



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
INSTITUTO DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTE
Maestría en Arquitectura**

**ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DE ESTRATEGIAS PASIVAS DE
CLIMATIZACIÓN PARA CLIMA SECO.**

Caso de estudio: vivienda de interés social en Ciudad Juárez, Chihuahua México.

Alumna: Arq. Liliana Karina Alba Gómez.

Director: Dr. Luis Carlos Herrera Sosa.

Tutor: Dra. Judith Gabriela Hernández Pérez.

Lector interno: Dra. Judith Gabriela Hernández Pérez.

Lector externo: Carlos Javier Esparza López.

A mis hijas.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento a la formación de maestros en investigación.

Al Doctor Luis Carlos Herrera Sosa, director de esta tesis, por compartir su valioso conocimiento y compromiso con el desarrollo de nuevas alternativas en el estudio del fenómeno arquitectónico.

1. Índice.

1. Introducción.....	11
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Justificación	15
1.3 Objetivo general.....	18
1.4 Objetivos particulares	18
1.5 Pregunta central de la investigación.....	18
1.6 Hipótesis	19
1.7 Estrategia metodológica.....	19
2. Marco teórico.....	22
2.1 Marco conceptual.....	22
2.2 Marco Referencial.....	31
3. Condiciones del medio.	49
3.1 Geografía y clima.....	49
3.2 Análisis climático.....	52
4. Simulación térmica.	60
4.2 Selección de estrategias	65
4.3 Resultado de las simulaciones de balance térmico de las estrategias.	71
4.4 Resultados del Consumo energético por climatización.	73
5. Análisis del costo de ciclo de vida (ACCV).	76
5.1 Datos base.....	76
5.2 Resultados del ACCV	80
6. Análisis de los resultados.	89

6.2 Categorización de las estrategias según el ahorro energético.	93
6.3 Categorización de las estrategias según el ahorro económico.....	95
7. Conclusiones.....	98
8. Recomendaciones.....	100
9. Bibliografía.	101

Lista de figuras.

Figura 1 Ejemplo de equilibrio térmico	39
Figura 2 Ejemplo de transferencia de calor.	40
Figura 3 Representación gráfica del flujo de calor en una edificación.	40
Figura 4 Pérdida de calor en las edificaciones.	41
Figura 5 Ganancia o pérdida de calor en una edificación.	41
Figura 6 Tasa de transferencia de calor.	43
Figura 7 Energía como transferencia de calor.	43
Figura 8 Proceso adiabático, sin transferencia de calor.	44
Figura 9 Absorción en una superficie opaca.	46
Figura 10 Transferencia de calor de una persona.	46
Figura 11 Ubicación geográfica de Ciudad Juárez en el estado de Chihuahua. Elaboración Propia.	50
Figura 12 Mapa de estado de Chihuahua, regiones climáticas. INEGI, 2020.	51
Figura 13 Temperatura anual de Ciudad Juárez. Elaboración propia con datos del programa climate consultant.	53
Figura 14 Tabla de temperatura promedio. Fuente: Climate consultant.	53
Figura 15 Modelo en 3D isotermas. Fuente: Climate consultant.	54
Figura 16 Precipitación pluvial. Elaboración propia con datos SMN.	55
Figura 17 Humedad relativa. Elaboración propia con datos de Climate consultant.	56
Figura 18 Radiación solar. Elaboración propia con datos de Climate consultant..	57

Figura 19 Gráfica solar para Ciudad Juárez. Elaboración propia.....	58
Figura 20 Diagrama de vientos. Fuente Climate consultant.	58
Figura 21 Ubicación del fraccionamiento Pedregal de San Isidro III etapa II. Elaboración propia.	60
Figura 22 Planta arquitectónica. Caso de estudio. Elaboración propia.	61
Figura 23 Corte longitudinal. Elaboración propia.	61
Figura 24 Corte transversal. Elaboración propia.	62
Figura 25 Diseño arquitectónico, vista general del proyecto. Elaboración propia.	62
Figura 26 Emplazamiento de la vivienda y su contexto inmediato.	63
Figura 27 Visualización de Simulación Modelo Base fachada Nor-Oriente y Este 6:00 p.m. Elaboración propia mediante Desing Builder	64
Figura 28 Visualización de Simulación Modelo Base fachada Sur-Poniente y Poniente 6:00 p.m. Elaboración propia mediante Desing Builder. (MB)	64
Figura 29 Visualización de Simulación de estrategia Aleros y partesoles (AP) fachada Sur-Poniente y Poniente 6:00 p.m. Elaboración propia mediante Desing Builder.....	65
Figura 30 Carta psicométrica para Ciudad Juárez, calculada con el software Climate Consultant 6.0.....	66
Figura 31 Simulado de aleros y parte soles en las aberturas de la vivienda. Elaboración propia con Grafisol	68
Figura 32 Temperatura del Modelo Base MB. Elaboración propia con datos de Desing Builder.....	72

Figura 33 Temperatura al implementar cada una de las estrategias. Elaboración propia con datos de Desing Builder Temperatura al implementar cada una de las estrategias. Elaboración propia con datos de Desing Builder.	72
Figura 34 Comparativa del consumo energético.	74
Figura 35 Gráfica comparativa consumo energético temporada invernal.	75
Figura 36 Ahorro económico de cada una de las alternativas. Elaboración propia	90
Figura 37 Categorización de las estrategias por su consumo energético.	94
Figura 38 Categorización de las estrategias según el ahorro energético. Elaboración propia.	95
Figura 39 Correlación entre el consumo energético y las emisiones de CO2.	96
Figura 40 Emisiones de CO2 en el periodo de estudio, de cada una de las alternativas. Elaboración propia.	97

Lista de tablas.

Tabla 1 Temperaturas anuales. Elaboración propia con datos del programa Climate consultant.....	52
Tabla 2 Humedad relativa. Elaboración propia con datos Climate Consultan.....	56
Tabla 3 Radiación difusa. Elaboración propia con datos de Climate consultant. ..	57
Tabla 4 Resumen de las características del clima de Ciudad Juárez. Elaboración propia.....	59
Tabla 5 Tabla de propiedades térmicas del modelo base.	70
Tabla 6 Tabla de propiedades térmicas de las estrategias a simular.	71
Tabla 7 Tabla comparativa de las de temperaturas según simulación en Desing builder.	73
Tabla 8 Consumo energético por climatización artificial.	73
Tabla 9 Tasa de interés bancario. elaboración propia con datos de https://www.banxico.org.mx/	79
Tabla 10 Inflación histórica de 30 años en México. Elaboración propia con datos obtenidos de https://www.banxico.org.mx/	80
Tabla 11 Posibles rendimientos del monto total de cada uno de los dispositivos. Elaboración propia	81
Tabla 12 ACCV del modelo base en el consumo energético.....	82
Tabla 13 Resultados del AACV del modelo base.	83
Tabla 14 Descripción y costo de aleros y parte soles.....	84
Tabla 15 ACCV de la alternativa AP	84

Tabla 16 Descripción y costo de ventanas propuestas.....	85
Tabla 17 ACCV de la alternativa DV. Elaboración propia.....	85
Tabla 18 Descripción y costo de aislante en techo.....	86
Tabla 19 ACCV de la alternativa AT. Elaboración propia.....	86
Tabla 20 D Descripción y costo de aislante en techo.....	87
Tabla 21 ACCV alternativa AM. Elaboración propia.....	87
Tabla 22 Costo de los dispositivos propuestos AP, DV; AT Y AM. Elaboración propia.....	88
Tabla 23 ACCV de todas las estrategias propuestas. Elaboración propia.....	89
Tabla 24 Categorización de las estrategias según el ahorro económico. Elaboración propia.....	90
Tabla 25 Tabla comparativa del ahorro económico entre los dispositivos propuestos. Elaboración propia.....	93
Tabla 26 Categorización de las estrategias por la emisión CO2 generada. Elaboración propia de las estrategias.....	97

1. Introducción.

El costo de ciclo de vida se refiere al análisis de costo beneficio para la producción de bienes y servicios, tema fundamental en la actualidad para conocer la conveniencia o pertinencia de algún proyecto a realizar. En este sentido, las estrategias pasivas de climatización de propuestas arquitectónicas sostenibles son esenciales para un modelo productivo que tenga entre sus objetivos el ahorro o el gasto inteligente. Sin embargo, dichas estrategias pocas veces son consideradas pues se carece de herramientas para evaluación de proyectos en función del ahorro y la sostenibilidad. Una de las herramientas para lograr dicho objetivo es precisamente el cálculo del costo de vida.

Esta tesis de investigación busca analizar y evaluar las estrategias pasivas de climatización, a partir del ahorro energético y costo de ciclo de vida que se pueden implementar en la vivienda de interés social construida en Ciudad Juárez. Especialmente las que se desarrollan en los linderos perimetrales de la mancha urbana o áreas periféricas, con la finalidad de determinar cuáles estrategias conviene agregar en términos económicos a este tipo de viviendas ya construidas y localizadas en un clima seco, como el de esta localidad, puesto que cada región geográfica posee un conjunto de características diversas y que la forma arquitectónica debe por principio corresponder con dicha región.

Existen otros trabajos o líneas de investigación que abordan técnicas, tecnologías y estrategias para la realización de proyectos arquitectónicos, es decir, desarrollo de viviendas por producirse. Este ejercicio aborda la problemática de viviendas ya construidas, cuya forma arquitectónica no corresponde con el lugar, y por tanto, no abrigan, cobijan o resguardan apropiadamente a sus moradores. Por esta razón, se propone como eje rector de la investigación, la reconversión de viviendas de interés social ya edificadas y que pueden encontrarse habitadas o abandonadas en toda la ciudad, especialmente en los desarrollos ubicados en el borde suroriente de Ciudad Juárez.

Las viviendas, para su apropiado funcionamiento, suelen ser modificadas por sus ocupantes con elementos o dispositivos al alcance de adquisición en el mercado. Sin embargo, en una ciudad donde la transición entre la construcción con tierra y madera sucedió hace casi cincuenta años, la tradición constructiva o estrategias tradicionales para enfrentar el clima local se encuentran anuladas o parcialmente anuladas. Las paredes gruesas, techos con terrado y ventanas pequeñas han sido sustituidas por paredes delgadas y ventanales que afectan el ambiente interior de la vivienda e incrementan, por efectos de la forma, el consumo energético; pues para vivir con un clima confortable en su interior es necesario enfriarlas o calentarlas durante las distintas épocas del año.

La transferencia tecnológica heredada de una generación de constructores a otra generación ha perdido el sentido que en otros tiempos comportaba la tradición. En la actualidad, la técnica y los sistemas constructivos se centran en acelerar el proceso de producción más que en lograr una forma arquitectónica que se corresponda con el lugar, lo que en sí mismo constituye un problema de precariedad económica. De tal forma, producir viviendas más rápido pero que con los años consuman más energía, representa un problema para los habitantes y para el país conocido como un problema de pobreza energética. Si bien reconvertir es un modo de producción, la idea central es que se modifiquen viviendas que ya han sido habitadas con la finalidad de adecuarlas para su uso en un contexto determinado como es el de Ciudad Juárez.

La estructura metodológica para llevar la presente investigación se construyó a partir de la combinación de dos metodologías existentes: por un lado, la metodología bioclimática que entre otros aspectos considera el análisis del clima de lugar, y la metodología simulada que en la actualidad es propia para la investigación en arquitectura, ya que consiste en generar escenarios simulados y obtener resultados sin que sea necesario hacer un trabajo de campo. De esta forma, es posible el ahorro de tiempo y recursos en la investigación y un mayor alcance para generar varios escenarios posibles.

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente resulta imprescindible abordar el tema de sostenibilidad en relación con problemáticas de la forma construida, en este caso la vivienda de interés social. En el año 1983, en el seno de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), surge la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente con la intención de comprender el fenómeno de crecimiento económico y el medio ambiente, así como proponer acciones y evaluar los respectivos resultados. En 1987 esta comisión publica un informe titulado *Nuestro futuro en común*, en el cual se instaura el concepto contemporáneo de desarrollo sostenible con la siguiente descripción: “Está en manos de la humanidad asegurar que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente, 1987), principio que a partir de ese momento se introduce en distintas disciplinas del conocimiento como un enfoque específico para abordar problemáticas particulares.

Desde entonces, el concepto de sostenibilidad se relaciona con los aspectos económicos, sociales y del medio ambiente como un todo, es decir, el desarrollo económico equivale a desarrollo ambiental y desarrollo social, en un equilibrio dinámico, que cambie fundamentalmente el modo de producir y fabricar las cosas. La sostenibilidad se ocupa de todos los procesos en los que interviene el hombre y los impactos que estos procesos tienen en el planeta, siendo la arquitectura uno de estos procesos que transforman el mundo y que tienen un impacto negativo en este. Toda transformación material consume recursos naturales y humanos; la producción de bienes y servicios altera el ambiente y lo afecta, sin embargo, llamamos impacto negativo al modelo productivo que consume recursos de un modo dispendioso. Así lo afirma Sánchez (2008):

El desarrollo sostenible es un tema que está en la agenda de todos los países en la actualidad. La construcción es responsable de un porcentaje altísimo de los residuos que se generan en el planeta. En la vivienda social, además, la sustentabilidad debe estar implícita en el diseño del proyecto. El ahorro de energía y la recuperación de los recursos naturales para su reutilización no sólo benefician al medio ambiente, sino que reducen los gastos de las familias (p. 5).

El modelo de producción industrial tiende a no considerar los costos asociados de mantenimiento de los objetos producidos, en una especie de promoción de la cultura de lo desechable. El costo inicial, en apariencia bajo, disfraza el verdadero costo si a este se le suma el costo diferido de un elevado consumo de recursos para mantenimiento.

En el caso particular de la vivienda de interés social, desde hace tiempo producida como un objeto mercantil, puede observarse este fenómeno, pues el costo de mantenimiento que esta eroga deviene en pobreza energética de la población con menos ingresos, y esta se ve obligada a consumir bienes y servicios tipificados como de interés social, entre los que se encuentra la canasta básica así como también la vivienda con créditos hipotecarios del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).

Actualmente la tasa de interés bancario del orden hipotecario es de 9.55 % (Banxico, 2020), mientras que el INFONAVIT tiene una tasa de 12 % (INFONAVIT, 2020), es decir, la tasa de interés social no es más barata, no obstante, es la única a la que la mayoría de la población puede acceder. En teoría, estas viviendas para la población de bajos ingresos deberían pensarse y producirse como edificios de bajo mantenimiento y bajo consumo energético, y con ello tener viviendas que se incluyan en este paradigma del desarrollo sostenible el cual beneficia a todos.

Una de las motivaciones principales de la elaboración de esta tesis es precisamente abordar el problema de la vivienda de interés social en Ciudad Juárez desde el paradigma del desarrollo sostenible, ya que este tipo de viviendas representa un problema ambiental, social y económico para esta ciudad, pues según Fuentes y Hernández (2010), Ciudad Juárez es una de las ciudades más pobladas de México (debido a su actividad económica principal que es la manufacturera). Además, señala que en los últimos veinte años ha presentado un ritmo de crecimiento acelerado, provocando un aumento en la construcción de viviendas de interés social ubicadas en la periferia urbana sobre todo al suroriente de esta ciudad, donde se construyeron miles de viviendas proyectadas para población con bajos ingresos.

Es pertinente poner atención a este problema y generar propuestas que atiendan la situación actual en la cual se encuentra un gran número de familias que habitan viviendas de interés social.

1.2 Justificación

Comprender la problemática global en el marco del desarrollo sostenible e identificarla a nivel local, así como problematizar y proponer algunas alternativas que coadyuven a cumplir con los propósitos de este, son algunas de las razones por las cuales esta investigación ha sido desarrollada con énfasis en la vivienda de interés social, pues según los indicadores que varios autores han estudiado a nivel local:

Ciudad Juárez fue una de las principales ciudades receptoras de la política de vivienda del gobierno federal puesta en marcha desde el año 2002, de forma tal que produjo el mayor número de vivienda económica a nivel nacional en cuatro ocasiones consecutivas (Maycotte, et al., 2015: 9).

Lo anterior debido a que Ciudad Juárez cuenta con una población de 1,242,841 habitantes (INEGI,2015), y representa el 34.81% de la población total del estado de Chihuahua en el que se localiza.

Además, cerca del 82% de la población económicamente activa tiene ingresos iguales o menores a 3.9 veces el salario mínimo (VSM), lo cual hace a esta población potencial beneficiario de financiamientos ofertados por instituciones públicas, principalmente INFONAVIT (Maycotte, et al., 2015: 9).

Podría pensarse que tener una población económicamente activa que puede acceder a este tipo de viviendas ofertadas por el INFONAVIT representa un beneficio tanto para el trabajador como para el crecimiento formal de la ciudad, pero esto no es así, pues 490,670 viviendas particulares (INEGI, 2015) que se encuentran en Ciudad Juárez 115,692 están deshabitadas, y de estas, 30 mil son viviendas financiadas por el mismo instituto que es el encargado de proporcionar vivienda digna para la clase trabajadora.

Por lo anterior es pertinente estudiar este tipo de fenómenos que se presentan en esta ciudad, pues:

La arquitectura y la construcción son actividades que contribuyen al desarrollo social y económico de un país. Pero al mismo tiempo, la arquitectura y la construcción, generan un impacto en el ambiente, la economía y la sociedad durante todo el ciclo de vida de la edificación u obra construida, a través de la ocupación del espacio y del paisaje, de la extracción de recursos, y de la generación de residuos y contaminación (Maycotte, et al., 2015: 9).

Uno de los ejes del desarrollo sostenible que retoma esta investigación es el económico, pues aborda un tema transversal poco explorado en una economía como la mexicana, en la que el crecimiento promedio es del 2% en los últimos años lo cual no favorece la movilidad social, es decir existe una pobreza estructural.

En México, aproximadamente 40% de los hogares viven en pobreza energética (García, R., Graizbord B, 2016), entendida esta como la situación en la que se encuentran las familias que destinan más del 10% de su ingreso familiar en pago de servicios (Boardman, 2010), específicamente en el pago de electricidad y gas. En consecuencia, el gasto por encima del salario reduce el poder adquisitivo de las familias y limita su capacidad de ahorro; así también, el crédito para bienes y servicios está fuera de su alcance. Se requieren acciones que beneficien genuinamente a las personas.

Esta investigación pretende explorar este campo, pues la mayoría de las investigaciones locales realizadas sobre el tema de ahorro energético en la vivienda, se centran básicamente en analizar estrategias bioclimáticas, estudios sobre las características de los materiales, propuestas de nuevas técnicas y materiales que logren un buen diseño bioclimático, sin abordar el tema de la factibilidad económica a largo plazo con datos cuantitativos verificables,

Por lo anterior, puede decirse que se desestima la implementación de estas estrategias pues se asume *a priori* que son poco rentables sin que se tenga claridad o datos duros que así lo comprueben. Solo existen las fichas técnicas de algunas estrategias pero esta información no es suficiente, pues los datos que contienen informan de mediciones de las estrategias de modo particular pero no datos contables en pesos y centavos. Por ello, es necesario abordar el tema con instrumentos metodológicos apropiados para medir con precisión la factibilidad de la implementación de estrategias pasivas en términos del impacto y conveniencia a la economía de una familia que habita la vivienda de interés social, pues como ya se planteó anteriormente en la problemática, esta vivienda es definida de interés

social lo cual debería considerar los menores costos de mantenimiento. Uno de estos instrumentos es el Análisis del Costo de Ciclo de Vida (ACCV) que "ofrece una evaluación significativamente mejor de la rentabilidad a largo plazo de un proyecto que los métodos económicos alternativos que se centran solo en los primeros costos o en los costos operativos a corto plazo" (Fuller S. and Petersen S, 1995, p. 1).

1.3 Objetivo general

Analizar estrategias pasivas de climatización a partir del ahorro energético y costo de ciclo de vida, realizables en la vivienda de interés social construida en Ciudad Juárez, con la finalidad de determinar cuáles estrategias conviene sumar a este tipo de viviendas localizadas en un clima seco.

1.4 Objetivos particulares

Definir las estrategias pasivas de climatización pertinentes para el clima de Ciudad Juárez, y así, ponderar aquellas de mayor importancia.

Llevar a cabo la simulación de las estrategias seleccionadas, a través del programa *Design Builder*, para obtener los resultados del consumo energético de los dispositivos que comprenden dichas estrategias.

Calcular el ahorro económico de cada una de las estrategias por medio del análisis del costo de ciclo de vida (ACCV).

1.5 Pregunta central de la investigación

Por todo lo expresado en párrafos anteriores, esta tesis pretende responder a la pregunta ¿Cuál es el ahorro energético y económico al implementar estrategias pasivas de climatización en la vivienda de interés social? Es apremiante realizar los ajustes necesarios en cuanto a estrategias que respondan a la situación particular de una ciudad y sus habitantes en cuanto a desarrollo sostenible se refiere.

1.6 Hipótesis

Como puede inferirse en lo expresado en esta primera parte, se sostiene la hipótesis que las estrategias pasivas de climatización en la vivienda de interés social representan un ahorro económico y energético relevante; asimismo, influye positivamente en la economía de las familias que habitan viviendas de interés social.

1.7 Estrategia metodológica

La estrategia metodológica que se estructuró para esta investigación está dividida en dos diferentes áreas, la primera comprende el acopio, síntesis y diagnóstico de la información, mientras que la segunda es la experimentación por medio de la simulación. Dando como resultado ocho fases para lograr el objetivo de esta investigación.

La simulación es un diseño de investigación notablemente ubicuo, que se puede implementar en una amplia gama de temas, con fines que abarcan desde aplicaciones altamente específicas en proyectos de diseño hasta la construcción de teorías. Igualmente importante, la simulación con frecuencia se presta para muchos usos como táctica dentro de otras estrategias de investigación, o como un socio completo en estrategias combinadas (Groat Linda y Wong David, 2012, p. 349).

Fases de esta investigación:

1. Compilación de datos
2. Síntesis, diagnóstico y estrategias
3. Selección de estrategias a partir de simulación térmica, costo y accesibilidad de las personas
4. Categorización por ahorro energético de las estrategias
5. Análisis de costo de ciclo de vida
6. Categorización de propuestas viables económicamente

7. Discusión de resultados
8. Conclusiones y recomendaciones

1. Compilación de datos

En esta primera fase de la investigación se realizó un análisis bibliográfico para construir un marco de referencia en el cual se basó el estudio del tema a investigar y coadyuvo a su comprensión. Aunado a lo anterior, se compilaron todos los datos necesarios del entorno en donde se localiza el proyecto, tales como emplazamiento, clima, datos del proyecto arquitectónico, materiales y sistemas constructivos de la edificación, criterios del diseño arquitectónico, e información climática de las estaciones meteorológicas más cercanas al proyecto.

Se recopiló información acerca del concepto de confort humano que han trabajado varios autores, así como las herramientas que se han desarrollado para representar una zona de confort térmico según los datos climáticos del lugar como son las cartas psicométricas. Luego, se realizará un análisis de esto y se plantearán las mejores estrategias en términos de ahorro de energía considerando estas investigaciones. Sin embargo, se optará como base de esta investigación la carta psicométrica proveniente del programa computacional (software) *Climate consultate 6.0* en función de ser una herramienta eficaz empleada por otros investigadores de esta línea de investigación.

Por último, se realizaron consultas de fichas técnicas de materiales y componentes, así como la valoración de estrategias de climatización empleadas para el mejoramiento del confort térmico en casos análogos, con la finalidad de plantear las mejores propuestas a modelar.

2. Síntesis, diagnóstico y estrategias

Una vez estudiados y comprendidos todos los conceptos necesarios para poder llevar a cabo este tema de investigación se seleccionó la información necesaria para

describir el tema a tratar, así como el diagnóstico que nos arrojan los datos del clima y con esto poder seleccionar las estrategias a simular.

3. Selección de estrategias a partir de simulación térmica, costo y accesibilidad de las personas

En esta fase se generaron escenarios simulados del proyecto con cada una de las estrategias propuestas a través del programa *Design Builder 6.0*, con el objetivo de obtener los resultados del ahorro energético supuesto de cada una de ellas, lo que suple el trabajo de campo, de este modo se puede analizar una mayor cantidad de estrategias de un modo eficaz pero mucho más económico.

4. Categorización por ahorro energético de las estrategias

Una vez seleccionadas las estrategias y con los resultados obtenidos de la simulación térmica se categorizó y presentan las estrategias según su ahorro energético, para poder establecer la relevancia en el análisis del costo de ciclo de vida.

5. Análisis del costo de ciclo de vida

Otro paso fue evaluar económicamente cada una de las estrategias seleccionadas de manera independiente y de manera integral, considerando las inversiones iniciales, los costos de operación y el costo adicional para estimar, comparar y evaluar la pertinencia de la inversión total. Para ello se calcularán los ahorros y beneficios y el costo global de la propuesta.

6. Categorización de propuestas viables económicamente

Después de hacer el análisis del costo de ciclo de vida de los escenarios planteados, se categorizó las propuestas que aportaron datos económicos relevantes que sumen un ahorro real al adaptar esta vivienda.

7. Discusión de resultados

Se discuten los resultados de los datos que arrojaron la aplicación del análisis del costo de ciclo de vida de cada uno de los escenarios planteados en cada comparativa para poder pasar a la fase final.

8. Conclusión y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos

Finalmente, al tomar en cuenta los resultados de las simulaciones, los cálculos realizados y los costos asociados a cada propuesta se concluyó cuáles son las estrategias más favorables para el mejoramiento del desempeño energético en términos económicos y así emitir recomendaciones favorables para el mayor ahorro energético y económico en la vivienda de interés social.

2. Marco teórico

2.1 Marco conceptual

Vivienda de interés social

Explorar el fenómeno de la vivienda de interés social es adentrarse al estudio no solo de su materialización en este caso la arquitectura, sino también al estudio de una serie de factores que influyen para que suceda de una forma desordenada y precaria, pues intervienen diversos agentes que no necesariamente están relacionados con la arquitectura y lo que esta pueda llegar a resolver.

La vivienda y sus condiciones precarias son actualmente uno de los problemas más graves de las ciudades latinoamericanas. La gran demanda y los pocos recursos de la población para satisfacer sus condiciones básicas hacen que estos últimos necesiten de ayuda del gobierno para emprender la construcción o el mejoramiento de sus viviendas. El problema de la vivienda no debe analizarse de manera

aislada, son muchos los factores que intervienen en su desarrollo y evolución, por lo tanto, el estudio debe de ser multidisciplinario (Sánchez J., 2008, p. 8).

Como ya es sabido históricamente, la Revolución Industrial trajo consigo muchos cambios a nivel mundial, uno de ellos fue el movimiento migratorio del campo a la ciudad; derivado de esto, las ciudades aumentaron sus índices poblacionales en poco tiempo, y con ello creció también la demanda de un lugar para habitar. Debido a que las ciudades no estaban preparadas para afrontar esta necesidad, surgieron varias problemáticas relacionadas con ello.

Aunado a lo anterior Sánchez (2008) afirma que el origen de la llamada “vivienda social” acentuando la reflexión política y ética en cuanto a la problemática de vivienda que las clases sociales bajas enfrentaban. Debido a esta intervención, aparecieron las primeras normativas urbanísticas cuyo objetivo estaba enfocado al mejoramiento de las condiciones higiénicas de la zona urbana. Así, varios arquitectos focalizaron su estudio en la búsqueda de soluciones para una vivienda adecuada a la clase social más baja.

Así nacieron proyectos de unidades habitacionales basados en conceptos nuevos de esta arquitectura dirigida a un cliente con características específicas. Se buscó satisfacer las necesidades de habitabilidad de un sector social bajo, pero al mismo tiempo se redujo el concepto de “vivienda social” a construcción con un presupuesto menor hasta considerarse una vivienda “barata” y de mala calidad (p. 9).

Si bien la migración del campo a la ciudad inicia en Europa con la Revolución Industrial, este fenómeno también se hace presente en Latinoamérica, y por lo tanto en México, según su contexto y circunstancias específicas. “En el caso de México, la industrialización se produjo en los años 30; durante la década siguiente las principales ciudades del país sufrieron consecuencias muy parecidas a las del resto

de Latinoamérica. La población rural se desplazó a las ciudades” (Sánchez J., 2008, p. 9).

Fue hasta aproximadamente 1980 que el gobierno mexicano tomó acciones para empezar a resolver el déficit de vivienda, con ayuda de la participación estatal, social y privada en programas de vivienda en estos años y hasta los 90s.

Sánchez (2008) confirma que:

Durante el Gobierno del presidente Carlos Salinas de Gortari (1988 - 1994) se llevaron a cabo importantes modificaciones en materia de vivienda y desarrollo urbano que tuvieron grandes implicaciones. Se reformaron leyes relacionadas con el suelo, dando la oportunidad a ejidatarios y comuneros de negociar sus terrenos en forma privada con agentes privados o públicos. Esto facilitó la incorporación de este tipo de suelo al desarrollo urbano. Suelo que, al ser adquirido a muy bajo precio por grandes agentes, se convirtieron en los desarrollos habitacionales alejados de las ciudades que ahora conocemos. (Sánchez J., 2008, p. 18).

Estas modificaciones brindaron oportunidades a los ejidatarios para obtener un mejor pago por sus tierras. Sin embargo, la entrada en escena de varias empresas constructoras con intereses económicos bien definidos, dedicadas a la edificación de viviendas de carácter social, en terrenos sin infraestructura y de bajo costo, modificó el rumbo de la industria de la construcción. La nula normativa urbana hizo posible esto, aunque “al mismo tiempo se le dio respuesta a la demanda de vivienda, pero con un producto poco eficiente y con muchas limitaciones.” (Sánchez J., 2008, p. 18).

Por otra parte, la vivienda de interés social ha sido tomada por algunas administraciones del país explícitamente como motor de la economía; visto de esta manera, la vivienda de interés social pasa a ser un producto comercial que tiene que generar dividendos para varios actores involucrados en su desarrollo.

“En el año 2000, como parte de la propuesta de campaña del presidente Vicente Fox Quezada, se propuso un ritmo anual de financiamiento de 750.000 viviendas, logrando así un crecimiento de 2.350.000 viviendas en su sexenio, pretendiendo un ritmo de 2.300 viviendas por día —la mayoría en la periferia de las ciudades—. Desgraciadamente, hoy en día la mayoría de los proyectos de vivienda social todavía carece de un diseño integral y sobre todo de una densidad necesaria” (Sánchez J., 2008, p. 19).

En cuanto a la producción de vivienda social se incrementó de 2 a 18 las entidades que subsidian la producción de vivienda y de 2007 a 2010 se cubrió, de inicialmente dos, a los 31 estados y también al Distrito Federal (Sánchez J., 2008 p. 26).

De este modo, son muchos los actores que han participado en la creación de la vivienda de interés social, pues no es solo el hecho de construirlas y dar respuesta a la demanda de estas en las ciudades más pobladas. Es necesario tomar en cuenta que en los países con una economía en crisis, los sectores más vulnerables de la población viven sin la posibilidad de acceder a un crédito que les permita tener una vivienda propia, como es el caso en México.

Por otra parte, el financiamiento para la vivienda en México está organizado por el INFONAVIT. Fundado en 1972, el fondo administrado por esta instancia de gobierno está compuesto por una aportación tripartita (patrones, trabajadores y gobierno) y bimestral con las que se constituye una subcuenta de vivienda a nombre de cada trabajador.

El INFONAVIT administra las aportaciones con la doble obligación de otorgar rendimientos a la subcuenta de vivienda y operar un sistema de financiamiento para los trabajadores, con la finalidad de adquirir, construir, reparar, ampliar o mejorar sus habitaciones, así como cubrir el pago de pasivos. Este Instituto está dirigido a trabajadores asalariados del sector privado, con ingresos desde 1 Vez el Salario Mínimo (Vsm). Los créditos que otorga el INFONAVIT se calculan tomando como base el sueldo básico del trabajador expresado en Vsm. El plazo de pago es de 30 años y la afectación salarial es del 25%. El ahorro previo es una subcuenta de vivienda y la tasa de interés va del 4% al 10%, indizada en Vsm. El INFONAVIT conforme al nuevo programa gubernamental ésta es tu casa (Sánchez J., 2008, p. 27).

El plazo de pago de este tipo de viviendas es 20 años para la adquisición de una vivienda nueva o usada. “La afectación salarial es del 33% máximo. Los créditos devengarán mensualmente una tasa de interés anual compuesta por la tasa que mensualmente da a conocer Shf”. (Sánchez J., 2008, p. 28). Aproximadamente esta tasa es del 12 % anual.

En el año 2030 el 82% de la población total se asentará o habitará en localidades urbanas. Las estadísticas del Consejo Nacional de Población señalan que la demanda de vivienda seguirá aumentando y, por ende, la cantidad de viviendas con que se contará para el año 2030 será aproximadamente de 38 millones, lo que significaría un aumento de casi 12 millones de viviendas. (Sánchez J., 2008: 117). Por otra parte, “la ampliación y modificación de las viviendas de interés social es constante”. (Sánchez J., 2008, p. 167).

Particularmente en Ciudad Juárez el desarrollo de la vivienda de interés social se efectúa en las mismas condiciones descritas en párrafos anteriores, la migración del campo a la ciudad o de una ciudad con menos posibilidades de progreso y de empleo hacia esta. Ciudad Juárez se caracteriza actualmente por poseer una gran fuente de empleo prominente de la industria maquiladora, la cual representa un aliciente para las personas que desean migrar hacia otro lugar en busca de mejores oportunidades. Con ello se ha generado una sobre oferta de mano de obra y, por consiguiente, se han creado nuevos parques industriales que se encuentran dispersos por la ciudad. A consecuencia de esto y “aunado a algunos intereses particulares de los desarrolladores de vivienda han derivado en la creación de nuevos desarrollos habitacionales para satisfacer la demanda de vivienda de la población” (Herrera, L., Ordoñez G., Peña, L. Sánchez J., 2018, p. 101).

Clima y sostenibilidad.

Cuando hablamos de vivienda social y estamos proponiendo alternativas de diseño, es imperativo pensar en desarrollo sostenible. Ya no podemos considerar un proyecto de vivienda ajeno a las situaciones económicas que afectan nuestro país y al mundo. Ya no podemos cerrar los ojos y creer que las acciones u omisiones de diseño no tienen impacto en el medio ambiente. No podemos construir sin considerar la problemática social y calidad de vida del futuro usuario. Cuando diseñamos, debemos abordar la solución desde esta perspectiva, solo así un proyecto de vivienda se puede considerar completo e integral. Los tres ejes que rigen las acciones –según Sánchez-, tanto de la sociedad, los desarrolladores y el gobierno deben guiarse por un objetivo común: la justicia social, la viabilidad económica y el compromiso medioambiental. Así se podrá lograr responder con un diseño de vivienda integral que incluya las diferentes características de cada localidad en el país. Además, se logrará una vivienda mejor adaptada y se aprovecharán los recursos eficientemente. Esto favorecerá que las ciudades sean

más sustentables y que vayan a la par con los objetivos del desarrollo sostenible a nivel global.

Sin embargo, la realidad en México al día de hoy es que son pocos los desarrollos construidos bajo este concepto. Debemos cambiar esto, y es un gran momento para hacerlo, ya que México es un país con gran demanda de vivienda y el potencial para mejorar las condiciones de los usuarios y tener un impacto positivo en el ambiente es enorme. Los desarrolladores de vivienda deben de estar convencidos de los beneficios que el diseño de desarrollos sustentables les crea. La sociedad informada y consciente deberá empezar a exigir la construcción de vivienda sustentable como un medio para mejorar la calidad de vida, garantizar la conservación de nuestros recursos naturales y asegurar el bienestar a las futuras generaciones” (Sánchez J., 2008, p. 182).

Hay distintas formas de designar o catalogar a las viviendas que responden a las condiciones del medio donde se emplazan, por ejemplo, viviendas bioclimáticas, sustentables, o ecológicas; más bien debería tomar como adjetivo viviendas pensadas inteligentemente, pues esto refiere al uso de tecnología orientada a facilitar la creación de ambientes favorables para el ser humano.

Para la tercera década del presente siglo, en México habrá casi 40 millones de hogares. El crecimiento de este sector será continuo durante los siguientes años dado que los ámbitos urbanos consumen el 50% de los recursos energéticos del país (Sánchez J., 2008, p. 184).

Ante esto se constata la necesidad de ofrecer una opción que recupere las oportunidades que tiene el sector y se responda mediante acciones que incidan en el desarrollo de sus habitantes.

“El sector tiene un gran potencial de ahorro energético y optimización de uso de recursos. Además, la mayor parte de los desarrollos habitacionales que se construyen en México sigue sin considerar acciones mínimas de sustentabilidad. Los usuarios de este tipo de desarrollos terminan por abandonar sus casas debido a la falta de transporte, reducidas condiciones de confort y falta de espacios para la recreación y crecimiento cultural de la comunidad” (Sánchez J., 2008, p. 185).

Considerar el impacto de este número de viviendas debe ser primordial en la agenda de todos los países. Por estas razones, el tener en cuenta una estrategia sostenible en el momento de planear, diseñar y construir es la oportunidad de mejorar la calidad de vida de millones de personas en México.

De acuerdo con lo anterior, existen una serie de ventajas al tomar en cuenta la búsqueda del desarrollo sustentable en proyectos de construcción de vivienda. Construir de forma sustentable aumenta la plusvalía de los desarrollos habitacionales, pues con ellos las viviendas obtienen ahorros significativos en energía. Por ejemplo, para lograr el confort térmico dentro de la vivienda se hace menos necesario usar en exceso los aparatos que requieren diferente tipo de energía como la eléctrica, viéndose así el usuario beneficiado económicamente en el pago de sus facturas. Al integrar estrategias bioclimáticas a la vivienda de interés social los habitantes pueden estar más tiempo en su zona de confort gracias a las estrategias bioclimáticas y a la correcta consideración de las condiciones del clima

del lugar al aplicarlas, pues no todas las temporadas del año se hace necesario utilizar medios mecánicos para lograr este confort y las estrategias bioclimáticas pasivas son suficientes para lograrlo. Además, cuando los individuos de la comunidad están integrados y participan activamente en los asuntos de esta, se crea una conciencia colectiva y se define claramente una visión común sobre el estilo de vida al que aspiran y las consecuentes acciones para lograrlo. Igualmente, al contar con estrategias bioclimáticas y eco-tecnologías, la vivienda sustentable minimiza el consumo sobre nuestros recursos renovables y no renovables, logrando su adecuada preservación.

La búsqueda de los gobiernos por mejorar la calidad de vida de la población está ligada a la vivienda, ya que es una de las necesidades vitales del ser humano.

En México, se ha pasado de un Estado benefactor comprometido con la provisión de diferentes bienes, como la vivienda, a un estado que concede estos compromisos a los agentes financieros como lo es el sector inmobiliario. Esta concesión del Estado ha propiciado el crecimiento exponencial de la oferta de vivienda debido a los sistemas de producción de tipo industrial que han adoptado las empresas inmobiliarias privadas, las cuales fusionan un conjunto de prácticas que van desde construcción, desarrollo, financiamiento y promoción, y teniendo como eje articulador la producción de vivienda masiva se incorporan en proyectos que por sus dimensiones se tratan de verdaderas ciudades e indiscutiblemente los usuarios son los principales actores y afectados ante la incapacidad del Estado para enfrentar el problema de vivienda (Espinosa F., Vieyra A., Garibay C., 2015, p. 61).

En definitiva, según lo expuesto por los autores antes citados, los problemas por los que adolece la vivienda de interés social hoy en día son debido a la diferencia de intereses entre el desarrollador y el usuario, pues el primero piensa en fines económicos sin tener en cuenta las necesidades del usuario. A este último se le heredan varios problemas los cuales debe resolver por su cuenta, como es el tema de climatizar su vivienda con recursos propios.

2.2 Marco Referencial.

Para poder llevar a cabo esta investigación se tomarán como marco de referencia los estudios de termodinámica acerca de la transferencia del calor, para poder entender al objeto arquitectónico y su relación con los materiales y componentes de la construcción, sus habitantes, así como los medios activos y pasivos de climatización. También se tomará como marco de referencia el análisis del costo de ciclo de vida del ambiente construido para explicar la finalidad de cada una de las propuestas y sus beneficios convertidos en ahorro en el mantenimiento de la vivienda.

Por otra parte, servirán como referencia las investigaciones que han realizado algunos autores que están directamente relacionadas con el tema de adecuación o reconversión en edificios; tales como el trabajo de reconversión sustentable del Arquitecto Gerardo Velásquez Flores, implementada en el Edificio llamado M16 en el cual plantea y analiza varias estrategias de la reconversión. También se tomarán en cuenta varios apartados bibliográficos referentes a diseños arquitectónicos bioclimáticos que a lo largo de la historia han servido como marco de referencia de muchas investigaciones y formas construidas. Para abordar el tema principal de esta investigación que es el análisis de costo de ciclo de vida (ACCV), se tomarán como referencia los estudios de algunos autores acerca de este tema.

Sustentabilidad y Reconversión de edificios

En el marco del desarrollo sostenible el vocablo para referirse a una edificación que cumpla con los aspectos económicos, sociales y ambientales es sostenibilidad. Cabe señalar que hasta el momento hay una discusión entre este vocablo y el vocablo sustentabilidad, por la ambigüedad que hay entre ambos, aunque algunos autores han llegado a la conclusión que el significado de ambos es el mismo y que es más bien una confusión en su transliteración.

A continuación, veamos la relación entre dos conceptos esenciales en este estudio de tal forma que nos muestre la conveniencia de implementar una intervención en viviendas edificadas sin tecnologías sustentables. Velásquez plantea que:

Hoy en día, mucha gente tiene clara la necesidad e importancia de la sustentabilidad en la construcción de nuestras ciudades. Este término se entiende como el menor impacto al medio ambiente y al planeta y, en el mejor de los casos, la resiliencia del hábitat impactado; todo a través de la reducción del uso de energía y agua, del uso de fuentes renovables de energía, del respeto a los ecosistemas y la mejora en la calidad de vida del hombre, entre otras acciones (Velázquez, 2017, p. 10)

Según Velásquez hay tres razones claves por las cuales no se han llevado a cabo tales acciones.

La primera es el tema económico; un desarrollador que construye una edificación para rentar o una vivienda para vender difícilmente querrá invertir en un producto que él no usará, y simplemente trasladará, limitándose al beneficio del ahorro que esto le traerá su bolsillo, la falta

de información o ignorancia de mucha gente involucrada en el medio de la construcción limita el desarrollo sustentable y la arquitectura bioclimática. Y, por último, la falta de normas de cumplimiento obligatorio en materia de sustentabilidad (Velásquez, 2017: 11).

La responsabilidad conjunta de varios sectores en la prefiguración y materialización de la vivienda en Ciudad Juárez debería reflejar una mayor conciencia sobre el tema de la sustentabilidad y su implementación en dichas viviendas desde el inicio hasta el final de la consolidación de esta. Como lo plantea Velásquez, el tema económico, el desconocimiento y la falta de normas en México sigue siendo uno de los factores que impide el avance del desarrollo sustentable en las edificaciones.

Para que en México los desarrolladores de vivienda comenzaran a utilizar tecnologías ecológicas, tuvo que llegar la hipoteca verde con incentivos económicos (aun relativamente bajos), de otra forma, este cambio difícilmente hubiera sucedido. En cambio, en algunos países de Medio Oriente las acciones de normatividad son mucho más estrictas y tienen grandes ventajas para el usuario y para el gobierno. Por ejemplo, en Dubái existe una prohibición en el uso del vidrio sencillo y por lo menos hay que emplear vidrios dobles, los cuales evitan la fuga de energía a través de la envolvente, normatividad adecuada al sitio específico con grandes ahorros energéticos y económicos. (Velásquez, 2017, p. 10).

Es por ello que, aunque México aún no establezca una normativa oficial para llevar a cabo este tipo de acciones y los maneje aun como incentivos, es deber del profesionista proponer y llevar a cabo estas modificaciones en la edificación para un mayor ahorro energético.

Retrofit es el término en inglés para llamar al proceso de modificación de algo después de haber sido manufacturado. Para los edificios significa hacer cambios en los sistemas, estructura y envolvente después de su

construcción inicial y ocupación. Usualmente se hace para mejorar las condiciones y el desempeño del edificio, lo que resulta en la reducción de uso de energía y agua. En español este término se ha denominado reconversión. A diferencia de la remodelación, la reconversión va más allá de la adecuación del espacio y la estética (Velásquez, 2017, p.18).

En efecto, la reconversión se implementa para mejorar las condiciones del desempeño del edificio, así como para la reducción del uso de energía y agua. Estas acciones, sumadas a la revisión del costo-beneficio de las diferentes estrategias que se utilizan para lograr avances en cuanto a desarrollo sustentable, son la base para el desarrollo de esta investigación.

La clave para la reconversión de edificios consiste en detectar los problemas que este pueda tener para arreglarlos a través de la envolvente en sí misma, así como de tecnologías y materiales apropiados (Velásquez, 2017, p. 19).

Otro punto de vista acerca de la importancia de la edificación sostenible comenta Hernández (2013):

Para avanzar hacia la edificación sostenible, se requiere de propuestas integrales que consideren aspectos sociales, económicos y ambientales, y el equilibrio en la aplicación de indicadores que definan su aplicación desde la perspectiva de las necesidades de la región. Un factor por evitar es seguir direcciones o planteamientos que respondan únicamente a determinantes del nivel nacional incluso internacional, debido a que las necesidades y realidades en cuanto a diseño, construcción y

mantenimiento de los edificios es diferente de un país desarrollado a uno con menos desarrollo (p. 33).

Por tanto, la reconversión es una opción eficaz para contribuir al desarrollo sustentable de una comunidad determinada en cuanto se adapte a las necesidades económicas, ambientales y la demanda de una mejor calidad de vida.

Análisis del costo de ciclo de vida

Para lograr los objetivos planteados en este estudio se requiere de una herramienta orientadora de análisis sobre los costos de diversos proyectos que mida la parte económica de inversión y de costos.

El Análisis del Costo de Ciclo de Vida (ACCV), es un método de evaluación económica de proyectos en los cuales se invierte en mayores costos iniciales para lograr menores costos futuros.

El análisis de CCV es particularmente útil para la evaluación de proyectos alternativos que satisfacen un determinado nivel de desempeño del edificio (confort interior, seguridad, respeto de los códigos, confiabilidad, estética, etc.) pero que poseen distintos costos de inversión inicial, de operación, de mantenimiento, reparación, y distinta vida útil (Arena, A. 2003, p. 20).

Arena (2003) plantea que: la alternativa de no hacer nada (contra la opción de hacer cualquier intervención en el proyecto) actividad conocida como actividad cero, puede resultar la más conveniente.

La incertidumbre de los resultados a largo plazo en la implementación de estrategias es una de las primeras disyuntivas con que se encuentra el usuario, sin embargo, nos dice el autor que hay que tomar en cuenta que las decisiones se toman para el futuro.

El ACCV debe incluir la visualización de cuál alternativa es la mejor para empezar. Por ejemplo, aislación térmica en techo, aislación térmica en muros, ventanas doble vidrio y otras estrategias pasivas como plantar un árbol en su vivienda. Todas estas alternativas deberán plantearse y analizarse antes de comenzar la reconversión de la vivienda. En el desarrollo del ACCV, el autor aborda conceptos como optimización económica, evaluación para la toma de decisiones, ahorros netos, relación de ahorro, inversión, tasa interna de retorno ajustada, periodo de retorno descontado, así como el nivel de eficiencia de sistemas alternos de edificios que poseen el menor costo de ciclo de vida.

Así mismo, se toman en cuenta la evaluación de niveles de eficiencia, método ahorro-inversión, criterios para asignar prioridades, costo de oportunidad, evaluación social, efectos indirectos como menor emisión de CO₂, puntos de vista del ahorro energético, hasta llegar a la valoración de estos proyectos para determinar si son justificables económicamente según el costo de vida útil; esta última es una de las finalidades de este estudio, pues según Arena:

Cuando los proyectos de conservación de energía aumentan los costos iniciales de inversión, el costo de ciclo de vida puede determinar si estos proyectos son justificables económicamente desde el punto del inversor, basados en el menor consumo de energía y otras implicaciones económicas durante la vida útil del proyecto. (Arena, A. 2003, p. 22).

Lo descrito por Arena es tomado del manual *Life-cycle costing manual of the US Department of Commerce, Handbook 135*, que es una guía para entender la

metodología del costo de ciclo de vida y criterios establecidos por el programa federal de gestión de energía para la evaluación económica de proyectos de conservación de energía y agua y proyectos de energía renovable en un edificio federal. En este manual se describe exactamente lo dicho por Arena acerca del ACCV, por ejemplo:

El ACCV es un método económico de evaluación de proyectos en el que todos los costos derivados de la propiedad, el mantenimiento operativo y, en última instancia, la eliminación de un proyecto se considera potencialmente importantes para esa decisión (Fuller S. and Petersen S, 1995, p. 1)

Otros de los conceptos retomados por Arena de este manual son:

El ACCV es particularmente adecuado para la evaluación de alternativas de diseño de edificios que satisfacen un nivel requerido o rendimiento del edificio, incluyendo el confort del ocupante, la seguridad, el cumplimiento de los códigos de construcción y los estándares de ingeniería, la confiabilidad del sistema e incluso la consideración estética; pero eso puede tener diferentes costos iniciales de inversión, diferentes costos de operación, mantenimiento y reparación (incluido el uso de energía y agua), y posiblemente vidas diferentes. Sin embargo, el ACCV puede aplicarse a cualquier decisión de inversión de capital en la que los costos iniciales más altos se cambien por obligaciones de costos futuros reducidos. El ACCV ofrece una evaluación significativamente mejor de la rentabilidad a largo plazo de un proyecto, a diferencia de los métodos

económicos alternativos que se centran sólo en los primeros costos o en los costos operativos a corto plazo (Fuller S. and Petersen S., 1995, p.137).

En definitiva, este análisis puede ofrecer una importante suma de información que puede apoyar la toma de decisiones en una futura construcción desde varios parámetros

Termodinámica.

El estudio sobre la energía, así como su desplazamiento o transformación, es necesario para la integración de datos e información sobre los casos en los que se busque implementar estrategias reconstructivas.

La energía se puede considerar como la capacidad para causar cambios. El término termodinámica proviene de las palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), lo cual corresponde a lo más descriptivo de los primeros esfuerzos por convertir el calor en energía. En la actualidad, el concepto se interpreta de manera amplia para incluir los aspectos de energía y sus transformaciones, incluida la generación de potencia, la refrigeración y las relaciones entre las propiedades de la materia” (Boles, 2012)

Basados en la anterior definición de termodinámica que comprende, entre otras cosas, el estudio de la interacción entre el calor y otras manifestaciones de la energía, y considerando que el objeto arquitectónico entra en esta dinámica de transferencia de calor entre el medio ambiente y el interior de la edificación a través

de las características y comportamiento térmico de los materiales que lo integran, y que esta transferencia de calor es inherente a las propiedades físicas y químicas, espesor, densidad, textura, color, entre otras de estos mismos, estudiaremos algunos conceptos básicos de la termodinámica para justificar las estrategias propuestas para lograr una economía de la energía reduciendo las pérdidas o ganancias de calor.

La ley cero de la termodinámica establece que, si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí (Fig. 4). Podría parecer tonto que un hecho tan obvio se conozca como una de las leyes básicas de la termodinámica, sin embargo, no es posible excluir esta ley de las otras leyes de la termodinámica, además de que sirve como base para la validez de la medición de la temperatura (Boles, 2012).

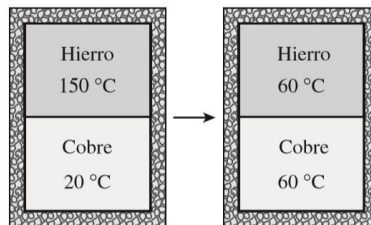


Figura 1 Ejemplo de equilibrio térmico

La primera ley de la termodinámica es simplemente una expresión del principio de conservación de la energía, y sostiene que la energía es una propiedad termodinámica. La segunda ley de la termodinámica afirma que la energía tiene calidad, así como cantidad, y los procesos reales ocurren hacia donde disminuye la calidad de la energía.

Por ejemplo, una taza de café caliente sobre una mesa, en algún momento se enfría, pero una taza de café frío en el mismo espacio nunca se calienta por sí misma (Fig. 2). La energía de alta temperatura del café se degrada (se transforma en una forma menos útil a otra con menor temperatura) una vez que se transfiere hacia el aire circundante (Boles, 2012).

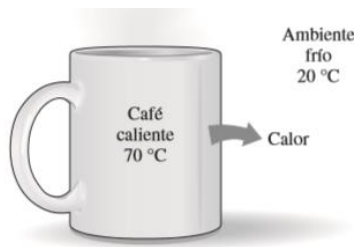


Figura 2 Ejemplo de transferencia de calor.

Lo anteriormente analizado en las leyes de la termodinámica en fenómenos físicos que diariamente podemos presenciar, se refleja también en los objetos arquitectónicos de la siguiente manera: se produce una pérdida de calor en la edificación cuando la temperatura del interior es mayor que la temperatura del exterior, esta se potencializa a través de la ventilación e infiltración de rendijas, ventanas, puertas y de los elementos constructivos paredes, techos, suelos o acristalamientos. (Fig. 3)

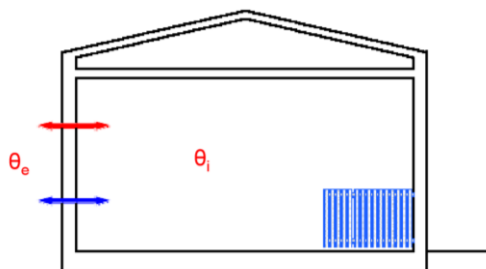


Figura 3 Representación gráfica del flujo de calor en una edificación.

El problema que hay que resolver en invierno en las viviendas de interés social es la pérdida de calor pues el exterior es más frío y los materiales no son aislantes, por ende, propician la rápida pérdida de calor y con esto una demanda mayor de calentar el interior en tiempo de frío. (Fig. 4)

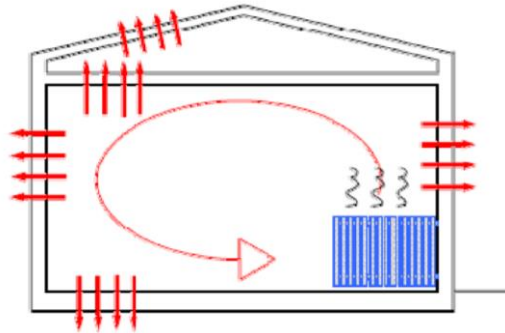


Figura 4 Pérdida de calor en las edificaciones.

El problema por resolver durante el verano en las viviendas de interés social es asegurar una temperatura menor en el interior (Fig. 5), para lograr este objetivo se pretende proponer estrategias pasivas que incidan favorablemente en el ahorro de energía eléctrica, dicho de otra manera, que estas estrategias aminoren el uso de medios mecánicos utilizados para lograr esta temperatura.

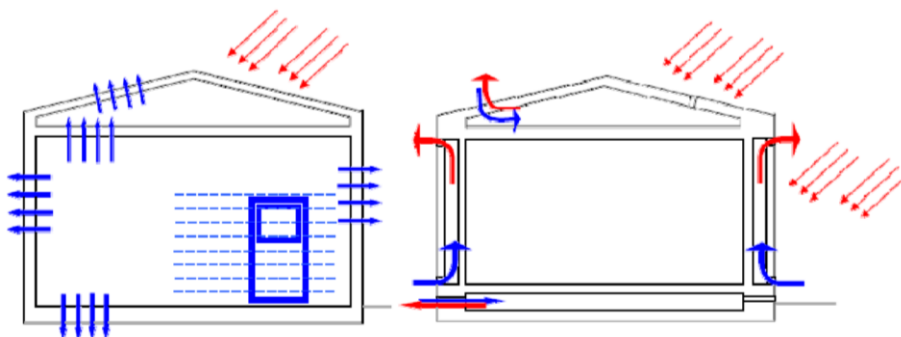


Figura 5 Ganancia o pérdida de calor en una edificación.

Transferencia de la energía

Se perciba o no, la energía es parte importante en la mayoría de los aspectos cotidianos; por ejemplo, la calidad de vida y su sostenibilidad dependen de su disponibilidad. De ahí que sea importante tener una buena comprensión de las fuentes energéticas, la conversión de la energía de una forma a otra y las ramificaciones de estas conversiones.

Algunas de las numerosas formas de la energía son: térmica, mecánica, eléctrica, química y nuclear, incluso la masa puede ser considerada una forma de energía. Ésta se puede transferir hacia o desde un sistema cerrado (una masa fija) en dos formas distintas: calor y trabajo. Para volúmenes de control, la energía se puede transferir por flujo de masa, una diferencia de temperatura. De lo contrario es trabajo, y lo origina una fuerza que actúa a través de una distancia” (Boles, 2012).

En lo que concierne a este trabajo de investigación se referirá a la transferencia de energía en forma de calor; a continuación, se describirán los conceptos indispensables para comprender este fenómeno físico.

El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o entre un sistema y el exterior) debido a una diferencia de temperatura (Fig. 6). Es decir, una interacción de energía será calor sólo si ocurre debido a una diferencia de temperatura. Entonces se deduce que no puede haber ninguna transferencia de calor entre dos sistemas que se hallan a la misma temperatura (Boles, 2012).

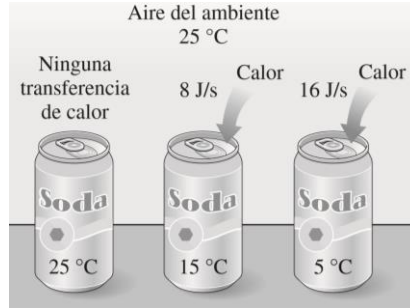


Figura 6 Tasa de transferencia de calor.

El calor es energía en transición y se reconoce sólo cuando cruza la frontera de un sistema. En termodinámica el término calor significa simplemente transferencia de calor (Fig. 7).

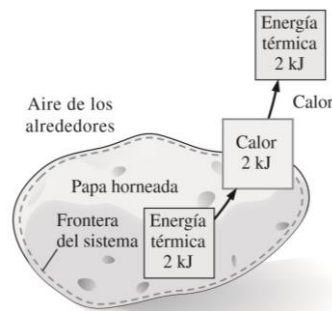


Figura 7 Energía como transferencia de calor.

Un proceso durante el cual no hay transferencia de calor se denomina proceso adiabático (Fig. 8). El término adiabático proviene de la palabra griega *adiabatos*, que significa “no pasar”.

Hay dos maneras en que un proceso puede ser adiabático: el sistema está bien aislado de modo que sólo una cantidad insignificante de calor cruza la frontera, o bien, tanto el sistema como el exterior están a la

misma temperatura y por lo tanto no hay fuerza impulsora (diferencia de temperatura) para la transferencia de calor. Hay que distinguir entre un proceso adiabático y uno isotérmico: aunque no hay transferencia de calor durante un proceso adiabático, otros medios como el trabajo pueden cambiar el contenido de energía y, en consecuencia, la temperatura de un sistema”. (Boles, 2012).

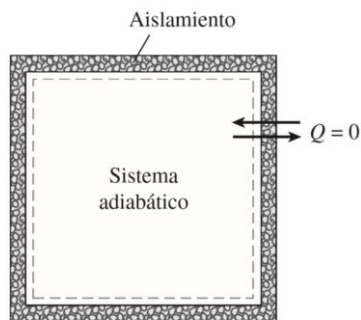


Figura 8 Proceso adiabático, sin transferencia de calor.

Como explica Boles (2012) “La tasa de transferencia de calor se expresa con Q ., donde el punto significa la derivada con respecto al tiempo, o “por unidad de tiempo”. La tasa de transferencia de calor Q . tiene las unidades kJ/s, equivalente a kW”. (Boles, 2012).

El calor se transfiere mediante tres mecanismos: conducción, convección y radiación. La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas, como resultado de la interacción entre partículas.

La convección es la transferencia de energía entre una superficie sólida y el fluido adyacente que se encuentra en movimiento, y tiene que ver

con los efectos combinados de la conducción y el movimiento del fluido.

La radiación es la transferencia de energía debida a la emisión de ondas electromagnéticas (o fotones) (Boles, 2012).

El mecanismo de transferencia de calor por conducción puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases; en la conducción interviene de manera importante la capacidad propia del material para conducir el calor llamada conductividad térmica del material.

Materiales como el cobre y la plata, que son buenos conductores eléctricos, también lo son del calor y por lo tanto tienen valores altos de k . El hule, la madera y el poliestireno son malos conductores del calor y, por consiguiente, tienen valores bajos de k (Boles, 2012)

En el mecanismo de transferencia de calor por radiación intervienen dos variables inherentes a las características del material, la emisividad y la absorptancia, que se pueden explicar de la siguiente manera:

La radiación que emiten todas las superficies reales es menor que la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como ϵ , que es la emisividad de la superficie. Esta propiedad, cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \epsilon \leq 1$ (Fig.9). Otra propiedad de radiación importante de una superficie es su absorptancia, a , que es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie absorbida por ésta, y al igual que la emisividad, su valor está en el intervalo $0 \leq a \leq 1$. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación que incide sobre él. Esto es, un cuerpo negro es tanto un absorbedor perfecto ($a = 1$) como un emisor perfecto (Boles, 2012).

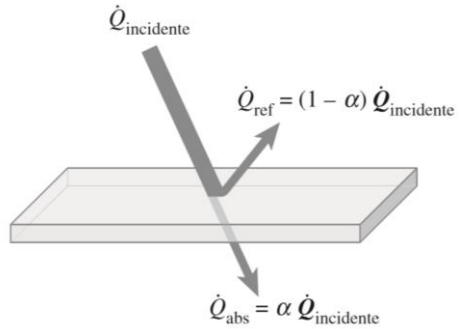


Figura 9 Absorción en una superficie opaca.

Por lo anterior podemos deducir en palabras más sencillas que es necesario tener un buen criterio al momento de elegir las características de los materiales como es el color, según el fin que queramos obtener ya sea si es ganancia o pérdida de calor, pues como se expuso en el anterior párrafo, una superficie de color negro emite y absorbe mayor radiación que otras de diferente color.

Confort humano

Cabe señalar que dichas formas de transferencia de calor ocurren también en las personas que habitan la vivienda, además de los aparatos electrodomésticos, sistemas de mecánicos de acondicionamiento y otros que generan energía térmica (Fig. 10).

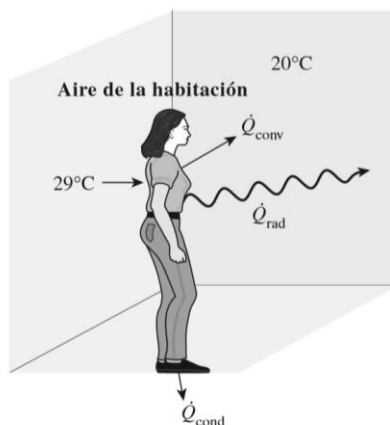


Figura 10 Transferencia de calor de una persona.

Sin embargo, para el trabajo de campo de esta investigación, estos parámetros de transferencia de calor se tomarán sólo como un dato relativo establecido por el programa de simulación, pues no es el fin de esta investigación adentrarse en una discusión de cómo lograr la temperatura ideal o confort humano pues este término depende no solo de propiedades físicas sino de otras variantes que aún están en debate y estudio.

El confort humano es un estado de equilibrio resultante del balance de las cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato, debido al proceso químico del metabolismo y el proceso fisiológico de termorregulación en respuesta a los elementos externos del clima: radiación, temperatura, humedad y movimiento del aire, como elementos principales (Gómez G., Bojórquez G., Pavel R., 2007).

Para poder establecer un parámetro de medición de la adecuada temperatura interior en una vivienda que se encuentra en un clima cálido seco, se tomará como término el confort humano en el cual intervienen múltiples factores que lo determinan. Partiendo del concepto de confort térmico

Estado de equilibrio resultante del balance de las cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato, debido al proceso químico del metabolismo y el proceso fisiológico de termorregulación en respuesta a los elementos externos del clima: radiación, temperatura, humedad y movimiento del aire, como elementos principales (Critchfield, 1974).

Por lo anterior podemos decir que para lograr la temperatura de confort se deben tomar en cuenta las necesidades del individuo como las condiciones del medio ambiente y poner atención en las tareas de adaptación que se deben de llevar a cabo para hacer frente al clima circundante y poder llegar a esta temperatura ideal para lograr el bienestar del ser humano.

Para esto, se tomará en cuenta la fórmula de confort determinada por Brager y Dear (1998) quienes presentan una extensa literatura sobre la adaptación térmica en el entorno construido, elaborando los diferentes mecanismos de adaptación, vinculando las teorías de confort estático versus adaptativo a través de un concepto modelo con bucles de retroalimentación interactivos y presentando una amplia gama de pruebas climáticas y de cámara climática para los diferentes modos de adaptación, dando como resultado la siguiente fórmula para obtener una temperatura neutral donde el ser humano se sienta cómodo.

$$T_n = 17.8 + (0.31 \times T_m)$$

T_n = Temperatura neutra

T_m = Temperatura media del lugar

Entonces:

$$T_n = 17.8 + (0.31 \times T_m)$$

$$T_n = 17.8 + (0.31 \times 20.5^\circ\text{C})$$

$$T_n = 24.16^\circ\text{C}$$

La temperatura neutra para Ciudad Juárez será entonces de 24.16°C , a partir de esta temperatura se estima un rango de $\pm 2^\circ\text{C}$ para determinar la zona de confort térmico humano, según Szokolay (2008). Dando como resultado que la temperatura mínima de confort es considerada de 22.16°C y la máxima de confort será 26.16°C .

El software *Desing Builder*

La simulación actualmente es una técnica considerada para la evaluación de la eficiencia energética para propuestas arquitectónicas, ya que puede estimar flujos de energía de la envolvente de forma dinámica, también condiciones del ambiente térmico interior, pues considera características y propiedades de los materiales de construcción y condiciones meteorológicas propias del lugar en el que se plantea la edificación.

El software, que es un simulador térmico, simula la edificación y sus componentes las 8760 horas del año. Proporciona información del desempeño ambiental como consumo de energía, emisiones de carbono, condiciones de confort, temperaturas máximas y mínimas de los espacios y estimación de tamaño de equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado. *Desing Builder* estima también otras variables como el consumo de energía por climatización del edificio, evaluación de opciones fachadas de sobrecalentamiento, ventilación natural, control de iluminación natural y ahorro en el consumo de energía eléctrica para iluminación y protección de radiación solar directa.

El estudio comparativo se realizó a partir del modelo base de la vivienda de interés social que se eligió como caso de estudio. Se realizó la simulación térmica de cada una de las estrategias propuestas sobre el modelo base y se compararon entre sí: 1) Consumo energético por climatización para cada periodo y 2) Costo de consumo energético por periodo.

3. Condiciones del medio.

3.1 Geografía y clima.

Ciudad Juárez se encuentra localizada en el extremo norte del estado de Chihuahua, con coordenadas geográficas 31°44'11" latitud norte y 106° 29'11" longitud oeste, con una altitud de 1135 metros sobre el nivel del mar, datos que corresponden a la estación meteorológica 00008213 Juárez (DGE) (Ver fig. 1). Su

extensión territorial es de 32,119.57 ha. (IMIP, 2016). Es frontera política y frontera natural entre México y Estados Unidos por el río Bravo hacia el norte, al sur colinda con el municipio de Ahumada; al este con Guadalupe Distrito Bravos; y al oeste con Ascensión. Su territorio es mayormente plano, con varias estribaciones de serranías y comprende dentro de su jurisdicción los médanos de Samalayuca, siendo cultivable sólo la región conocida como Valle de Juárez (IMIP, 2016).

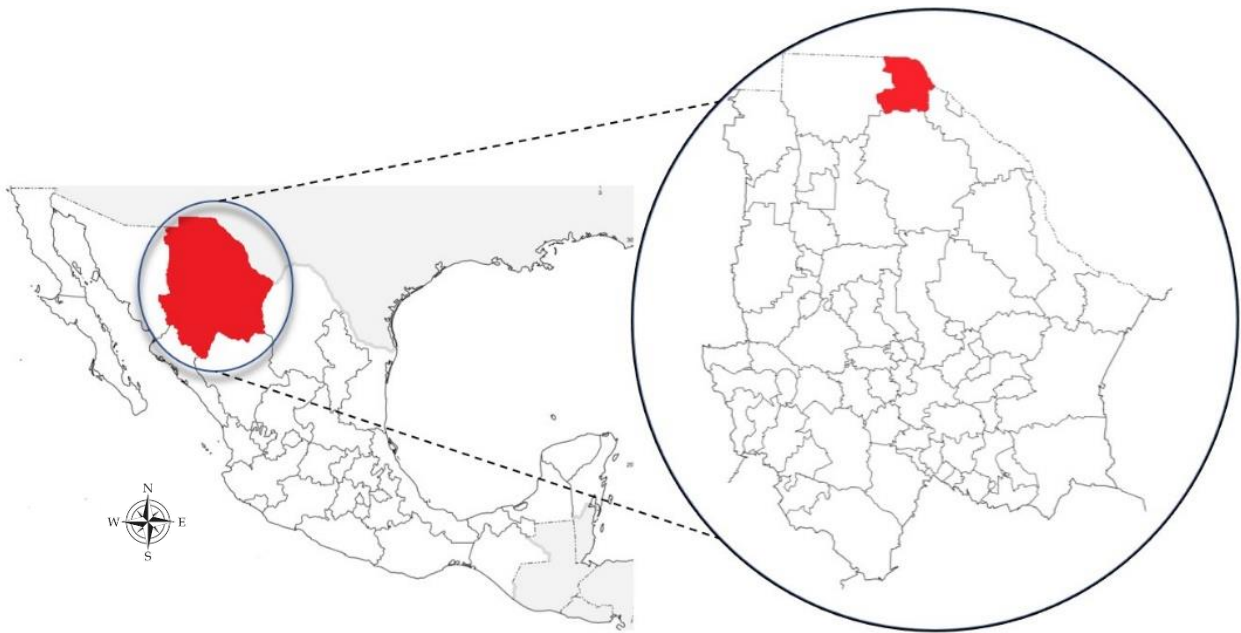


Figura 11 Ubicación geográfica de Ciudad Juárez en el estado de Chihuahua. Elaboración Propia.

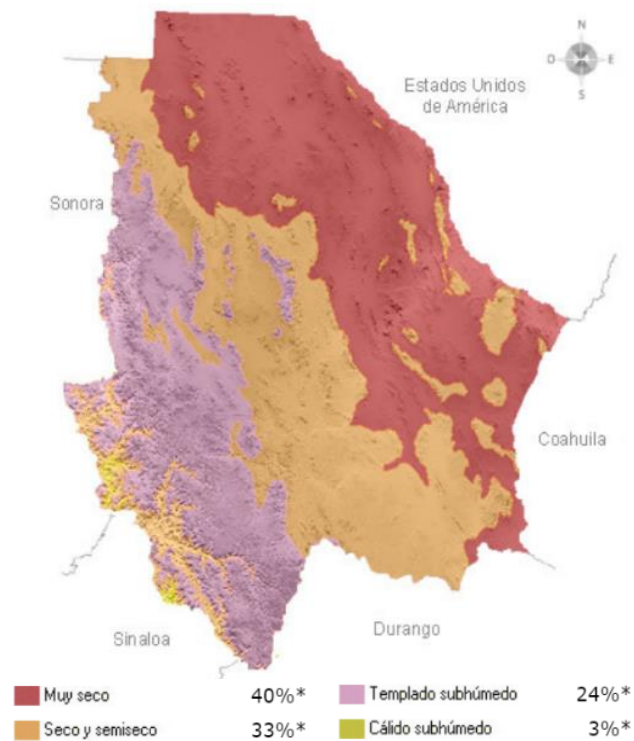


Figura 12 Mapa de estado de Chihuahua, regiones climáticas. INEGI, 2020.

Según datos de INEGI Ciudad Juárez se ubica en la región de clima más seco del estado de Chihuahua.

La clasificación de climas según Koppen, identifica a la zona de tipo Bw kx' (e'), que lo define así por su grado de humedad.

Bw= Clima muy seco o desértico.

k= Templado, con verano cálido, temperatura media anual entre 12°y 18°C; la del mes más frío entre -3 y 18 °C y la del mes más caliente es mayor a 18°C.

x' = Régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno.

e' = Muy extremoso, oscilación de temperatura mayor de 14°C.

3.2 Análisis climático.

El análisis climático se realizó a través de la herramienta *Climate Consult 6.0* con base de datos EPW para el clima de Ciudad Juárez, la cual es una herramienta eficaz para obtener características térmicas, higrotérmicas, así como estrategias bioclimáticas para las edificaciones y en el cual se basará esta investigación para determinar los diferentes escenarios posibles a partir de estos datos del clima.

Según el análisis climatológico anual que nos arroja el sistema *Climate Consult 6.0* con base de datos EPW para ciudad Juárez, la temperatura promedio anual es de 21.07 °C, la mínima promedio de 15.71 °C y la máxima promedio es de 26.78 °C, con temperaturas mínimas promedio anual de -3.2 °C y máxima extrema de 41.7°C.

MES	Temperatura Minima promedio.	Maxima promedio.	Minima extrema.	Máxima extrema.	
ENE	10.59	5.63	16.54	-3.2	22.8
FEB	12.66	7.34	18.87	0.1	26.1
MAR	17.43	11.96	23.34	3.1	30.1
ABR	21.89	15.86	28.07	8.4	33.9
MAY	27.65	21.70	33.39	14.9	39.6
JUN	30.71	25.03	36.06	20.3	40.7
JUL	30.89	25.71	35.86	20.4	41.7
AGO	29.45	24.36	34.54	19.2	39
SEP	26.23	20.95	31.75	14.4	36.2
OCT	21.15	15.84	27.03	8.3	32
NOV	14.47	9.48	20.33	1.1	28.5
DIC	9.68	4.62	15.62	-3.00	22.9
ANUAL	21.07	15.71	26.78	8.67	32.79

Tabla 1 Temperaturas anuales. Elaboración propia con datos del programa *Climate consultant*.

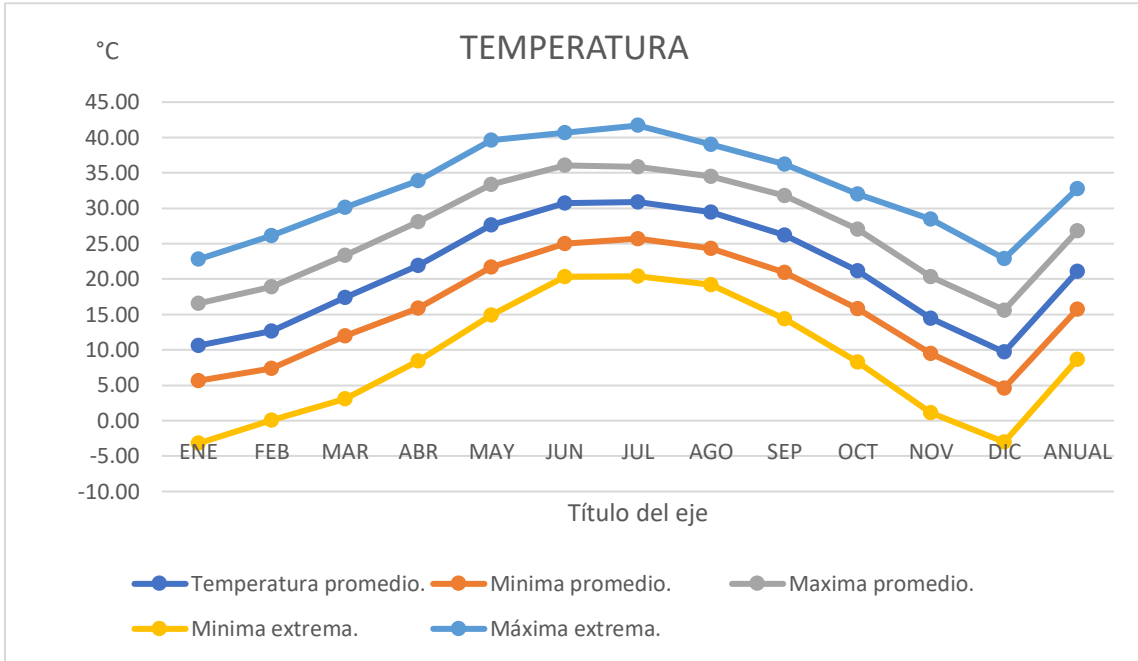


Figura 13 Temperatura anual de Ciudad Juárez. Elaboración propia con datos del programa climate consultant.

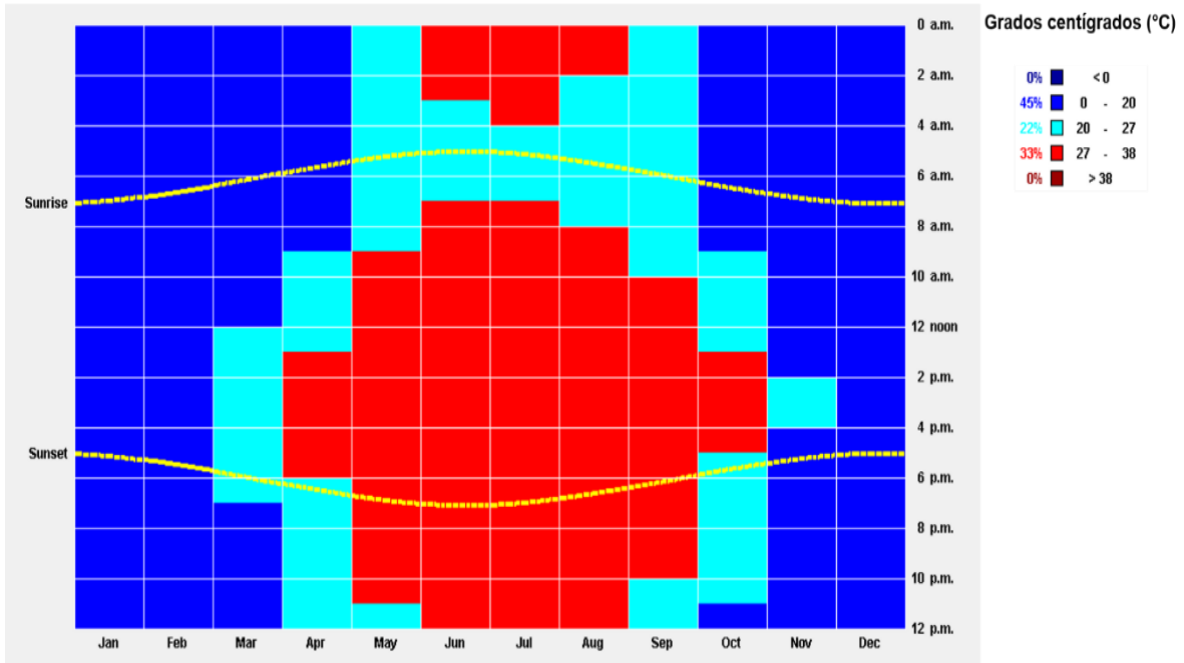


Figura 14 Tabla de temperatura promedio. Fuente: Climate consultant.

El gráfico Isotermas expresa de forma gráfica la temperatura promedio para cada uno de los meses del año durante las 24 horas del día. El comportamiento del clima, como podemos ver, varía a lo largo del año, acentuando los meses más calurosos desde mayo hasta septiembre, con un pico de altas temperaturas desde el mediodía hasta la 6 de la tarde, aunque con temperaturas más bajas después de la medianoche (figura 15).

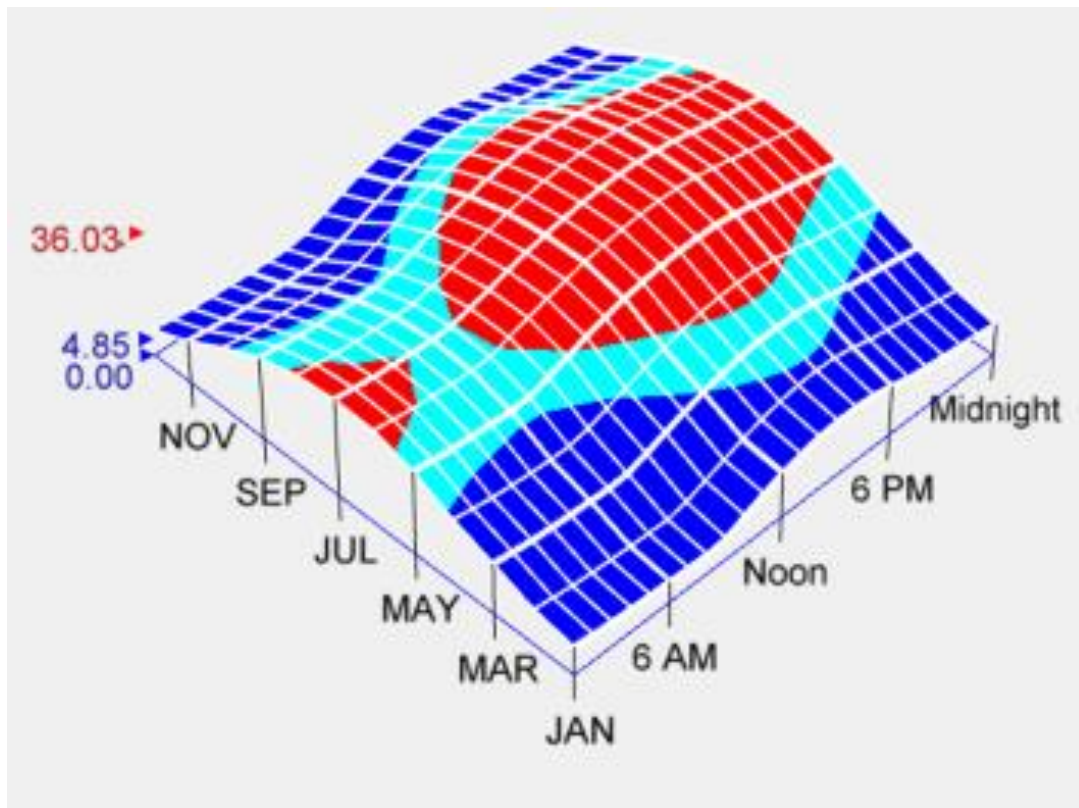


Figura 15 Modelo en 3D isotermas. Fuente: Climate consultant.

El promedio anual de precipitación para Ciudad Juárez es de 243.55 mm, esto es, según datos de 1957-2008, la precipitación máxima es de 619.55 y la mínima de 100.83 mm. El promedio anual de precipitación es de 154 mm, los meses más lluviosos son julio, agosto y septiembre (IMIP, 2016). Este dato se obtuvo del atlas de riesgo de Ciudad Juárez.

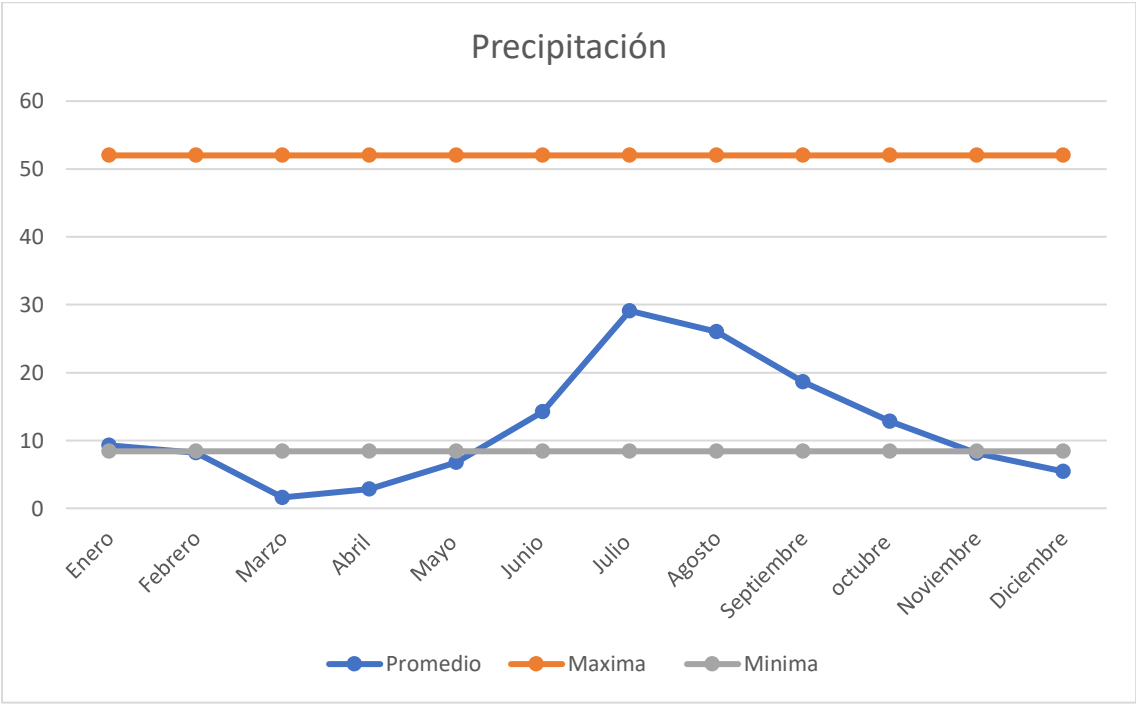


Figura 16 Precipitación pluvial. Elaboración propia con datos SMN.

La humedad relativa anual es de 40.44%, la mínima promedio es de 24.50% y la máxima promedio 59.14%.

MES	Promedio	Minima promedio.	Maxima promedio.
ENE	49.32	28.97	70.58
FEB	43.22	25.54	61.86
MZO	34.59	20.10	52.26
ABR	29.86	16.87	46.50
MAY	27.47	16.19	42.74
JUN	30.47	18.83	46.10
JUL	38.59	24.90	55.77
AGO	44.11	28.65	63.13
SEP	44.57	27.40	65.00
OCT	47.10	28.39	68.68
NOV	46.82	28.57	66.80
DIC	49.20	29.58	70.26
ANUAL	40.44	24.50	59.14

Tabla 2 Humedad relativa. Elaboración propia con datos Climate Consultan

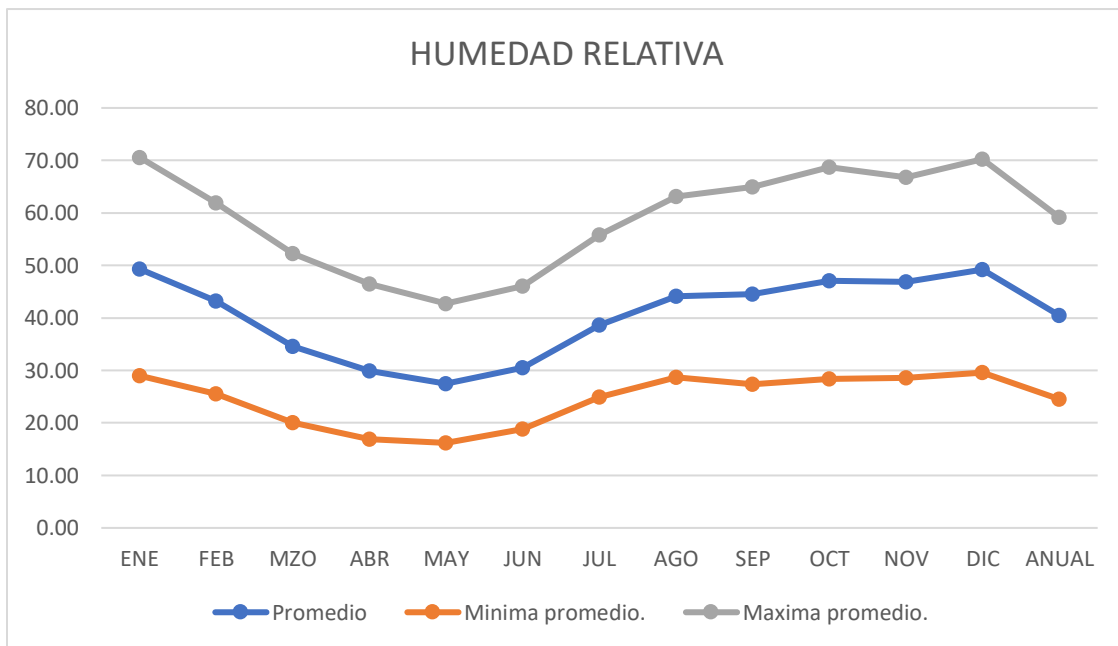


Figura 17 Humedad relativa. Elaboración propia con datos de Climate consultant.

MES	RADIACION	RADIACION
	DIRECTA KW/M2	DIFUSA KW/M2
ENE	498.92	109.77
FEB	528.76	120.40
MZO	612.28	115.32
ABR	635.04	129.06
MAY	583.53	143.45
JUN	623.70	132.57
JUL	474.95	171.83
AGO	477.81	169.55
SEP	604.83	128.35
OCT	494.38	134.04
NOV	605.43	88.28
DIC	537.96	87.99

Tabla 3 Radiación difusa. Elaboración propia con datos de Climate consultant.

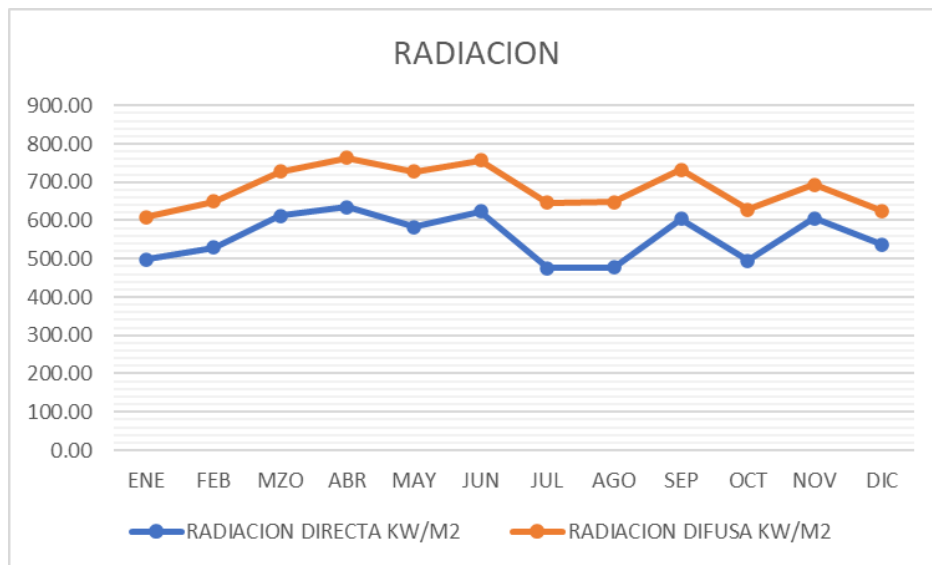


Figura 18 Radiación solar. Elaboración propia con datos de Climate consultant.

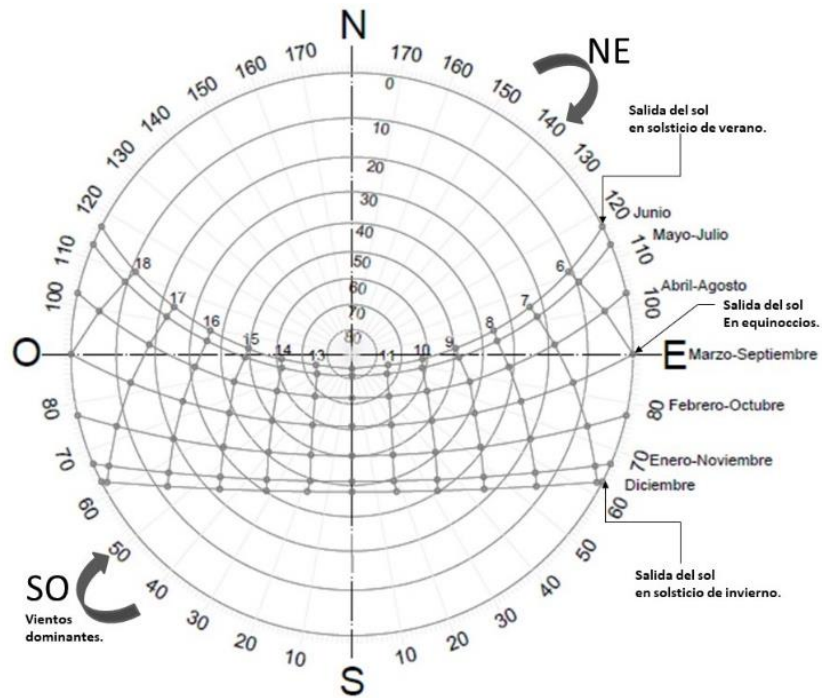


Figura 19 Gráfica solar para Ciudad Juárez. Elaboración propia.

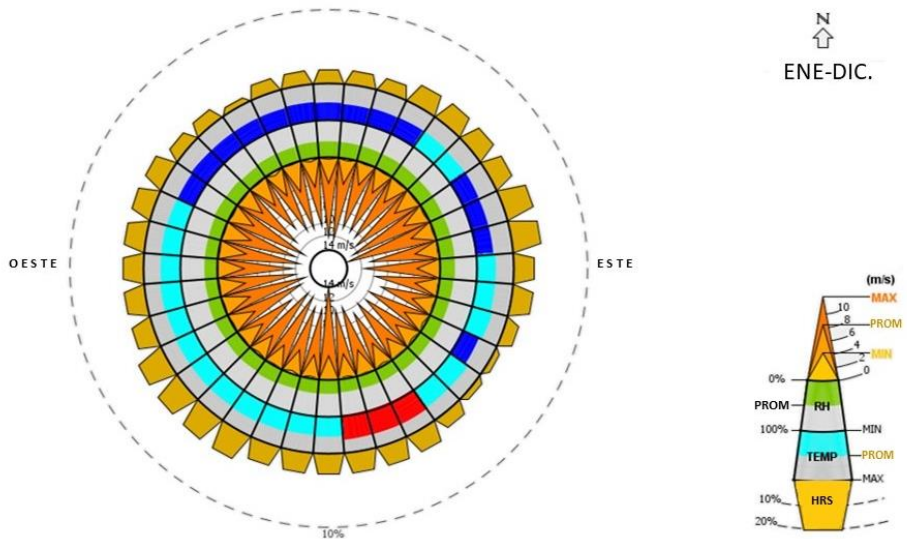


Figura 20 Diagrama de vientos. Fuente Climate consultant.

En la región se presentan vientos con diferentes grados de intensidad y de acuerdo a los datos históricos para Ciudad Juárez, se han observado dos patrones de flujo predominantes; el primero indica un flujo de vientos occidentales, incluyendo las direcciones noroeste, oeste y suroeste, el cual se manifiesta con claridad en los meses de junio a noviembre; el segundo patrón en importancia por su incidencia, son los vientos orientales, incluyendo las direcciones noreste, este y sureste, que tiene un claro predominio de julio a septiembre. Los vientos provenientes del norte y del sur son menos frecuentes y tienen un impacto poco significativo en la circulación local (IMIP, 2016).

ESTACION	CARACTERISTICAS	MES	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	TEMPERATURA	VIENTO	OBSERVACIONES
Invierno	Frío	Noviembre, diciembre, enero, febrero.	47.14%	Promedio 11.85° Max.prom.17.84° Min. Prom. 6.77°	SO	Nevadas. Heladas durante las primeras horas del día.
Transición	Templado	Marzo, abril y octubre.	37.18%	Promedio 20.16° Max.prom. 26.14° Min. Prom.14.55°	O	Vientos fuertes, noches frías.
Verano	Cálido-seco	Mayo, junio, julio, agosto y septiembre.	37.04%	Promedio 28.99° Max.prom.34.32° Min. Prom.23.55°	NE	Días cálido, noches frescas.

Tabla 4 Resumen de las características del clima de Ciudad Juárez. Elaboración propia.

Con el anterior análisis se concluye que en Ciudad Juárez se presentan tres temporadas climáticas en el transcurso del año: invierno, transición y verano. La duración del invierno es de 4 meses, desde noviembre hasta febrero y se caracteriza por tener temperaturas frías. El verano con un clima cálido seco permanece por 5 meses de mayo a septiembre. Y hay una transición entre el invierno y el verano que presenta en los meses de marzo, abril y octubre y se caracteriza por tener un clima templado.

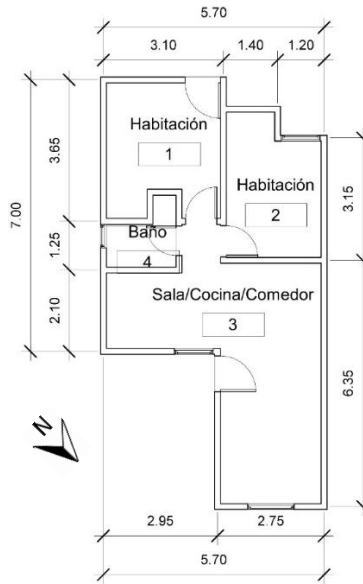


Figura 22 Planta arquitectónica. Caso de estudio. Elaboración propia.

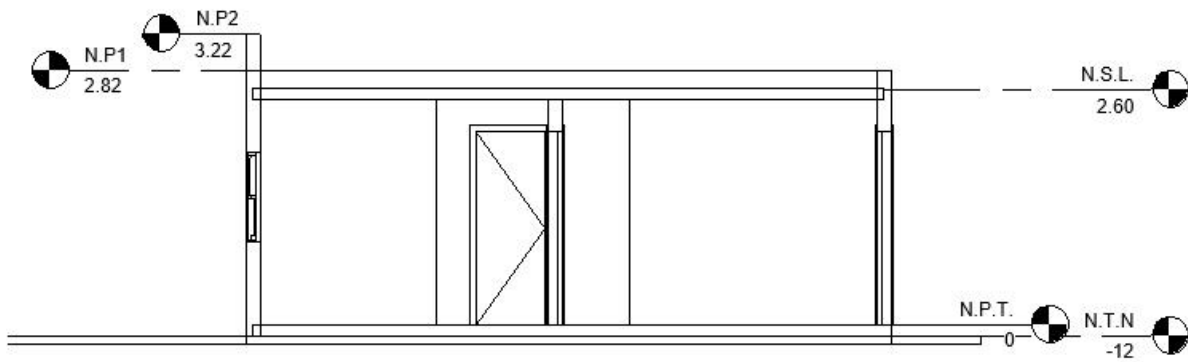


Figura 23 Corte longitudinal. Elaboración propia.

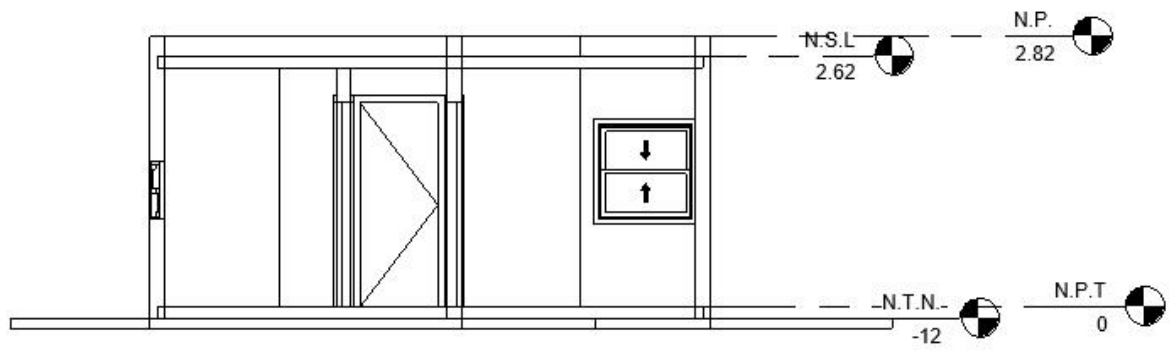


Figura 24 Corte transversal. Elaboración propia.

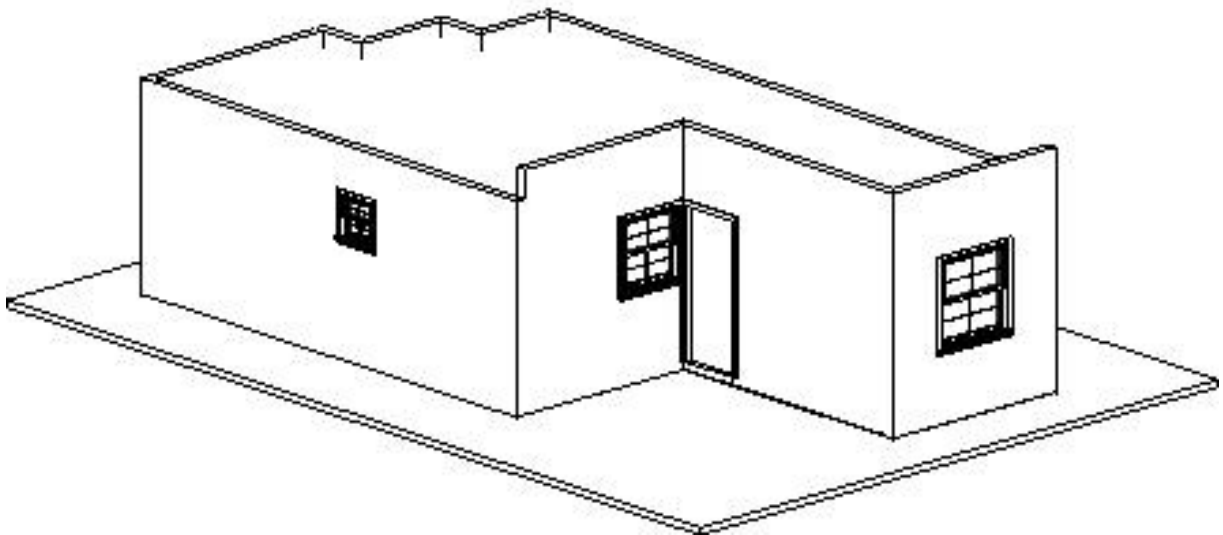


Figura 25 Diseño arquitectónico, vista general del proyecto. Elaboración propia.



Figura 26 Emplazamiento de la vivienda y su contexto inmediato.

El contexto inmediato en el que se ubica el modelo base de vivienda, como se dijo anteriormente forma parte de los desarrollos de viviendas que se construyeron al suroriente de ciudad Juárez y es parte del límite construido de la ciudad en esta dirección, como se puede observar en la imagen superior. Tanto hacia el norte como al este podemos observar que colinda con una zona llana desértica sin urbanizar, hacia el este colinda viviendas del mismo tipo e industrias maquiladoras, en cambio hacia el sur se alcanza a ver que el desierto se interrumpe solo por dos grandes edificaciones una de ellas es ciudad universitaria y otra el lumbral del milenio monumento característico que señala la entrada y salida a la ciudad por la carretera panamericana como se conoce localmente.

Las dos imágenes siguientes muestran la vivienda que se diseñó el programa *Desing Builder*, con las mismas dimensiones y características del caso de estudio.

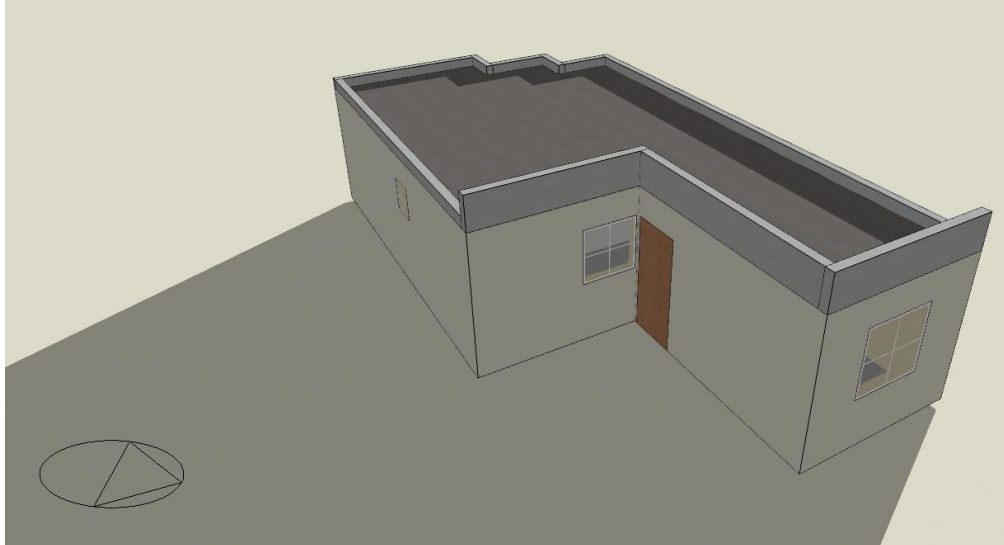


Figura 27 Visualización de Simulación Modelo Base fachada Nor-Oriente y Este 6:00 p.m. Elaboración propia mediante Desing Builder

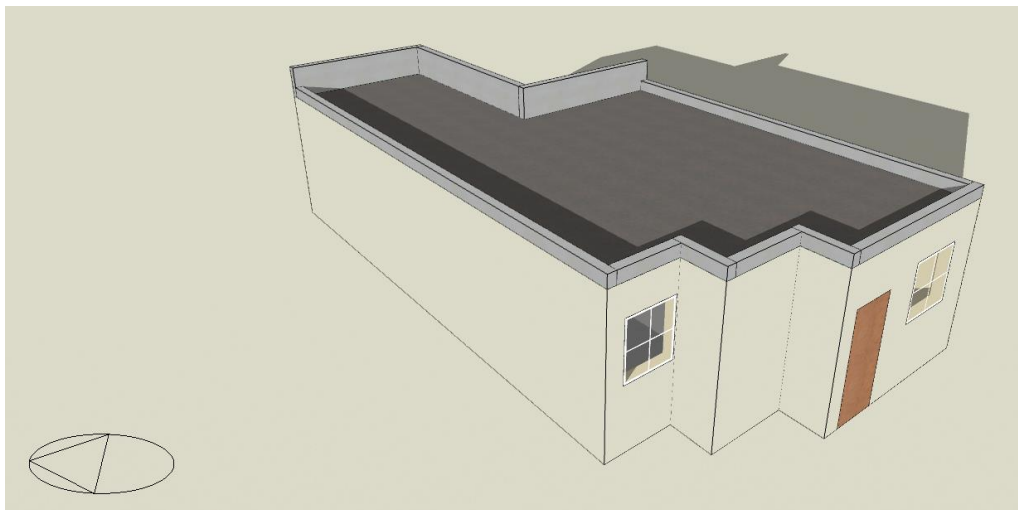


Figura 28 Visualización de Simulación Modelo Base fachada Sur-Poniente y Poniente 6:00 p.m. Elaboración propia mediante Desing Builder. (MB)



Figura 29 Visualización de Simulación de estrategia Aleros y partesoles (AP) fachada Sur-Poniente y Poniente 6:00 p.m.
Elaboración propia mediante Desing Builder

4.2 Selección de estrategias

Las estrategias se seleccionaron con base a la documentación disponible, el uso de programas computacionales especializados y la observación empírica de las experiencias locales. Para esto se recurrió a programas disponibles que facilitan un análisis de la envolvente y su relación con el entorno. El programa *Climate Consultant 6.0* contiene una extensa base de datos EPW del clima de Ciudad Juárez, este nos presenta 16 estrategias que se evalúan de acuerdo con su eficiencia para llegar a la zona de confort de los espacios interiores habitables, según carta psicométrica. (Ver figura 30)

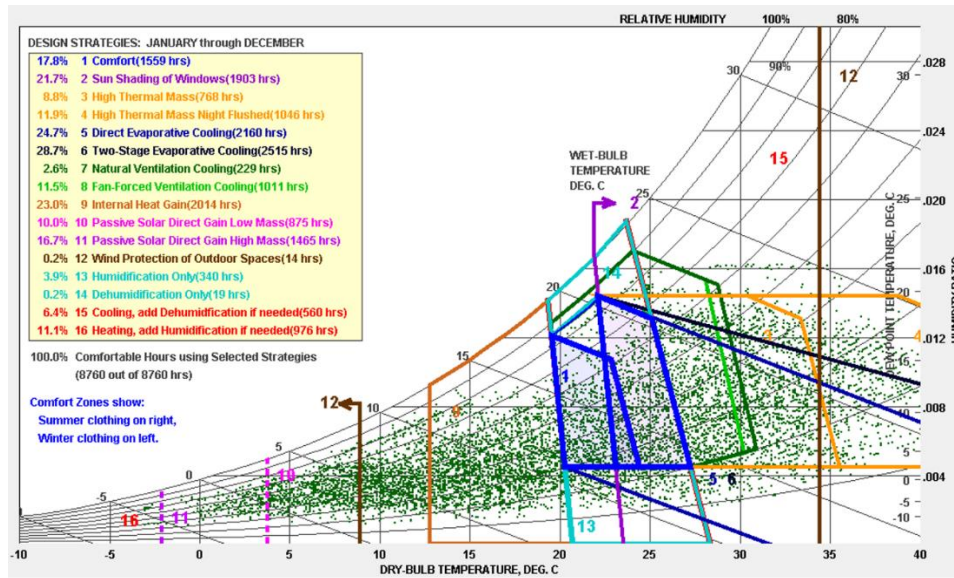


Figura 30 Carta psicométrica para Ciudad Juárez, calculada con el software Climate Consultant 6.0

Esta lista de pautas de diseño residencial se aplica específicamente a este clima particular, con criterios establecidos por el programa federal de administración de energía para la evaluación económica de proyectos de conservación de agua y energía y proyectos de energía renovable en un edificio federal. Lo cual nos arrojó las siguientes estrategias principales que se deben usar en un clima como el de Ciudad Juárez:

- En los días calurosos, los ventiladores de techo o el movimiento del aire interior pueden hacer que parezca más fresco en 5 grados F (2.8C) o más, por lo tanto, se necesita menos aire acondicionado.
- Las casas pasivas tradicionales en climas cálidos, ventosos y secos utilizan patios cerrados bien sombreados, con una pequeña fuente para proporcionar microclimas protegidos contra el viento.
- Los techos planos funcionan bien en climas cálidos y secos (especialmente si son de color claro).

- La protección de la tierra, los sótanos ocupados o los tubos de tierra reducen las cargas de calor en climas secos muy cálidos porque la tierra se mantiene cerca de la temperatura anual promedio.
- Los salientes de las ventanas (diseñados para esta latitud) o los parasoles operables (toldos que se extienden en verano) pueden reducir o eliminar el aire acondicionado.
- Doble acristalamiento de alto rendimiento (Low-E) en el oeste, norte y este, pero despeje en el sur para obtener la máxima ganancia solar pasiva
- Materiales de construcción de colores claros y techos fríos (con alta emisividad) para minimizar la ganancia de calor conducida.

Las estrategias con mayor relevancia para el clima de Ciudad Juárez, según el programa *Climate Consultant* (cálculo realizado por los 365 días del año y las 24 horas del día), son: en un 24.7% enfriamiento evaporativo directo, 21.7% protección solar en ventanas, así como ganancia de calor en un 23 % del periodo calculado.

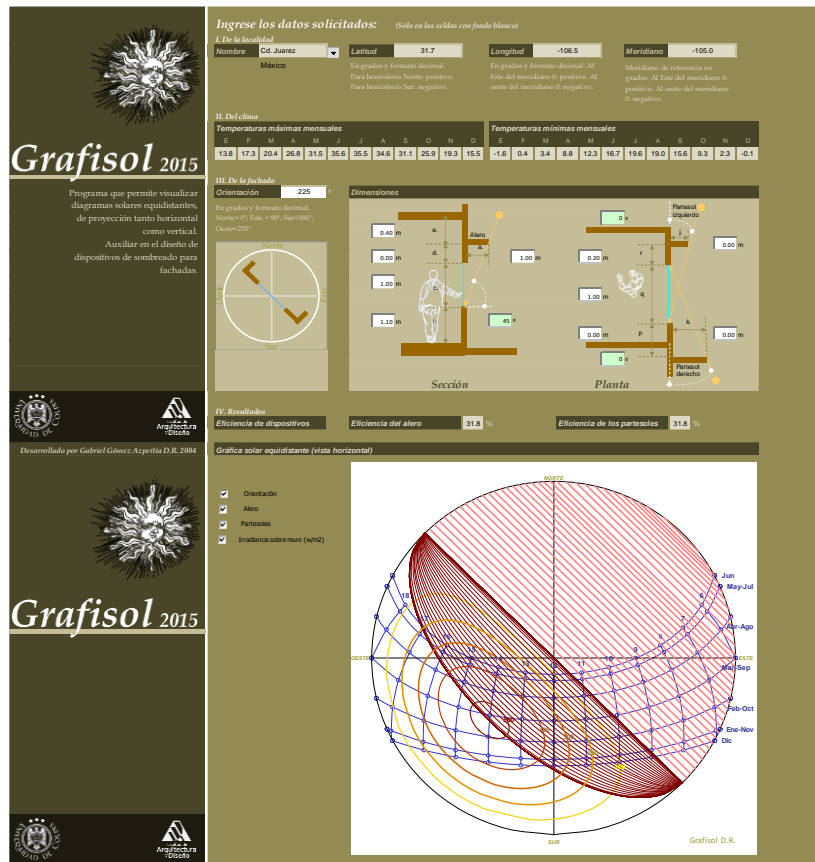


Figura 31 Simulado de aleros y parte soles en las aberturas de la vivienda. Elaboración propia con Grafisol

En el análisis realizado con el programa de apoyo *Grafisol*, que es auxiliar en el diseño de sombreado para fachadas según el asoleamiento derivado de la localización en la que se encuentra el proyecto, podemos observar que al proponer aleros y parte soles en la fachada poniente reduce en un 31.8% la incidencia solar en aberturas. (Ver figura 23)

Considerando los análisis anteriores y los intereses que persigue esta investigación de proponer estrategias pasivas de climatización que sean pertinentes para el clima de esta ciudad y la replicabilidad en ambientes ya construidos, se seleccionaron las estrategias que se describirán en el siguiente apartado.

Descripción de las estrategias seleccionadas.

Modelo base (MB).

Se nombrará “Modelo Base” (MB) al estado actual del diseño de la vivienda, sin ninguna intervención o mejora adicional, de las condiciones en las que es entregada a sus habitantes a la hora de adquirirla. La vivienda se considera desocupada para este y los escenarios restantes. Como se mencionó anteriormente, el estudio de caso es una vivienda en desuso y la finalidad de esta investigación está enfocada a representar las diferencias de temperaturas sin estrategias, y se ha dejado a un lado el estudio sobre las variantes que existen cuando está habitada.

Aleros y parte soles (AP).

Esta estrategia considera la construcción de aleros y parte soles en ventanas con mayor incidencia solar. Debido a la orientación y el análisis solar específicamente de esta vivienda, los aleros y parte soles solo son necesarios en la fachada poniente, ya que es la fachada con mayor incidencia solar.

Doble vidrio (DV).

En la opción número dos, se contempla el cambio del total de las ventanas de la vivienda por ventanas doble vidrio de 3 mm, con una cámara de aire de 13 mm. (ver anexo 1)

Aislamiento de cubierta (AT).

En la opción número seis se propone la impermeabilización y aislamiento térmico de azotea a base de una capa de 2" de poliuretano esparcido con densidad 3.0 lb/ft³ Bayseal, y un recubrimiento elastomérico de 32 milésimas Baylock,

Aislamiento en muros (AM).

En esta opción, se considera el aislamiento térmico de muros a base de una capa de 2" de poliuretano esparcido con densidad 3.0 lb/ft³ Bayseal.

Todas las estrategias (TA).

Esta estrategia considera el conjunto de todos los dispositivos propuestos en las alternativas AP, DV, AT Y AM.

Propiedades térmicas del modelo base y las estrategias a simular.

Tanto el Modelo Base (MB) como las estrategias planteadas fueron simulados en el programa *Design Builder*, considerando los valores de las propiedades físicas de cada uno de los materiales de la envolvente descritas a continuación:

Modelo base.

CONCEPTO	Conductividad térmica (W/ m °C)	Calor específico (J / kg °C)	Densidad (kg/ m ³)	Resistencia térmica (m ² °C / W)	Espesor (m)
MUROS					
Bloque de concreto medio	0.51	1000	1400		0.15
Mortero cemento arena (exterior)	0.33	2040	520	---	0.025
Yeso (interior)	0.40	1000	1000	---	0.015
LOSA					
Losa de vigueta y casetón	0.269	1006	958	---	0.15
Yeso (interior)	0.4	1000	1000	---	0.015
P I S O					
Concreto armado (2% acero)	2.5	1000	2400	---	0.1
Coeficiente convectivo de transferencia de calor (Unidades): Interior: 6.130 Exterior: 22.700					
P U E R T A S					
Madera densa de puerta	0.15	1420	33	0.027	0.006
Capa de aire puerta	---	---	---	0.015	0.03
Acero normal	0.5	450	7800		0.001
Coeficiente convectivo de transferencia de calor (Unidades): Interior: 8.290 Exterior: 22.700					
V E N T A N A S					
Ventana con marco de aluminio con puente térmico, vidrio sencillo claro 3 mm de espesor (U = 6.257)					

Tabla 5 Tabla de propiedades térmicas del modelo base.

Características de las estrategias propuestas.

CONCEPTO	Conductividad térmica (W/ m °C)	Calor específico (J / kg °C)	Densidad (kg/ m3)	Resistencia térmica (m2 °C / W)	Espesor (m)
 AISLANTE EN CUBIERTA(AC)					
Poliuretano expandido estándar	0.04	1400	15	---	0.0508
Recubrimiento elastomérico (exterior)	0.26	---	1009	---	0.001
 AISLANTE EN MUROS (AM)					
Poliuretano expandido estándar	0.028	1400	15	---	0.0508
Mortero cemento arena (exterior)	1.40	1000	1800	---	0.025
 VENTANAS (DV)					
Ventana con marco de aluminio con puente térmico, vidrio doble claro 3 mm de espesor y 13 mm de aire (U = 2.761)					

Tabla 6 Tabla de propiedades térmicas de las estrategias a simular.

4.3 Resultado de las simulaciones de balance térmico de las estrategias.

Análisis de la temperatura.

Modelo base.

Según los resultados que se obtuvieron de la simulación del modelo base (MB), y en comparación con las temperaturas que se establecieron en un inicio para determinar la zona de confort que oscila entre 22.16 y 26.16 °C, la vivienda sin mejoras permanece 165 días del año en confort térmico. La temperatura al interior de la vivienda en la temporada de verano que comprende de mayo a septiembre generalmente se mantiene por debajo de la temperatura exterior, en la temporada de invierno que va de noviembre a febrero la temperatura al interior de la vivienda desciende, pero no en la misma medida que la temperatura del exterior, aunque en los meses más fríos esta llega alcanzar la misma temperatura del exterior.

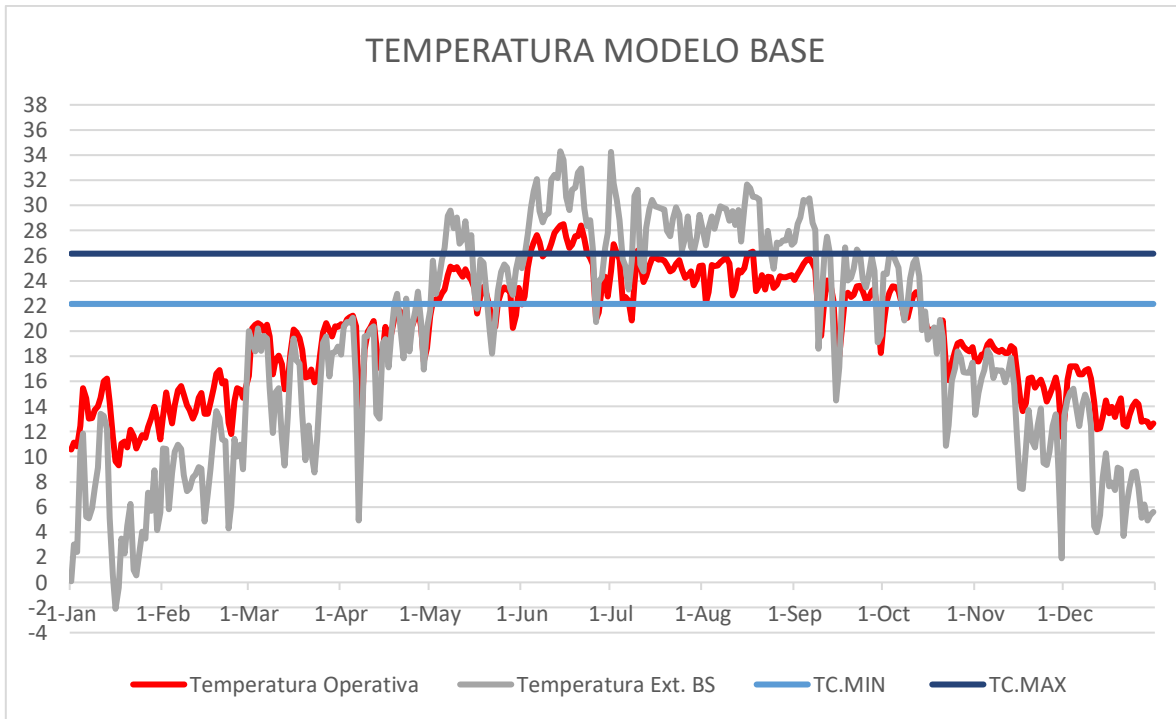


Figura 32 Temperatura del Modelo Base MB. Elaboración propia con datos de Desing Builder

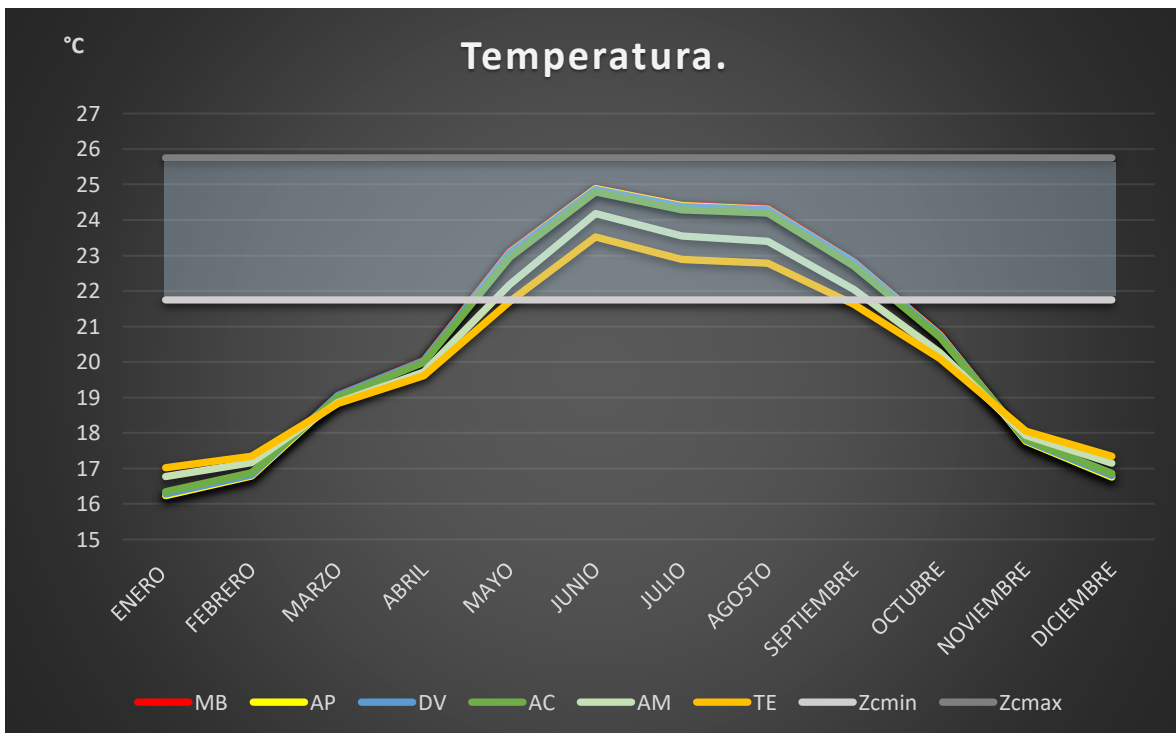


Figura 33 Temperatura al implementar cada una de las estrategias. Elaboración propia con datos de Desing Builder

TEMPERATURA DEL AIRE	MB	AP	DV	AC	AM	TE
ENERO	16.23962	16.2347	16.28041	16.34522	16.77189	17.02062
FEBRERO	16.79244	16.78707	16.82477	16.87599	17.16689	17.3433
MARZO	19.05097	19.01416	19.05419	19.00778	18.86603	18.83736
ABRIL	20.04843	20.01738	20.03577	19.98198	19.72452	19.61133
MAYO	23.10769	23.0791	23.06816	22.94727	22.18472	21.70097
JUNIO	24.89739	24.88481	24.85929	24.79186	24.18264	23.52272
JULIO	24.41737	24.3997	24.37826	24.28186	23.55021	22.89179
AGOSTO	24.32384	24.30613	24.28875	24.1957	23.39256	22.79017
SEPTIEMBRE	22.8356	22.81245	22.80711	22.71179	22.05014	21.63064
OCTUBRE	20.77373	20.751	20.74676	20.69918	20.25971	20.09045
NOVIEMBRE	17.77433	17.76325	17.79027	17.83084	17.9235	18.0438
DICIEMBRE	16.76922	16.76498	16.79799	16.86864	17.15132	17.34719

Tabla 7 Tabla comparativa de las de temperaturas según simulación en Desing builder.

4.4 Resultados del Consumo energético por climatización.

Descripción	Consumo por Climatización Artificial (kW-hora)	
	Periodo Cálido	Periodo Frío
Modelo Base	671.83	8889.92
AP	646.16	5413.45
DV	309.40	2598.60
AC	236.74	2396.37
AM	36.08	1537.50
TE	8.07	1069.94

Tabla 8 Consumo energético por climatización artificial.

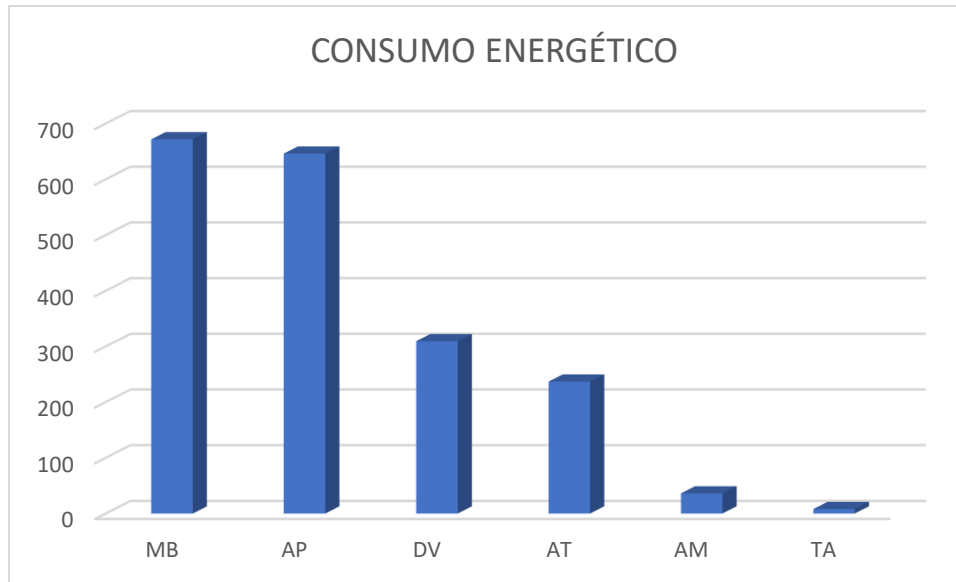


Figura 34 Comparativa del consumo energético.

En el periodo cálido, con respecto al consumo por climatización artificial del modelo base, se observó que todas las estrategias propuestas redujeron este consumo. La opción 1 que considera la construcción de aleros y parte soles en la fachada poniente solo reduce este consumo en un 3.82 % en comparación con el modelo base, mientras que la opción 2 que propone el cambio de ventanas de vidrio sencillo por ventanas doble vidrio ahorra hasta un 53.95% del consumo energético en esta temporada. La opción 3 redujo hasta un 64.76% con solo aislar la cubierta. La opción 4, que plantea el aislamiento en muros, ahorra hasta un 94.63 % de consumo energético del total que consume el modelo base. Por último, al modelar todas las estrategias planteadas en conjunto se obtiene que el consumo energético es prácticamente nulo, pues el ahorro en este consumo comparado con el modelo base es de hasta un 98.80 %. Considerando lo anterior, si se implementan todas las estrategias antes mencionadas, es prácticamente innecesario utilizar el clima artificial para este tipo de vivienda (Ver tabla y gráfica).

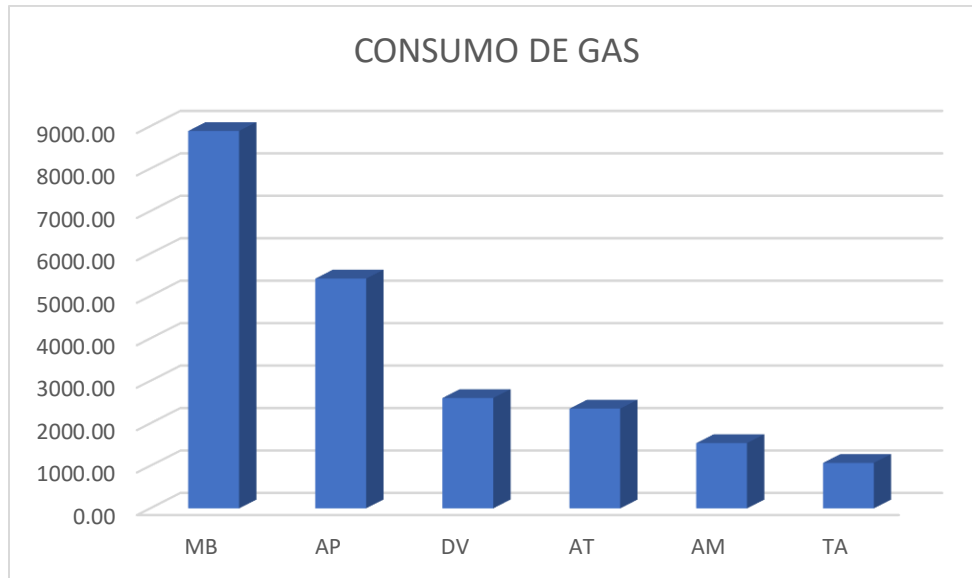


Figura 35 Gráfica comparativa consumo energético temporada invernal.

En el periodo frío, la mayoría de las estrategias dieron como resultaron consumos menores de gas. El conjunto de todas las estrategias TA logró un ahorro de 80.12 % del total de gas que consume el modelo base MB en temporada de invierno, con excepción de la estrategia planteada en la opción AP, pues el consumo aumentó en un 0.56 % comparado con el modelo base. De tal forma, los aleros y parte soles propician una pérdida en lugar de ganancia solar, aun y cuando estos sean diseñados estratégicamente para verano y con menor incidencia en invierno, que el balance recomienda, pues el consumo extra es menor al 1% comparado al 3.8% de ahorro en verano. La opción DV es una buena estrategia pues ayuda a ahorrar hasta un 51.73% del consumo de gas, la opción AT un 56.35 % y la opción AM hasta un 71.44 % de ahorro. Todos estos ahorros se contrastan al realizar el análisis del costo de ciclo de vida en el siguiente capítulo, para considerar si realmente los ahorros generados son económicamente factibles con la inversión inicial necesaria para la adquisición de cada uno de los dispositivos propuestos.

5. Análisis del costo de ciclo de vida (ACCV).

5.1 Datos base.

De acuerdo con lo expresado anteriormente, el análisis de costo beneficio es una herramienta útil de evaluación de proyectos, específicamente para comprobar si un proyecto producirá beneficios superiores a sus costos. También para determinar, entre varias alternativas válidas para conseguir un propósito, cuál obtiene los beneficios buscados con el menor costo y cuál produce el mayor beneficio neto para la economía en conjunto.

Son seis los pasos que se deben considerar para llevar a cabo el ACCV, en este caso, para lograr el mejoramiento a la vivienda de interés social que considere eficiencia energética y los costos de inversión de los dispositivos propuestos.

- 1.- Definir el proyecto: en qué consiste, y en qué consiste su alternativa.
- 2.- Definir los costos y los beneficios que brindarán ambas situaciones.
- 3.- Asignar valores (en términos monetarios) a los beneficios y costos definidos.
- 4.- Actualizar los valores al momento presente.
- 5.- Aplicar criterios de decisión (obtener un único número que facilite la toma de decisiones).
- 6.- Si hay que decidir entre varios proyectos rentables, establecer criterios para asignar prioridades.

A continuación, se redactan algunos conceptos básicos para comprender los elementos importantes que considera el cálculo del costo de ciclo de vida:

Inflación (i). - la tasa de aumento del nivel general de precios. La inflación disminuye el poder de compra de la moneda.

Tasa de aumento. - es la tasa de aumento del precio de un bien, por ejemplo, la electricidad.

Tasa de aumento real (**d**). - es la tasa de aumento en el precio de un bien en particular por encima de la tasa de inflación, se usa para descontar flujos de caja en $d = \frac{(1+D)}{(1-I)} - 1$

Tasa de descuento nominal o de mercado (**D**). - incluye la inflación o deflación, se utiliza para descontar los flujos de caja en moneda actual o corriente.

Moneda constante. - moneda de poder de compra constante excluida la inflación general.

Moneda corriente. - moneda de poder de compra en los cuales los precios reales son establecidos incluyendo la inflación general.

Valor Presente (**Vp**).- Valor que tiene al día de hoy una determinada cantidad de dinero que recibiremos en el futuro.

$$V_P = \frac{VF}{(1 + d)^t}$$

Valor Futuro (**VF**).- Es el valor futuro de una determinada cantidad de dinero, puede estar expresado en moneda corriente o moneda.

$$V_f = V_p(1+d)^n$$

Definir el proyecto: en qué consiste, y en qué consiste su alternativa.

Para calcular el ACCV se consideró el siguiente escenario:

Periodo: 30 años.

Se consideró este lapso temporal, por dos razones: la primera de ellas es el tiempo de vida del bien inmueble, ya que según el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores el “periodo de tiempo para el pago del saldo de capital, es como máximo de 30 años contados a partir de la fecha de firma del contrato. El trabajador se obliga a pagar el saldo de capital de su crédito, así como los intereses que se devenguen en los términos del contrato y cualquier otro adeudo, mediante el pago de no más de 360 amortizaciones mensuales y consecutivas ” (INFONAVIT,2020). La segunda razón se asocia con la primera ya que se considera que los dispositivos utilizados tendrán una vida útil de por lo menos treinta años con un mantenimiento mínimo, o semejante a una vivienda sin dispositivos de ahorro energético.

Tasa de inflación para energía eléctrica.

Se tomará como tasa de inflación para la energía eléctrica el 5%, pues aunque también se considera dentro del Índice Nacional De Precios Al Consumidor (INPC), hay otros factores que afectan directamente la proyección en el aumento del costo de la energía a largo plazo, es por esto que la tasa de inflación de la energía puede ser mayor a la proyectada por el INPC.

Considerado lo anterior, para esta investigación se parte del supuesto que los propietarios del crédito hipotecario permanecerán en ella por lo menos hasta que termine de liquidarlo. Cabe aclarar, que la vivienda tiene en realidad una vida útil de cincuenta años en términos de avalúo y crédito hipotecario. Así también, el periodo de tiempo puede ser variable, de acuerdo con los parámetros predeterminados, por ejemplo, si en lugar de treinta años se requiere conocer el ahorro en otros plazos como 5, 10 o 15, con la finalidad de precisar si se recupera antes la inversión, o si

los ahorros en energía se verán reflejados en un menor número de años, entonces se deberá ajustar el periodo al plazo requerido.

Tasa interés nominal (bruta) bancaria, elegir entre la mejor opción: 4.22%.

TASAS DE INTERÉS DE PAGARÉS Y DEPOSITOS A PLAZO, EN MONEDA NACIONAL, PARA UNA INVERSIÓN DE 10000 PESOS. Tasas de interés, brutas, expresadas en porcentaje anual, ofrecidas por los bancos al público en general, en ventanilla, correspondientes a la apertura del día, según información proporcionada por el banco de que se trate, al Banco de México.

Institución	Tasa de Interés Bruta en % anual	Rango de Plazo (en días)		Tipo de Instrumento	Rango de Inversión (en pesos, unidades)		Tipo de tasa	Fecha de la información
		Plazo Mínimo	Plazo Máximo		Monto Mínimo	Monto Máximo		
Bajío	4.22	90	179	DEPOSITO A PLAZO	1,000	999,999,999	Fija	30/10/2020
BanCoppel	4.2	330	360	PAGARÉ	1,000	999,999,999	Fija	30/10/2020
Afirme	3.165	360	360	DEPOSITO A PLAZO	10,000	24,999	Fija	30/10/2020
Azteca	2.75	360	360	DEPOSITO A PLAZO	10,000	999,999,999	Fija	30/10/2020
BanJército	1.85	364	364	PAGARÉ	10,000	14,999	Fija	30/10/2020
BBVA Bancomer	1.8	181	360	PAGARÉ	5,000	49,999	Fija	30/10/2020
Banorte	1.7302	40	40	PAGARÉ	5,000	49,999	Fija	30/10/2020
Santander	1.7	360	365	PAGARÉ	5,000	199,999	Fija	30/10/2020
Banamex	1.627	366	378	PAGARÉ	10,000	24,999	Fija	30/10/2020
Banregio	1.5234	90	999	PAGARÉ	1,000	19,999	Fija	30/10/2020
HSBC	1.48	180	365	PAGARÉ	10,000	49,999	Fija	30/10/2020
Scotiabank	0.64	28	35	PAGARÉ	5,000	49,999	Fija	30/10/2020

Tabla 9 Tasa de interés bancario. elaboración propia con datos de <https://www.banxico.org.mx/>

Como ya se ha mencionado con anterioridad, al realizar el ACCV, el ejercicio nos permite analizar y evaluar en los términos que se establecen durante el desarrollo de este documento entre dos opciones básicas pertinentes: invertir capital en estrategias de ahorro energético y generar una rentabilidad a largo plazo o, por el contrario, colocar el capital a corto y mediano plazo básicamente con tasa de rendimiento bancario.

En términos generales, se presume que habrá mayor rentabilidad al invertir en la disminución del consumo energético que al invertir el capital a una tasa bancaria. En la siguiente tabla se muestra el rendimiento que nos ofrecen los bancos establecidos en la ciudad, con una tasa fija anual a un determinado plazo, considerando que esta tasa es bruta como se muestra en la tabla. Por lo tanto se eligió la tasa de 4.22 % anual que ofrece el banco del Bajío; cabe mencionar que la primera elección de análisis fue banco Famsa con una tasa de 5%, pero durante el transcurso de la redacción de la tesis el banco fue intervenido por la comisión bancaria y de valores y se declaró en quiebra.

Tasa de inflación: de 10.17% a 4.03%.

Año	Inflación	Año	Inflación	Año	Inflación
1990	22.48	2000	11.02	2010	4.46
1991	27.11	2001	8.11	2011	3.78
1992	17.95	2002	4.79	2012	4.05
1993	11.32	2003	5.16	2013	3.25
1994	7.5	2004	4.2	2014	4.48
1995	10.23	2005	4.54	2015	3.07
1996	51.72	2006	3.94	2016	2.61
1997	26.44	2007	3.98	2017	4.72
1998	15.27	2008	3.7	2018	5.55
1999	19.01	2009	6.28	2019	4.41

Tabla 10 Inflación histórica de 30 años en México. Elaboración propia con datos obtenidos de <https://www.inegi.org.mx/>

La inflación se obtuvo con datos del INPC. Aunque, al calcular la media histórica de 30 años atrás, se obtuvo un promedio histórico de 10.17% pues como podemos observar en la tabla 33 hay tasas que van desde 51% hasta 2.61 % debido a que nuestro país, al igual que la mayoría de los países, depende de la economía global y los sucesos fortuitos que ocurran en ella. Por eso no debería considerarse una tasa poco fluctuante, sin embargo, se tomará la media de los últimos 10 años por cuestiones prácticas para poder ejemplificar un escenario donde la rentabilidad de inversión de 4.22% sea mayor que la inflación 4.03 % resultante de la media de los últimos 10 años.

5.2 Resultados del ACCV

Decidir la opción más conveniente.

Ante la variedad de opciones, se propone depositar en el banco el monto total del costo de los dispositivos propuestos a plazo fijo con una tasa nominal de 4.22% y

considerando una inflación propuesta de 4.03% para obtener un rendimiento a futuro. Cálculo a 30 años tomando en cuenta la tasa de descuento real.

$$d = \frac{(1+D)}{(1-I)} - 1 \quad d = \frac{(1+0.0422)}{(1-0.0403)} - 1 \quad d = 0.001826$$

Cálculo de valor futuro tomando en cuenta la tasa de descuento real.

$$V_f = V_p(1+d)^n \quad V_f = (V_p) * (1+0.001826)^{30} \text{ actualizado a moneda actual.}$$

ALTERNATIVAS	INVERSION INICIAL	RENDIMIENTO DE INV.
MB	0.00	0.00
AP	\$ 2,562.28	\$ 2,706.42
DV	\$ 12,515.00	\$ 13,219.04
AT	\$ 29,977.29	\$ 31,663.68
AM	\$ 44,383.44	\$ 46,880.25
TA	\$ 89,438.01	\$ 94,469.38
Rendimiento a 30 años		\$ 5,031.37

Tabla 11 Posibles rendimientos del monto total de cada uno de los dispositivos. Elaboración propia

Definir los costos y los beneficios que brindarán las alternativas.

Modelo base (MB). Sin mejoras.

Los costos que genera el modelo base (MB) según el consumo en KW/H al aplicar la fórmula correspondiente tanto de la tasa de descuento real como la del valor presente y al establecer los criterios antes mencionados, que intervienen el cálculo para determinar el valor presente de un bien, en este caso el costo de la energía en un periodo de 30 años, considerando el aumento del 5% anual y la inflación de 4.03% fueron los siguientes:

Análisis del costo de ciclo de vida:

Cálculo de la tasa de descuento.

$$d = \frac{(1+D)}{(1-I)} - 1 \quad d = \frac{(1+0.05)}{(1-0.0403)} - 1 \quad d = 0.0093$$

Cálculo de valor futuro tomando en cuenta la tasa de descuento real.

$$Vf = Vp(1+d)^n$$

$$Vf = (0.876) * (1+0.0093)^1$$

$$Vf = (0.876) * (1+0.0093)^2$$

$$Vf = (0.876) * (1+0.0093)^{30}$$

Resultado de ACCV de Modelo Base sin mejoras.

ALTERNATIVAS	INVERSION INICIAL	KW/H ANUAL	KW/H 30 AÑOS	COSTO KW/H (30)	C.ENERGIA+INVERSION	AHORRO	RENDIMIENTO DE INV.
MB	0.00	9561.76	286852.80	\$ 290,984.98	\$ 290,984.98	0.0	0.00

Tabla 12 ACCV del modelo base en el consumo energético.

MODELO BASE

CONSIDERANDO UN AUMENTO DEL 5% ANUAL

Y UNA TASA DE INFLACIÓN DE 4.03%

AÑO	COSTO	CONSUMO ANUAL KW/H	VALOR FUTURO
1	\$ 0.88	9561.76	\$ 8,454.00
2	\$ 0.89	9561.76	\$ 8,532.62
3	\$ 0.90	9561.76	\$ 8,611.98
4	\$ 0.91	9561.76	\$ 8,692.07
5	\$ 0.92	9561.76	\$ 8,772.90
6	\$ 0.93	9561.76	\$ 8,854.49
7	\$ 0.93	9561.76	\$ 8,936.84
8	\$ 0.94	9561.76	\$ 9,019.95
9	\$ 0.95	9561.76	\$ 9,103.84
10	\$ 0.96	9561.76	\$ 9,188.50

11	\$	0.97	9561.76	\$	9,273.95
12	\$	0.98	9561.76	\$	9,360.20
13	\$	0.99	9561.76	\$	9,447.25
14	\$	1.00	9561.76	\$	9,535.11
15	\$	1.01	9561.76	\$	9,623.79
16	\$	1.02	9561.76	\$	9,713.29
17	\$	1.03	9561.76	\$	9,803.62
18	\$	1.03	9561.76	\$	9,894.80
19	\$	1.04	9561.76	\$	9,986.82
20	\$	1.05	9561.76	\$	10,079.70
21	\$	1.06	9561.76	\$	10,173.44
22	\$	1.07	9561.76	\$	10,268.05
23	\$	1.08	9561.76	\$	10,363.54
24	\$	1.09	9561.76	\$	10,459.92
25	\$	1.10	9561.76	\$	10,557.20
26	\$	1.11	9561.76	\$	10,655.38
27	\$	1.12	9561.76	\$	10,754.48
28	\$	1.14	9561.76	\$	10,854.49
29	\$	1.15	9561.76	\$	10,955.44
30	\$	1.16	9561.76	\$	11,057.33
			286852.80	\$	290,984.98

Tabla 13 Resultados del AACV del modelo base.

Modelo Base + Aleros y parte soles (AP).

Para realizar el ACCV de esta alternativa se consideró como inversión inicial la cantidad de \$2,562.28 que es lo que costaría construir e instalar costo de 4.00 m² aleros y parte soles propuestos en dos de las ventanas de la vivienda con precio unitario de \$640.57 por m² (precio unitario cotizado por constructora local ver anexo 1) de este dispositivo. Se tomaron los datos del consumo de energía obtenidos previamente de la simulación en el programa *Design Builder*, esto se proyectó a 30 años, se le aplicó la tasa de descuento real considerando un aumento del 5% anual en la energía y la inflación de 4.03%. Estas acciones arrojaron los siguientes resultados:

Análisis del costo de ciclo de vida:

Costo inicial del dispositivo.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	SUBTOTAL
Para sol para ventanas de seccion de 1.20 x .60 ms a base de madera y triplay de 3/4 asi como bisagras para controlar el movimiento del mismo.	M2	4	\$ 640.57	\$ 2,562.28
			TOTAL:	\$ 2,562.28

Tabla 14 Descripción y costo de aleros y parte soles.
Elaboración propia con datos de Moriel Diseños y Construcciones SA de CV.

Cálculo de la tasa de descuento.

$$d = \frac{(1+D)}{(1-I)} - 1 \quad d = \frac{(1+0.05)}{(1-0.0403)} - 1 \quad d = 0.0093$$

Cálculo de valor futuro tomando en cuenta la tasa de descuento.

$$Vf = Vp(1+d)^n$$

$$Vf = (0.876) * (1+0.0093)^{30}$$

Resultado de costo de ciclo de vida de la alternativa AP.

ALTERNATIVAS	INVERSION INICIAL	KW/H ANUAL	KW/H 30 AÑOS	COSTO KW/H (30)	C.ENERGIA+INVERSION	AHORRO
MB	0.00	9561.76	286852.80	\$ 290,984.98	\$ 290,984.98	0.0
AP	\$ 2,562.28	6059.00	181770.00	\$ 184,388.44	\$ 186,950.72	\$ 104,034.26

Tabla 15 ACCV de la alternativa AP

Modelo Base + Doble Vidrio (DV).

Para esta propuesta se consideró como inversión inicial \$12,515.00 monto total de las 5 ventanas doble vidrio (ver precio unitario en anexo 1). Para el cálculo del costo de ciclo de vida se consideró el mismo escenario que las alternativas anteriores; la tasa de descuento real, el costo de la energía en un periodo de 30 años, considerando el aumento del 5% anual en la misma y la inflación de 4.03%.

Costo inicial del dispositivo.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	SUBTOTAL
Ventana Corrediza de 120 cms de ancho x 120 cm de altura. Ancho de perfil 2 1/4", doble vidrio de 3mm. Marca Cuprum.	PZ	1	\$ 3,269.00	\$ 3,269.00
Ventana Corrediza de 100 cms de ancho x 100 cm de altura. Ancho de perfil 2 1/4", doble vidrio de 3mm. Marca Cuprum.	PZ	3	\$ 2,559.00	\$ 7,677.00
Ventana Corrediza de 60 cms de ancho x 60 cm de altura. Ancho de perfil 2 1/4", doble vidrio de 3mm. Marca Cuprum.	PZ	1	\$ 1,569.00	\$ 1,569.00
			TOTAL	\$ 12,515.00

Tabla 16 Descripción y costo de ventanas propuestas.
Fuente: Home Depot, Precios Octubre 2020. Elaboración propia.

Análisis del costo de ciclo de vida:

Cálculo de la tasa de descuento.

$$d = \frac{(1+D)}{(1-I)} - 1 \quad d = \frac{(1+0.05)}{(1-0.0403)} - 1 \quad d = 0.0093$$

Cálculo de valor futuro tomando en cuenta la tasa de descuento.

$$V_f = V_p(1+d)^n$$

$$V_f = (0.876) * (1+0.0093)^{30}$$

Resultado de costo de ciclo de vida de la alternativa DV.

ALTERNATIVAS	INVERSION INICIAL	KW/H ANUAL	KW/H 30 AÑOS	COSTO KW/H (30)	C.ENERGIA+INVERSION	AHORRO
MB	0.00	9561.76	286852.80	\$ 290,984.98	\$ 290,984.98	0.0
DV	\$ 12,515.00	2908.00	87240.00	\$ 88,496.71	\$ 101,011.71	\$ 189,973.27

Tabla 17 ACCV de la alternativa DV. Elaboración propia.

Modelo Base + Aislante en Techo o azotea (AT).

Para realizar el ACCV de esta alternativa se consideró como inversión inicial la cantidad de \$29,977.29 pesos por concepto del aislamiento en techo o cubierta de la vivienda, precio unitario de \$587.79 por m² (precio unitario cotizado por constructora local ver anexo 1) de este dispositivo. Se tomaron los datos del consumo de energía obtenidos previamente de la simulación en el programa *Design*

Builder, se le aplicó la tasa de descuento real considerando un aumento del 5% anual en la energía y la inflación de 4.03%, los resultados fueron los siguientes.

Análisis del costo de ciclo de vida:

Costo inicial del dispositivo.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	SUBTOTAL
Impermeabilización y aislamiento térmico de azotea y/o pretilas a base de una capa de 2" de poliuretano esreado densidad 3.0 lb/ft3 Bayseal, con un recubrimiento elastomérico de 32 milésimas Baylock, inc.	M2	51	\$ 587.79	\$ 29,977.29
			TOTAL:	\$ 29,977.29

*Tabla 18 Descripción y costo de aislante en techo.
Elaboración propia con datos de Moriel Diseños y Construcciones SA de CV.*

Análisis del costo de ciclo de vida:

Cálculo de la tasa de descuento.

$$d = \frac{(1+D)}{(1-I)} - 1 \quad d = \frac{(1+0.05)}{(1-0.0403)} - 1 \quad d = 0.0093$$

Cálculo de valor futuro tomando en cuenta la tasa de descuento.

$$Vf = Vp(1+d)^n$$

$$Vf = (0.876) * (1+0.0093)^{30}$$

Resultado de costo de ciclo de vida de la alternativa AT.

ALTERNATIVAS	INVERSION INICIAL	KW/H ANUAL	KW/H 30 AÑOS	COSTO KW/H (30)	C.ENERGIA+INVERSION	AHORRO	RENDIMIENTO DE INV.
MB	0.00	9561.76	286852.80	\$ 290,984.98	\$ 290,984.98	0.00	0.00
AT	\$ 29,977.29	2586.40	77592.00	\$ 78,709.73	\$ 108,687.02	\$ 182,297.96	\$ 31,663.68

Tabla 19 ACCV de la alternativa AT. Elaboración propia.

Modelo Base + Aislante en Muros (AM).

Para realizar el ACCV de esta alternativa se consideró como inversión inicial la cantidad de \$ 44,383.44 pesos por concepto del aislamiento de los muros exteriores de la vivienda, precio unitario de \$587.79 por m² (precio unitario cotizado por constructora local ver anexo 1) de este dispositivo. Se tomaron los datos del consumo de energía que se obtuvieron previamente en la simulación con el programa *Design Builder*, se le aplicó la tasa de descuento real considerando un

aumento del 5% anual en la energía y la inflación de 4.03%, los resultados fueron los siguientes.

Análisis del costo de ciclo de vida:

Costo inicial del dispositivo.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	SUBTOTAL
Aislamiento térmico en muros a base de una capa de 2" de poliuretano esreado densidad 3.0 lb/ft3 Bayseal.	M2	75.509	\$ 587.79	\$ 44,383.44
			TOTAL:	\$ 44,383.44

Tabla 20 D Descripción y costo de aislante en techo.
Elaboración propia con datos de Moriel Diseños y Construcciones SA de CV.

Análisis del costo de ciclo de vida:

Cálculo de la tasa de descuento.

$$d = \frac{(1+D)}{(1-I)} - 1 \quad d = \frac{(1+0.05)}{(1-0.0403)} - 1 \quad d = 0.0093$$

Cálculo de valor futuro tomando en cuenta la tasa de descuento.

$$Vf = Vp(1+d)^n$$

$$Vf = (0.876) * (1+0.0093)^{30}$$

Resultado de costo de ciclo de vida de la alternativa AM.

ALTERNATIVAS	INVERSION INICIAL	KW/H ANUAL	KW/H 30 AÑOS	COSTO KW/H (30)	C.ENERGIA+INVERSION	AHORRO	RENDIMIENTO DE INV.
MB	0.00	9561.76	286852.80	\$ 290,984.98	\$ 290,984.98	0.0	0.00
AM	\$ 44,383.44	1573.59	47207.70	\$ 47,887.74	\$ 92,271.18	\$ 198,713.80	\$ 46,880.25

Tabla 21 ACCV alternativa AM. Elaboración propia.

Modelo Base + Todas las Alternativas TA.

Para realizar el ACCV del conjunto de todas las estrategias, se consideró como inversión inicial la cantidad de \$ 86, 875.73 pesos, suma total del costo de las estrategias: protección solar, aislamiento y protección en aberturas. Se tomaron los datos del consumo de energía, que se obtuvieron previamente en la simulación con

el programa *Design Builder*, se le aplicó la tasa de descuento real considerando un aumento del 5% anual en la energía y la inflación de 4.03%, los resultados fueron los siguientes.

Análisis del costo de ciclo de vida:

Costo inicial de todos los dispositivos propuestos.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	SUBTOTAL
Para sol para ventanas de seccion de 1.20 x .60 ms a base de madera y triplay de 3/4 asi como bisagras para controlar el movimiento del mismo.	M2	4	\$ 640.57	\$ 2,562.28
Ventana Corrediza de 120 cms de ancho x 120 cm de altura. Ancho de perfil 2 1/4", doble vidrio de 3mm. Marca Cuprum.	PZ	1	\$ 3,269.00	\$ 3,269.00
Ventana Corrediza de 100 cms de ancho x 100 cm de altura. Ancho de perfil 2 1/4", doble vidrio de 3mm. Marca Cuprum.	PZ	3	\$ 2,559.00	\$ 7,677.00
Ventana Corrediza de 60 cms de ancho x 60 cm de altura. Ancho de perfil 2 1/4", doble vidrio de 3mm. Marca Cuprum.	PZ	1	\$ 1,569.00	\$ 1,569.00
Impermeabilización y aislamiento térmico de azotea y/o pretilas a base de una capa de 2" de poliuretano espreado densidad 3.0 lb/ft3 Bayseal, con un recubrimiento elastomerico de 32 milésimas Baylock, inc.	M2	51	\$ 587.79	\$ 29,977.29
Aislamiento térmico en muros a base de una capa de 2" de poliuretano espreado densidad 3.0 lb/ft3 Bayseal.	M2	75.509	\$ 587.79	\$ 44,383.44
			TOTAL:	\$ 86,875.73

Tabla 22 Costo de los dispositivos propuestos AP, DV; AT Y AM. Elaboración propia.

Análisis del costo de ciclo de vida:

Cálculo de la tasa de descuento.

$$d = \frac{(1+D)}{(1-I)} - 1 \quad d = \frac{(1+0.05)}{(1-0.0403)} - 1 \quad d = 0.0093$$

Cálculo de valor futuro tomando en cuenta la tasa de descuento.

$$V_f = V_p(1+d)^n$$

$$V_f = (0.876) * (1+0.0093)^{30}$$

Resultado de costo de ciclo de vida de todas las alternativas.

ALTERNATIVAS	INVERSION INICIAL	KW/H ANUAL	KW/H 30 AÑOS	COSTO KW/H (30)	C.ENERGIA+INVERSION	AHORRO	RENDIMIENTO DE INV.
MB	0.00	9561.76	286852.80	\$ 290,984.98	\$ 290,984.98	0.0	0.00
AP	\$ 2,562.28	6059.00	181770.00	\$ 184,388.44	\$ 186,950.72	\$ 104,034.26	\$ 2,706.42
DV	\$ 12,515.00	2908.00	87240.00	\$ 88,496.71	\$ 101,011.71	\$ 189,973.27	\$ 13,219.04
AT	\$ 29,977.29	2586.40	77592.00	\$ 78,709.73	\$ 108,687.02	\$ 182,297.96	\$ 31,663.68
AM	\$ 44,383.44	1573.59	47207.70	\$ 47,887.74	\$ 92,271.18	\$ 198,713.80	\$ 46,880.25
TA	\$ 89,438.01	1078.02	32340.72	\$ 32,806.60	\$ 122,244.61	\$ 168,740.37	\$ 94,469.38

Tabla 23 ACCV de todas las estrategias propuestas. Elaboración propia.

6. Análisis de los resultados.

6.1 Categorización de las estrategias según el ahorro económico.

Según los resultados presentados en el apartado anterior, todas las alternativas propuestas derivaron en un ahorro económico, en comparación con el modelo base sin mejoras y en cotejo con la mejor opción de rendimiento bancaria a plazo fijo de la inversión de cada una de las alternativas y en conjunto.

Al examinar la inversión inicial, la estrategia que nos brinda el mayor ahorro económico es el aislamiento en muros, seguida de la alternativa doble vidrio en ventanas, la tercera opción es aislamiento en techo, la cuarta es todas las alternativas, pues, aunque hay un ahorro significativo de energía, se eleva el costo inicial de inversión al sumar todas las estrategias. La alternativa que genera el menor ahorro es la implementación de aleros y parte soles, pero sigue una excelente opción comparada al modelo base sin mejoras y con el rendimiento bancario que genera un rendimiento mínimo (Ver tabla 16 y Fig. 2.2.1).

CATEGORIZACION	ALTERNATIVAS	AHORRO	RENDIMIENTO BANCARIO
1ª	AM	\$ 198,713.80	\$ 46,880.25
2ª	DV	\$ 189,973.27	\$ 13,219.04
3ª	AT	\$ 182,297.96	\$ 31,663.68
4ª	TA	\$ 168,740.37	\$ 94,469.38
5ª	AP	\$ 104,034.26	\$ 2,706.42
6ª	MB	0.00	0.00

Tabla 24 Categorización de las estrategias según el ahorro económico. Elaboración propia

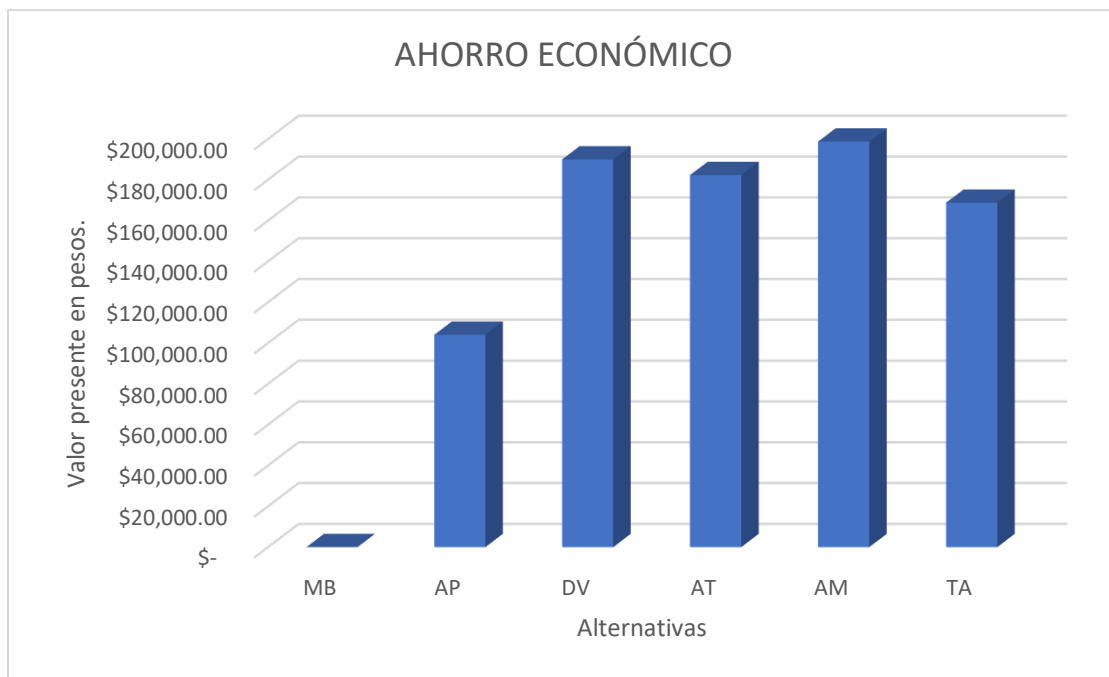


Figura 36 Ahorro económico de cada una de las alternativas. Elaboración propia

El costo total del consumo de energía a 30 años del modelo base sin mejoras asciende a \$ 290,984.98 pesos, valor actualizado a moneda constante según el análisis del costo de ciclo de vida.

La mejor estrategia económica es el aislamiento en muros, pues se tiene un ahorro de \$198,713.80 pesos, considerado el costo inicial de la implementación de este dispositivo en los muros por \$ 44,383.44 pesos en el periodo propuesto, ya que el gasto de energía en pesos es tan solo \$ 47, 887.74 está (ver tabla 14).

La estrategia que contempla el cambio de ventanas simples por ventanas doble vidrio queda como la segunda mejor opción a implementar debido a que representa un ahorro de \$189,973.27 comparada con la cifra que tendríamos al final del periodo por \$13,219.04 pesos de la inversión inicial si decidiéramos no hacer nada y mantener la suma de dinero que cuesta implementar el cambio de todas las ventanas por \$12, 515.00 pesos en una cuenta de ahorros a un plazo fijo.

¿Pero, cuándo empieza a generar un ahorro real esta estrategia? Tal vez sea la pregunta que más interesa saber, pues si bien el monto del ahorro es atractivo, el periodo a 30 años genera incertidumbre. Debido a que la tabla de ACCV se calculó anualmente y por el periodo de estudio, es posible observar que en cinco años esta estrategia amortizará su valor, y al sexto año se empieza a tener un ahorro económico neto. (Ver tabla 34).

La alternativa de aislante de techo se ubica en el tercer lugar del ahorro económico, pues aunque consume un 60% más de energía que la alternativa aislante de muros, se ubica en este lugar por el costo inicial de inversión del dispositivo utilizado, considerando que aislar la cubierta es de \$29,977.29 y el de aislar los muros es de 44,383.44, cifras que intervienen en el cálculo del costo de ciclo de vida.

En cuarto lugar, se ubica la alternativa TA que consiste en la aplicación de todos los dispositivos, aunque en la simulación energética es la alternativa que arrojó un mayor ahorro en energía. Se ubica en este lugar debido al costo elevado de la suma de todos los dispositivos.

En quinto lugar, se encuentra la alternativa AP con un ahorro al final del periodo de \$ 104,034.26, que comparado con el rendimiento de la inversión a largo plazo de \$ 2 706.42 pesos y el costo inicial de este dispositivo que es \$2 562.28, sigue siendo definitivamente una opción totalmente viable que se puede emplear en la reconversión de la vivienda.

Por último, la opción de no hacer nada que representa el MB, tiene un costo mayor del 63.36% comparada con la mejor alternativa, es decir, AP. De esta forma, la vivienda en el estado actual que se encuentra representa una pérdida excesiva en el gasto familiar. La posibilidad de obtener una ganancia o ahorro a largo plazo aumentaría si se implementa cualquiera de las alternativas propuestas.

COSTO DE LA ENERGIA EN EL PERIODO ESTIPULADO							
CONSIDERANDO UN AUMENTO DEL 5% ANUAL							
Y UNA TASA DE INFLACIÓN DE 4.03%							
AÑO	COSTO KW/H	MB	AP	DV	AT	AM	TA
1	\$ 0.88	\$ 8,454.00	\$ 5,357.05	\$ 2,571.10	\$ 2,286.76	\$ 1,391.28	\$ 953.13
2	\$ 0.89	\$ 8,532.62	\$ 5,406.87	\$ 2,595.01	\$ 2,308.02	\$ 1,404.22	\$ 962.00
3	\$ 0.90	\$ 8,611.98	\$ 5,457.15	\$ 2,619.14	\$ 2,329.49	\$ 1,417.28	\$ 970.94
4	\$ 0.91	\$ 8,692.07	\$ 5,507.90	\$ 2,643.50	\$ 2,351.15	\$ 1,430.46	\$ 979.97
5	\$ 0.92	\$ 8,772.90	\$ 5,559.12	\$ 2,668.09	\$ 2,373.02	\$ 1,443.77	\$ 989.09
6	\$ 0.93	\$ 8,854.49	\$ 5,610.82	\$ 2,692.90	\$ 2,395.09	\$ 1,457.19	\$ 998.28
7	\$ 0.93	\$ 8,936.84	\$ 5,663.01	\$ 2,717.94	\$ 2,417.36	\$ 1,470.75	\$ 1,007.57
8	\$ 0.94	\$ 9,019.95	\$ 5,715.67	\$ 2,743.22	\$ 2,439.84	\$ 1,484.42	\$ 1,016.94
9	\$ 0.95	\$ 9,103.84	\$ 5,768.83	\$ 2,768.73	\$ 2,462.53	\$ 1,498.23	\$ 1,026.40
10	\$ 0.96	\$ 9,188.50	\$ 5,822.48	\$ 2,794.48	\$ 2,485.44	\$ 1,512.16	\$ 1,035.94
11	\$ 0.97	\$ 9,273.95	\$ 5,876.63	\$ 2,820.47	\$ 2,508.55	\$ 1,526.23	\$ 1,045.58
12	\$ 0.98	\$ 9,360.20	\$ 5,931.28	\$ 2,846.70	\$ 2,531.88	\$ 1,540.42	\$ 1,055.30
13	\$ 0.99	\$ 9,447.25	\$ 5,986.44	\$ 2,873.17	\$ 2,555.43	\$ 1,554.75	\$ 1,065.11
14	\$ 1.00	\$ 9,535.11	\$ 6,042.11	\$ 2,899.90	\$ 2,579.19	\$ 1,569.20	\$ 1,075.02
15	\$ 1.01	\$ 9,623.79	\$ 6,098.31	\$ 2,926.86	\$ 2,603.18	\$ 1,583.80	\$ 1,085.02
16	\$ 1.02	\$ 9,713.29	\$ 6,155.02	\$ 2,954.08	\$ 2,627.39	\$ 1,598.53	\$ 1,095.11
17	\$ 1.03	\$ 9,803.62	\$ 6,212.26	\$ 2,981.56	\$ 2,651.82	\$ 1,613.39	\$ 1,105.29
18	\$ 1.03	\$ 9,894.80	\$ 6,270.04	\$ 3,009.29	\$ 2,676.48	\$ 1,628.40	\$ 1,115.57
19	\$ 1.04	\$ 9,986.82	\$ 6,328.35	\$ 3,037.27	\$ 2,701.38	\$ 1,643.54	\$ 1,125.95
20	\$ 1.05	\$ 10,079.70	\$ 6,387.20	\$ 3,065.52	\$ 2,726.50	\$ 1,658.83	\$ 1,136.42
21	\$ 1.06	\$ 10,173.44	\$ 6,446.60	\$ 3,094.03	\$ 2,751.85	\$ 1,674.25	\$ 1,146.99
22	\$ 1.07	\$ 10,268.05	\$ 6,506.55	\$ 3,122.80	\$ 2,777.45	\$ 1,689.82	\$ 1,157.65
23	\$ 1.08	\$ 10,363.54	\$ 6,567.07	\$ 3,151.84	\$ 2,803.28	\$ 1,705.54	\$ 1,168.42
24	\$ 1.09	\$ 10,459.92	\$ 6,628.14	\$ 3,181.16	\$ 2,829.35	\$ 1,721.40	\$ 1,179.29
25	\$ 1.10	\$ 10,557.20	\$ 6,689.78	\$ 3,210.74	\$ 2,855.66	\$ 1,737.41	\$ 1,190.25
26	\$ 1.11	\$ 10,655.38	\$ 6,752.00	\$ 3,240.60	\$ 2,882.22	\$ 1,753.57	\$ 1,201.32
27	\$ 1.12	\$ 10,754.48	\$ 6,814.79	\$ 3,270.74	\$ 2,909.02	\$ 1,769.88	\$ 1,212.49
28	\$ 1.14	\$ 10,854.49	\$ 6,878.17	\$ 3,301.16	\$ 2,936.08	\$ 1,786.34	\$ 1,223.77
29	\$ 1.15	\$ 10,955.44	\$ 6,942.13	\$ 3,331.86	\$ 2,963.38	\$ 1,802.95	\$ 1,235.15
30	\$ 1.16	\$ 11,057.33	\$ 7,006.70	\$ 3,362.84	\$ 2,990.94	\$ 1,819.72	\$ 1,246.64
TOTAL		\$ 290,984.98	\$ 184,388.44	\$ 88,496.71	\$ 78,709.73	\$ 47,887.74	\$ 32,806.60

Tabla 25 Tabla comparativa del ahorro económico entre los dispositivos propuestos. Elaboración propia

6.2 Categorización de las estrategias según el ahorro energético.

En el apartado de los resultados de las simulaciones energéticas, se presentaron los resultados del consumo de energía anual de cada una de las estrategias y la relación de las temperaturas alcanzadas al implementar las estrategias. A continuación, se presenta una categorización de tales consumos a en el periodo propuesto para el ACCV.

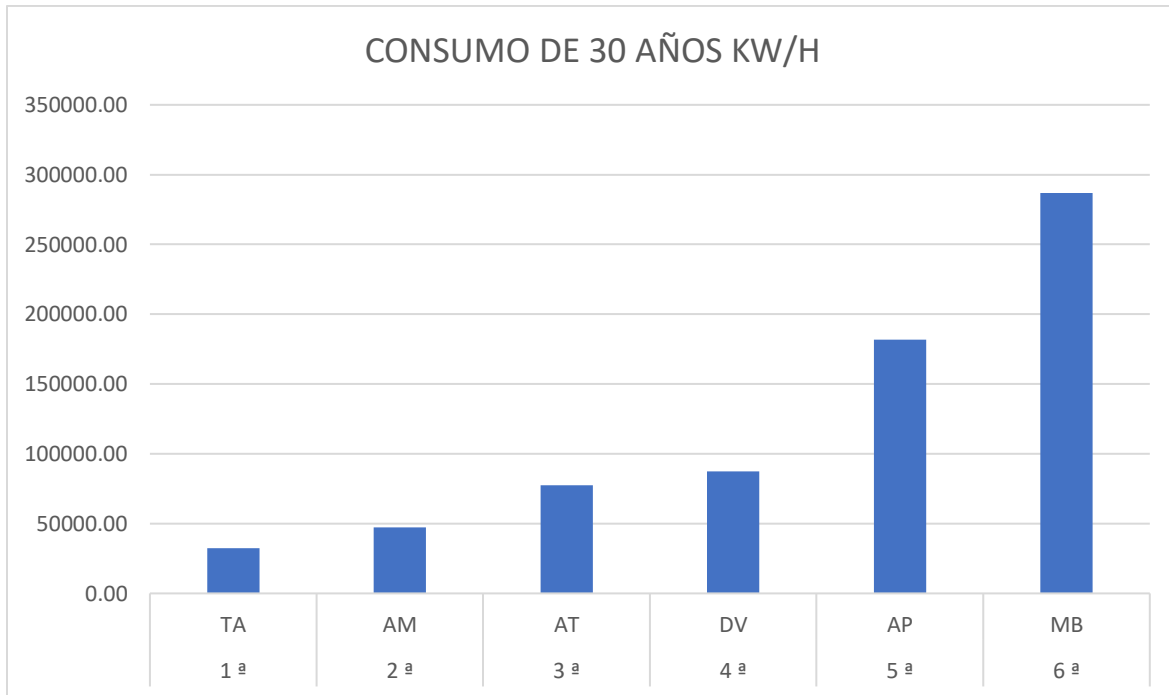


Figura 37 Categorización de las estrategias por su consumo energético.

Como se puede observar en la gráfica anterior, la opción que representa un menor consumo de energía es la alternativa que consiste en la suma de aplicar todos los dispositivos a la vivienda (TA), seguida de la alternativa aislamiento en muros (AM) debido a que la superficie de muro es mayor que la de la cubierta, alternativa que queda en la tercera posición según el consumo de energía (ver tabla 38).

La alternativa doble vidrio (DV) es la que ocupa el cuarto lugar en el consumo energético seguida de la alternativa aleros y parte soles (AP) en la quinta posición. Sin embargo, en comparación con el MB, esta última alternativa genera un ahorro de energía anual de 3502.76 KW/H, un total de 105,082.80 KW/H a 30 años que es el periodo de estudio. Por esto podemos decir que cualquier alternativa que se implemente en la vivienda tendrá un ahorro energético significativo comparado con el modelo base.

CATEGORIZACION	ALTERNATIVAS	CONSUMO ANUAL KW/H	CONSUMO DE 30 AÑOS KW/H
1ª	TA	1078.02	32340.72
2ª	AM	1573.59	47207.70
3ª	AT	2586.40	77592.00
4ª	DV	2908.00	87240.00
5ª	AP	6059.00	181770.00
6ª	MB	9561.76	286852.80

Figura 38 Categorización de las estrategias según el ahorro energético. Elaboración propia.

6.3 Categorización de las estrategias según el ahorro económico.

En esta categorización se tomó en cuenta las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) correlativa al consumo de energía de cada una de las propuestas. Los datos utilizados para realizar este cálculo se obtuvieron con información de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) de 2020, la cual indica que un 1kw/h de energía eléctrica genera 0.505 kg de CO₂.

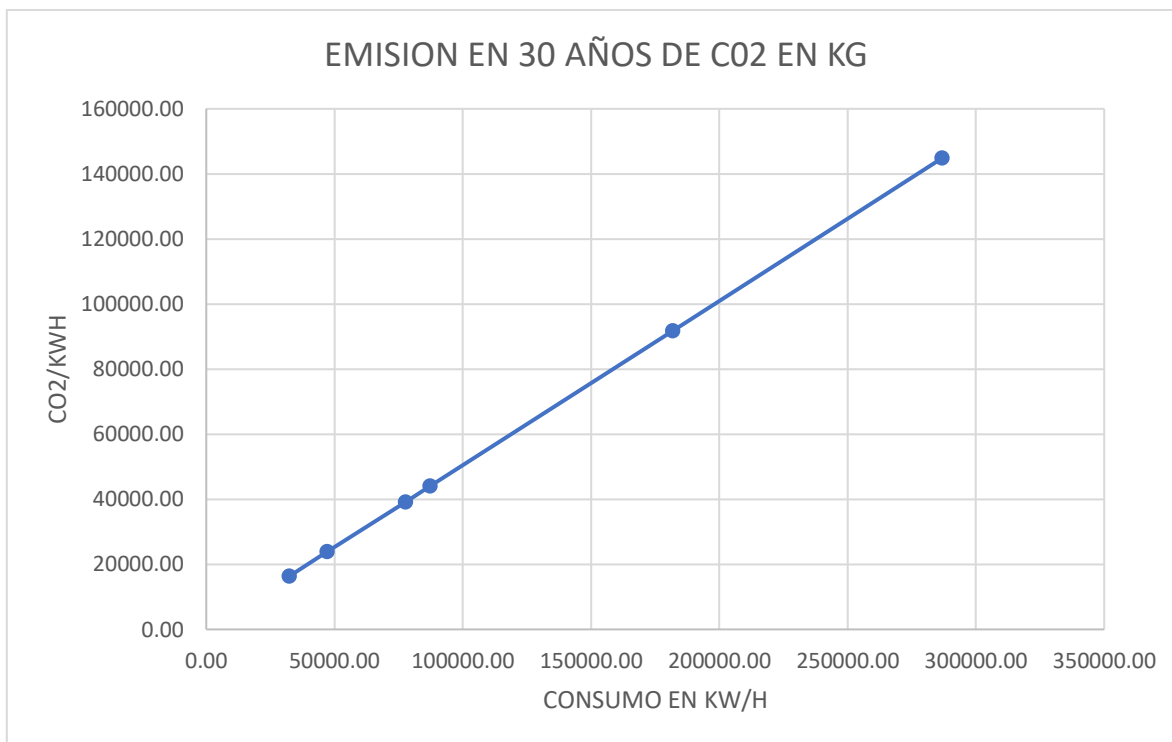


Figura 39 Correlación entre el consumo energético y las emisiones de CO2.

De las cinco estrategias planteadas la opción más sostenible es la TA que considera la implementación de todas las estrategias, pues tiene un menor consumo de energía y por ende una menor emisión de CO2. En segundo lugar, se ubica la alternativa AM, seguida por la AT (ver tabla 17).

Si bien la opción DV se cataloga como la segunda mejor opción según el ahorro económico, para la categorización por emisiones de CO2 se ubica en cuarto lugar (Ver tabla 15). Esto debido a la cantidad de emisiones generadas en comparación con las demás estrategias propuestas, pero en contraste con el modelo base se obtiene una diferencia considerable de 6,653.76 Kg de CO2.

La quinta posición la ocupa la alternativa AP, debido a que representa el menor ahorro de energía, comparada con las demás alternativas posibles. El modelo base (MB) comparado con la mejor opción en esta categoría TA, genera un 886.97 % más emisiones de CO2 cifra considerable para el medio ambiente pues el número de viviendas con estas características representa un daño ambiental relevante.

CATEGORIZACION	ALTERNATIVAS	CONSUMO KW/H ANUAL	CO2/KW/H	EMISION ANUAL DE C02 EN KG	EMISION EN 30 AÑOS DE C02 EN KG
1ª	TA	1078.02	0.505	544.40	16332.00
2ª	AM	1573.59	0.505	794.66	23839.89
3ª	AT	2586.40	0.505	1306.13	39183.96
4ª	DV	2908.00	0.505	1468.54	44056.20
5ª	AP	6059.00	0.505	3059.80	91793.85
6ª	MB	9561.76	0.505	4828.69	144860.66

Tabla 26 Categorización de las estrategias por la emisión CO2 generada. Elaboración propia de las estrategias.

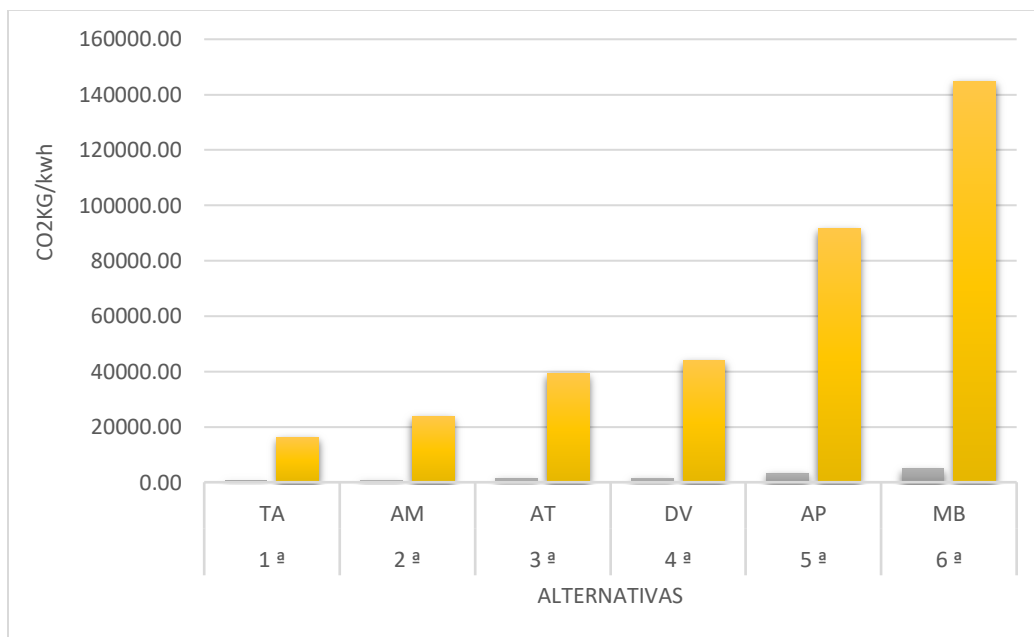


Figura 40 Emisiones de CO2 en el periodo de estudio, de cada una de las alternativas. Elaboración propia.

7. Conclusiones.

La sostenibilidad es un modelo de desarrollo económico que abarca las actividades productivas del hombre, entre las que se encuentra la arquitectura. Producir o fabricar arquitectura sostenible es un proceso de producción que cuida y promueve el ambiente, la sociedad y el aspecto económico, en un balance que permita un crecimiento, sin poner en riesgo los recursos de las generaciones por venir.

Una de las cuestiones que surgieron en la investigación, fue preguntarme si existían bienes y servicios que colocaban a la población en condición de desigualdad frente a otra. Es decir, si un objeto urbano arquitectónico, como es la vivienda de interés social, podría considerarse como un factor de la pobreza energética. Establecida esta relación llegué a comprender, con la orientación de mis asesores, investigaciones previas, artículos y revisiones al documento en general, que para una fundamentación adecuada se requería encontrar herramientas de análisis objetivas con características matemáticas para identificar la veracidad de este planteamiento que surgió.

El análisis de costo de ciclo de vida (ACCV) tomó entonces relevancia para expresar su pertinencia en términos de investigación, ya que, si bien existen diferentes métodos de análisis para la vivienda de interés social, particularmente este método de evaluación económica permite conocer si efectivamente existen estrategias y dispositivos que determinan un ahorro energético que redunde a nivel micro (familiar) y a nivel macro (municipal, estatal).

Ahora bien, el concepto de análisis del ciclo de vida se desplegó en dos partes en el desarrollo de la investigación. Por un lado, se tradujo en estrategias y, por otro lado, estas se convirtieron en dispositivos de control. Esta división conceptual es semejante a la que se lleva a cabo en el desarrollo del proyecto arquitectónico al separarse el diagnóstico del concepto y el potencial, en otras palabras, la estrategia es una posible acción y el dispositivo es concretamente la materialización de dicha opción. De hecho, el diagnóstico climático realizado identifica como estrategia eficaz

para lograr el confort térmico el aislamiento térmico de las viviendas, y el dispositivo son los diferentes materiales utilizables para llevar a cabo la estrategia, en este caso el poliuretano esparcido. Establecido esto, y con ayuda de los programas computacionales, se pudieron elegir entre varios dispositivos a simular logrando uno de los objetivos particulares de la tesis, identificar los dispositivos apropiados para este clima.

La hipótesis, planteada al inicio de la investigación, consistió en afirmar que las estrategias pasivas de climatización en la vivienda de interés social representan un ahorro económico y energético relevante. Además, estas repercuten positivamente en la economía de las familias que habitan las viviendas de interés social. Esto quedó demostrado por el análisis y evaluación de los resultados. Todas las estrategias simuladas por ordenador mediante el uso de un programa computacional especializado representaron un ahorro energético real, y por medio del análisis de ciclo de vida queda demostrado también que hay un ahorro económico y sostenible, en mayor o menor medida, comparado con la vivienda en su estado actual, antes de la reconversión, por medio de los dispositivos propuestos en la simulación.

Otra conclusión a la que se llegó después de este proceso de investigación es que al analizar y evaluar las estrategias pasivas desde el marco del costo de ciclo de vida se abre un panorama económico relevante poco explorado a nivel local que podría resultar en proyectos sostenibles contundentes. Si bien el factor económico es determinante en la producción arquitectónica, un enfoque renovado lo representa decidir la forma del objeto y los elementos, sistemas constructivos y dispositivos que las integran, en función de su ahorro energético con la finalidad de que esto contribuya a disminuir la pobreza energética en la que viven las familias que habitan estas viviendas en nuestro país.

8. Recomendaciones

Una de las recomendaciones que se pueden establecer al concluir la presente investigación es proponer la implementación de las estrategias planteadas en conjunto o por separado en la reconversión de viviendas de interés social, pues como se demostró todas y cada una de ellas representan un ahorro significativo.

Además, es recomendable realizar un estudio que contemple el costo de ciclo de vida para valorar la posible réplica de las estrategias analizadas en el documento en viviendas de interés social que han sido construidas con las mismas características del caso de estudio, y que conforman fraccionamientos y unidades habitacionales de gran escala en la ciudad, con la finalidad de demostrar los ahorros energéticos y el impacto ambiental que esto representa para la ciudad.

Así también, es necesario seguir explorando diferentes escenarios posibles con otras estrategias no analizadas en este documento pero que de antemano sabemos que existen para la reconversión en edificios, tomando en cuenta que estas estrategias sean viables y que contemplen los pilares del desarrollo sostenible; lo económico, lo social y lo ambiental, pues hacer un análisis desde otra perspectiva y proponer estrategias que no contemplen los tres ámbitos del este, sería retroceder en el avance que aquí se planteó ya que la mayoría de las estrategias planteadas significó un ahorro en los tres pilares del desarrollo sostenible.

9. Bibliografía.

1. Arena, A (2015), *El Análisis de los Costos del Ciclo de Vida (Life Cycle Costing, LCC)*. Universidad Tecnológica Nacional.
2. Banco Nacional de México (2020). México. Recuperado de <https://www.banxico.org.mx/PortalTranspCompSistFin/>
3. Barragán J. (1994), *100 años de vivienda en México: Historia de la vivienda en una óptica económica y social*, Urbis, Internacional, S.A. de C. V.
4. Boardman, B. (2013). Fixing fuel poverty: Challenges and solutions. In *Fixing Fuel Poverty: Challenges and Solutions*. Earthscan.
5. Boles, Y. C. (2012). *Termodinámica*. McGraw Hill.
6. Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente, (1987). *Nuestro futuro en común (A/42/427)*. Recuperado de <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm>
7. Critchfield H., (1974). *General Climatology*. (3rd ed). Prentice Hall.
8. Dear, R. Brager, G. (1997). *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*, ASHRAE RP-884.
9. Espinosa F., Vieyra A., Garibay C. (2015), *Narrativas sobre el lugar. Habitar una vivienda de interés social en la periferia urbana*. Revista invi No. 84.
10. Fuentes, C. y Hernández, V. (2010). *La evolución espacial de los subcentros de empleo en Ciudad Juárez, Chihuahua (1994 – 2004): un análisis con indicadores de autocorrelación espacial global y local*. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 30(2), 433 – 467. México: El Colegio de México.
11. García, R., Graizbord B, (2016). *Caracterización espacial de la pobreza energética en México. Un análisis a escala subnacional*. *Sociedad y Territorio*, vol. Economía, Sociedad y Territorio, vol. XVI núm. 51, 2016, 289-337 XVI.

12. García A., Cadena j., Bojórquez G., Luna A., Vázquez J. (03 de octubre de 2011). *Confort térmico y consumo energético por uso de sistemas constructivos para muros, en Mexicali Baja California*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/315584401_
13. Gómez G., Bojorquez G., Pavel R., (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. PALAPA, 2(001), 45-57.
14. Groat, L. and Wang, D. (2002). *Architectural research methods*. Jhon Wiley & Sons.
15. Hernández P., (2013) Rompiendo el paradigma de los edificios inteligentes. (tesis doctoral) Universidad Nacional Autónoma de México.
16. Herrera, L., Ordoñez G., Peña, L. (2018). El abandono en la vivienda construida en serie en Ciudad Juárez. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. Vol. 5 No. 6, p.101.
17. Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (2020). México Recuperado de <https://portalmx.infonavit.org.mx/>
18. IMIP. (2016) Plan de Desarrollo Urbano sostenible de Cd. Juárez, Chihuahua. IMIP.
19. IMIP. (2016) Atlas de Riesgos Naturales y atlas de Riesgos Antropogénicos Cd. Juárez, Chihuahua. IMIP.
20. Maycotte E, Sánchez E, Chávez J, Moreno R, Gómez Á, (2015). *Movilidad social de propietarios de viviendas de interés social adquiridas en el periodo 2002-2010 en ciudad Juárez, Chihuahua, en términos de la vivienda y entorno urbano 2015*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
21. Ordoñez A., (2014). *Manual de Ayuda Design Builder en español*. Recuperado de http://files.designbuilder.cl/200000040-92fe693f9f/ManualDB-Espa%C3%B1ol_2014-12-03.pdf.
22. Peña, L. (2015). *Investigación en arquitectura habitabilidad y sustentabilidad*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

23. Pérez L, (2018). *Propuesta de acción pública para el desarrollo urbano sostenible del suroriente de Ciudad Juárez* (Tesis de Maestría), Colegio de la Frontera Norte.
24. Sánchez J., 2008. *La vivienda social en México*. México DF, México: Sistema Nacional de Creadores de Arte.
25. Saucedo R. (2015). *Enseñanza de la arquitectura sustentabilidad, proceso diseño y teoría*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
26. Szokolay S. (2008). *Introduction to architectural science. (2nd ed.) The basis of sustainable design*. Elsevier.
27. Velázquez G. (2017). *Reconversión sustentable de edificios*. Universidad Iberoamericana, A.C.
28. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=chih>

ANEXOS.

Anexo 1. Especificaciones de los dispositivos.

MORIEL DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: PARA SOL						Unidad : pza
Para sol para ventanas de seccion de 1.20 x .60 ms a base de madera y triplay de 3/4 asi como bisagras para controlar el movimiento del mismo						Cantidad : 0.84
						Precio U. : 640.57
						Total : 538.08
C	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	Total
Materiales						
	CLAVO MADERA 4	Clavo para madera de 4"	kg	0.20000	13.15	2.63
	TRIPLAY 3/4	Triplay de 3/4 una cara	m2	0.84000	150.00	126.00
	SIKA SEPAROL	Sika separol	litro	0.11600	33.08	3.84
	MADERA 1A	Madera de 1a	pt	6.25000	9.30	58.13
	BISAGRA BB31	Bisagras con balero Hager 4 1/2"x4 1/2"	PZA	2.00000	132.00	264.00
	ACEITE DORADO	Aceite de linasa	LT	0.20000	22.80	4.56
Total de Materiales						459.16
Mano de Obra						
	+ CARP 1+1	Cuadrilla CARP-1+1 (1 Oficial Carpintero + 1 Ayudante general + Mando intermedio + Herramienta mayor)	jor	0.07692	1,583.98	121.84
Total de Mano de Obra						121.84
Costo Directo						581.00
Indirectos (10.00%)						58.10
Indirectos de Campo (0.00%)						0.00
Subtotal						639.10
Financiamiento (0.13%)						0.83
Subtotal						639.93
Utilidad (0.10%)						0.64
Cargos Adicionales (0.00%)						0.00
Precio Unitario						640.57
** SEISCIENTOS CUARENTA PESOS 57/100 M.N. **						

Ilustración 1. Precio unitario alero y partesol. Fuente: Moriel Diseños y Construcciones, SA de CV.

MORIEL DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.

Análisis de Precio Unitario

CONCEPTOS

CLAVE: 12IMP-001

Impermeabilización y aislamiento térmico de azotea y/o pretiles a base de una capa de 2" de poliuretano esparcido densidad 3.0 lb/ft³ Bayseal, con un recubrimiento elastomérico de 32 milésimas Baylock, inc. Incluye: Preparación y limpieza de la superficie existente para recibir impermeabilización y aislamiento nuevo, bases de equipos, extractores, chimeneas, respiraciones y todo tipo de penetraciones en losa, botaguas y/o flashing en pretiles, elevación del material, materiales, desperdicios, mano de obra, herramienta y equipo necesario para su correcta ejecución, limpieza del área de trabajo y retiro de material sobrante fuera del sitio de la obra. Para este concepto se deberá presentar garantía por parte de la empresa adjudicada y responsabilidad de vicios ocultos por escrito, por un periodo mínimo de 10 años.

Unidad : m2
 Cantidad :
 P.U. : \$ 587.79
 IMPORTE : \$

C	Clave	CONCEPTO	Unidad	Precio U.	Cantidad	IMPORTE
Materiales						
	BAYSEAL	Bayseal poliuretano	m2	\$188.76	1.00000	\$188.76
	BAYLOCK	Baylock primer	m2	\$123.87	1.20000	\$148.64
Total de Materiales						\$337.40
Mano de Obra						
+	INST 1+1	Cuadrilla INST 1+1 (1 Oficial Instalador + 1 Ayudante generales + Mando intermedio + Herramienta menor)	por	\$1,730.77	0.08333	\$144.23
Total de Mano de Obra						\$144.23
						Costo Directo \$481.63
						Costo Indirecto (10.00%) \$48.16
						Subtotal \$529.79
						Costo Financiero (0.16%) \$0.85
						Subtotal \$530.64
						Utilidad (10.00%) \$53.06
						Subtotal \$583.70
						Gastos adicionales (0.70%) \$4.09
						Precio Unitario \$587.79

** QUINIENTOS OCHENTA Y SIETE PESOS 79/100 M.N. **

Ilustración 2. Precio unitario alero y partesol. Fuente: Moriel Diseños y Construcciones, SA de CV.

Ficha técnica ventas doble vidrio.

Especificaciones Generales	
Aleación	6063
Temple	5
Espesores de pared nominal	0.040"
Ancho de perfil nominal	2.25"
Resistencia estructural	20.0 psf lb/ft ²
Modelos	Corrediza OX/XO/XOX
Fuerza de operación	7 lbf
Filtración de aire ASTM E283 1.56 psf (25mph)	0.30 cfm/ft
Resistencia al paso de agua ASTM E547 5.00 gph/ft ² (galones por hora por pie cuadrado)	No fuga
Carga estructural ASTM psf (libras por pie cuadrado)	20.0
Carga estructural ASTM kg/m ²	97.60
Allanamiento AWM 301-90	Pasó grado 10
Dimensiones máximas de fabricación (cms)	260 x 140

Acabado

- Recubrimiento electrostático de espesor 0.003" (pintura)
- Pre-tratado de perfiles en once pasos incluyendo fosfato de cromo
- Cumple con los requisitos de la certificación AAMA 603.8 (American Architectural Manufacturers Association)
- Uniformidad de color y brillo
- Resistencia a la exposición prolongada en medio ambiente
- Resistencia a la corrosión (oxidación)

Atributos

- Diseño de acuerdo a norma AAMA/WDMA 101
- Diseño estético de estilo europeo de uniones a 45°
- Alta hermeticidad contra agua, viento y polvo
- Excelente aislante térmico en versiones de vidrio doble
- Compatible con diseños especiales
- Fácil reposición de cristales desde el interior

Accesorios

- Empaques de hermeticidad en uniones de marco
- Envidriado interior
- Espesores de cristal 3mm y 6mm
- Opción de vidrio doble 3mm - 9mm- 3mm
- Portavidrios de PVC rígido tipo GEON certificado AAMA mínima contracción y dilatación térmica
- Mosquitero desmontable por el interior en tela de fibra de vidrio
- Deslizadores de nylon en panel móvil
- Carretillas de bronce
- Felpas de hermeticidad continua Center Fin (certificada AAMA)
- Sistema de drenes con tapa y válvula
- Sistema interlock en traslapes
- Seguro central antiellanamiento al color del perfil
- Escuadra de alineación en nylon 6 de alta resistencia




Ilustración 3. Ficha técnica ventanas doble vidrio marca cuprum. fuente. <https://cdn.homedepot.com.mx/productos/>

Anexo 2

MODELO BASE + AP			
CONSIDERANDO UN AUMENTO DEL 5% ANUAL			
Y UNA TASA DE INFLACIÓN DE 4.03%			
AÑO	COSTO	CONSUMO ANUAL	VALOR FUTURO
1	\$ 0.88	6059.00	\$ 5,357.05
2	\$ 0.89	6059.00	\$ 5,406.87
3	\$ 0.90	6059.00	\$ 5,457.15
4	\$ 0.91	6059.00	\$ 5,507.90
5	\$ 0.92	6059.00	\$ 5,559.12
6	\$ 0.93	6059.00	\$ 5,610.82
7	\$ 0.93	6059.00	\$ 5,663.01
8	\$ 0.94	6059.00	\$ 5,715.67
9	\$ 0.95	6059.00	\$ 5,768.83
10	\$ 0.96	6059.00	\$ 5,822.48
11	\$ 0.97	6059.00	\$ 5,876.63
12	\$ 0.98	6059.00	\$ 5,931.28
13	\$ 0.99	6059.00	\$ 5,986.44
14	\$ 1.00	6059.00	\$ 6,042.11
15	\$ 1.01	6059.00	\$ 6,098.31
16	\$ 1.02	6059.00	\$ 6,155.02
17	\$ 1.03	6059.00	\$ 6,212.26
18	\$ 1.03	6059.00	\$ 6,270.04
19	\$ 1.04	6059.00	\$ 6,328.35
20	\$ 1.05	6059.00	\$ 6,387.20
21	\$ 1.06	6059.00	\$ 6,446.60
22	\$ 1.07	6059.00	\$ 6,506.55
23	\$ 1.08	6059.00	\$ 6,567.07
24	\$ 1.09	6059.00	\$ 6,628.14
25	\$ 1.10	6059.00	\$ 6,689.78
26	\$ 1.11	6059.00	\$ 6,752.00
27	\$ 1.12	6059.00	\$ 6,814.79
28	\$ 1.14	6059.00	\$ 6,878.17
29	\$ 1.15	6059.00	\$ 6,942.13
30	\$ 1.16	6059.00	\$ 7,006.70
		181770.00	\$ 184,388.44

