Consumo de Agua Interior, bien directamente o bien deduciendo todos los demás consumos de agua medidos del consumo de agua total medido en edificio y su parcela.
- Agua recuperada. Medir el agua recuperada, independientemente de su proporción. También se debe medir un sistema de agua recuperada con conexión de agua suplementaria para poder determinar el componente real de agua recuperada.

Desarrollo del crédito

Se instalará un medidor de agua para contabilizar la cantidad de agua proveniente del Sistema de Agua Potable de la ciudad de León.

Se instalarán 4 contadores de agua tipo Woltmann de 2". Se instalarán de la siguiente manera:

- 1 contador para medir la cantidad de agua utilizada para fines de riego,
- 2 contadores para medir la cantidad de agua utilizada para muebles o accesorios que consumen agua,
- 1 contador para medir la cantidad de agua de lluvia captada.

Puntos posibles: 1

Puntos a obtener: 1

4.2.2 Energía y atmósfera.

En la categoría de energía y atmósfera se manejan 4 prerequisites y 7 créditos, de los cuales se pudieron analizar todos. A continuación, se presentan los procesos de cálculo que se requieren en cada crédito, y las estrategias seleccionadas para usar en el modelo de estudio.

4.2.2.1 Prerrequisito EYA: Recepción y verificación básicas

A continuación, se presenta un resumen general del proceso a llevar a cabo para la implementación del prerequisite: Recepción y verificación básicas, y del crédito: Recepción y verificación avanzadas; basándose en la información presentada en los documentos de *LEED v4* para diseño y construcción de edificios, y la Guía de estudio *LEED AP* Diseño y Construcción de edificios del *USGBC*.

Para el cumplimiento de este prerequisite es necesario contratar a una autoridad de “*commissioning*”, la cual debe tener experiencia documentada en el proceso de recepción de al menos dos proyectos de construcción con un alcance de trabajo similar.

Se debe generar un documento que contenga los “requisitos de proyecto del propietario” y otro con las “bases de diseño del equipo”

La autoridad de “*commissioning*” debe realizar lo siguiente:

- Hacer una revisión de los documentos “requisitos de proyecto del propietario” y “bases de diseño del equipo” y con base en ellos desde la parte de diseño se debe desarrollar un plan de gestión de “*commissioning*”.
- A partir de dicho plan, el agente de “*commissioning*” debe verificar la incorporación de los sistemas y demás especificaciones indicadas en los procesos de construcción.
- La autoridad de “*commissioning*” debe desarrollar un manual de los sistemas energéticos; una vez que se hayan instalados todos los sistemas energéticos especificados, se desarrolla un procedimiento de pruebas de desempeño funcional, y posteriormente se llevan a cabo dichas pruebas para garantizar que los sistemas estén funcionando adecuadamente.

- Mantener una bitácora de temas y beneficios a largo del proceso de “commissioning”.
- Desarrollar un informe resumido.

4.2.2.2 Crédito EYA: Recepción y verificación avanzadas

Además de las condiciones del prerrequisito anterior se añaden las siguientes:

La autoridad de “commissioning” debe ser independiente. Una autoridad de “commissioning” independiente es una persona que no sea empleado de una empresa que brinde los servicios de diseño o construcción para el proyecto.

Además de lo indicado en el prerrequisito la autoridad de “commissioning” debe hacer lo siguiente:

- Revisar la documentación remitida por el contratista
- Hacer una revisión del diseño de “commissioning” antes de desarrollar los documentos de construcción y verificar la inclusión de los requisitos de los manuales de los sistemas.
- Verificar los requisitos y la eficacia de formación de ocupantes y operadores del edificio.
- Verificar actualizaciones y entregas de los manuales de los sistemas.
- Después de que el edificio esté en funcionamiento, el agente de “*commissioning*” realiza un recorrido dentro de los 10 meses próximos para revisar su operación.
- Desarrollar un plan de recepción continua

Se adjuntan algunos términos claves de la Guía de Estudio de *LEED AP* Diseño y Construcción de Edificios del *USGBC* para entender mejor este prerrequisito.

Commissioning authority, CxA: La persona designada para organizar, dirigir y revisar la finalización de las actividades del proceso de “*commissioning*”. La *CxA* facilita la comunicación entre el propietario, el diseñador y el contratista para garantizar que los sistemas complejos se instalen y funcionen de acuerdo con los requisitos del proyecto del propietario.

Fundamental commissioning: Un conjunto de las prácticas recomendadas que se usa para garantizar que los requisitos de desempeño de un edificio se hayan identificado de manera temprana en el desarrollo del proyecto y verificar que los sistemas diseñados se hayan instalado según esos requisitos. Estas prácticas incluyen designar una autoridad de “*commissioning*”, documentar los requisitos del proyecto del propietario y la base del

diseño, incorporar los requisitos de “*commissioning*” en los documentos de construcción, establecer un plan de “*commissioning*”, verificar la instalación y el desempeño de los sistemas de edificios específicos y completar un informe de “*commissioning*” resumido.

Improved commissioning: Un conjunto de prácticas recomendadas que van más allá del “*commissioning*” fundamental para garantizar que los sistemas del edificio se desempeñen según lo planeado por el propietario. Estas prácticas incluyen designar una autoridad de “*commissioning*” antes de la fase de documentación de construcción, realizar las revisiones de diseño de “*commissioning*”, revisar los envíos del contratista, desarrollar un manual de sistemas, verificar la capacitación del operador y llevar a cabo una revisión de las operaciones posteriores a la ocupación.

Requisitos del proyecto del propietario: Un documento escrito que detalla las ideas, los conceptos y los criterios que el dueño considera importantes para el éxito del proyecto.

Base de diseño: La base del diseño incluye la información de diseño necesaria para lograr los requisitos del proyecto del propietario, incluidos las descripciones del sistema, los criterios de calidad ambiental interior, las suposiciones de diseño y las referencias para los códigos, los estándares, las normativas y las pautas correspondientes.

Desarrollo del crédito.

Se considera que se pueden cumplir con los requerimientos para la obtención de este crédito.

Puntos posibles: 2-6

Puntos a obtener: 3

4.2.2.3 Prerrequisito EYA: Mínima eficiencia energética

4.2.2.4 Crédito EYA: Mínima eficiencia energética

Para el cumplimiento del prerrequisito es necesario demostrar una mejora de al menos 5% en la clasificación energética propuesta para el edificio en comparación con la clasificación del edificio de línea base. Para calcular la eficiencia energética de dichos edificios se debe basar en lo que dicta la Norma *ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1*, Apéndice G.

Para la obtención del puntaje del crédito se conceden puntos de acuerdo con la Tabla. Puntos para el porcentaje de mejora de la eficiencia energética del documento *LEED v4* para diseño y construcción de edificios.

Desarrollo del crédito

El programa de simulación energética que se utilizó para realizar los cálculos fue el de EnergyPlus versión 9.1.0.

En el documento *Getting Started* de la documentación de EnergyPlus versión 9.1.0 elaborado por el Departamento de Energía de E.U.A. se menciona lo siguiente:

...EnergyPlus es un programa de análisis de energía y simulación de carga térmica. Según la descripción del usuario de un edificio desde la perspectiva de la composición física del edificio, los sistemas mecánicos asociados, etc. EnergyPlus calculará las cargas de calefacción y refrigeración necesarias para mantener los puntos de ajuste de control térmico, las condiciones en todo un sistema HVAC secundario y las cargas de la bobina, y el consumo de energía del equipo primario de la planta, así como muchos otros detalles de simulación que son necesarios para verificar que la simulación esté funcionando como lo haría el edificio real... (Departamento de energía de E.U.A., 2019)

En la página oficial de *EnergyPlus* [142] también menciona la siguiente:

EnergyPlus es un programa basado en consola que lee entradas y escribe salidas en archivos de texto. Se entrega con una serie de utilidades que incluyen IDF-Editor para crear archivos de entrada usando una interfaz simple similar a una hoja de cálculo, EP-Launch para administrar archivos de entrada y salida y realizar simulaciones por lotes, y EP-Compare para comparar gráficamente los resultados de dos o más simulaciones. También hay disponibles varias interfaces gráficas completas para EnergyPlus. DOE realiza la mayor parte de su trabajo con EnergyPlus utilizando el kit de desarrollo de software OpenStudio y el conjunto de aplicaciones. (*EnergyPlus*, s.f.)

Para facilitar la parte del modelado 3D del edificio se recurrió a usar el software de Open Studio. A su vez se usó el software de Sketchup con el complemento de OpenStudio instalado en el mismo.

En la página oficial de *Open Studio* [143] se menciona lo siguiente:

OpenStudio® es una colección de herramientas de software multiplataforma (Windows, Mac y Linux) para soportar el modelado energético de todo el edificio utilizando EnergyPlus y el análisis avanzado de luz diurna utilizando Radiance. OpenStudio es un proyecto de código abierto (LGPL) para facilitar el desarrollo comunitario, la extensión y la adopción del sector privado. OpenStudio incluye interfaces gráficas junto con un Kit de desarrollo de software (SDK). (*Open Studio*, s.f.)

Las aplicaciones gráficas incluyen el complemento OpenStudio SketchUp, la aplicación OpenStudio, ResultsViewer y la herramienta de análisis paramétrico. El complemento OpenStudio SketchUp es una extensión de la popular herramienta de modelado SketchUp 3D de Trimble que permite a los usuarios crear rápidamente la geometría necesaria para EnergyPlus. Además, OpenStudio admite la importación de gbXML e IFC para la creación de geometría. La aplicación OpenStudio es una interfaz gráfica con todas las funciones para los modelos de OpenStudio que incluye sobres, cargas, horarios y HVAC. ResultsViewer permite navegar, trazar y comparar datos de salida de simulación, especialmente series temporales. La herramienta de análisis

paramétrico permite estudiar el impacto de aplicar múltiples combinaciones de medidas de OpenStudio a un modelo base, así como exportar los resultados del análisis para el envío a EDAPT. (*Open Studio*, s.f.)

Resumen de uso de softwares.

En el entorno de Sketchup y con la ayuda del complemento de OpenStudio instalado en el mismo, se creará el modelo 3D del edificio.

En el entorno de OpenStudio se definirán todas las propiedades y características de los materiales del edificio y demás información que sea necesaria para realizar los cálculos.

En este caso de estudio hay ciertos objetos que no se pueden definir, o que se complica más su introducción desde el entorno de OpenStudio, por lo cual, dichos objetos faltantes se definirán directamente desde el entorno de EnergyPlus.

Simulación del edificio de diseño.

Entorno de Sketchup

Desde el entorno de Sketchup y utilizando el complemento de OpenStudio se realizó el modelo 3D del edificio de oficinas como se muestra a continuación:

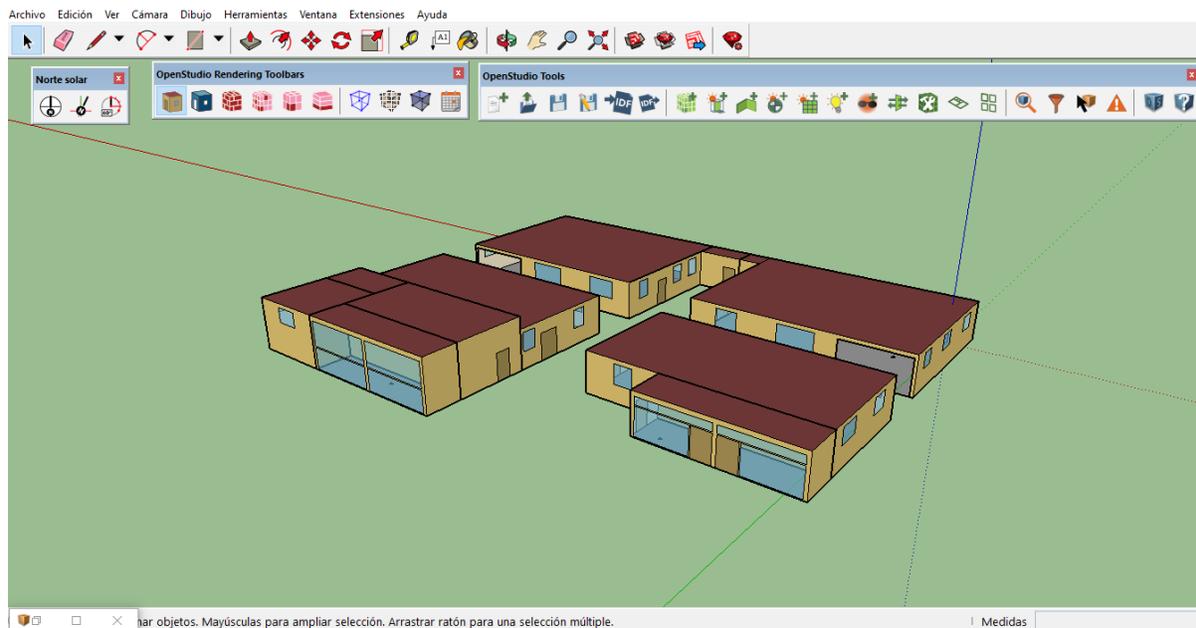


Figura 17.- Modelo 3D del edificio de oficinas en Sketchup con el complemento de OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

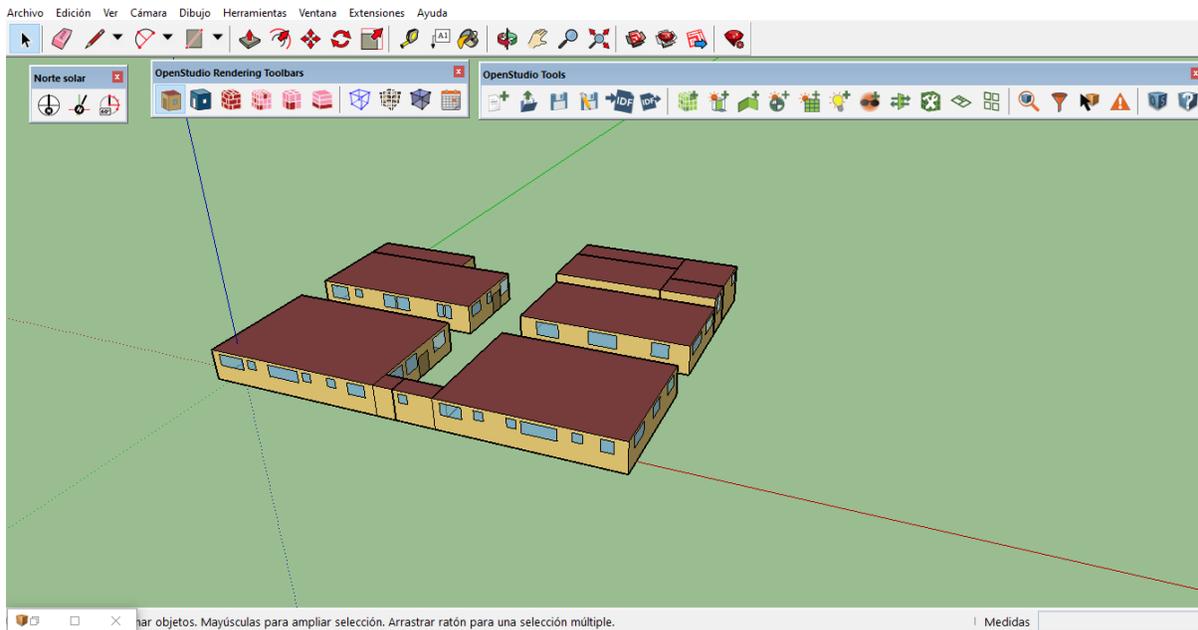


Figura 18.- Modelo 3D del edificio de oficinas en SketchUp con el complemento de OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Zonas térmicas

En el documento *Getting Started* de la documentación de EnergyPlus versión 9.1 se menciona lo siguiente sobre las zonas térmicas:

Una "zona" es un concepto térmico, no geométrico. Una "zona" es un volumen de aire a una temperatura uniforme más todas las superficies de transferencia de calor y almacenamiento de calor que delimitan o se encuentran dentro de ese volumen de aire. EnergyPlus calcula la energía requerida para mantener cada zona a una temperatura específica para cada hora del día. Dado que EnergyPlus realiza un balance de calor de zona, el primer paso para preparar una descripción del edificio es dividir el edificio en zonas. El objetivo de este ejercicio es definir la menor cantidad de zonas posible sin comprometer significativamente la integridad de la simulación. (Departamento de energía de E.U.A, 2019)

En este caso de estudio se dividió el edificio en 6 zonas térmicas como se muestra a continuación.

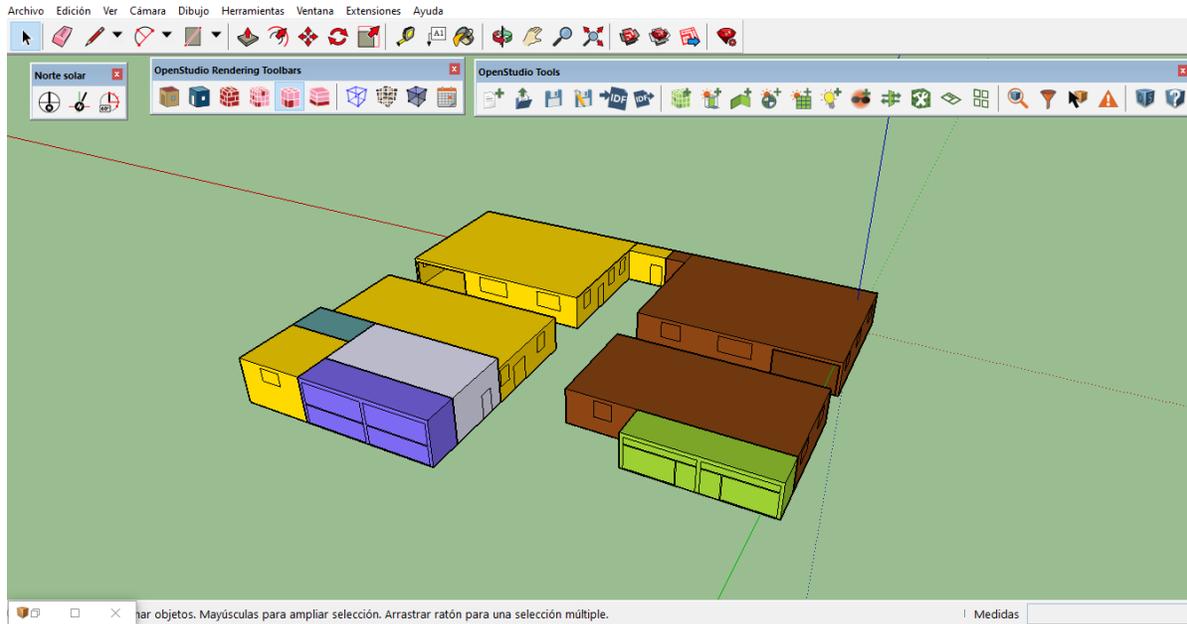


Figura 19.- División de zonas térmicas del modelo 3D del edificio de oficinas en Sketchup con el complemento de Open Studio. Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 19, cada zona térmica está representada por un color diferente. La zona térmica 1 está representada por el color café y se compone por la parte del lado norte del edificio excluyendo la recepción. La zona térmica 2 está representada por el color amarillo y se compone por la parte del lado sur del edificio excluyendo la terraza, el comedor y la cocina. La zona térmica 3 está representada por el color verde y se compone por la recepción principal del edificio. La zona térmica 4 del edificio está representada por el color verde-azul y se compone por la cocina. La zona térmica 5 está representada por el color blanco y se compone por el comedor. La zona térmica 6 está representada por el color azul y se compone de la terraza.

OpenStudio

En el entorno de OpenStudio se definieron las características de todos los materiales presentes en el edificio, y se asignaron dichos materiales a cada superficie del modelo de Sketchup.

Todas las propiedades de los materiales que se necesitaron definir en el entorno de OpenStudio se obtuvieron de las fichas técnicas proporcionadas por los mismos fabricantes. Algunas propiedades no venían en las fichas técnicas, principalmente las de absorción térmica, absorción solar, absorción visible, y calor específico; para obtener estos datos faltantes se recurrió a una página de internet [51].

Introducción de datos en OpenStudio

En las imágenes siguientes, se presentan los datos introducidos en el software de OpenStudio.

Muros exteriores

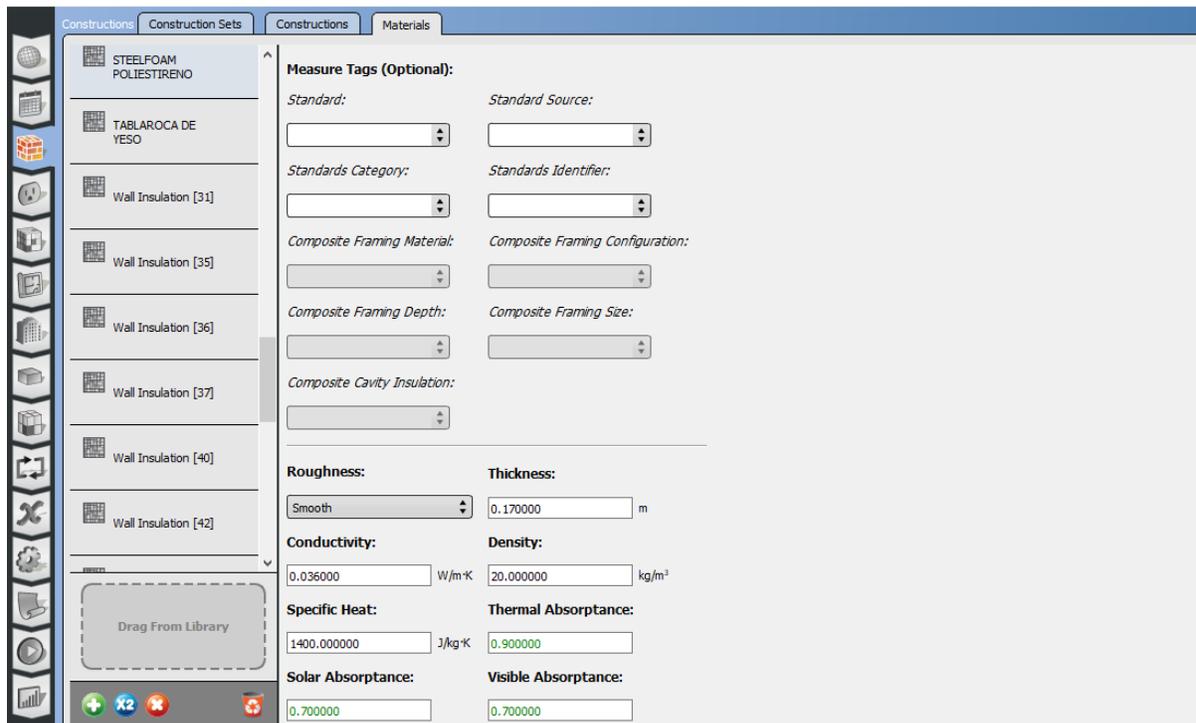


Figura 20.- Definición de materiales para muros exteriores en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Muros interiores

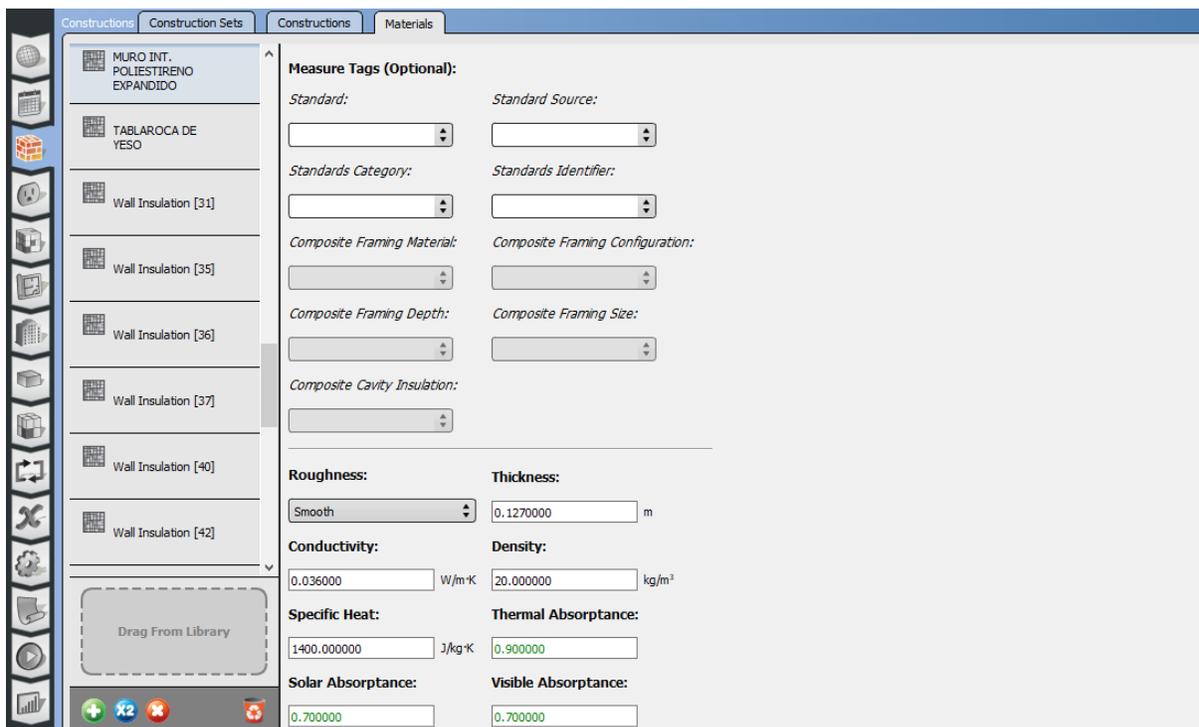


Figura 21.- Definición de materiales para muros interiores en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Ventanas

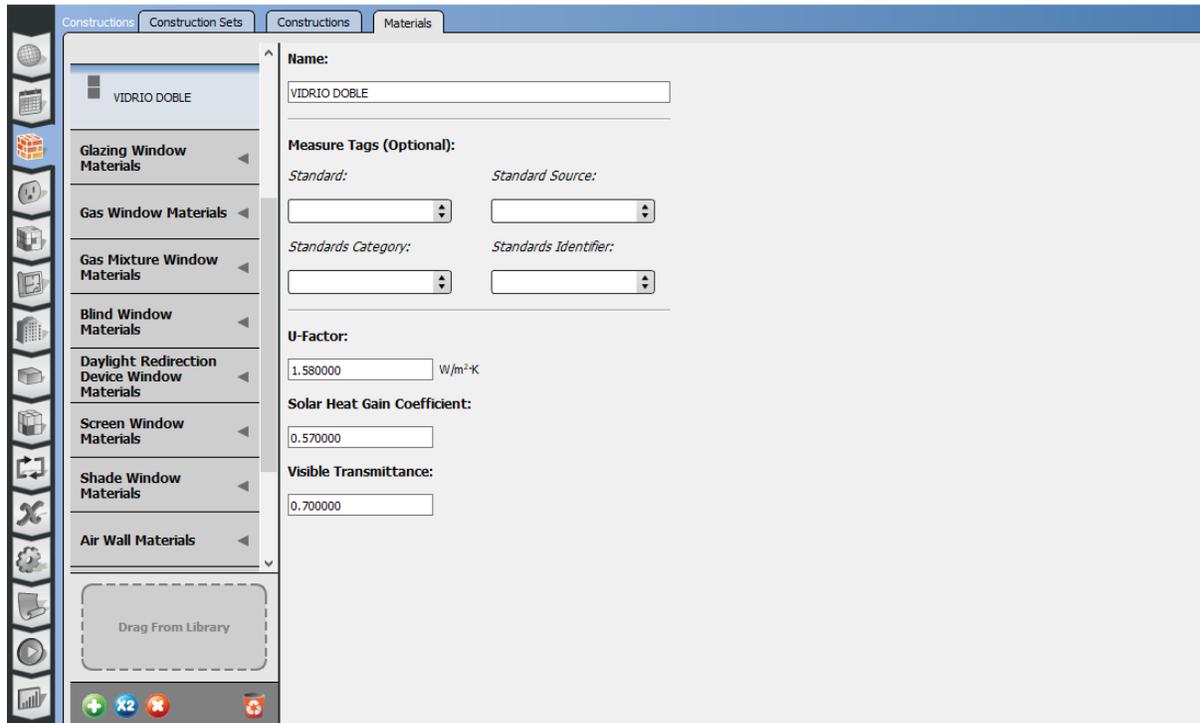


Figura 22.- Definición de materiales para ventanas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Muro de cristal de la fachada principal

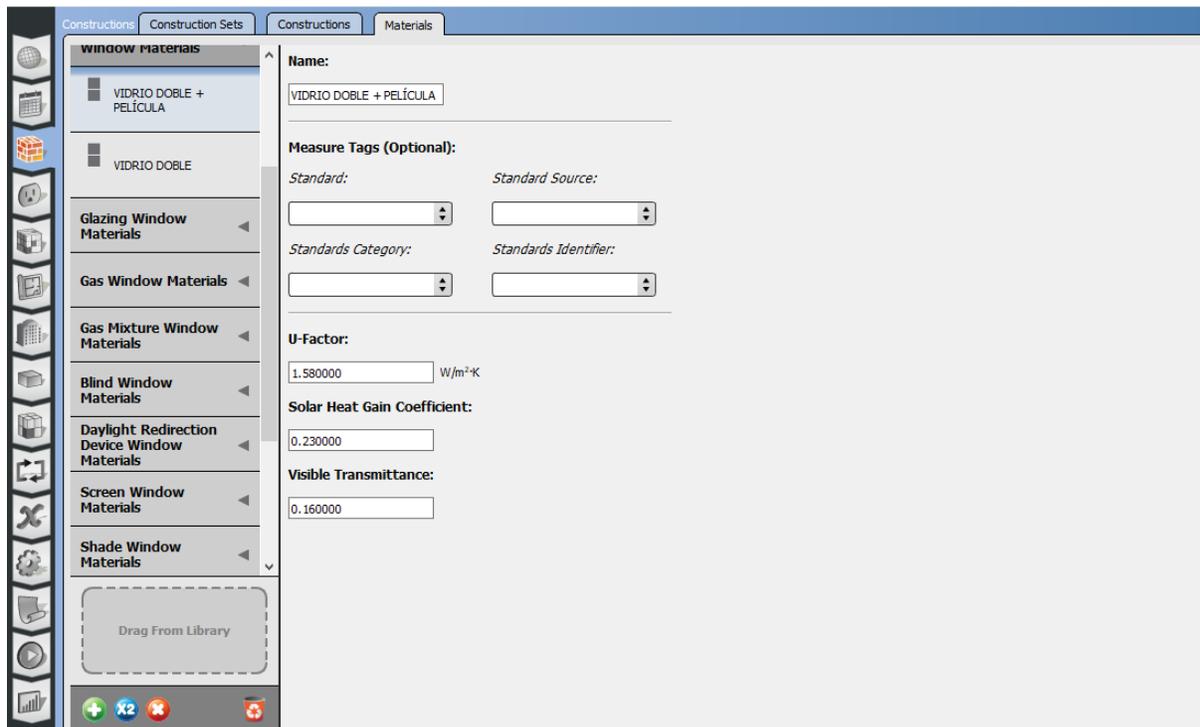


Figura 23.- Definición de materiales para muros de cristal en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Marco de ventanas

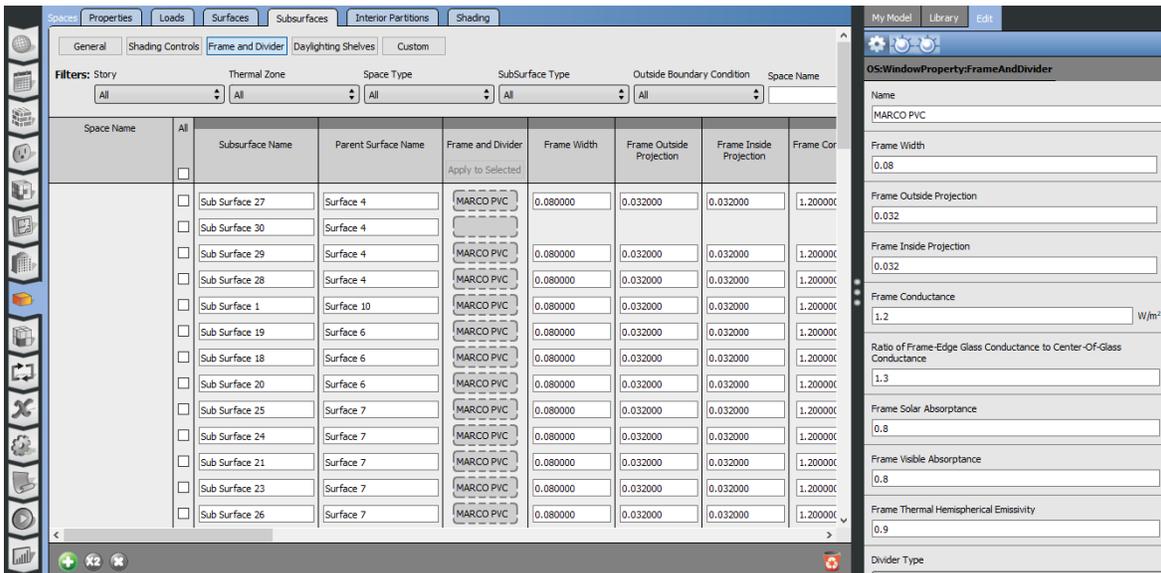


Figura 24.- Definición de materiales para marco de ventanas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

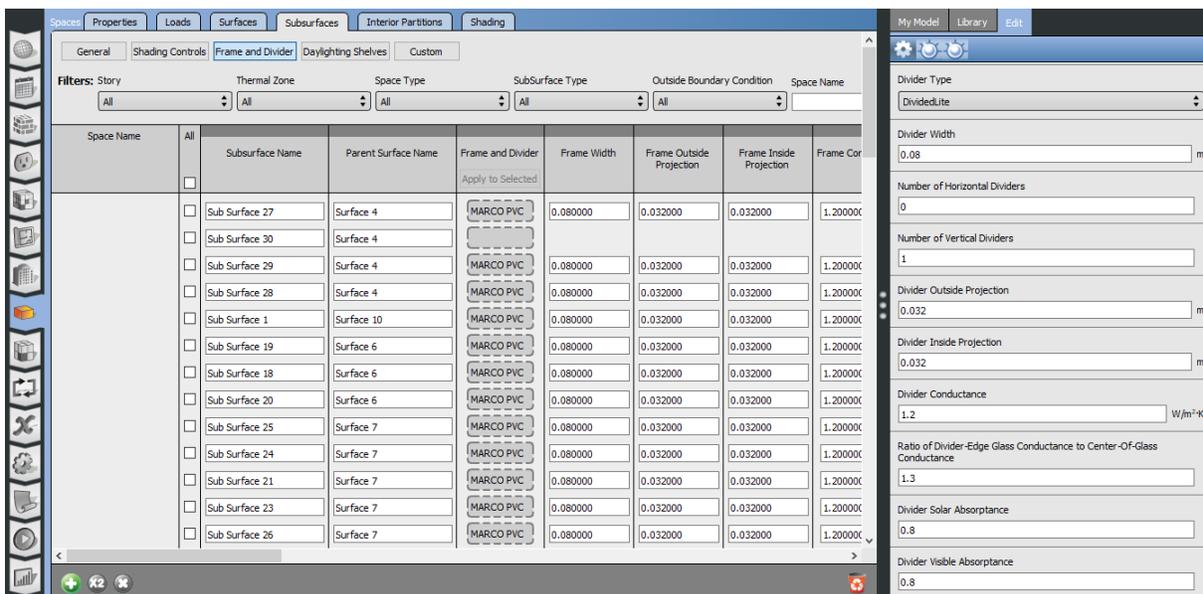


Figura 25.- Definición de materiales para marco de ventanas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

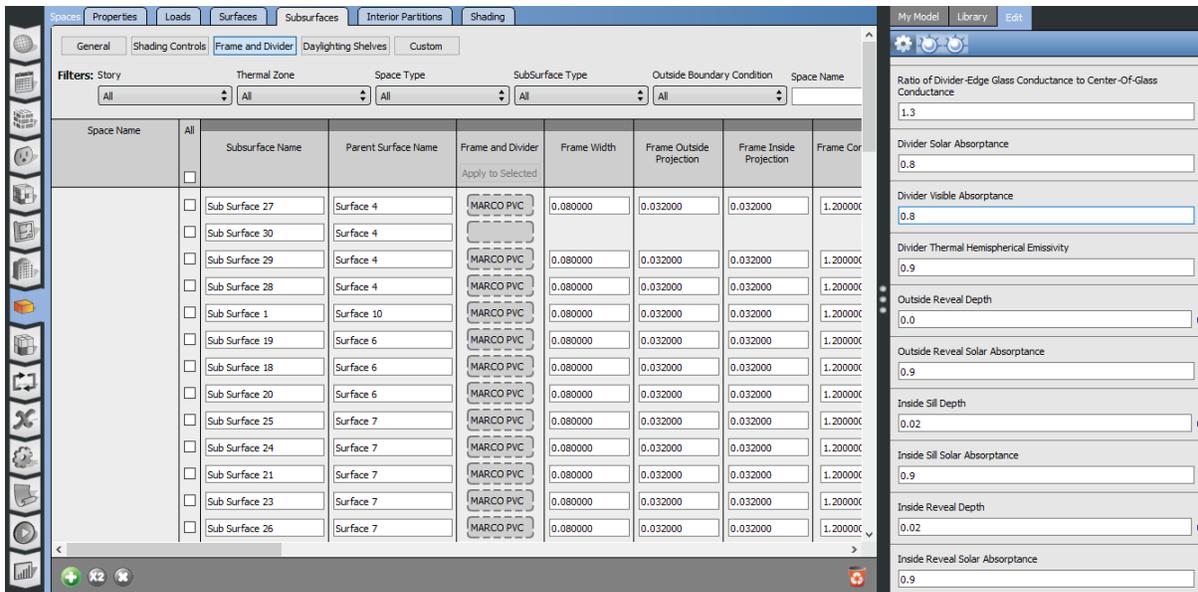


Figura 26.- Definición de materiales para marco de ventanas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Losa de azotea

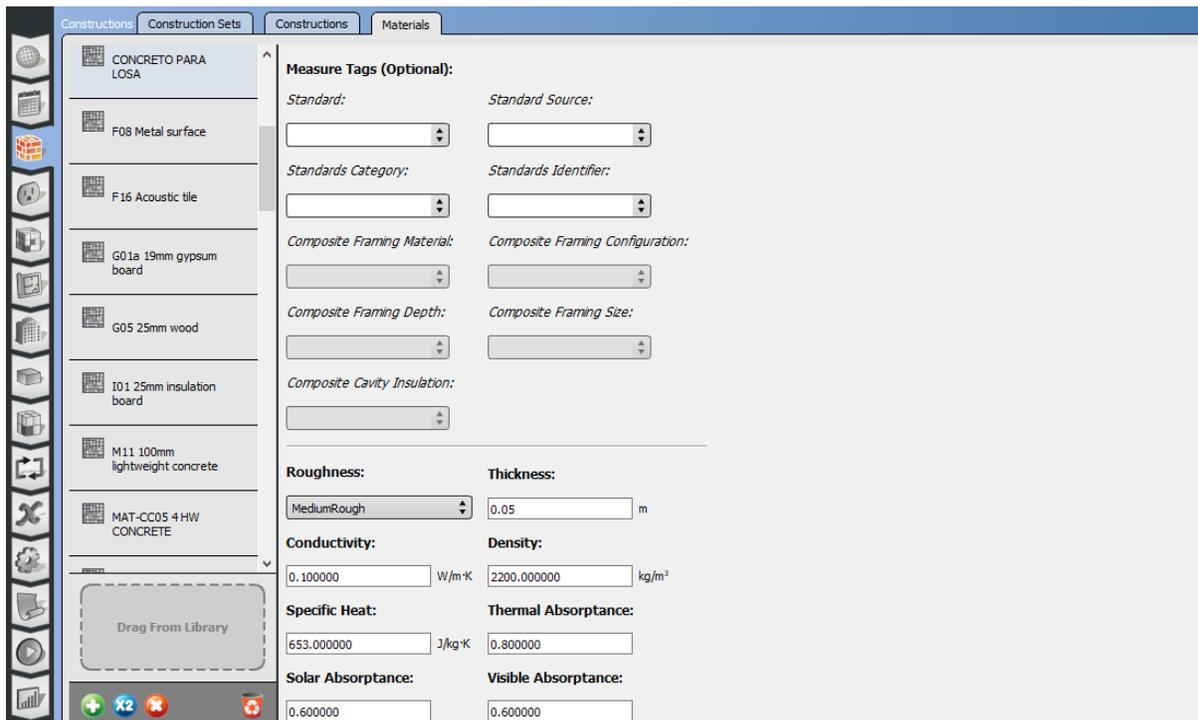


Figura 27.- Definición de materiales para losa de azotea en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

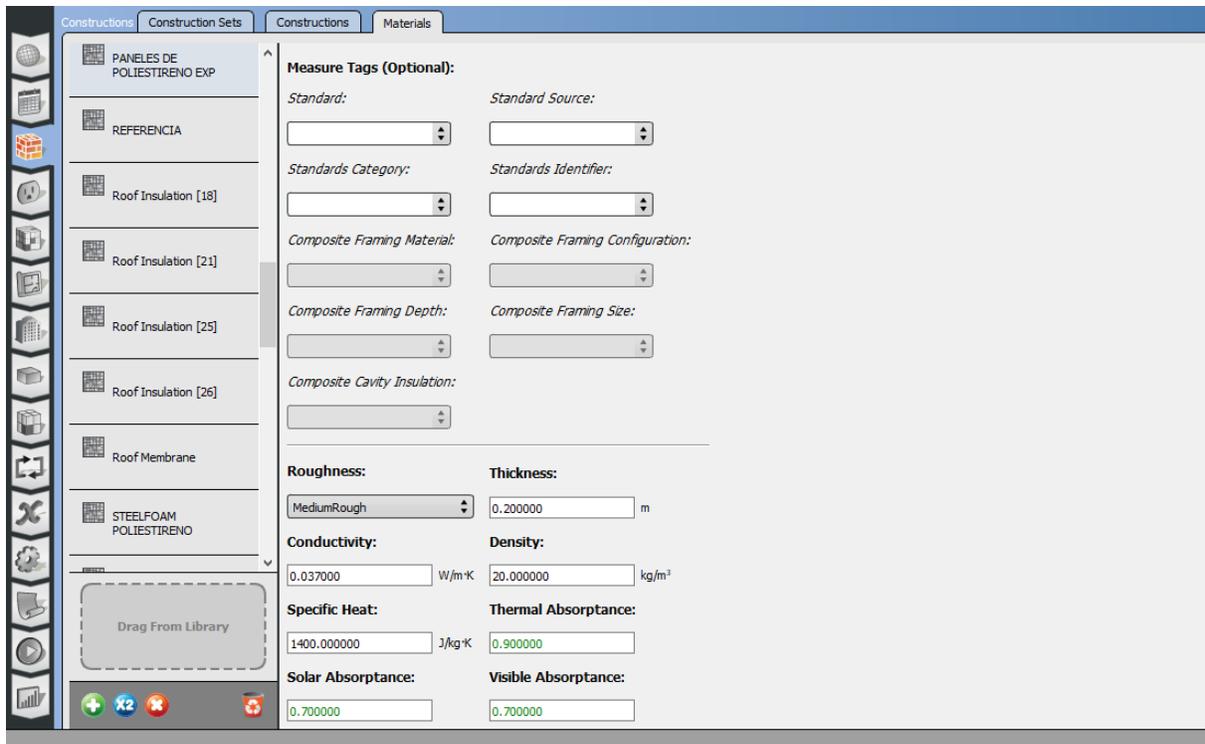


Figura 28.- Definición de materiales para losa de azotea en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Piso interior

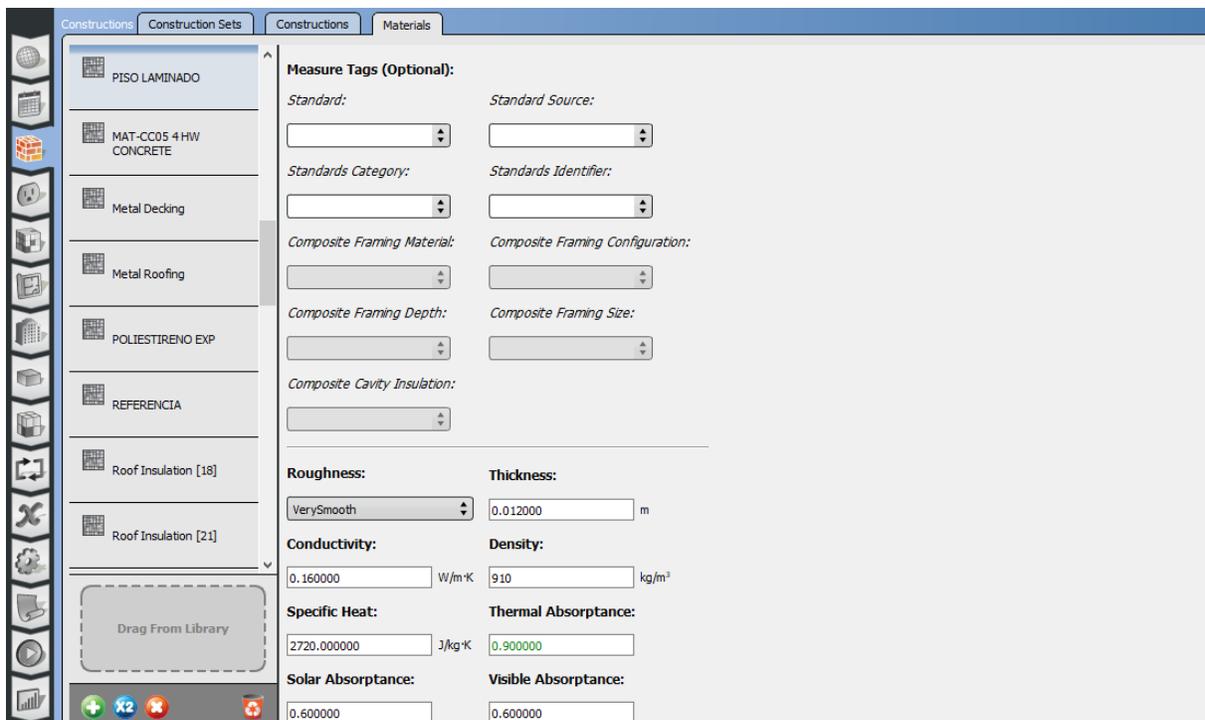


Figura 29.- Definición de materiales para piso interior en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

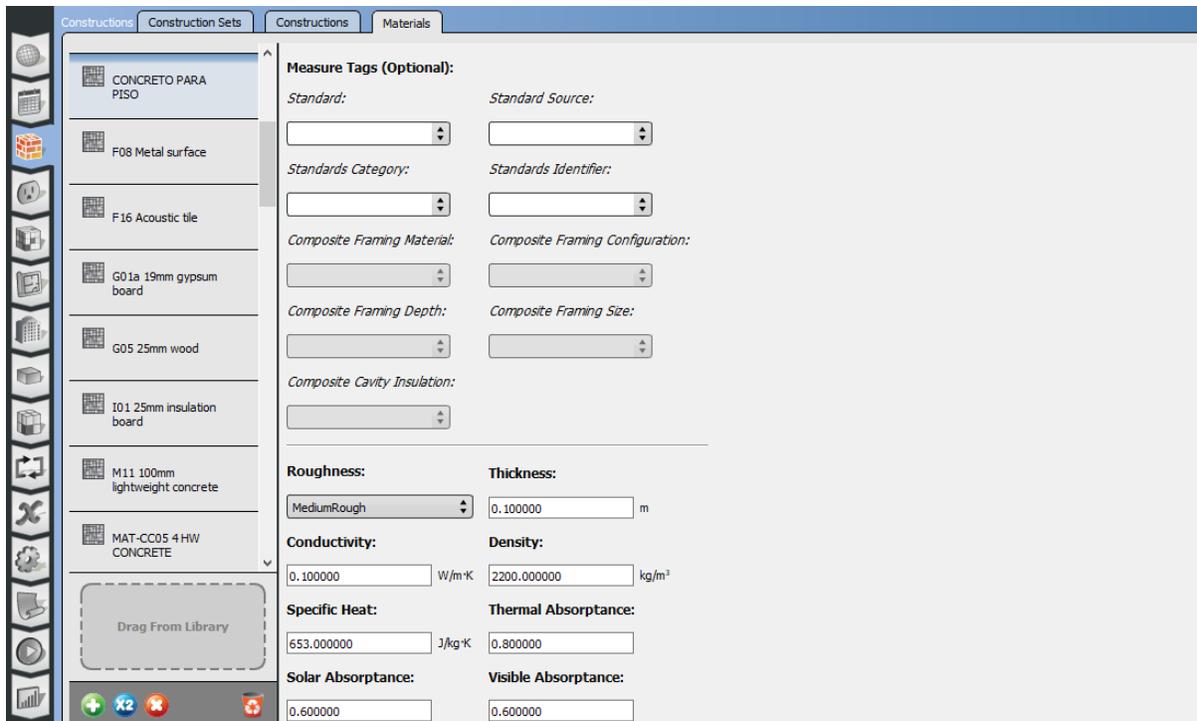


Figura 30.- Definición de materiales para piso interior en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Cargas térmicas internas.

El Dr. William Rudoy en el documento *Cooling and Heating Load Calculation Manual* menciona la siguiente definición del término carga: “la cantidad de calor por unidad de tiempo impuesta en un sistema, o la tasa requerida de eliminación de calor” (Rudoy, 1980)

En el documento “*Input Output Reference*” de la documentación de EnergyPlus versión 9.1 [140] se menciona que las ganancias internas que intervienen para el cálculo son: personas, luces, y varios tipos de equipos.

Para correr el modelo en EnergyPlus es necesario definir las cargas térmicas internas (cargas térmicas de personas, cargas térmicas de equipo eléctrico, y cargas térmicas por iluminación).

Cargas térmicas internas debidas a personas.

Para definir las cargas térmicas en Open Studio es necesario ingresar ciertos valores que el programa pide, 3 de dichos valores vienen preestablecidos por el programa y están relacionados con la generación de calor y de CO₂ de una persona promedio; por lo cual esos valores no se modificarán. El valor que va variando de una zona térmica a otra, es el número de personas presentes en una zona.

Para determinar la ocupación de las distintas zonas térmicas se consideraron los diferentes tipos de categoría de ocupación de las habitaciones presentes en la oficina, y

con base en las Tabla “Ratas mínimas de ventilación en zonas de respiración” del documento: Estándar ANSI/ASHRAE 62.1-2007 [10], se determinaron las densidades de ocupación de cada recinto para que posteriormente se obtuviera el número de personas en cada uno y obtener la cantidad total de personas.

Densidades de ocupación utilizadas:

Categoría de ocupación	# personas / 100 m ²
Oficina cerrada	5
Área de recepción	30
Sala de espera	30
Sala de conferencias	50
Cocina	25
Comedor	70

Tabla 14.- Densidades de ocupación consideradas para el edificio. Fuente: elaboración propia

En algunos espacios se tuvieron que hacer modificaciones con el número total de personas obtenidas debido a las condiciones de diseño indicadas en el plano arquitectónico.

Consideraciones.

El número de transeúntes se definió considerando la capacidad máxima de las habitaciones donde puede haber visitantes (salas de juntas, y salas de espera) de acuerdo al diseño del plano arquitectónico. En la ocupación de las salas de juntas se considera que del total de personas al menos dos de ellas son empleado de tiempo completo, y el resto de personas son transeúntes. Se consideró que la posibilidad de que todos los espacios de la oficina estén ocupados al máximo de su capacidad de manera simultánea es muy complicada que ocurra, por ello para fines de cálculo se consideró como máxima densidad de transeúntes el 80% de la capacidad máxima de dichos espacios.

Se considera que la zona térmica 5 y 6 (comedor y terraza) no tiene una ocupación simultánea con las demás zonas térmicas. Dichos lugares están destinados para ser usados por los empleados; los empleados fueron contemplados ocupando su determinada oficina durante su horario laboral, y en una hora específica (14:00-15:00 horas) se consideró que todos los empleados desocuparán su oficina de trabajo, y todos pasarán a ocupar el comedor y la terraza.

En la próxima tabla se indica el número total de personas consideradas en cada zona térmica para las condiciones de diseño.

Zona térmica 1

Tipo de habitación	No. Empleados	No. Transeúntes	Total personas
--------------------	---------------	-----------------	----------------

Oficina cerrada	16	0	16
Recepción/Sala de espera	4	12	16
Sala de juntas	0	5	5
Total	20	17	37

Tabla 15.- Total de personas consideradas para la zona térmica 1. Fuente: elaboración propia

Zona térmica 2

Tipo de habitación	No. Empleados	No. Transeúntes	Total personas
Oficina cerrada	8	0	8
Recepción/Sala de espera	2	8	12
Sala de juntas	0	27	39
Total	10	35	45

Tabla 16.- Total de personas consideradas para la zona térmica 2. Fuente: elaboración propia

Zona térmica 3

Tipo de habitación	No. Empleados	No. Transeúntes	Total personas
Recepción/Sala de espera	2	7	9
Total	2	7	9

Tabla 17.- Total de personas consideradas para la zona térmica 3. Fuente: elaboración propia

Zona térmica 4

Tipo de habitación	No. Empleados	No. Transeúntes	Total personas
Cocina	5	0	5
Total	5	0	5

Tabla 18.- Total de personas consideradas para la zona térmica 4. Fuente: elaboración propia

Zona térmica 5

Tipo de habitación	No. Empleados	No. Transeúntes	Total personas
---------------------------	----------------------	------------------------	-----------------------

Comedor	36	0	36
Total	36	0	36

Tabla 19.- Total de personas consideradas para la zona térmica 5. Fuente: elaboración propia

Zona térmica 6

Tipo de habitación	No. Empleados	No. Transeúntes	Total personas
Terraza/Comedor	12	0	12
Total	12	0	12

Tabla 20.- Total de personas consideradas para la zona térmica 6. Fuente: elaboración propia

Cantidad total de personas por zona térmica considerando 80% de transeúntes en la zona 1, 2 y 3.

Zona térmica	Total de personas
1	37
2	45
3	9
4	5
5	36
6	12

Tabla 21.- Total de personas considerando 80% de transeúntes en las zonas térmicas 1,2 y 3. Fuente: elaboración propia

Los datos necesarios para definir las cargas térmicas de personas se dejarán como los preestablecidos por el mismo programa, sólo se modificará el número de personas de cada zona de acuerdo a la tabla anterior.

Ingreso de datos en OpenStudio.

Cargas térmicas internas debidas a personas en la zona 1.

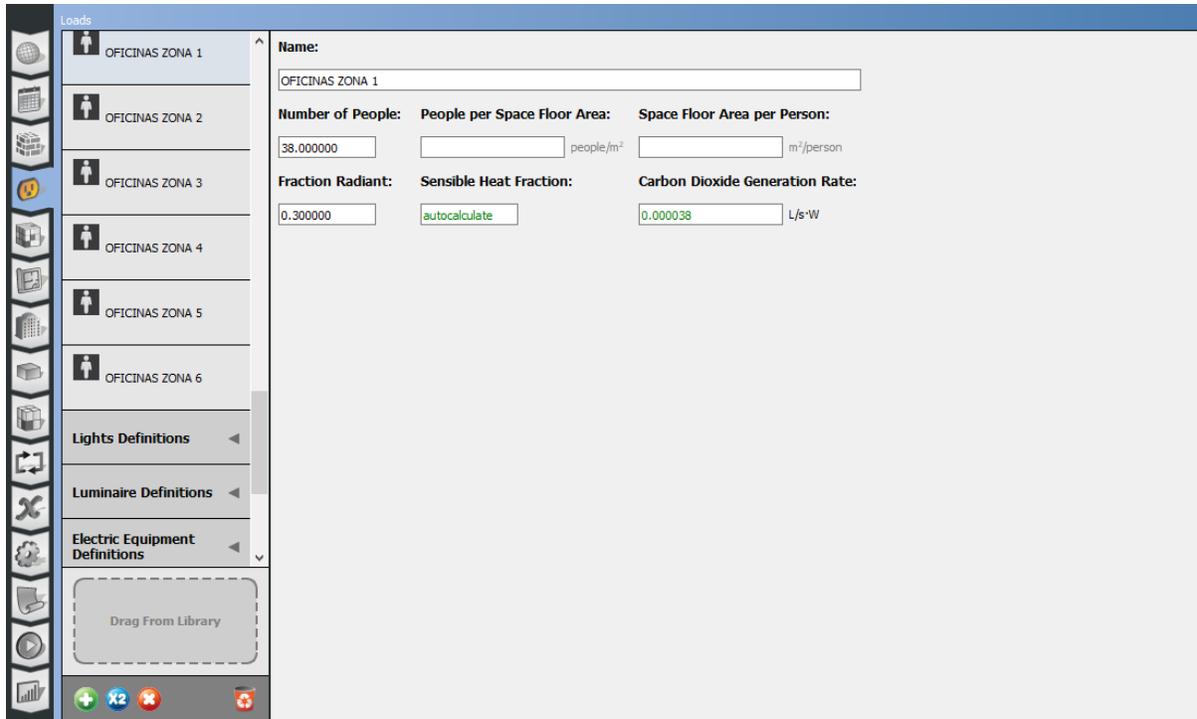


Figura 31.- Definición de cargas térmicas debido a personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Cargas térmicas internas debidas a personas en la zona 2.

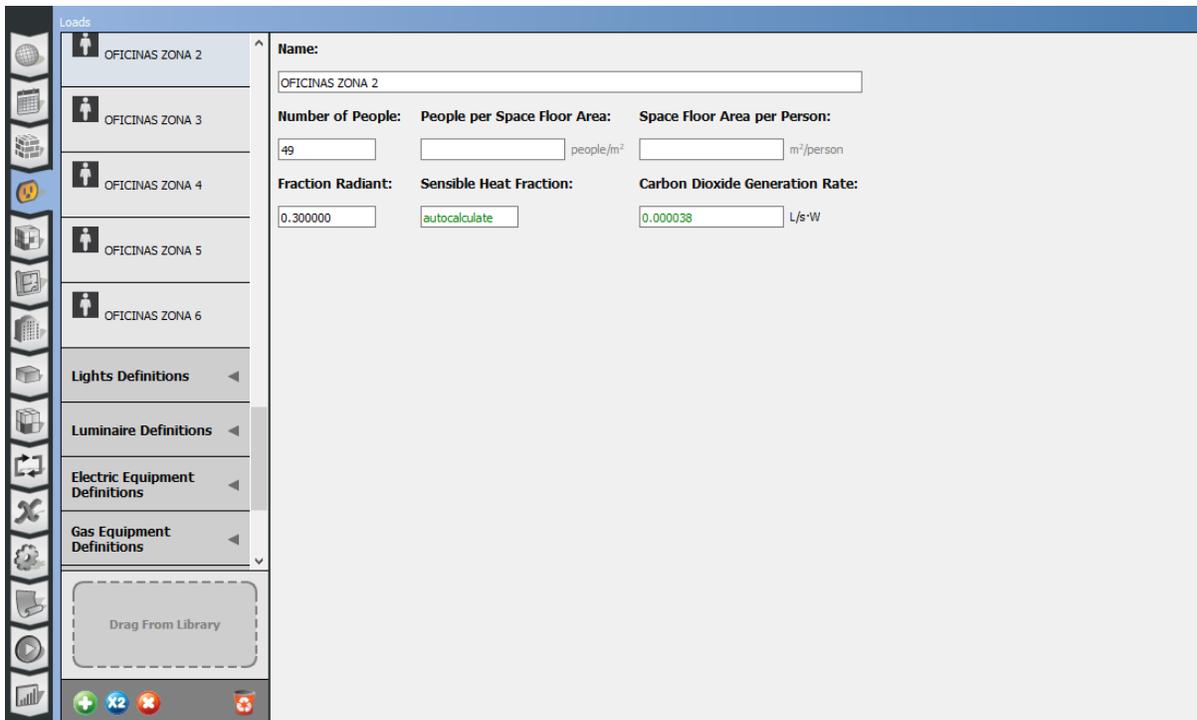


Figura 32.- Definición de cargas térmicas debido a personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Cargas térmicas internas debidas a personas en la zona 3.

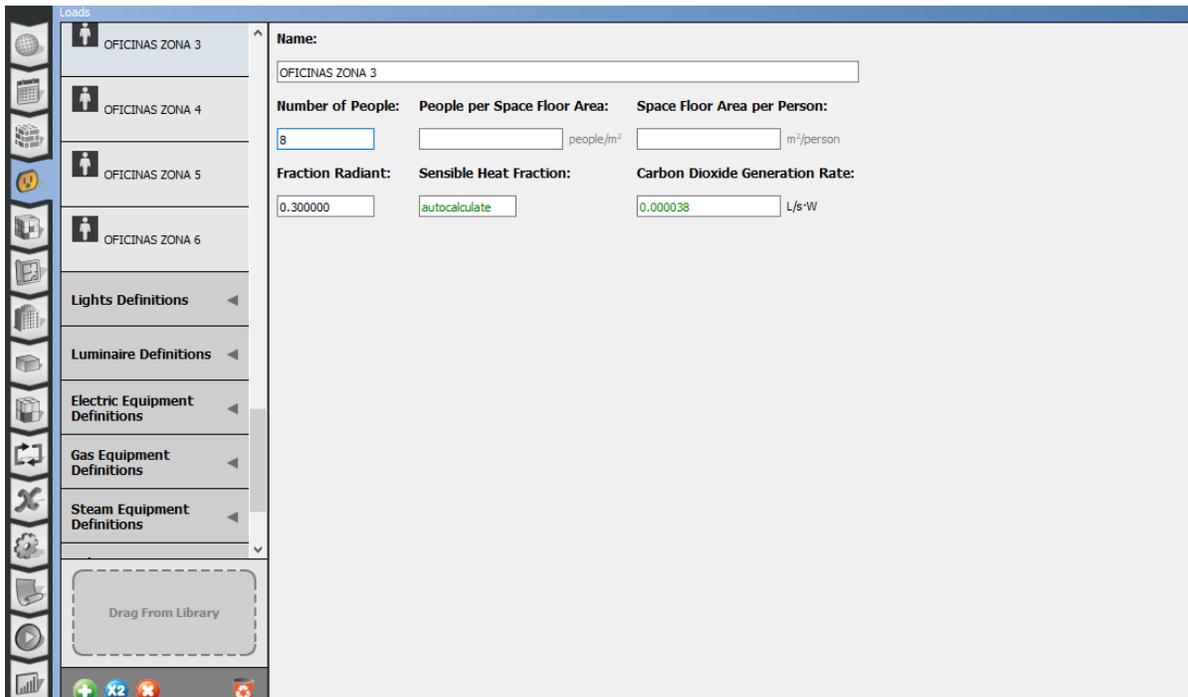


Figura 33.- Definición de cargas térmicas debido a personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Cargas térmicas internas debidas a personas en la zona 4.

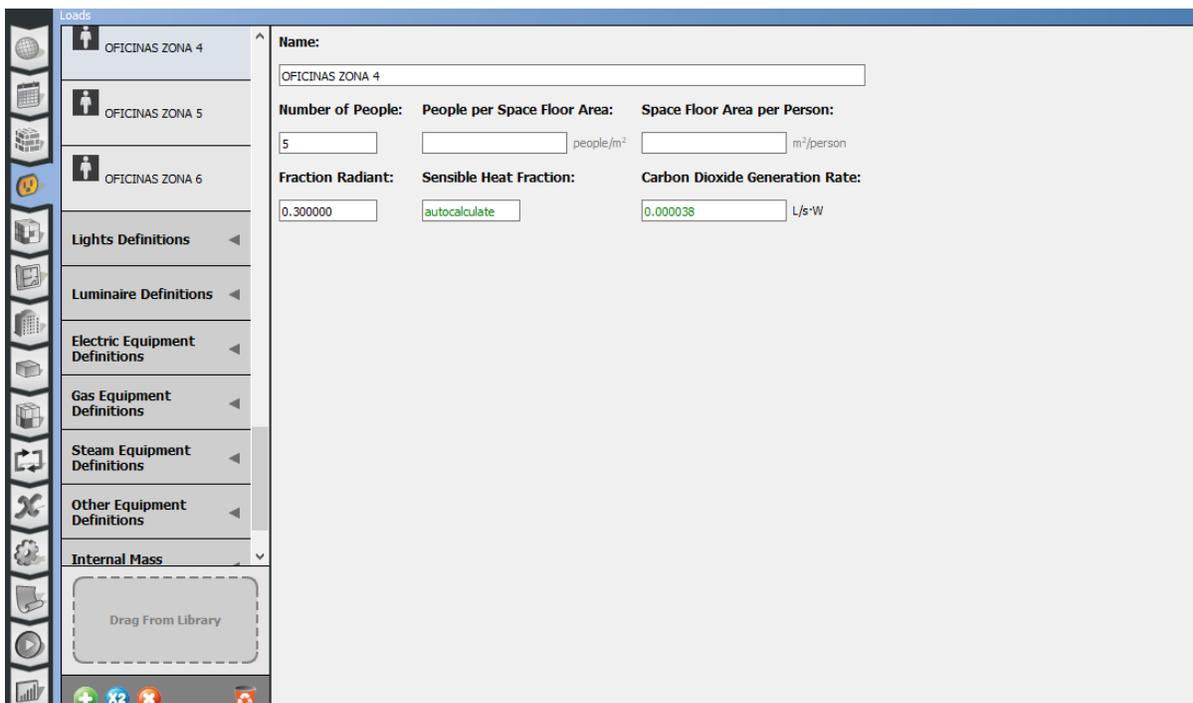


Figura 34.- Definición de cargas térmicas debido a personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Cargas térmicas internas debidas a personas en la zona 5.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio. The 'Name' field is set to 'OFICINAS ZONA 5'. The 'Number of People' is 36. The 'People per Space Floor Area' is empty. The 'Space Floor Area per Person' is empty. The 'Fraction Radiant' is 0.300000. The 'Sensible Heat Fraction' is 'autocalculate'. The 'Carbon Dioxide Generation Rate' is 0.000038 L/s*W. The sidebar on the left lists various definition categories: OFICINAS ZONA 5, OFICINAS ZONA 6, Lights Definitions, Luminaire Definitions, Electric Equipment Definitions, Gas Equipment Definitions, Steam Equipment Definitions, Other Equipment Definitions, Internal Mass Definitions, and Water Use Equipment Definitions. A 'Drag From Library' button is also visible.

Figura 35.- Definición de cargas térmicas debido a personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Cargas térmicas internas debidas a personas en la zona 6.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio for Zone 6. The 'Name' field is set to 'OFICINAS ZONA 6'. The 'Number of People' is 12. The 'People per Space Floor Area' is empty. The 'Space Floor Area per Person' is empty. The 'Fraction Radiant' is 0.300000. The 'Sensible Heat Fraction' is 'autocalculate'. The 'Carbon Dioxide Generation Rate' is 0.000038 L/s*W. The sidebar on the left is identical to Figure 35.

Figura 36.- Definición de cargas térmicas debido a personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Cargas térmicas por equipo electrónico.

Se consideraron los aparatos electrónicos indicados en la siguiente tabla, y su potencia promedio de funcionamiento se consideró de acuerdo a la información mostrada en un sitio de internet [37].

Aparato electrónico	Potencia promedio (W)
Computadora	250
Teléfono	2
Proyector	264
Fotocopiadora	900
Impresora	100
Escáner	150
Módem de internet	8
Cafetera	725
Horno de microondas	1000
Tostadora	900
Refrigerador	375
Refrigerador pequeño	220
Estufa	1200
Freidora	1100
Licuadaora	400
Batidora	250
Televisión	180
Bomba 1.5 hp	1000

Tabla 22.- Potencia de los equipos electrónicos el edificio. Fuente: Elaboración propia

Para determinar la cantidad total de potencia total de los equipos electrónicos en cada zona térmica se consideraron las habitaciones que conforman cada una de ellas, y se contemplaron cuales aparatos de la tabla anterior le corresponden a cada habitación.

Cantidad total de potencia por equipo electrónico en cada zona.

No. de zona térmica	Potencia total por equipos electrónicos (Wh)
1	10625.00
2	12440.45
3	511.80
4	4290.30
5	365.37
6	0.00

Tabla 23.- Carga térmica total debida a equipos electrónicos en cada zona térmica. Fuente: elaboración propia.

Además de la cantidad total de potencia producida por los equipos electrónicos, es necesario ingresar otros factores en OpenStudio para definir su carga térmica que generan, estos son: fracción latente, y fracción sensible, los cuáles indican de la cantidad total de calor producida por los equipos electrónicos, qué cantidad es calor latente y qué cantidad es calor sensible.

Para definir estos parámetros se basó en lo establecido en la tabla “*Coefficients for appliances and Certain Laboratory equipment*” del documento *Cooling and Heating Load Calculation Manual* [112]

Carga térmica por equipo electrónico en la zona 1.

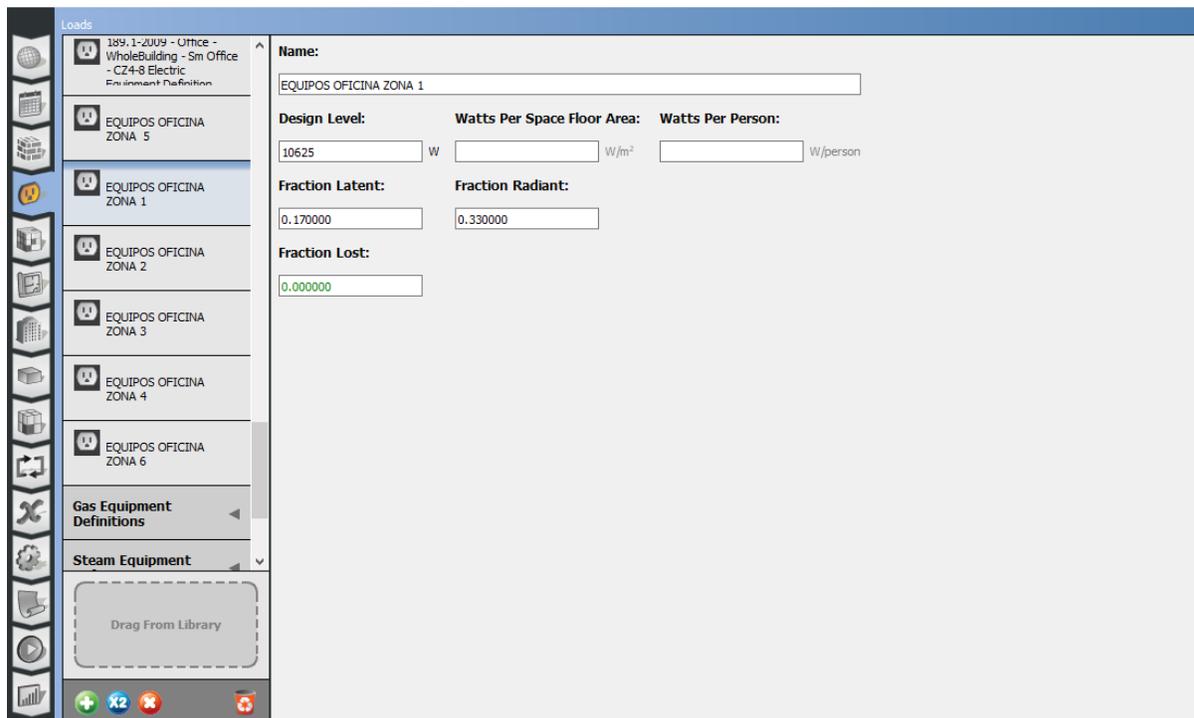


Figura 37.- Definición de cargas térmicas debidas a equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por equipo electrónico en la zona 2.

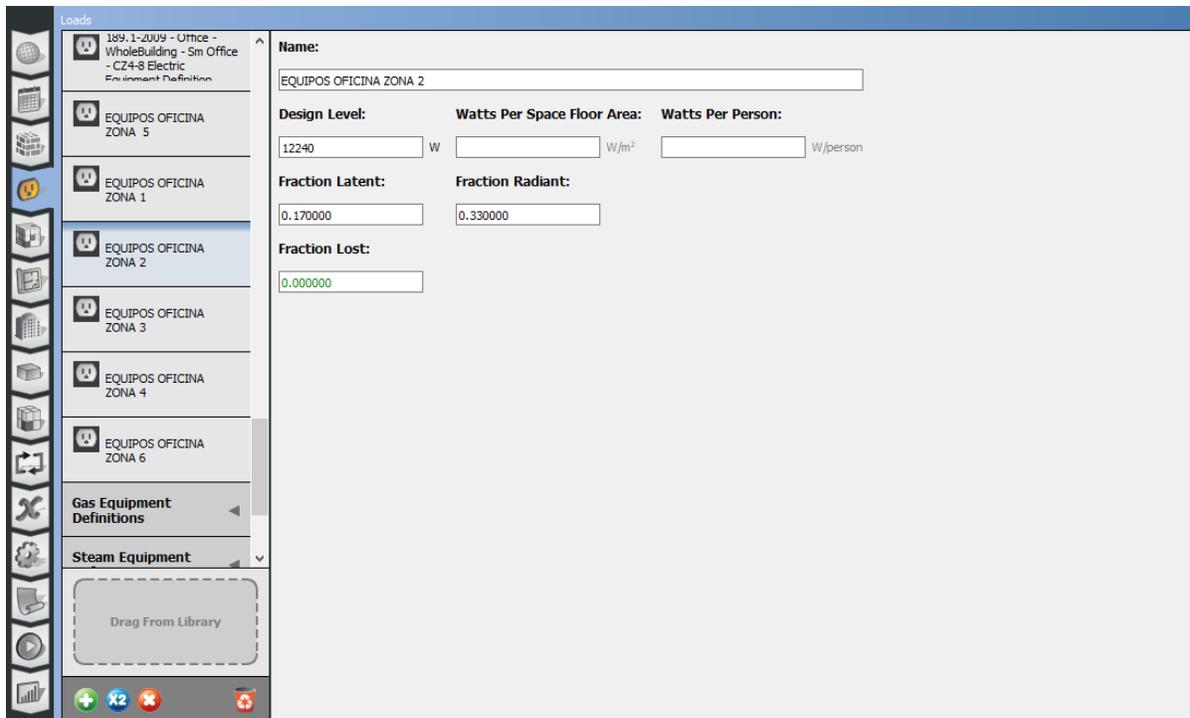


Figura 38.- Definición de cargas térmicas debidas a equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por equipo electrónico en la zona 3.

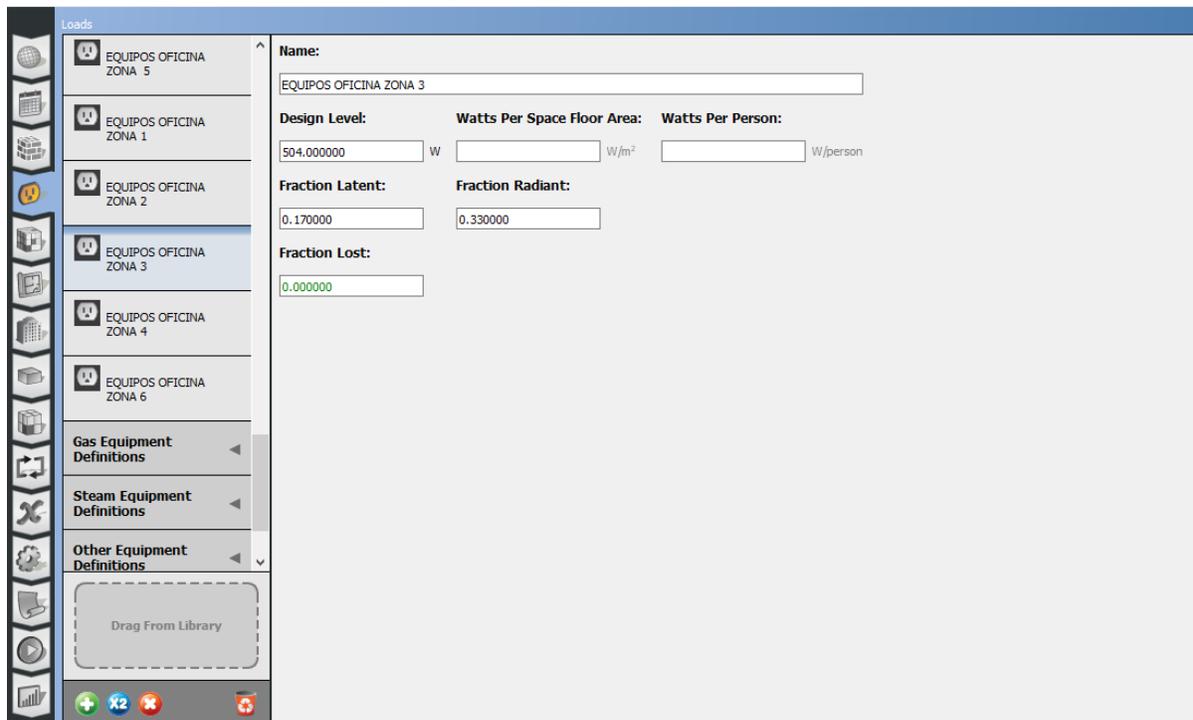


Figura 39.- Definición de cargas térmicas debidas a equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por equipo electrónico en la zona 4.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio. The left sidebar lists various load types, with 'EQUIPOS OFICINA ZONA 4' selected. The main panel displays the configuration for this load:

Name:		
EQUIPOS OFICINA ZONA 4		
Design Level:	Watts Per Space Floor Area:	Watts Per Person:
4290 W	W/m ²	W/person
Fraction Latent:	Fraction Radiant:	
0.170000	0.330000	
Fraction Lost:		
0.000000		

Figura 40.- Definición de cargas térmicas debidas a equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por equipo electrónico en la zona 5.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio. The left sidebar lists various load types, with 'EQUIPOS OFICINA ZONA 5' selected. The main panel displays the configuration for this load:

Name:		
EQUIPOS OFICINA ZONA 5		
Design Level:	Watts Per Space Floor Area:	Watts Per Person:
360.000000 W	W/m ²	W/person
Fraction Latent:	Fraction Radiant:	
0.170000	0.330000	
Fraction Lost:		
0.000000		

Figura 41.- Definición de cargas térmicas debidas a equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por equipo electrónico en la zona 6.

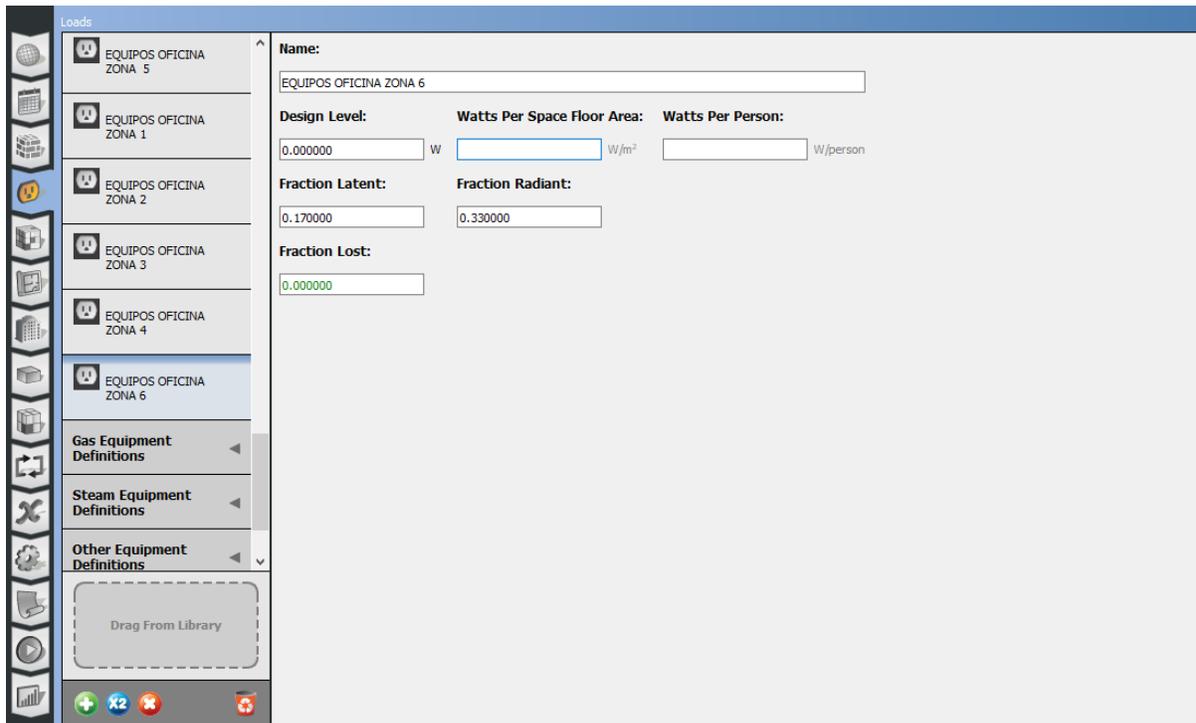


Figura 42.- Definición de cargas térmicas debidas a equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por iluminación.

La cantidad necesaria de potencia de iluminación por unidad de área se obtuvo de la tabla G3.7 del apéndice G de la norma *ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2016*.

Se consideración las siguientes densidades de iluminación para las zonas térmicas.

No. de zona térmica	Densidad de potencia de iluminación (W/m ²)
1	12
2	12
3	12
4	13
5	10
6	10

Tabla 24.- Densidad de potencia de iluminación por zona térmica. Fuente: elaboración propia.

Para la iluminación de todas las habitaciones de las oficinas se usarán focos LED; por lo cual se pueden lograr los parámetros de iluminación indicados anteriormente con un consumo y una carga térmica menor, en la tabla siguiente se señala la densidad de consumo de iluminación considerando los focos LED, y esos valores se ingresaron al programa de Open Studio.

No. de zona térmica	Densidad de consumo de iluminación (W/m ²)
1	1.675
2	1.675
3	1.675
4	1.875
5	1.333
6	1.333

Tabla 25.- Densidad de potencia de iluminación por zona térmica considerando focos de bajo consumo. Fuente: elaboración propia.

Además de la densidad de iluminación es necesario definir otros factores para las cargas térmicas por iluminación, los cuáles son: fracción radiante, fracción visible, y fracción de retorno de aire; dichos factores se obtuvieron de la Tabla: *Approximate values of Return Air Fraction, Fraction Radiant and Fraction Visible for overhead fluorescent lighting for different luminaire configurations* de la documentación de EnergyPlus versión 9.1 “Input Output Reference” [140].

Ingreso de datos a Open Studio

Carga térmica por iluminación eléctrica en zona 1.

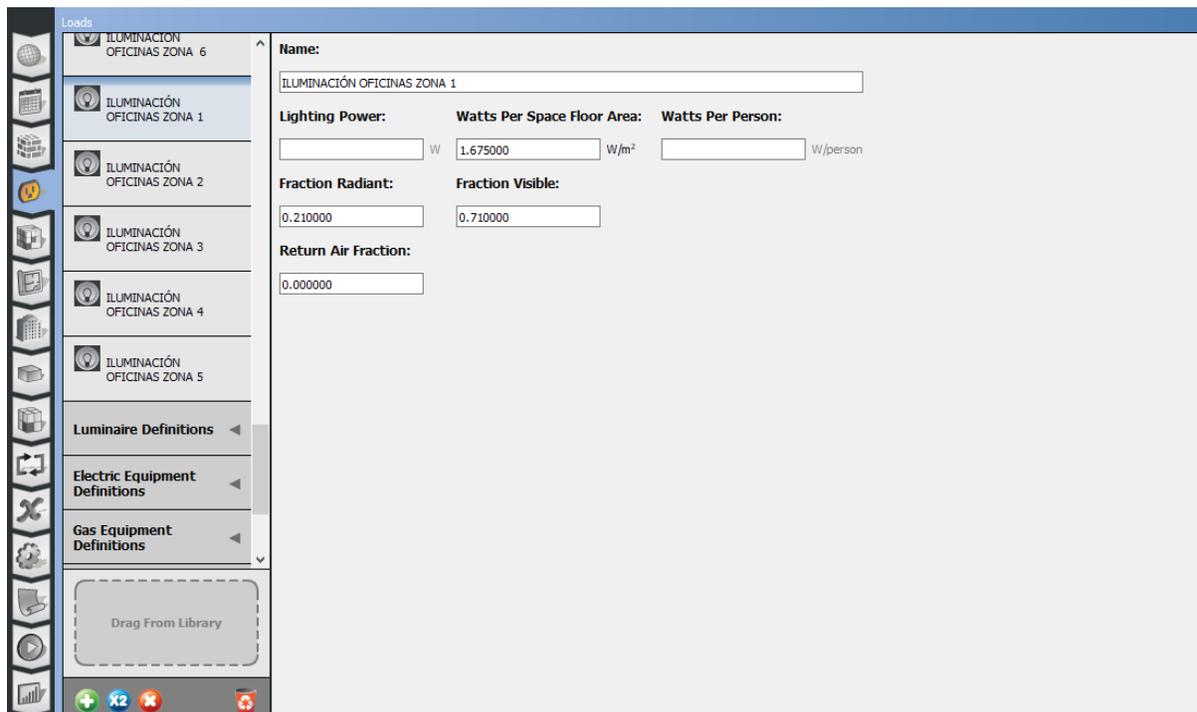


Figura 43.- Definición de cargas térmicas debidas a iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por iluminación eléctrica en zona 2.

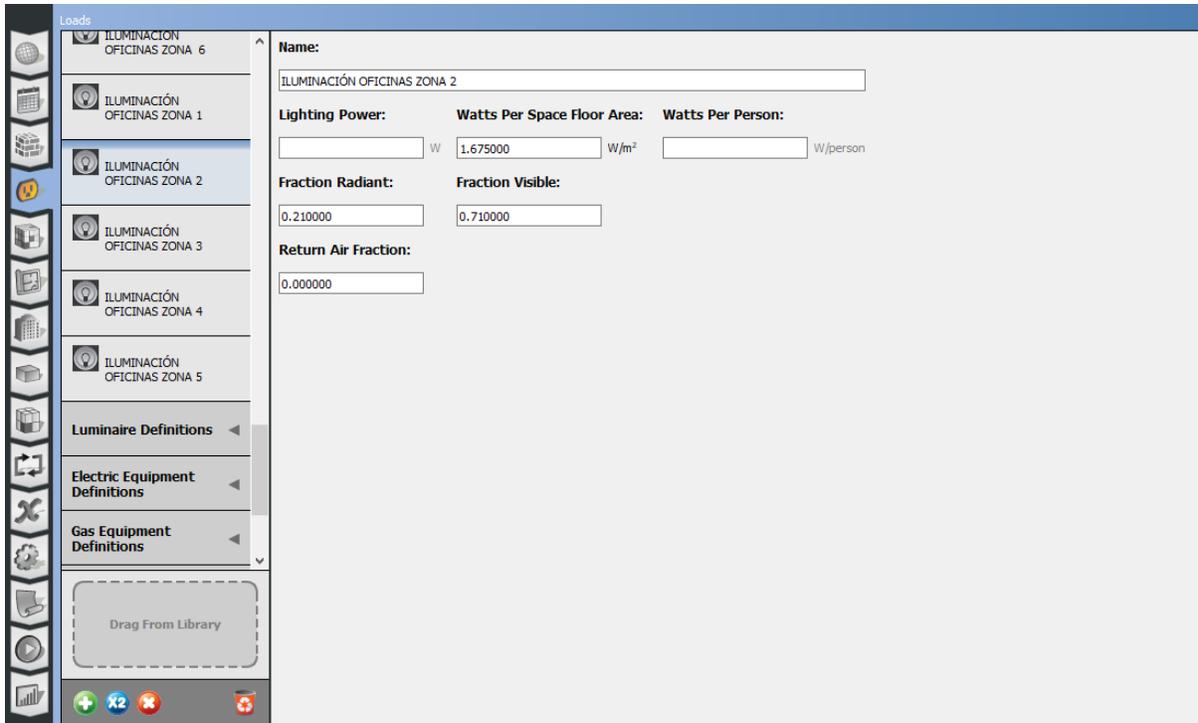


Figura 44.- Definición de cargas térmicas debidas a iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por iluminación eléctrica en zona 3.

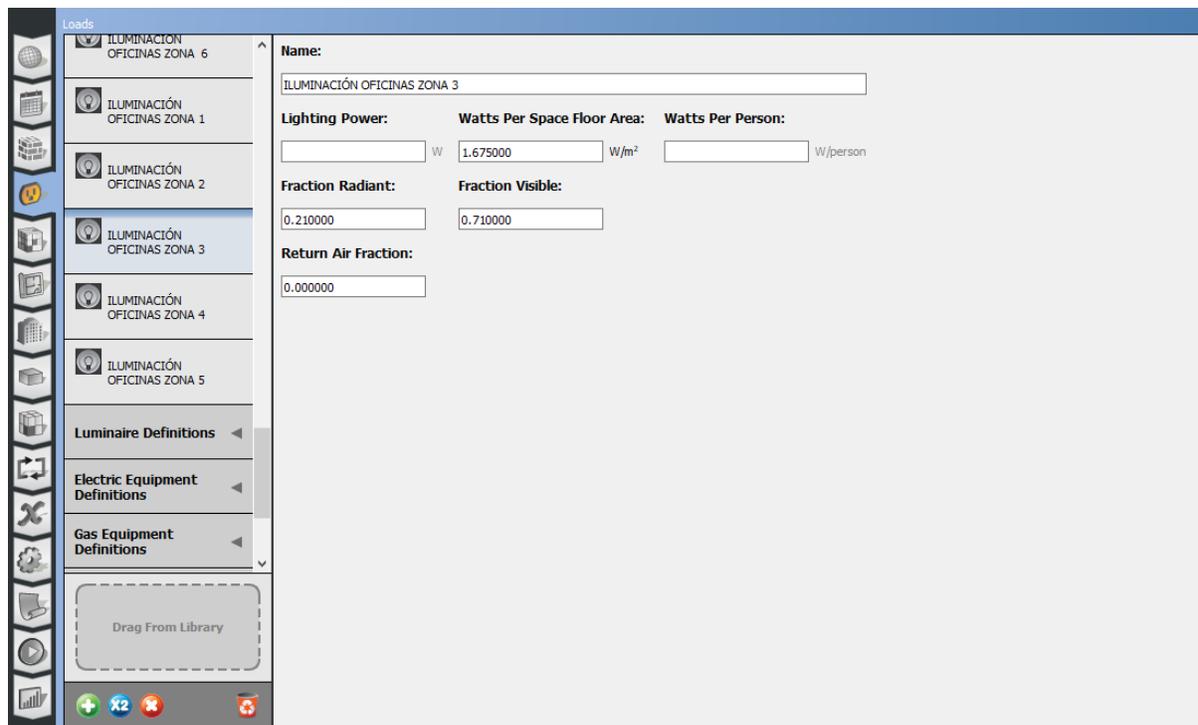


Figura 45.- Definición de cargas térmicas debidas a iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por iluminación eléctrica en zona 4.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio. The left sidebar lists several lighting load definitions for different zones (ZONA 1 to ZONA 6). The main panel is configured for 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 4'. The input fields are as follows:

Field	Value
Name	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 4
Lighting Power	[Empty]
Watts Per Space Floor Area	1.875000 W/m ²
Watts Per Person	[Empty]
Fraction Radiant	0.210000
Fraction Visible	0.710000
Return Air Fraction	0.000000

Figura 46.- Definición de cargas térmicas debidas a iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

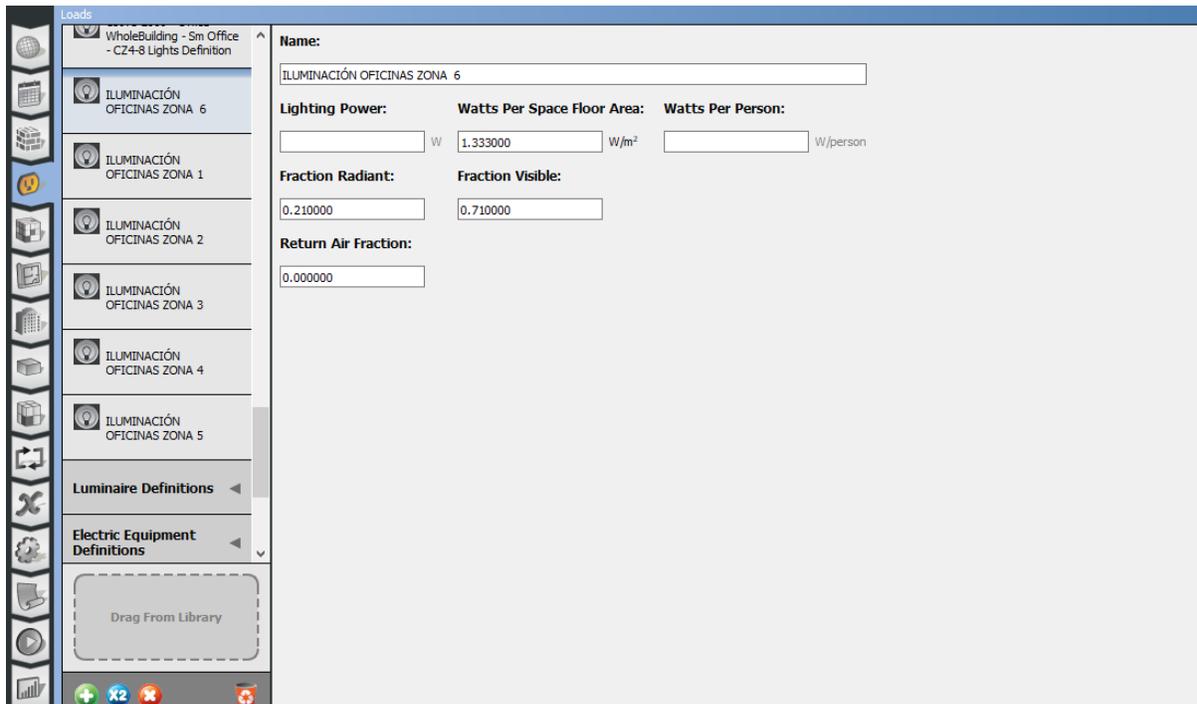
Carga térmica por iluminación eléctrica en zona 5.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio, configured for 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 5'. The input fields are as follows:

Field	Value
Name	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 5
Lighting Power	[Empty]
Watts Per Space Floor Area	1.333000 W/m ²
Watts Per Person	[Empty]
Fraction Radiant	0.210000
Fraction Visible	0.710000
Return Air Fraction	0.000000

Figura 47.- Definición de cargas térmicas debidas a iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica por iluminación eléctrica en zona 6.



The screenshot shows the 'Loads' window in OpenStudio. The left sidebar contains a tree view with the following items: 'WholeBuilding - Sm Office - CZ4-8 Lights Definition', 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 6', 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 1', 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 2', 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 3', 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 4', 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 5', 'Luminaire Definitions', 'Electric Equipment Definitions', and 'Drag From Library'. The main panel is titled 'Name: ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 6'. It contains the following fields: 'Lighting Power: [] W', 'Watts Per Space Floor Area: 1.333000 W/m²', 'Watts Per Person: [] W/person', 'Fraction Radiant: 0.210000', 'Fraction Visible: 0.710000', and 'Return Air Fraction: 0.000000'.

Figura 48.- Definición de cargas térmicas debidas a iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios o Programación.

Para cada carga térmica que se define en OpenStudio es necesario asignarle un horario.

El Departamento de Energía de E.U.A. en la documentación de EnergyPlus versión 9.1 menciona la siguiente definición de programación: “la programación horaria que especifica el porcentaje de carga máxima para cada hora del día”. (2019)

Existen diferentes tipos de horarios en OpenStudio, para las cargas térmicas es necesario usar un horario del tipo fraccional. En este tipo de horarios se crea una gráfica que tiene en el eje X los valores de las horas en un día (00:01-24:00 horas), y en el eje Y tiene los valores de porcentaje del 0%-100%.

Para definir los horarios de las cargas térmicas es necesario definir los horarios en que estarán presentes dichas cargas, y el porcentaje de estas que estarán en función en cada hora que vayan variando; considerando el 100% como el valor introducido en la sección de cargas térmicas internas.

Se consideró un horario laboral de las 8:00 horas a las 18:00 horas de lunes a viernes, y de 8:00 horas a 14:00 horas el día sábado. La variación del porcentaje de las cargas térmicas en cada hora se definió tomando como referencia los horarios que vienen por defecto para trabajo de oficina en el programa OpenStudio, y se modificaron de acuerdo

a las condiciones del diseño arquitectónico y las consideraciones mencionadas en la sección de cargas térmicas internas.

Debido a que es poco probable que de manera constante se presente el número máximo de transeúntes, se consideró el 100% de capacidad de las oficinas una vez al mes; seleccionados de manera aleatoria los días en que ocurrirá.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 1. Días: Lunes-Viernes

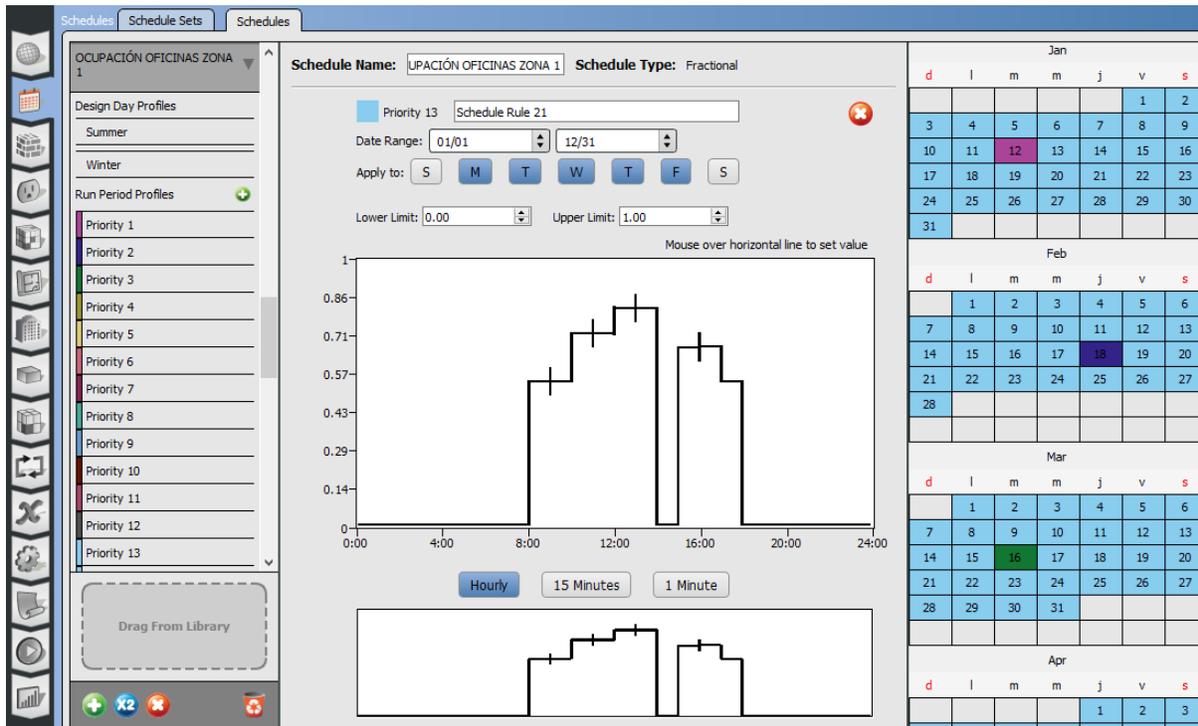


Figura 49.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 1. Días: Sábado

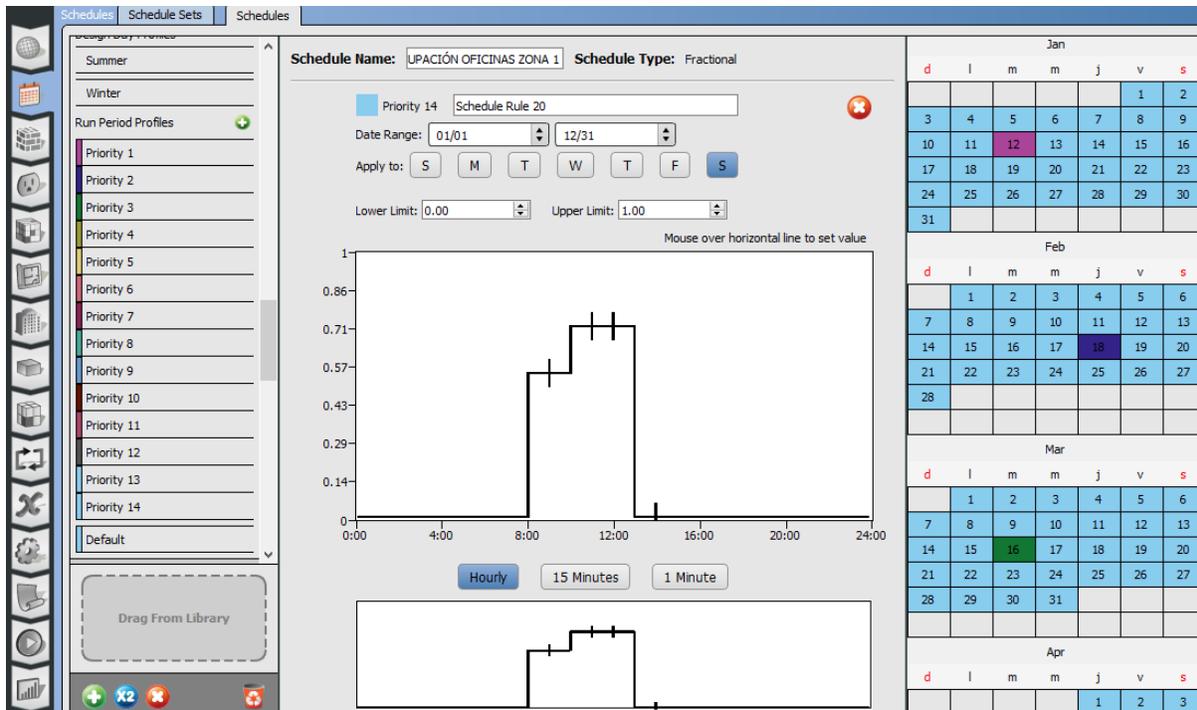


Figura 50.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 1. Días de máxima ocupación de personas (1 día por mes seleccionado aleatoriamente)

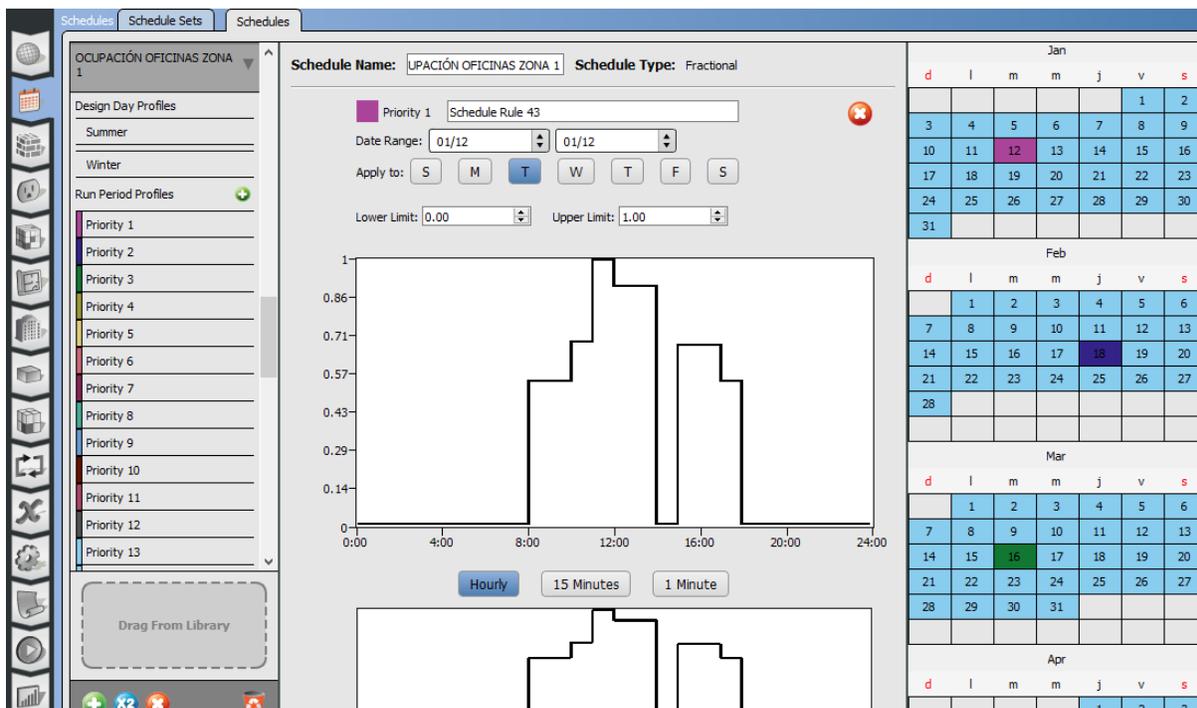


Figura 51.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 2. Día: Lunes-Viernes

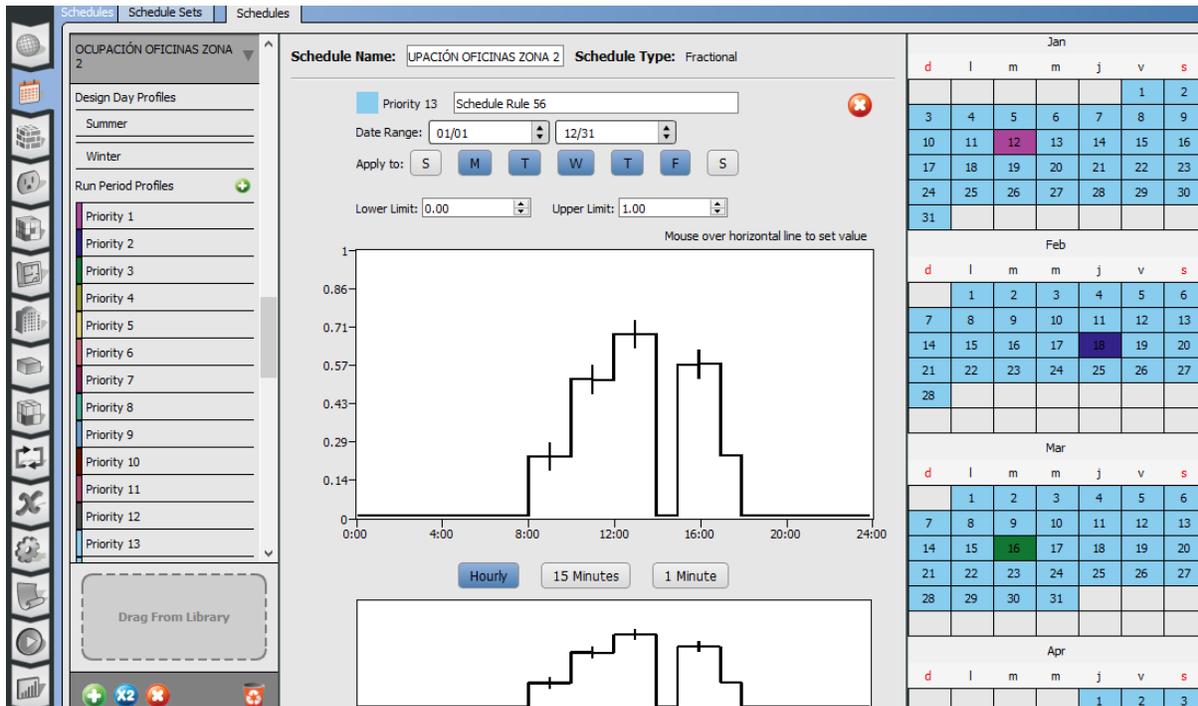


Figura 52.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 2. Días: Sábado

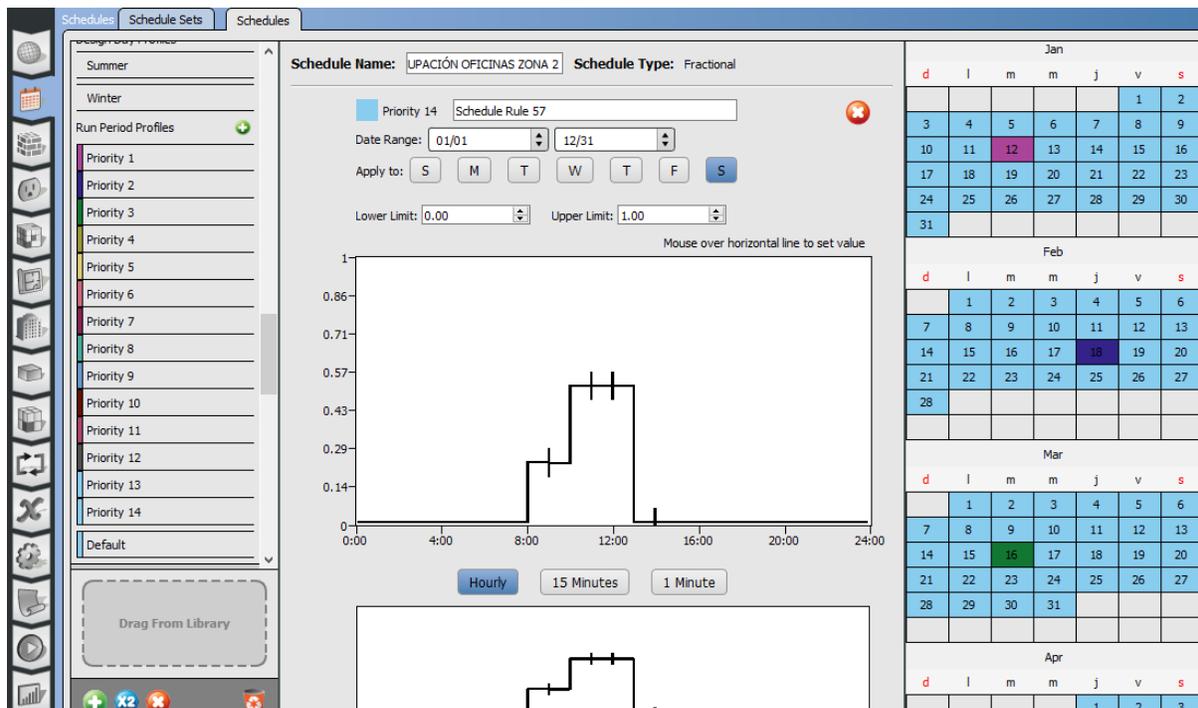


Figura 53.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 2. Días de máxima ocupación de personas (1 día por mes seleccionado aleatoriamente)

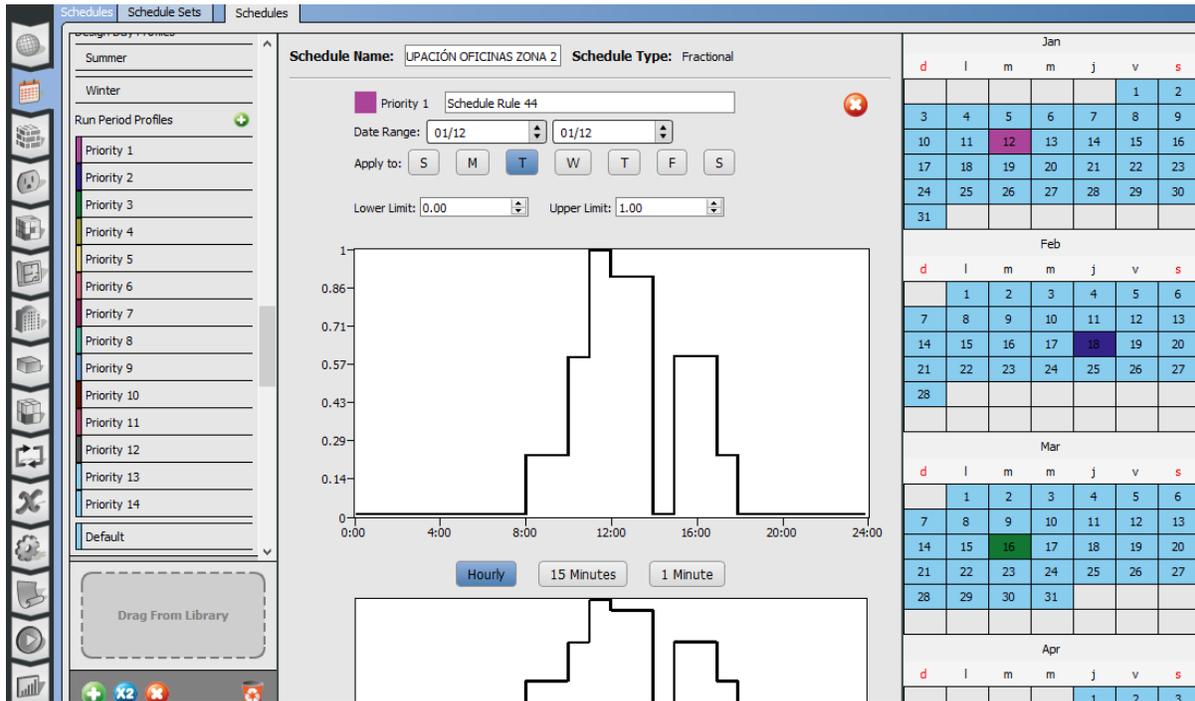


Figura 54.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 3. Días: Lunes-Viernes

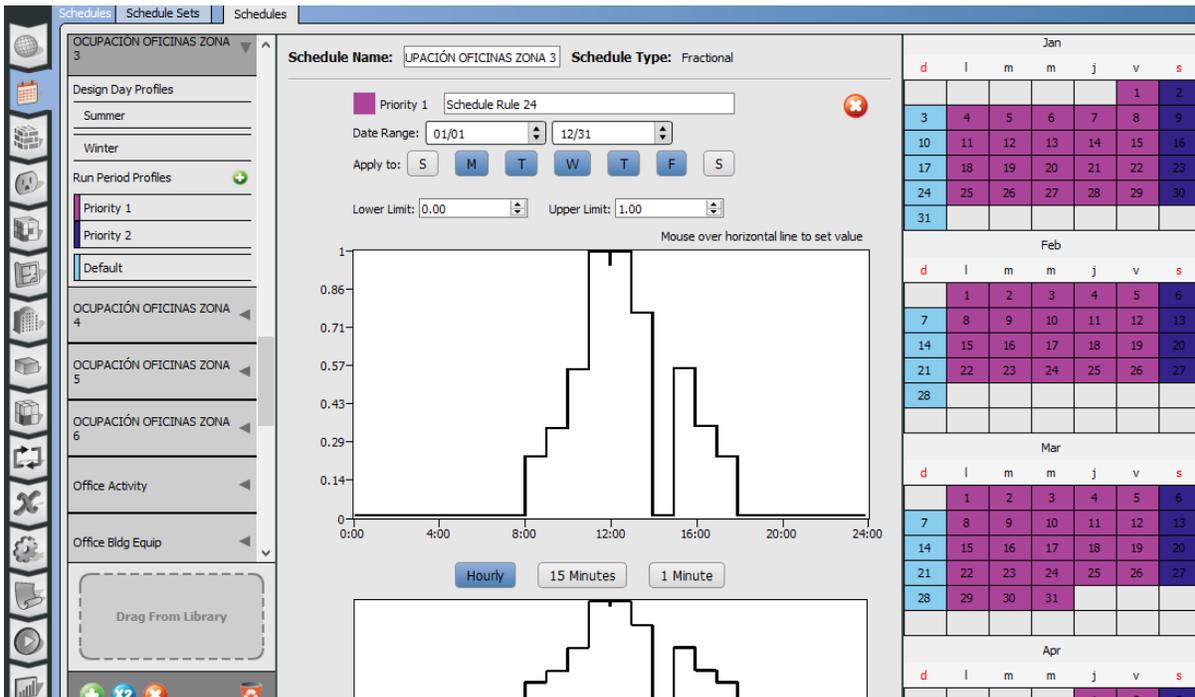


Figura 55.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 3. Días: Sábado

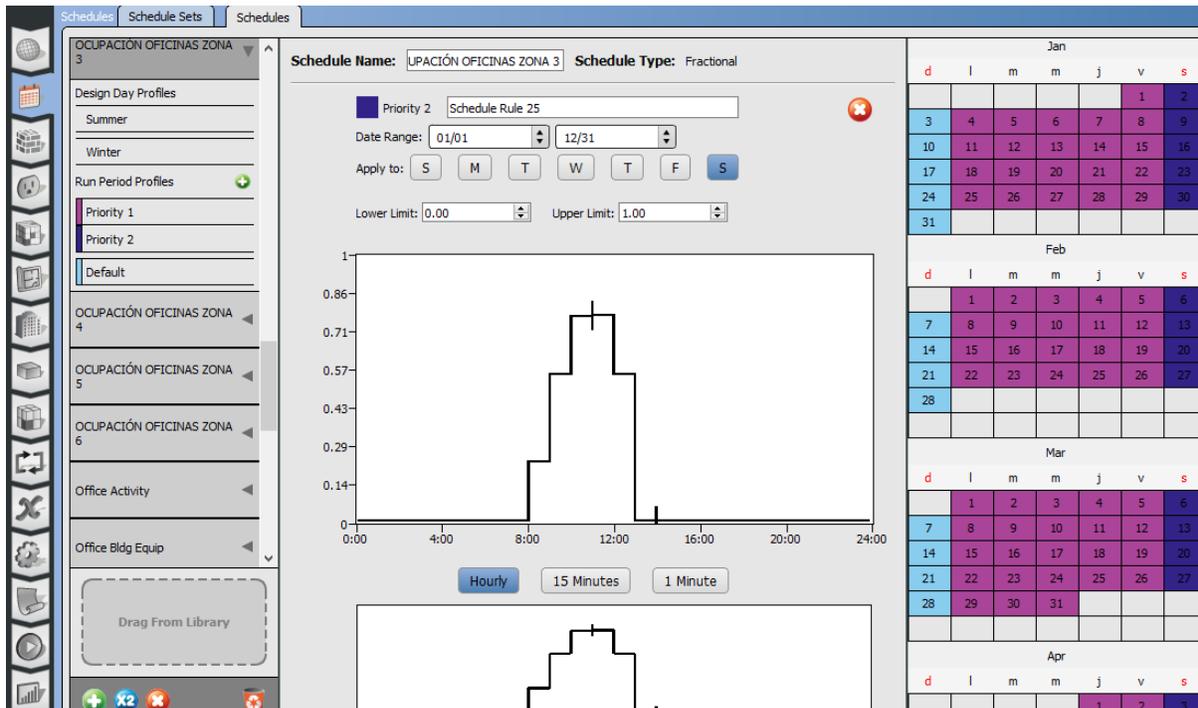


Figura 56.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 4. Días: Lunes-Viernes

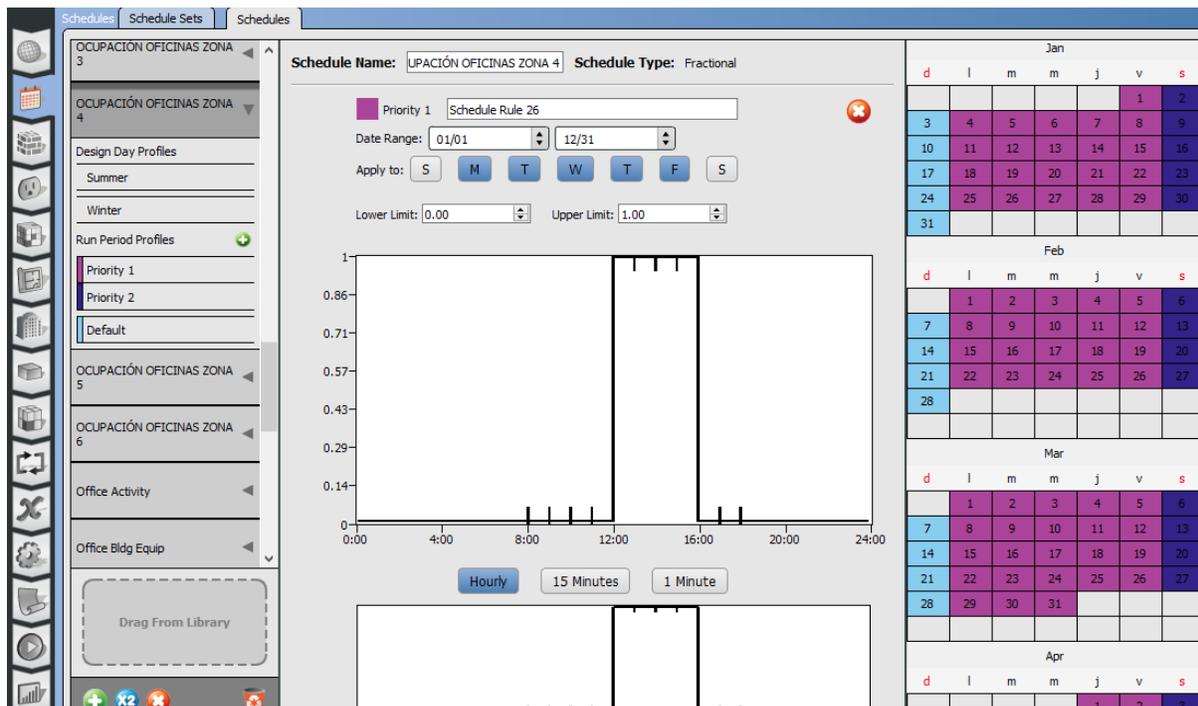


Figura 57.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 4. Días: Sábado

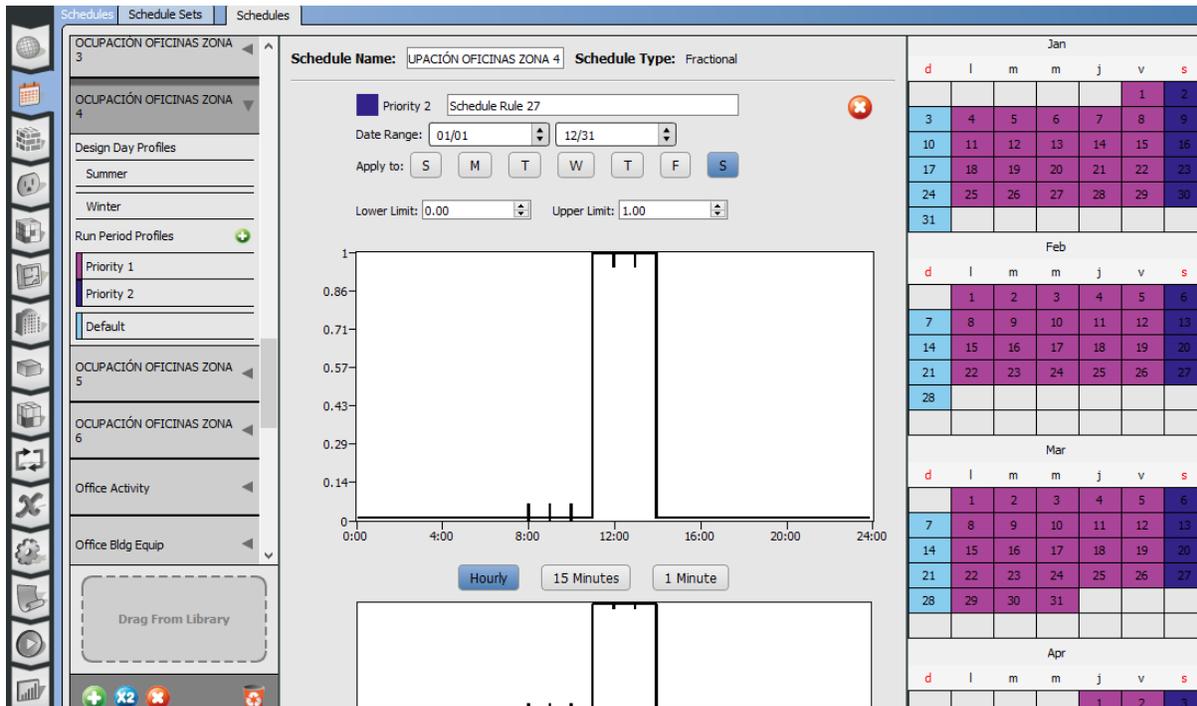


Figura 58.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 5. Días: Lunes-Viernes

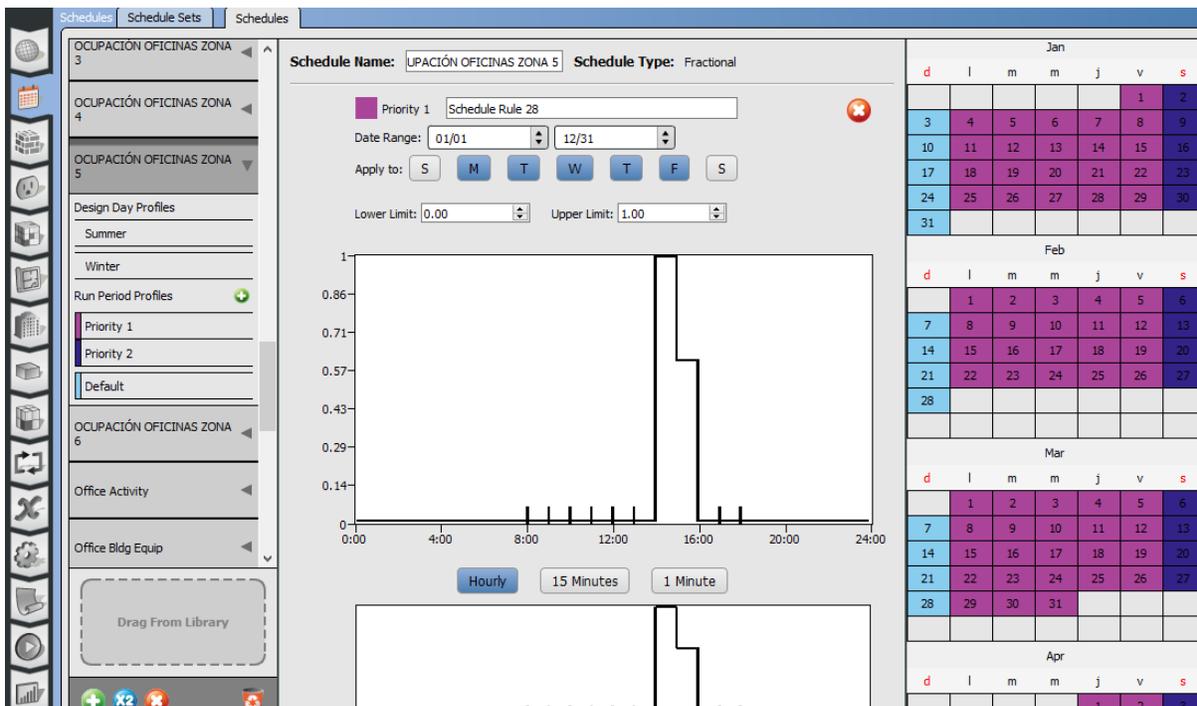


Figura 59.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 5. Días: Sábado

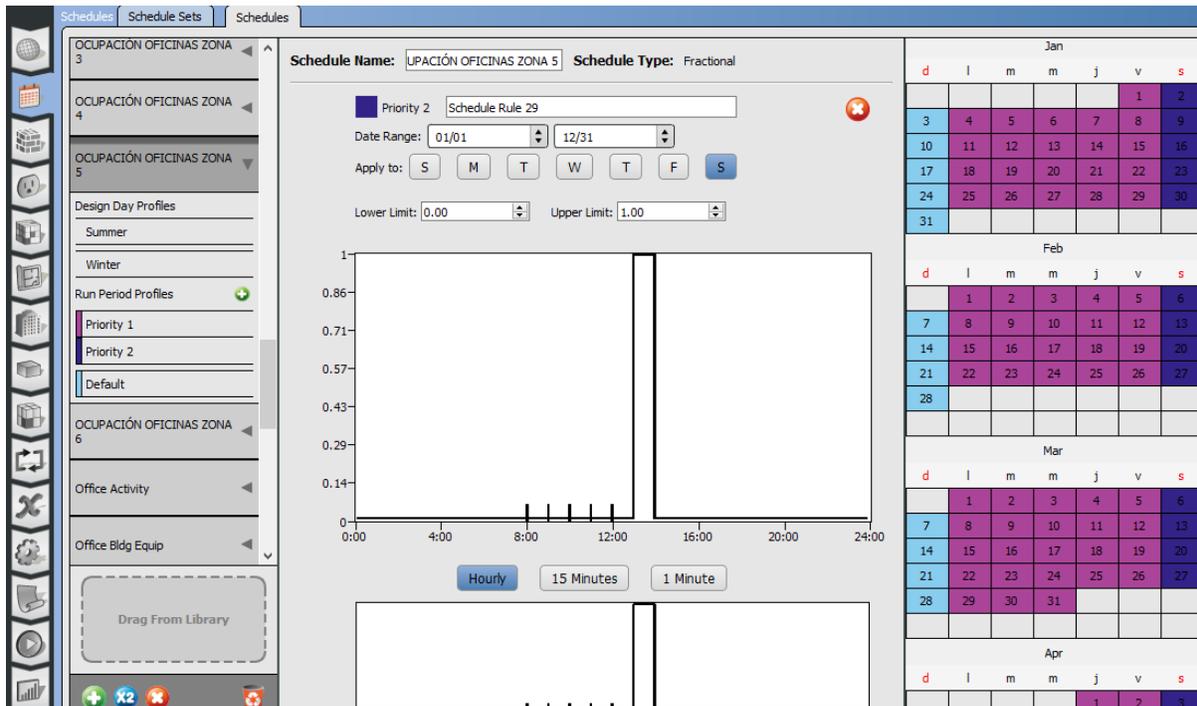


Figura 60.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 6. Días: Lunes-Viernes

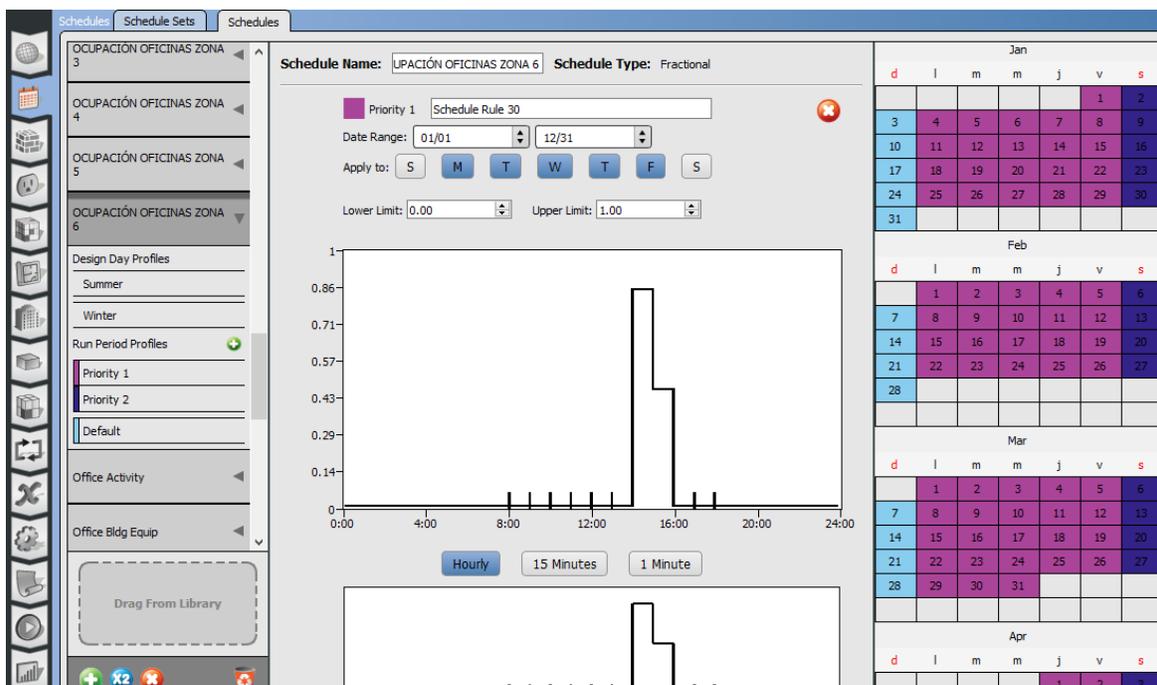


Figura 61.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de ocupación de personas en zona térmica 6. Días: Sábado

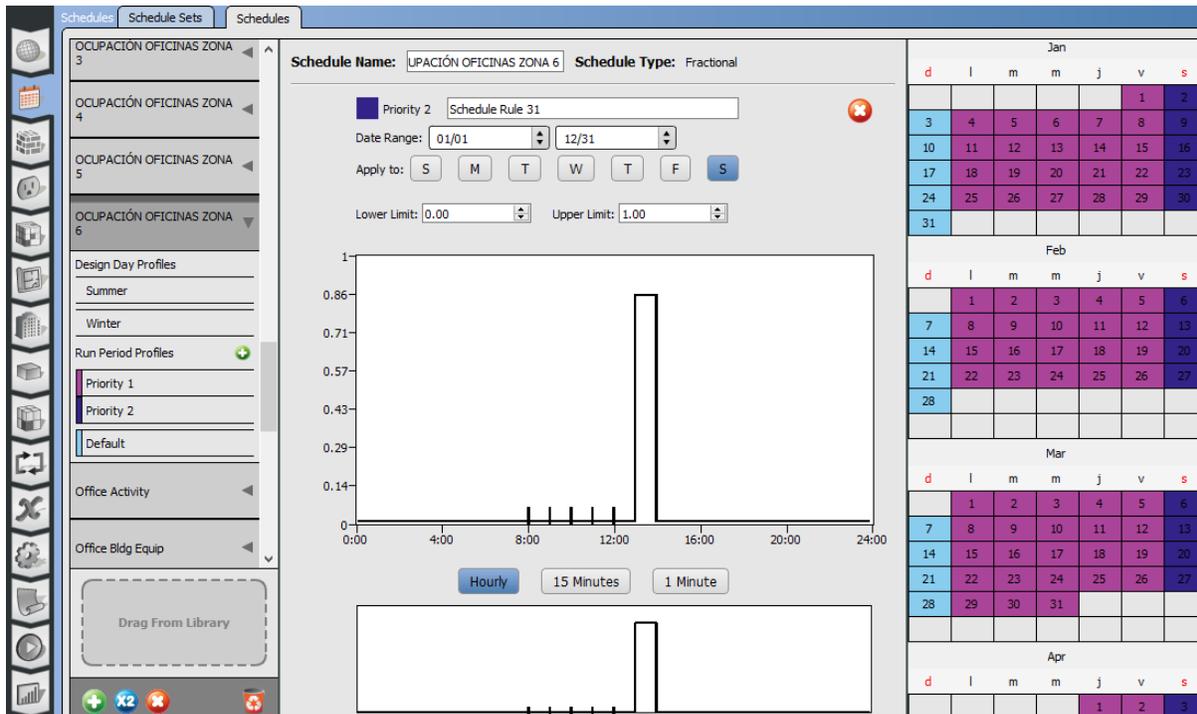


Figura 62.- Definición de horarios de ocupación de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de equipo electrónico.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 1. Días: Lunes-Viernes

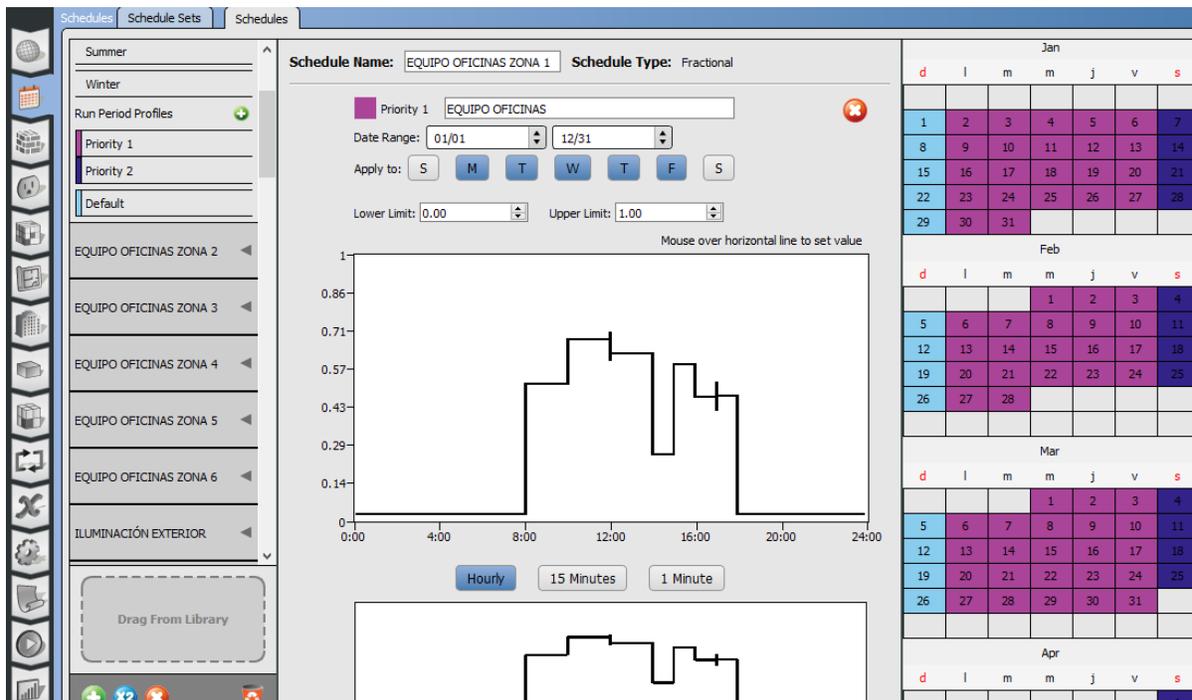


Figura 63.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 1. Días: Sábado

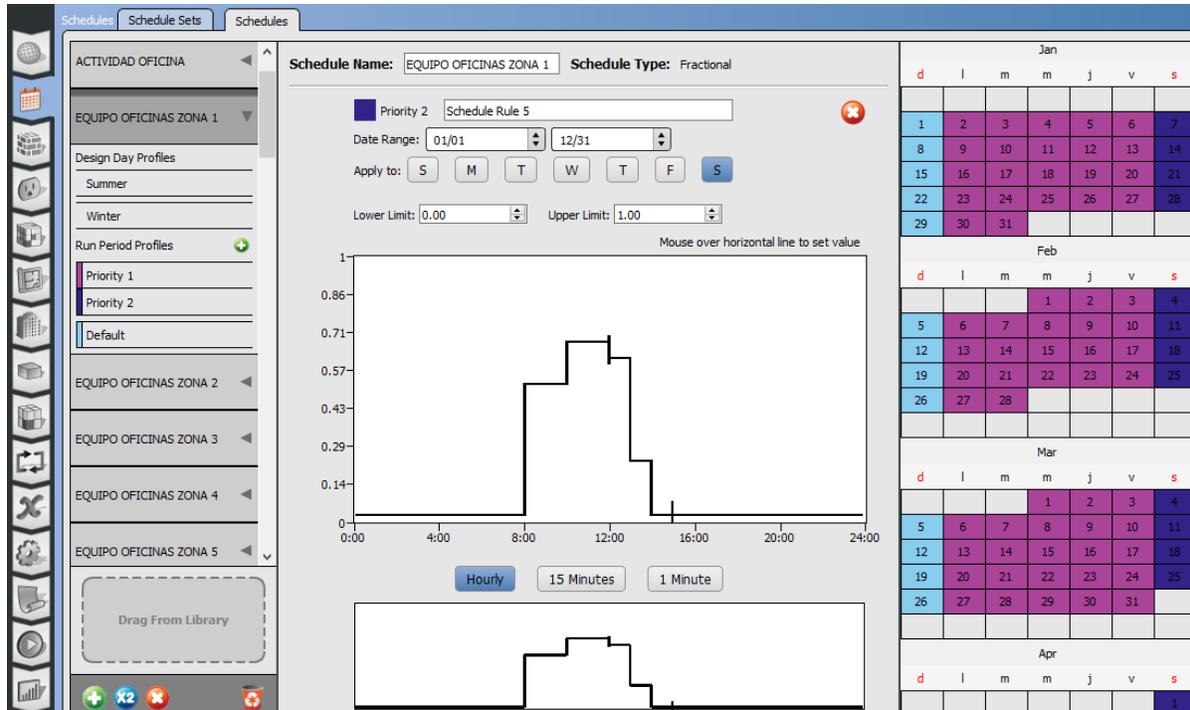


Figura 64.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 2. Días: Lunes-Viernes

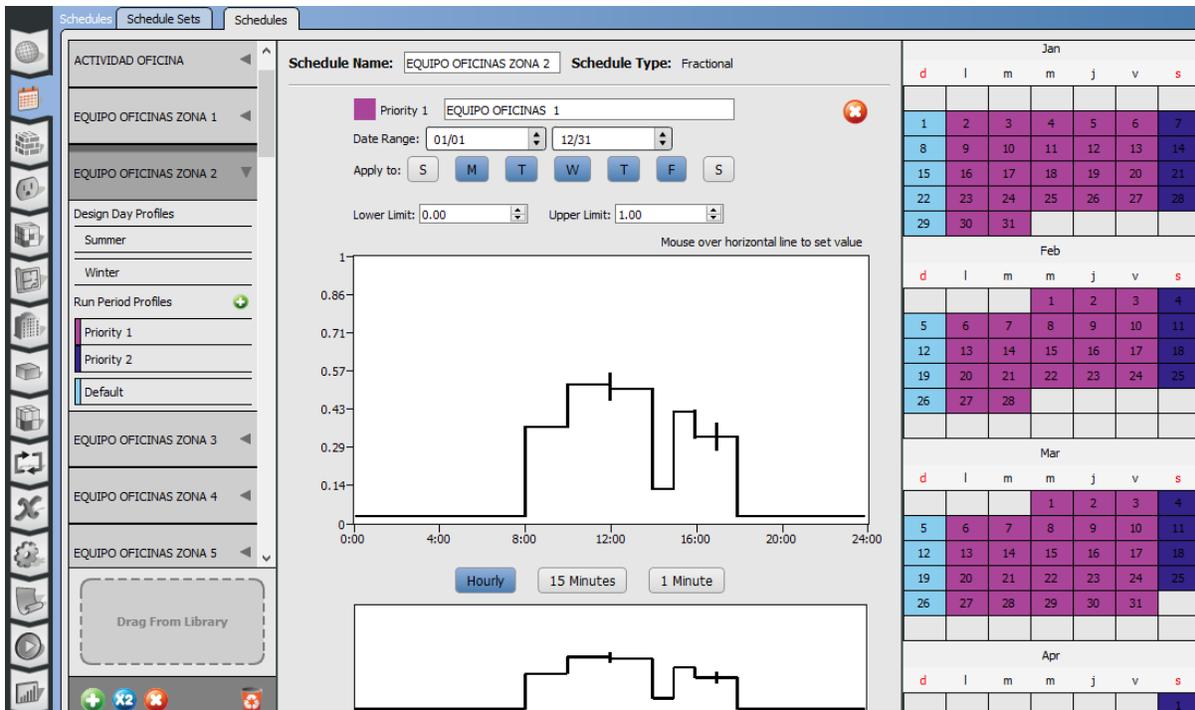


Figura 65.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 2. Días: Sábado

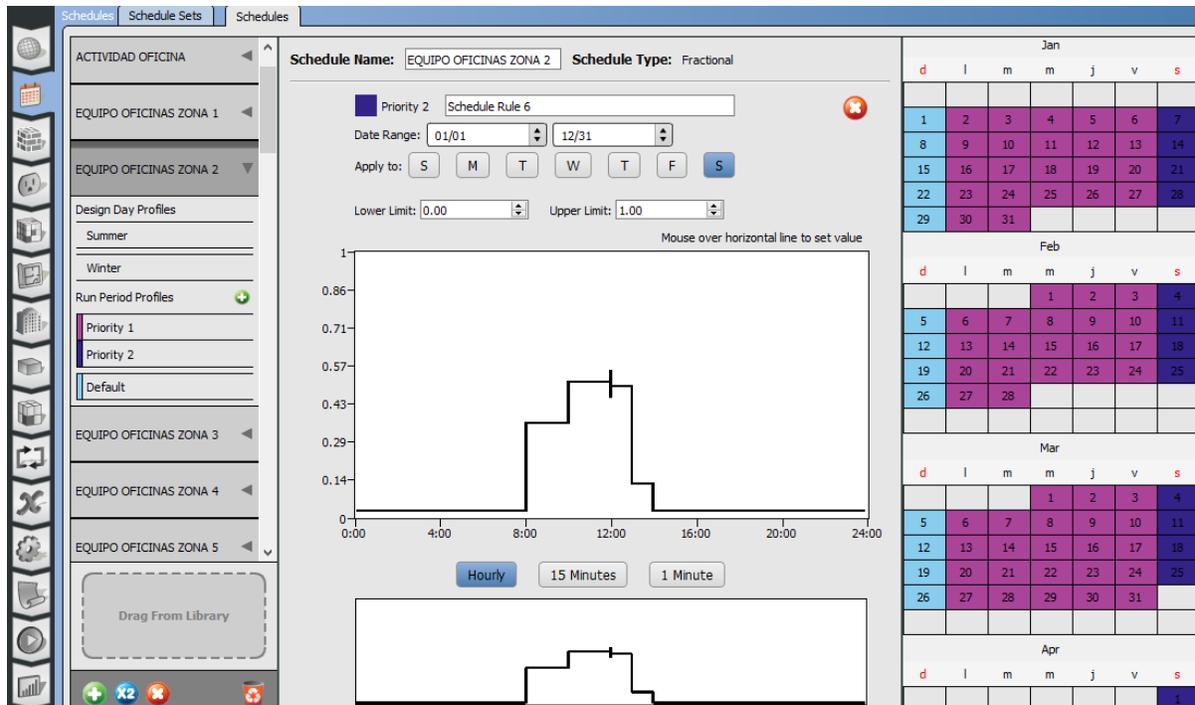


Figura 66.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 3. Días: Lunes-Viernes

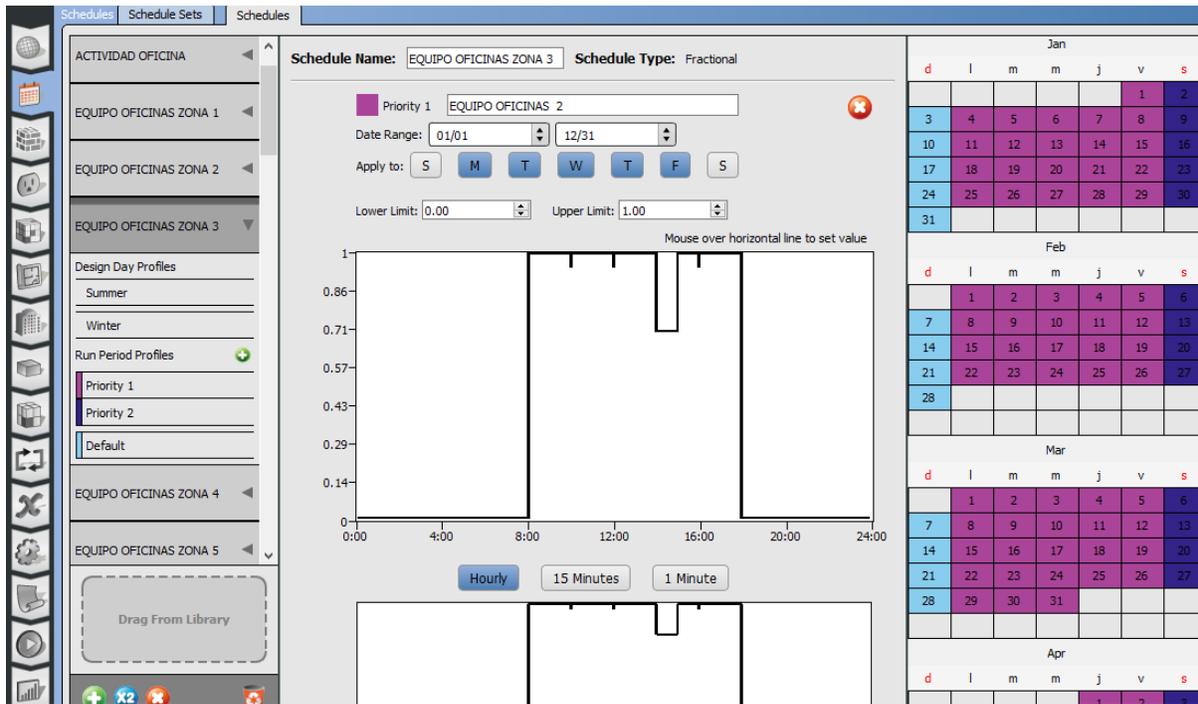


Figura 67.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 3. Días: Sábado

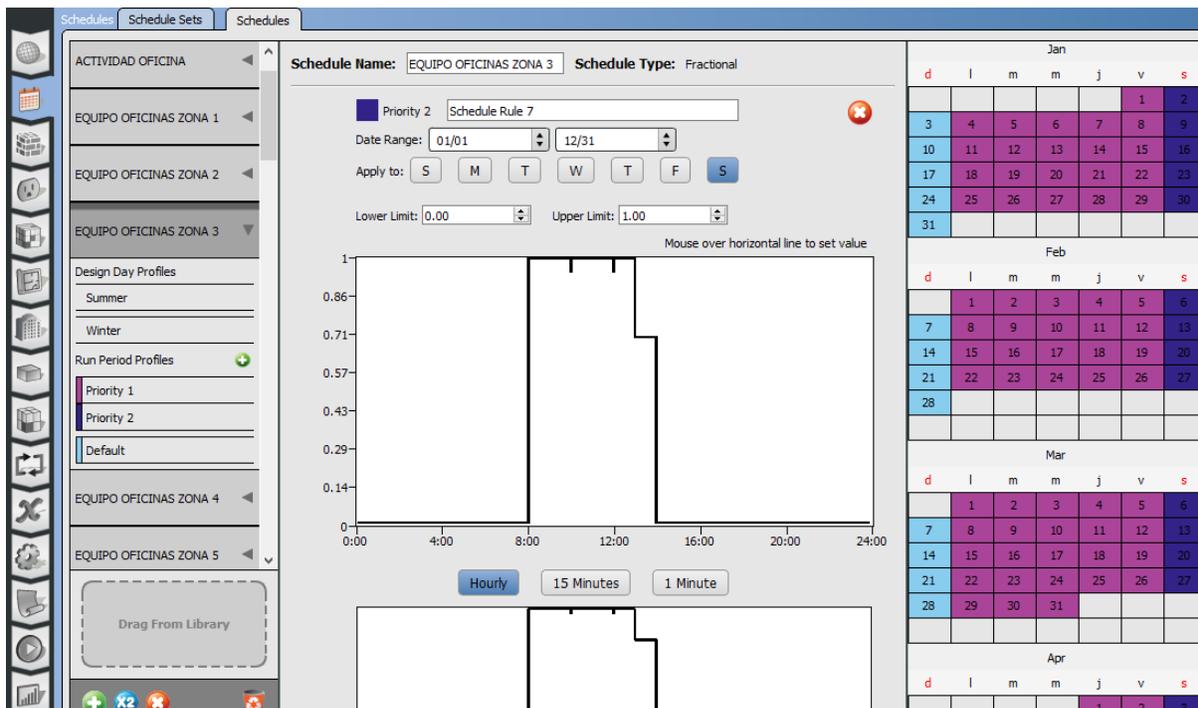


Figura 68.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 4. Días: Lunes-Viernes

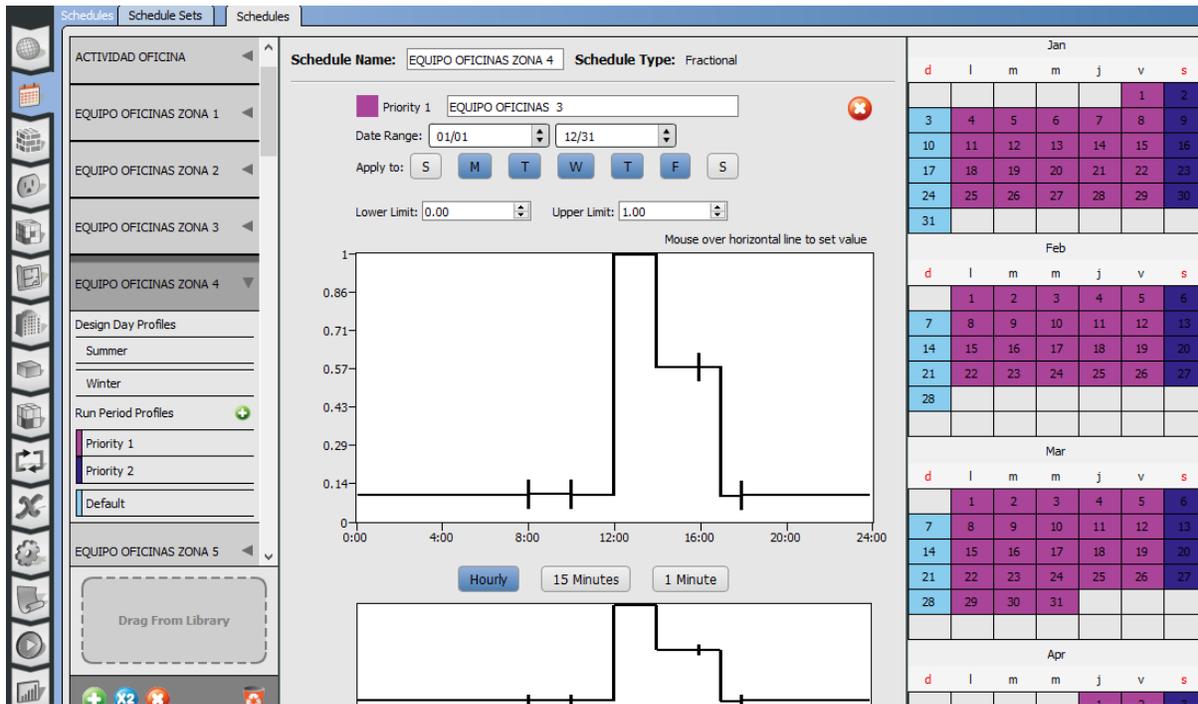


Figura 69.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 4. Días: Sábado

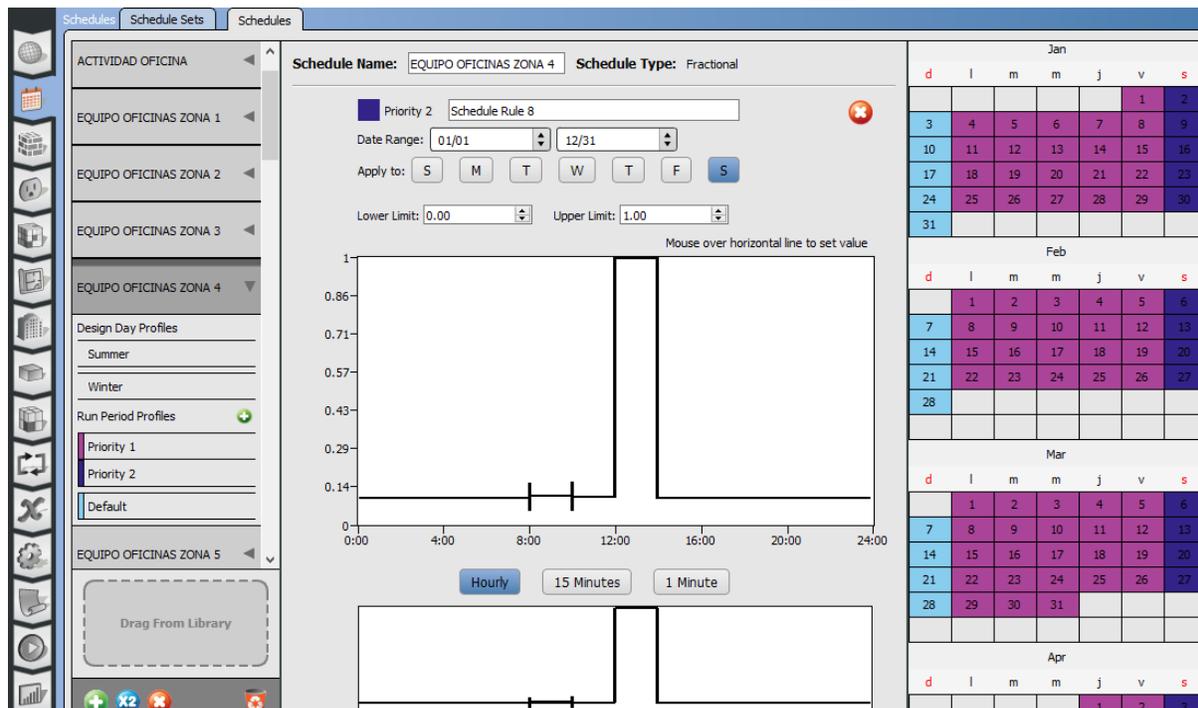


Figura 70.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 5. Días: Lunes-Viernes

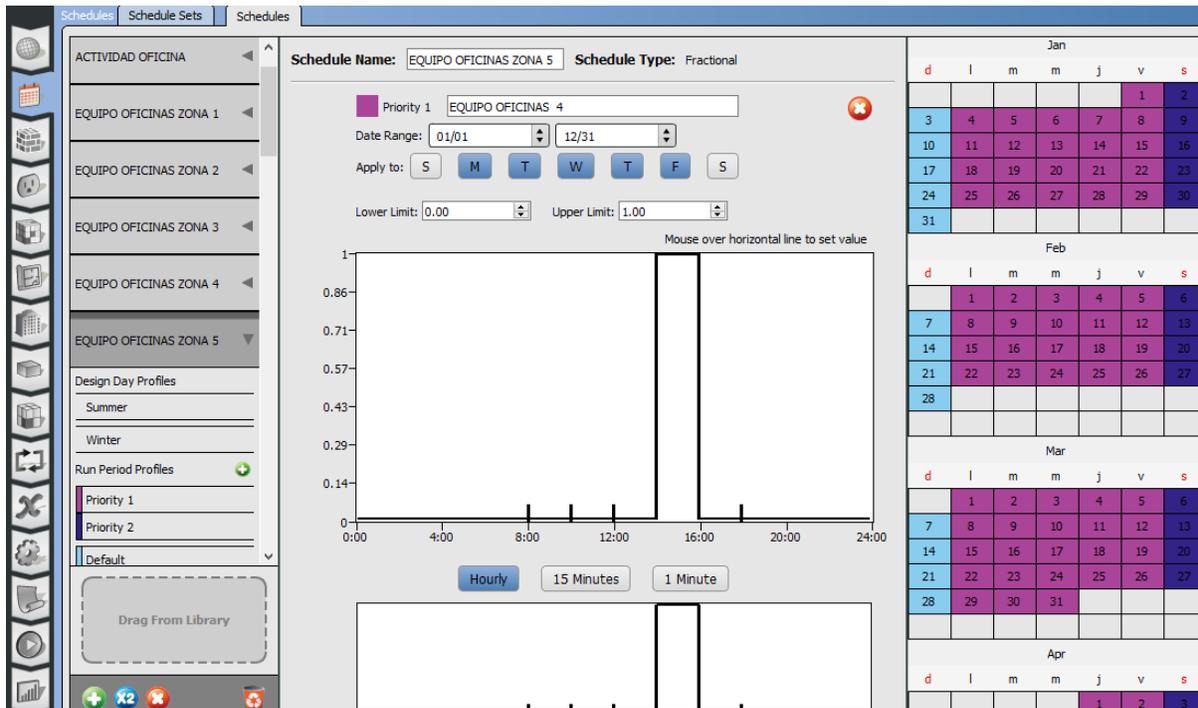


Figura 71.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 5. Días: Sábado

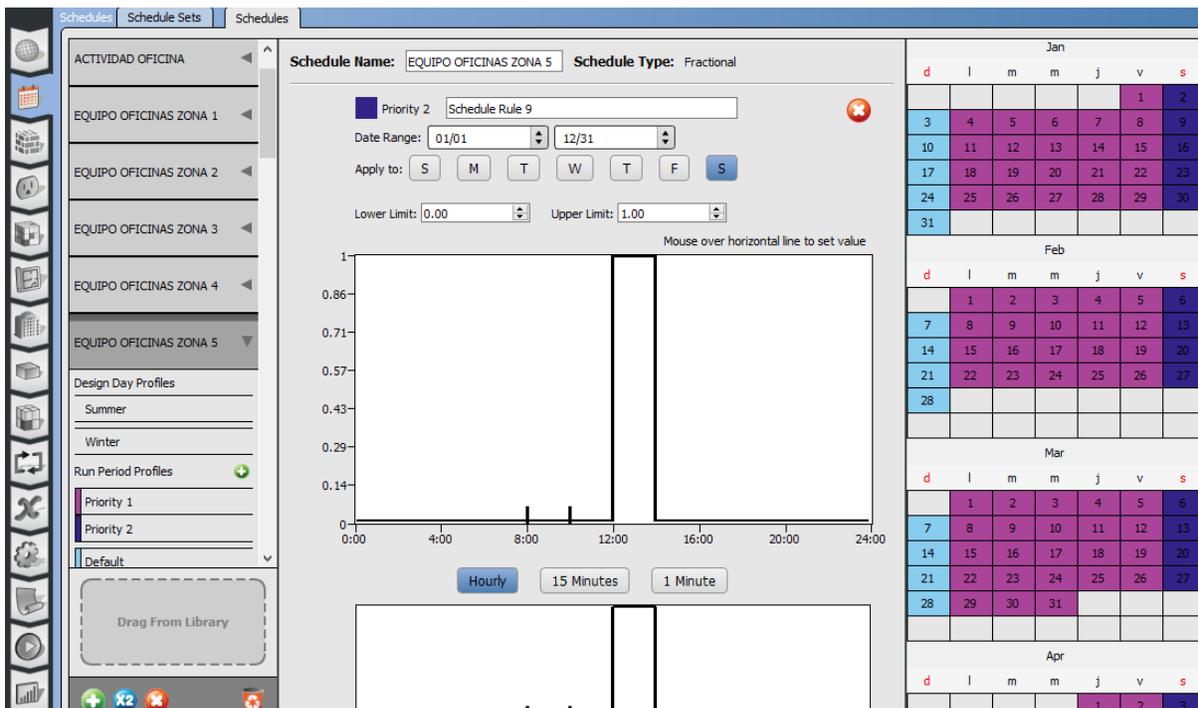


Figura 72.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de equipo electrónico en zona térmica 6. Todos los días

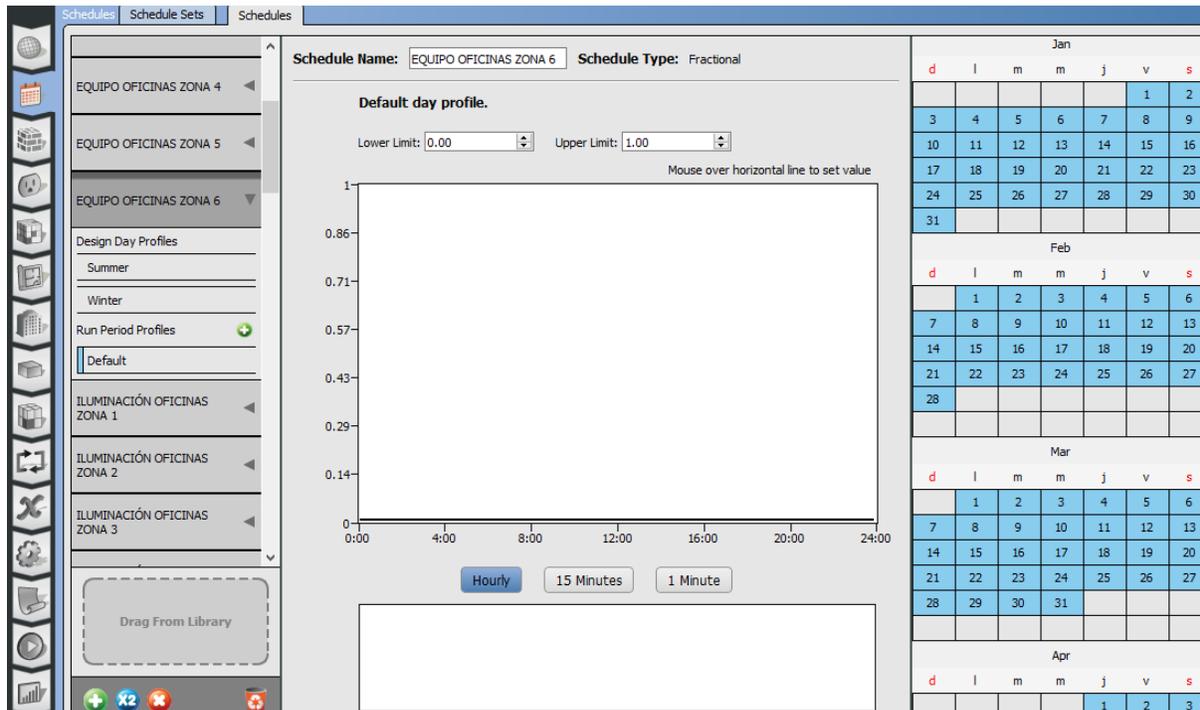


Figura 73.- Definición de horarios de uso de equipo electrónico en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de iluminación eléctrica.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 1. Días: Lunes-Viernes

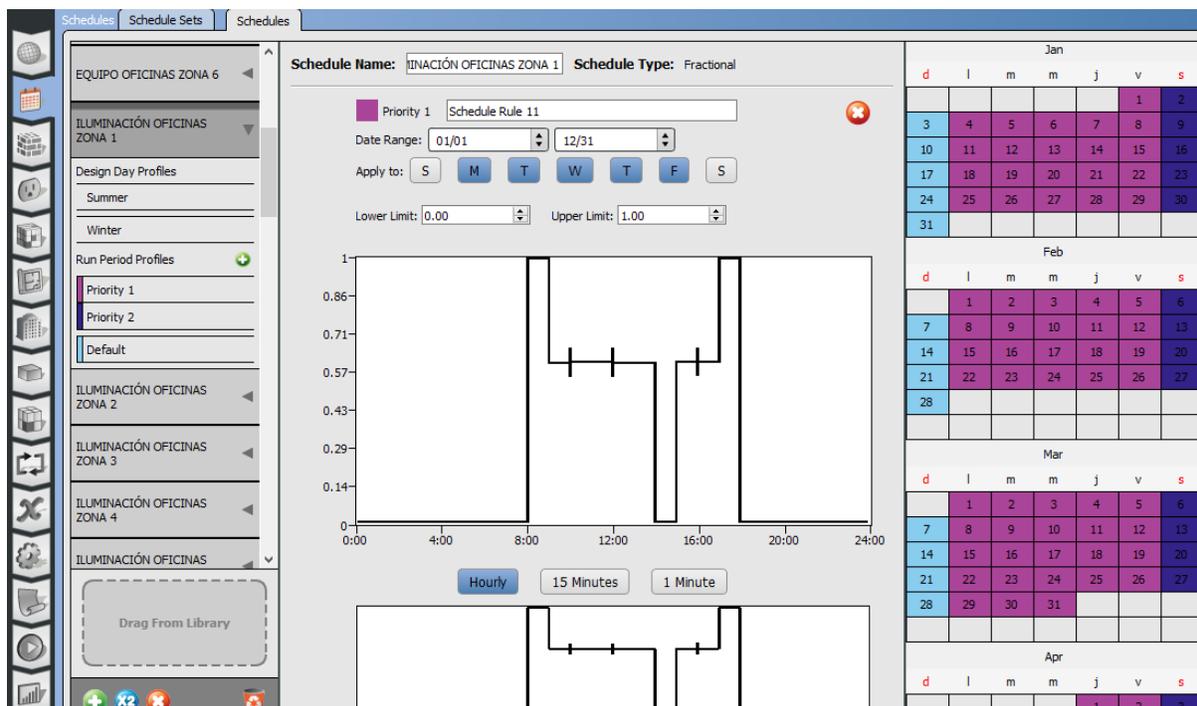


Figura 74.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 1. Días: Sábado

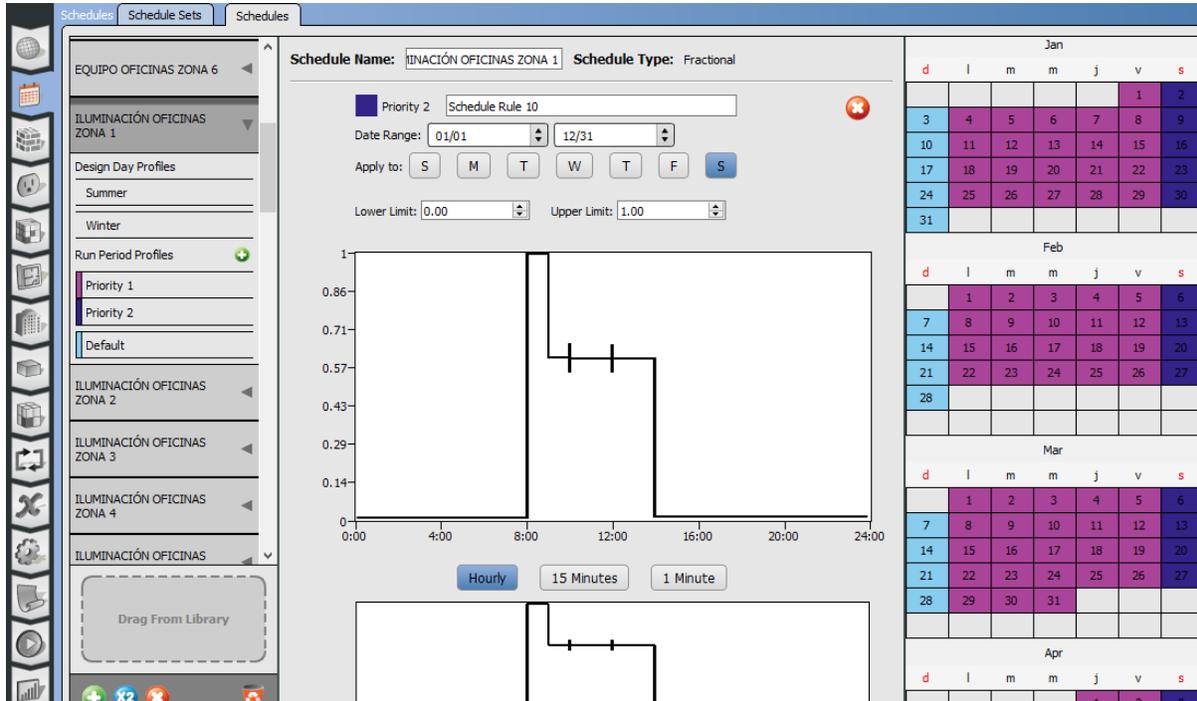


Figura 75.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 2. Días: Lunes-Viernes

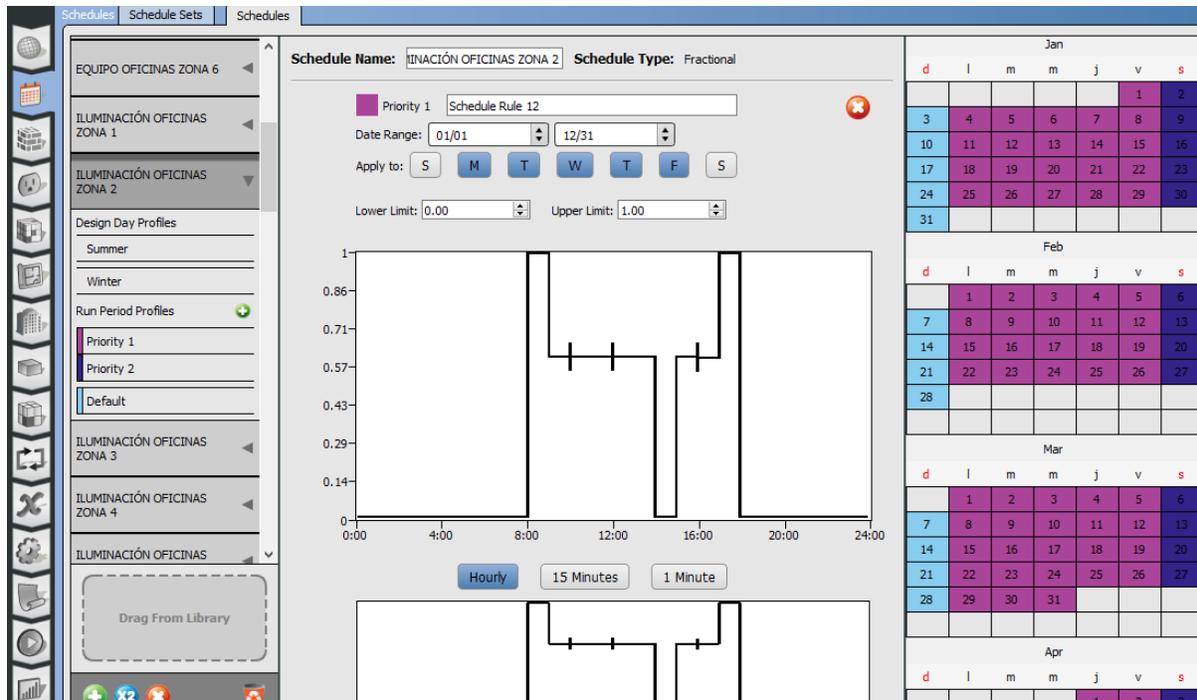


Figura 76.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 2. Días: Sábado

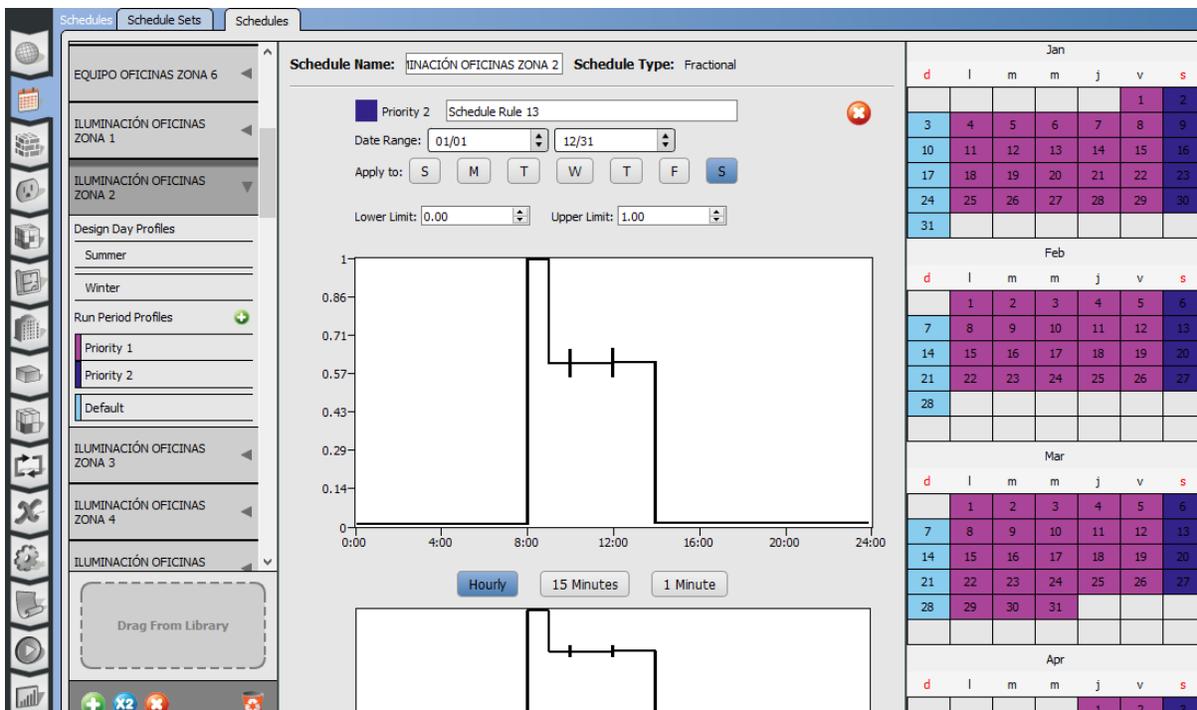


Figura 77.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 3. Días: Lunes-Viernes

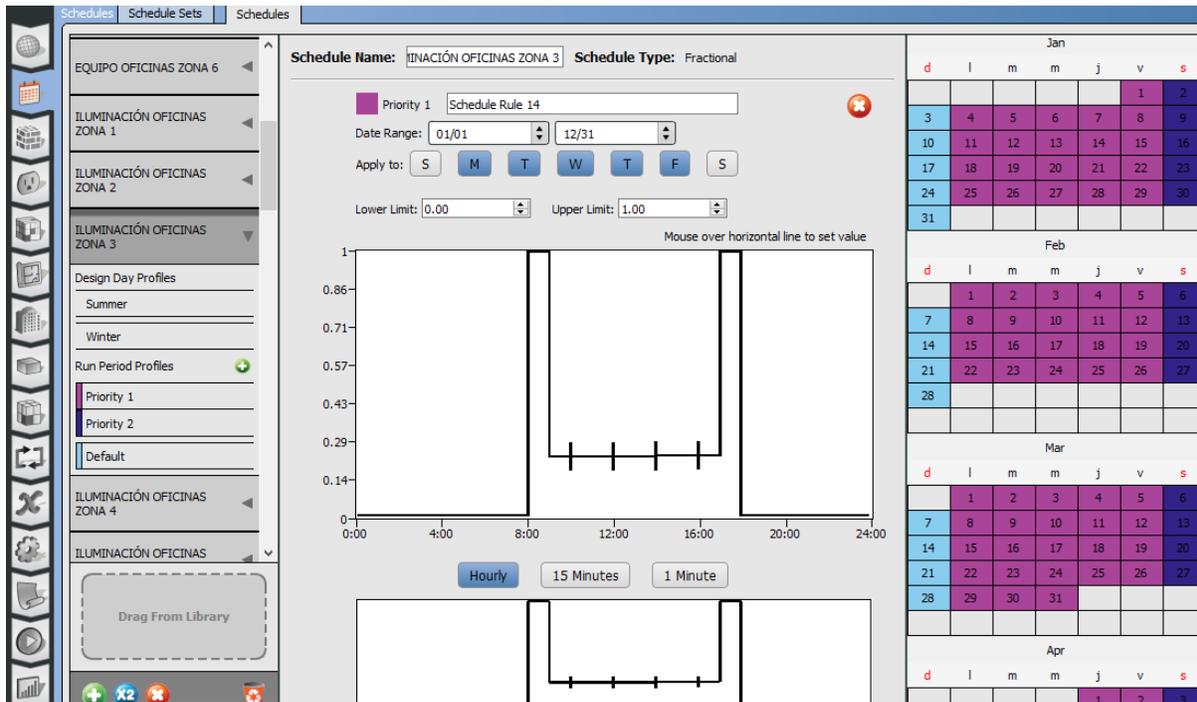


Figura 78.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 3. Días: Sábado

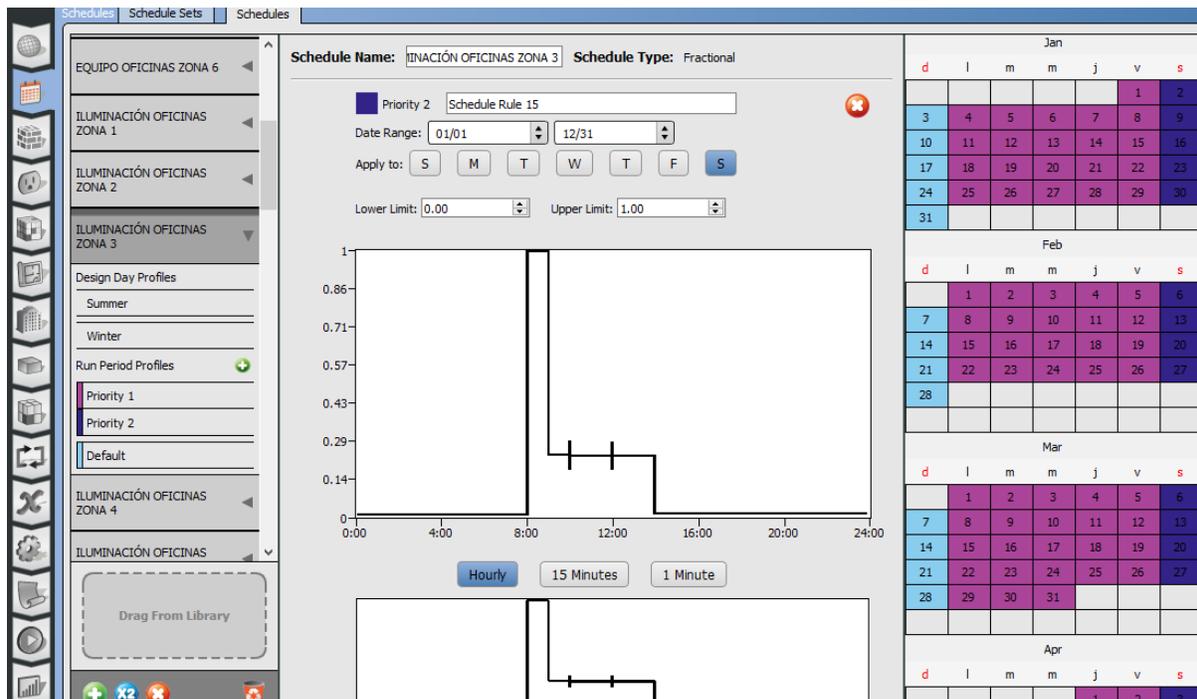


Figura 79.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 4. Días: Lunes-Viernes

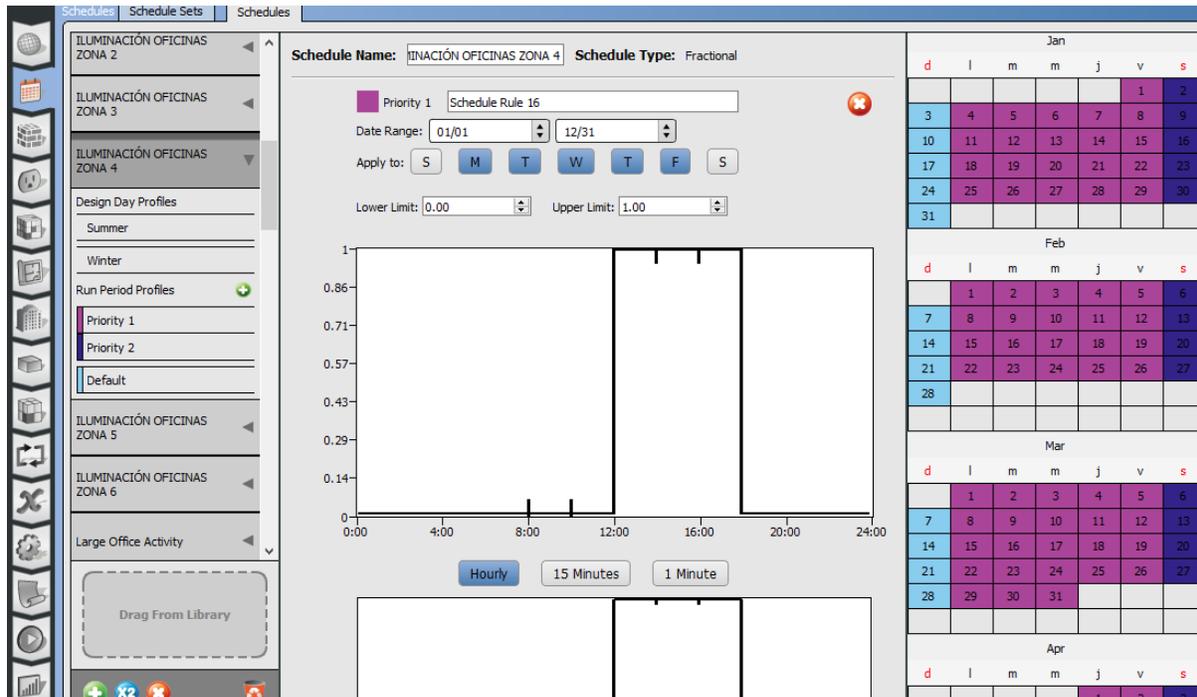


Figura 80.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 4. Días: Sábado

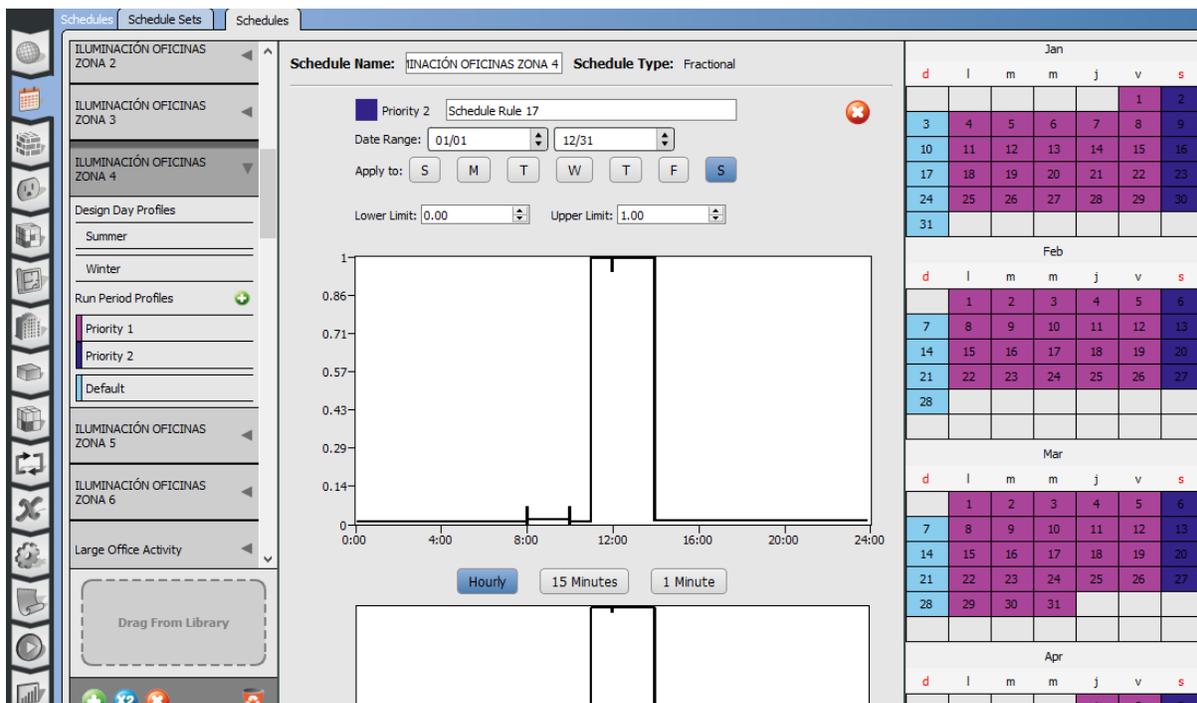


Figura 81.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 5. Días: Lunes-Viernes

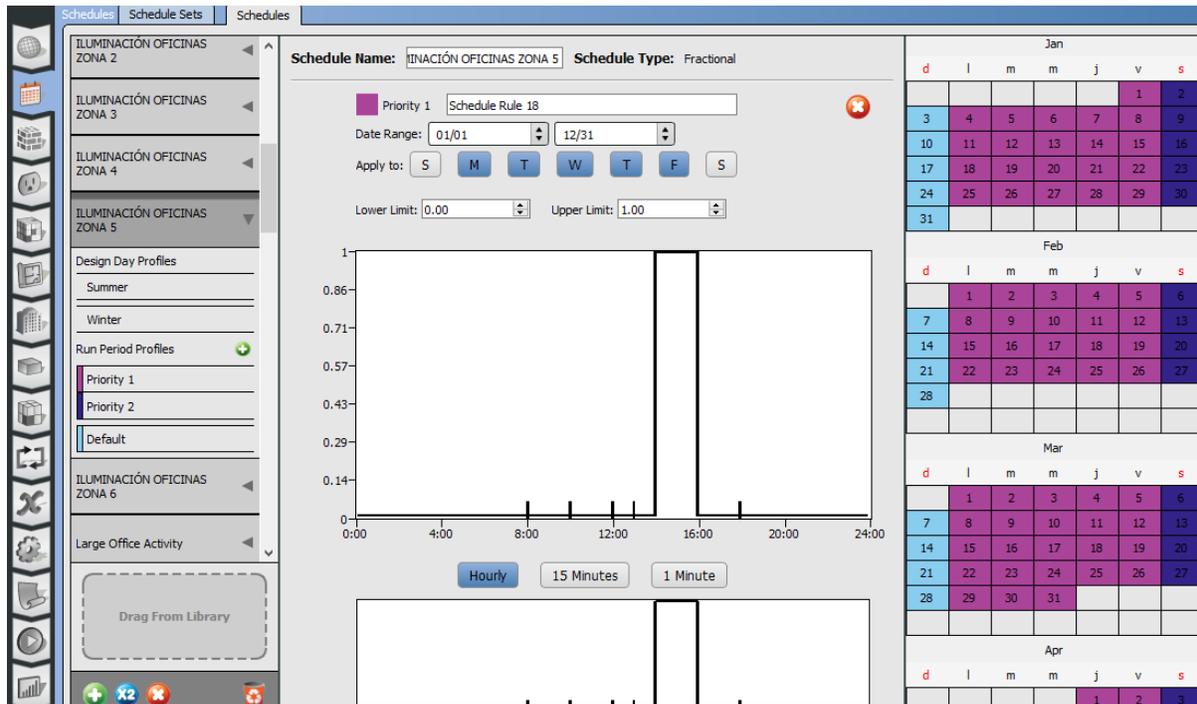


Figura 82.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 5. Días: Sábado

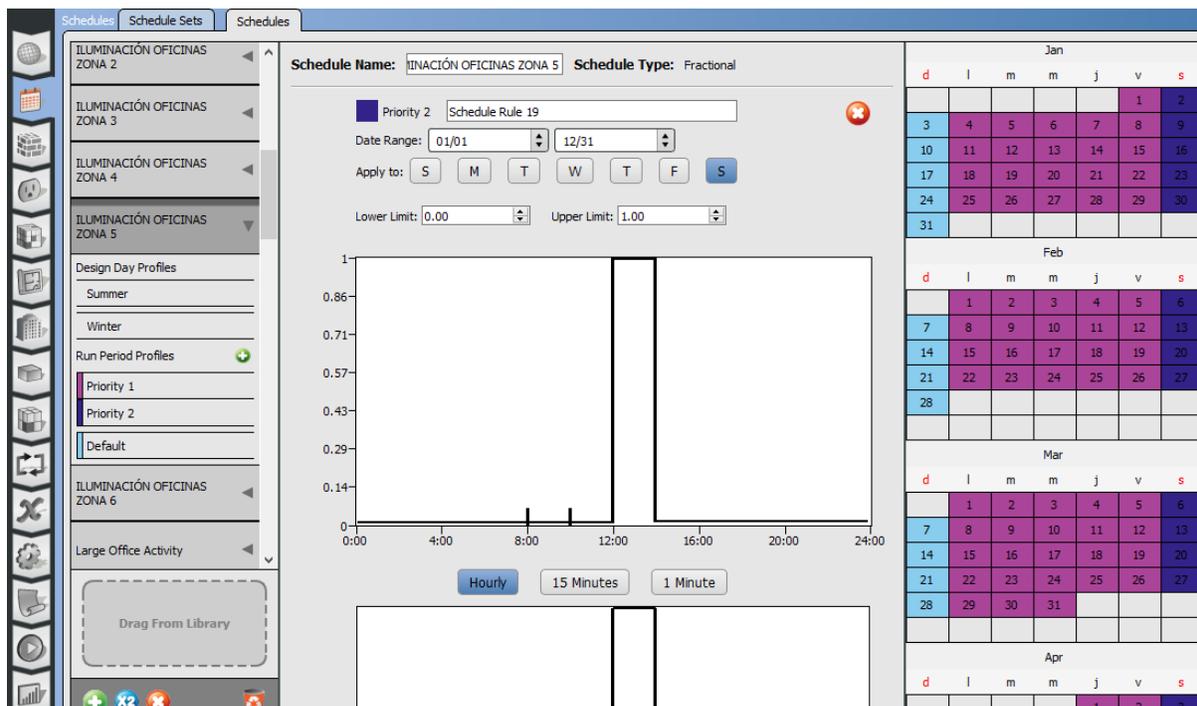


Figura 83.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 6. Días: Lunes-Viernes

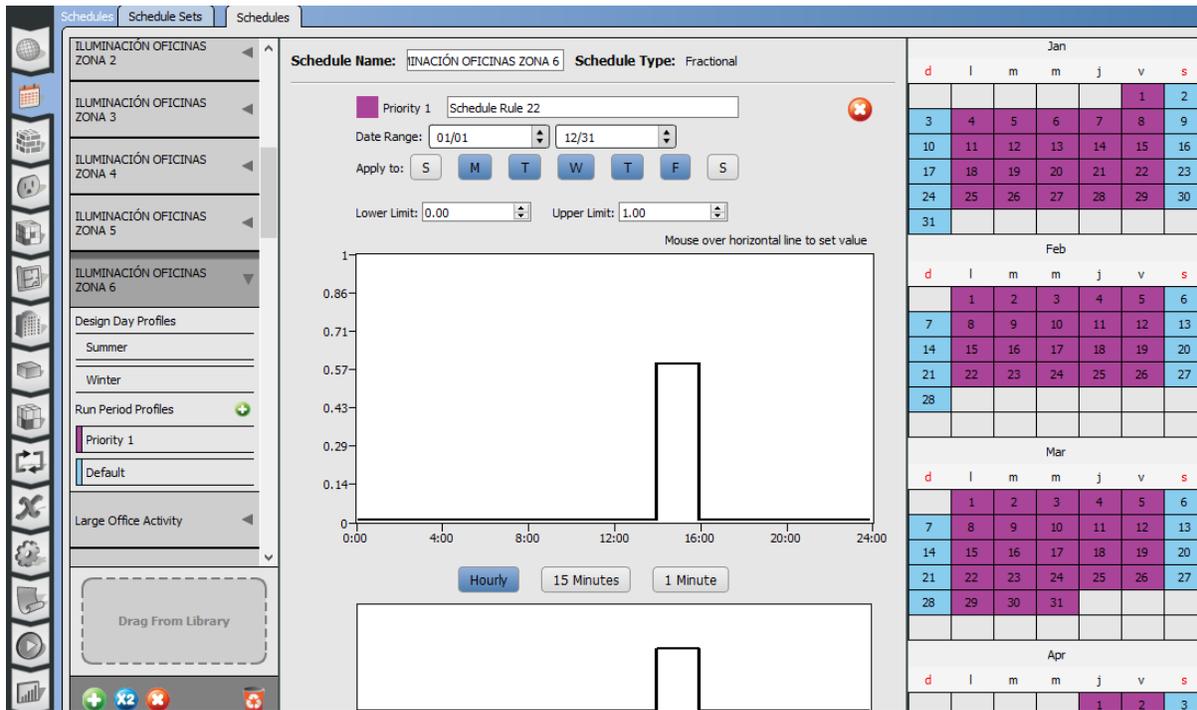


Figura 84.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de uso de iluminación eléctrica en zona térmica 6. Días: Sábado

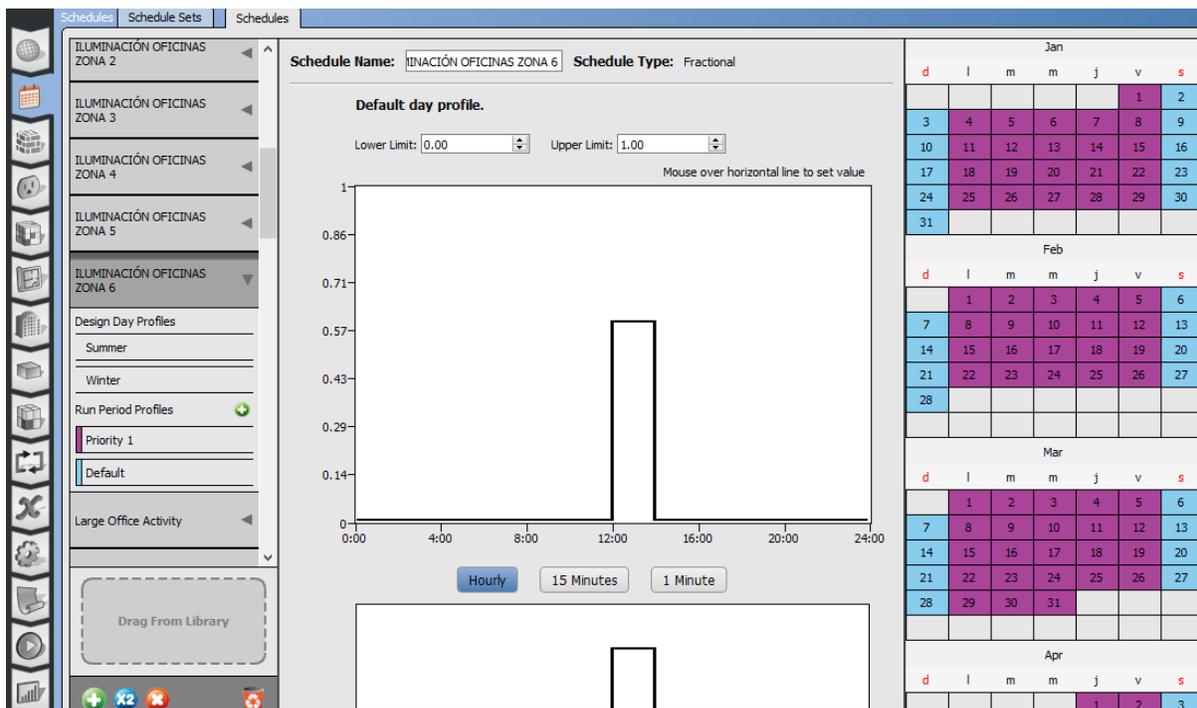


Figura 85.- Definición de horarios de uso de iluminación eléctrica en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Para las cargas térmicas de ocupación de personas es necesario definir un horario adicional del tipo “*Activity level*”. En este tipo de horario en vez de que en el eje Y se manejen porcentajes, ahora se manejan unidades de W/persona; se debe ingresar la cantidad de Watts que producen las personas en esa zona térmica de acuerdo a la actividad que se considera que estarán realizando.

Para determinar la cantidad de W/persona que se usaron en el modelo se consideró lo indicado en la tabla “*Rates of heat gain from ocupants of conditioned spaces*” del libro *Cooling and Heating Load Calculation Manual*. [112] En dicha tabla se indica que, para personas sentadas, escribiendo y haciendo trabajo ligero la tasa de generación de calor es de 75 W/persona; este valor se va a considerar para las zonas térmicas 1,2,3,5 y 6. Para la zona térmica 4 que es la cocina se consideró el valor indicado en la tabla para actividades de trabajo ligero de pie, el cual es una tasa de generación de calor de 90 W/persona.

Horarios de nivel de actividad de oficina.

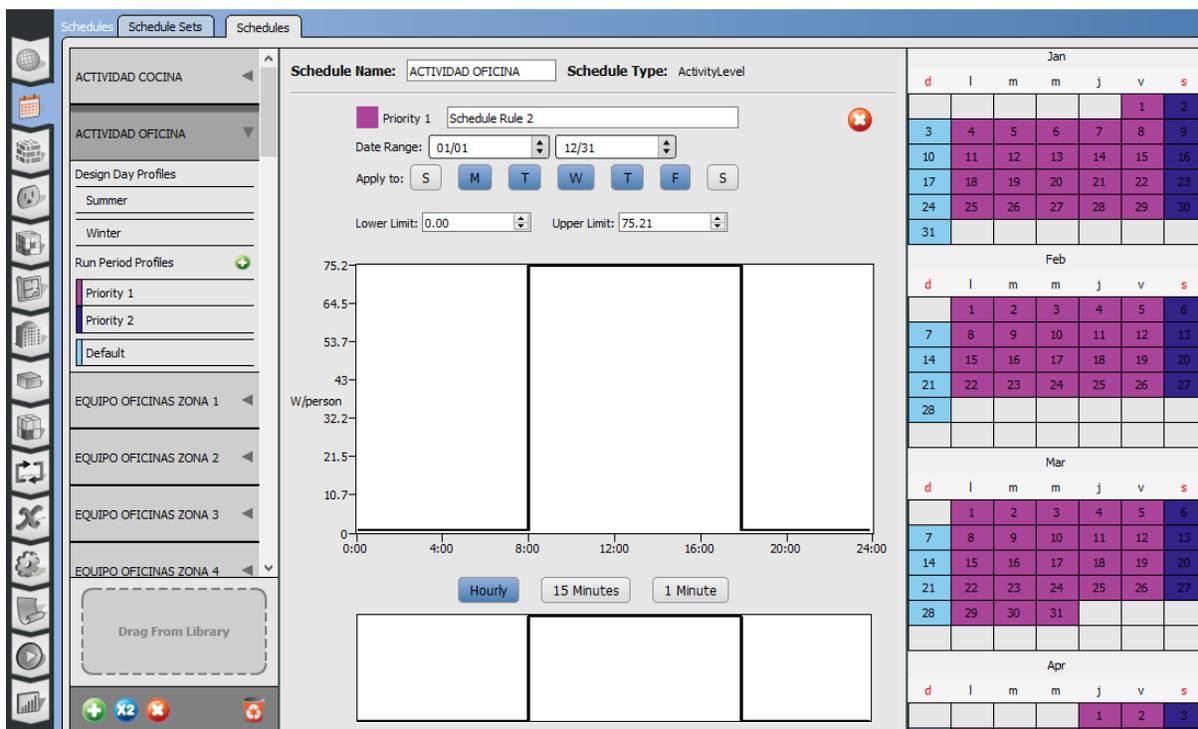


Figura 86.- Definición de nivel de actividad de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

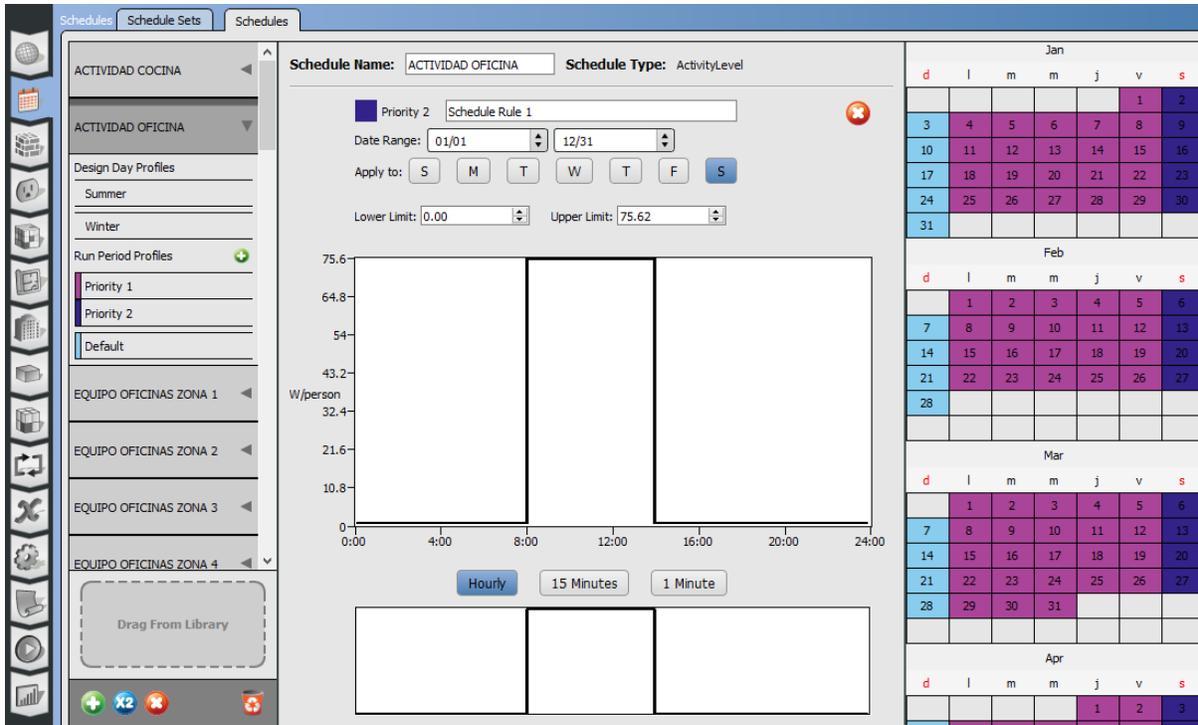


Figura 87.- Definición de nivel de actividad de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Horarios de nivel de actividad de cocina.

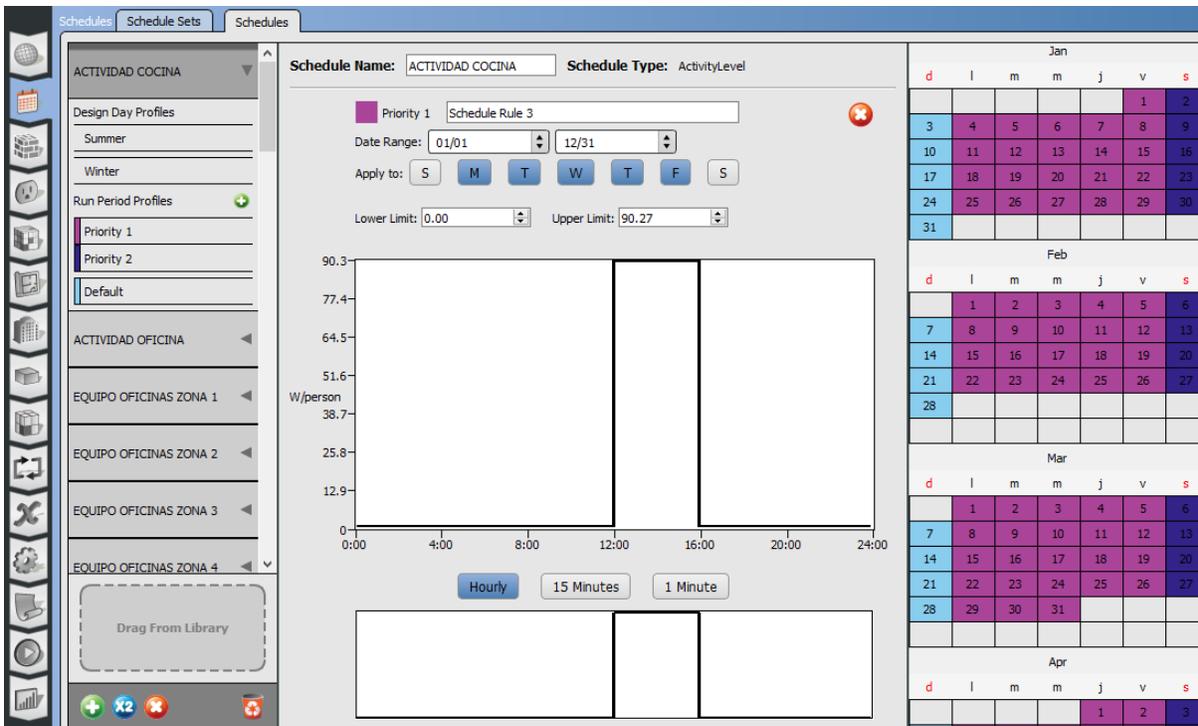


Figura 88.- Definición de nivel de actividad de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

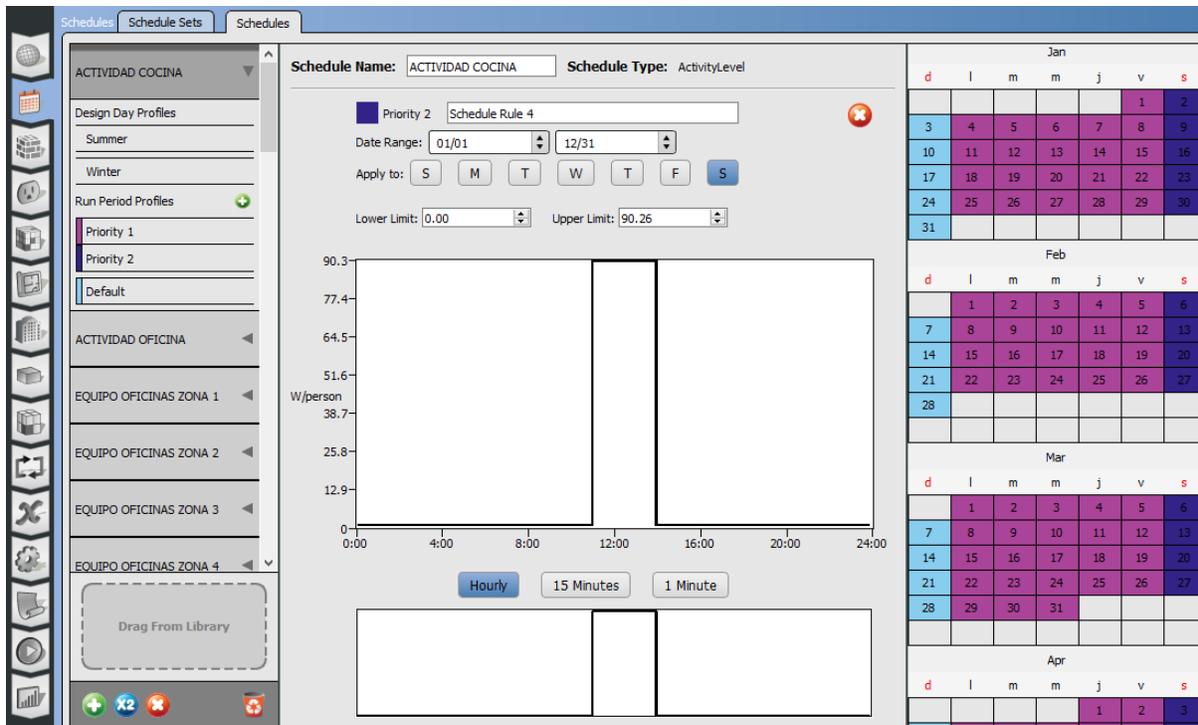


Figura 89.- Definición de nivel de actividad de personas en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Masas internas del edificio.

Este tipo de carga térmica interna se puede usar para definir todos los muros internos del edificio, sin necesidad de dibujarlos y hacer más complejo el modelo. Para asignar esta carga térmica es necesario indicar el tipo de material de la masa interna (en este caso fue el muro de paneles de poliestireno expandido) y también indicar el valor del área total del mismo.

En la sección 1.9.38 del documento “*Input Output Reference*” de *EnergyPlus* del Departamento de energía de EE. UU se menciona que: “...Si ambos lados de una pared están completamente dentro de la misma zona, entonces el área de ambos lados debe incluirse al describir esa pared interna.” (Departamento de energía de E.U.A, 2019)

Para determinar el área que se ingresará en la carga térmica de masa interna se calculará la superficie total de muros internos de la zona térmica y se multiplicará por dos, para hacer correctamente la consideración de ambas caras del muro como se mencionó anteriormente.

Masa interna de la zona térmica 1.

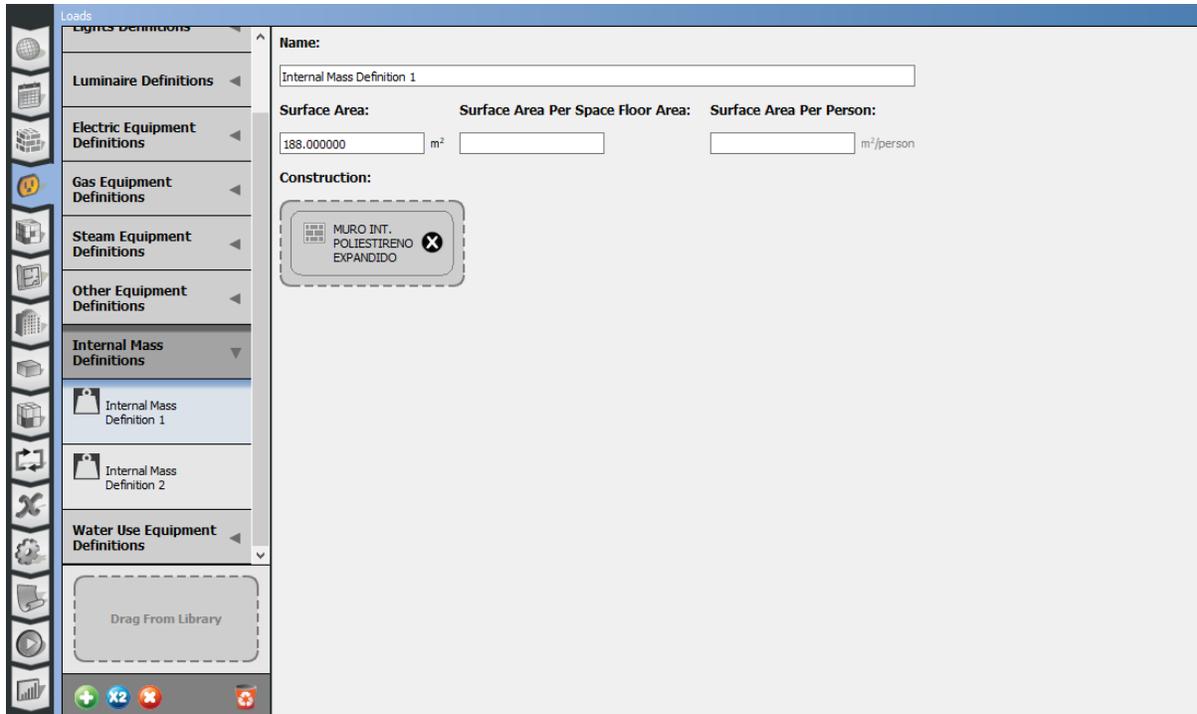


Figura 90.- Definición de masas internas del edificio en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Masa interna de la zona térmica 2.

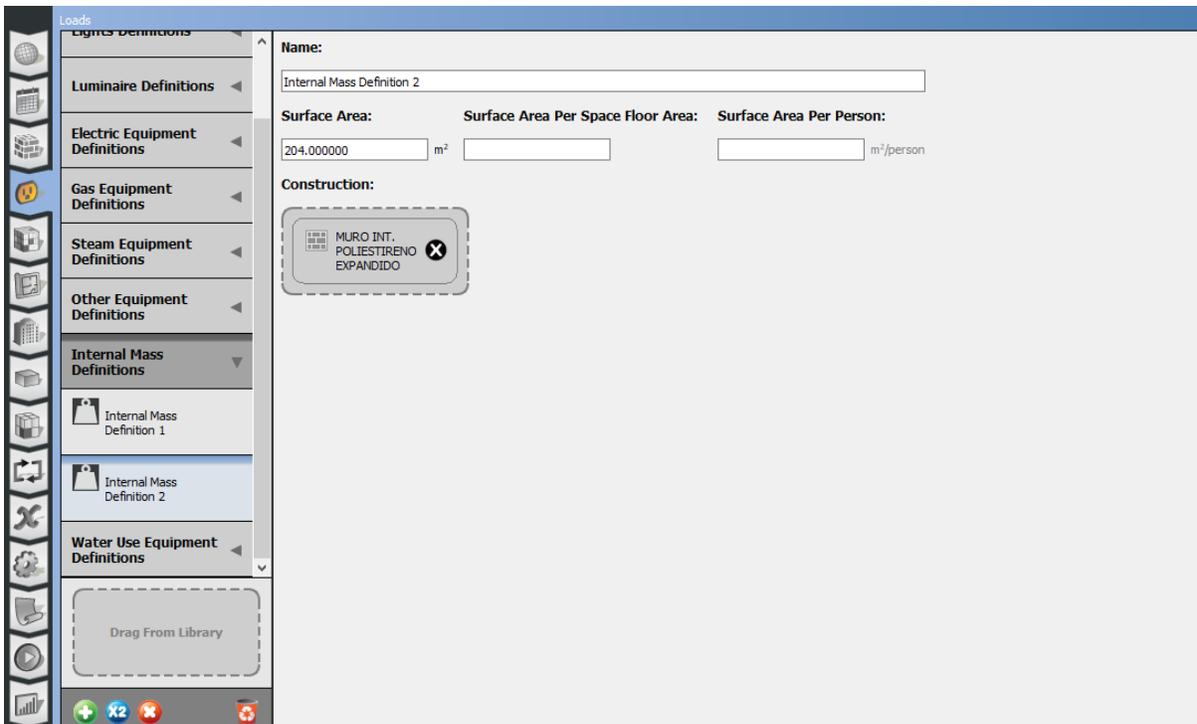


Figura 91.- Definición de masas internas del edificio en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Asignación de cargas térmicas y horarios en cada zona térmica.

Space Name	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
Space 1	Internal Mass 1	1.000000	Internal Mass Definition 1		
	People 1	1.000000	OFICINAS ZONA 1	OCUPACIÓN OFICINAS ZONA 1	ACTIVIDAD OFICINA
	Lights 1	1.000000	LUMINACIÓN OFICINAS ZONA 1	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 1	
	Electric Equipment 1	1.000000	EQUIPOS OFICINA ZONA 1	EQUIPO OFICINAS ZONA 1	
Space 2	Internal Mass 2	1.000000	Internal Mass Definition 2		
	People 2	1.000000	OFICINAS ZONA 2	Office Work Occ	ACTIVIDAD OFICINA
	Lights 2	1.000000	LUMINACIÓN OFICINAS ZONA 2	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 2	
	Electric Equipment 2	1.000000	EQUIPOS OFICINA ZONA 2	EQUIPO OFICINAS ZONA 2	
Space 3	People 3	1.000000	OFICINAS ZONA 3	OCUPACIÓN OFICINAS ZONA 3	ACTIVIDAD OFICINA
	Lights 3	1.000000	LUMINACIÓN OFICINAS ZONA 3	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 3	
	Electric Equipment 3	1.000000	EQUIPOS OFICINA ZONA 3	EQUIPO OFICINAS ZONA 3	

Figura 92.- Ingreso de cargas térmicas para cada espacio en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Space 3	Electric Equipment 2	1.000000	EQUIPOS OFICINA ZONA 2	EQUIPO OFICINAS ZONA 2	
	People 3	1.000000	OFICINAS ZONA 3	OCUPACIÓN OFICINAS ZONA 3	ACTIVIDAD OFICINA
	Lights 3	1.000000	LUMINACIÓN OFICINAS ZONA 3	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 3	
	Electric Equipment 3	1.000000	EQUIPOS OFICINA ZONA 3	EQUIPO OFICINAS ZONA 3	
Space 4	People 4	1.000000	OFICINAS ZONA 4	OCUPACIÓN OFICINAS ZONA 4	ACTIVIDAD COCINA
	Lights 4	1.000000	LUMINACIÓN OFICINAS ZONA 4	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 4	
	Electric Equipment 4	1.000000	EQUIPOS OFICINA ZONA 4	EQUIPO OFICINAS ZONA 4	
Space 5	People 5	1.000000	OFICINAS ZONA 5	OCUPACIÓN OFICINAS ZONA 5	ACTIVIDAD OFICINA
	Lights 5	1.000000	LUMINACIÓN OFICINAS ZONA 5	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 5	
	Electric Equipment 5	1.000000	EQUIPOS OFICINA ZONA 5	EQUIPO OFICINAS ZONA 5	
Space 6	People 6	1.000000	OFICINAS ZONA 6	OCUPACIÓN OFICINAS ZONA 6	ACTIVIDAD OFICINA
	Lights 6	1.000000	LUMINACIÓN OFICINAS ZONA 6	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 6	
	Electric Equipment 6	1.000000	EQUIPOS OFICINA ZONA 6	EQUIPO OFICINAS ZONA 6	

Figura 93.- Ingreso de cargas térmicas para cada espacio en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Después se exportó este documento a EnergyPlus para agregar los sistemas de aire acondicionado y otras características que en el entorno de OpenStudio no se pudieron definir.

EnergyPlus.

La información solicitada en el programa EnergyPlus para definir los objetos de simulación faltantes se definieron considerando las indicaciones de los documentos de EnergyPlus versión 9.1 *Input Output Reference* y *Engineering Reference*. [140]

La información que se solicitó en el programa se obtuvo de las fichas técnicas de los materiales y sistemas de los que se requirió; los datos a los que no se tuvieron acceso e información externa de las características de materiales y sistemas presentes en el edificio, se definieron con base en los valores que por defecto maneja el programa, o en su caso los que estipula la documentación de EnergyPlus versión 9.1.

Ventilación natural

Para determinar los gastos de diseño de ventilación natural se siguió el proceso del documento *CIBSE Applications Manual AM10 Natural ventilation in non-domestic buildings*.

Las ecuaciones que se usaron fueron la de ventilación de un solo lado a través de una ventana abierta impulsada por flotabilidad, y ventilación de un sólo lado a través de una ventana abierta, impulsada sólo por el viento.

$$A = \frac{q}{C_d} \sqrt{\frac{(T_i + 273)}{\Delta T g h}}$$

Figura 94.- Fórmula para obtener el área de la abertura para dar una tasa de ventilación especificada, para el caso de ventilación de un solo lado a través de una ventana abierta impulsada sólo por flotabilidad.

Fuente: CIBSE

$$A = q / C U$$

Figura 95.- Fórmula para obtener el área de la abertura para dar una tasa de ventilación especificada, para el caso de ventilación de un solo lado a través de una ventana abierta impulsada sólo por viento. Fuente: CIBSE

Donde:

A: área de cada abertura (m²)

q: tasa de ventilación (m³ • s⁻¹)

Cd: coeficiente de descarga (adimensional)

Ti: temperatura interna (° C)

ΔT : diferencia entre las temperaturas del aire interno y externo (K)

g: fuerza gravitacional por unidad de masa ($m \cdot s^{-2}$)

h: altura de la abertura (m)

U: velocidad del viento (m/s)

De las ecuaciones de las figuras 94 y 95 se despejó el valor de la tasa de ventilación (q), y se ingresó el valor ya conocido del área de las aberturas de las ventanas.

Los datos climáticos necesarios para el cálculo se obtuvieron de la página del Servicio Meteorológico Nacional y de los programas de CLIMWAT 2.0 y CROPWAT 8.0 como se indica en la sección de eficiencia en agua.

El dato de Cd se consideró como lo indica el documento *CIBSE Applications Manual AM10 Natural ventilation in non-domestic buildings*; donde menciona que para el caso de ventilación de un solo lado a través de una ventana abierta impulsada por flotabilidad el valor común de Cd es 0.25.

Resumen de valores

Variable	Valor
Temperatura exterior promedio (°C)	19.770
Temperatura interior promedio (°C)	24.000
Δ Temperatura (°C)	4.230
Velocidad viento (m/s)	0.315
Cdi (-)	0.250

Tabla 26.- Definición de variables para calcular la tasa de ventilación del edificio. Fuente: elaboración propia.

Los valores de área y altura de la ventana van variando dependiendo cada abertura del edificio, para el caso del área total de la abertura, se consideró una cuarta parte de ella como área efectiva; esto debido a que la ventana es corrediza y sólo se puede correr aire por la mitad de ella, y también se hizo el cálculo considerando la posible inclusión de una tela mosquitera, los cálculos se hicieron de esta manera para que en caso de que se incluyera dicha tela, el sistema de ventilación funcione adecuadamente aún con la reducción del caudal de aire proveniente de ventilación natural.

Resultados de Caudales de aire por zona térmica.

Espacio	Q aire (m3/s)
Zona térmica 1	1.2528
Zona térmica 2	1.3428

Zona térmica 3	0.0000
Zona térmica 4	0.0515
Zona térmica 5	0.0553
Zona térmica 6	0.0369

Tabla 27.- Caudales de aire calculados para cada zona térmica.
Fuente: elaboración propia.

Considerando los resultados de la tabla 27 como caudales máximos de diseño, se fueron variando los datos ingresados en EnergyPlus hasta encontrar los caudales que presentaran mejor rendimiento del edificio.

Definición de ventilación natural en EnergyPlus.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		VN1	VN2	VN3
Zone or ZoneList Name		Thermal Zone: Space 1	Thermal Zone: Space 2	Thermal Zone: Space 3
Schedule Name		OCUPACIÓN OFICINAS ZONA 1	OCUPACIÓN OFICINAS ZONA 2	OCUPACIÓN OFICINAS ZONA 3
Design Flow Rate Calculation Method		Flow/Zone	Flow/Zone	Flow/Zone
Design Flow Rate	m3/s	1.2	1.3	0
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow Rate per Person	m3/s-person			
Air Changes per Hour	1/hr			
Ventilation Type		Natural	Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa			
Fan Total Efficiency		1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient				
Velocity Term Coefficient				
Velocity Squared Term Coefficient				
Minimum Indoor Temperature	C	23.5	23.5	23.5
Minimum Indoor Temperature Schedule Name				
Maximum Indoor Temperature	C	28	28	28
Maximum Indoor Temperature Schedule Name				
Delta Temperature	deltaC	-100	-100	-100

Figura 96.- Ingreso de datos de ventilación natural en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Delta Temperature Schedule Name				
Minimum Outdoor Temperature	C	13	13	13
Minimum Outdoor Temperature Schedule Name				
Maximum Outdoor Temperature	C	24	24	24
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name				
Maximum Wind Speed	m/s	12	12	12

Figura 97.- Ingreso de datos de ventilación natural en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Field	Units	Obj4	Obj5	Obj6
Name		VN4	VN5	VN6
Zone or ZoneList Name		Thermal Zone: Space 4	Thermal Zone: Space 5	Thermal Zone: Space 6
Schedule Name		OCUPACI3N OFICINAS ZONA 4	OCUPACI3N OFICINAS ZONA 5	OCUPACI3N OFICINAS ZONA 6
Design Flow Rate Calculation Method		Flow/Zone	Flow/Zone	Flow/Zone
Design Flow Rate	m3/s	0.05	0.05	0.035
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow Rate per Person	m3/s-person			
Air Changes per Hour	1/hr			
Ventilation Type		Natural	Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa			
Fan Total Efficiency		1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient				
Velocity Term Coefficient				
Velocity Squared Term Coefficient				
Minimum Indoor Temperature	C	23.5	23.5	23.5
Minimum Indoor Temperature Schedule Name				
Maximum Indoor Temperature	C	28	28	28
Maximum Indoor Temperature Schedule Name				

Figura 98.- Ingreso de datos de ventilaci3n natural en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboraci3n propia.

Delta Temperature	deltaC	-100	-100	-100
Delta Temperature Schedule Name				
Minimum Outdoor Temperature	C	13	13	13
Minimum Outdoor Temperature Schedule Name				
Maximum Outdoor Temperature	C	24	24	24
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name				
Maximum Wind Speed	m/s	12	12	12

Figura 99.- Ingreso de datos de ventilaci3n natural en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboraci3n propia.

Sistema HVAC

HVAC, por sus siglas en ingl3s *Heating, Ventilating, Air Conditioned* (Calefacci3n, Ventilaci3n, Aire Acondicionado).

El sistema HVAC que se seleccion3 para el edificio es un aire acondicionado de flujo de refrigerante variable de la marca DAIKIN modelo VRV IV.

Para modelar este sistema de aire acondicionado es necesario agregar los siguientes objetos en EnergyPlus: HVACTemplate:System:VRF, HVACTemplate:Zone:VRF y HVACTemplate:Thermostat.

Para determinar la potencia de las unidades exteriores del sistema de aire acondicionado se simul3 dicho sistema en EnergyPlus, dejando todos los datos de entrada como predeterminados, y los datos referentes a la potencia de funcionamiento del aire acondicionado se ingresaron con la opci3n de tamaña autom3tico; despu3s de simular el programa se registraron las potencias de diseño que asign3 el programa como necesarias para el buen funcionamiento del sistema. Con esa informaci3n se busc3 entre los modelos del sistema de aire acondicionado el que mejor se ajusta a las exigencias del edificio.

El modelo que se eligi3 fue el modelo RHXYQ26AYL de 26 hp de potencia, que est3 formado por dos unidades que son RHXYQ10AYL y RHXYQ16AYL.

A continuaci3n se presenta un resumen de sus principales caracter3sticas.

Fuente de energía	Sistema de 3 fases, 4 cables, 380 V, 60 Hz
Capacidad de enfriamiento (kw)	73
Capacidad de calentamiento (kw)	81.5
Consumo de energía enfriamiento (kw)	16.7
Consumo de energía calefacción (kw)	17.8
Control de capacidad (%)	5-100
Tipo de compresor	Scroll hermético sellado
Salida de motor de compresor (kw)	(5.7×1)+((4.6+5.0)×1)
Flujo de aire (m3/min)	175+260
Dimensiones (Al. * An. * Prof.) (mm)	(1,657×930×765)+(1,657×1,240×765)
Tipo de refrigerante	R-410A
Carga de refrigerante (kg)	6.0+6.9
Conexión de tubería líquido (mm)	Φ 19.1 (conexión soldada)
Conexión de tubería gas (mm)	Φ 31.8 (conexión soldada)

Tabla 28.- Resumen de características del modelo RHXYQ26AYL del sistema VRV IV de Daikin [39]. Fuente: Daikin

Esta unidad exterior esta conectada a todas las unidades interiores que habrá en el edificio, habrá una en cada habitación del mismo.

Las unidades interiores que se eligieron fueron las siguientes:

- Unidad cassette montado en techo (compacto multi-flujo) Modelo FXZQ32MVE para las salas de juntas, terraza y recepción
- Unidad Cassette montado en el techo (Doble vía) FXCQ63MVE para comedor y la cocina
- Unidad cassette montado en techo (compacto multi-flujo) Modelo FXZQ20MVE para las demás habitaciones del edificio.

A continuación, se agrega un resumen de sus principales características

Modelo	FXZQ32MVE	FXCQ63MVE	FXZQ20MVE
Capacidad de enfriamiento (kw)	3.6	7.1	2.2
Capacidad de calentamiento (kw)	4	8	2.5
Consumo de energía enfriamiento (kw)	0.08	0.157	0.075
Consumo de energía calefacción (kw)	0.073	0.124	0.069
Flujo de aire (m3/min)	9.5/7.5	16.5/13	9/7
Dimensiones (Al. * An. * Prof.) (mm)	286×575×575	305×1,175×600	286×575×575

Conexión de tubería líquido (mm)	Φ 6.4	Φ 9.5	Φ 6.4
Conexión de tubería gas (mm)	Φ 12.7	Φ 15.9	Φ 12.7

Tabla 29.- Resumen de las características de los modelos FXZQ32MVE, FXCQ63MVE, y FXZQ20MVE, de las unidades interiores para el sistema VRV IV de Daikin [39]. Fuente: Daikin.

HVACTemplate:Thermostat.

En el documento “*Input Output Reference*” de la documentación de EnergyPlus versión 9.1 se menciona lo siguiente:

El objeto permite que los puntos de ajuste se especifiquen como una constante para toda la simulación o como programaciones. Referenciado los horarios deben definirse en otra parte del idf. (Departamento de energía de E.U.A, 2019)

Los puntos de ajuste para calefacción y refrigeración sirven para considerar un rango de temperaturas en la simulación, en esta ocasión se busca que dicho rango de temperatura sea el adecuado para las condiciones de confort de acuerdo a lo que indique la documentación de certificación *LEED* v4.

En el crédito de “Calidad de ambiente interior: Confort Térmico” de *LEED* v4 para diseño y construcción de edificios, se indica que los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado se deben diseñar para cumplir con los requisitos de la norma ASHRAE 55-2010 “Condiciones de confort térmico para la ocupación humana”.

El rango de confort para la simulación energética del edificios se consideró de acuerdo a la figura 5.2.1.1 *Graphic Comfort Zone Method: Acceptable range of operative temperature and humidity for spaces that meet the criteria specified in Section 5.2.1.1 (1.1 met; 0.5 and 1.0 clo)—(a) I-P and (b) SI.* de la norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 [9].

Se muestran dos zonas: una para 0.5 clo de aislamiento de ropa y otra para 1.0 clo de aislamiento. Estos niveles de aislamiento representan los casos típicos de la ropa que se usa cuando el ambiente exterior es cálido y fresco, respectivamente.

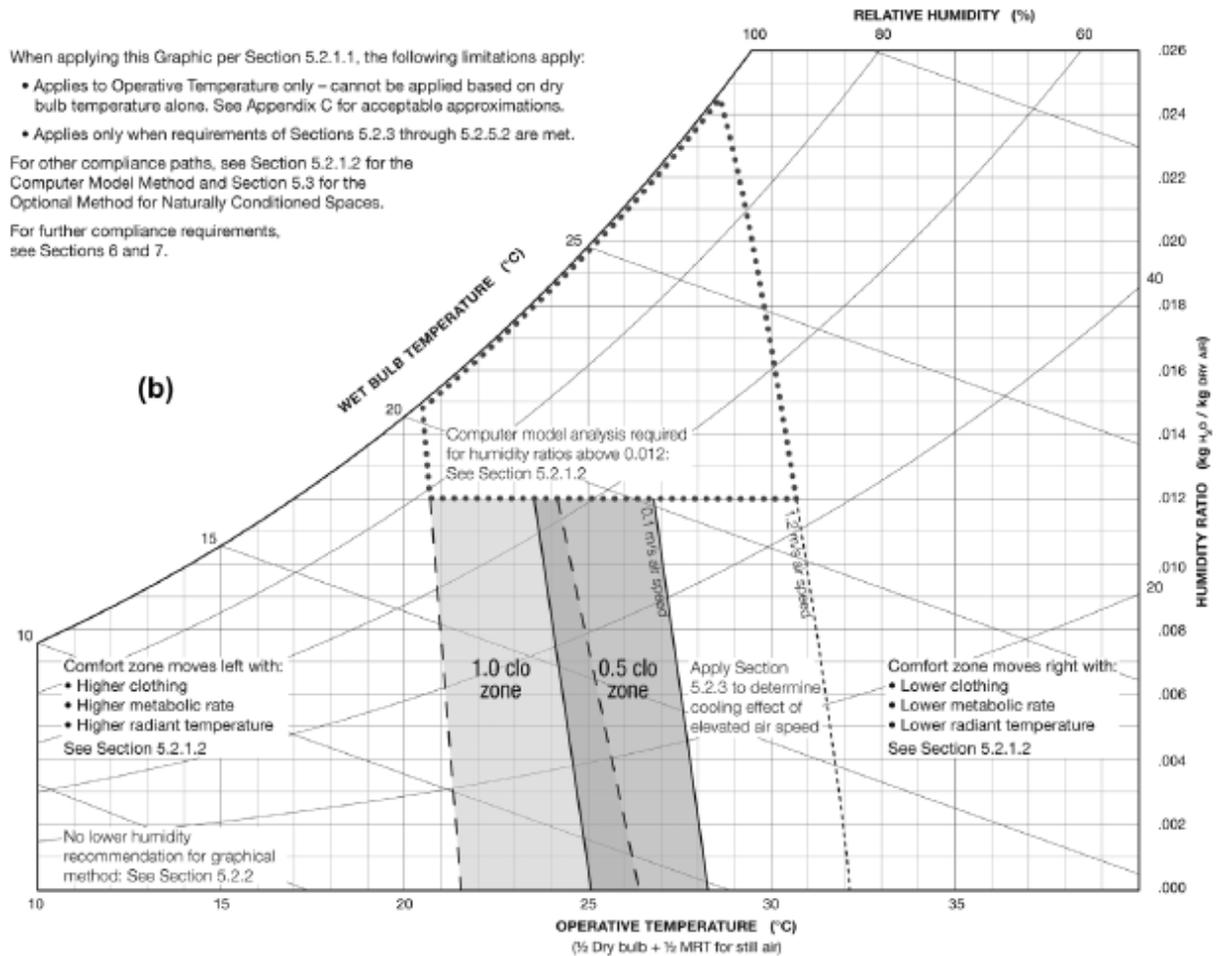


Figura 100.- Método de la zona de confort gráfico: rango aceptable de temperatura y humedad operativas para espacios. Fuente: ASHRAE

Para definir estos rangos en OpenStudio se considera que la zona de .5 clo se presenta cuando es la estación de verano, y los demás días se considera que será la zona de 1 clo.

Definición de horarios de temperatura del termostato en el programa OpenStudio.

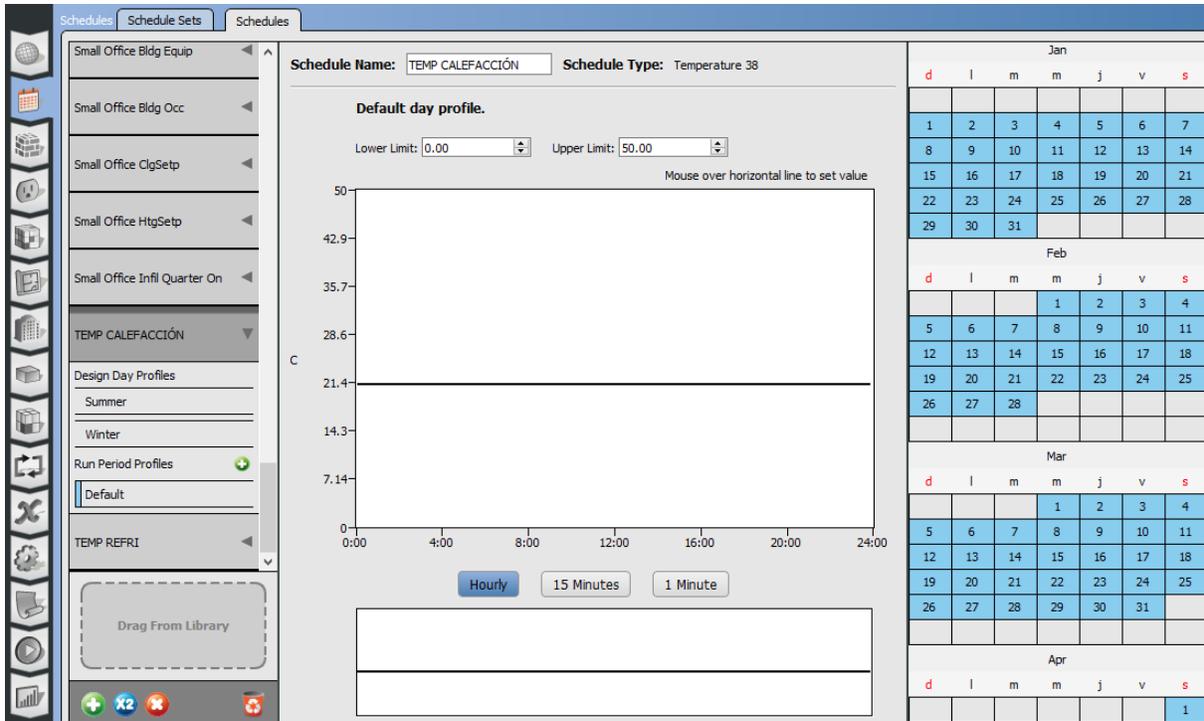


Figura 101.- Definición de horarios para temperaturas del termostato en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia

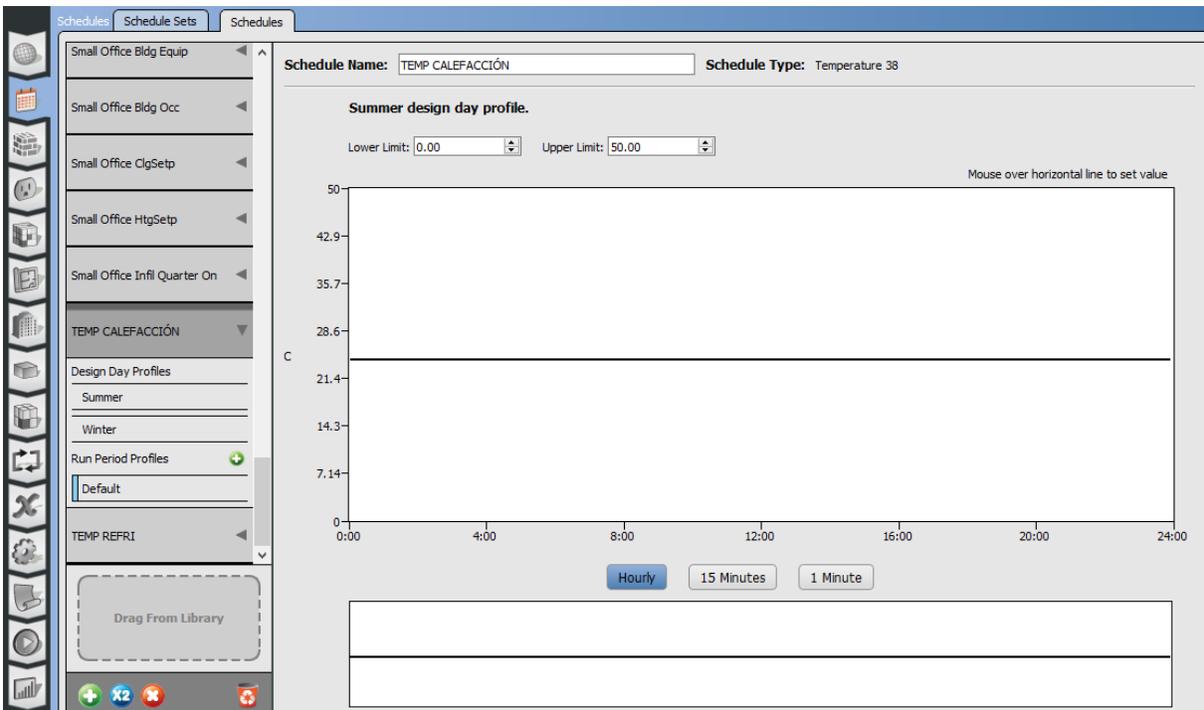


Figura 102.- Definición de horarios para temperaturas del termostato en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia

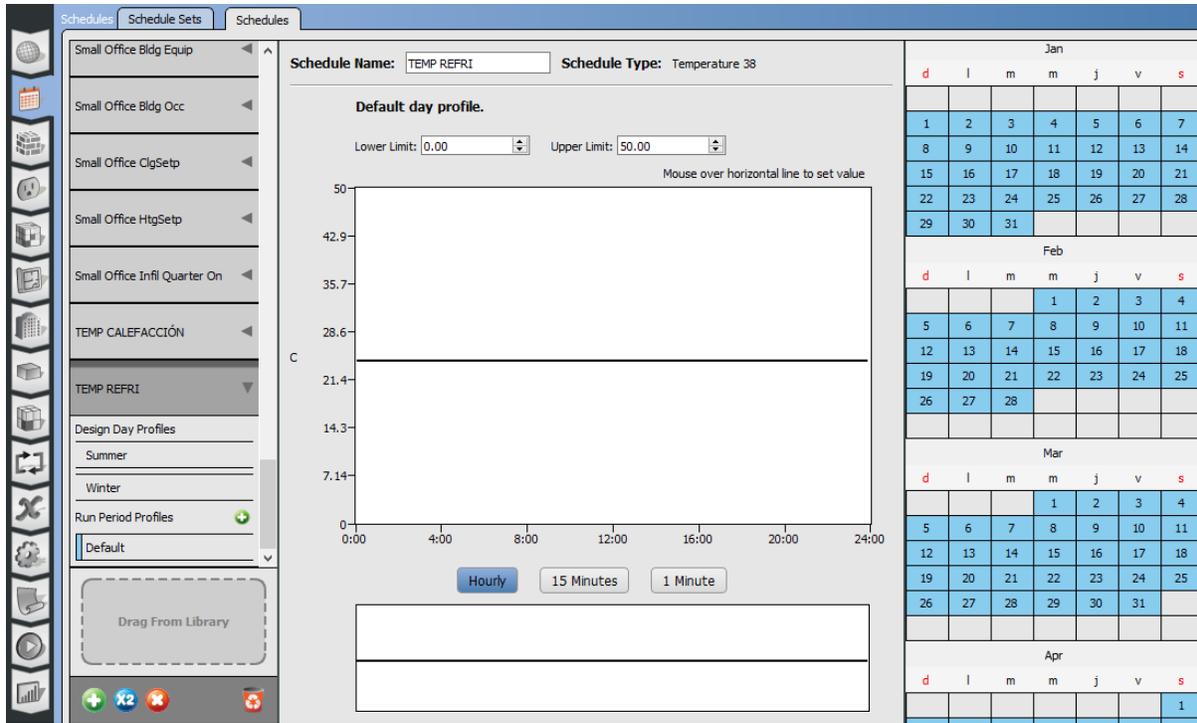


Figura 103.- Definición de horarios para temperaturas del termostato en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia

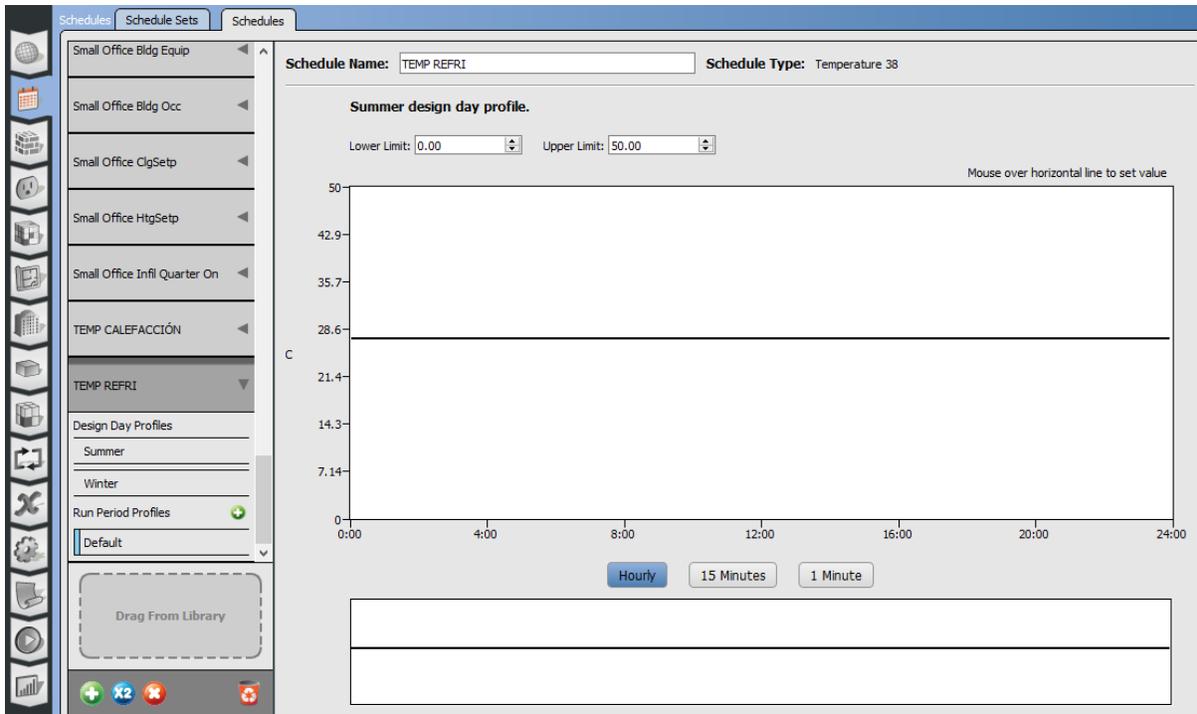


Figura 104.- Definición de horarios para temperaturas del termostato en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia

Definición de termostato en EnergyPlus.

Field	Units	Obj1
Name		TERMOSTATO
Heating Setpoint Schedule Name		TEMP CALEFACCIÓN
Constant Heating Setpoint	C	
Cooling Setpoint Schedule Name		TEMP REFRI
Constant Cooling Setpoint	C	

Figura 105.- Definición de termostato para sistema HVAC en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia

HVACTemplate:System:VRF

En el documento “*Input Output Reference*” de la documentación de EnergyPlus versión 9.1 se menciona lo siguiente:

Este modelo simula un sistema de aire acondicionado de flujo de refrigerante variable (o volumen de refrigerante variable). Este tipo de sistema modela bobinas de enfriamiento y / o calentamiento de expansión directa configuradas en una unidad terminal de zona (ref. *HVACTemplate: Zone: VRF*). (Departamento de energía de E.U.A., 2019)

Definición de sistema HVAC en EnergyPlus.

Field	Units	Obj1
Name		VRV IV DAIKIN
System Availability Schedule Name		
Gross Rated Total Cooling Capacity	W	73000
Gross Rated Cooling COP	W/W	4.37
Minimum Outdoor Temperature in Cooling Mode	C	14
Maximum Outdoor Temperature in Cooling Mode	C	43
Gross Rated Heating Capacity	W	81500
Rated Heating Capacity Sizing Ratio	W/W	1.12
Gross Rated Heating COP	W/W	4.578
Minimum Outdoor Temperature in Heating Mode	C	-20
Maximum Outdoor Temperature in Heating Mode	C	25
Minimum Heat Pump Part-Load Ratio	dimensionless	0.15
Zone Name for Master Thermostat Location		
Master Thermostat Priority Control Type		ZonePriority
Thermostat Priority Schedule Name		
Heat Pump Waste Heat Recovery		Yes
Equivalent Piping Length used for Piping Correction Factor in Cooling Mode	m	335.35
Vertical Height used for Piping Correction Factor	m	1.4
Equivalent Piping Length used for Piping Correction Factor in Heating Mode	m	335.5
Crankcase Heater Power per Compressor	W	33

Figura 106.- Definición de sistema de refrigeración variable en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia

Number of Compressors	dimensionless	3
Ratio of Compressor Size to Total Compressor Capacity	W/W	0.5
Maximum Outdoor Dry-bulb Temperature for Crankcase Heater	C	5
Defrost Strategy		Resistive
Defrost Control		Timed
Defrost Time Period Fraction	dimensionless	0.058333
Resistive Defrost Heater Capacity	W	autosize
Maximum Outdoor Dry-bulb Temperature for Defrost Operation	C	5
Condenser Type		EvaporativelyCooled
Water Condenser Volume Flow Rate	m3/s	autosize
Evaporative Condenser Effectiveness	dimensionless	0.9
Evaporative Condenser Air Flow Rate	m3/s	autosize
Evaporative Condenser Pump Rated Power Consumption	W	
Basin Heater Capacity	W/K	
Basin Heater Setpoint Temperature	C	2
Basin Heater Operating Schedule Name		
Fuel Type		Electricity
Minimum Outdoor Temperature in Heat Recovery Mode	C	-15
Maximum Outdoor Temperature in Heat Recovery Mode	C	45

Figura 107.- Definición de sistema de refrigeración variable en el programa EnergyPlus.
Fuente: elaboración propia

HVACTemplate: Zone: VRF

En el documento “*Input Output Reference*” de la documentación de EnergyPlus versión 9.1 se menciona lo siguiente:

Este objeto simula una unidad terminal de zona de flujo de refrigerante variable (VRF) que es servida por un HVACTemplate:System:VRF unidad condensadora VRF. (Departamento de energía de E.U.A., 2019)

Definición de sistema HVAC por zona térmica en EnergyPlus.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		ThermalZone: Space 1	ThermalZone: Space 2	ThermalZone: Space 3
Template VRF System Name		VRV IV DAIKIN	VRV IV DAIKIN	VRV IV DAIKIN
Template Thermostat Name		TERMOSTATO	TERMOSTATO	TERMOSTATO
Zone Heating Sizing Factor				
Zone Cooling Sizing Factor				
Rated Total Heating Capacity Sizing Ratio	W/W	1.12	1.12	1.12
Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
No Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
No Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Cooling Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Heating Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
No Load Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0.00944	0.00944	0.00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s			
Design Specification Outdoor Air Object Name				
Design Specification Zone Air Distribution Object Name				
System Availability Schedule Name				

Figura 108.- Definición de características del funcionamiento del sistema de refrigeración variable para cada zona térmica en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Supply Fan Operating Mode Schedule Name				
Supply Air Fan placement		BlowThrough	BlowThrough	BlowThrough
Supply Fan Total Efficiency		0.7	0.7	0.7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	81	81	81
Supply Fan Motor Efficiency		0.9	0.9	0.9
Cooling Coil Type		VariableRefrigerantFlowDX	VariableRefrigerantFlowDX	VariableRefrigerantFlowDX
Cooling Coil Availability Schedule Name				
Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		autosize	autosize	autosize
Heat Pump Heating Coil Type		VariableRefrigerantFlowDX	VariableRefrigerantFlowDX	VariableRefrigerantFlowDX
Heat Pump Heating Coil Availability Schedule Name				
Heat Pump Heating Coil Gross Rated Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Zone Terminal Unit On Parasitic Electric Energy Use	W			
Zone Terminal Unit Off Parasitic Electric Energy Use	W			
Dedicated Outdoor Air System Name				
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Method		TemperatureDifference	TemperatureDifference	TemperatureDifference
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	14	14	14
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	15	15	15
Zone Heating Design Supply Air Temperature Input Method		TemperatureDifference	TemperatureDifference	TemperatureDifference
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50

Figura 109.- Definición de características del funcionamiento del sistema de refrigeración variable para cada zona térmica en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	30	30	30
Baseboard Heating Type		Electric	Electric	Electric
Baseboard Heating Availability Schedule Name				
Baseboard Heating Capacity	W	autosize	autosize	autosize

Figura 110.- Definición de características del funcionamiento del sistema de refrigeración variable para cada zona térmica en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Field	Units	Obj4	Obj5	Obj6
Zone Name		Thermal Zone: Space 4	Thermal Zone: Space 5	Thermal Zone: Space 6
Template VRF System Name		VRV IV DAIKIN	VRV IV DAIKIN	VRV IV DAIKIN
Template Thermostat Name		TERMOSTATO	TERMOSTATO	TERMOSTATO
Zone Heating Sizing Factor				
Zone Cooling Sizing Factor				
Rated Total Heating Capacity Sizing Ratio	W/W	1.12	1.12	1.12
Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
No Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
No Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Cooling Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Heating Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
No Load Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0.00944	0.00944	0.00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s			
Design Specification Outdoor Air Object Name				
Design Specification Zone Air Distribution Object Name				

Figura 111.- Definición de características del funcionamiento del sistema de refrigeración variable para cada zona térmica en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

System Availability Schedule Name				
Supply Fan Operating Mode Schedule Name				
Supply Air Fan placement		BlowThrough	BlowThrough	BlowThrough
Supply Fan Total Efficiency		0.7	0.7	0.7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	81	81	81
Supply Fan Motor Efficiency		0.9	0.9	0.9
Cooling Coil Type		VariableRefrigerantFlowDX	VariableRefrigerantFlowDX	VariableRefrigerantFlowDX
Cooling Coil Availability Schedule Name				
Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		autosize	autosize	autosize
Heat Pump Heating Coil Type		VariableRefrigerantFlowDX	VariableRefrigerantFlowDX	VariableRefrigerantFlowDX
Heat Pump Heating Coil Availability Schedule Name				
Heat Pump Heating Coil Gross Rated Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Zone Terminal Unit On Parasitic Electric Energy Use	W			
Zone Terminal Unit Off Parasitic Electric Energy Use	W			
Dedicated Outdoor Air System Name				
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Method		TemperatureDifference	TemperatureDifference	TemperatureDifference
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	14	14	14

Figura 112.- Definición de características del funcionamiento del sistema de refrigeración variable para cada zona térmica en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Zone Cooling Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	15	15	15
Zone Heating Design Supply Air Temperature Input Method		TemperatureDifference	TemperatureDifference	TemperatureDifference
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50
Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	30	30	30
Baseboard Heating Type		Electric	Electric	Electric
Baseboard Heating Availability Schedule Name				
Baseboard Heating Capacity	W	autosize	autosize	autosize

Figura 113.- Definición de características del funcionamiento del sistema de refrigeración variable para cada zona térmica en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Fuel Factors

En el documento *Portfolio Manager Technical Reference: Source Energy* de *Energy Star* se menciona lo siguiente:

Los edificios comerciales utilizan diferentes mezclas de energía, incluida la electricidad, el gas natural, el fuel oil, el vapor del distrito y muchos otros. Para evaluar el rendimiento energético de estos edificios, tenemos que expresar estos diferentes tipos de energía en una sola unidad común. La fuente de energía es la unidad de evaluación más equitativa y permite una evaluación completa de la eficiencia energética. Es posible que esté familiarizado con la energía del sitio, la cantidad de calor y electricidad consumida por un edificio como se refleja en las facturas de servicios públicos. La energía del sitio se puede entregar a una instalación en una de dos formas. La energía primaria es el combustible crudo que se quema para generar calor y electricidad, como el gas natural o el fuel oil. La energía secundaria es el producto energético creado a partir de un combustible crudo, como la electricidad comprada a la red o el calor recibido de un sistema de vapor del distrito. Una unidad de energía primaria y una unidad de energía secundaria consumida en el sitio no son directamente comparables porque una representa un combustible crudo mientras que la otra representa un combustible convertido. Finalmente, los edificios requieren calor y electricidad para operar, y siempre hay pérdidas asociadas con la generación y entrega de este calor y electricidad. La energía de origen rastrea los requisitos de calor

y electricidad del edificio hasta la entrada de combustible crudo, lo que representa cualquier pérdida y permite una evaluación termodinámica completa. (Energy Star, 2019).

En EnergyPlus se muestran los resultados finales de consumo energético de ambas maneras, como energía del sitio, y como fuente de energía. Ambos resultados son directamente proporcionales, y tienen un factor para pasar de un resultado a otro; ese factor se define como “*source energy factor*”.

En el “Reporte técnico de balance de energía y de emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Guanajuato atribuido a actividades energéticas” [115] se presenta una tabla que contiene el balance de energía de la central termoeléctrica de Salamanca.

Energía	GWh	PetaJoules
Energía Primaria		6.99
Combustóleo		1.22
Gas Natural		5.76
Perdidas de Conversión		4.91
Generación Bruta	578.13	2.08
Consumos Propios	55.13	0.20
Generación Neta	523.00	1.88
Emisiones de CO₂ (0.458 Kg/KWh)		264,784.36 ton CO ₂
Consumo de Agua (1.5 l/KWh)		867,197.71 m ³

Figura 114.- Balance energético de la central termoeléctrica de Salamanca 2016. Fuente: Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior del Estado de Guanajuato

De la tabla anterior se muestra que con 6.99 PetaJoules de Energía Primaria se tiene una generación Neta de 1.88 PetaJoules. La energía primaria se puede considerar como fuente de energía, y la generación neta como energía del sitio. Por lo tanto dividiendo los 6.99 PetaJoules de energía primaria entre los 1.88 PetaJoules de generación neta se puede obtener el factor de conversión de fuente de energía a energía de sitio.

$$6.99 \text{ PetaJoules} / 1.88 \text{ PetaJoules} = 3.718$$

Este resultado se ingresó al programa de EnergyPlus como “*source energy factor*”

Field	Units	Obj1
Existing Fuel Resource Name		Electricity
Units of Measure		
Energy per Unit Factor		0
Source Energy Factor	J/J	3.7

Figura 115.- Ingreso de factores de conversión de energía en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia

Resultados de simulación

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	74742.65	74.59	74.59
Net Site Energy	74742.65	74.59	74.59
Total Source Energy	276547.82	276.00	276.00
Net Source Energy	276547.82	276.00	276.00

Figura 116.- Resultados de la simulación del modelo de edificio de oficinas en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia

En la figura 116 se puede observar el consumo anual de electricidad del edificio. En los campos de “*Total Site Energy*” y “*Net Site Energy*” se muestra el consumo energético del edificio en el sitio; es decir, el total de energía que consume el edificio en el sitio en que se encuentra, sin considerar pérdidas de energía asociadas a su transporte ni producción. En los campos de “*Total Source Energy*” y “*Net Source Energy*” se muestra la cantidad de energía necesaria desde la fuente, para producir la energía necesaria en el sitio del edificio; es decir el total de energía considerando las pérdidas en el transporte y las pérdidas asociadas al proceso de producción.

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	24289.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	4460.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
Interior Lighting	2797.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	42715.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	480.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	74742.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14

Note: Electricity appears to be the principal heating source based on energy usage.

Figura 117.- Resultados de la simulación del modelo de edificio de oficinas en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia

En la figura 117 se puede apreciar el consumo energético del edificio de acuerdo a cada uso final que tendrá en el mismo.

Comfort and Setpoint Not Met Summary

	Facility [Hours]
Time Setpoint Not Met During Occupied Heating	100.83
Time Setpoint Not Met During Occupied Cooling	119.67

Figura 118.- Resultados de la simulación del modelo de edificio de oficinas en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia

En la figura 118 se muestra el número de horas de calefacción/refrigeración que no se pueden cumplir durante la ocupación del edificio de acuerdo con los parámetros especificados del termostato.

En la sección G3.1.2.3 *Unmet Loads* de la Norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1, Apéndice G se menciona lo siguiente: “Las horas de carga no satisfechas para el diseño propuesto o el diseño de construcción de línea base no deben exceder de 300 (de las 8760 horas simuladas)...” (ASHRAE, 2016).

En la simulación se tiene un total de 220.5 horas de carga de enfriamiento y calefacción no satisfechas, por lo cual aún queda entre los límites permisibles de la norma.

EAp2-18. End Use Percentage

	Percent [%]
Interior Lighting (All)	3.74
Space Heating	32.50
Space Cooling	5.97
Fans (All)	0.64
Service Water Heating	0.00
Receptacle Equipment	57.15
Miscellaneous	-0.00

Figura 119.- Resultados de simulación del modelo de edificio de oficinas en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia

En la figura 119 se muestran los porcentajes de consumo de energía eléctrica por uso final que tendrá.

EDIFICIO DE COMPARACIÓN

Ingreso de datos en OpenStudio

El edificio de comparación sigue teniendo gran cantidad de características iguales al original; a continuación, se muestran sólo las variaciones que se hicieron con respecto al diseño original. Las asignaciones de materiales, horarios, cargas térmicas u otras condiciones del programa que no se indiquen significan que siguen siendo las mismas del diseño original.

Losa de azotea

Debido a que la cimbra permanente de losacero presenta un espesor y una resistencia térmica muy reducida no se tomará en cuenta para ingresarlo en el programa.

La capa de concreto va variando de espesor en la losa, por lo cual para ingresar el dato en el programa se tomará un promedio del espesor, considerando un espesor de 10 cm. desde la cresta, y otro espesor de 16.35 cm. desde la parte más baja de la losacero hasta la parte final de la capa de concreto.

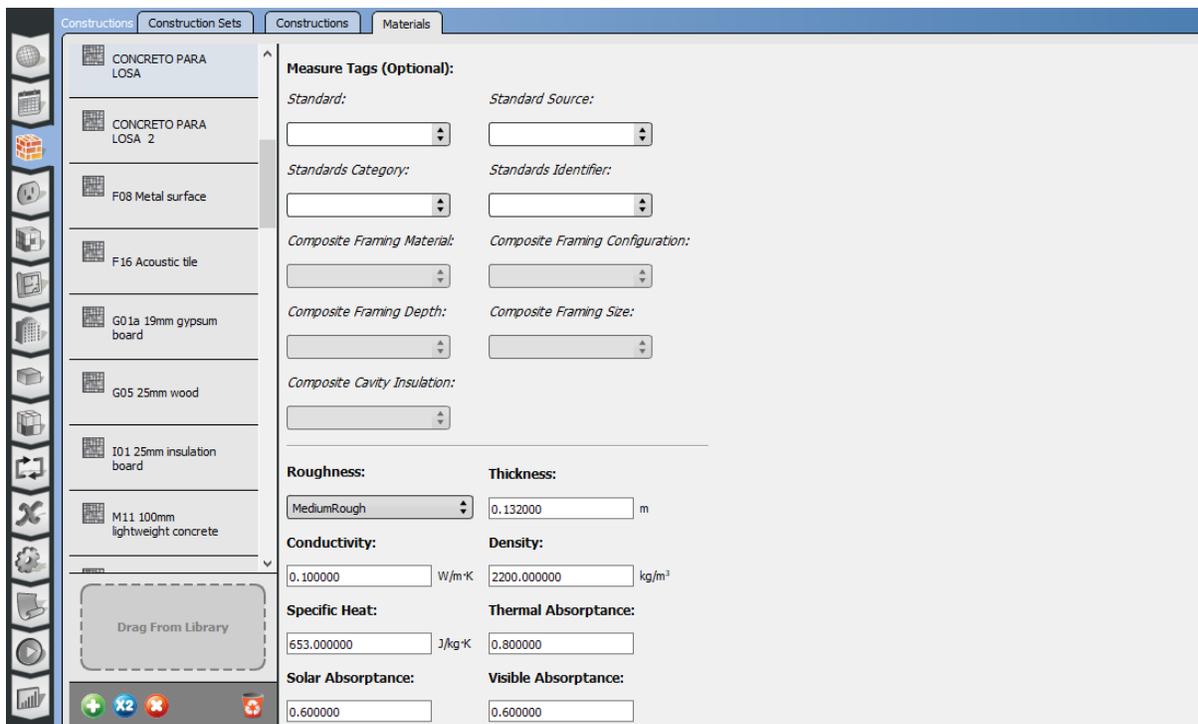


Figura 120.- Definición de materiales de losa de azotea del edificio de comparación en el programa OpenStudio.
Fuente: elaboración propia.

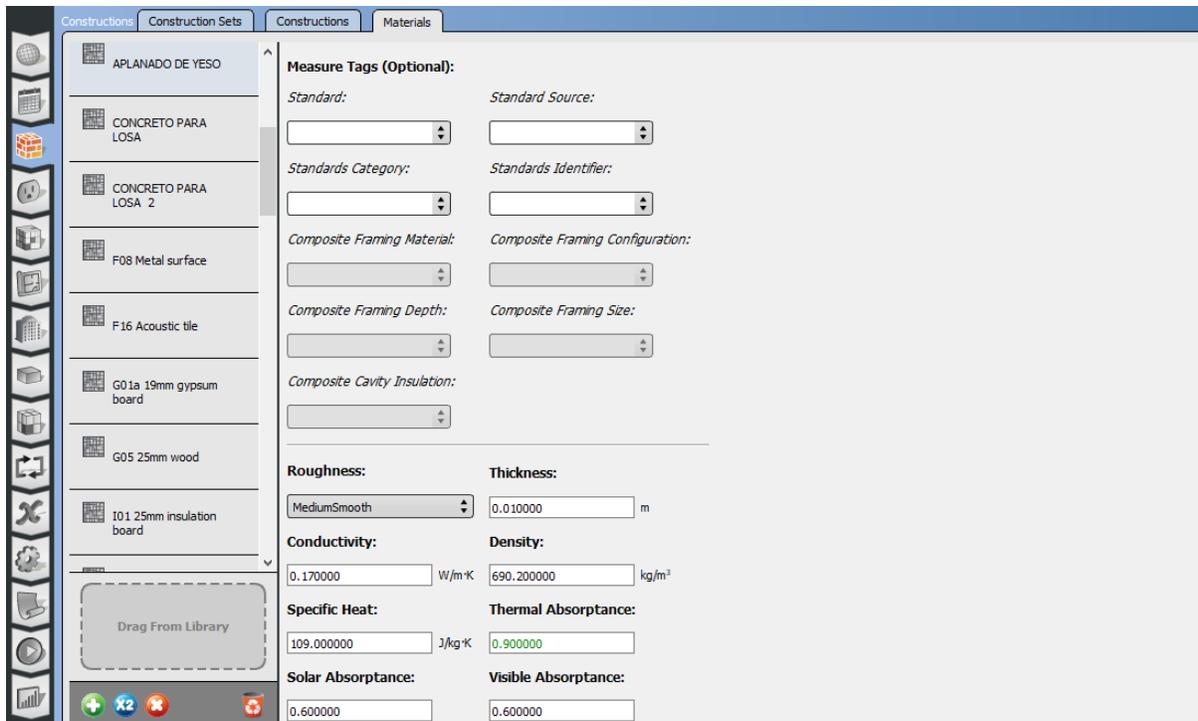


Figura 121.- Definición de materiales de losa de azotea del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Muros exteriores e interiores

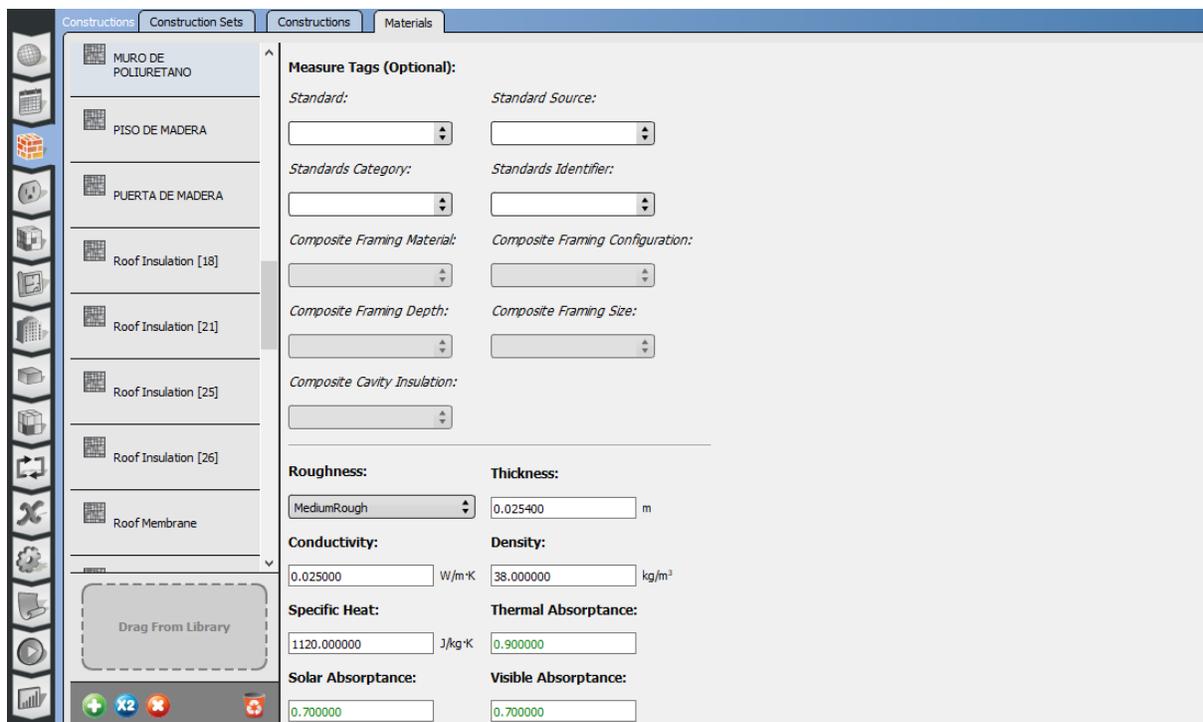


Figura 122.- Definición de materiales de muros interiores y exteriores del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Piso interior

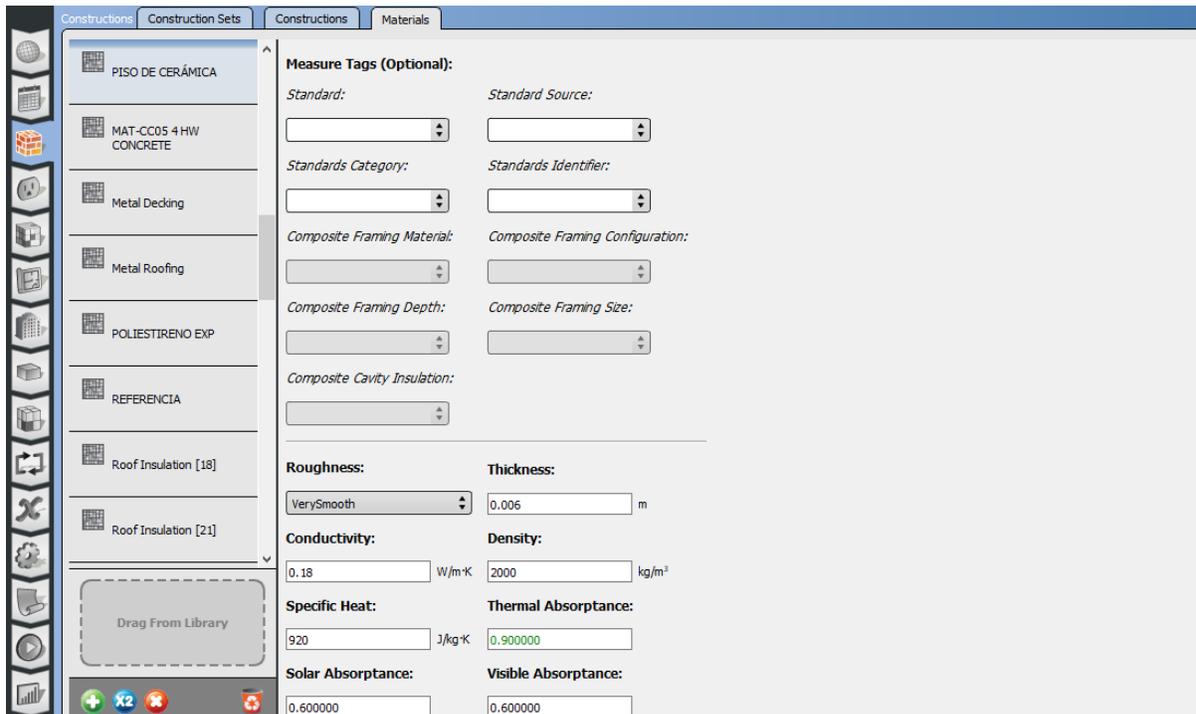


Figura 123.- Definición de materiales del piso interior del edificio de comparación en el programa OpenStudio.
Fuente: elaboración propia.

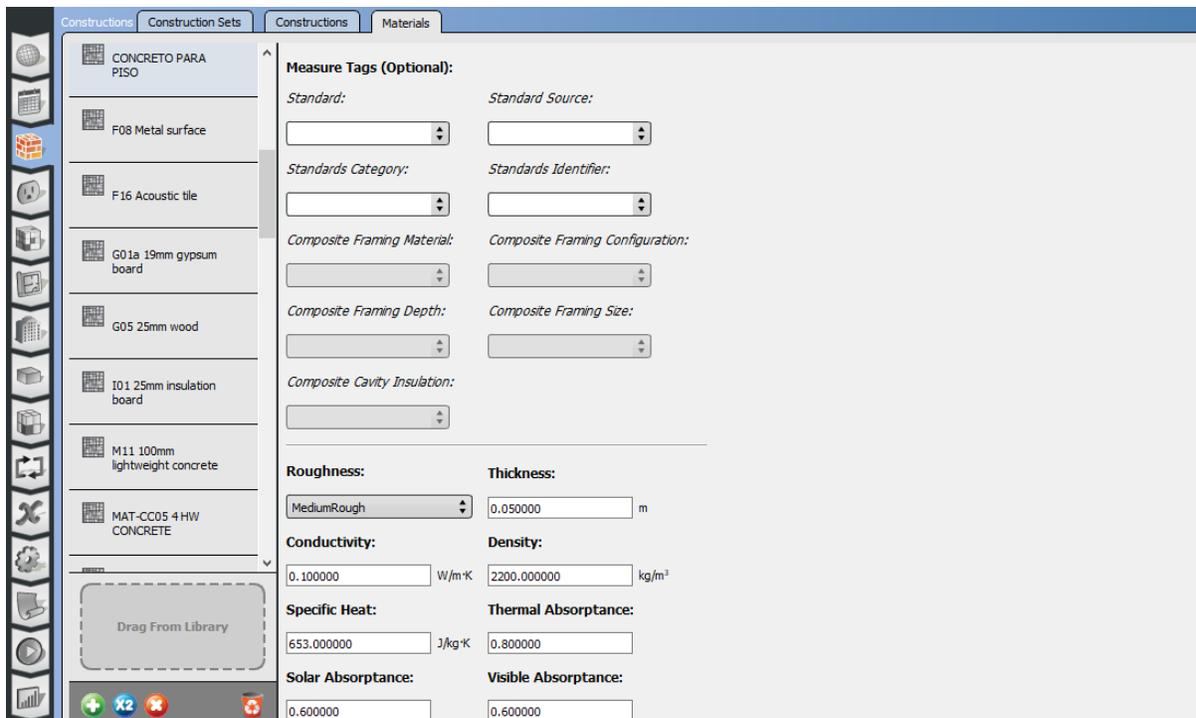


Figura 124.- Definición de materiales del piso interior del edificio de comparación en el programa OpenStudio.
Fuente: elaboración propia.

Ventanas

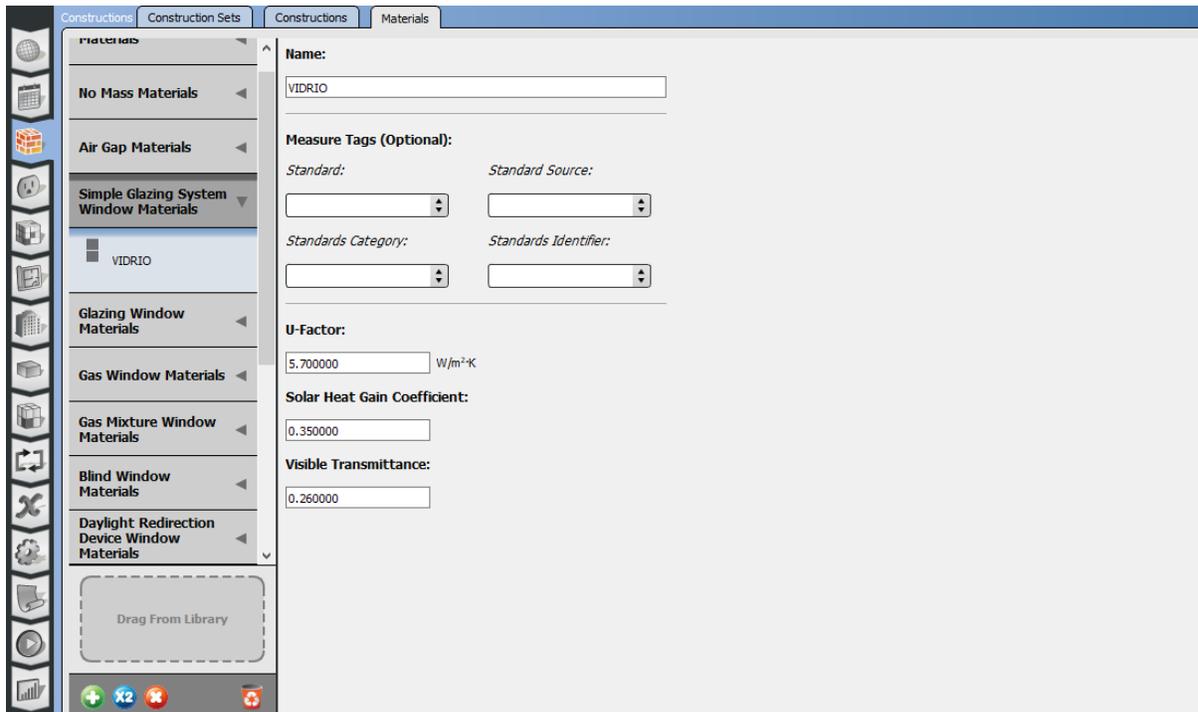


Figura 125.- Definición de materiales ventanas del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica de iluminación eléctrica para la zona 1.

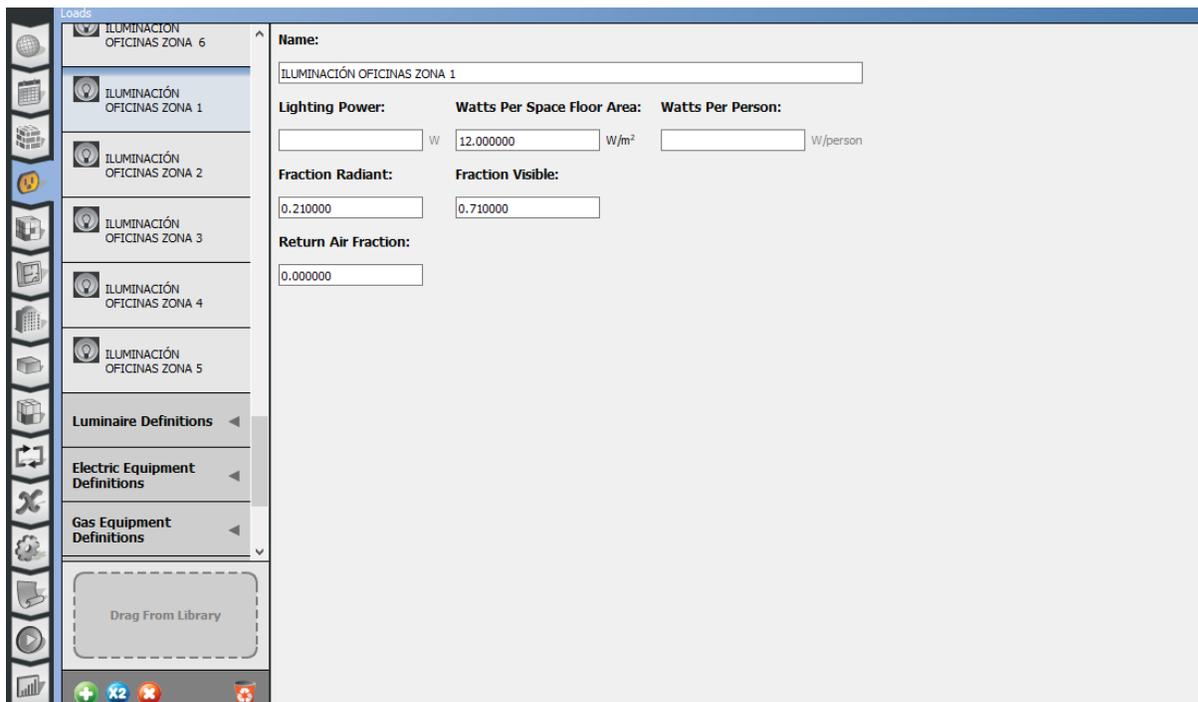


Figura 126.- Definición de cargas térmicas debido a iluminación eléctrica del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica de iluminación eléctrica para la zona 2.

The screenshot shows the OpenStudio interface for defining a lighting load. On the left, a vertical toolbar contains various icons, and a 'Loads' panel lists six office zones. The 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 2' entry is selected. The main workspace displays the following configuration:

Parameter	Value	Unit
Name	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 2	
Lighting Power	<input type="text"/>	W
Watts Per Space Floor Area	12.000000	W/m ²
Watts Per Person	<input type="text"/>	W/person
Fraction Radiant	0.210000	
Fraction Visible	0.710000	
Return Air Fraction	0.000000	

Figura 127.- Definición de cargas térmicas debido a iluminación eléctrica del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica de iluminación eléctrica para la zona 3

The screenshot shows the OpenStudio interface for defining a lighting load for Zone 3. The 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 3' entry is selected in the 'Loads' panel. The main workspace displays the following configuration:

Parameter	Value	Unit
Name	ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 3	
Lighting Power	<input type="text"/>	W
Watts Per Space Floor Area	12.000000	W/m ²
Watts Per Person	<input type="text"/>	W/person
Fraction Radiant	0.210000	
Fraction Visible	0.710000	
Return Air Fraction	0.000000	

Figura 128.- Definición de cargas térmicas debido a iluminación eléctrica del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica de iluminación eléctrica para la zona 4.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio. On the left, a list of lighting loads for six office zones is shown, with 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 4' selected. The main panel displays the configuration for this selected load:

- Name:** ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 4
- Lighting Power:** [] W
- Watts Per Space Floor Area:** 13.000000 W/m²
- Watts Per Person:** [] W/person
- Fraction Radiant:** 0.210000
- Fraction Visible:** 0.710000
- Return Air Fraction:** 0.000000

Below the configuration fields are sections for 'Luminaire Definitions', 'Electric Equipment Definitions', and 'Gas Equipment Definitions', each with a left-pointing arrow. At the bottom is a 'Drag From Library' area with a dashed border and a plus sign icon.

Figura 129.- Definición de cargas térmicas debido a iluminación eléctrica del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica de iluminación eléctrica para la zona 5.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio. On the left, a list of lighting loads for six office zones is shown, with 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 5' selected. The main panel displays the configuration for this selected load:

- Name:** ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 5
- Lighting Power:** [] W
- Watts Per Space Floor Area:** 10.000000 W/m²
- Watts Per Person:** [] W/person
- Fraction Radiant:** 0.210000
- Fraction Visible:** 0.710000
- Return Air Fraction:** 0.000000

Below the configuration fields are sections for 'Luminaire Definitions', 'Electric Equipment Definitions', and 'Gas Equipment Definitions', each with a left-pointing arrow. At the bottom is a 'Drag From Library' area with a dashed border and a plus sign icon.

Figura 130.- Definición de cargas térmicas debido a iluminación eléctrica del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Carga térmica de iluminación eléctrica para la zona 6.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio. The left sidebar lists 'ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 6' as the selected load. The main panel displays the following configuration:

- Name:** ILUMINACIÓN OFICINAS ZONA 6
- Lighting Power:** W
- Watts Per Space Floor Area:** 10.000000 W/m²
- Watts Per Person:** W/person
- Fraction Radiant:** 0.210000
- Fraction Visible:** 0.710000
- Return Air Fraction:** 0.000000

Figura 131.- Definición de cargas térmicas debido a iluminación eléctrica del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Masa interna del edificio de la zona térmica 1.

The screenshot shows the 'Loads' panel in OpenStudio. The left sidebar lists 'Masa interna zona 1' as the selected load. The main panel displays the following configuration:

- Name:** Masa interna zona 1
- Surface Area:** 188.000000 m²
- Surface Area Per Space Floor Area:**
- Surface Area Per Person:** m²/person
- Construction:** MURO POLIURETANO

Figura 132.- Definición de masa interna del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

Masa interna del edificio de la zona térmica 2.

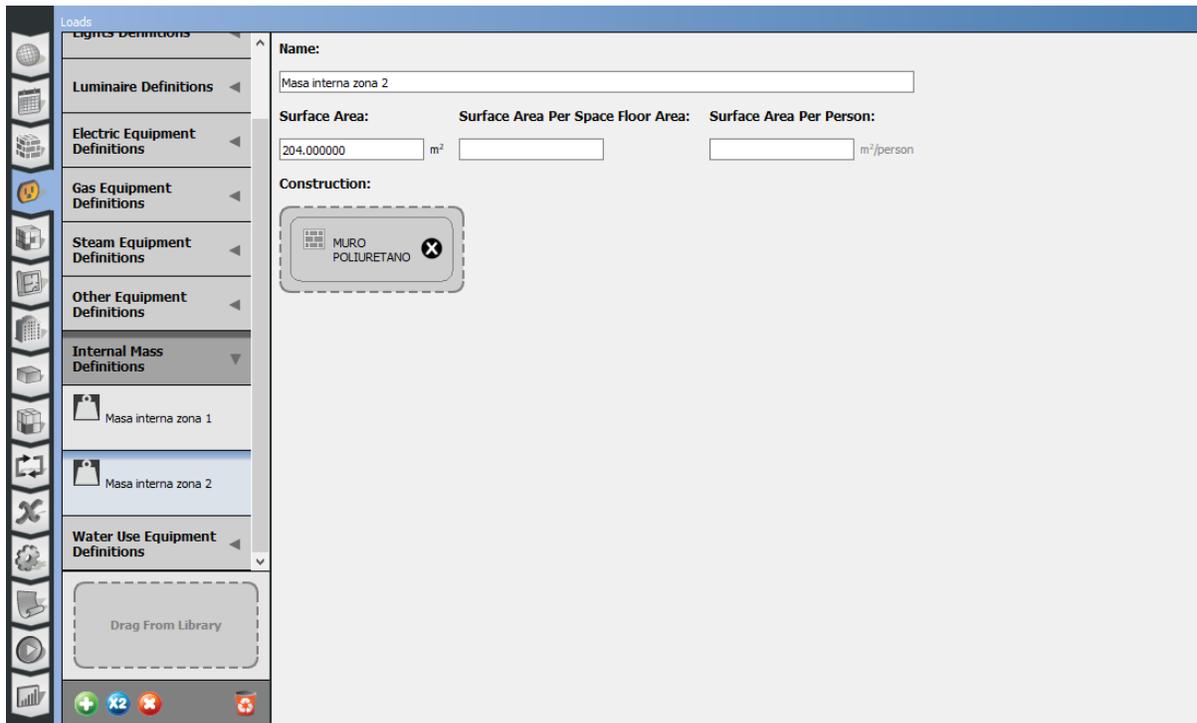


Figura 133.- Definición de masa interna del edificio de comparación en el programa OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

EnergyPlus

A continuación se presentan los cambios realizados para el edificio de comparación en el entorno de EnergyPlus

Exterior Lights

Field	Units	Obj1
Name		Iluminación ext.
Schedule Name		ILUMINACIÓN EXTERIOR
Design Level	W	2415
Control Option		AstronomicalClock
End-Use Subcategory		General

Figura 134.- Definición de iluminación exterior del edificio de comparación en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Sistema HVAC: PTHP

En la Tabla G3.1.1-3 *Baseline HVAC Systems Types* de la norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1, Apéndice G [11], se indica el tipo de sistema HVAC que le corresponde al edificio de línea base de acuerdo a sus características. En este caso de estudio le correspondería un sistema PSZ-HP (*Packaged rooftop heat pump*). Al simularse este sistema ocurría un problema con la calefacción eléctrica y no se alcanzaban a cumplir las horas de calefacción durante la ocupación del edificio, por lo cual se decidió cambiar el sistema

HVAC por otro de características similares de los que se indican en la misma tabla de la norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1. El sistema HVAC que se seleccionó para el edificio de comparación es el de Bomba de calor terminal empacada (*Packaged terminal heat pump*) PTHP.

En el documento “Input Output Reference” de la documentación de EnergyPlus versión 9.1 se menciona lo siguiente:

Este objeto simula una bomba de calor aire-aire (PTHP) con una bobina de enfriamiento DX, una bobina de calentamiento de bomba de calor aire-aire DX, una bobina de calentamiento suplementaria (eléctrica o de gas) y un mezclador de aire exterior. (Departamento de energía de E.U.A., 2019)

Se consideró la inclusión una bomba de calor para cada zona térmica del edificio, y con los resultados de la simulación se determinó la capacidad de cada una de ellas. Las bombas de calor que se consideraron para el edificio de comparación fueron 4 bombas de calor de 14 kw de capacidad de calefacción/enfriamiento, 1 de 16 kw, y 1 de 18 kw.

Sistema PTHP en EnergyPlus.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		Thermal Zone: Space 1	Thermal Zone: Space 2	Thermal Zone: Space 3
Template Thermostat Name		term	term	term
Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
No Load Supply Air Flow Rate	m3/s			
Zone Heating Sizing Factor				
Zone Cooling Sizing Factor				
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0.00944	0.00944	0.00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s			
System Availability Schedule Name				
Supply Fan Operating Mode Schedule Name				
Supply Fan Placement		DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough
Supply Fan Total Efficiency		0.7	0.7	0.7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	75	75	75
Supply Fan Motor Efficiency		0.9	0.9	0.9
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX

Figura 135.- Definición de sistema de bomba de calor en cada zona térmica del edificio de comparación, en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Cooling Coil Availability Schedule Name				
Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated COP	W/W	2.81	2.81	2.81
Heat Pump Heating Coil Type		SingleSpeedDXHeatPump	SingleSpeedDXHeatPump	SingleSpeedDXHeatPump
Heat Pump Heating Coil Availability Schedule Name				
Heat Pump Heating Coil Gross Rated Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Heat Pump Heating Coil Gross Rated COP	W/W	2.89	2.89	2.89
Heat Pump Heating Minimum Outdoor Dry-Bulb Temperature	C	-8	-8	-8
Heat Pump Defrost Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature	C	5	5	5
Heat Pump Defrost Strategy		ReverseCycle	ReverseCycle	ReverseCycle
Heat Pump Defrost Control		Timed	Timed	Timed
Heat Pump Defrost Time Period Fraction		0.058333	0.058333	0.058333
Supplemental Heating Coil Type		Electric	Electric	Electric
Supplemental Heating Coil Availability Schedule Name				
Supplemental Heating Coil Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Supplemental Heating Coil Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature	C	21	21	21
Supplemental Gas Heating Coil Efficiency		0.8	0.8	0.8
Supplemental Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W			
Dedicated Outdoor Air System Name				

Figura 136.- Definición de sistema de bomba de calor en cada zona térmica del edificio de comparación, en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Method		TemperatureDifference	TemperatureDifference	TemperatureDifference
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	14	14	14
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	15	15	15
Zone Heating Design Supply Air Temperature Input Method		TemperatureDifference	TemperatureDifference	TemperatureDifference
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50
Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	30	30	30
Design Specification Outdoor Air Object Name				
Design Specification Zone Air Distribution Object Name				
Baseboard Heating Type		None	None	None
Baseboard Heating Availability Schedule Name				
Baseboard Heating Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Capacity Control Method		None	None	None

Figura 137.- Definición de sistema de bomba de calor en cada zona térmica del edificio de comparación, en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Field	Units	Obj4	Obj5	Obj6
Zone Name		Thermal Zone: Space 4	Thermal Zone: Space 5	Thermal Zone: Space 6
Template Thermostat Name		term	term	term
Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
No Load Supply Air Flow Rate	m3/s			
Zone Heating Sizing Factor				
Zone Cooling Sizing Factor				
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0.00944	0.00944	0.00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s			
System Availability Schedule Name				
Supply Fan Operating Mode Schedule Name				
Supply Fan Placement		DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough
Supply Fan Total Efficiency		0.7	0.7	0.7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	75	75	75
Supply Fan Motor Efficiency		0.9	0.9	0.9
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX
Cooling Coil Availability Schedule Name				

Figura 138.- Definición de sistema de bomba de calor en cada zona térmica del edificio de comparación en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated COP	W/W	2.81	2.81	2.81
Heat Pump Heating Coil Type		SingleSpeedDXHeatPump	SingleSpeedDXHeatPump	SingleSpeedDXHeatPump
Heat Pump Heating Coil Availability Schedule Name				
Heat Pump Heating Coil Gross Rated Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Heat Pump Heating Coil Gross Rated COP	W/W	2.89	2.89	2.89
Heat Pump Heating Minimum Outdoor Dry-Bulb Temperature	C	-8	-8	-8
Heat Pump Defrost Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature	C	5	5	5
Heat Pump Defrost Strategy		ReverseCycle	ReverseCycle	ReverseCycle
Heat Pump Defrost Control		Timed	Timed	Timed
Heat Pump Defrost Time Period Fraction		0.058333	0.058333	0.058333
Supplemental Heating Coil Type		Electric	Electric	Electric
Supplemental Heating Coil Availability Schedule Name				
Supplemental Heating Coil Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Supplemental Heating Coil Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature	C	21	21	21
Supplemental Gas Heating Coil Efficiency		0.8	0.8	0.8
Supplemental Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W			
Dedicated Outdoor Air System Name				

Figura 139.- Definición de sistema de bomba de calor en cada zona térmica del edificio de comparación en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Method		TemperatureDifference	TemperatureDifference	TemperatureDifference
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	14	14	14
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	15	15	15
Zone Heating Design Supply Air Temperature Input Method		TemperatureDifference	TemperatureDifference	TemperatureDifference
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50
Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	30	30	30
Design Specification Outdoor Air Object Name				
Design Specification Zone Air Distribution Object Name				
Baseboard Heating Type		None	None	None
Baseboard Heating Availability Schedule Name				
Baseboard Heating Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Capacity Control Method		None	None	None

Figura 140.- Definición de sistema de bomba de calor en cada zona térmica del edificio de comparación en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

Resultados de simulación

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	96889.45	96.70	96.70
Net Site Energy	96889.45	96.70	96.70
Total Source Energy	358490.95	357.78	357.78
Net Source Energy	358490.95	357.78	357.78

Figura 141.- Resultados de simulación del edificio de comparación en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

En la figura 141 se puede observar el consumo anual de electricidad del edificio. En los campos de “*Total Site Energy*” y “*Net Site Energy*” se muestra el consumo energético del edificio en el sitio; es decir, el total de energía que consume el edificio en el sitio en que se encuentra, sin considerar pérdidas de energía asociadas a su transporte ni producción. En los campos de “*Total Source Energy*” y “*Net Source Energy*” se muestra la cantidad de energía necesaria desde la fuente, para producir la energía necesaria en

el sitio del edificio; es decir el total de energía considerando las pérdidas en el transporte y las pérdidas asociadas al proceso de producción.

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]
Heating	23891.76	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	17782.79	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	11704.62	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	167.83	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	42581.62	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	760.82	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	96889.45	0.00	0.00	0.00	0.00

Note: Electricity appears to be the principal heating source based on energy usage.

Figura 142.- Resultados de simulación del edificio de comparación en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

En la figura 142 se puede apreciar el consumo energético del edificio de acuerdo a cada uso final que tendrá en el mismo.

Comfort and Setpoint Not Met Summary

	Facility [Hours]
Time Setpoint Not Met During Occupied Heating	0.83
Time Setpoint Not Met During Occupied Cooling	17.67

Figura 143.- Resultados de simulación del edificio de comparación en el programa EnergyPlus. Fuente: elaboración propia.

En la figura 143 se muestra el número de horas de calefacción/refrigeración que no se pueden cumplir durante la ocupación del edificio de acuerdo con los parámetros especificados del termostato.

En la sección G3.1.2.3 *Unmet Loads* de la Norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1, Apéndice G se menciona lo siguiente: “Las horas de carga no satisfechas para el diseño propuesto o el diseño de construcción de línea base no deben exceder de 300 (de las 8760 horas simuladas)...” (ASHRAE, 2016).

En la simulación se tiene un total de 18.5 horas de carga de enfriamiento y calefacción no satisfechas, por lo cual aún queda entre los límites permisibles de la norma.

EAp2-18. End Use Percentage

	Percent [%]
Interior Lighting (All)	12.08
Space Heating	24.66
Space Cooling	18.35
Fans (All)	0.79
Service Water Heating	0.00
Receptacle Equipment	43.95
Miscellaneous	0.17

Figura 144.- Resultados de simulación del edificio de comparación en el programa EnergyPlus.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 144 se muestran los porcentajes de consumo de energía eléctrica por uso final que tendrá.

Comparación y análisis de resultados de simulación energética

Consumo eléctrico por año

Categoría de consumo eléctrico	Edificio propuesto	Edificio de comparación
	Electricidad (kwh)	Electricidad (kwh)
Calefacción	24289.27	23891.76
Refrigeración	4460.93	17782.79
Iluminación interior	2797.21	11704.62
Iluminación exterior	0	167.83
Equipo electrónico interior	42715.14	42581.62
Ventiladores	480.11	760.82
Total	74742.65	96889.45

Tabla 30.- Comparación de resultados de la simulación energética entre el edificio propuesto y el edificio de comparación. Fuente: elaboración propia.

De los resultados de la tabla 30 se puede observar que el consumo anual de energía eléctrica del diseño de edificio propuesto se reduce en una cantidad apreciable en contraste con el edificio de línea base. Las principales reducciones de consumo eléctrico están en la refrigeración y en la iluminación.

En total se reduce en un 22.86% el consumo energético del edificio.

Como se indica en la sección 4.2.2.10, se instalará un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en el edificio, el cual se estima que tenga una producción de 30704.83 kWh de energía al año. Con lo cual la cantidad de energía suministrada al edificio por CFE de manera anual sería de 44037.8 kWh.

Por lo tanto, la disminución de consumo de energía eléctrica sería igual a $[1 - (44037.8/96889.45)] = 54.55\%$

Puntos posibles: 1-18

Puntos a obtener: 18

4.2.2.5 Prerrequisito EYA: Medición de energía a nivel de todo el edificio

4.2.2.6 Crédito EYA: Medición de energía a nivel de todo el edificio

Para cumplir el prerrequisito es necesario instalar contadores de energía para obtener datos del consumo total del edificio y comprometerse a compartir dichos datos con el *USGBC*.

Para cumplir el crédito es necesario cumplir con lo siguiente:

- Instalar un contador de energía para todas las fuentes de energía utilizadas por el edificio y cualquier uso final individual de energía que represente el 10% o más del consumo total anual del edificio.
- La medición avanzada de energía debe tener las siguientes características:
- Los contadores deben estar permanentemente instalados, registrados a intervalos de una hora o menos, y transmitir datos a distancia.
- Los contadores de electricidad deben registrar tanto el consumo como la demanda. Los contadores de electricidad de todo el edificio deben registrar el factor de potencia, si es conveniente.
- El sistema de recogida de datos debe utilizar una red de área local, un sistema automático del edificio, una red inalámbrica o una infraestructura de comunicación comparable.
- El sistema debe ser capaz de almacenar todos los datos del contador durante al menos 36 meses
- Los datos deben estar accesibles a distancia
- Todos los contadores del sistema deben ser capaces de informar del consumo de energía por hora, día, mes y año.

Desarrollo del crédito

Para cumplir con el prerrequisito y con el crédito se instalará un medidor eléctrico multifunción y se usará conjuntamente con un software para poder tener un mejor manejo de toda la información.

Puntos posibles: 1

Puntos a obtener: 1

4.2.2.7 Prerrequisito EYA: Gestión básica de refrigerantes

Para cumplir este prerrequisito es necesario evitar el uso de refrigerantes de clorofluorocarbono (CFC) en los nuevos sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración.

Desarrollo del crédito

El tipo de refrigerante que se usará en el sistema de ventilación será el R-410A.

En la norma ANSI/ASHRAE Standard 34-2004 [8] en la Tabla “*Data and Safety Classifications for Refrigerant Blends*” se muestran los componentes de las muestras azeotrópica de refrigerantes. En dicha tabla se indica que la mezcla de refrigerante R410-A está compuesta por los siguientes refrigerantes R-32/125 (50.0%/50.0%).

También en la misma norma se presenta la composición química de los refrigerantes en la Tabla “*Refrigerant Data and Safety Classification*”. En esta tabla se indica que el refrigerante 32 está compuesto de difluorometano (fluoruro de metileno) (CH_2F_2) y el refrigerante 125 está compuesto de pentafluoroetano (CHF_2CF_3). Por lo tanto, el refrigerante 410-A pertenece al grupo de los Hidrofluorocarbono (HFC), con lo cual se puede cumplir con el prerrequisito.

4.2.2.8 Crédito EYA: Gestión mejorada de refrigerantes

Para cumplir con este crédito existen dos opciones que se indican a continuación:

Opción 1. Sin refrigerantes o con refrigerantes de bajo impacto

No utilizara refrigerantes, o utilizar solo refrigerantes (procesos naturales o sintéticos) que tengan un potencial de disminución del ozono (PDO) cero y un potencial de calentamiento global (PCG) menor de 50.

Opción 2. Cálculo del impacto de los refrigerantes.

Seleccionar los refrigerantes que se utilicen en los equipos de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración (CVAC&R) para minimizar o eliminar la emisión de compuestos que contribuyan a la disminución de la capa de ozono y al cambio climático. La combinación de todos los equipos de CVAC&R nuevos y existentes del edificio base y los equipos de inquilinos que sirvan al edificio deben cumplir la siguiente fórmula:

unidades IP	unidades SI
$PCGCV + PDCVO \times 10^5 \leq 100$	$PCGCV + PDCVO \times 10^5 \leq 13$
Definiciones de cálculo para $PCGCV + PDCVO \times 10^5 \leq 100$ (unidades IP)	Definiciones de cálculo para $PCGCV + PDCVO \times 10^5 \leq 13$ (unidades SI)
$PDCVO = [PDOr \times (IPr \times Vida + Pr) \times Cr] / Vida$ $PCGCV = [PCGr \times (IPr \times Vida + Pr) \times Cr] / Vida$	$PDCVO = [PDOr \times (IPr \times Vida + Pr) \times Cr] / Vida$ $PCGCV = [PCGr \times (IPr \times Vida + Pr) \times Cr] / Vida$
PDCVO: Potencial de Disminución del Ciclo de Vida del Ozono (libras CFC 11/Ton-Año)	PDCVO: Potencial de Disminución del Ciclo de Vida del Ozono (kg CFC 11/kW-Año)
PCGCV: Potencial de Calentamiento Global Directo del Ciclo de Vida	PCGCV: Potencial de Calentamiento Global Directo del Ciclo de Vida
(lbCO ₂ /Ton-Año)	(kg CO ₂ /kW-Año)
PCGr: Potencial de Calentamiento Global del Refrigerante (0 a 12.000 lb CO ₂ /lbr)	PCGr: Potencial de Calentamiento Global del Refrigerante (0 a 12.000 kg CO ₂ /kg r)
PDOr: Potencial de Disminución del Ozono del Refrigerante (0 a 0,2 lb CFC 11/lbr)	PDOr: Potencial de Disminución del Ozono del Refrigerante (0 a 0,2 kg CFC 11/kg r)
IPr: Índice de Pérdidas del Refrigerante (2,0%)	IPr: Índice de Pérdidas del Refrigerante (2,0%)
Pr: Pérdidas de Refrigerante al Fin-vida-útil (10%)	Pr: Pérdidas de Refrigerante al Fin-vida-útil (10%)
Cr: Carga del refrigerante (0,5 a 5,0 lbs de refrigerante por ton de capacidad bruta de refrigeración en el índice AHRI)	Cr: Carga del refrigerante (0,065 a 0,65 kg de refrigerante por kW de capacidad de refrigeración en el índice AHRI o Certificado Eurovent)
Vida: Vida Útil del Equipo (10 años; por defecto en función del tipo de equipo, a no ser que se demuestre lo contrario)	Vida: Vida Útil del Equipo (10 años; por defecto en función del tipo de equipo, a no ser que se demuestre lo contrario)

Figura 145.- Detalles de la fórmula del impacto de refrigerantes para cumplir con el requisito del Crédito EYA: Gestión mejorada de refrigerantes. Fuente: SpainGBC.

Para determinar los valores de cada término necesario de la fórmula mostrada en la figura 145, se tomó como referencia lo indicado en el documento “*Consulting sales manual: Sustainability schemes*” [41]. Se consideraron los siguientes valores:

PDOr = 0 kg CFC 11/ kg r

PCGr= 2087.5 kg CO₂/ kg r

IPr= 2%

Pr= 10%

Para determinar la carga del refrigerante se consideraron los valores indicados en la ficha técnica del sistema de ventilación del edificio, donde indica que se tiene una carga de 12.9 kg de refrigerante para una capacidad de refrigeración de 73kW. A parte de la carga de refrigerante que se indica en el sistema de ventilación es necesario añadir una carga de refrigerante adicional, esta carga depende de la longitud de la tubería principal del refrigerante, del índice de capacidad de las unidades interiores, y del número y combinación de unidades exteriores. En la "Guía de referencia para el instalador y el usuario final" [40] de Unidad de aire acondicionado VRV IV de la empresa DAIKIN se indica la manera de calcular la carga adicional de refrigerante; dicha carga se calculó para el caso del edificio en estudio, obteniéndose como resultado una carga adicional de refrigerante de 20.5 kg de refrigerante.

Con lo cual la carga de refrigerante (Cr) queda de la siguiente manera:

$$Cr = \frac{12.9 + 20.5 \text{ kg}}{73 \text{ kW}} = 0.457 \text{ kg de refrigerante/ kW de capacidad de enfriamiento}$$

La ecuación final para determinar el impacto del refrigerante queda de la siguiente manera:

$$PDCVO = 0$$

$$PCGCV = [2087.5 * (0.02 * 15 + 0.10) * 0.457] / 15 = 25.44$$

$$PDCVO + PCGCV = 25.44 > 13$$

Por lo tanto este crédito no se puede cumplir

Puntos posibles: 1

Puntos a obtener: 0

4.2.2.9 Crédito EYA: Respuesta a la demanda

Requisitos

Diseñar el edificio y los equipos para su participación en programas de respuesta a la demanda a través de recorte o desplazamiento de cargas. La generación de electricidad in situ no cumple el propósito de este crédito.

Caso 1. Programa de Respuesta a la Demanda Disponible (2 puntos)

- Participar en un programa existente de Respuesta a la Demanda (RD) y completar las siguientes actividades. Diseñar un sistema con la capacidad para una RD completamente automatizada en tiempo real basada en la iniciación externa por un Suministrador de Programas RD. Se puede utilizar en la práctica un programa RD semiautomático.
- Involucrarse en un compromiso contractual mínimo de un año de participación en un programa RD con un suministrador de programas RD cualificado, con el propósito de

una renovación plurianual, para al menos el 10% de la demanda punta de electricidad estimada. La demanda punta se determina bajo el Prerrequisito EYA Mínima Eficiencia Energética.

- Desarrollar un plan amplio para cumplir el compromiso contractual durante la fase de Respuesta a la Demanda.
- Incluir el proceso de RD en el alcance del trabajo de la autoridad de recepción, incluyendo la participación en al menos un ensayo completo del plan RD.

Caso 2. Programa de Respuesta a la Demanda No Disponible (1 punto)

Disponer de infraestructuras para beneficiarse de programas futuros de respuesta a la demanda o programas dinámicos de fijación de tarifas en tiempo real y completar las siguientes actividades.

- Instalar contadores para registro a intervalos con comunicaciones y capacidad para que el sistema de automatización del edificio acepte una tarifa externa o una señal de control.
- Desarrollar un plan amplio para recortar al menos el 10% de la demanda punta de electricidad estimada para el edificio. La demanda punta se determina bajo el Prerrequisito EYA Mínima Eficiencia Energética.
- Incluir el proceso RD en el alcance de trabajo de la autoridad de recepción, incluyendo la participación en al menos un ensayo completo del plan RD.
- Contactar con los representantes de las empresas de servicios energéticos locales para discutir la participación en futuros programas RD.

Desarrollo del crédito

La respuesta a la demanda opera invitando a los clientes de servicios públicos - normalmente grandes usuarios comerciales o industriales- a reducir cargas temporalmente, reduciendo así la demanda máxima del sistema en periodos pico. El esquema de demanda-respuesta también se puede utilizar para proporcionar "regulación positiva", lo que significa que las cargas pueden entrar en acción durante tiempos de exceso de suministro de electricidad. Por lo general, los generadores de energía realizan contratos con grandes clientes con tasas por carga interrumpibles, junto con los pagos por reducción de la carga. Durante un evento de carga pico, las empresas de servicios públicos pueden contactar a los clientes dentro del esquema de demanda-respuesta y pedirles que reduzcan la carga o, alternativamente, pueden desactivar vía remota los sistemas que reducirán la demanda... (Altamirano J.C. et al., 2016)

La simulación energética se realizó considerando la posibilidad de una alta demanda de equipo electrónico; se tomaron como referencia las condiciones de horarios y demanda del programa de OpenStudio para edificios del tipo de oficina, y se modificaron de

acuerdo a las condiciones del proyecto, por lo cual, de la máxima demanda energética que se tiene prevista en la simulación, se puede ir reduciendo paulatinamente de acuerdo a como se vayan dando las condiciones en la ocupación del edificio. Para este crédito se considera la aplicación del caso 2; se contempla qué las especificaciones que se piden son posibles de cumplir.

Puntos posibles: 1-2

Puntos a obtener: 1

4.2.2.10 Crédito EYA: Producción de energía renovable

Para cumplir este crédito es necesario utilizar sistemas de energía renovable para compensar los costes energéticos del edificio. El porcentaje de energía renovable se calcula con la siguiente ecuación.

$$\% \text{ energía renovable} = \frac{\text{Costo equivalente de energía consumible producida por el sistema de energía renovable}}{\text{Costo energético total anual del edificio}}$$

Desarrollo del crédito

Para determinar el costo energético total anual del edificio se toma en consideración la cantidad total de energía del sitio que se obtuvo en la simulación energética. La cual es: 74742.65 kWh.

Para obtener el costo de dicha cantidad de energía se basó en el procedimiento y las tarifas indicadas en la página de CFE [29] para el municipio de León, Guanajuato. Considerando el consumo energético del edificio se encuentra en la clasificación de edificio del tipo “negocio” categoría tarifaria GDBT (Gran Demanda mayor a 25 kW-mes en Baja Tensión). Para obtener la tarifa es necesario sumar cuatro cargos que son: fijo, variable (energía), distribución, y capacidad. Los cargos fijos y de distribución varían anualmente, mientras los cargos variable y de capacidad varían mensualmente.

El sistema tarifario actual se implementó desde el mes de diciembre del año 2017. Por lo tanto, sólo se tienen datos completos de los 12 meses del año de 2018 y 2019. Debido a que sólo se tienen 2 años con registros completos de los valores de los cargos para las tarifas, no sería conveniente estimar los posibles valores de dichos cargos para los siguientes años. Para el cálculo de la tarifa energética del edificio se consideraron los valores de los cargos del año 2019, ya que es el año más reciente con datos completos de todos los meses.

En la tabla siguiente se presentan los valores utilizados para el cálculo.

Mes / Cargo	Fijo (\$/mes)	Variable (\$/kWh)	Distribución (\$/kW)	Capacidad (\$/kW)
Enero	451.040	1.633	356.880	266.800

Febrero	451.040	1.623	356.880	264.980
Marzo	451.040	1.651	356.880	270.180
Abril	451.040	1.646	356.880	269.200
Mayo	451.040	1.606	356.880	261.920
Junio	451.040	1.680	356.880	275.550
Julio	451.040	1.683	356.880	276.110
Agosto	451.040	1.672	356.880	273.930
Septiembre	451.040	1.640	356.880	268.040
Octubre	451.040	1.608	356.880	262.290
Noviembre	451.040	1.607	356.880	262.030
Diciembre	451.040	1.606	356.880	261.920

Tabla 31.- Resumen de datos para el cálculo de la tarifa del servicio de energía eléctrica suministrada por CFE, obtenidos de su sitio web [29]. Fuente: elaboración propia.

Con base en los valores de la tabla 31 y el procedimiento indicado en la página de CFE [29] que se mencionó anteriormente se determinó el costo energético total anual del edificio.

Costo energético anual del edificio = \$ 258054.58

Sistema de energía solar fotovoltaica.

El sistema de energía renovable que se eligió para usar en el edificio es el de energía solar fotovoltaica.

La energía se generará a través de paneles solares monocristalinos. Se determinó que el sistema de energía solar fotovoltaica estará interconectado con la red de energía eléctrica local; esto debido a que el horario de ocupación del edificio coincide en su mayoría con el horario donde hay radiación solar. Si se considerara que fuese un sistema aislado implicaría un gasto mayor ya que se necesitarían una mayor cantidad de paneles, un inversor de una potencia mayor y otros aparatos como baterías y controladores de carga, además de lo anterior también se debe considerar que en las zonas adyacentes de donde estará el edificio, existe la posibilidad de que construyan edificios de una altura mayor a la del edificio en cuestión, y puedan afectar la incidencia del sol en algunas zonas donde se encuentren los paneles, debido a ello se debería dimensionar la instalación eléctrica considerando esa posible reducción en las horas de radiación solar.

Para la instalación de paneles se seleccionó la zona del edificio donde es más complicado que se pudieran obstaculizar la incidencia de rayos solares en los paneles, dicha zona es la correspondiente a la parte sureste del edificio.

Los paneles solares que se eligieron para el proyecto son monocristalinos con una potencia de 400 W.

Para los cálculos de producción de energía de los paneles se recurrió al uso de la aplicación web de PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*).

PVGIS es una aplicación web que permite al usuario obtener datos sobre la radiación solar y la producción de energía del sistema fotovoltaico (PV), en cualquier lugar de la mayor parte del mundo. Es completamente gratuito, sin restricciones sobre para qué se pueden utilizar los resultados y sin necesidad de registro. (Centro Común de Investigación de la Unión Europea, 2020)

Con ayuda de la aplicación web PVGIS [56] y con los datos técnicos de paneles solares e inversores se determinó el número de paneles necesarios, así como el tipo de inversor a utilizar.

Se considera el uso de 44 paneles solares monocristalinos de 400 W de potencia.

Ingreso de datos en la aplicación PVGIS

Se ingresaron las coordenadas del edificio en la aplicación web, los primeros datos que se solicitan se dejaron como los valores que tiene por defecto el programa, ya que son sobre la base de datos de radiación solar y el material de los paneles. La potencia que se ingresó fue equivalente a la que generan los 44 paneles, que sería $44 \text{ paneles} * 400 \text{ watts} = 17600 \text{ W}$. El valor de pérdidas del sistema también se dejó como el valor por defecto que contiene la aplicación.

En la aplicación web se tiene la posibilidad de calcular el ángulo óptimo de inclinación de los paneles, así como el ángulo del azimuth más eficiente para los mismos. Se hizo una primera simulación activando la opción de calcular el ángulo de inclinación, y el ángulo de azimuth óptimo. Como resultado se obtuvo que el ángulo de azimuth más conveniente de usar es de -10° y el ángulo óptimo de inclinación del panel es de 23° .

El ángulo de azimuth se considera de acuerdo con la manera en que se indica en la aplicación, ahí se considera de la siguiente manera: sur = 0° , norte = 180° (-180°), este = -90° , oeste = 90° . Por lo tanto, el panel debe estar orientado con dirección entre sur y sursureste.

Debido a que no se encontraron bases para el panel solar con inclinación de 23° se buscó la base que más se le acercara a dicho ángulo, que en este caso fue de 20° .

Ingreso de datos:

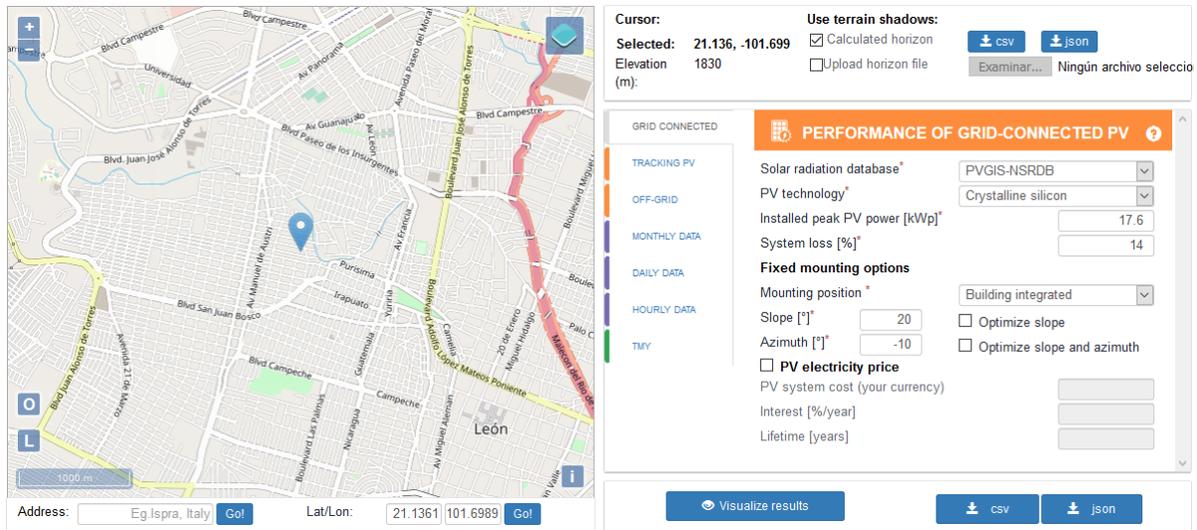


Figura 146.- Ingreso de datos en la aplicación web PVGIS. Fuente: Sitio web de la Unión Europea

Resultados de simulación

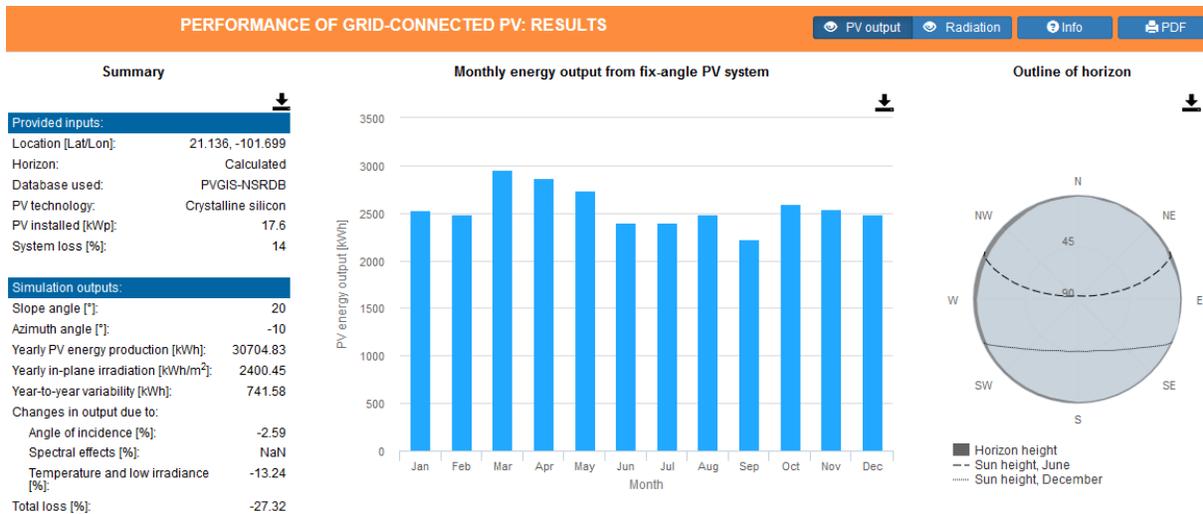


Figura 147.- Resultados de la generación de energía eléctrica de paneles solares en el edificio en la aplicación web PVGIS. Fuente: Sitio web de la Unión Europea

Cómo se puede observar en la figura 147, con este arreglo de paneles se tendría una producción anual de 30704.83 kWh de energía al año.

Se hizo una comparación de la producción de energía renovable por mes, y la demanda de energía eléctrica por mes.

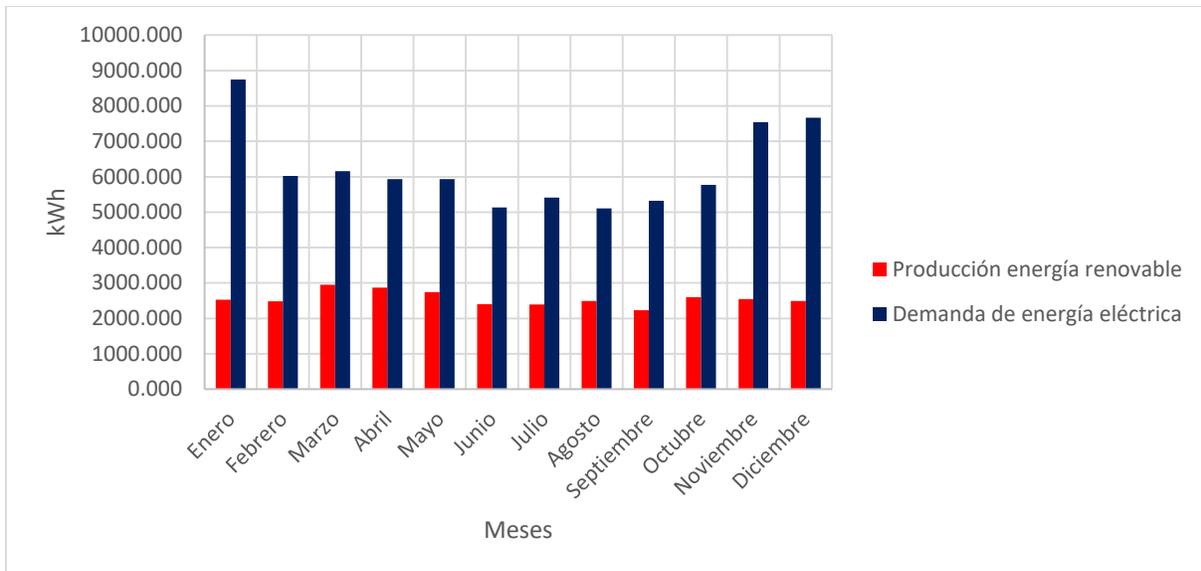


Figura 148.- Comparación de la producción de energía solar fotovoltaica y la demanda de energía eléctrica del edificio. Fuente: elaboración propia.

Con ayuda del programa de Sketchup y utilizando el mismo modelo que se realizó para la simulación energética se modelaron los paneles solares para determinar la mínima separación que deben tener entre ellos y no produzcan sombras unos sobre otros. La distancia entre paneles fue de 3.45 m.

En la próxima imagen se presentan los paneles en los días que se produce la sombra de mayor longitud.

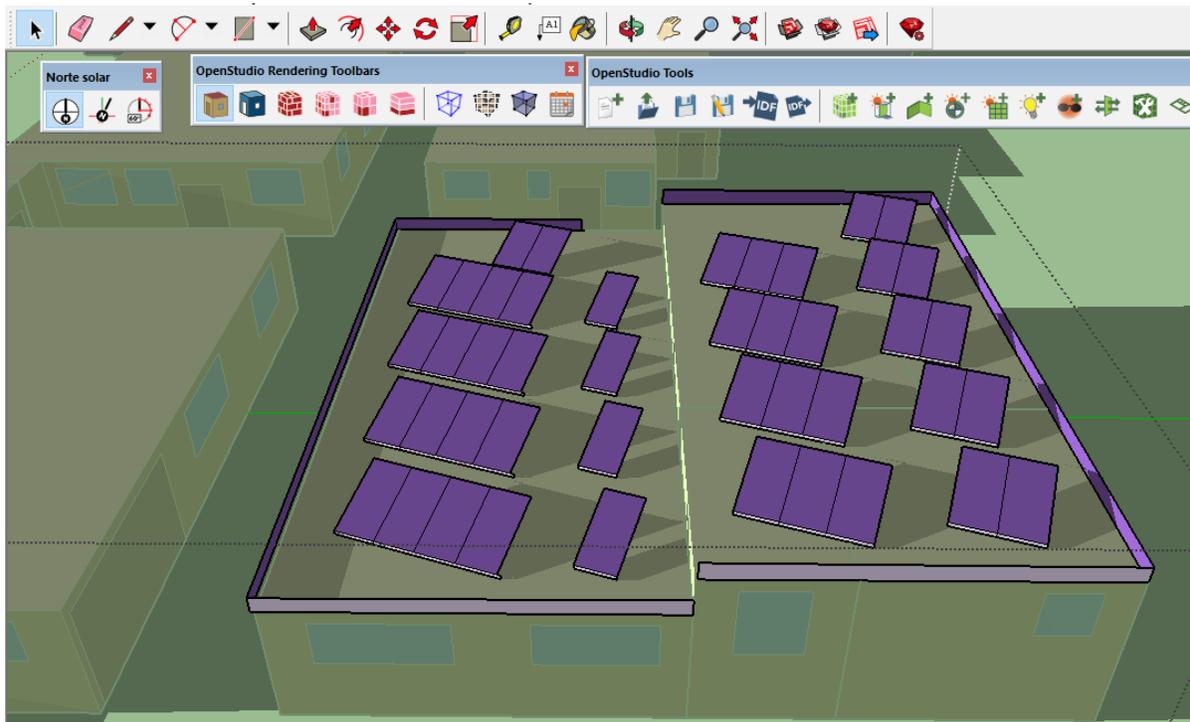


Figura 149.- Representación del acomodo de paneles solares en el edificio en el programa Sketchup con el complemento de OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

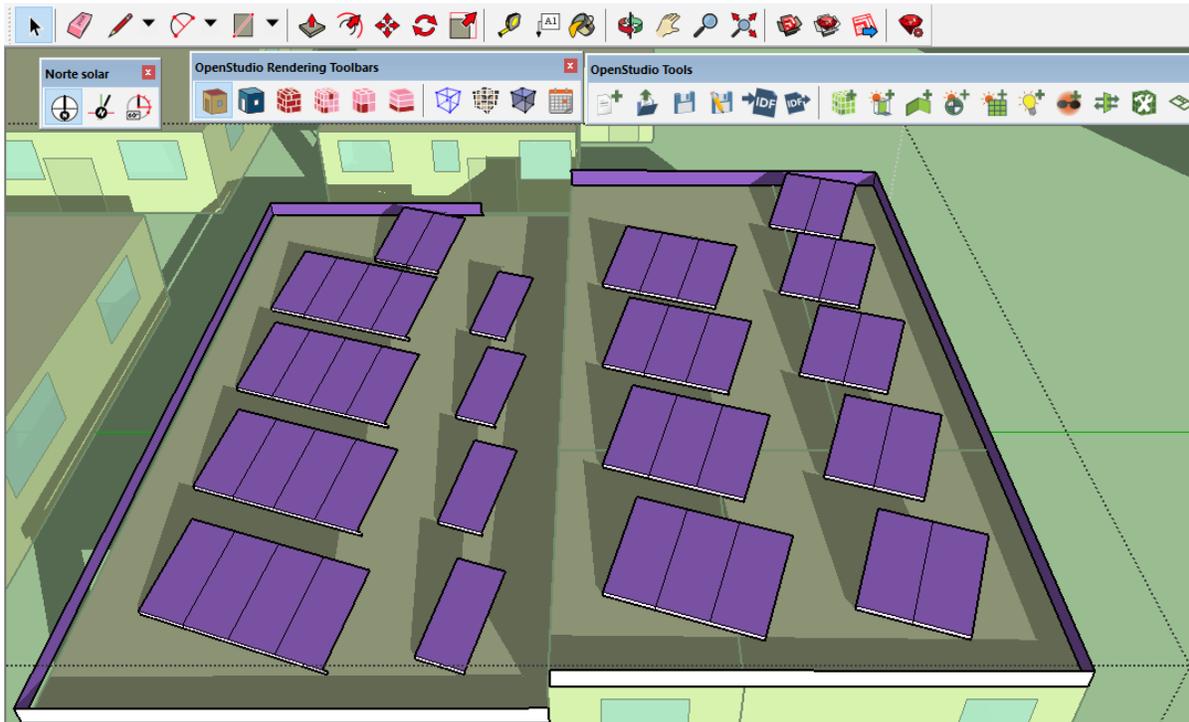


Figura 150.- Representación del acomodo de paneles solares en el edificio en el programa Sketchup con el complemento de OpenStudio. Fuente: elaboración propia.

El inversor que se seleccionó fue de 15 000 W de potencia, a continuación, se presentan las principales características del panel solar y el inversor.

Panel solar

Potencia máxima (W)	400
Tensión máxima de potencia (V)	41.67
Corriente de potencia máx. (A)	9.6

Tabla 32.- Resumen de las características principales de los paneles solares a instalar en el edificio propuesto. Fuente: elaboración propia.

Inversor

Potencia de entrada de paneles (kw)	12-19.5
Arreglo máximo de corriente (A)	33/25
Voltaje de entrada máximo (V)	1000

Tabla 33.- Resumen de las características principales del inversor para la instalación solar fotovoltaica del edificio propuesto. Fuente: elaboración propia

Los paneles se conectarán de manera mixta en serie y en paralelo, serán dos filas de paneles solares, de 22 paneles cada una, en cada fila los módulos estarán conectados en serie, y después ambas filas se conectarán en paralelo. La conexión se realizará de esta manera para que la instalación concuerde con las especificaciones del inversor, como se muestra a continuación.

Son 44 paneles en total de una potencia de 400 W cada uno, esto da un total de 17600 W por todos los paneles. La potencia de entrada del inversor debe ser menor de 19500 W; por lo cual se cumple con esta especificación.

Son 22 paneles conectados en serie, cada panel tiene un voltaje máximo de 41.67 V, esto da un total de 916.74 V. El voltaje de entrada máximo del inversor es de 1000 V; por lo tanto, se cumple con esta especificación.

Son dos filas de paneles conectados en paralelo, cada panel tiene una intensidad de corriente de 9.6 A, esto da un total de 19.2 A. La intensidad máxima de corriente del inversor es de 33 A; por lo tanto se cumple esta especificación.

Debido a que el sistema de energía solar está interconectado a la red eléctrica local no es necesario que la potencia del inversor sea equivalente a la máxima demanda eléctrica del edificio, ya que la potencia que falte de suministrar por parte de los paneles, la suministrará la red eléctrica local.

Considerando todo lo anterior, el arreglo de paneles solares propuesto cumple con los requisitos para tener un funcionamiento adecuado.

Costo equivalente de energía consumible producida por el sistema de energía renovable.

Se toma el valor de la energía producida por el sistema solar fotovoltaico que es de 30704.83 kWh y se calcula a qué costo de energía comprada equivaldría.

Considerando los mismos valores de los cargos que se usaron para calcular el costo total de energía del edificio, se calculó el costo que representarían los 30704.83 kWh producidos por el sistema de energía renovable.

Costo equivalente de energía consumible producida por el sistema de energía renovable
= \$109338.2328

Entonces el porcentaje de energía renovable se calcula de la siguiente manera

$$\% \text{ energía renovable} = \frac{\$109338.2328}{\$258054.58} = 42.37\%$$

Puntos posibles: 1-3

Puntos a obtener: 3

4.2.2.11 Crédito EYA: Energía verde y compensación de carbono

Para cumplir con los requisitos de este crédito es necesario considerar lo siguiente:

Firmar un contrato para los recursos considerados en el crédito que hayan estado on-line desde el 1 de enero de 2005 durante un mínimo de cinco de años para que sean entregados al menos anualmente. El contrato debe especificar que la provisión de al menos el 50% o el 100% de la energía del edificio debe proceder de energía sostenible, compensaciones de carbono o certificados de energía renovable (CER).

La energía sostenible y los CER deben ser certificados como Energía Green-e o un equivalente. Los CER solo se pueden usar para mitigar los efectos de Alcance 2, consumo de electricidad.

Las compensaciones de carbono se pueden utilizar para mitigar las emisiones del Alcance 1 o el Alcance 2 en base a las toneladas métricas de dióxido de carbono-equivalente y deben ser certificadas Green-e Climate o un equivalente.

Desarrollo del crédito

Para el cumplimiento de este crédito se va a recurrir a la opción de comprar compensaciones de carbono.

Se seleccionó la fundación Gold standard para determinar las compensaciones de carbono de acuerdo a las especificaciones que presenta en su sitio oficial de internet [63].

De acuerdo a lo que indica en su blog “*CARBON PRICING: What is a carbon credit worth?*” [63] se consideraron los precios de crédito de carbono que se presentan en esa sección; se tomó como referencia el precio basados en el costo del proyecto del tipo “eficiencia energética”, dicho precio es de 8.2 € / tCO₂e + 1 € de prima de comercio justo, por lo cual el precio que se considero para la compensación de carbono es de 9.2 € / tCO₂e (\$230 / tCO₂e).

El consumo de energía anual del edificio es de 71967.73 kWh, del cual 30704.96 kWh serán aportados por energía solar, por lo tanto para la cantidad de CO₂e producido por generación de energía eléctrica, sólo se considerará la cantidad de energía aportado por la red local de electricidad, la cual es de 41262.77 kWh.

La tasa de emisión de CO₂ por cantidad de energía eléctrica producida se obtuvo de la tabla 5.3 del “Reporte técnico de balance de energía y de emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Guanajuato atribuido a actividades energéticas”. El cual indica que se genera 0.458 kg. CO₂ / kWh.

La producción total de CO₂ por el consumo de electricidad del edificio sería igual a (0.458 kg. CO₂ / kWh) * (41262.77 kWh) = 18898.35 kg CO₂ = 18.898 t CO₂

Para conseguir este crédito, está la opción de cubrir el equivalente al 50% de la producción de CO₂ por consumo energético del edificio, o al 100% del mismo.

Se consideró cubrir sólo el 50%, por lo cual el precio a pagar de manera anual por los créditos de compensación de carbono es igual a $(18.898 \text{ t CO}_2) * (\$230/\text{tCO}_2\text{e}) * (0.5) = \2173.27 . El precio total para cubrir los 5 años que pide el crédito sería de \$10866.35.

Puntos posibles: 1-2

Puntos a obtener: 1

4.2.3 Materiales y recursos

En la categoría de materiales y recursos se manejan en total 3 prerrequisitos y 9 créditos, gran parte de ellos sólo son aplicables a edificios del sector de salud; por lo cual en el estudio de este edificio sólo se pudieron analizar 2 prerrequisitos y 5 créditos. A continuación, se presentan los procesos de cálculo que se requieren en cada crédito, y las estrategias seleccionadas para usar en el modelo de estudio.

4.2.3.1 Prerrequisito MR: Almacenamiento y recogida de reciclables

Para el cumplimiento de este prerrequisito es necesario cumplir con lo siguiente:

Disponer de áreas especiales accesibles a los transportistas de residuos y a los ocupantes del edificio para la recogida y almacenamiento de materiales reciclables de todo el edificio. Las áreas de recogida y almacenamiento de reciclables pueden estar en localizaciones separadas. Los materiales reciclables deben incluir mezclas de papel, cartón corrugado, vidrio, plásticos y metales. Tomar medidas adecuadas para la recogida almacenamiento y depósito seguros de dos de los siguientes elementos: pilas, lámparas que contengan mercurio y residuos eléctricos.

Desarrollo del crédito

Se considera que las especificaciones para la obtención del prerrequisito se pueden cumplir en el edificio.

4.2.3.2 Prerrequisito MR: Planificación de la gestión de residuos de construcción y demolición.

Desarrollar e implantar un plan de gestión de los residuos de construcción y demolición:

Establecer objetivos de desviación de residuos del edificio identificando al menos cinco materiales (tanto estructurales como no estructurales) objetivo de la desviación. Hacer una aproximación del porcentaje de los residuos de todo el edificio que representan dichos materiales.

Especificar si los materiales se separarán o mezclarán y describir las estrategias de desviación para el edificio. Describir donde se recogerán los materiales y cómo se procesará el material la instalación de reciclaje.

Preparar un informe final detallando los flujos de residuos principales generados, incluyendo las tasas de vertido y desviación.

Los materiales alternativos de protección diaria (ADC) de vertederos no califican como materiales desviados de los depósitos. Los residuos de desbroce del terreno no se consideran residuos de construcción, demolición o renovación que pueda contribuir a la desviación de residuos.

Desarrollo del crédito

Los residuos generados en proceso de construcción del edificio se separarán de acuerdo a la siguiente clasificación:

- Acero
- Acero galvanizado
- Cobre
- Concreto
- Madera
- Poliestireno expandido
- Polipropileno
- Otros

Esto con la finalidad de que las empresas de recolección de residuos puedan llevar a cabo el procesamiento correspondiente para cada tipo de residuo que manejan.

Se consideró la contratación de servicios de las empresas de “Servicios ambientales internacionales” y de “GEN industrial” para los procesos de recolección, transporte, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos generados.

Dichas empresas tienen la posibilidad de reciclar los siguientes tipos de residuos generados en la obra: acero, acero galvanizado, cobre, madera, poliestireno expandido, y polipropileno. Para el caso del concreto, la empresa “GEN industrial” cuenta con el servicio de manejo especial del mismo; con el cual tendrá una adecuada gestión, tratamiento y disposición final en sitios de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003.

Se realizó la cuantificación de los materiales a usar en el edificio y se calculó la posible cantidad de residuos que se puedan generar de cada uno

Los porcentajes de desperdicio se definieron de acuerdo con los presentados en los trabajos de investigación “Formulación e implementación del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición generados durante los procesos constructivos de la compañía Norco S.A. en el estudio de caso los condominios I de Suba” [24] y de “Apuntes de Costos” [89].

Cuantificación de materiales

Debido a los requisitos del crédito, se optó por cuantificar todos los materiales en Kilogramos ya que de esta manera se puede llevar una mejor gestión de los residuos en obra.

En la tabla siguiente se muestra los porcentajes de generación de residuos que se consideraron para cada tipo de material durante el proceso de construcción del edificio.

Material	Porcentaje de residuos
Perfiles estructurales de acero	2%
Poliestireno expandido	2%
Placas de corcho	10%
Tableros de yeso	10%
Concreto	3%
Malla electrosoldada de acero	3%
Piso laminado	5%
Madera para pérgolas	2%
Madera de pino para cimbra	100%
Triplay para duela de contacto	100%
Varillas de acero corrugado	3%
Alambrón	3%
Alambre recocido	10%
Placas de acero	2%
Tubería polipropileno	5%
Tubería Conduit de PVC	5%
Cable eléctrico	5%
Tubería de cobre	5%
Tubería de PVC	5%
Tornillos	5%
Clavos	5%
Canaletas de acero galvanizado	3%
Mortero	4%
Ladrillos	5%

Tabla 34.- Porcentajes de residuos considerados durante el proceso de construcción del edificio propuesto. Fuente: elaboración propia.

Los materiales que no se listan en la tabla 34 son debido a que no se considera producción de residuos de esos materiales durante el proceso constructivo, o se estima que los residuos serían mínimos comparados con la cantidad final de residuos producida.

La cuantificación de materiales se realizó de acuerdo con la clasificación en que se separan los residuos. En las siguientes tablas se muestran las cantidades finales de residuos que se estima se produzcan durante el proceso de construcción del edificio.

Residuos generados durante proceso constructivo del edificio.

Tipo de material	Cantidad efectiva a utilizar en el edificio (kg)	Cantidad de residuos (kg)	Acción a realizar con residuos
Acero	92615.79	2213.17	Reciclaje
Acero galvanizado	3665.91	113.38	Reciclaje
Cobre	1038.22	54.64	Reciclaje
Concreto, ladrillo y mortero	1377347.60	42954.79	Manejo especial
Poliestireno expandido	17786.63	362.99	Reciclaje
Madera	19771.52	4543.37	Reciclaje
Otros	-	12363.13	Vertedero
Σ		62605.46	

Tabla 35.- Cantidad de residuos generados durante el proceso constructivo y acciones a realizar con ellos.
Fuente: elaboración propia.

Porcentaje de residuos para reciclaje	11.64%
Porcentaje de residuos con manejo especial	68.61%
Porcentaje de residuos en vertederos	19.75%

Tabla 36.- Porcentaje de residuos según su sitio de disposición al final de su vida útil.
Fuente: elaboración propia

Se definirán lugares dentro de la obra para el almacenaje temporal de los residuos, los cuales se separaran de acuerdo a la clasificación mencionada.

También se realizó el cálculo para determinar los residuos totales que se generan al final de la vida útil de los elementos que conforma el edificio. Los elementos que tienen una vida útil menor a la del edificio se considera sus residuos cada vez que sean reemplazados dichos elementos. El número de veces que se necesitan reemplazar elementos del edificio se indica en la tabla 39.

Residuos generados al final de la vida útil de los materiales que conforman el edificio.

Tipo de material	Cantidad de residuos (kg)	Acción a realizar con residuos
------------------	---------------------------	--------------------------------

Acero	92615.79	Reciclaje
Acero galvanizado	3665.91	Reciclaje
Cobre	1111.81	Reciclaje
Aluminio	248.16	Reciclaje
Concreto, ladrillo y mortero	1377347.60	Manejo especial
Panel solar	2970.00	Manejo especial
Poliestireno expandido	17786.63	Reciclaje
Madera	35992.86	Reciclaje
Otros	66460.73	Vertedero
Σ	1598199.48	

Tabla 37.- Porcentaje de residuos generados al final de la vida útil de cada material del edificio y acciones a realizar con ello. Fuente: elaboración propia

Porcentaje de residuos reciclados	9.47%
Porcentaje de residuos con manejo especial	86.37%
Porcentaje de residuos en vertederos	4.16%

Tabla 38.- Porcentaje de residuos según su sitio de disposición al final de su vida útil. Fuente: elaboración propia

Se cumple con el prerrequisito

4.2.3.3 Crédito MR: Gestión de residuos de construcción y demolición.

Opción 1. Desviación (1-2 puntos)

Vía 1. Desviación del 50% y Tres Flujos de Materiales (1 punto)

Desviar al menos el 50 % de los materiales totales de construcción y demolición; los materiales desviados deben incluir al menos tres flujos de materiales

Vía 2. Desviación del 75% y Cuatro Flujos de Materiales (2 puntos).

Desviar al menos el 75% de los materiales totales de construcción y demolición; los materiales desviados deben incluir al menos cuatro flujos de materiales.

Opción 2. Reducción de los materiales totales de desecho (2 puntos)

No generar más de 12.2 kg. de residuos por metro cuadrado de superficie bruta construida del edificio.

Desarrollo del crédito

Debido a que de los residuos que tendrán un manejo especial no se sabe con certeza si alguna cantidad de ellos serán reutilizados o reciclados, no se considerará todo ese

porcentaje de residuos como desviados. Por lo cual el porcentaje final de residuos desviados es de 9.31%

Puntos posibles: 1-2 puntos

Puntos a obtener: 0

4.2.3.4 Crédito MR: Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio

Existen 4 opciones para cumplimiento del crédito; en este caso de estudio se buscará la obtención del crédito realizando los requisitos de la opción número 4 que se muestra a continuación:

Opción 4. Valoración del Ciclo de Vida de Todo el Edificio (3 puntos)

Para nueva construcción (edificios o partes de edificios), realizar una valoración del ciclo de vida de la estructura del edificio y del cerramiento que demuestre un mínimo del 10% de reducción, en comparación con el edificio de línea base, de al menos tres de las seis categorías de impacto que figuran más abajo, una de las cuales debe ser el potencial de calentamiento global. Ninguna categoría de impacto valorada como parte de la valoración de ciclo de vida puede incrementarse más del 5% en comparación con el edificio de línea base.

El edificio de línea base y el edificio propuesto deben ser de tamaño, función, orientación y operación de eficiencia energética comparables tal como se define en el Prerrequisito ELLA Mínima Eficiencia Energética. La vida de servicio de los edificios de línea base y propuesto debe ser la misma y al menos de 60 años para dar cuenta por completo del mantenimiento y la sustitución. Usar las mismas herramientas de software y conjuntos de datos para la valoración del ciclo de vida con el fin de evaluar tanto el edificio de línea base como el propuesto e informar de todas las categorías de impacto de la lista. Los conjuntos de datos deben cumplir ISO 14044.

Seleccionar al menos tres de las siguientes categorías de impacto para su reducción:

- Potencial de calentamiento global (gases de efecto invernadero), en CO₂e
- Disminución de la capa de ozono de la estratósfera, en kg CFC-11
- Acidificación de la tierra y las fuentes de agua, en moles de H⁺ o kg SO₂
- Eutrofización, en kg de nitrógeno o kg de fosfato;
- Formación de ozono troposférico, en kg NO_x o kg de eteno; y
- Disminución de recursos energéticos no renovables, en MJ.

Desarrollo del crédito

Así como lo establecen los requisitos de cumplimiento del crédito, se debe realizar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del edificio propuesto y del edificio de comparación basándose en lo que indica la norma ISO 14044.

Análisis de ciclo de vida del edificio

Objetivo

Este análisis se realizó con la finalidad de establecer una comparación del impacto ambiental generado a lo largo de su vida útil de dos edificios con el mismo diseño arquitectónico, pero con diferentes características en cuanto a materiales y funcionamiento; para que posteriormente se pudiera determinar si se cumple con los requisitos indicados en el “Crédito: Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio” de la certificación *LEED* v4.

Alcance

Los edificios que se evaluaron son los definidos en la sección 4.1.2 Descripción constructiva del edificio (edificio propuesto) y en la sección 4.1.3 Descripción constructiva del edificio de comparación (edificio de comparación). A su vez los planos de dicho edificio se encuentran en los Anexos 5-9.

El estudio del ACV se realizó considerando 60 años de vida útil del edificio. Para este análisis se incluyeron las siguientes fases para el ciclo de vida de cada elemento del edificio analizado:

- El proceso de extracción de materias primas necesarias para la fabricación de los materiales considerados en el edificio;
- El transporte de las materias primas, así como de otros materiales necesarios hacia la fábrica;
- Todos los procedimientos necesarios, así como la energía utilizada para la fabricación de cada tipo de material presente en el edificio;
- El transporte desde la fábrica hacia el sitio de construcción del edificio;
- Los reemplazos de materiales del edificio que sean necesarios cambiar durante los 60 años de vida útil del mismo. (Considerando todos los procesos anteriores para cada nuevo producto que se incluya en el edificio);
- Transporte hacia sitio de reciclaje, relleno sanitario, o sitio de disposición final, cuando se termine la vida útil de cada producto del edificio;
- En caso de que el material termine en el relleno sanitario o vertedero de residuos, se incluyen el impacto ambiental que se genera por los procedimientos necesarios para el tratamiento en dicho lugar.

Si el material termina en un sitio de reciclaje, no se incluyen los procedimientos siguientes para su reutilización en un nuevo producto.

No se consideran los impactos generados por la utilización de maquinaria y demás herramientas durante el proceso constructivo de los edificios.

No se consideran los impactos generados debido al mantenimiento necesario de los edificios durante su vida útil.

Unidad funcional

Para el análisis de los materiales se consideró como unidad funcional 1 kg.; por lo cual la cuantificación de los materiales del edificio se realizó en kg.

El transporte se consideró en la unidad funcional de t-km.; por lo tanto, para su cuantificación se contempló el peso total del producto a transportar (en toneladas), y se multiplicó por la distancia total del recorrido (en kilómetros).

Para el análisis de la energía eléctrica utilizada durante la vida útil del edificio se consideró como unidad funcional 1 kwh.; usando como referencia de consumo los resultados de energía eléctrica total calculados en la sección 4.2.2.4 Crédito EYA: Mínima eficiencia energética.

Para los paneles solares se usó la unidad funcional de 1 kwp; los paneles solares se cuantificaron por kwp que puede generar en conjunto toda la instalación.

El inversor, los medidores de electricidad y de gasto de agua, así como los programadores de riego, se medirán por pieza; en la tabla de cuantificación del análisis del inventario se indican sus características de cada dispositivo.

Metodología de evaluación de impacto

Para realizar el ACV se seleccionó el método *CML*.

Este método creado por la Universidad de Leiden en los Países Bajos en 2001 contiene más de 1700 flujos diferentes que se pueden descargar de su sitio web. Se ha publicado en un manual con varios autores. El método se divide en línea de base y no línea de base, siendo la línea de base las categorías de impacto más comunes utilizadas en el LCA. (Acero A.P. et al., 2016)

CML (línea base) y (no línea base) contienen factores de normalización que incluyen:

- EU25
- EU25+3, 2000 (Wegener Sleeswijk et al., 2008)
- The Netherlands, 1997
- West Europe, 1995
- World, 1990
- World, 1995
- World, 2000 (Wegener Sleeswijk et al., 2008, citado por Acero A.P. et al., 2016)

Categorías de impacto

Las categorías de impacto que se seleccionaron fueron las que se piden como requisito en el crédito: Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio de la certificación LEED

v4, con excepción de una; en la sección de “limitaciones” se indicaron los motivos de su exclusión del análisis. Las categorías de impacto son las siguientes:

Potencial de calentamiento global (GWP100a). Unidades: kg CO₂ eq

Disminución de la capa de ozono (ODP). Unidades: kg CFC-11 eq

Acidificación. Unidades: kg SO₂ eq

Eutrofización. Unidades: kg PO₄--- eq

Oxidación fotoquímica. Unidades: kg C₂H₄ eq

Software utilizado

El software que se utilizó para realizar el ACV fue el de OpenLCA 1.10

OpenLCA es un software de código abierto para la evaluación del ciclo de vida (LCA) y la evaluación de la sostenibilidad. Ha sido desarrollado por GreenDelta desde 2006 (www.greendelta.com). Como software de código abierto, está disponible gratuitamente, sin costos de licencia (www.openlca.org). (Cirtoh A. et al., 2020)

Descripción del sistema

Los elementos que se definieron en el ACV fueron los que se incluyen en las siguientes partes del edificio: cimentación, muros exteriores e interiores, ventanas y puertas, instalación hidráulica, instalación eléctrica, instalación fotovoltaica solar, instalación sanitaria, instalación pluvial, instalación de sistema de riego, sistema estructural principal, losa, piso interior, piso exterior, piso de estacionamiento, acabados, medidores especiales para caudal de agua y electricidad, así como el consumo de electricidad durante el funcionamiento del edificio.

No se incluye mobiliario, equipo electrónico o algún otro elemento de índole similar para este ACV, salvo los que se indicaron anteriormente.

La mayoría de los productos considerados para usar en los edificios no cuentan con una declaración ambiental de producto pública, por lo cual para la determinación del ACV de todos los productos del edificio se recurrió al uso de bases de datos de carácter público del sitio de openLCA Nexus (<https://nexus.openlca.org/downloads>) [67].

OpenLCA Nexus (<https://nexus.openlca.org>) es un repositorio en línea de datos de LCA. Combina datos ofrecidos por proveedores de datos de ACV líderes en el mundo, como el centroecoinvent (base de datos ecoinvent), PE International (bases de datos GaBi) y el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (base de datos ELCD). Los conjuntos de datos proporcionados en Nexus se pueden importar fácilmente al software openLCA. Las bases de datos openLCA y Nexus comparten un conjunto común de flujos elementales y otros datos de referencia que se han armonizado en coordinación con los respectivos proveedores de datos para superar las diferencias metodológicas... (Cirtoh A. et al., 2020)

Se eligieron 4 bases de datos para el ACV de los edificios, las cuales fueron:

- ELCD 3.2
- Métodos openLCA LCIA v.2.0.4
- Agribalyse v3
- OzLCI2019

Las bases de datos fueron descargadas desde el sitio de openLCA Nexus (<https://nexus.openlca.org/downloads>) [67] y se usaron los datos de flujos y procesos tal y cómo se encontraban definidos originalmente. No se realizó una validación de dichos datos.

En la información presentada en cada proceso de las bases de datos descargadas se muestran ciertas características para conocer con mayor detalle el proceso de producción que se representa, algunas de estas características son: la descripción general del proceso, la ubicación geográfica que se consideró, los años de donde se obtuvieron los datos, así como la tecnología involucrada en el proceso.

Limitaciones y consideraciones especiales

En las bases de datos utilizadas, la mayoría de los procesos indicaban una ubicación geográfica global, o en Europa. Por lo cual a pesar de que los procesos de producción en México pueden variar en comparación con los presentados en las bases de datos, se utilizaron dichos datos.

Para los 2 edificios (edificio propuesto y edificio de comparación) se consideraron las mismas bases de datos y los mismos criterios para realizar el cálculo, debido a esto, aunque no se represente el caso específico del ACV con las características de los procesos en México, se tiene una comparación adecuada del ACV de ambos edificios, ya que se usaron las mismas condiciones para los dos edificios en cuestión.

En las bases de datos se presentaron diferentes fechas que se indican como correspondientes para el proceso de los productos. El lapso más común de tiempo que se presentó como referencia para los procesos fue del año 2005 al 2009.

En las bases de datos que se seleccionaron había poca información referente a la maquinaria que se usa en los procesos constructivos del edificio, por lo cual se excluyó toda la maquinaria o tecnología que se usa en los procesos constructivos, así como en los procesos de demolición de los edificios para este ACV.

También se encontró poca información referente a las tecnologías que se involucran en el proceso de mantenimiento del edificio, aunado a esto, tampoco se contaba con referencias bibliográficas sustentables para determinar la frecuencia y las condiciones exactas para el proceso de mantenimiento de cada elemento que compone el edificio, por lo cual también se excluyeron los procesos de mantenimiento para este ACV.

Se excluyó el sistema de ventilación del ACV de ambos edificios debido a que no se contaba con la suficiente información en las bases de datos para representarlo.

En algunos materiales de las bases de datos seleccionadas no se presentaba la categoría de impacto ambiental de “agotamiento abiótico (combustibles fósiles)” en los resultados, razón por la cual se excluyó esta categoría de impacto para este ACV.

En las bases de datos utilizadas no se contaba con información acerca del proceso de fabricación de paneles solares. El impacto ambiental de la producción de paneles solares fotovoltaicos era necesario para la comparación del ACV de los edificios, debido a ello se buscó en otros trabajos de investigación la información de dicho impacto, aunque se manejaran bases de datos diferentes. Se utilizaron los datos presentados en el trabajo “Análisis del ciclo de vida para el desarrollo de las Reglas de Categoría de Producto de sistemas solares fotovoltaicos para la edificación” [52].

Así mismo se buscó información referente los impactos ambientales debidos a la generación de energía eléctrica en México. Se utilizaron los datos presentados en el trabajo “ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA COMPARATIVO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLE Y CONVENCIONAL” [97].

Sabiéndose a que al alcance del presente trabajo es meramente teórico y no se va a llevar a cabo la construcción del edificio, se optó por realizar este ACV a pesar de todas las limitaciones mencionadas anteriormente. Aún con estas limitaciones, se puede tener una buena referencia para comparar el impacto ambiental potencial de ambos edificios, además de que se presenta información para conocer más sobre el proceso del ACV.

Análisis del inventario

Cómo se mencionó en la sección anterior se utilizaron bases de datos descargadas del sitio de openLCA Nexus. Se hizo una revisión de todos los datos y las características por las que se definían cada uno para determinar los flujos y procesos que se usaron en el ACV. Partiendo de esta información con que se contaba, se definieron los elementos del edificio que se podrían analizar, tal y como se explica en la sección de “descripción del sistema” y “limitaciones y consideraciones especiales”.

En los casos donde hubo varios procesos de las bases de datos que representen el mismo producto, se seleccionó el que se asemejara más a las condiciones indicadas en las fichas técnicas de los productos del edificio; en caso de que ninguno de los procesos tuviera una adecuada similitud con el producto del edificio, se procedió a seleccionar el proceso que tuviera el impacto ambiental más cercano al promedio de todos los procesos considerados para representar ese producto.

Si sólo se presentó un proceso que pudiera representar el producto, se verificó su descripción para determinar si era lo suficientemente similar a sus características; en los casos que fueron así se consideró ese proceso para su representación, en los casos en que no coincidía, se excluyó dicho producto del análisis de este ACV.

A continuación, se presenta la cuantificación de todos los elementos del edificio que se consideraron para el ACV, con su respectiva unidad funcional.

Cuantificación de materiales del edificio propuesto.

Elemento	Cantidad	Unidad	No. de veces que se incluye en el edificio
Poliestireno expandido (incluye los paneles aislantes que conforman los muros exteriores e interiores, y la losa de azotea)	18149.60	kg	1
Perfiles estructurales de acero (incluye todas las vigas y columnas de acero del edificio)	69113.16	kg	1
Tableros de yeso (incluye los que corresponden a los muros interiores y al acabado de la losa de azotea)	6782.38	kg	3
Madera de pino (incluye la madera utilizada para la estructura de la cimbra de la cimentación y las cisternas, la madera de las pérgolas, y la madera de las puertas)	8547.54	kg	1
Acero de varillas y estribos (incluye las varillas y estribos de la cimentación, las cisternas y la losa de azotea)	17879.90	kg	1
Polipropileno (incluye toda la tubería y accesorios de la instalación pluvial que sean de este material)	449.40	kg	2
PVC (incluye toda la tubería y accesorios de la instalación sanitaria de este material, la tubería de protección de la instalación eléctrica, y los marcos de las ventanas)	1599.44	kg	1
Acero galvanizado (Incluye los postes y canaletas de los muros interiores y exteriores, así como el enrejado perimetral del estacionamiento)	4751.28	kg	1
Cobre (Incluye la tubería y accesorios de la instalación hidráulica de este material)	1049.85	kg	1
Cable de cobre (Incluye todo el cableado eléctrico del edificio)	73.58	kg	2

Triplay (Incluye la cantidad necesaria que se usa como duela de contacto en la cimbra de la cimentación, en las cisternas y en la losa de azotea)	12244.68	kg	1
Piso laminado (Incluye la madera utilizada para el piso interior del edificio)	8160.67	kg	2
Vidrio(Incluye el vidrio correspondiente a las ventanas y los muros de cristal del edificio)	6721.25	kg	1
Ladrillo (Incluye la cantidad de ladrillos necesaria para la elaboración de todos los registros de la instalación sanitaria)	13949.00	kg	1
Alambre recocido (Incluye el alambre recocido de todos los armados de acero de la cimentación, de las cisternas, y de la losa de azotea)	726.30	kg	1
Placa de acero (Incluye las placas de acero necesarias para el anclaje de las columnas de acero a las zapatas aisladas)	960.00	kg	1
Concreto (Incluye la cantidad de concreto que se utiliza para: la cimentación, los firmes de concreto, las cisternas, el filtro de lluvias y la losa de azotea)	1139358.00	kg	1
Polietileno de baja densidad (Incluye la tubería y los accesorios de la instalación de riego de este material)	12.90	kg	2
Mortero (Incluye el mortero necesario para la elaboración de los registros sanitarios)	6673.30	kg	1
Perfiles de aluminio (Incluye los componentes de la base de los paneles solares)	248.16	kg	2
Inversor para paneles solares (Inversor de 15 kw de potencia)	1.00	pza	6
Filtros del Filtro para tratamiento de lluvias (Incluye el peso de los 10 filtros que se deben cambiar con periodicidad de 12 meses)	228.00	kg	60
Cimbra metálica (Incluye toda la estructura de cimbra para la colocación de concreto de la losa de azotea)	11165.60	kg	1
Concreto permeable (Incluye el concreto necesario para el piso del estacionamiento)	314174.70	kg	1

Pegamento para piso laminado (Incluye el pegamento necesario para la instalación del piso interior de madera)	75.00	kg	2
Malla electrosoldada (Incluye la malla del firme de concreto que corresponde al piso interior del edificio, así como la de la losa de azotea)	5722.12	kg	1
Dispositivo programador de riego (Dispositivo electrónico cuya estructura principal de la envolvente es de termoplástico ABS, tiene un peso de 1.32 kg.)	2.00	pza	4
Medidor de caudal de agua (Medidor de agua fabricado en cuerpo de fierro fundido, funciona por transmisión magnética y tiene un peso de 12 kg.)	4.00	pza	4
Medidor de energía eléctrica (Medidor de energía del tipo socket, estructura principal de la envolvente de termoplástico ABS, tiene un peso de 2.2 kg.)	5.00	pza	3
Paneles solares (Instalación de 44 paneles solares fotovoltaicos, con una potencia pico en conjunto de 17.6 kw en condiciones de prueba estándar)	17.60	Kwp	3
Consumo de energía eléctrica (Incluye la cantidad de energía eléctrica suministrada por la empresa de CFE que se consume a lo largo de los 60 años de vida útil del edificio)	2827691	Kwh	-

Tabla 39.- Cuantificación de materiales del edificio propuesto para el ACV. Fuente: elaboración propia.

Cuantificación del transporte de materiales del edificio propuesto.

Elemento	Cantidad	Unidad	No. de veces que se realiza ese transporte
Poliestireno expandido	11537.435	t-km.	1

Perfiles estructurales de acero	81346.005	t-km.	1
Tableros de yeso	298.177	t-km.	3
Madera de pino	3651.78	t-km.	1
Acero de varillas y estribos	13445.34	t-km.	1
Polipropileno	104.168	t-km.	2
PVC	187.068	t-km.	1
Acero galvanizado	3520.600	t-km.	1
Cobre	905.176	t-km.	1
Cable de cobre	18.308	t-km.	2
Triplay	4606.440	t-km.	1
Piso laminado de madera	6096.000	t-km.	2
Vidrio	2990.930	t-km.	1
Ladrillo	1398.960	t-km.	1
Alambre recocido	532.200	t-km.	1
Placa de acero	364.030	t-km.	1
Concreto	29954.087	t-km.	1
Polietileno de baja densidad	9.600	t-km.	2
Mortero	183.107	t-km.	1
Perfiles de aluminio	259.150	t-km.	2
Inversor para paneles solares	7.950	t-km.	6

Filtros del Filtro up-flo	100.790	t-km.	60
Cimbra metálica	8061.13	t-km.	1
Concreto permeable	6723.330	t-km.	1
Pegamento para piso laminado de madera	33.51	t-km.	2
Malla electrosoldada	2100.54	t-km.	1
Dispositivo programador de riego	1.045	t-km.	4
Medidor de caudal de agua	34.560	t-km.	4
Medidor de energía eléctrica	4.080	t-km.	3
Paneles solares	327.690	t-km.	3

Tabla 40.- Cuantificación del transporte de materiales del edificio propuesto para el ACV. Fuente: elaboración propia.

Cuantificación de materiales del edificio de comparación.

Elemento	Cantidad	Unidad	No. de veces que se incluye en el edificio
Poliuretano (incluye los paneles aislantes que conforman los muros exteriores e interiores)	16701.834	kg	1
Perfiles estructurales de acero (incluye todas las vigas y columnas de acero del edificio)	69954.250	kg.	1
Tableros de yeso (incluye los que corresponden a los muros interiores y al acabado de la losa de azotea)	6782.370	kg	3

Madera de pino (incluye la madera utilizada para la estructura de la cimbra de la cimentación y las cisternas, la madera de las pérgolas, y la madera de las puertas)	9405.94	kg	1
Acero de varillas y estribos (incluye las varillas y estribos de la cimentación, las cisternas y la losa de azotea)	11794.43	kg	1
Polipropileno (incluye toda la tubería y accesorios de la instalación pluvial que sean de este material)	449.400	kg	2
PVC (incluye toda la tubería y accesorios de la instalación sanitaria de este material, la tubería de protección de la instalación eléctrica, y los marcos de las ventanas)	1599.440	kg	1
Acero galvanizado (Incluye los postes y canaletas de los muros interiores y exteriores, así como el enrejado perimetral del estacionamiento)	2522.060	kg	1
Cobre (Incluye la tubería y accesorios de la instalación hidráulica de este material)	1049.850	kg	1
Cable de cobre (Incluye todo el cableado eléctrico del edificio)	62.220	kg	2
Triplay (Incluye la cantidad necesaria que se usa como duela de contacto en la cimbra de la cimentación, las cisternas y la losa de azotea)	23982.530	kg	1
Piso de cerámica (Incluye el piso de cerámica para el piso interior del edificio)	21390.768	kg	2
Vidrio (Incluye el vidrio correspondientes a las ventanas y muros de cristal del edificio)	4032.750	kg	1
Ladrillo (Incluye la cantidad de ladrillos necesaria para la elaboración de todos los registros de la instalación sanitaria)	11756.535	kg	1
Alambre recocido (Incluye el alambre recocido de todos los armados de acero de la cimentación, de las cisternas, y de la losa de azotea)	577.800	kg	1
Placa de acero (Incluye las placas de acero necesarias para el anclaje de las columnas de acero a las zapatas aisladas)	960.000	kg	1

Concreto (Incluye la cantidad de concreto que se utiliza para: la cimentación, los firmes de concreto, las cisternas y la losa de azotea)	1507616.000	kg	1
Polietileno de baja densidad (Incluye la tubería y los accesorios de la instalación de riego de este material)	12.900	kg	2
Mortero (Incluye el mortero necesario para la elaboración de los registros sanitarios)	16308.480	kg	1
Losacero (Incluye la cimbra permanente de losacero para la losa de azotea)	10333.110	kg	1
Malla electrosoldada (Incluye la malla del firme de concreto que corresponde al piso interior del edificio, así como la de la losa de azotea)	8977.58	kg	1
Consumo de energía eléctrica (Incluye la cantidad de energía eléctrica suministrada por la empresa de CFE que se consume a lo largo de los 60 años de vida útil del edificio)	5813367	Kwh	-

Tabla 41.- Cuantificación de materiales del edificio de comparación para el ACV. Fuente: elaboración propia.

Cuantificación del transporte de materiales del edificio de comparación.

Elemento	Cantidad	Unidad	No. de veces que se realiza ese transporte
Poliuretano	6162.960	t-km.	1
Perfiles estructurales de acero	57991.870	t-km.	1
Tableros de yeso	2800.970	t-km.	3
Madera de pino	842.59	t-km.	1
Acero de varillas y estribos	225.26	t-km.	1
Polipropileno	104.168	t-km.	2
PVC	187.068	t-km.	1

Acero galvanizado	68.700	t-km.	1
Cobre	140.670	t-km.	1
Cable de cobre	15.488	t-km.	2
Triplay	676.290	t-km.	1
Piso de cerámica	3064.651	t-km.	2
Vidrio	1794.550	t-km.	1
Ladrillo	1398.960	t-km.	1
Alambre recocido	6.426	t-km.	1
Placa de acero	29.990	t-km.	1
Concreto	39650.000	t-km.	1
Polietileno de baja densidad	5.108	t-km.	2
Mortero	513.600	t-km.	1
Losacero	3781.870	t-km.	1
Malla electrosoldada	187.97	t-km.	1

Tabla 42.- Cuantificación del transporte de materiales del edificio de comparación para el ACV. Fuente: elaboración propia.

Evaluación del impacto del ciclo de vida.

Se realizó el cálculo de cada uno de los elementos de las tablas de cuantificación de materiales, siguiendo el proceso y las consideraciones indicadas anteriormente.

En cada proceso de un producto de las bases de datos utilizadas, se abarca lo correspondiente a las fases de: extracción de materias primas, el transporte de las mismas y de otros elementos necesarios para la de fabricación del producto final y todos los procedimientos necesarios para la producción con sus respectivas emisiones.

Cada proceso de la producción de los elementos del edificio mostraba el impacto ambiental de 1 kg. producido del mismo, considerando todas las fases mencionadas

anteriormente; los resultados de las categorías de impacto indicados en el programa para cada producto se multiplicaron por la cantidad cuantificada de ese material en el edificio. También se presentaban procesos que representaban el transporte de productos por t-km; de la misma manera dichos resultados de las categorías de impacto se multiplicaron por la cantidad cuantificada de t-km. que se necesitan transportar de cada elemento del edificio. Posteriormente los elementos del edificio que se contempla que terminen en un vertedero de residuos o relleno sanitario, se les consideró el proceso de la base de datos que representa ese tratamiento de acuerdo al tipo de material que sea; los resultados de las categorías de impacto se multiplican por la cantidad cuantificada de ese material. Al final se suman todas estas categorías de impacto para cada elemento estudiado del edificio y se obtiene el impacto ambiental de dicho elemento de manera individual.

No todos los elementos que conforman al edificio tienen la misma vida útil, por lo cual se definió el número de veces que se necesita la incorporación de cada elemento en el edificio a lo largo de los 60 años. El valor del impacto ambiental de cada elemento del edificio se multiplicó por el número de veces que se debe incorporar ese elemento al edificio.

Finalmente se sumaron los valores de las categorías de impacto obtenidas por cada elemento analizado del edificio, para obtener el resultado final.

En las tablas 43 y 44 se muestran los resultados finales del impacto ambiental total de cada uno de los edificios a lo largo de su ciclo de vida, en las categorías de impacto ya definidas.

Análisis de ciclo de vida del edificio propuesto.

Categoría de impacto	Cantidad	Unidades
Potencial de calentamiento global (GWP100a)	1847247.3990	kg CO2 eq
Disminución de la capa de ozono (ODP)	0.0889	kg CFC-11 eq
Acidificación	5746.6884	kg SO2 eq
Eutrofización	443.3223	kg PO4--- eq
Oxidación fotoquímica	304334.0118	kg C2H4 eq

Tabla 43.- Resultados finales del ACV del edificio propuesto. Fuente: elaboración propia

Análisis de ciclo de vida del edificio de comparación.

Categoría de impacto	Cantidad	Unidades
Potencial de calentamiento global (GWP100a)	3290840.3090	kg CO2 eq
Disminución de la capa de ozono (ODP)	0.13067	kg CFC-11 eq

Acidificación	9823.6279	kg SO2 eq
Eutrofización	696.9465	kg PO4--- eq
Oxidación fotoquímica	528721.4860	kg C2H4 eq

Tabla 44.- Resultados finales del ACV del edificio de comparación. Fuente: elaboración propia

Comparación de edificios por categorías de impacto

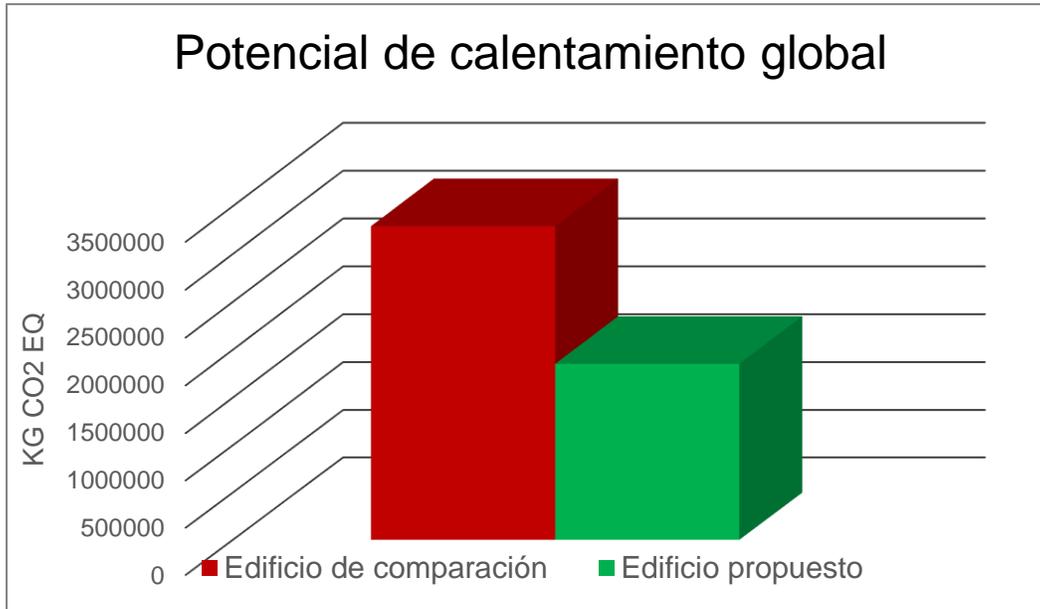


Figura 151.- Comparación del impacto de “potencial de calentamiento global” obtenido del ACV entre el edificio propuesto y el de comparación. Fuente: elaboración propia.

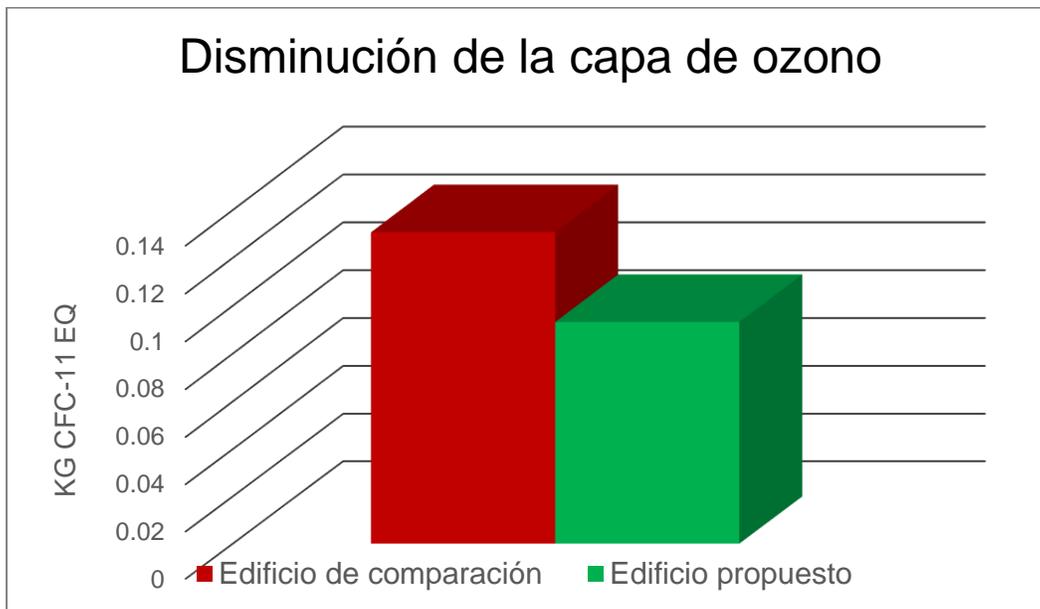


Figura 152.- Comparación del impacto de “disminución de la capa de ozono” obtenido del ACV entre el edificio propuesto y el de comparación. Fuente: elaboración propia.

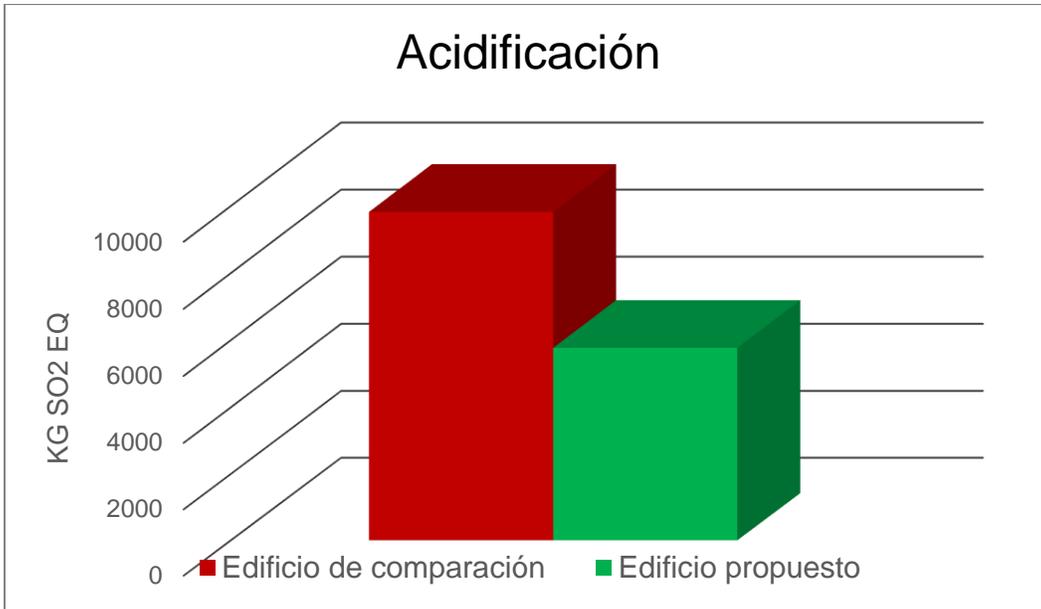


Figura 153.- Comparación del impacto de “acidificación” obtenido del ACV entre el edificio propuesto y el de comparación. Fuente: elaboración propia.

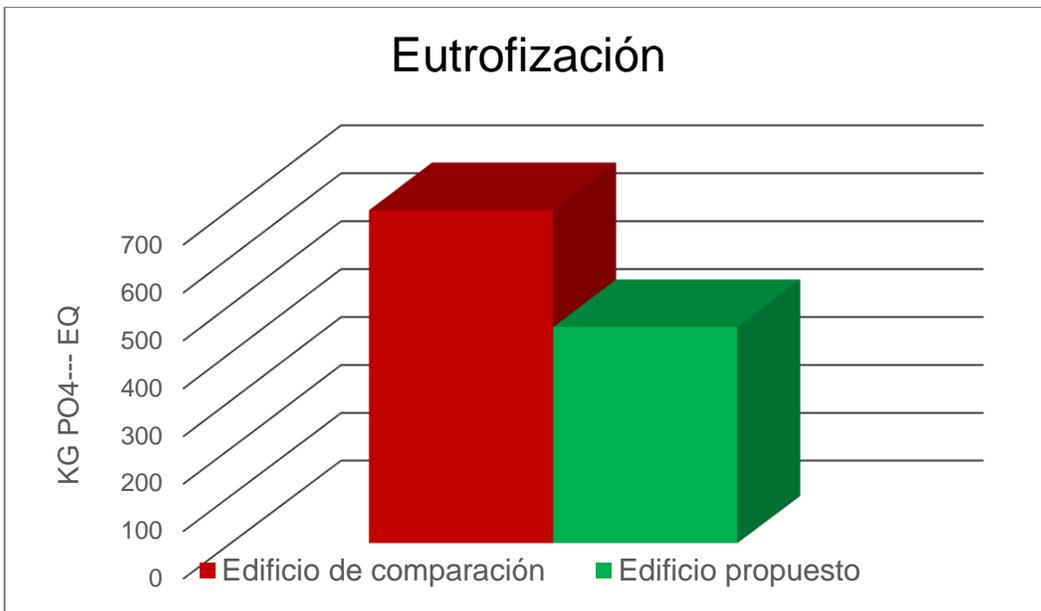


Figura 154.- Comparación del impacto de “eutrofización” obtenido del ACV entre el edificio propuesto y el de comparación. Fuente: elaboración propia.

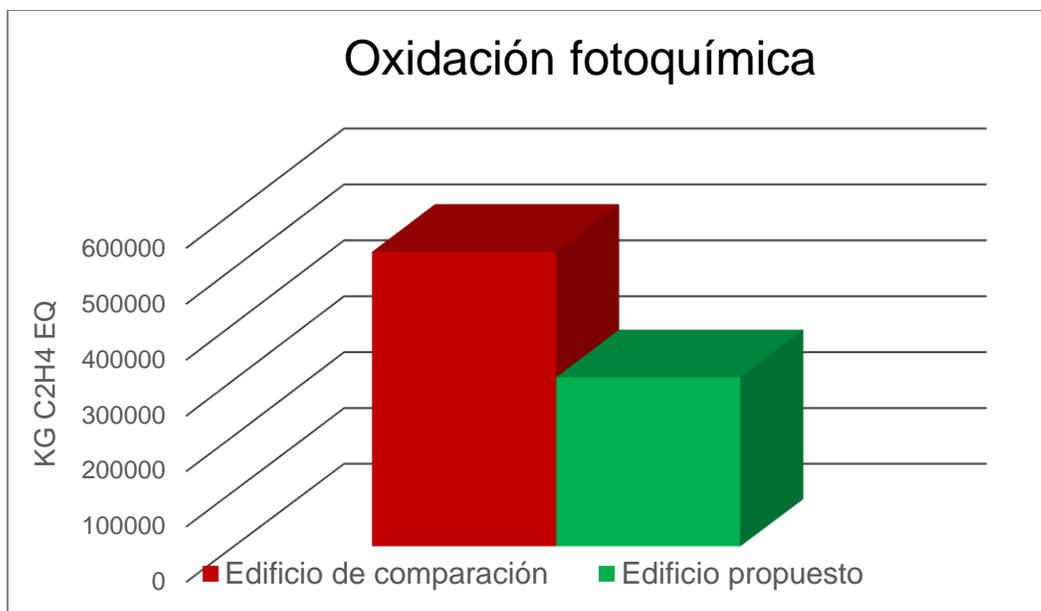


Figura 155.- Comparación del impacto de “oxidación fotoquímica” obtenido del ACV entre el edificio propuesto y el de comparación. Fuente: elaboración propia.

Reducción del impacto ambiental del edificio propuesto en relación con el edificio de comparación

Categoría de impacto	Porcentaje de reducción del impacto ambiental del edificio propuesto
Potencial de calentamiento global (GWP100a)	43.87%
Disminución de la capa de ozono (ODP)	31.99%
Acidificación	41.50%
Eutrofización	36.39%
Oxidación fotoquímica	42.44%

Tabla 45.- Porcentaje de reducción del impacto ambiental del edificio propuesto en relación con el edificio de comparación de acuerdo a los resultados de su ACV. Fuente: elaboración propia

Interpretación del ciclo de vida

Como se ha definido en la sección del alcance y las limitaciones del ACV, este análisis presenta carencias con respecto a la información necesaria para modelar todos los elementos del edificio, así como todos los procesos correspondientes de su ciclo de vida. Los datos que se utilizaron en el ACV fueron elaborados por empresas y organizaciones reconocidas a nivel internacional, pero la mayoría de ellos son con referencia en los procesos y las condiciones de Europa; tampoco se hizo una validación de dichos datos, y se usaron tal y como estaban definidos originalmente.

Nuevamente se aclara que a pesar de estas limitantes se realizó el ACV, y sabiéndose que no se representa el caso específico del ciclo de vida de los edificios en estudio, se tiene una referencia de comparación entre ambos edificios, ya que se respetaron las mismas bases de datos y las mismas consideraciones para el estudio de ambos.

En este estudio el resultado que cobra más importancia no es el valor absoluto del impacto ambiental de cada edificio, sino la relación que se tiene entre el impacto de ambos edificios.

Con las condiciones de este ACV no se alcanzaría a cumplir los requisitos, ni tener la suficiente fiabilidad para utilizarlo como referencia en la obtención del “Crédito MR: Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio” de la certificación *LEED*. Aun así, se presenta la interpretación final del ACV para tener un punto de referencia entre la comparación del impacto ambiental potencial de ambos edificios.

Reflexiones finales de los resultados ACV

Como se puede observar en la tabla 45 se tiene una reducción considerable del impacto ambiental potencial del edificio propuesto en relación con el edificio de comparación, se tiene una disminución en todas las categorías de impacto, siendo el potencial de calentamiento global, la categoría donde se tendría una mayor reducción.

Algo destacable de este análisis es que, de toda la reducción del potencial de calentamiento global calculado, cerca del 94% es debido a la diferencia de consumo energético entre ambos edificios; a pesar del grado de incertidumbre de este análisis, y de que este valor mencionado pueda variar en una magnitud considerable en otros ACV realizados de manera diferente, seguirá siendo el aspecto que más influye para la reducción de emisiones de CO₂.

Considerando lo anterior se puede deducir que, en edificios de este tipo, que contengan sistemas de ventilación mecánicos y una cantidad considerable de equipos electrónicos, la mejor manera de reducir el impacto ambiental es diseñar el edificio para que funcione con una adecuada eficiencia energética, e incluir la instalación de sistemas de energías renovables que mejor se adapte a las condiciones del proyecto.

Finalmente, con este análisis se tiene que se pudo reducir más del 10% del impacto ambiental en 5 categorías (potencial de calentamiento global, disminución de la capa de ozono, eutrofización, acidificación y oxidación fotoquímica), con lo cual se podría completar con los requisitos para la obtención del “Crédito MR: Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio” de la certificación *LEED*. Pero como ya se mencionó, debido a las condiciones de este ACV, no se tienen los requisitos de calidad suficientes para que sea considerado como un análisis adecuado para esa finalidad.

Puntos posibles: 2-5

Puntos a obtener: 0

4.2.3.4 Crédito MR: Revelación y optimización de los productos del edificio- Declaraciones ambientales de productos.

Desarrollo del crédito

Debido a que la mayoría de los productos no cuentan con una declaración ambiental, ni con certificados que demuestren una reducción del impacto de su ciclo de vida, no se puede obtener puntos por este crédito.

Puntos posibles: 1-2

Puntos a obtener: 0

4.2.3.5 Crédito MR: Revelación y optimización de los productos del edificio- Fuentes de materias primas

Desarrollo del crédito

Debido a que la mayor parte de los productos considerados para el edificio no cuentan con un informe de disposición pública de sus suministradores de materias y sus impactos medioambientales, no se pueden obtener puntos de este crédito.

Puntos posibles: 1-2

Puntos a obtener: 0

4.2.3.6 Crédito MR: Revelación y optimización de los productos del edificio- Componentes de los materiales

Debido a que la mayoría de los productos no cuentan con una declaración ambiental o un inventario químico de productos avalados por programas indicados en los requisitos del crédito, ni cuentan con verificaciones independientes por parte de terceros, no se puede obtener puntos por este crédito.

Puntos posibles: 1-2

Puntos a obtener: 0

Capítulo 5.- Presupuesto

Para finalizar el análisis comparativo entre el edificio sostenible propuesto y el edificio de comparación, se realizó el cálculo del presupuesto de cada uno de ellos.

5.1 Descripción del procedimiento

Para el cálculo de los precios unitarios de cada concepto del edificio se tomaron como referencia los precios de cada material necesario del mismo, de acuerdo con las especificaciones indicadas en la descripción de cada concepto, así como las características que se definieron en la sección 4.1.2 y 4.1.3.

Para varios productos con marcas comerciales ya definidas en secciones anteriores, no se pudo obtener su precio actual, por lo cual para los materiales o productos ya definidos con marcas comerciales y que no se pudieron obtener sus precios exactos, se buscaron productos con características similares y se utilizó un promedio del precio de los mismos para el cálculo del presupuesto. Debido a lo anterior, aunque se haya definido la marca comercial de algunos productos utilizados en el edificio, para el cálculo de su precio unitario no se representa exactamente el precio de dichos productos.

Los rendimientos de las cuadrillas de trabajo utilizados para el cálculo de los precios unitarios, se definieron de acuerdo a las que se manejan en el software de “Neodata Precios Unitario 2021”.

Todos los datos que se manejaron para el cálculo de los precios unitarios son representativos del mes de octubre del año 2020.

5.2 Presupuesto del edificio sostenible propuesto

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
Preliminares				
Limpieza y desyerbe del terreno. Incluye: quema de hierba, acopio de basura, mano de obra, equipo y herramienta, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	2961.00	\$10.25	\$30,344.76

Trazo y nivelación con equipo topográfico, estableciendo bancos de nivel y ejes de referencia. Incluye: materiales, equipo topográfico, herramientas, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	2961.00	\$10.31	\$30,527.25
Cimentación				
Excavación a máquina en material tipo II en profundidad de 0 a 2 m. Incluye: Trazo y verificación de niveles de excavación, sobre-excavación, afine de taludes y fondo de la excavación, mano de obra, acarreo internos del material que va a ser usado para relleno, acarreo del material sobrante al sitio autorizado fuera de la obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ³	745.75	\$126.18	\$94,099.98
Firme de concreto premezclado de 5 cm. de espesor de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$. Incluye: preparación de la superficie, materiales, desperdicios, acarreo, herramienta, equipo, mano de obra, vaciado, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ²	2260.30	\$149.65	\$338,242.76
Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo para cimentación del no. 3 (3/8") de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Incluye: materiales, acarreo, cortes, traslapes, ganchos, escuadras, dobleces, silletas, desperdicio, habilitado, colocación, amarres con alambre recocido, mano de obra, equipo, herramienta, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	Kg	11219.87	\$24.84	\$278,731.70
Cimbra acabado común en zapatas de cimentación a base de madera de pino. Incluye: materiales, equipo y herramienta, acarreo, cortes, habilitado, cimbrado, descimbrado, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ²	880.17	\$241.04	\$212,153.16
Suministro y colocación de concreto premezclado de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ en zapatas de cimentación. Incluye: suministro, colocación, vibrado, curado, mano de obra, equipo, herramienta, desperdicio, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ³	298.43	\$3,102.79	\$925,964.77

Relleno y compactación con material producto de la excavación, compactado con compactador de placa vibratoria al 90% de su PVSM. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, tendido, agua, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M³	258.06	\$91.91	\$23,717.29
Estructura				
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 150x22.5). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	945.00	\$44.10	\$41,677.02
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 250x38.5). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	4004.00	\$43.40	\$173,786.37
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 250x44.8). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	3584.00	\$43.28	\$155,114.25
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 310x67). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	22512.00	\$43.19	\$972,364.54
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 310x73). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	36713.06	\$43.02	\$1,579,403. 36

Losa aligerada para para azotea compuesta de módulos de poliestireno expandido de 20 cm. de alto con capa de compresión de 5cm de espesor de concreto premezclado $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$. Incluye: materiales, equipo, herramienta, mano de obra, habilitado y armado de acero, cortes, traslapes, dobleces, ganchos, cimbrado, descimbrado, colocación de concreto, vibrado, curado, acabado con falso plafón de panel de yeso ligero, desperdicios, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	1013.05	\$1,364.14	\$1,381,938.82
Muros				
Muro de paneles de poliestireno expandido con soporte principal de canaletas de acero galvanizado, con un espesor total de muro de 17 cm. Incluye: materiales, acarreo, elevaciones, cortes, desperdicios, fijación, equipo, herramienta, mano de obra, acabados, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	941.67	\$539.08	\$507,637.00
Muro de paneles de poliestireno expandido con soporte principal de canaletas de acero galvanizado, con un espesor total de muro de 12.7 cm. Incluye: materiales, acarreo, elevaciones, cortes, desperdicios, fijación, equipo, herramienta, mano de obra, acabados, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	777.75	\$431.11	\$335,294.90
Bases de concreto y acabados en piso				
Suministro e instalación de piso laminado de madera para interior de 8.0mm. de espesor. Incluye: materiales, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, pegamento para piso, colocación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M ²	1061.05	\$346.97	\$368,148.35
Suministro y colocación de concreto permeable premezclado de 12.5 cm. de espesor, $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$, para estacionamiento. Incluye: preparación de la superficie, cimbra, materiales, desperdicios, acarreo, herramienta, equipo, mano de obra, vaciado, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ²	1162.00	\$467.33	\$543,036.01

Suministro e instalación de adoquín permeable elaborado de concreto de 8 cm. de espesor, para piso peatonal exterior. Incluye: material, equipo, herramienta, acarreo, cortes, colocación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	167.50	\$572.69	\$95,924.76
Carpintería				
Suministro e instalación de pérgola prefabricada de madera de pino de 24 m ² de superficie, formadas por 3 postes de 7x7 cm., 4 vigas de 2,8 x 9,5 cm. y 12 travesaños de 2,8 x 9,5 cm. Incluye: material, equipo, herramienta, acarreo, cortes, colocación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	Pza	2	\$12,548.90	\$25,097.80
Ventanas				
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 0.9x0.9 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	9	\$5,092.58	\$45,833.26
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 1.5x1.2 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	14	\$7,835.75	\$109,700.48
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 1.8x1.2 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado,	Pza	6	\$8,750.37	\$52,502.25

limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.				
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 1.8x1.5 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	10	\$10,102.04	\$101,020.41
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 2.4x1.5 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$12,240.28	\$48,961.12
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 3.0x1.2 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	6	\$12,573.85	\$75,443.08
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 3.0x1.5 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$14,556.14	\$58,224.57
Suministro y colocación de muro de cristal de 3.5x2 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza,	Pza	2	\$19,476.90	\$38,953.80

y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.				
Suministro y colocación de muro de cristal de 3.5x0.75 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$10,395.99	\$20,791.99
Suministro y colocación de muro de cristal de 4.5x2.0 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$24,305.10	\$48,610.20
Suministro y colocación de muro de cristal de 4.5x1.6 m., formadas por doble acristalamiento de 4 y 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$20,675.16	\$41,350.31
Herrería				
Suministro y colocación de reja de acero galvanizado a base de paneles de malla metálica electrosoldada de varillas de acero calibre 6, con postes empotrados en el suelo de 6x6 cm. y espesor de 0.15 cm., colocados a cada 2.5 m. de la malla. Incluye: materiales, equipo, herramienta, acarreo, mano de obra, cortes, colocación, fijación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ²	299.15	\$1,194.07	\$357,206.48
Suministro e instalación de escalera metálica de caracol de 3.5 m. de altura y 2 m. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$60,306.49	\$60,306.49

Instalación eléctrica				
Instalación general para recibir la acometida de CFE. Compuesta por mufa intemperie de 32 mm., tubo conduit de fierro galvanizado de pared gruesa de 32 mm. de diámetro y 3 m. de longitud, cable de cobre thw calibre 8 AWG, base de enchufe de 4 terminales de 100 amperes, interruptor termomagnético de 2 polos 250 volts, 30 amperes, reducción de 32 mm. a 12.7 mm., tubo conduit de pared delgada de 12.7 mm. de diámetro, conector para varilla de tierra, varilla de tierra para resistencia de 25 ohms, y registro para la varilla. Incluye: materiales, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	Pza	1	\$3,386.20	\$3,386.20
Suministro e instalación de medidor bidireccional para sistema solar fotovoltaico interconectado a la red. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$12,674.43	\$12,674.43
Suministro e instalación caja general de protección de 400 A. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$33,812.35	\$33,812.35
Suministro e instalación de cuadro general de mando (tablero de distribución) con 8 interruptores termomagnéticos (2 de 150 A, 2 de 20 A, 2 de 15 A, y 2 de 2 A). Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$32,121.73	\$32,121.73
Suministro e instalación de cable de cobre THW calibre 12. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	645.68	\$18.71	\$12,083.09
Suministro e instalación de cable de cobre THW calibre 10. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios,	M	478.72	\$25.41	\$12,163.98

limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.				
Suministro e instalación de cable de cobre THW calibre 6. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	148.14	\$54.75	\$8,110.55
Suministro e instalación de manguera poliflex de 1.9 cm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	645.68	\$40.83	\$26,365.63
Suministro e instalación de manguera poliflex de 2.5 cm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	478.72	\$47.59	\$22,781.33
Suministro e instalación de manguera poliflex de 3.8 cm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	148.14	\$71.57	\$10,601.91
Suministro e instalación de medidor eléctrico digital. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	5	\$34,499.69	\$172,498.46
Suministro e instalación de salida para teléfono. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	19	\$447.18	\$8,496.45
Suministro e instalación de salida para TV. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	7	\$280.34	\$1,962.41
Suministro e instalación de salida para apagador de alumbrado. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	54	\$314.23	\$16,968.19

Suministro e instalación de salida para contactos. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	73	\$362.42	\$26,456.38
Suministro e instalación de lámpara LED de 3W. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$ 247.56	\$495.13
Suministro e instalación de lámpara LED de 6W. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	88	\$295.40	\$25,995.61
Suministro e instalación de lámpara LED de 9W. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	155	\$331.74	\$51,420.12
Suministro e instalación de Drivers atenuables para lámparas led. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	123	\$338.39	\$41,622.32
Suministro e instalación de lámpara LED con panel solar empotrada en pared. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	17	\$705.46	\$11,992.87
Suministro e instalación de poste con lámpara LED con panel solar. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	11	\$2,479.16	\$27,270.76
Instalación hidráulica				
Suministro e instalación de tubería de cobre tipo M de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, cortes, desperdicios, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	387.86	\$944.02	\$366,145.94

Suministro e instalación de codo de cobre 90° de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	149	\$374.29	\$55,769.89
Suministro e instalación de tee de cobre de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	57	\$576.08	\$32,836.58
Suministro e instalación de válvula de compuerta de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	5	\$1,633.49	\$8,167.46
Suministro e instalación de válvula check de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$2,925.69	\$8,777.07
Suministro e instalación de tanque hidroneumático de 1.5 hp con capacidad de 100 l. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$13,580.08	\$13,580.08
Suministro e instalación de tanque hidroneumático de 0.5 hp con capacidad de 50 l. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$7,993.49	\$7,993.49
Suministro e instalación de contador de agua tipo Woltmann de 2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$4,792.82	\$19,171.26
Suministro e instalación de bomba dosificadora de cloro automática con pantalla digital. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$15,597.08	\$15,597.08

Construcción de cisterna de concreto de 30 m ³ de capacidad, dimensiones de 4x3x2.5 m y espesor de muros de 0.14 m. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, excavación, afine de taludes, preparación de la superficie, firme de concreto de 5 cm. de espesor, suministro y habilitado de acero, cimbrado, descimbrado, colocación de concreto premezclado de f'c=200 kg/cm ² , vibrado, curado, acabados, relleno y compactación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$57,667.38	\$57,667.38
Construcción de cisterna de concreto de 10 m ³ de capacidad, dimensiones de 2.5x2x2 m. y espesor de muros de 0.14 m. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, excavación, afine de taludes, preparación de la superficie, firme de concreto de 5 cm. de espesor, suministro y habilitado de acero, cimbrado, descimbrado, colocación de concreto premezclado de f'c=200 kg/cm ² , vibrado, curado, acabados, relleno y compactación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$26,942.94	\$26,942.94
Suministro e instalación de válvula de pie (pichancha) de 2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$391.20	\$782.39
Suministro e instalación de válvula para flotador de 2". Incluye: flotador, material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$471.40	\$942.80
Instalación pluvial				
Suministro e instalación de tubería de polipropileno de 2" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	115.42	\$331.59	\$38,272.57

Suministro e instalación de tubería de polipropileno de 2 1/2" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	42.10	\$610.22	\$25,690.37
Suministro e instalación de tubería de polipropileno de 3" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	14.58	\$852.07	\$12,423.21
Suministro e instalación de tubería de polipropileno de 4" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	18.50	\$1,193.53	\$22,080.25
Suministro e instalación de tubería de polipropileno de 5" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	32.83	\$1,718.94	\$56,432.85
Suministro e instalación de cople de polipropileno de 2" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	16	\$115.24	\$1,843.80
Suministro e instalación de cople de polipropileno de 3" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$220.60	\$882.40
Suministro e instalación de cople de polipropileno de 4" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$741.72	\$2,225.16
Suministro e instalación de cople de polipropileno de 5" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	6	\$1,167.12	\$7,002.72

Suministro e instalación de codo de polipropileno de 2" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	7	\$161.66	\$1,131.64
Suministro e instalación de codo de polipropileno de 3" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$269.95	\$809.84
Suministro e instalación de codo de polipropileno de 4" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$934.18	\$1,868.36
Suministro e instalación de tee de polipropileno de 2" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$186.52	\$373.05
Suministro e instalación de tee de polipropileno de 3" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$330.11	\$330.11
Suministro e instalación de tee de polipropileno de 4" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$886.72	\$2,660.17
Suministro e instalación de tee de polipropileno de 5" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$1,516.41	\$3,032.83
Suministro e instalación de reducción de polipropileno 3-2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$152.76	\$458.28

Suministro e instalación de reducción de polipropileno 4-2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$627.22	\$1,254.45
Suministro e instalación de reducción de polipropileno 4-3". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$656.45	\$656.45
Suministro e instalación de reducción de polipropileno 5-4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$830.40	\$2,491.21
Suministro e instalación de sistema de tratamiento de agua de lluvia, conformado por una estructura de plástico para los medios filtrantes que se encuentra dentro de una bóveda de concreto de 1.86x3.66 m. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, excavación, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$42,011.11	\$42,011.11
Sistema de riego				
Suministro e instalación de tubería de polietileno de baja densidad de 1/4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	53.36	\$41.98	\$2,240.16
Suministro e instalación de tubería de polietileno de baja densidad de 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	73.28	\$46.33	\$3,395.21
Suministro e instalación de codo de polietileno de baja densidad de 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$34.11	\$68.22

Suministro e instalación de codo de polietileno de baja densidad de 1/4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	28	\$24.90	\$697.20
Suministro e instalación de tee de polietileno de baja densidad de 1/4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$33.76	\$67.52
Suministro e instalación de cruz de polietileno de baja densidad de 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	8	\$63.91	\$511.25
Suministro e instalación de aspersor rotor de 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	26	\$410.31	\$10,668.01
Suministro e instalación de gotero autocompensado para riego. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	37	\$55.87	\$2,067.28
Suministro e instalación de filtro de 1/2" para sistema de riego. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$229.89	\$229.89
Suministro e instalación de filtro de 1/4" para sistema de riego. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$181.46	\$181.46
Suministro e instalación de programador digital del sistema de riego por goteo. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$980.23	\$980.23

Suministro e instalación de programador digital del sistema de riego por aspersión. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$1,283.03	\$1,283.03
Suministro e instalación de válvula reductora de presión para el sistema de riego por goteo. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$476.09	\$476.09
Instalación sanitaria				
Suministro e instalación de tubería de PVC de 1 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	17.10	\$109.62	\$1,874.46
Suministro e instalación de tubería de PVC de 2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	18.75	\$129.57	\$2,429.52
Suministro e instalación de tubería de PVC de 4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	169.75	\$152.43	\$25,874.97
Suministro e instalación de codo de PVC de 90° de 1 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	19	\$56.20	\$1,067.81
Suministro e instalación de codo de PVC de 90° de 2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	8	\$68.28	\$546.21
Suministro e instalación de codo de PVC de 90° de 4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo	Pza	15	\$108.12	\$1,621.79

necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.				
Suministro e instalación de WC de 3.8 litros por descarga. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	15	\$3,039.51	\$45,592.67
Suministro e instalación de Lavamanos con consumo de 3.7 litros por minuto. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	19	\$6,733.60	\$127,938.35
Suministro e instalación de Mingitorio seco. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	8	\$8,192.74	\$65,541.92
Construcción de registros sanitarios hechos de ladrillo rojo recocido asentado con mortero en proporción cemento-arena 1:4 de 40x60x60 cm. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, excavación a mano, acarreo, firme de concreto, relleno y compactación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución.	Pza	46	\$594.57	\$27,350.24
Sistema solar fotovoltaico				
Suministro e instalación de soporte de aluminio prefabricado para montaje de un panel solar. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$2,141.39	\$8,565.55
Suministro e instalación de soporte de aluminio prefabricado para montaje de dos paneles solares. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	6	\$3,241.25	\$19,447.52
Suministro e instalación de soporte de aluminio prefabricado para montaje de tres paneles solares. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo	Pza	4	\$4,562.73	\$18,250.93

necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.				
Suministro e instalación de soporte de aluminio prefabricado para montaje de cuatro paneles solares. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$6,068.34	\$24,273.38
Suministro e instalación de panel solar de 400 W. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	44	\$5,542.23	\$243,858.18
Suministro e instalación de caja combinadora de protección para sistema solar fotovoltaico. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$4,949.16	\$4,949.16
Suministro e instalación de inversor para sistema solar fotovoltaico. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$92,127.22	\$92,127.22
Suministro e instalación de cable de cobre THW calibre 10. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, desperdicios, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	75.10	\$25.41	\$1,908.24
Suministro e instalación de cable de cobre THW calibre 8. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, desperdicios, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	25.00	\$36.37	\$909.37
Suministro e instalación de manguera poliflex de 1.9 cm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	7.40	\$40.83	\$302.17
Sistema de climatización				

Suministro e instalación de unidad exterior de 26 hp de potencia del sistema de climatización de volumen de refrigerante variable del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$1,009,589.38	\$1,009,589.38
Suministro e instalación de válvula de cierre de cobre de 1 1/4" para el sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$1,110.89	\$1,110.89
Suministro e instalación de junta refnet de 1 1/4" para ramificación de tuberías del sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	58	\$457.38	\$26,528.16
Suministro e instalación de junta refnet de 3/4" para ramificación de tuberías del sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	29	\$270.62	\$7,848.11
Suministro e instalación de tubería rígida de cobre tipo L de 3/4" con recubrimiento especial de espuma elastomérica de 1/2" de espesor para el sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, dobladuras realizadas con doblador eléctrico, abrazaderas con bases de neopreno para soporte de la tubería, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	254.14	\$301.24	\$76,557.53
Suministro e instalación de tubería rígida de cobre tipo L de 1 1/4" con recubrimiento especial de espuma elastomérica de 1/2" de espesor para el sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, dobladuras realizadas con doblador eléctrico, abrazaderas con bases de neopreno para soporte de la tubería, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	508.28	\$539.67	\$274,301.88

Suministro e instalación de cople de cobre de 3/4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	12	\$90.29	\$1,083.51
Suministro e instalación de cople de cobre de 1 1/4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	24	\$189.57	\$4,549.60
Suministro e instalación de caja selectora de derivación múltiple para el sistema de recuperación de calor VRV IV para 10 derivaciones. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$218,660.38	\$437,320.76
Suministro e instalación de unidad interior tipo cassette montado en techo (compacto multi-flujo) de 3.6 kw de capacidad enfriamiento y 4 kw de capacidad de calentamiento. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	8	\$55,546.10	\$444,368.79
Suministro e instalación de unidad interior tipo cassette montado en el techo (doble vía) de 7.1 kw de capacidad enfriamiento y 8 kw de capacidad de calentamiento. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$74,972.17	\$149,944.34
Suministro e instalación de unidad interior tipo cassette montado en techo (compacto multi-flujo) de 2.2 kw de capacidad enfriamiento y 2.5 kw de capacidad de calentamiento. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	22	\$50,216.77	\$1,104,769.03

Suministro e instalación de dispositivo de control digital de las unidades interiores del sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	5	\$7,299.66	\$36,498.28
Suministro de carga adicional de refrigerante R-410A para el sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	20.5	\$353.25	\$7,241.69
Suministro e instalación de ventilador con recuperación de calor con flujo de aire de 350 m3/h. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$59,514.69	\$178,544.08
Suministro e instalación de ventilador con recuperación de calor con flujo de aire de 1000 m3/h. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$123,328.69	\$246,657.39
Suministro e instalación de rejilla de impulsión de una fila de aletas horizontales móviles fabricada con perfiles de aluminio extruido y anodizado de 15x20cm. para sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$585.03	\$1,755.10
Suministro e instalación de rejilla de impulsión de una fila de aletas horizontales móviles fabricada con perfiles de aluminio extruido y anodizado de 40x25cm. para sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	5	\$1,015.81	\$5,079.04

Suministro e instalación de rejilla de retorno de aletas curvadas fijas a 45° fabricada con perfiles de aluminio extruido y anodizado de 20x20cm. para sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$635.00	\$1,904.99
Suministro e instalación de rejilla de retorno de aletas curvadas fijas a 45° fabricada con perfiles de aluminio extruido y anodizado de 50x35cm. para sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	5	\$1,251.39	\$6,256.94
Suministro e instalación de ductos de lámina galvanizada calibre 22 de 25 cm. de diámetro con aislamiento térmico doble de aluminio de 3 mm. de espesor para el sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	73.3	\$1,065.20	\$78,079.13
Suministro e instalación de ductos de lámina galvanizada calibre 22 de 12.7 cm. de diámetro con aislamiento térmico doble de aluminio de 3 mm. de espesor para el sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	23	\$524.16	\$12,055.74

IMPORTE TOTAL= \$15,419,033.93

5.3 Presupuesto del edificio de comparación

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe

Preliminares				
Limpieza y desyerbe del terreno. Incluye: quema de hierba, acopio de basura, mano de obra, equipo y herramienta, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	2961.00	\$10.25	\$30,344.76
Trazo y nivelación con equipo topográfico, estableciendo bancos de nivel y ejes de referencia. Incluye: materiales, equipo topográfico, herramientas, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	2961.00	\$10.31	\$30,527.25
Cimentación				
Excavación a máquina en material tipo II en profundidad de 0 a 2 m. Incluye: Trazo y verificación de niveles de excavación, sobre-excavación, afine de taludes y fondo de la excavación, mano de obra, acarreo internos del material que va a ser usado para relleno, acarreo del material sobrante al sitio autorizado fuera de la obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ³	745.75	\$126.18	\$94,099.98
Firme de concreto premezclado de 5 cm. de espesor de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$. Incluye: preparación de la superficie, materiales, desperdicios, acarreo, herramienta, equipo, mano de obra, vaciado, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ²	2260.30	\$149.65	\$338,242.76
Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo para cimentación del no. 3 (3/8") de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Incluye: materiales, acarreo, cortes, traslapes, ganchos, escuadras, dobleces, silletas, desperdicio, habilitado, colocación, amarres con alambre recocido, mano de obra, equipo, herramienta, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	Kg	11219.87	\$24.84	\$278,731.70
Cimbra acabado común en zapatas de cimentación a base de madera de pino. Incluye: materiales, equipo y herramienta, acarreo, cortes, habilitado, cimbrado, descimbrado, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ²	880.17	\$241.04	\$212,153.16

Suministro y colocación de concreto premezclado de f'c= 250 kg/cm ² en zapatas de cimentación. Incluye: suministro, colocación, vibrado, curado, mano de obra, equipo, herramienta, desperdicio, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ³	298.43	\$3,102.79	\$925,964.77
Relleno y compactación con material producto de la excavación, compactado con compactador de placa vibratoria al 90% de su PVSM. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, tendido, agua, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ³	258.06	\$91.91	\$23,717.29
Estructura				
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 150x22.5). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	945.00	\$44.10	\$41,677.02
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 250x38.5). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	4004.00	\$43.40	\$173,786.37
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 250x44.8). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	3584.00	\$43.28	\$155,114.25
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 310x67). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	22512.00	\$43.19	\$972,364.54

Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 250x73). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	36713.06	\$43.02	\$1,579,403.36
Suministro y colocación de perfiles estructurales de acero (IPR 200x26.6). Incluye: material, equipo, herramienta, soldadura, acarreo, trazo, cortes, armado, aplicación de anticorrosivo, montaje, mano de obra, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	841.09	\$43.94	\$36,959.32
Losa de losacero calibre 20 con una capa de 10 cm. de espesor sobre la cresta de concreto premezclado f'c= 250 kg/cm ² con malla metálica electrosoldada 6x6/6-6. Incluye: materiales, equipo, herramienta, mano de obra, habilitado y armado de acero, cortes, cimbrado, descimbrado, colocación de concreto, vibrado, curado, acabado con falso plafón de panel de yeso ligero, desperdicios, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	1013.05	\$1,829.01	\$1,852,875.43
Muros				
Muro de panel metálico tipo sándwich formado por dos caras de lámina y aisladas con espuma de poliuretano de alta densidad de 2.54 cm. de espesor. Incluye: materiales, acarreos, elevaciones, cortes, desperdicios, fijación, equipo, herramienta, mano de obra, acabados, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	1719.42	\$401.37	\$690,122.12
Bases de concreto y acabados en piso				
Suministro e instalación de piso interior de cerámica de 6 mm. de espesor. Incluye: materiales, equipo, herramienta, mano de obra, acarreos, mortero, colocación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M ²	1061.05	\$344.30	\$365,323.31
Suministro y colocación de concreto premezclado de 10 cm. de espesor f'c= 250 kg/cm ² , para estacionamiento. Incluye: preparación de la superficie, cimbra, materiales, desperdicios, acarreos,	M ²	1162.00	\$427.65	\$496,933.80

herramienta, equipo, mano de obra, suministro y habilitado de acero, vaciado, limpieza y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.				
Suministro e instalación de adoquín de 8 cm. de espesor, para piso peatonal exterior. Incluye: material, equipo, herramienta, acarreo, cortes, colocación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	M ²	167.5	\$553.82	\$92,765.23
Carpintería				
Suministro e instalación de pérgola prefabricada de madera de pino de 24 m ² de superficie, formadas por 3 postes de 7x7 cm., 4 vigas de 2,8 x 9,5 cm. y 12 travesaños de 2,8 x 9,5 cm. Incluye: material, equipo, herramienta, acarreo, cortes, colocación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	Pza	2	\$12,548.90	\$25,097.80
Ventanas				
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 0.9x0.9 m., formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	9	\$3,913.77	\$35,223.97
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 1.5x1.2 m., formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	14	\$5,575.78	\$78,060.87

Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 1.8x1.2 m., formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	6	\$6,108.58	\$36,651.48
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 1.8x1.5 m., formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	10	\$6,887.80	\$ 68,878.05
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 2.4x1.5 m., formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$8,087.77	\$32,351.07
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 3.0x1.2 m., formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	6	\$8,384.27	\$50,305.63
Suministro y colocación de ventana corrediza prefabricada (una hoja fija y la otra corrediza) de 3.0x1.5 m., formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$9,443.99	\$37,775.96

Suministro y colocación de muro de cristal de 3.5x2 m., formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, acarreo, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$9,541.34	\$19,082.68
Suministro y colocación de muro de cristal de 3.5x0.75 m., formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, acarreo, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$6,547.83	\$13,095.66
Suministro y colocación de muro de cristal de 4.5x2 m. formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, acarreo, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$15,298.54	\$30,597.09
Suministro y colocación de muro de cristal de 4.5x1.6 m. formadas por un cristal de 6 mm. de espesor con un marco de PVC aislante de 8.6 cm. de espesor y 8 cm. de ancho. Incluye: material, equipo, herramienta, acarreo, mano de obra, colocación, fijación, sellado, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$13,419.77	\$26,839.53
Herrería				
Suministro y colocación de reja de acero galvanizado a base de paneles de malla metálica electrosoldada de varillas de acero calibre 6, con postes empotrados en el suelo de 6x6 cm. y espesor de 0.15 cm., colocados a cada 2.5 m. de la malla. Incluye: materiales, equipo, herramienta, acarreos, mano de obra, cortes, colocación, fijación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M ²	299.15	\$1,194.07	\$357,206.48

Suministro e instalación de escalera metálica de caracol de 3.5 m. de altura y 2 m. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$60,306.49	\$60,306.49
Instalación eléctrica				
Instalación general para recibir la acometida de CFE. Compuesta por mufa intemperie de 32 mm., tubo conduit de fierro galvanizado de pared gruesa de 32 mm. de diámetro y 3 m. de longitud, cable de cobre thw calibre 8 AWG, base de enchufe de 4 terminales de 100 amperes, interruptor termomagnético de 2 polos 250 volts, 30 amperes, reducción de 32 mm. a 12.7 mm., tubo conduit de pared delgada de 12.7 mm. de diámetro, conector para varilla de tierra, varilla de tierra para resistencia de 25 ohms, y registro para la varilla. Incluye: materiales, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T	Pza	1	\$3,386.20	\$3,386.20
Suministro e instalación de medidor digital de energía eléctrica. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$8,785.70	\$8,785.70
Suministro e instalación caja general de protección de 400 A. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$33,812.35	\$33,812.35
Suministro e instalación de cuadro general de mando (tablero de distribución) con 8 interruptores termomagnéticos (2 de 150 A, 2 de 20 A, 2 de 15 A, y 2 de 2 A). Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$32,121.73	\$32,121.73

Suministro e instalación de cable de cobre THW calibre 12. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	645.68	\$18.71	\$12,083.09
Suministro e instalación de cable de cobre THW calibre 10. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	478.72	\$25.41	\$12,163.98
Suministro e instalación de cable de cobre THW calibre 6. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	148.14	\$54.75	\$8,110.55
Suministro e instalación de manguera poliflex de 1.9 cm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	645.68	\$40.83	\$26,365.63
Suministro e instalación de manguera poliflex de 2.5 cm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	478.72	\$47.59	\$22,781.33
Suministro e instalación de manguera poliflex de 3.8 cm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	148.14	\$71.57	\$10,601.91
Suministro e instalación de salida para teléfono. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	19	\$447.18	\$8,496.45
Suministro e instalación de salida para TV. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	7	\$280.34	\$1,962.41

Suministro e instalación de salida para apagador de alumbrado. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	54	\$314.23	\$16,968.19
Suministro e instalación de salida para contactos. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	73	\$362.42	\$26,456.38
Suministro e instalación de lámpara de 24 W. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$244.30	\$488.60
Suministro e instalación de lámpara de 40 W. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	88	\$281.49	\$24,771.14
Suministro e instalación de lámpara de 54 W. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	155	\$302.36	\$46,865.70
Suministro e instalación de lámpara para exterior de 45 W. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	17	\$438.99	\$7,462.78
Suministro e instalación de poste con foco de 150 W. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	11	\$1,829.95	\$20,129.46
Instalación hidráulica				
Suministro e instalación de tubería de cobre tipo M de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, cortes, desperdicios, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	387.86	\$944.02	\$366,145.94

Suministro e instalación de codo de cobre 90° de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	149	\$374.29	\$55,769.89
Suministro e instalación de tee de cobre de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	57	\$ 576.08	\$32,836.58
Suministro e instalación de válvula de compuerta de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	5	\$1,633.49	\$8,167.46
Suministro e instalación de válvula check de 51 mm. de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$2,925.69	\$8,777.07
Suministro e instalación de tanque hidroneumático de 1.5 hp con capacidad de 100 l. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$13,580.08	\$13,580.08
Suministro e instalación de tanque hidroneumático de 0.5 hp con capacidad de 50 l. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$7,993.49	\$7,993.49
Construcción de cisterna de concreto de 20m ³ de capacidad, dimensiones de 4x2.5x2 m. y espesor de muros de 0.14 m. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, excavación, afine de taludes, preparación de la superficie, firme de concreto de 5 cm. de espesor, suministro y habilitado de acero, cimbrado, descimbrado, colocación de concreto premezclado de f'c=200 kg/cm ² , vibrado, curado, acabados, relleno y compactación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$45,697.54	\$45,697.54

Suministro e instalación de válvula de pie (pichancha) de 2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$391.20	\$391.20
Suministro e instalación de válvula para flotador de 2". Incluye: flotador, material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$471.40	\$471.40
Instalación pluvial				
Suministro e instalación de tubería de polipropileno de 2" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	10.5	\$331.59	\$3,481.74
Suministro e instalación de tubería de polipropileno de 2 1/2" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	9	\$610.22	\$5,492.00
Suministro e instalación de tubería de polipropileno de 3" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	7	\$852.07	\$5,964.50
Suministro e instalación de tubería de polipropileno de 4" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	3.5	\$1,193.53	\$4,177.34
Suministro e instalación de codo de polipropileno de 2" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$161.66	\$484.99
Suministro e instalación de codo de polipropileno de 3" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$269.95	\$1,079.78

Suministro e instalación de codo de polipropileno de 4" de diámetro. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$934.18	\$934.18
Sistema de riego				
Suministro e instalación de tubería de polietileno de baja densidad de 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	126.64	\$46.33	\$5,867.48
Suministro e instalación de codo de polietileno de baja densidad de 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$34.11	\$68.22
Suministro e instalación de cruz de polietileno de baja densidad de 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	8	\$63.91	\$511.25
Suministro e instalación de aspersor de 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	26	\$192.29	\$4,999.55
Suministro e instalación de filtro de 1/2" para sistema de riego. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$229.89	\$229.89
Suministro e instalación de programador digital del sistema de riego por aspersión. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$1,283.03	\$1,283.03
Instalación sanitaria				

Suministro e instalación de tubería de PVC de 1 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	17.1	\$109.62	\$1,874.46
Suministro e instalación de tubería de PVC de 2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	18.75	\$129.57	\$2,429.52
Suministro e instalación de tubería de PVC de 4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, cortes, instalación, pruebas, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	169.75	\$152.43	\$25,874.97
Suministro e instalación de codo de PVC de 90° de 1 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	19	\$56.20	\$1,067.81
Suministro e instalación de codo de PVC de 90° de 2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	8	\$68.28	\$546.21
Suministro e instalación de codo de PVC de 90° de 4". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	15	\$108.12	\$1,621.79
Suministro e instalación de WC de 6 litros por descarga. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	15	\$1,804.08	\$27,061.15
Suministro e instalación de Lavamanos de 8.3 litros por minuto. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	19	\$3,202.92	\$60,855.48

Suministro e instalación de Mingitorio de 3.8 litros por descarga. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	8	\$2,384.99	\$19,079.91
Construcción de registros sanitarios hechos de ladrillo rojo recocido asentado con mortero en proporción cemento-arena 1:4 de 40x60x60 cm. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, excavación a mano, acarreo, firme de concreto, relleno y compactación, desperdicios, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	46	\$594.57	\$27,350.24
Sistema de climatización				
Suministro e instalación de bomba de calor de 14 kw de capacidad de enfriamiento/calefacción del sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	4	\$149,969.60	\$599,878.40
Suministro e instalación de bomba de calor de 16 kw de capacidad de enfriamiento/calefacción del sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$179,765.37	\$179,765.37
Suministro e instalación de bomba de calor de 18 kw de capacidad de enfriamiento/calefacción del sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	1	\$215,374.94	\$215,374.94
Suministro e instalación de junta refnet de 1/2" para ramificación de tuberías del sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	22	\$165.34	\$3,637.42

Suministro e instalación de junta refnet de 5/8" para ramificación de tuberías del sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$221.86	\$443.73
Suministro e instalación de junta refnet de 1" para ramificación de tuberías del sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	24	\$369.24	\$8,861.82
Suministro e instalación de tubería rígida de cobre tipo L de 1/2" con recubrimiento especial de espuma elastomérica de 1/2" de espesor para el sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, dobladuras realizadas con doblador eléctrico, abrazaderas con bases de neopreno para soporte de la tubería, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	196.00	\$216.45	\$42,424.13
Suministro e instalación de tubería rígida de cobre tipo L de 5/8" con recubrimiento especial de espuma elastomérica de 1/2" de espesor para el sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, dobladuras realizadas con doblador eléctrico, abrazaderas con bases de neopreno para soporte de la tubería, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	30.00	\$281.10	\$8,432.85
Suministro e instalación de tubería rígida de cobre tipo L de 1" con recubrimiento especial de espuma elastomérica de 1/2" de espesor para el sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, dobladuras realizadas con doblador eléctrico, abrazaderas con bases de neopreno para soporte de la tubería, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	226.00	\$446.64	\$100,940.25

Suministro e instalación de cople de cobre de 1/2". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	9	\$71.75	\$645.71
Suministro e instalación de cople de cobre de 5/8". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$84.45	\$253.35
Suministro e instalación de cople de cobre de 1". Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	12	\$145.86	\$1,750.30
Suministro e instalación de unidad interior tipo cassette montado en techo (compacto multi-flujo) de 3.6 kw de capacidad enfriamiento y 4 kw de capacidad de calentamiento. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	8	\$55,546.10	\$444,368.79
Suministro e instalación de unidad interior tipo cassette montado en el techo (doble vía) de 7.1 kw de capacidad enfriamiento y 8 kw de capacidad de calentamiento. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$74,972.17	\$149,944.34
Suministro e instalación de unidad interior tipo cassette montado en techo (compacto multi-flujo) de 2.2 kw de capacidad enfriamiento y 2.5 kw de capacidad de calentamiento. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	22	\$50,216.77	\$1,104,769.03
Suministro e instalación de dispositivo de control digital de las unidades interiores del sistema de climatización el edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	6	\$7,299.66	\$43,797.94

Suministro de carga adicional de refrigerante R-410A para el sistema de climatización del edificio. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Kg	20.5	\$353.25	\$7,241.69
Suministro e instalación de ventilador con recuperación de calor con flujo de aire de 350 m ³ /h. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$59,514.69	\$178,544.08
Suministro e instalación de ventilador con recuperación de calor con flujo de aire de 1000 m ³ /h. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	2	\$123,328.69	\$246,657.39
Suministro e instalación de rejilla de impulsión de una fila de aletas horizontales móviles fabricada con perfiles de aluminio extruido y anodizado de 15x20 cm. para sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$585.03	\$1,755.10
Suministro e instalación de rejilla de impulsión de una fila de aletas horizontales móviles fabricada con perfiles de aluminio extruido y anodizado de 40x25 cm. para sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	5	\$1,015.81	\$5,079.04
Suministro e instalación de rejilla de retorno de aletas curvadas fijas a 45° fabricada con perfiles de aluminio extruido y anodizado de 20x20 cm. para sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	3	\$635.00	\$1,904.99

Suministro e instalación de rejilla de retorno de aletas curvadas fijas a 45° fabricada con perfiles de aluminio extruido y anodizado de 50x35 cm. para sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	Pza	5	\$1,251.39	\$6,256.94
Suministro e instalación de ductos de lámina galvanizada calibre 22 de 25 cm. de diámetro con aislamiento térmico doble de aluminio de 3 mm. de espesor para el sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	73.3	\$1,065.20	\$78,079.13
Suministro e instalación de ductos de lámina galvanizada calibre 22 de 12.7 cm. de diámetro con aislamiento térmico doble de aluminio de 3 mm. de espesor para el sistema de ventilación con recuperación de calor. Incluye: material, equipo, herramienta, mano de obra, acarreo, instalación, pruebas, limpieza, y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.	M	23	\$524.16	\$12,055.74

IMPORTE TOTAL= \$ 13,771,421.33

Con los resultados obtenidos del presupuesto de ambos edificios se observa que el edificio sostenible propuesto es \$1,647,612.60 más caro que el edificio de comparación, con lo cual se puede determinar que el porcentaje de inversión extra que se requeriría para el edificio sostenible propuesto es de 11.96%.

5.4 Análisis comparativos finales

Los ahorros que se obtendrían a lo largo de la vida útil del edificio serían los equivalentes a la diferencia de pagos de servicios de agua y electricidad entre ambos edificios.

Servicio de agua potable

Considerando los resultados obtenidos en la sección 4.2.1.4 de la cantidad de agua a suministrar por el servicio de agua potable en el edificio, se determinó la tarifa anual a cubrir de dicho servicio para el caso de ambos edificios.

Edificio de comparación

Mes	Consumo (m ³)	Precio (\$)
Enero	43.56	1954.27
Febrero	46.19	2097.45
Marzo	50.85	2277.51
Abril	52.02	2369.68
Mayo	53.81	2422.90
Junio	46.64	2097.45
Julio	42.24	1909.79
Agosto	41.53	1865.36
Septiembre	43.99	1954.27
Octubre	47.93	2142.11
Noviembre	45.89	2050.39
Diciembre	43.47	1954.27
Σ	558.12	25,095.45

Tabla 46.- Cálculo de precio por servicio de agua potable del edificio de comparación. Fuente: elaboración propia

Edificio sostenible propuesto

Mes	Consumo (m ³)	Precio (\$)
Enero	13.93	588.59
Febrero	19.06	870.61
Marzo	23.69	1049.43
Abril	21.87	960.70
Mayo	5.67	350.79
Junio	3.39	300.77
Julio	3.39	300.77
Agosto	3.39	300.77
Septiembre	3.39	300.77
Octubre	3.39	300.77
Noviembre	3.39	300.77
Diciembre	4.49	325.24
Σ	109.06	5,949.98

Tabla 47.- Cálculo de precio por servicio de agua potable del edificio sostenible. Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 46 y en la tabla 47, el ahorro por el pago del servicio de agua potable sería de \$19,145.47 de manera anual.

Servicio de electricidad

Considerando la misma metodología utilizada en la sección 4.2.2.10 se realizó el cálculo para determinar la tarifa a pagar por el servicio de electricidad del edificio de comparación, así como del edificio sostenible propuesto. Para el edificio sostenible se considera sólo el consumo energético que será suministrado por la empresa de CFE.

Edificio de comparación

Mes	Consumo (kwh)	Tarifa (\$)
Enero	11338.09	38363.05
Febrero	7803.59	27853.69
Marzo	7980.37	27353.22
Abril	7695.01	26772.62
Mayo	7696.14	25874.38
Junio	6651.76	23549.94
Julio	7014.99	24437.49
Agosto	6618.69	23351.76
Septiembre	6892.60	23570.02
Octubre	7476.84	25172.50
Noviembre	9779.58	33322.93
Diciembre	9941.81	33292.70
Σ	96889.45	332914.30

Tabla 48.- Cálculo de precio por servicio de electricidad del edificio de comparación. Fuente: elaboración propia.

Edificio sostenible propuesto

Mes	Consumo	Tarifa (\$)
Enero	6221.16	21,253.20
Febrero	3536.24	12,868.70
Marzo	3205.07	11,255.48
Abril	3072.44	10,960.64
Mayo	3198.49	11,016.90
Junio	2732.72	9,940.69

Julio	3017.82	10,769.91
Agosto	2617.35	9,507.10
Septiembre	3087.54	10,807.19
Octubre	3170.19	10,932.97
Noviembre	5000.35	17,258.62
Diciembre	5178.44	17,557.44
Total	44037.81	154,128.83

Tabla 49.- Cálculo de precio por servicio de electricidad del edificio sostenible. Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 48 y en la tabla 49, el ahorro por el pago del servicio de electricidad sería de \$178,785.48 al año.

A diferencia del servicio de agua potable, el consumo de energía eléctrica no se considera constante a lo largo de la vida útil del edificio, esto debido que la eficiencia para producir energía eléctrica de los paneles solares puede ir disminuyendo a lo largo de su vida útil. Los paneles solares a instalar en el edificio tienen una garantía de funcionamiento de al menos 80% de eficiencia al final de su vida útil, la cual se maneja de 25 años.

Para fines de cálculo se consideró que la eficiencia de los paneles solares irá disminuyendo de manera lineal a lo largo de su vida útil, hasta llegar al 80% de su máxima capacidad de producción energía eléctrica en el año 25 de su vida útil. Partiendo de lo anterior se definió una reducción anual de .8333% de la potencia pico de los paneles solares.

La producción de energía renovable a lo largo de los 25 años de vida útil de los paneles se indica en la siguiente tabla:

Año	Energía producida por paneles solares (kwh)
1	30704.96
2	30449.09
3	30193.21
4	29937.34
5	29681.46
6	29425.59
7	29169.71
8	28913.84
9	28657.96

10	28402.09
11	28146.21
12	27890.34
13	27634.46
14	27378.59
15	27122.71
16	26866.84
17	26610.97
18	26355.09
19	26099.22
20	25843.34
21	25587.47
22	25331.59
23	25075.72
24	24819.84
25	24563.97

Tabla 50.- Energía producida por paneles solares a lo largo de su vida útil. Fuente: elaboración propia.

Se realizó el cálculo del ahorro del pago por el servicio de electricidad considerando lo modificación en el consumo de energía eléctrica de acuerdo a la tabla 50.

La tarifa a pagar por el servicio en electricidad del edificio sostenible considerando los 25 años de vida útil del panel solar se indica en la siguiente tabla:

Año	Tarifa del servicio de electricidad	Ahorro
1	\$ 154,128.8	\$ 178,785.5
2	\$ 154,994.5	\$ 177,919.8
3	\$ 155,860.5	\$ 177,053.8
4	\$ 156,726.6	\$ 176,187.7
5	\$ 157,592.6	\$ 175,321.7
6	\$ 158,458.7	\$ 174,455.6
7	\$ 159,324.7	\$ 173,589.6
8	\$ 160,190.8	\$ 172,723.5
9	\$ 161,056.8	\$ 171,857.5
10	\$ 161,922.9	\$ 170,991.4
11	\$ 162,788.9	\$ 170,125.4
12	\$ 163,655.0	\$ 169,259.3
13	\$ 164,521.0	\$ 168,393.3

14	\$ 165,387.1	\$ 167,527.2
15	\$ 166,253.1	\$ 166,661.2
16	\$ 167,119.2	\$ 165,795.1
17	\$ 167,985.2	\$ 164,929.1
18	\$ 168,851.3	\$ 164,063.0
19	\$ 169,717.3	\$ 163,197.0
20	\$ 170,583.4	\$ 162,330.9
21	\$ 171,449.4	\$ 161,464.9
22	\$ 172,315.5	\$ 160,598.8
23	\$ 173,181.5	\$ 159,732.8
24	\$ 174,047.6	\$ 158,866.7
25	\$ 174,913.7	\$ 158,000.6

Tabla 51.- Tarifa a pagar del servicio de electricidad a lo largo de la vida útil del edificio sostenible. Fuente: elaboración propia.

Cada vez que terminan los 25 años, se vuelve a iniciar con los valores de tarifas de la tabla partiendo del año 1.

Considerando los ahorros por el servicio de agua y de electricidad, y la diferencia del presupuesto entra ambos edificios, se calculó el tiempo de retorno de la inversión del edificio sostenible, así como la variación de las ganancias en cada año de vida útil considerado del edificio.

Se realizó una gráfica que representa el ahorro de dinero que se tendrían en el funcionamiento del edificio sostenible a lo largo de 60 años. Para el proceso de cálculo se inició considerando la diferencia entre el presupuesto de ambos edificios como valor negativo (ya que significa una inversión extra en el edificio sostenible), a partir de ahí se van sumando los ahorros en los servicios de agua y de electricidad del edificio sostenible, obtenidos de la tabla 47 y de la tabla 51. Además de los valores anteriores también se tomaron en cuenta los precios correspondientes del reemplazo de elementos al finalizar su vida útil (considerada de acuerdo a las tablas 39-42). El precio por el reemplazo de los elementos del edificio de comparación, se tomaron como positivos (ya que es un gasto que sólo se presenta en ese edificio y que se ahorra en el edificio sostenible), el precio por el reemplazo de los elementos del edificio sostenible se tomaron como negativos, (ya que es un gasto adicional que sólo se presenta en el edificio sostenible).

En la gráfica siguiente se indica la variación de las ganancias totales a lo largo de la vida útil del edificio sostenible.

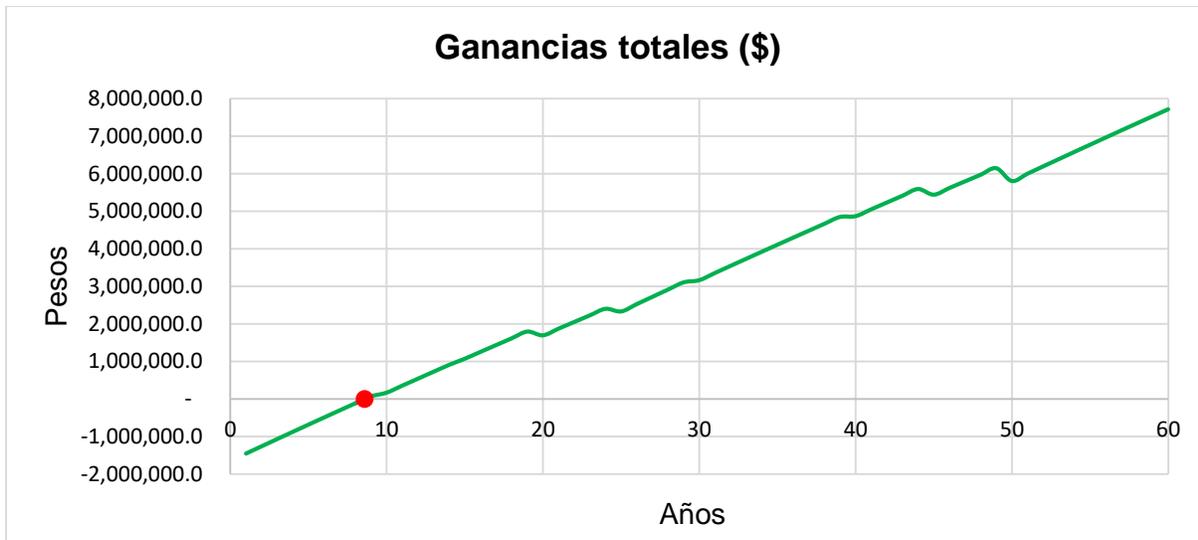


Figura 156.- Cálculo de ganancias totales a lo largo de la vida útil del edificio sostenible. Fuente: elaboración propia.

En la figura 156 está indicado con un círculo rojo el periodo en que se obtendría el retorno de la inversión, el cual es igual a 8.6 años.

Resumen final de las características más relevantes del edificio sostenible

Descripción general de la envolvente del edificio: Los muros se seleccionaron que fueran de paneles de poliestireno expandido, los cuales deben ser colocados por la parte exterior de las columnas y las vigas para evitar la generación de puentes térmicos; la losa será igualmente de paneles de poliestireno expandido con una capa de compresión de concreto en la parte superior y su respectivo acero de refuerzo. Las ventanas del edificio serán de doble acristalamiento con una cámara de aire interior, y formadas con un marco de PVC aislante. Con todo lo anterior se logrará un buen aislamiento y una mejora en la eficiencia energética.

Con el diseño de la envolvente del edificio y los sistemas de iluminación y climatización se logró reducir en 22.86% el consumo de electricidad del edificio, y adicionalmente con la instalación del sistema de paneles solares fotovoltaicos se podrá reducir el consumo hasta en un 54.55%.

El edificio cuenta con muebles sanitarios de bajo consumo de agua, áreas verdes exteriores con bajo requerimiento de agua y un sistema de riego adecuado para cada tipo de planta, además de ello se instalará un sistema de captación de agua pluvial, con todo lo anterior se podrá reducir el consumo de agua en un 80.46%

En el tema de la calidad del ambiente interior, en los espacios de oficinas se puede cumplir la mayor parte del tiempo con los caudales de aire requeridos sólo con la ventilación natural; en las áreas de salas de juntas, recepción principal, cocina y comedor, no basta con la ventilación natural, y se recurrirá a instalar un sistema de ventilación con recuperador de calor que estará interconectado con el sistema principal de aire acondicionado.

Para conseguir los parámetros de confort en todas las áreas del edificio se instalará un sistema de aire acondicionado de volumen de refrigerante variable con recuperador de calor, con el cual se puede controlar la temperatura en cada cuarto del edificio de manera independiente.

Varios de los productos incluidos en el edificio cuentan con impactos ambientales reducidos, se elaboraron a base de otros productos reciclados y de igual manera pueden ser reciclados al final de su vida útil.

La inversión extra necesaria para el edificio sostenible es de \$1,647,612.60 (11.96%) en relación con el edificio de comparación.

En este caso de estudio se hicieron modificaciones del proyecto de un edificio que ya tenía un diseño previamente definido, y estaba planeado con la orientación y la ubicación en un lugar diferente al que se le consideró en el estudio. De igual manera el diseño original del edificio no tenía contemplada la implementación de una certificación como construcción sostenible. En los resultados finales se obtuvo un rendimiento aceptable en las condiciones analizadas de este estudio, como lo fue la eficiencia energética, la eficiencia en agua y en la reducción del impacto ambiental; sin embargo resultó en un presupuesto mayor al que se esperaba

De lo anterior se puede concluir que, para obtener mejores rendimientos del edificio es necesario planearlo y diseñarlo para que sea sostenible desde el inicio del proyecto. De igual manera se puede notar que, es importante la participación colaborativa de todos los especialistas de las diferentes áreas que participan en el proyecto desde las fases iniciales, ya que así se tendrá un mejor desarrollo del proyecto y se puede ir optimizando el diseño final con base en el criterio de todos los participantes.

Metodología utilizada para determinar el diseño del edificio.

Para el diseño final del edificio sostenible se hizo un análisis con diferentes materiales y elementos hasta encontrar el diseño más adecuado que se acoplara a las características requeridas del edificio. Para comparar los diferentes elementos que conforman el sistema constructivo se basó en varios aspectos, los principales fueron:

- Precio
- Vida útil
- Impacto ambiental de la producción de ese elemento
- Destino final del elemento al terminar su vida útil

- Ubicación del lugar donde se fabricó el elemento
- Propiedades físicas
- Influencia del elemento en la simulación energética del edificio

Considerando estos aspectos se decidió qué elementos se establecerían para el diseño final. Algunos casos que se presentaron en el proceso de análisis y comparación de los elementos a incluir en el edificio fueron los siguientes:

- Ciertos elementos añadidos al diseño mejoraron la eficiencia energética y disminuyeron el impacto ambiental, pero incrementaba considerablemente el precio total de la obra y su periodo de retorno de inversión;
- Otros elementos considerados presentaban un funcionamiento adecuado para la eficiencia energética, pero en el análisis de su ciclo de vida tenían un impacto ambiental muy elevado;
- Algunos elementos tenían un impacto ambiental muy reducido y poseían declaraciones ambientales, además de funcionar adecuadamente en la simulación energética, pero se fabricaban en Europa y al considerar el impacto ambiental que generaría su transporte ya no salía tan ventajosos en ese rubro.

Además de los ejemplos mencionados anteriormente se presentaron varios más en el proceso para definir el diseño del edificio; al final lo que se buscó es hacer la selección de los elementos que, al realizarse el análisis del edificio de manera global, mostraran mejores resultados, tratando de obtener un balance entre los aspectos ya mencionados.

Existe una lista muy amplia de diferentes materiales y equipos que se pueden incluir en un edificio para hacerlo sostenible, y hacer un análisis de todas esas opciones resultaría en un proceso muy extenso. Normalmente en investigaciones o en información que dan los productores de esos elementos y equipos, se indican en qué condiciones son más recomendables de usar; con base en esa información y con la experiencia laboral de las personas encargadas del proyecto, se puede hacer una lista preliminar de que elementos podrían resultar convenientes elegir para el edificio en cuestión, y sobre de ellos hacer los análisis correspondientes.

En este caso de estudio se hizo una revisión en otras investigaciones y proyectos acerca de los elementos y tecnologías que se han utilizado para mejorar la eficiencia energética, la eficiencia del uso del agua, y la reducción del impacto ambiental de otras construcciones, de todos ellos se contemplaron algunos que se consideró podían funcionar en este edificio, y de esa selección preliminar se fueron haciendo los análisis y comparaciones para determinar cuáles incluir en el diseño final.

Conclusiones

No hay un diseño ideal o una solución única para lograr que un edificio sea sostenible, cada uno presenta condiciones diferentes, y engloba muchas variables para determinar

el diseño final, como lo pueden ser: ubicación, condiciones climáticas, construcciones adyacentes, condiciones del terreno, uso que se le dará al edificio, horarios de ocupación, normativas locales, presupuesto, etc. Por lo cual para cada edificio se tiene que hacer un análisis individual y determinar cuál es el diseño que mejor se le adapta para hacerlo sostenible.

Para el diseño de los edificios es recomendable seleccionar productos que tengan declaraciones ambientales públicas, ya que con esos datos se tienen resultados más realistas. Varias empresas cuentan con estas declaraciones, pero hay otras que aún no; para tener análisis más exactos y una mayor variedad de opciones al seleccionar los elementos que conforman el edificio, es necesario que las empresas compartan este tipo de información y tengan una verificación adecuada.

Incluir un elemento que por sí sólo esté catalogado como sostenible, no necesariamente va a ser la mejor opción para contribuir a que el edificio completo sea sostenible. Por ejemplo, si un elemento está certificado como producto sostenible, pero su fabricación fue en un lugar a distancias muy lejanas del sitio donde se va a implementar, su transporte representaría un impacto ambiental considerable; y puede haber otros elementos que aunque tengan un impacto ambiental mayor en su producción, se hayan elaborado a distancias más cercanas, y en un análisis de ciclo de vida completo resulten mejores en ese aspecto. Como segundo ejemplo, puede que un elemento de igual manera tenga un impacto ambiental bajo, pero no resulta tan eficiente en la simulación energética, lo cual implicaría un mayor consumo de electricidad en el edificio y una mayor producción de contaminación; mientras que otro producto, aunque tenga un impacto ambiental mayor en su producción, ayude más en la eficiencia energética del edificio, y con ese descenso del consumo de electricidad, ayude a disminuir más el impacto ambiental de todo el edificio en comparación con el otro producto.

Si un material o un equipo contribuyó muy bien en el diseño de un edificio para hacerlo sostenible, no es garantía que en un proyecto diferente va a funcionar con la misma eficiencia. Tal y como se mencionó en el primer punto, son diversas las variables que influyen en el funcionamiento del edificio, y los materiales y equipos seleccionados se pueden resultar o no beneficiados dependiendo de las mismas.

El ahorro de agua, la eficiencia energética, y la inversión extra de un edificio sostenible se determinan de acuerdo a un edificio con el que se comparan. Existen certificaciones, así como algunas normas que indican algunos parámetros de consumo de agua, consumo energético y algunas características de la envolvente que se consideran para definir el edificio de comparación; la parte de los materiales y el presupuesto puede estar sujeta a las especificaciones de las personas encargadas del proyecto del edificio. Por lo tanto, establecer algún estándar entre la relación de los ahorros de los servicios de agua y electricidad con la inversión extra necesaria para el edificio sostenible, sería inexacto, ya que las características tanto del edificio de comparación, como del edificio sostenible de un proyecto, pueden variar considerablemente con las de otro proyecto.

Como ya se mencionó a lo largo de este trabajo, existen evidencias de que la mayoría de los lugares no cumplen con las normas de calidad de aire, y no sólo eso, sino que tampoco se cumplen en el interior de las construcciones que es donde pasamos la mayor parte de nuestro tiempo, por lo tanto, estamos expuestos constantemente a los contaminantes del aire, los cuales tienen repercusiones directas en nuestra salud. Debido a esto se debe de buscar que en el interior de los edificios se tenga una calidad de aire adecuada.

La eficiencia energética y la inclusión de fuentes de energías renovables tienen una influencia muy importante para reducir el impacto ambiental de los edificios.

Recomendaciones finales para hacer que un edificio sea sostenible

En diversas investigaciones se han señalado varias recomendaciones a seguir para lograr que un edificio sea sostenible, y en ellas los autores coinciden mayoritariamente en las mismas estrategias.

Las estrategias que se presentan a continuación se definieron de acuerdo con las fuentes de información consultadas, y con el procedimiento realizado para la determinación del diseño del edificio en este caso de estudio. Dichas estrategias se basaron principalmente en la información presentada en el documento “*LEED v4 para diseño y construcción de edificios*” [149].

Estas estrategias están enfocadas a cubrir los aspectos que se analizaron en este caso de estudio (eficiencia energética, eficiencia en el uso del agua, impacto ambiental de materiales y recursos). Las estrategias son:

- Tratar de aprovechar lo mayor posible las condiciones climáticas y medioambientales en beneficio del edificio.
- Desde el diseño arquitectónico analizar las características de la envolvente para que tenga un buen comportamiento y una buena eficiencia energética (realizar una simulación energética).
- Tratar de reutilizar materiales para el edificio que se va a construir o utilizar productos que contengan materiales reciclados. Preferentemente seleccionar productos de bajo impacto ambiental que tengan una declaración ambiental y que se fabriquen en zonas cercanas a la región.
- Definir el destino final que tendrá cada elemento del edificio al final de su vida útil, y buscar utilizar en la construcción la mayor parte de elementos que se puedan reutilizar o reciclar la finalizar su vida útil.
- Realizar un análisis de ciclo de vida de todo el edificio para comprobar cuáles son las mejores alternativas que reducen el impacto ambiental.
- Utilizar muebles sanitarios de bajo consumo de agua

- Añadir áreas verdes en el diseño con plantas que sean de la región y de un bajo consumo de agua. De igual manera seleccionar un sistema de riego eficiente de acuerdo con las características de cada tipo de planta.
- Instalar un sistema de energía renovable si las condiciones del proyecto lo permiten.
- Utilizar fuentes alternativas de agua como lo puede ser agua pluvial, aguas grises, aguas negras etc., si las condiciones del proyecto lo permiten.
- Determinar los caudales de aire necesarios para tener una adecuada calidad de aire, y tratar de aprovechar lo más posible la ventilación natural, en caso de que no sea suficiente, añadir un sistema de aire acondicionado que resulte más eficiente en el edificio.
- Al seleccionar cada elemento o equipo a incluir en el edificio, analizarlo considerando las variables mencionadas en la sección “Metodología utilizada para determinar el diseño del edificio”.

Con base en estas estrategias y considerando también los resultados obtenidos en los análisis realizados, así como el presupuesto con el que se dispone, se deben de ir haciendo comparaciones con diferentes elementos y sistemas que se puedan incluir en el edificio. No todos los elementos van a contribuir en igual proporción en todos sus aspectos evaluados (precio, impacto ambiental, contribución en eficiencia energética, etc.). Al final lo que se debe buscar, es tener un equilibrio en las condiciones del edificio, diseñarlo con los elementos que en conjunto le ayuden a cumplir con los requerimientos para hacerlo sostenible.

ANEXOS

Anexo 1

Tipo de accesorio	FTE	Estudiante/ visitante	Cliente minorista	Residente
	Usos/día			
Inodoro				
— Mujer	3	0.5	0.2	5
— Hombre	1	0.1	0.1	5
Orinal				
— Mujer	0	0	0	n/d
— Hombre	2	0.4	0.1	n/d
Grifo de lavatorio — duración 15 seg.; 12 seg. con autocontrol — residencial, duración 60 seg.	3	0.5	0.2	5
Ducha — duración 300 seg. — residencial, duración 480 seg.	0.1	0	0	1
Fregadero de cocina — duración 15 seg. — residencial, duración 60 seg.	1 n/d	0 n/d	0 n/d	n/d 4

Figura 157.- Usos de accesorios predeterminados por tipo de ocupación, 2009. Fuente: Guía de Estudio de LEED AP Diseño y Construcción de Edificios del USGBC

Anexo 2

<i>Aparato o accesorio</i>	<i>Línea base (unidades IP)</i>	<i>Línea base (unidades SI)</i>
Sanitarios*	1,6 gpf	6 lpf
Urinarios*	1,0 gpf	3,8 lpf
Grifos de cuartos de baño de servicios públicos	0,5 gpm a 60 psi** todos los demás excepto usos privados	1,9 lpm a 415 kPa, todos los demás excepto usos privados
Grifos de cuartos de baño de servicios no públicos	2,2 gpm a 60 psi	8,3 lpm a 415 kPa
Grifos de cocinas (excepto grifos usados exclusivamente para operaciones de llenado)	2,2 gpm a 60 psi	8,3 lpm a 415 kPa
Cabezales de ducha*	2,5 gpm a 80 psi por cabina de ducha	9,5 lpm a 550 kPa por cabina de ducha

*Etiqueta WaterSense disponible para este tipo de producto

gpf = galones por pulsación

gpm = galones por minuto

psi = libras por pulgada cuadrada

lpf = litros por pulsación

lpm = litros por minuto

kPa = kilopascales

Figura 158.- Consumo de agua de línea base para aparatos y accesorios, 2009. Fuente: SpainGBC.

Anexo 3

Material o tipo de construcción	Kc
Cubiertas metálicas o plásticas	0.95
Techos impermeabilizados o cubiertos con materiales duros (p. ej. Tejas)	0.9
Concreto hidráulico	0.9
Calles asfaltadas	0.85
Lámina corrugada	0.8
Adoquinado o empedrado con cemento	0.75
Terrazas	0.6
Adoquín sin juntear	0.6
Terracerías	0.4

Figura 159.- Coeficientes de escurrimiento por tipo de material, 2013. Fuente: NMX-AA-164-SCFI-2013

Anexo 4

Diseño de la instalación pluvial

Se realizó el proceso de cálculo para determinar los gastos de diseño del agua pluvial captada, así como el diámetro y pendiente de cada tramo de tubería. En los “Planos de instalación pluvial” del anexo 7 se muestra la nomenclatura de cada tramo de tubería.

Diámetros de bajantes pluviales

Tubería	Área de Captación (m ²)	Gasto (m ³ /s)	Diámetro bajante (mm)
A	355.47	0.005776	101.6
B	52.08	0.000846	50.8
C	172.62	0.002805	76.2
D	85.56	0.001390	63.5
E	85.56	0.001390	63.5
F	37.50	0.000609	50.8

Tabla 52.- Diámetros de las bajantes pluviales. Fuente: elaboración propia

En la tabla siguiente se muestra para cada sección de tubería de la instalación pluvial, el diámetro comercial seleccionado, la pendiente, y la velocidad que alcanza el agua.

Diámetros y pendientes de la instalación pluvial

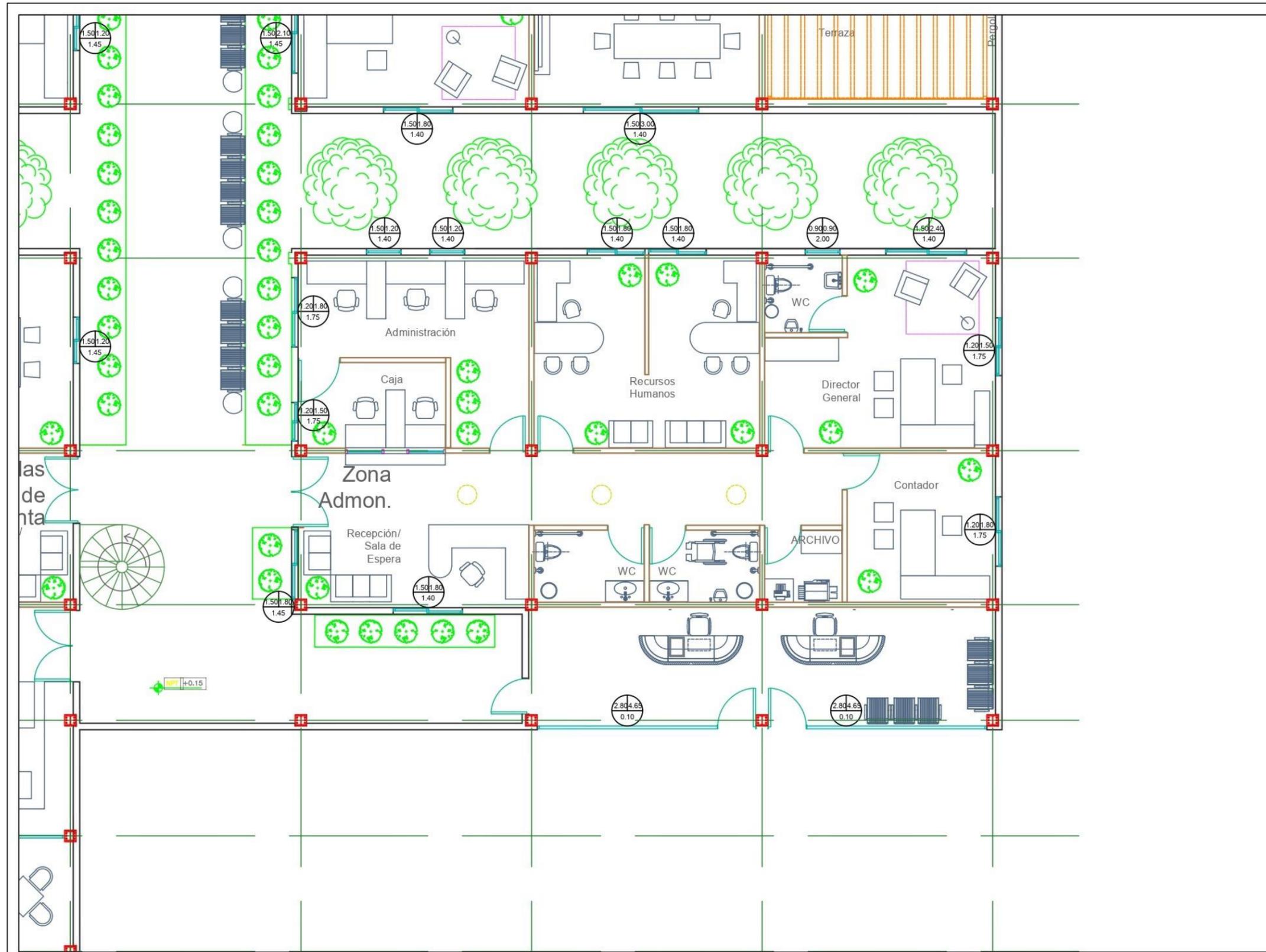
Tubería	D (mm)	S (-)	V (m/s)
1,4	50.8	2.00%	0.973
2,3	63.5	2.00%	1.129
5	101.6	1.50%	1.337
6,7	50.8	2.00%	0.973
8	101.6	1.50%	1.337
9,12	50.8	2.00%	0.973
10,11	76.2	3.00%	1.561
13	127.0	1.50%	1.552
14	50.8	2.00%	0.973
15	63.5	2.00%	1.129
16	127.0	1.50%	1.552
17	50.8	2.00%	0.973
18	50.8	2.00%	0.973
19	127.0	1.50%	1.552

Tabla 53.- Diámetros y pendientes de las tuberías de la instalación pluvial. Fuente: elaboración propia

Anexo 5

Planos

arquitectónicos



Croquis de localización

SIMBOLOGÍA

- Muro exterior de 17 cm. de espesor
- Muro interior de 12.7 cm. de espesor
- Ventana corrediza
- Ventana fija
- Columna IPR 300X73
- Proyección de pérgola
- Proyección de tragaluz tubular
- Altura de la ventana
- Ancho de la ventana
- Altura desde el piso

Proyecto:
Centro de negocios

Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

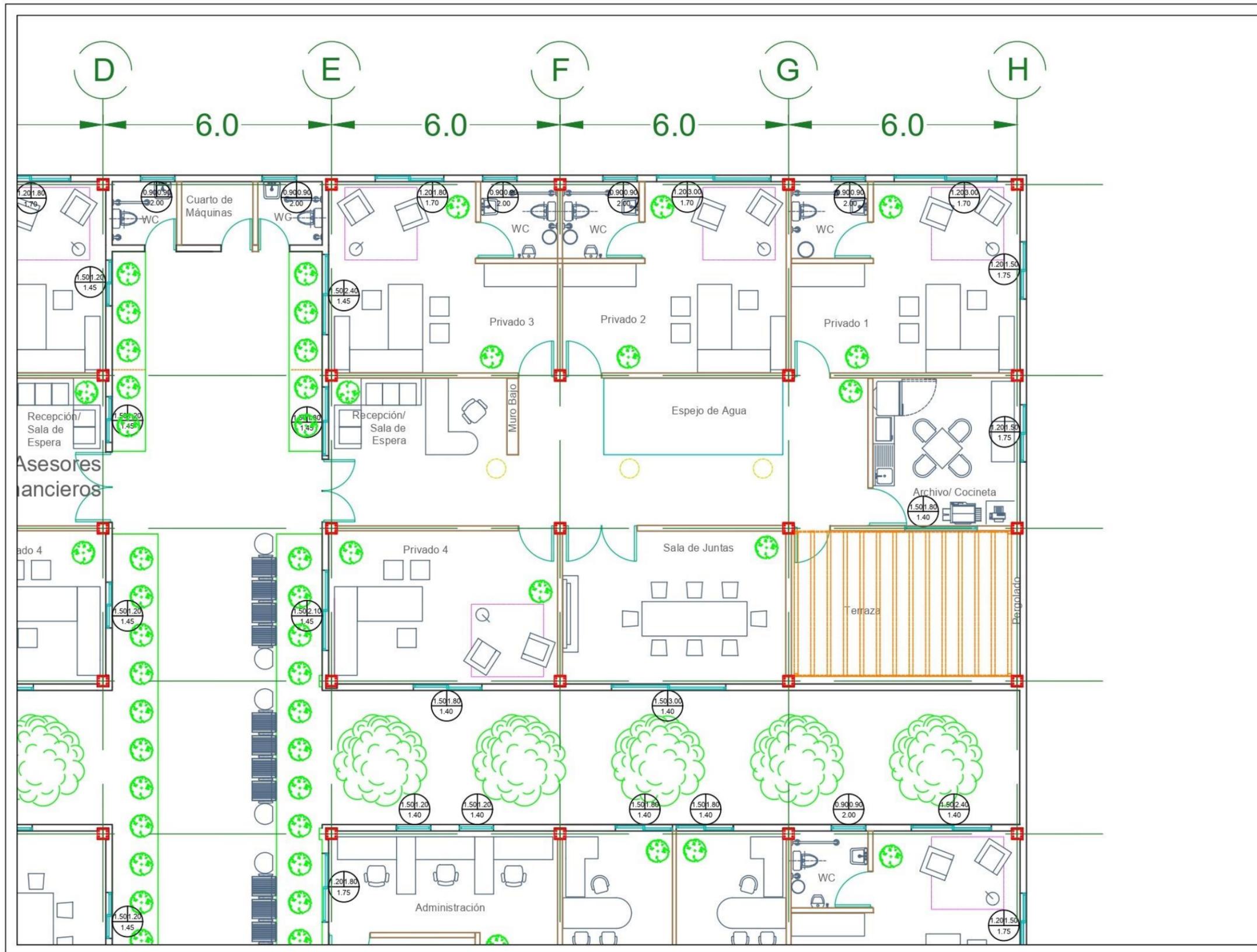
Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Arquitectónico PB (Sección Norte)

Escala gráfica:



SIMBOLOGÍA

- Muro exterior de 17 cm. de espesor
- Muro interior de 12.7 cm. de espesor
- Ventana corrediza
- Ventana fija
- Columna IPR 300X73
- Proyección de pérgola
- Proyección de tragaluz tubular
- Altura de la ventana
- Ancho de la ventana
- Altura desde el piso

Proyecto:
Centro de negocios

Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

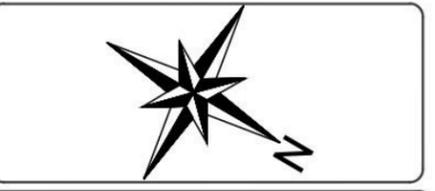
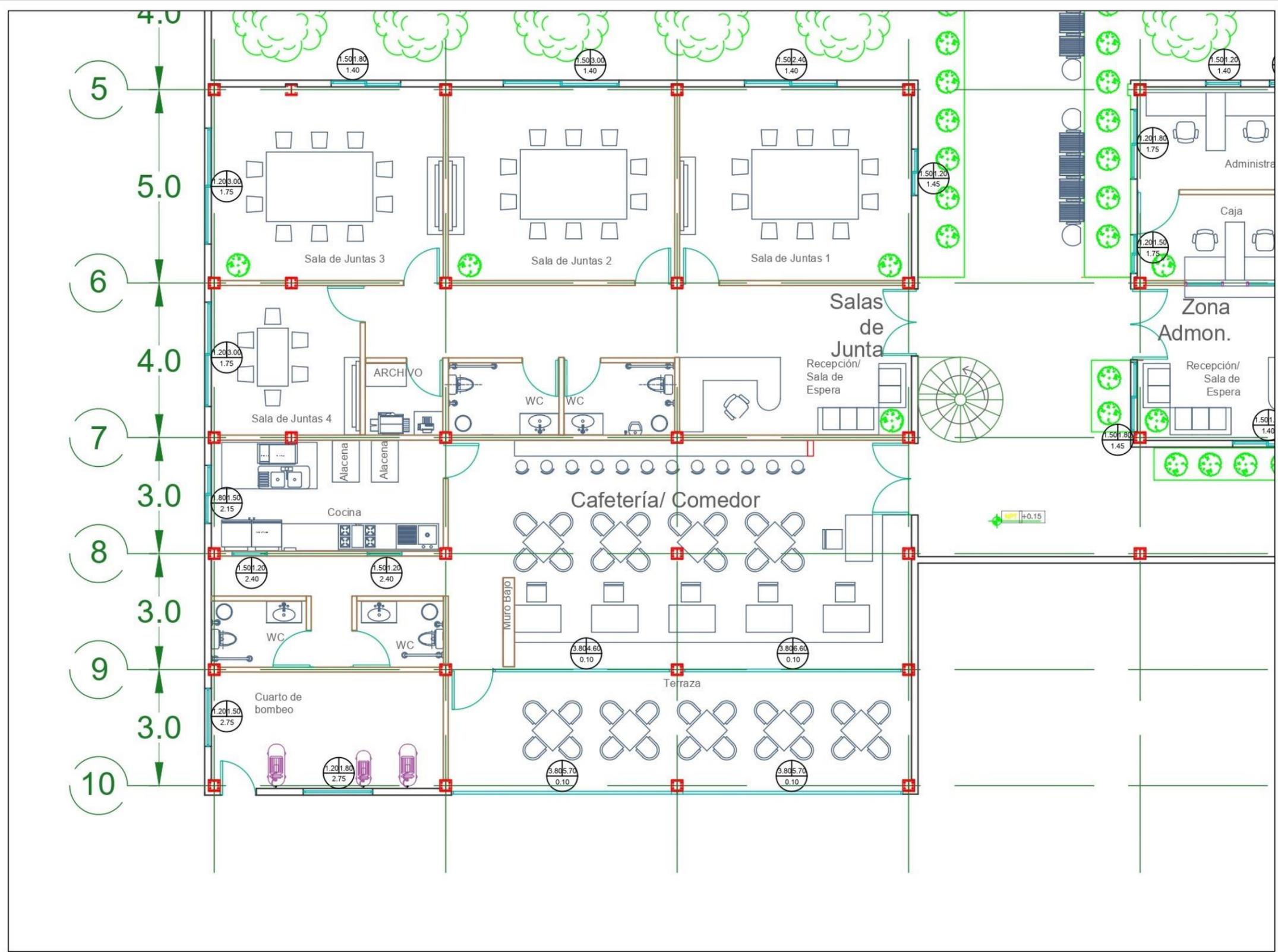
Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Arquitectónico PB (Sección Oeste)





- SIMBOLOGÍA**
- Muro exterior de 17 cm. de espesor
 - Muro interior de 12.7 cm. de espesor
 - Ventana corrediza
 - Ventana fija
 - Columna IPR 300X73
 - Proyección de pérgola
 - Proyección de tragaluz tubular
 - Altura de la ventana
 - Ancho de la ventana
 - Altura desde el piso

Proyecto:
Centro de negocios

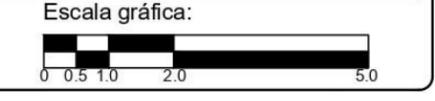
Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

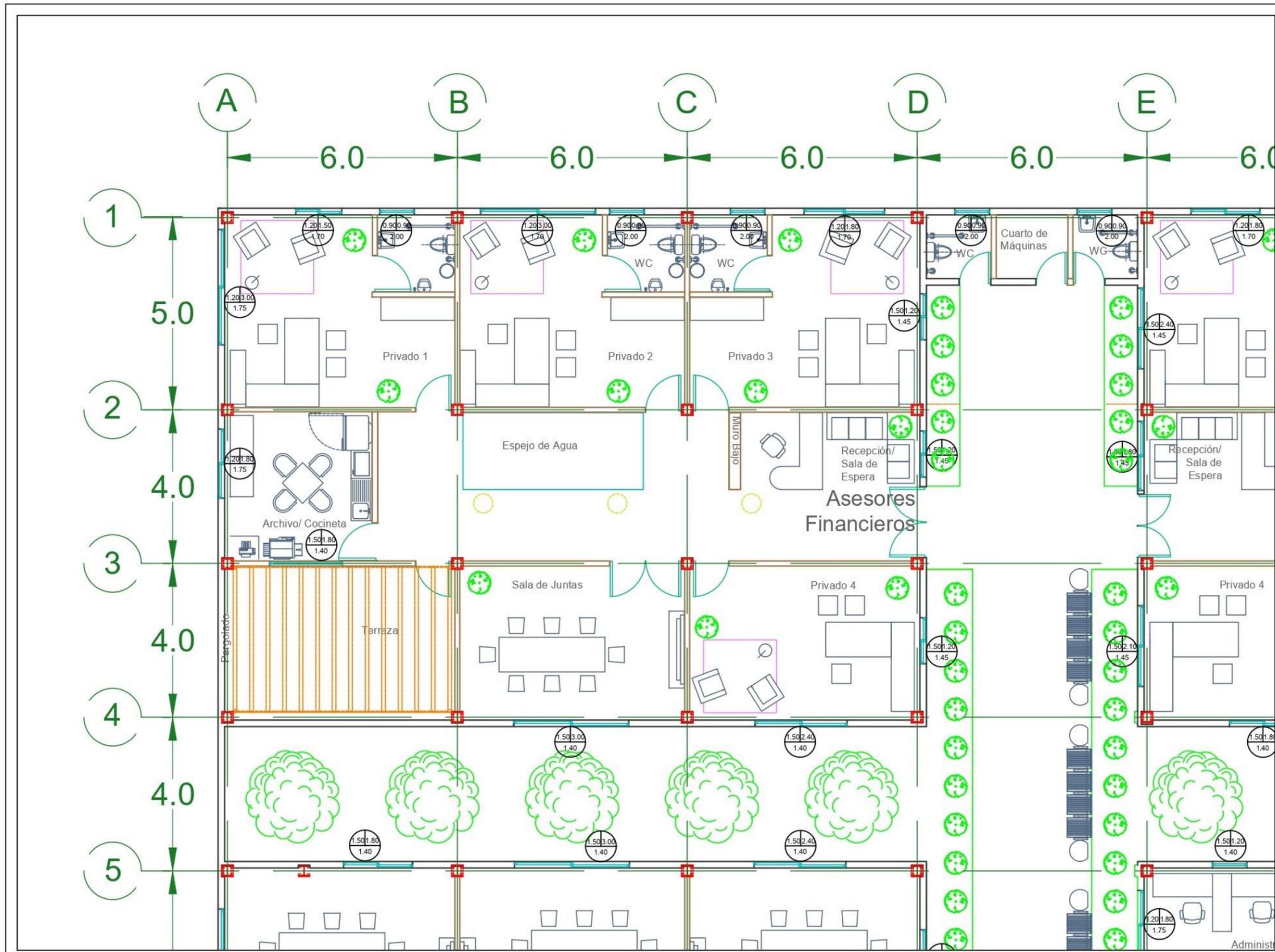
Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Arquitectónico PB (Sección Este)





SIMBOLOGÍA

- Muro exterior de 17 cm. de espesor
- Muro interior de 12.7 cm. de espesor
- Ventana corrediza
- Ventana fija
- Columna IPR 300X73
- Proyección de pérgola
- Proyección de tragaluz tubular
- Altura de la ventana
- Ancho de la ventana
- Altura desde el piso

Proyecto: Centro de negocios

Ubicación: Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

Elaboró plano original: Paulo Brito

Elaboró plano modificado: Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano: *Arquitectónico PB (Sección Sur)*

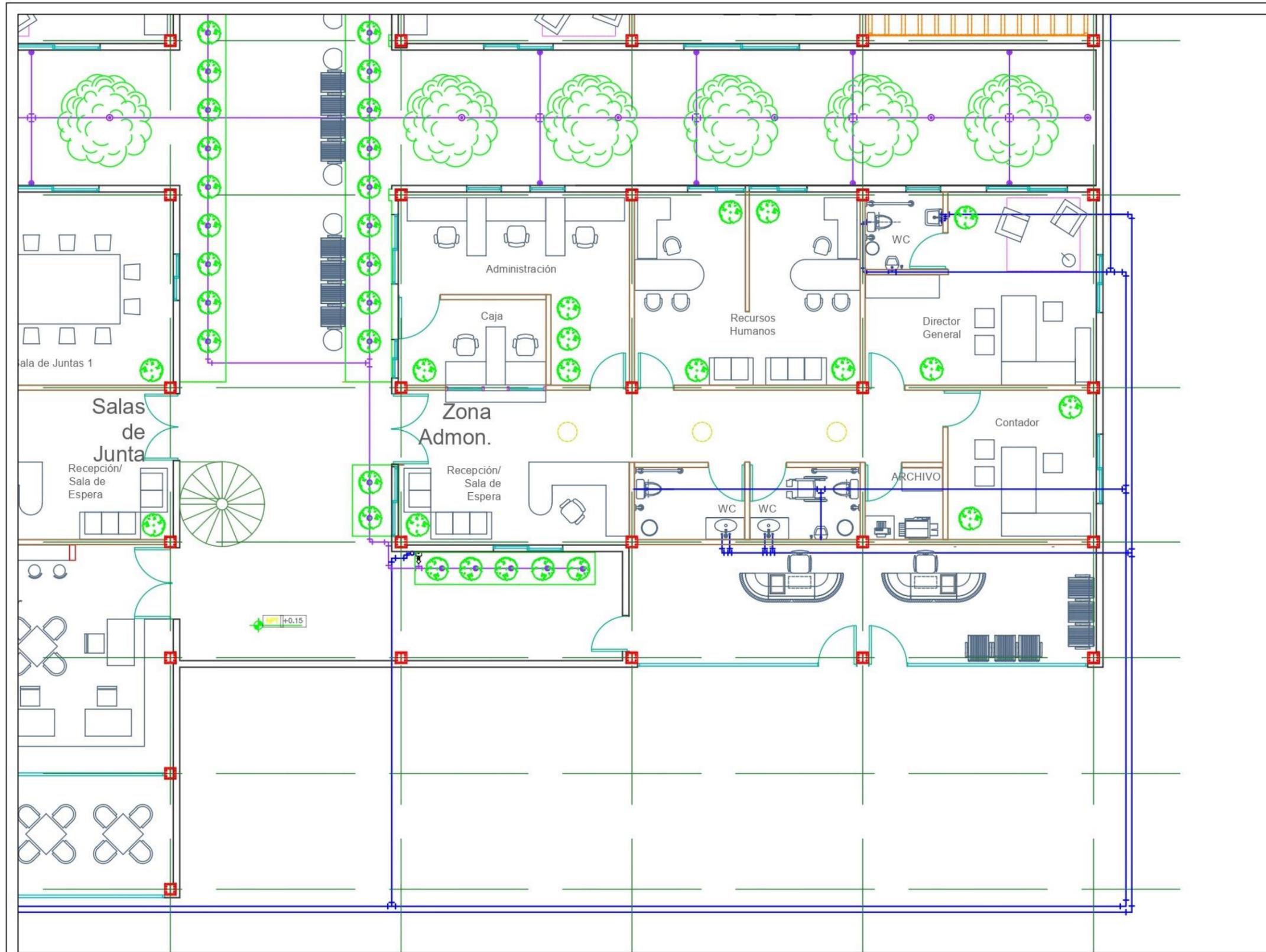
Escala gráfica:

Anexo 6

Planos de

instalación

hidráulica



Croquis de localización

SIMBOLOGÍA

- Tubería de cobre Ø= 2"
- Codo de cobre de 90° Ø= 2"
- Tee de cobre Ø= 2"
- Llave de paso Ø= 2"
- Válvula check Ø= 2"
- Contador de agua tipo Woltman
- Filtro con acumulación de impurezas
- Toma de agua
- Programador de riego
- Tubería de polietileno Ø= 1/2"
- Codo de polietileno de 90°
- Tee de polietileno
- Cruz de polietileno
- Aspersor rotor de circunferencia completa
- Aspersor rotor de media circunferencia
- Gotero autocompensante

Proyecto:
Centro de negocios

Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

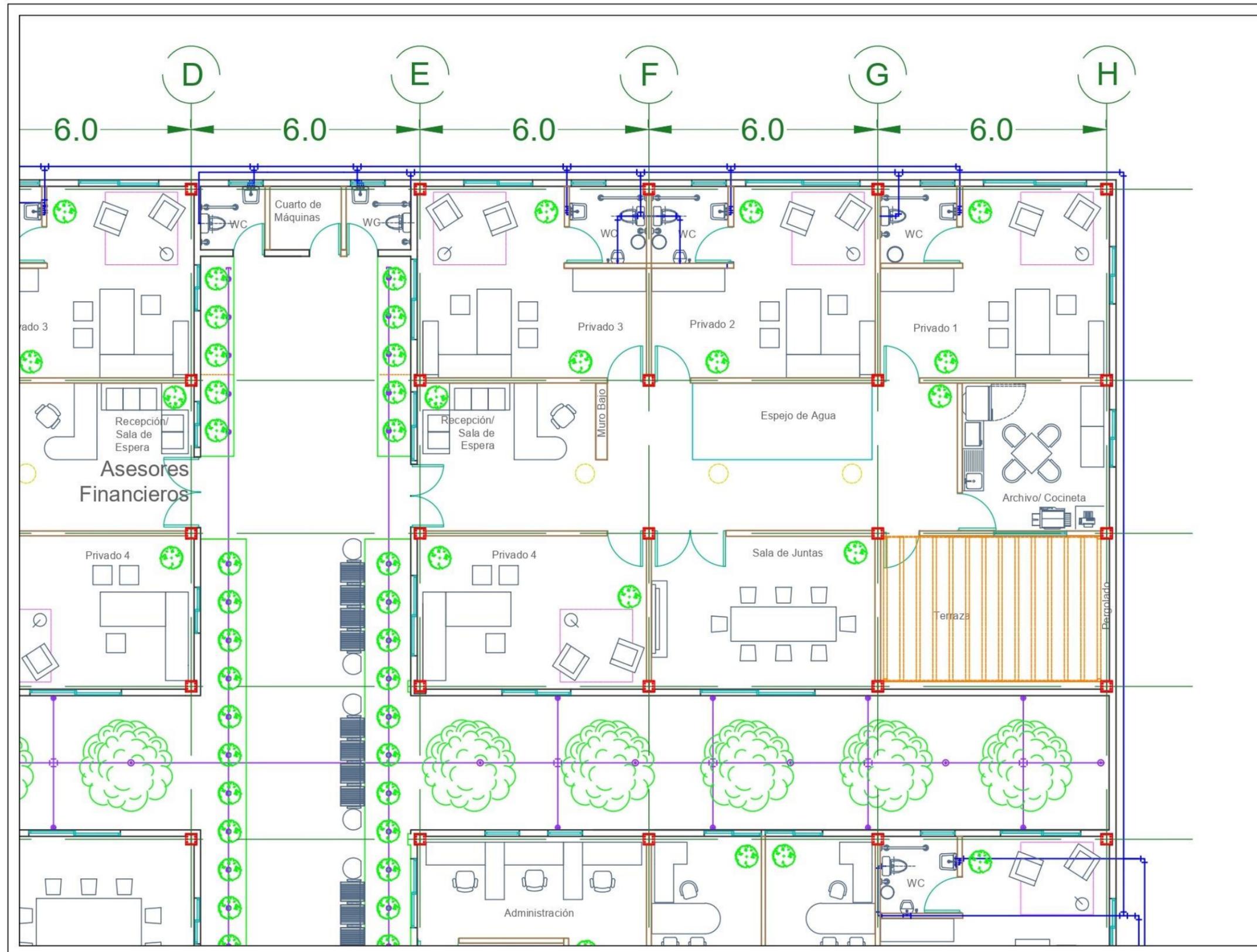
Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Hidráulico PB (Sección Norte)

Escala gráfica:



- SIMBOLOGÍA**
- Tubería de cobre Ø= 2"
 - Codo de cobre de 90° Ø= 2"
 - Tee de cobre Ø= 2"
 - Llave de paso Ø= 2"
 - Válvula check Ø= 2"
 - Contador de agua tipo Woltman
 - Filtro con acumulación de impurezas
 - Toma de agua
 - Programador de riego
 - Tubería de polietileno Ø= 1/2"
 - Codo de polietileno de 90°
 - Tee de polietileno
 - Cruz de polietileno
 - Aspersor rotor de circunferencia completa
 - Aspersor rotor de media circunferencia
 - Gotero autocompensante

Proyecto:
Centro de negocios

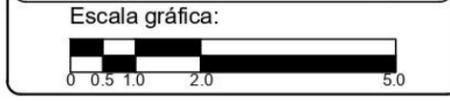
Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

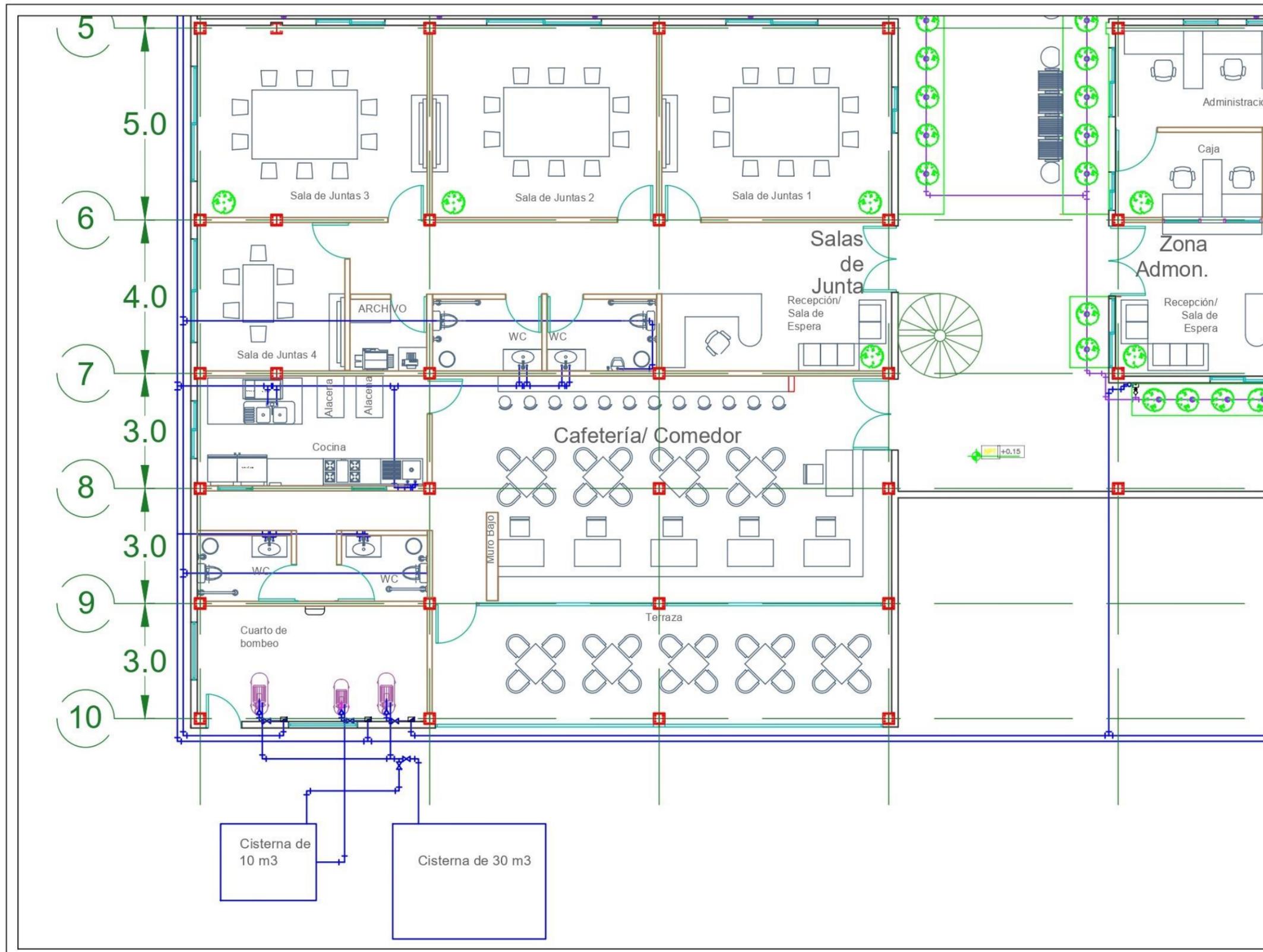
Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Hidráulico PB (Sección Oeste)

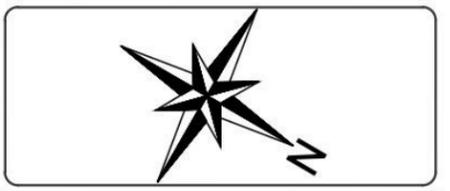




SIMBOLOGIA

	Tubería de cobre Ø= 2"
	Codo de cobre de 90° Ø= 2"
	Tee de cobre Ø= 2"
	Llave de paso Ø= 2"
	Válvula check Ø= 2"
	Contador de agua tipo Woltman
	Filtro con acumulación de impurezas
	Toma de agua
	Programador de riego
	Tubería de polietileno Ø= 1/2"
	Codo de polietileno de 90°
	Tee de polietileno
	Cruz de polietileno
	Aspersor rotor de circunferencia completa
	Aspersor rotor de media circunferencia
	Gotero autocompensante

Proyecto:		
Centro de negocios		
Ubicación:		
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo		
Elaboró plano original:		
Paulo Brito		
Elaboró plano modificado:		
Gerardo Trejo Díaz		
Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20
Plano:		
Hidráulico PB (Sección Este)		
Escala gráfica:		



- SIMBOLOGÍA**
- Tubería de cobre Ø= 2"
 - Codo de cobre de 90° Ø= 2"
 - Tee de cobre Ø= 2"
 - Llave de paso Ø= 2"
 - Válvula check Ø= 2"
 - Contador de agua tipo Woltman
 - Filtro con acumulación de impurezas
 - Toma de agua
 - Programador de riego
 - Tubería de polietileno Ø= 1/2"
 - Codo de polietileno de 90°
 - Tee de polietileno
 - Cruz de polietileno
 - Aspersor rotor de circunferencia completa
 - Aspersor rotor de media circunferencia
 - Gotero autocompensante

Proyecto:
Centro de negocios

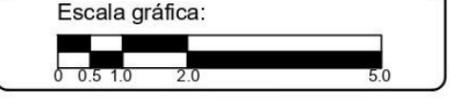
Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

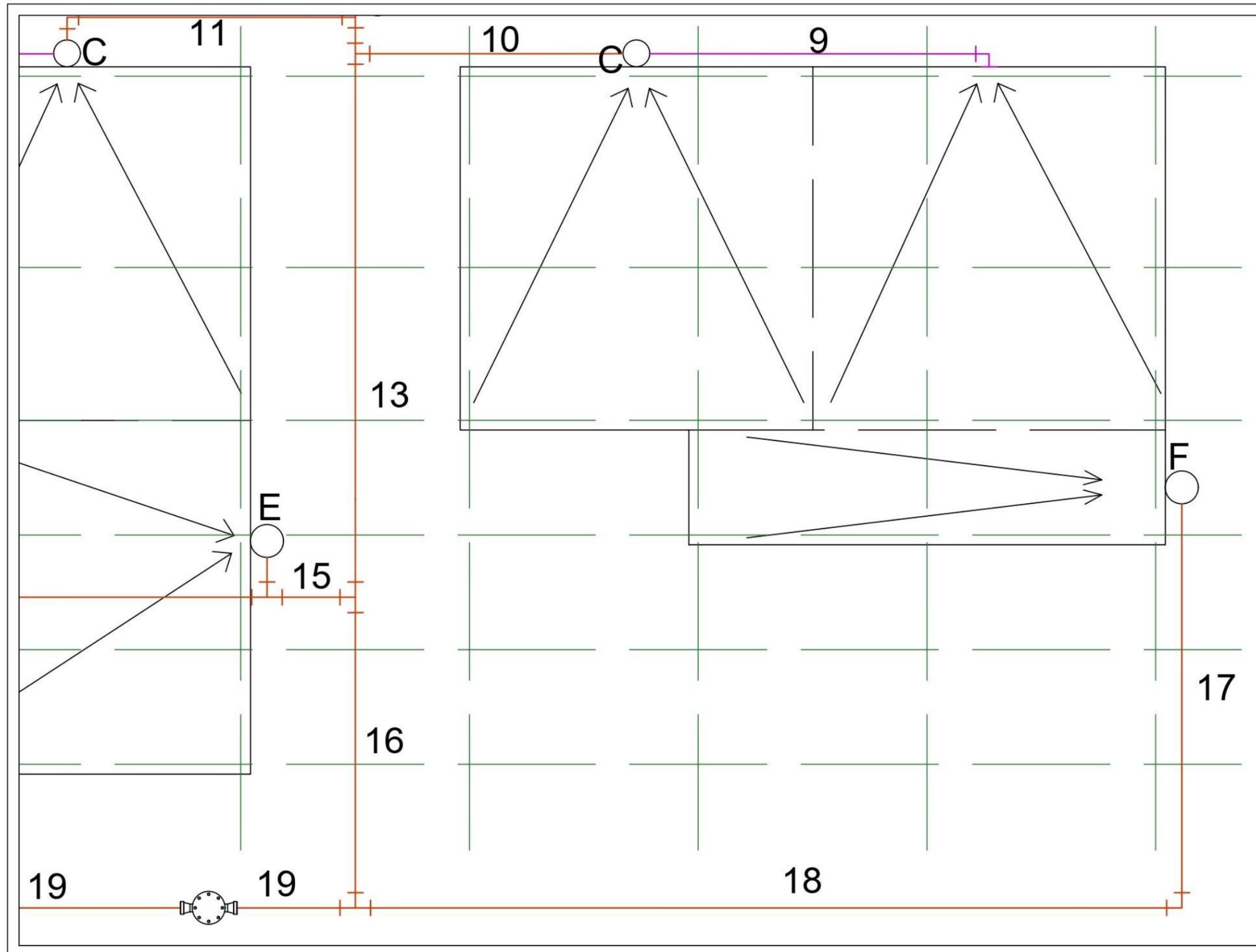
Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Hidráulico PB (Sección Sur)



Anexo 7

Planos de instalación pluvial



Croquis de localización

SIMBOLOGÍA

- Tubería de polipropileno a nivel de la azotea
- Proyección de tubería de polipropileno de nivel debajo del piso
- Codo de polipropileno
- Tee de polipropileno
- Delimitación de zona de parteaguas
- Dirección de flujo de agua pluvial
- Bajante de agua pluvial
- Filtro para tratamiento de agua pluvial
- Letras A-F Nomenclatura de cada bajante pluvial
- Números 1-19 Nomenclatura de cada tramo de tubería

Proyecto:
Centro de negocios

Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

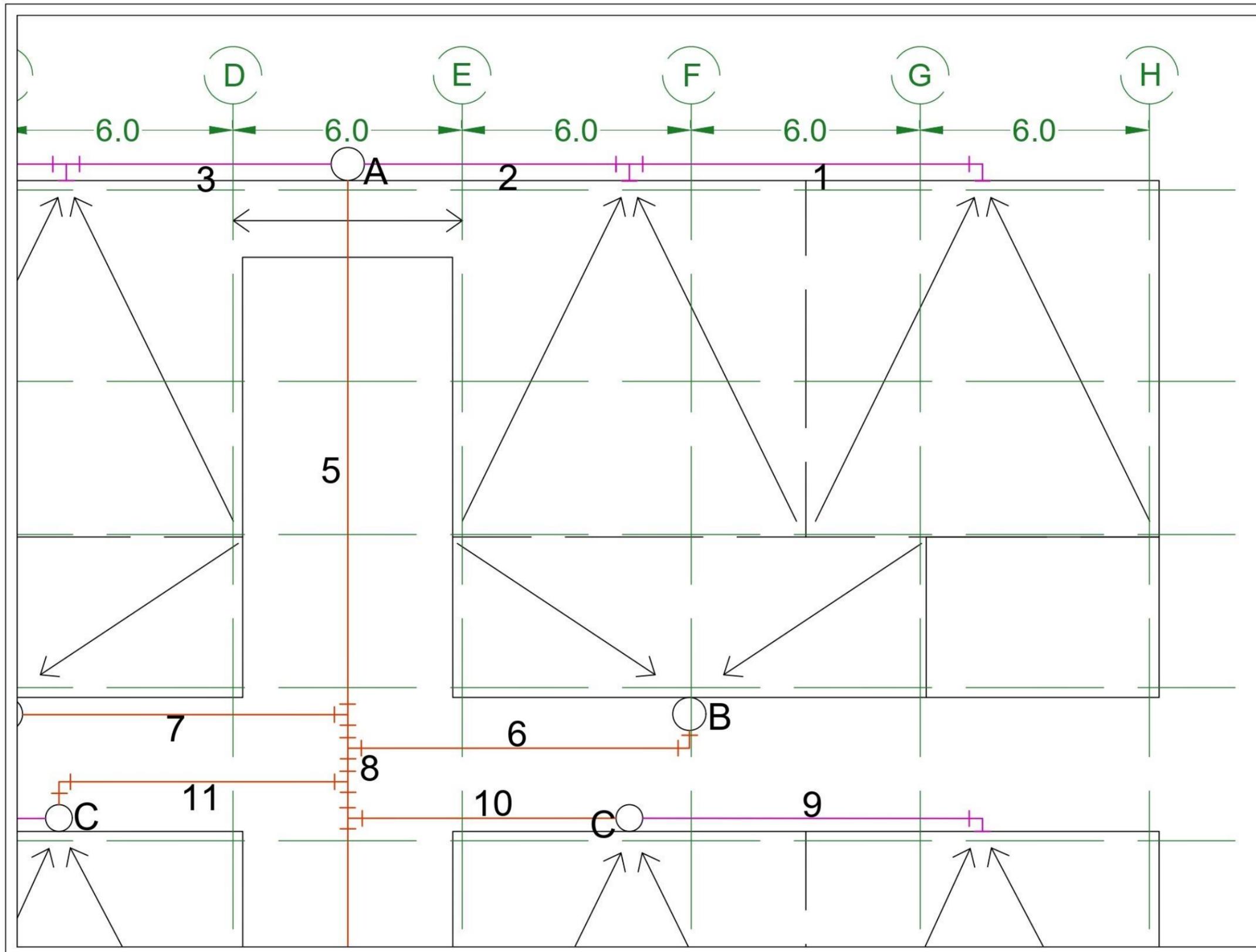
Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
PLuvial PA (Sección Norte)

Escala gráfica:



Croquis de localización



SIMBOLOGÍA

- Tubería de polipropileno a nivel de la azotea
- Proyección de tubería de polipropileno de nivel debajo del piso
- Codo de polipropileno
- Tee de polipropileno
- Delimitación de zona de parteaguas
- Dirección de flujo de agua pluvial
- Bajante de agua pluvial
- Filtro para tratamiento de agua pluvial
- Letras A-F Nomenclatura de cada bajante pluvial
- Números 1-19 Nomenclatura de cada tramo de tubería

Proyecto:

Centro de negocios

Ubicación:

Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

Elaboró plano original:

Paulo Brito

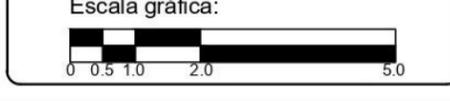
Elaboró plano modificado:

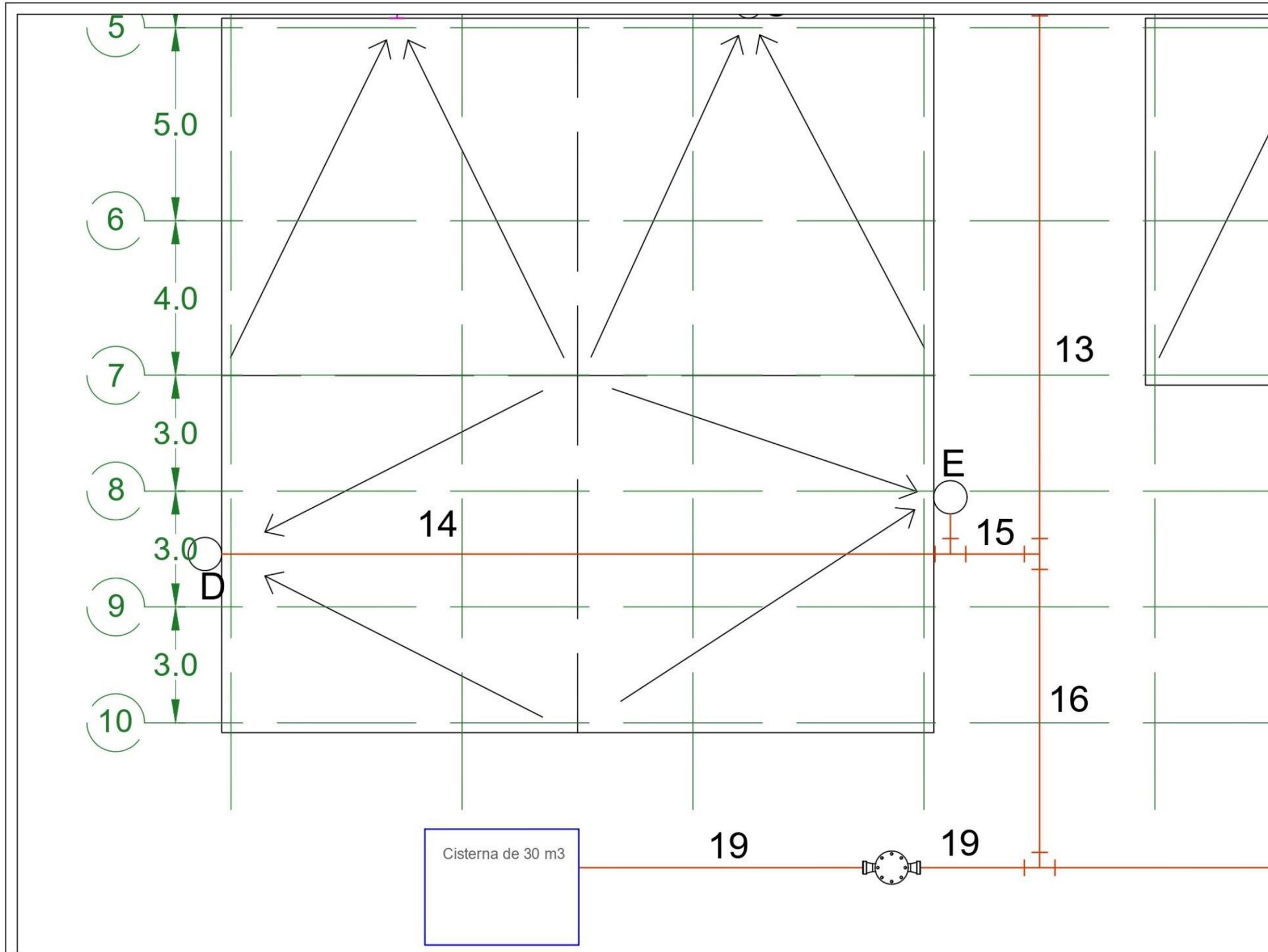
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:

PLuvial PA (Sección Oeste)





Croquis de localización



SIMBOLOGÍA

- Tubería de polipropileno a nivel de la azotea
- Proyección de tubería de polipropileno de nivel debajo del piso
- Codo de polipropileno
- Tee de polipropileno
- Delimitación de zona de parteaguas
- Dirección de flujo de agua pluvial
- Bajante de agua pluvial
- Filtro para tratamiento de agua pluvial
- Letras A-F Nomenclatura de cada bajante pluvial
- Números 1-19 Nomenclatura de cada tramo de tubería

Proyecto:

Centro de negocios

Ubicación:

Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

Elaboró plano original:

Paulo Brito

Elaboró plano modificado:

Gerardo Trejo Díaz

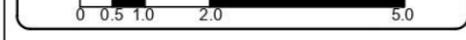
Cotas: Escala: Fecha

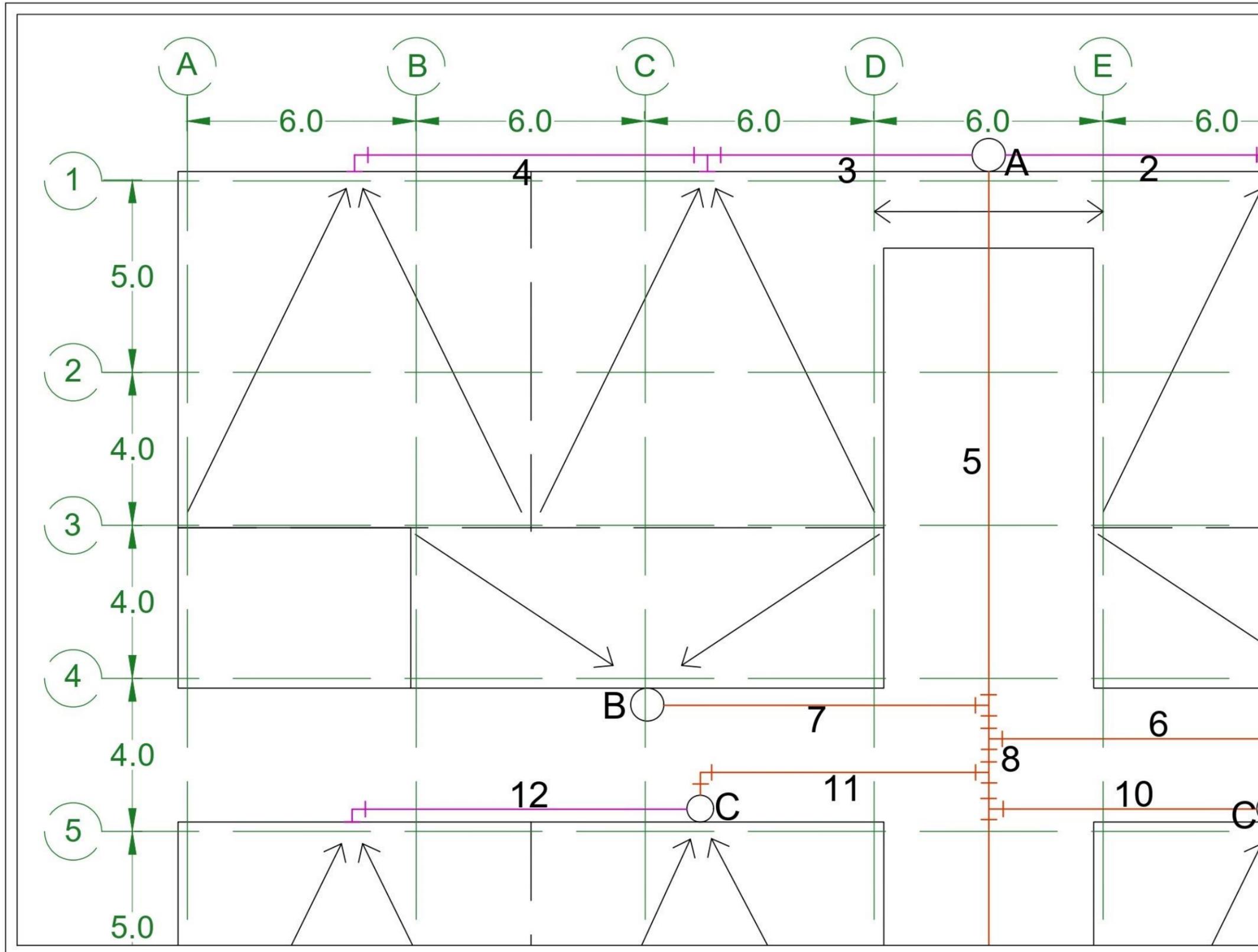
Metros 1:100 01-10-20

Plano:

PLuvial PA (Sección Este)

Escala gráfica:





Croquis de localización

SIMBOLOGÍA

- Tubería de polipropileno a nivel de la azotea
- Proyección de tubería de polipropileno de nivel debajo del piso
- Codo de polipropileno
- Tee de polipropileno
- Delimitación de zona de parteaguas
- Dirección de flujo de agua pluvial
- Bajante de agua pluvial
- Filtro para tratamiento de agua pluvial
- Letras A-F: Nomenclatura de cada bajante pluvial
- Números 1-19: Nomenclatura de cada tramo de tubería

Proyecto: Centro de negocios

Ubicación: Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

Elaboró plano original: Paulo Brito

Elaboró plano modificado: Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano: PLuvial PA (Sección Sur)

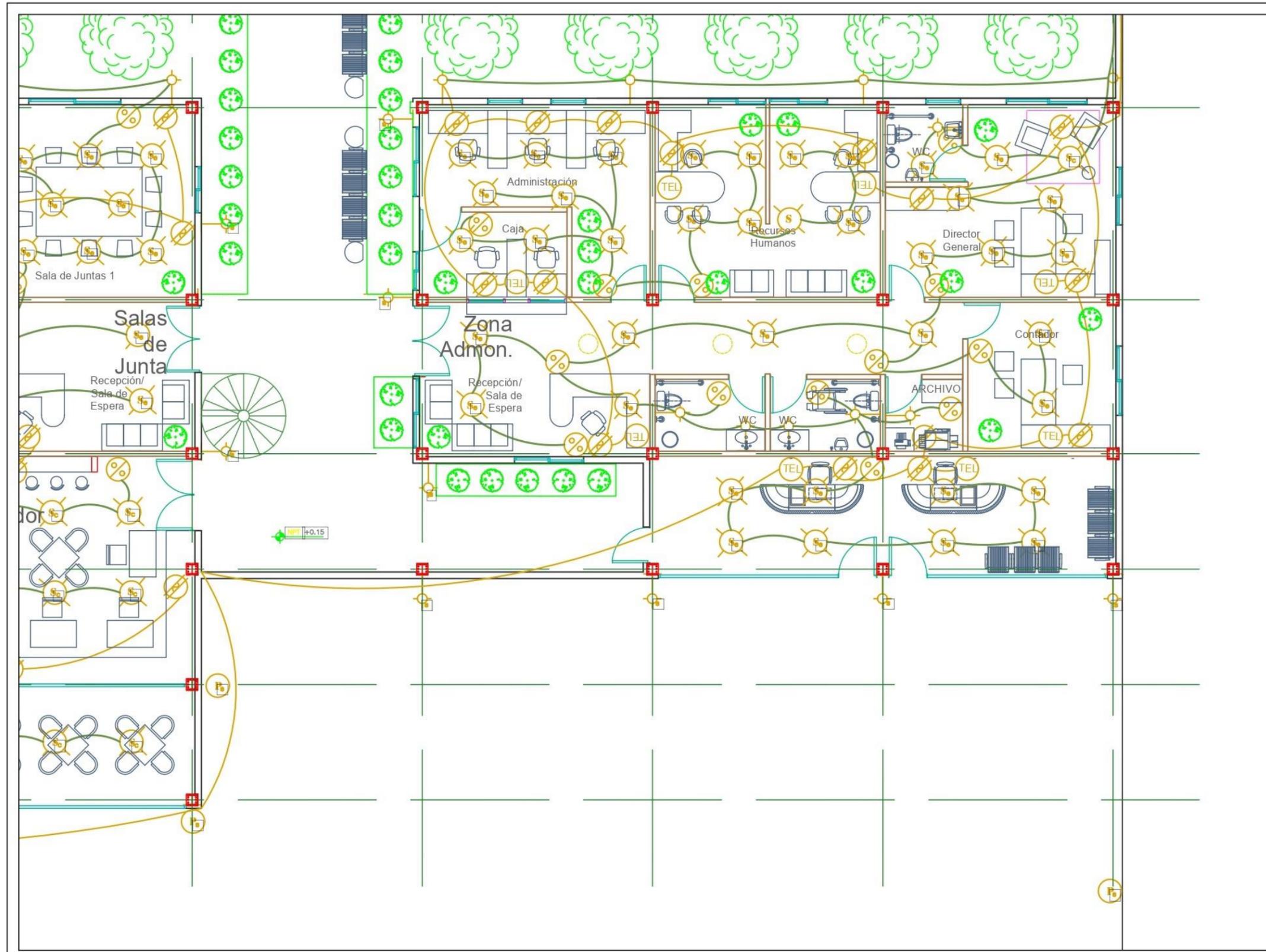
Escala gráfica:

Anexo 8

Planos de

instalación

eléctrica



SIMBOLOGÍA

	Cableado THW cal.12 para iluminación		Cableado THW cal.10 para equipo electrónico
	Cableado THW cal. 6 para sistema de aire acondicionado		Cableado THW cal. 6 para equipo electrónico de cocina
	Cableado THW cal. 6 para tanques hidroneumáticos		Spot empotrado
	Spot empotrado		Spot colgante
	Arbotante solar		Arbotante
	Poste solar		Contacto aterrizado
	Contacto regulado		Apagador
	Salida para TV		Salida para teléfono
	Acometida eléctrica		Medidor bidireccional
	Caja general de protección		Tablero de distribución

Proyecto:
Centro de negocios

Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

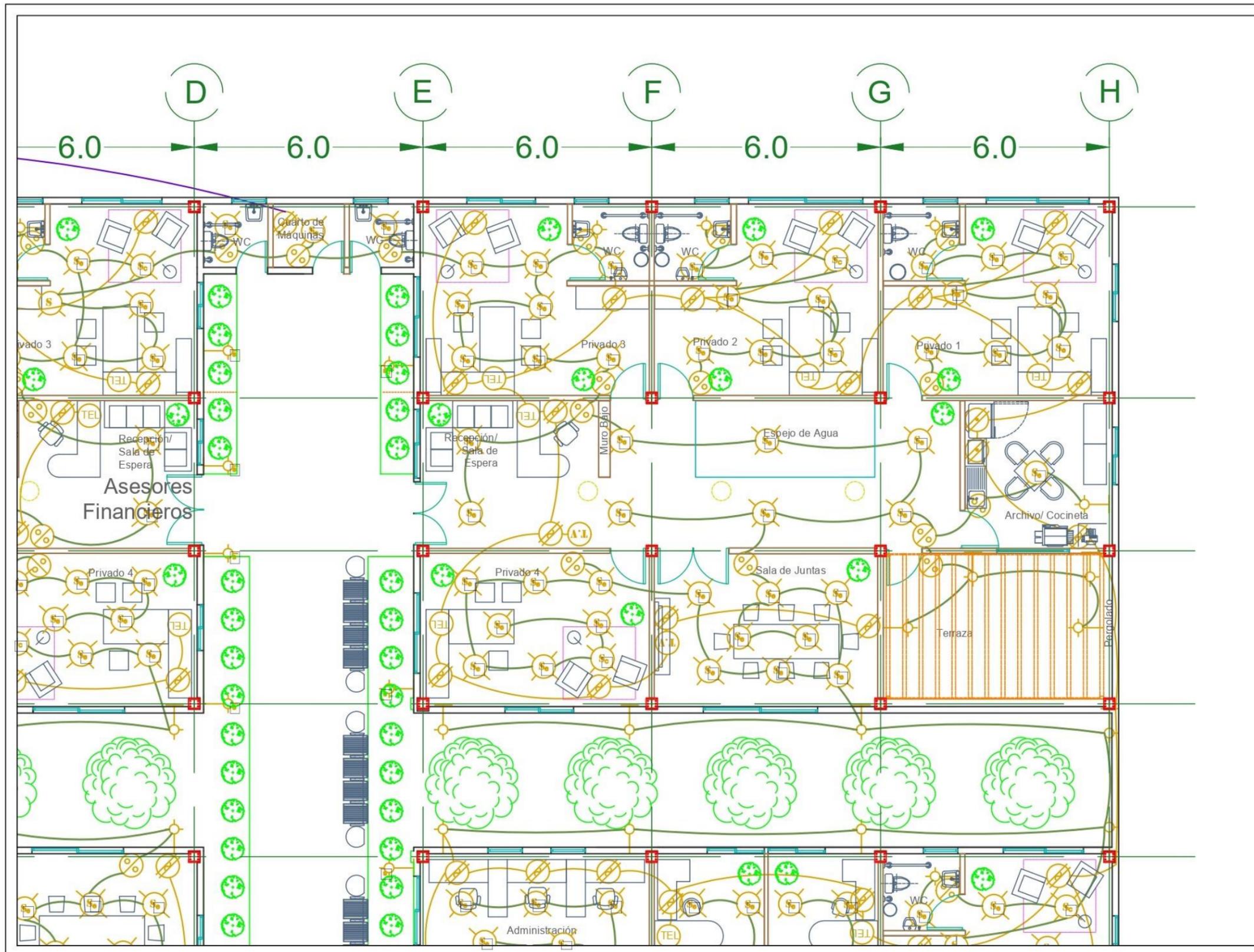
Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Eléctrico PB (Sección Norte)

Escala gráfica:



SIMBOLOGÍA

Cableado THW cal.12 para iluminación	Cableado THW cal.10 para equipo electrónico
Cableado THW cal. 6 para sistema de aire acondicionado	Cableado THW cal. 6 para equipo electrónico de cocina
Cableado THW cal. 6 para tanques hidroneumáticos	Spot empotrado
Spot colgante	Arbotante
Arbotante solar	Contacto aterrizado
Poste solar	Apagador
Contacto regulado	Salida para teléfono
Salida para TV	Medidor bidireccional
Acometida eléctrica	Tablero de distribución
Caja general de protección	

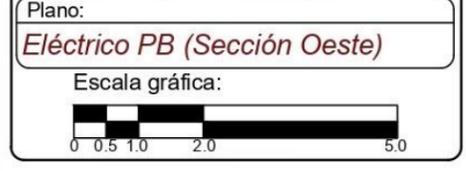
Proyecto:
Centro de negocios

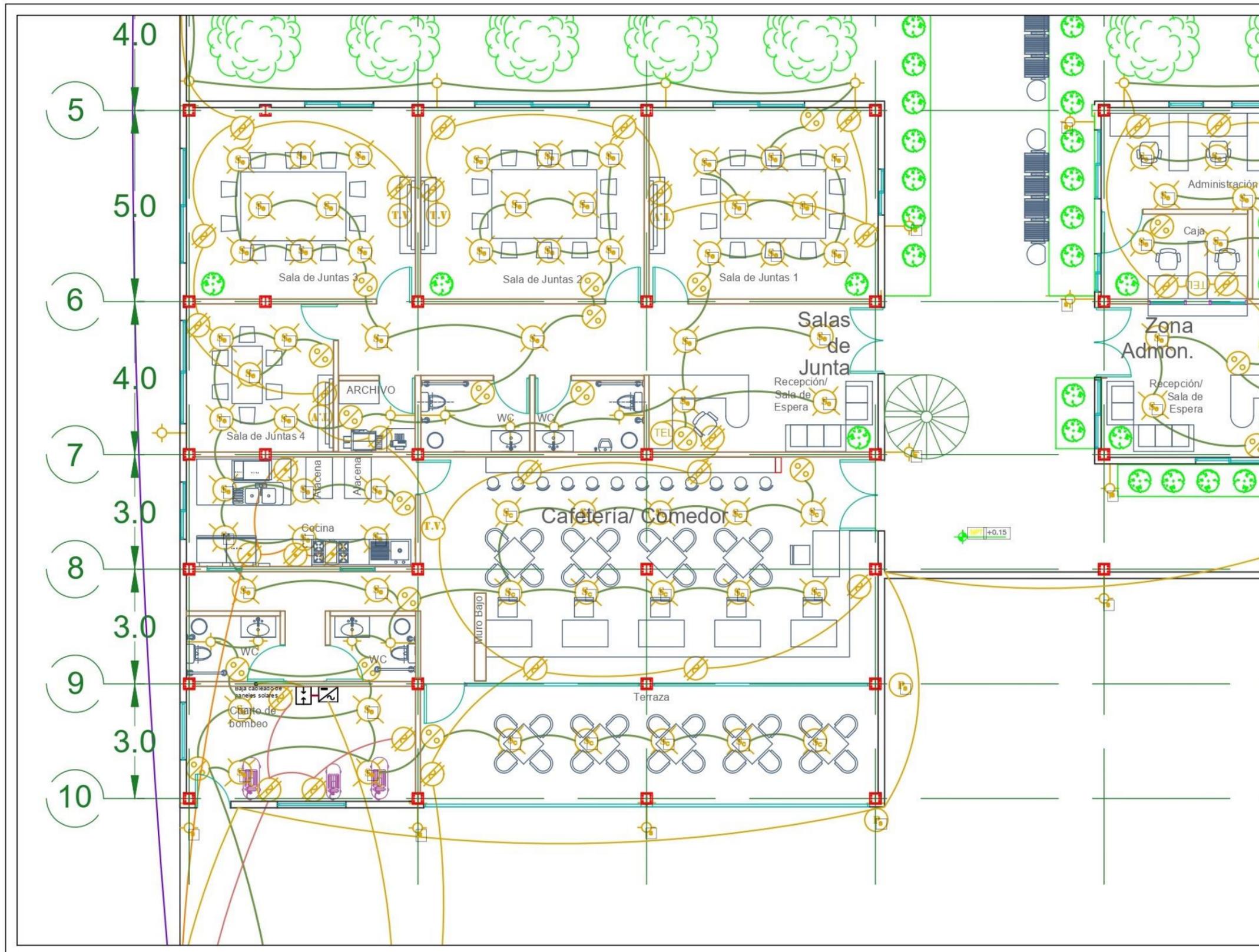
Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20





Croquis de localización

SIMBOLOGÍA

- Cableado THW cal. 12 para iluminación
- Cableado THW cal. 10 para equipo electrónico
- Cableado THW cal. 6 para sistema de aire acondicionado
- Cableado THW cal. 6 para equipo electrónico de cocina
- Cableado THW cal. 6 para tanques hidroneumáticos
- Spot empotrado
- Arbotante solar
- Poste solar
- Contacto regulado
- Salida para TV
- Acometida eléctrica
- Caja general de protección
- Spot colgante
- Arbotante
- Contacto aterrizado
- Apagador
- Salida para teléfono
- Medidor bidireccional
- Tablero de distribución

Proyecto:
Centro de negocios

Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

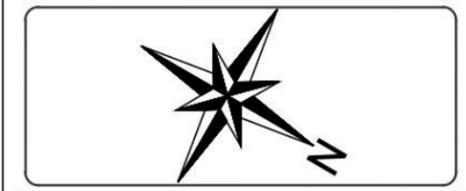
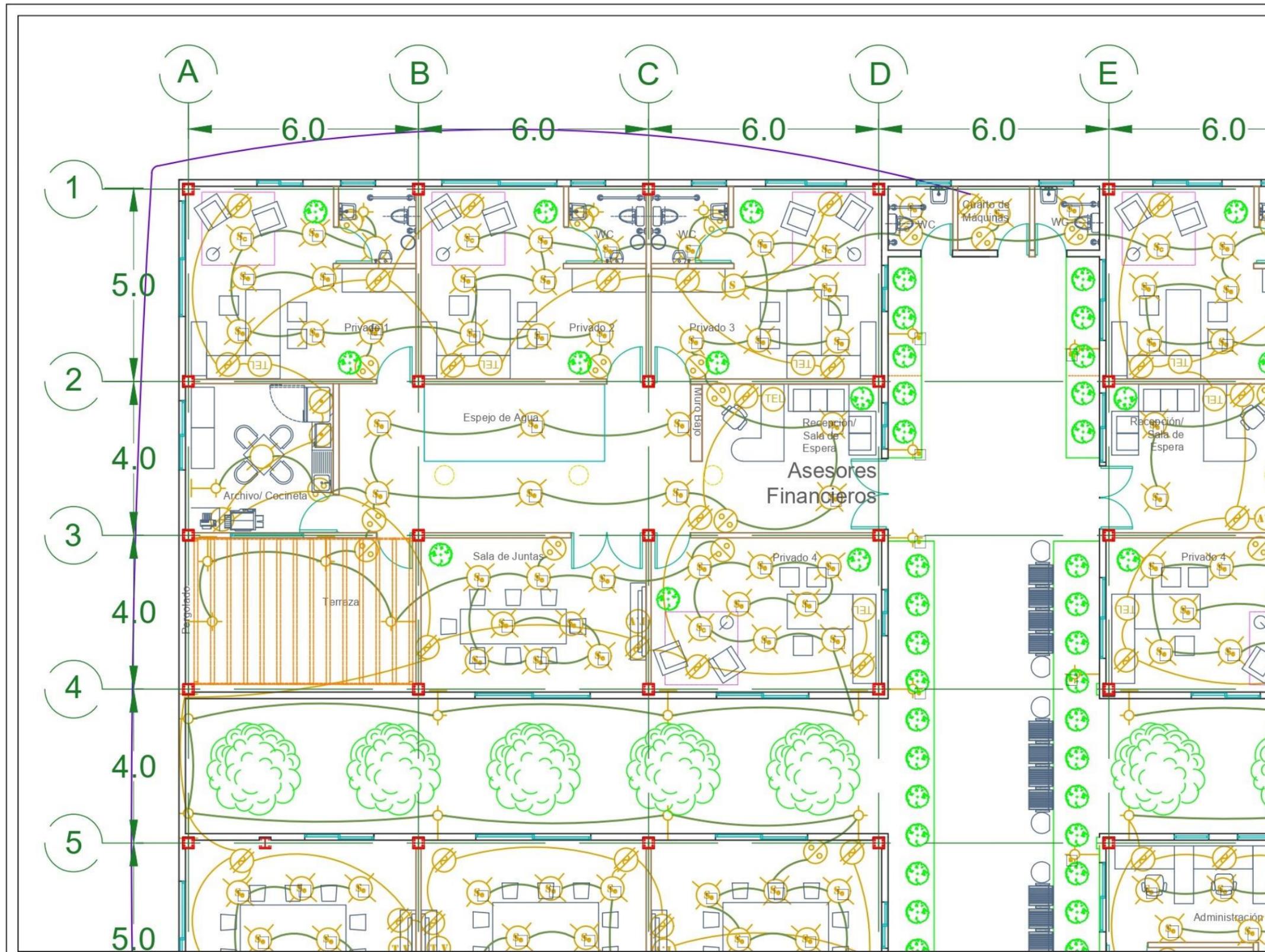
Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Eléctrico PB (Sección Este)

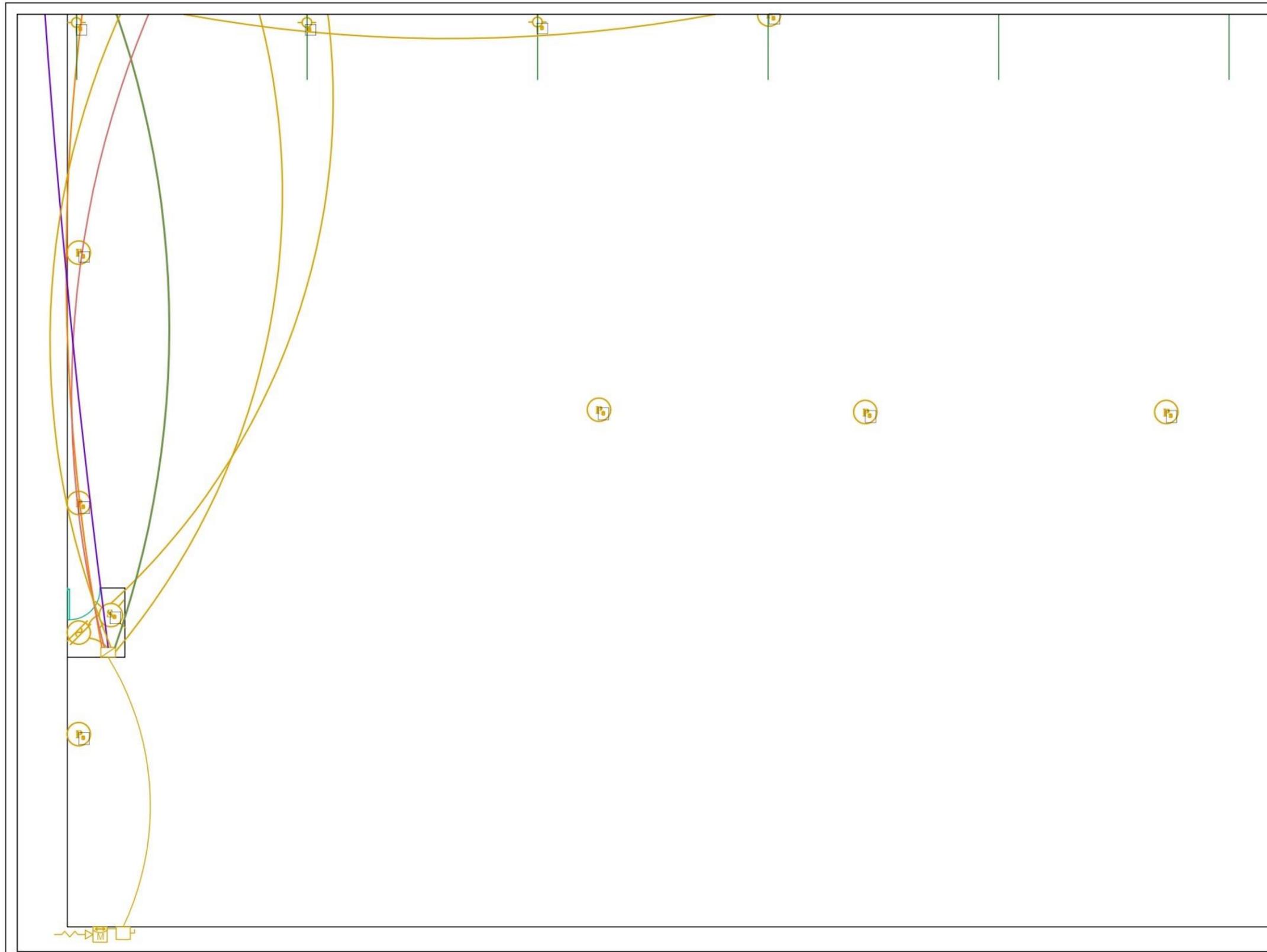
Escala gráfica:



SIMBOLOGÍA

Cableado THW cal.12 para iluminación	Cableado THW cal.10 para equipo electrónico
Cableado THW cal. 6 para sistema de aire acondicionado	Cableado THW cal. 6 para equipo electrónico de cocina
Cableado THW cal. 6 para tanques hidroneumáticos	Spot empotrado
Spot empotrado	Spot colgante
Arbotante solar	Arbotante
Poste solar	Contacto aterrizado
Contacto regulado	Apagador
Salida para TV	Salida para teléfono
Acometida eléctrica	Medidor bidireccional
Caja general de protección	Tablero de distribución

Proyecto:		
Centro de negocios		
Ubicación:		
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo		
Elaboró plano original:		
Paulo Brito		
Elaboró plano modificado:		
Gerardo Trejo Díaz		
Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20
Plano:		
Eléctrico PB (Sección Sur)		
Escala gráfica:		



SIMBOLOGÍA

Cableado THW cal.12 para iluminación	Cableado THW cal.10 para equipo electrónico
Cableado THW cal. 6 para sistema de aire acondicionado	Cableado THW cal. 6 para equipo electrónico de cocina
Cableado THW cal. 6 para tanques hidroneumáticos	Spot empotrado
Spot colgante	Arbotante solar
Arbotante	Poste solar
Contacto aterrizado	Contacto regulado
Apagador	Salida para TV
Salida para teléfono	Acometida eléctrica
Medidor bidireccional	Caja general de protección
Tablero de distribución	

Proyecto:
Centro de negocios

Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Eléctrico Estacionamiento (Sección E)

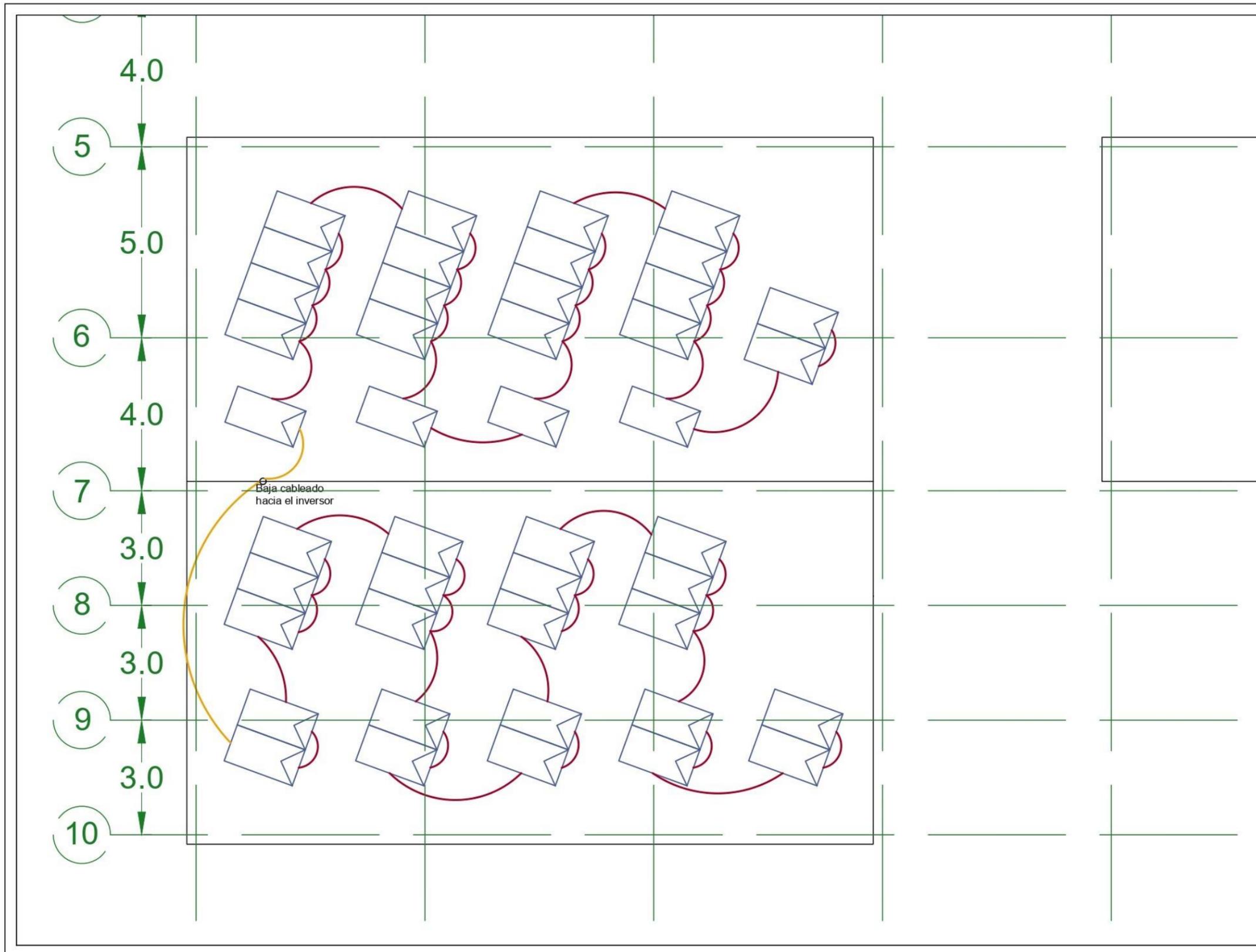


Anexo 9

Planos de

instalación solar

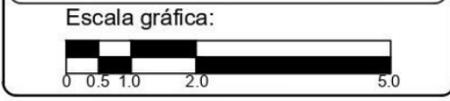
fotovoltaica

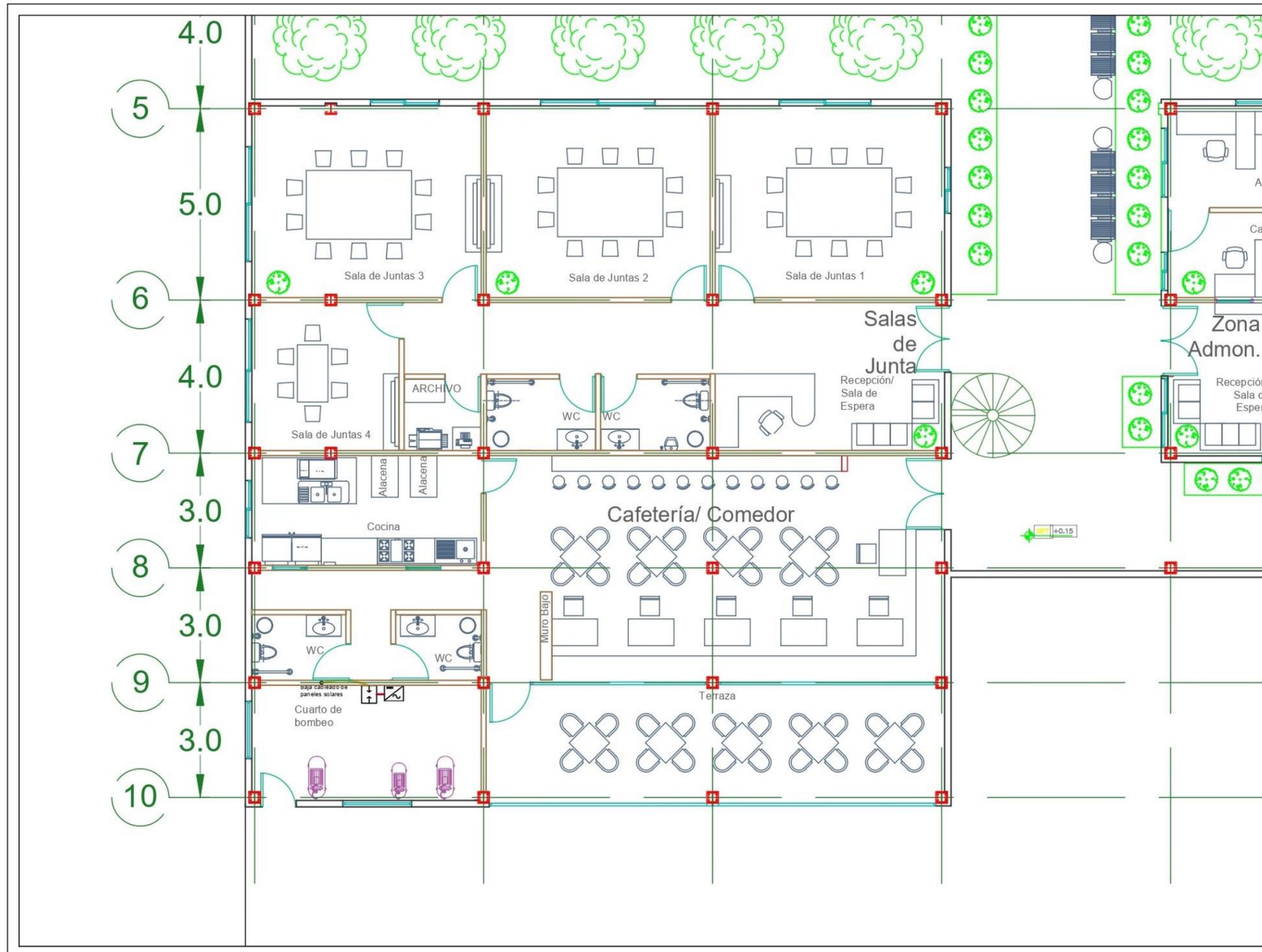


SIMBOLOGÍA

- Cableado THW cal.10 para instalación solar fotovoltaica
- Cableado THW cal. 8 para instalación solar fotovoltaica
- Panel solar monocristalino de 400 W
- Inversor de 15000 W de potencia de salida
- Caja combinadora de protección de corriente nominal de 20 A

Proyecto:		
Centro de negocios		
Ubicación:		
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo		
Elaboró plano original:		
Paulo Brito		
Elaboró plano modificado:		
Gerardo Trejo Díaz		
Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20
Plano:		
Instalación solar Azotea (Sección Este)		





Croquis de localización

SIMBOLOGÍA

- Cableado THW cal. 10 para instalación solar fotovoltaica
- Cableado THW cal. 8 para instalación solar fotovoltaica
- Panel solar monocristalino de 400 W
- Inversor de 15000 W de potencia de salida
- Caja combinadora de protección de corriente nominal de 20 A

Proyecto:
Centro de negocios

Ubicación:
Monte Carmelo 221, Arroyo hondo

Elaboró plano original:
Paulo Brito

Elaboró plano modificado:
Gerardo Trejo Díaz

Cotas:	Escala:	Fecha
Metros	1:100	01-10-20

Plano:
Instalación solar PB (Sección Este)

Escala gráfica:

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Acero, A.P. et al. (2016). *LCIA methods Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories*. Recuperado el 21 de Agosto de 2020 de <http://www.openlca.org/wp-content/uploads/2016/08/LCIA-METHODS-v.1.5.5.pdf>
- 2) Acosta, D. (2009). *Arquitectura y construcción sostenibles: CONCEPTOS, PROBLEMAS Y ESTRATEGIAS*. Dearq, (4), 14-23.
- 3) AEIPRO. (2013). *17th International Congress on Project Management and Engineering*. Recuperado el 9 de diciembre de 2018 de https://books.google.com.mx/books?id=eDK1AwAAQBAJ&pg=PA36&lpg=PA36&dq=EVALUACI%C3%93N+DE+DIRECCI%C3%93N+INTEGRADA+DE+PROYECTOS+Y+RIESGOS+DE+CONSTRUCCI%C3%93N+DE+EDIFICIOS+SUSTENTABLES+EN+ZONAS+METROPOLITANAS+DEL+NORTE+DE+M%C3%89XICO&source=bl&ots=dvdnnCXL8&sig=ACfU3U2d82HBKoGZ8uXOEYsYLqWf8jr_Kg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj-16y0I4PgAhVIOkWKHZICAFsQ6AEwAXoECAIQAQ#v=onepage&q=EVALUACI%C3%93N%20DE%20DIRECCI%C3%93N%20INTEGRADA%20DE%20PROYECTOS%20Y%20RIESGOS%20DE%20CONSTRUCCI%C3%93N%20DE%20EDIFICIOS%20SUSTENTABLES%20EN%20ZONAS%20METROPOLITANAS%20DEL%20NORTE%20DE%20M%C3%89XICO&f=false
- 4) Agencia Europea de Medio Ambiente. (2013). *Calidad de aire en lugares cerrados*. Recuperado el 9 de septiembre de 2020 de <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2013/articulos/calidad-del-aire-en-lugares-cerrados>
- 5) Alavedra, P. et al. (1997). *La construcción sostenible. El estado de la cuestión. Informes de la construcción*. Vol. 49, n° 451. Recuperado el 17 de mayo de 2019 de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/936/1018>
- 6) Allen, R. et al. (2006) *Evapotranspiración del cultivo Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO, ISBN 92-5-304219-2.
- 7) Altamirano, J.C. (2016). *Achieving Mexico's Climate Goals: An Eight Point Action Plan*. Documento de trabajo. Washington, DC: World Resources Institute. Disponible en línea en: <http://www.wri.org/publication/achieving-mexicos-goals>.
- 8) ANSI/ASHRAE Standard 34. (2004). *Designation and Safety Classification of Refrigerants*. Recuperado el 18 de julio de 2020 de

- https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/34-2004_v_w_only.pdf
- 9) ANSI/ASHRAE Standard 55. (2010). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, GA. ISSN 1041-2336
 - 10) ANSI/ASHRAE Standard 62.1. (2007). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta, GA. ISSN 1041-2336
 - 11) ANSI/ASHRAE Standard 90.1. (2016). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Recuperado el 28 de abril de 2019 de [https://ashrae.iwrapper.com/ViewOnline/Standard_90.1-2016_\(IP\)](https://ashrae.iwrapper.com/ViewOnline/Standard_90.1-2016_(IP))
 - 12) Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Secretaría del Medio Ambiente de Medellín & Empresas Públicas de Medellín. (2009). *Manual de gestión socio-ambiental para obras en construcción*. Medellín: Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
 - 13) Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nairobi (15 de octubre de 2017). UNEP Recuperado de <https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1708350s.pdf>
 - 14) Asociación Mexicana del Edificio Inteligente y Sustentable. (2019). BOMA. Recuperado el 25 de enero de 2020 de <https://imei.org.mx/boma/>
 - 15) Bautista, J.D. & Loaiza, N.F (2017). *LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE APLICADA A LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN COLOMBIA*. Semillas ambientales, (11), pp. 86-110
 - 16) Bonilla E., Ramírez F. & Sánchez E. (2014). *Advances in Intelligent Information Technologies*. México: Instituto Politécnico Nacional (IPN) Centro de Investigación en Computación (CIC)
 - 17) BREEAM. (2020). *BREEAM INTERNACIONAL*. Recuperado el 21 de enero de 2020 de <https://breeam.es/internacional/>
 - 18) BREEAM. (2020). *BREEAM® ES Nueva Construcción*. Recuperado el 21 de enero de 2020 de <https://breeam.es/esquema-de-certificacion-breeam-nueva-construccion/>
 - 19) BREEAM. (2020). *¿Cómo certificar?*. Recuperado el 21 de enero de 2020 de <https://breeam.es/como-certificar/>
 - 20) Brito, P. (2017). *Documentos de arquitectura, Centro de Negocios*. Recuperado el 19 de agosto de 2019 de <https://documentos.arq.com.mx/Detalles/190779.html>
 - 21) Broutin, M. (2010). *Sostenibilidad & salud: beneficios de la arquitectura sostenible para la salud*. Recuperado el 14 de septiembre de 2019 de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13673/Broutin_Michelle_Te_sina.pdf
 - 22) Brundtland, G. H. (1987). *Nuestro Futuro Común (Informe Brundtland)*. Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU.

- 23) Campos, D. F., & Gómez, D. R. (1990). *Procedimiento para obtener curvas I-D-Tr a partir de registros pluviométricos*. Ingeniería Hidráulica en México, 5(2), 39-52.
- 24) Carreño, N. D., & Londoño, P. A. (2015). *Formulación e implementación del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición generados durante los procesos constructivos de la compañía Norco S.A. en el estudio de caso los condominios I de Suba*. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/625
- 25) Carrillo, J., Echeverri, F. & Aperador W. (2015). *Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social*. Ingeniería Investigación y Tecnología. 16(4), pp. 479-490
- 26) Casanovas, X. (2009). *La construcción sostenible. Una mirada estratégica*. Recuperado el 03 de septiembre de 2018 de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/11004/ponencia-marco-sostenibilidad.pdf>
- 27) CERWAY. (2016). *HQE CERTIFICATION, Introduction to HQE™ certification*. Recuperado el 22 de enero de 2020 de <https://www.behqe.com/cerway/essentials>
- 28) CERWAY. (2016). *SCHEMES AND DOCUMENTS*. Recuperado el 22 de enero de 2020 de <https://www.behqe.com/schemes-and-documents>
- 29) CFE (2020). *Tarifa GDBT*. Recuperado el 21 de julio de 2020 de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GrandemandaBT.aspx>
- 30) Chen, D. (2010). *Principios de arquitectura sustentable y la vivienda de interés social. Caso: la vivienda de interés social en la ciudad de Mexicali, Baja California*. México. Ley A. (Presidencia). 6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali. Congreso llevado a cabo en Universidad Autónoma de Baja California. Campus Mexicali
- 31) CIBSE. (1999). *Environmental design CIBSE Guide A CIBSE*. Gran Bretaña: Yale Press.
- 32) Cirtoth, A. et al. (2020). *openLCA 1.10 Comprehensive User Manual*. Recuperado el 4 de agosto de 2020 de https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2020/02/openLCA_1.10_User-Manual.pdf
- 33) CMIC. (2018). *Situación Actual y Perspectivas de la Industria de la Construcción en México*. Recuperado el 06 de diciembre de 2018 de <http://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/>
- 34) Comisión de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de León. (2014). *Paleta vegetal*. Recuperado el 03 de abril de 2019 de <https://www.leon.gob.mx/leon/medioambiente/articulo.php?a=36>

- 35) Conde, C. (2006). *México y el cambio climático global*. México, D.F.: Dirección General de Divulgación de la Ciencia Universidad Nacional Autónoma de México Edificio Universum, tercer piso, Circuito Cultural, Ciudad Universitaria
- 36) Corps, C. (s.f.). *Documento dos: Hacia la consolidación del financiamiento y los mercados para la edificación sustentable. c) Valuación de la sustentabilidad*. Recuperado el 20 de diciembre de 2018 de <https://docplayer.es/92066415-Documento-dos-hacia-la-consolidacion-del-financiamiento-y-los-mercados-para-la-edificacion-sustentable-c-valoracion-de-la-sustentabilidad.html>
- 37) Cyme (s.f.). *TABLAS DE CONSUMO ELÉCTRICO*. Recuperado el 9 de julio de 2020 de http://cimepowersystems.com.mx/descargas/Tablas_Consumo-Electrico.pdf
- 38) DAIKIN. (2014). *Manual de instalación y funcionamiento VRV IV*. Recuperado el 15 de junio de 2020 de http://es.intpre.daikineurope.com/docs/4PES353996-1C_2014_08-tcm478-338203.pdf
- 39) DAIKIN. (2015). *VRV IV*. Recuperado el 12 de junio de 2020 de https://daikinlatam.com/wp-content/themes/daikin/pdf/Daikin_vrv_iv_brochure_spa.pdf
- 40) DAIKIN. (2016). *Guía de referencia para el instalador y el usuario final Unidad de aire acondicionado VRV IV*. Recuperado el 15 de junio de 2020 de https://www.daikin.eu/content/dam/document-library/Installer-reference-guide/ac/vrv/REYQ-T,%20REMQ-T_4PES353997-1B-2016-07_Installer%20and%20user%20reference%20guide_Spanish.pdf
- 41) DAIKIN. (s.f.). *Consulting sales manual: Sustainability schemes*. Recuperado el 06 de Julio de 2020 de https://www.daikin.bg/content/dam/dace-bg/literature/BREEAM%20and%20LEED%20assessment%20sheet_ECPEN18-561_1_English.pdf
- 42) Daly, H. (2008). *Desarrollo Sustentable definiciones, principios, políticas*. Recuperado el 16 de mayo de 2019 de https://sostenibilidadurbana.files.wordpress.com/2008/12/ds_definiciones-principios-y-politicas-hdaly.pdf
- 43) De Buen, O. (2010). *Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en la Construcción y Administración de Edificios en México*. Recuperado el 14 de diciembre de 2018 de <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/evaluacion-de-la-sustentabilidad-ambiental-en-la-construccion-y-administracion-de-edificios-en-mexico>
- 44) DGNB. (2020). *Das DGNB System für Gebäude*. Recuperado el 22 de enero de 2020 de <https://www.dgnb-system.de/de/gebaeude/>
- 45) DGNB. (2020). *Der Weg zum Zertifikat*. Recuperado el 22 de enero de 2020 de <https://www.dgnb-system.de/de/zertifizierung/weg-zum-zertifikat/>
- 46) DGNB. (2020). *DGNB System*. Recuperado el 22 de enero de 2020 de <https://www.dgnb-system.de/de/>

- 47) Dirección General de Salud Pública y Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid (2018). *Calidad del ambiente interior en edificios de uso público*. Recuperado el 16 de diciembre de 2020 de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM020191.pdf>
- 48) Dzul, L. A. y Gracia, S. (2008). *Análisis de los sistemas de gestión de los costos de la calidad en la industria de la construcción*. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 12(3), pp. 53-61, ISSN: 1665-529X.
- 49) EDIFICACIÓN SUSTENTABLE - CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS. Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013. Diario Oficial de la Federación, 4 de septiembre de 2013.
- 50) Energy Star. *Portfolio Manager Technical Reference: Source Energy*. Recuperado el 11 de mayo de 2020 de <https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/Source%20Energy.pdf>
- 51) Engineering ToolBox, (2001). *Tools and Basic Information for Design, Engineering and Construction of Technical Applications*. Recuperado el 15 de junio de 2020 de: <https://www.engineeringtoolbox.com>.
- 52) Enguita, O. (2012). *Análisis del ciclo de vida para el desarrollo de las Reglas de Categoría de Producto de sistemas solares fotovoltaicos para la edificación*. Trabajo de Master en sostenibilidad. Universidad Politécnica de Cataluña.
- 53) Espinosa, J.P. & Echeverry, D. (s.f.). *Aplicabilidad del sistema LEED en el entorno colombiano*. Recuperado el 21 de diciembre de 2018 de [http://www.gzingeneria.com/pdf/Aplicabilidad del sistema LEED en el Entorno Colombiano.pdf](http://www.gzingeneria.com/pdf/Aplicabilidad_del_sistema_LEED_en_el_Entorno_Colombiano.pdf)
- 54) Esteves, A. & Gelardi, D. (2006). *Técnicas constructivas y materiales de bajo costo energético en la arquitectura sustentable. Caso proyecto y construcción de vivienda en centro-oeste de Argentina*. En Barros J.P. (Presidencia), XI Encuentro Nacional de Tecnología del Ambiente Construido (ENTAC). Congreso llevado a cabo en Florianópolis, Brasil
- 55) Estrella, M.V., & González, A. (2014). *DESARROLLO SUSTENTABLE Un nuevo mañana*. México: Grupo Editorial Patria. ISBN ebook: 978-607-438-904-3. Recuperado de <https://editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074386608.pdf>
- 56) EU Science Hub. (2020). *Getting started with PVGIS*. Recuperado el 17 de Julio de 2020 de <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/starting>
- 57) EU Science Hub. (2020). *PVGIS users manual*. Recuperado el 17 de Julio de 2020 de <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual>
- 58) FAO. (s.f.). *CLIMWAT*. Recuperado el 27 de marzo de 2019 de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>
- 59) FAO. (s.f.). *CropWat*. Recuperado el 27 de marzo de 2019 de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>
- 60) G.M. & Blasco, I. (2009). *Análisis normativo en dos categorías del método LEED*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 13. ISSN 0329-5184

- 61) García, J. (2012). *SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO PLUVIAL PARA UN ECOBARRIO DE LA CD. DE MÉXICO*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 62) Gobierno de México. (s.f.). *Servicio Meteorológico Nacional > ¿Qué hacemos?*. Recuperado el 22 de julio de 2019 de <https://www.gob.mx/smn/que-hacemos>
- 63) Gold Standard. (s.f.). *CARBON PRICING: What is a carbon credit worth?*. Recuperado el 29 de Julio de 2020 de <https://www.goldstandard.org/blog-item/carbon-pricing-what-carbon-credit-worth>
- 64) Gracia-Rojas, J. P. (2015). *Desarrollo sostenible: origen, evolución y enfoques*. (Documento de docencia No. 3). Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. Disponible en <http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1074>
- 65) GreenDelta. (2020). *openLCA Tutorial Basic Modelling in openLCA*. Recuperado el 4 de agosto de 2020 de http://www.openlca.org/wp-content/uploads/2020/06/GreenDelta-Bottle-Tutorial_1.10_june2020.pdf
- 66) GreenDelta. (2020). *openLCA Tutorial Basic Modelling with Parameters*. Recuperado el 4 de agosto de 2020 de http://www.openlca.org/wp-content/uploads/2020/03/GreenDelta-Bottle-Tutorial_Parameters_1.10.pdf
- 67) GreenDelta. (s.f.). *openLCA Nexus*. Recuperado el 4 de agosto de 2020 de <https://nexus.openlca.org/downloads>
- 68) Green-e. (2020). *Endorsed Programs*. Recuperado el 29 de julio de 2020 de <https://www.green-e.org/programs/climate/endorsed-programs>
- 69) Hernández, S. (2008). *El Diseño Sustentable como Herramienta para el Desarrollo de la Arquitectura y Edificación en México*. *Acta Universitaria*, 18 (2), pp. 18-23.
- 70) Hernández, S., & Garduño, A. (2010). *Tecnologías actuales aplicadas al desarrollo urbano sustentable*. *Acta Universitaria*, 20 (1), pp. 25-34.
- 71) Heywood, H. (2017). *101 reglas básicas para edificios y ciudades sostenibles*. Barcelona: Gustavo Gili.
- 72) INECC. (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015, Anexos*. Recuperado el 17 de marzo de 2019 de https://www.snieg.mx/DocumentacionPortal/iin/Acuerdo_5_II_2014/Anexos_INE_GYCEI_1990-2015-f.pdf
- 73) INEGI. (s.f.). *Población rural y urbana*. Recuperado el 11 de marzo de 2019 de http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P
- 74) International Living Future Institute. (2020). *Living Building Challenge*. Recuperado el 22 de enero de 2020 de <https://living-future.org/lbc/>.
- 75) Irving, S., Ford B., & Etheridge D. (2005). *Natural ventilation in non-domestic buildings, CIBSE Applications Manual AM10*. Gran Bretaña: Page Bros Group.
- 76) ISO, U. (2006). 14040:2006, *Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Principios y marco*

- 77)ISO, U. (2006). 14044:2006, *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices.*
- 78)Jimenez, V. (2017). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN ZONA URBANA.* Tesis de maestría. Instituto Mexicano De Tecnología Del Agua.
- 79)Juárez, C.A. (2012). *La ingeniería y la arquitectura ante el reto impostergable de reducir el costo ambiental de las construcciones modernas.* Ingenierías (Nuevo León). 15 (56), pp. 3-6. Recuperado el 9 de diciembre de 2018 de la base de datos PERIÓDICA
- 80)Kibert, C. (2013). *Sustainable Construction Green Building Design and Delivery.* New Jersey: JOHN WILEY & SONS.
- 81)Kniffen, B. et al. (2009). *Rainwater harvesting: System planning.* Texas: Texas A&M AgriLife Extension Service.
- 82)Lacomba, R. (2004). *La ciudad sustentable.* México: Trillas
- 83)Londoño, J.L. (2009). *Un edificio verde es un edificio inteligente.* Producción más limpia. 4(1). pp. 61-75.
- 84)Maciel, T., Stumpf, M. & Kern, A. (2016). *Propuesta de un sistema de planificación y control de residuos en la construcción.* Revista Ingeniería de Construcción, 31 (2), pp. 105-116
- 85)Mario, C. (s.f.). Documento tres: *Estrategias institucionales para impulsar la edificación sustentable. a) El caso de México.* Recuperado el 20 de diciembre de 2018 de <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2330-paper-3a-institutional-efforts-green-building>
- 86)Martínez, E. & Díaz, Y. (2004). *Contaminación atmosférica. Universidad de Castilla-La Mancha.* ISBN8484273245, 9788484273240, p.13.
- 87)Mayagoitia, F. (s.f.). Documento cuatro: *Edificación residencial sustentable en América del Norte. a) Hacia una vivienda asequible y sustentable en México.* Recuperado el 20 de diciembre de 2018 de <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2332-paper-4a-residential-green-building-in-north-america>
- 88)Morillón, D. (2011). *Edificación Sustentable en México: Retos y oportunidades.* Recuperado el 11 de diciembre de 2018 de http://www.ai.org.mx/ai/archivos/ingresos/morillon/trabajo_final.pdf
- 89)Navarro, S.J. (S.f.). *Apuntes de Costos.* Recuperado el 3 de agosto de 2020 de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/folleto-costo-1.pdf>.
- 90)OMS. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre Actualización mundial 2005.* Recuperado el 27 de febrero de 2019 de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=B7D2F39836A8BB7222FA95FDEEB6157?sequence=1

- 91)OMS. (2018). *Calidad del aire y salud*. Recuperado el 25 de febrero de 2019 de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- 92)OMS. (2018). *Cambio climático y salud*. Recuperado el 19 de marzo de 2019 de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- 93)OMS. (2018). *Centro de prensa, Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado*. Recuperado el 08 de septiembre de 2020 de <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- 94)ONU. (2019). *Cambio climático*. Recuperado el 8 de agosto de 2020 de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
- 95)Palacios. J.L. (2012). *La casa ecológica: ¿Cómo construirla?*. León: Trillas
- 96)Pellicer E. & Serón J.B. (s.f.). *El proyecto de ingeniería civil y el medio ambiente*. Recuperado el 16 de Junio de 2018 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd30/civil.pdf>
- 97)Pinto, S. (2017). *ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA COMPARATIVO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLE Y CONVENCIONAL*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 98)Promotora ambiental. (2018). *Manejo de escombros*. Recuperado el 2 de agosto de 2020 de <https://www.pasa.mx/Servicios/Manejo-de-escombro/index.php>
- 99)Promotora ambiental. (2018). *Reciclaje*. Recuperado el 2 de agosto de 2020 de <https://www.pasa.mx/Servicios/Reciclaje/index.php>
- 100) Promotora ambiental. (2018). *Residuos peligrosos*. Recuperado el 2 de agosto de 2020 de <https://www.pasa.mx/Servicios/Residuos-Peligrosos/index.php>
- 101) Ramírez, A. (s.f.). *La construcción sostenible*. Recuperado el 12 de diciembre de 2018 de https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf
- 102) Ramírez, A. (s.f.). *Un diseño para un edificio sostenible*. Recuperado el 05 de enero de 2019 de http://www.spaingbc.org/files/un_diseño_para_un_edificio_sostenible_esp.pdf
- 103) Ramírez, A., Sánchez, J.M. & García A. (2004). *El Desarrollo Sustentable: Interpretación y Análisis*. Revista del centro de investigación. 6(21), pp. 55-59
- 104) Ramírez, H., López, O., & Ibáñez, L. A. (2015). *Estimación mensual de intensidad de la lluvia en 30 minutos a partir de datos pluviométricos*. Terra Latinoamericana, 33(2), 151-159.
- 105) Reinoso, L.F. (2014). *CRITERIOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL*. Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación

- 106) Ribero, O., Garzón D., Alvarado Y., Gasch I. (2016). *Beneficios económicos de la certificación LEED. Edificio Centro Ático: caso de estudio*. Revista Ingeniería de Construcción. 31 (2), pp. 139-146
- 107) Riestra, D., & Lucas, J. (2018). *Las Dimensiones del Desarrollo Sostenible como Paradigma para la Construcción de las Políticas Públicas en Venezuela*. Tekhne, Vol. 21, Núm 1. ISSN: 1316-3930.
- 108) Rivera, Z. & Sepúlveda, J. (2012). *Influencia de los requerimientos del sistema LEED en los costos directos de edificaciones- Caso construcción nueva sede Isagen en la ciudad de Medellín*. (Trabajo de grado). Medellín
- 109) Rocha, E. (2011). *Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA*. Revista Nodo. 6(11), pp. 99-116
- 110) Rodríguez, L., & Alonzo J.E. (2004). *Efecto de los factores ambientales, laborales y psicosociales, en el síndrome del edificio enfermo*. Ingeniería, vol. 8, núm. 2, mayo-agosto, 2004. ISSN: 1665-529X.
- 111) Rosas, J. (2015). *Obras sustentables de México*. México: México Desarrollo Sustentable.
- 112) Rudoy, W. (1980). *Cooling and Heating Load Calculation Manual*. Whashington D.C.: US Department of Housing and Urban Development.
- 113) Samaniego, J.L. (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. Santiago de Chile: Naciones Unidas
- 114) Sánchez, R. (2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Santiago de Chile: Naciones Unidas
- 115) Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior del Estado de Guanajuato. (2016). *Reporte técnico de balance de energía y de emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Guanajuato atribuido a actividades energéticas*. Recuperado el 12 de mayo de 2020 de [https://sices.guanajuato.gob.mx/resources/Balance%20Gto%202016final\(3\).pdf](https://sices.guanajuato.gob.mx/resources/Balance%20Gto%202016final(3).pdf)
- 116) Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). (2008). *Edificación sustentable en América del norte*. Canadá: CCA
- 117) SEMARNAT & INECC. (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015*. México. Recuperado el 17 de marzo de 2019 de https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/85321794_Mexico-NC6-BUR2-1-NIR_INEGYCEI%201990%20a%202015%20A.pdf
- 118) SEMARNAT. (2009). *Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones*. México.
- 119) SEMARNAT. (2018). *Diferencia entre sustentable y sostenible*. Recuperado el 22 de marzo de 2019 de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/diferencia-entre-sustentable-y-sostenible>

- 120) SEMARNAT. (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Recuperado el 26 de febrero de 2019 de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap5.html>
- 121) Servicios Ambientales internacionales. (s.f.). *Reciclaje de residuos en León*. Recuperado el 2 de agosto de 2020 de <https://www.serviciosambientales.com.mx/reciclaje-de-residuos-en-leon/>
- 122) Símuta, G. (2018). *La arquitectura sustentable como respuesta al daño ambiental*. Revista Latinoamericana de Educación y Estudios Interculturales, 3(2), pp. 36-40
- 123) Smart Building. (2018). *Programa de certificación BOMA Best®*. Recuperado el 25 de enero de 2020 de <https://smartbuilding.mx/programa-certificacion-boma-best/>
- 124) SMN. (2020). *Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia*. Recuperado el 12 de febrero de 2020 de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- 125) Sole, J. [Josep Sole]. (2016, Abril, 12). *4-5 Iniciación Simulación Energética / Introducción Puentes térmicos* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=pxWxnDlwOKw>
- 126) Sole, J. [Josep Sole]. (2016, Marzo, 16). *1-Curso Simulación energética / Introducción de Recintos* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=PkRQtGOobgA>
- 127) Sole, J. [Josep Sole]. (2016, Marzo, 18). *9-Curso Iniciación Simulación Energética / Calculo Demanda* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=D-1s3je3KMs>
- 128) Sole, J. [Josep Sole]. (2016, Marzo, 22). *12-Curso Iniciación Simulación Energética / Introducción sistemas con templates* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=oqbyGYG8Dno&t=3s>
- 129) Soluciones Hidropluviales. (2012). *Filtro de flujo ascendente Up-flo*. Recuperado el 10 de febrero de 2020 de <https://hidropluviales.com/2012/10/15/filtro-de-flujo-ascendente/#filtros>
- 130) Soluciones Hidropluviales. (2012). *Up-Flo Filter*. Recuperado el 10 de febrero de 2020 de <https://hidropluviales.com/wp-content/uploads/2012/10/ESP-FT-UP-FLO-2013-1.pdf>
- 131) SPAINGBC. (2015). *Certificación de Edificios*. Recuperado el 6 de septiembre de 2019 de <http://www.spaingbc.org/web/proceso-certificacion.php>
- 132) SPAINGBC. (2015). *LEED v4 BD+C: Diseño y Construcción de Edificios (D+CE)*. Recuperado el 6 de septiembre de 2019 de <http://www.spaingbc.org/web/leedv4-bd+c.php>

- 133) Suárez, S. (2002). *Costo y tiempo en edificación*. México: Limusa. ISBN 968-18-0067-2
- 134) Terraza, H., Rubio, D. & Vera, F (2016). *De ciudades emergentes a ciudades sostenibles*. Santiago de Chile: Salesianos Impresores
- 135) Terrones, T. et al. (2014). *Plantas silvestres en el paisaje urbano del Municipio de León, Gto.* México: Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN).
- 136) Unión Europea et al. (2011). *Calidad del aire interior*. Recuperado el 16 de diciembre de 2020 de https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824
- 137) U.S. DOE. (2019). *EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation Auxiliary Programs*. U.S. Department of Energy
- 138) U.S. DOE. (2019). *EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation Engineering Reference*. U.S. Department of Energy
- 139) U.S. DOE. (2019). *EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation Getting Started*. U.S. Department of Energy
- 140) U.S. DOE. (2019). *EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation Input Output Reference*. U.S. Department of Energy
- 141) U.S. DOE. (2019). *EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation Output Details and Examples*. U.S. Department of Energy
- 142) U.S. DOE. (2020). *EnergyPlus*. Recuperado el 26 de febrero de 2020 de <https://energyplus.net/>
- 143) U.S. DOE. (s.f.). *OpenStudio*. Recuperado el 26 de febrero de 2020 de <https://www.openstudio.net/>
- 144) U.S. Green Building Council. (2014). *LEED v4 para diseño y construcción de edificios*. Recuperado el 12 de julio de 2018 de <http://www.spaingbc.org/web/leedv4-bd+c.php>
- 145) U.S. Green Building Council. (2014). *LEED v4 para diseño y construcción de edificios*. Recuperado el 05 de enero de 2019 de <http://www.spaingbc.org/web/leedv4-bd+c.php>
- 146) U.S. Green Building Council. (s.f.). *Guía de Conceptos Básicos de Edificios verdes y LEED*. Recuperado el 16 de diciembre de 2018 de http://www.spaingbc.org/files/Core%20Concepts%20Guide_ES.pdf
- 147) U.S. Green Building Council. (s.f.). *LEED Green Building Certification System*. Recuperado el 17 de marzo de 2018 de http://ecoleaders.colostate.edu/Data/Sites/15/documents/2014/11_6%20LEED%20Green%20Building%20Certification%20System.pdf
- 148) U.S. Green Building Council. (s.f.). *Visión general de la guía de referencia para diseño y construcción de edificios v4*. Recuperado el 05 de enero de 2019 de <http://www.spaingbc.org/files/Vision%20General%20Guia%20Referencia%20BDC%20v4.pdf>

- 149) U.S. Green Building Council. (2019). *LEED v4 for Building Design and Construction - current version*. Recuperado el 6 de septiembre de 2019 de <https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version>
- 150) Vallejo, V. M. (2014). *Diseño y edificación*. Multidisciplina. Revista de la Facultad de Estudios Superiores de Acatlán. (18), pp. 29-58, ISSN: 2007-4395
- 151) Villa, F. (s.f.). *Construcciones verdes*. Recuperado el 21 de diciembre de 2018 de https://www.researchgate.net/publication/43950162_Construcciones_verdes
- 152) Water Sense. (2014). *Water Budget Tool Quick Start Guide*. Recuperado el 09 de abril de 2019 de <https://www.epa.gov/watersense/water-budget-quick-start-guide>
- 153) Water Sense. (2014). *WaterSense® Water Budget Approach*. Recuperado el 09 de abril de 2019 de <https://www.epa.gov/watersense/water-budget-tool>
- 154) Winter, S. (s.f.). *Documento cuatro: Edificación residencial sustentable en América del Norte.b) Fomento de la edificación residencial sustentable: perspectiva de Estados Unidos*. Recuperado el 20 de diciembre de 2018 de <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2333-paper-4b-residential-green-building-in-north-america>