



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“UN SISTEMA EXPERTO DE LÓGICA DIFUSA PARA EVALUAR LA
SUSTENTABILIDAD DE EDIFICACIONES”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTAN

ALEJANDRO CHAVARRÍA ÁLVAREZ

RAÚL PÉREZ URBINA

JUAN CARLOS ROMERO OVANDO

DIRECTOR

DR. DAVID JOAQUÍN DELGADO HERNÁNDEZ

TOLUCA, MÉXICO 2019

CONTENIDO

RESUMEN	5
JUSTIFICACIÓN	7
HIPÓTESIS	8
OBJETIVO GENERAL	8
METODOLOGÍA.....	8
1. SUSTENTABILIDAD EN EDIFICACIONES.....	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Desarrollo sustentable.....	14
1.3 El desarrollo sustentable en el contexto mexicano	16
1.4 Edificaciones sustentables	20
1.5 Normas internacionales.....	24
1.5.1 BREEAM	24
1.5.2 DGNB	28
1.5.3 CASBEE	30
1.5.4 ISO 55000	34
1.5.5 NMX-AA-164-SCFI-2013 (Edificación Sustentable. Criterios y requerimientos ambientales mínimos).	35
1.5.6 LEED	36
1.6 Estrategias de manejo sustentable en edificaciones.....	40
1.7 Ventajas, desventajas y elección de las normas internacionales.....	41
1.8 Resumen.....	42
2. MANEJO DEL AGUA EN EDIFICACIONES SUSTENTABLES.....	43
2.1 Introducción	43
2.2 Manejo y control de agua en el sitio.....	44
2.3 Uso de sistemas para aguas grises	46
2.3.1 Plantas compatibles con aguas grises	49
2.3.2 Plantas perennes grandes	49
2.3.3 Plantas de desecho ecológico (plantas de humedal)	49
2.3.4 Plantas nativas y de bajo consumo de agua	50
2.4 Uso de sistemas biológicos en métodos de tratamiento de agua	50

2.5	Uso adecuado del consumo de agua del edificio	54
2.6	Estrategias para el ahorro y el uso eficiente del agua.....	55
2.6.1	En el interior del edificio	55
2.6.2	En el exterior del edificio	57
2.7	Uso adecuado de agua en torre de enfriamiento pasivo	58
2.8	Resumen.....	67
3.	MANEJO DE LA ENERGIA EN EDIFICACIONES SUSTENTABLES	69
3.1	Introducción	69
3.2	Ubicación del edificio para ahorro del consumo energético	73
3.3	Optimizar el envolvente del edificio para mejor rendimiento térmico	75
3.4	Proveer iluminación artificial combinada con iluminación natural.....	76
3.5	Proveer una adecuada instalación de iluminación artificial	78
3.5.1	El concepto de iluminación eficiente	79
3.5.2	Alumbrado de interiores	79
3.5.3	El proceso de diseño de iluminación	80
3.6	Maximizar el rendimiento de los sistemas mecánicos.....	83
3.7	Uso eficiente de los equipos y aparatos.....	87
3.8	uso de energías renovables u otras fuentes alternas.....	91
3.9	Resumen.....	98
4.	MANEJO DEL CONFORT DENTRO DE LAS EDIFICACIONES SUSTENTABLES	101
4.1	Introducción	101
4.2	Proveer un limpio y saludable ambiente al interior.....	103
4.3	Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos.....	111
4.4	Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno.....	115
4.5	Proveer buenas condiciones térmicas.....	117
4.5.1	Envolvente del edificio	118
4.5.2	Particiones interiores	118
4.5.3	Huecos	119
4.5.4	Puentes térmicos	120
4.6	Proveer buena iluminación y ventilación	122
4.7	Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones	125
4.7.1	Ruido	125

4.7.2	Vibraciones	129
4.8	Proveer adecuado desahogo visual al exterior	132
4.9	Resumen	134
5.	LÓGICA DIFUSA	137
5.1	Introducción	137
5.2	Conjuntos difusos y funciones características	138
	5.2.1 Principales funciones de pertenencia características en la lógica difusa	141
5.3	Inferencia difusa	144
5.4	Diagramas de bloques de un sistema de lógica difusa	147
5.5	Resumen	149
6.	DESARROLLO DEL SISTEMA DIFUSO	151
6.1	Introducción	151
6.2	Funciones de pertenencia	152
6.3	Reglas lógicas	155
6.4	Índice de sustentabilidad	163
6.5	Aplicación al caso 1 (estrategias para el manejo del agua)	165
	6.5.1 Manejo y control del agua del sitio	166
	6.5.2 Uso de sistemas de aguas grises	167
	6.5.3 Uso de sistemas biológicos en métodos de tratamiento de agua	167
	6.5.4 Uso adecuado del consumo de agua del edificio	168
	6.5.5 Uso adecuado de agua en torre de enfriamiento pasivo	169
6.6	Aplicación al caso 2 (estrategias para el manejo de la energía)	169
	6.6.1 Ubicación del edificio para ahorro del consumo energético	170
	6.6.2 Proveer iluminación artificial combinada con iluminación natural	171
	6.6.3 Proveer una adecuada instalación de iluminación artificial	173
	6.6.4 Maximizar el rendimiento de los sistemas mecánicos	174
	6.6.5 Uso eficiente de los equipos y aparatos	174
	6.6.6 Uso de energías renovables u otras fuentes alternas	175
	6.6.7 Optimizar el envoltente del edificio para mejor rendimiento térmico	176

6.6.8	Integrar los sistemas y reducir el uso del total de la energía	177
6.7	Aplicación al caso 3 (estrategias para el manejo del confort)	178
6.7.1	Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos	179
6.7.2	Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno 181	
6.7.3	Proveer un limpio y saludable ambiente al interior	182
6.7.4	Proveer buena iluminación y ventilación	183
6.7.5	Proveer buenas condiciones térmicas	184
6.7.6	Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones.....	185
6.7.7	Proveer adecuado desahogo visual al exterior.....	190
6.8	Análisis y discusión de resultados.....	193
6.9	Recomendaciones generales.....	194
6.10	Resumen.....	195
7.	CONCLUSIONES GENERALES	197
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	199
9.	ANEXOS.....	205
	Índice de figuras	205
	Índice de tablas.....	209
	Código fuente.....	210

RESUMEN

La presente tesis muestra como resultado final la elaboración de un sistema basado en Lógica Difusa (*software*) para evaluar la sustentabilidad en una edificación. Para la elaboración del mismo, en primera instancia se llevó a cabo un proceso de elección con algunas normas internacionales de certificación sustentable en edificaciones para determinar en cuál de ellas estaría basado el sistema programado.

Una vez estudiadas las normas, se llega a la determinación de que la más apropiada es la norma LEED (*Leadership In Energy and Enviromental Design*) debido a su influencia a nivel mundial y no solo en cierta zona geográfica. Posteriormente a la elección, se toman tres de sus siete parámetros a evaluar debido a que son los de mayor peso y para efectos de la presente investigación, dichos parámetros a evaluar son: Manejo del Agua en Edificaciones, Manejo de la Energía en Edificaciones y Manejo del Confort dentro de las Edificaciones.

Para cada una de ellas, en la investigación se presenta qué aspectos se evalúan, realizando una descripción acerca de lo que trata cada uno para un mayor entendimiento de los mismos y finalmente se muestra el desarrollo del software por medio del cual se obtiene un índice de sustentabilidad basado en Lógica Difusa. En capítulos finales se explica el proceso de toma de decisiones del sistema para que éste finalmente arroje un índice de sustentabilidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Frente a la reciente problemática global de crisis energética y ambiental se observa que existe una tendencia mundial a la construcción de edificaciones sustentables que respeten el medio ambiente. En este sentido, algunos países desarrollados como Estados Unidos, Alemania, Japón y Australia están implementando nuevas políticas en materia de sustentabilidad y uso eficiente de los recursos disponibles. Esto se ha traducido en la elaboración de nuevos programas, requerimientos técnicos y estándares internacionales. Uno de los más conocidos es el norteamericano que se denomina LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*), que incluye la certificación de edificios que cumplen con sus requerimientos.

La valoración LEED puede aplicarse en el diseño de proyectos sustentables, asegurando su calidad y eficacia en el largo plazo. En esencia, se considera la evaluación de los siguientes temas: terreno por edificar, eficiencia en el uso del agua y energía, interacción de la obra con la atmósfera, materiales y recursos sustentables, calidad del ambiente interior e innovación en el diseño. Además de las ventajas que representa el hecho de que los edificios sean amigables con el medio ambiente, este tipo de certificaciones también se traducen en ahorros de energía y, por lo tanto, en ahorros económicos para sus propietarios.

Aunque en Estados Unidos la certificación LEED de edificios se está convirtiendo en una práctica común, en México se trata aún de un ejercicio incipiente y sólo algunos dueños se han interesado en obtenerla. Dos ejemplos en la Ciudad de México son la Torre HSBC y el edificio SIEMENS y un tercero es el Centro Centrex L'Oréal en la entidad mexiquense, que es el primer complejo en América Latina con la certificación "Gold" en virtud de que cumple con todos los requisitos de la norma al 100% (Construcción21, 2017).

Uno de los problemas que enfrentan los administradores de edificios al momento de implementar LEED en sus inmuebles es que los puntos que se presentan en la norma son esencialmente cualitativos. Por ejemplo, en el rubro de estrategias de

confort al interior del edificio se manejan varios criterios como temperatura, ventilación e iluminación. Sin embargo, no se especifican rangos ni unidades para medirlas lo cual hace subjetiva una evaluación.

Para este contexto se hará uso de la lógica difusa la cual tiene dos significados diferentes. En un sentido estricto, la lógica difusa es un sistema lógico que es una extensión de la lógica de varios valores. No obstante, en un sentido más amplio, la lógica difusa es casi sinónimo de la teoría de conjuntos difusos, una teoría que se refiere a las clases de objetos con límites poco definidos en el que la pertenencia es una cuestión de grado.

Es aquí donde la presente investigación cobra relevancia.

JUSTIFICACIÓN

En contraste con la ventaja de contar con una cantidad que permita medir la “calidad”, “durabilidad” o “sustentabilidad” de un edificio mediante la percepción subjetiva de un individuo, hay dos limitaciones de un enfoque de evaluación cualitativa. En primer lugar, cada persona tiene distintos puntos de vista y lo que para alguien puede resultar agradable, para otro puede no serlo. En el caso de la temperatura, 25° C se clasificaría como caluroso para un residente de Toluca, pero como frío para uno de Cancún. En materia de iluminación 10,000 lux para un oficinista puede resultar suficiente, pero no para un bibliotecario.

En segundo lugar, las medidas y unidades empleadas para cuantificar lo que se desea medir, normalmente son arbitrarias, limitando la posibilidad de comparaciones. Un evaluador LEED podría considerar en términos absolutos el volumen de agua tratada en una edificación y otro especialista podría tener en cuenta un porcentaje.

Por ello, existe la necesidad de generar una herramienta que permita realizar la evaluación de los criterios establecidos en LEED cuantitativamente, en la cual se establezcan rangos bien definidos y unidades de medición claras para cada criterio, útiles al momento de llevar a cabo los peritajes. De esta forma, sin

importar quien ejecute la valoración, se tendrán resultados consistentes como consecuencia del uso de la herramienta. Así, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo almacenar el conocimiento de un conjunto de expertos en la evaluación LEED, dentro de un sistema cuantitativo que permita conocer el nivel de sustentabilidad de una edificación?

HIPÓTESIS

A través de la creación de un sistema experto de lógica difusa se puede cuantificar el nivel de sustentabilidad de una edificación.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema experto de lógica difusa que pueda dar un índice de sustentabilidad de una edificación de uso habitación o corporativo localizada en el Estado de México.

METODOLOGÍA

1. Revisar la literatura relevante en materia de certificaciones internacionales y nacionales enfocadas en el manejo sustentable de edificaciones.
2. Limitar el alcance de los criterios a evaluar, seleccionando los tres que se consideren como de mayor impacto en el contexto mexicano. Se ha optado por esta cantidad debido al número de autores del proyecto, ya que cada criterio demandará un esfuerzo importante de investigación.
3. Proponer rangos y unidades de medición para los rubros incluidos en los tres criterios elegidos, tomando como referencia normas, estándares, reglamentos y leyes relevantes. En el momento en que se redacta el presente protocolo, aunque podrían ajustarse en el futuro, se visualizan las siguientes estrategias: manejo del agua, manejo de la energía y confort.
4. Establecer los conceptos de la lógica difusa para la creación de un sistema experto que permita alcanzar el objetivo propuesto.

5. Desarrollar el sistema experto en base a la lógica difusa utilizando un software convencional para su programación (Tabla dinámica en Microsoft Excel).
6. Verificar la validez del sistema mediante su empleo en por lo menos dos casos de estudio en el Estado de México.
7. Emitir las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

1. SUSTENTABILIDAD EN EDIFICACIONES

1.1 Introducción

Un buen comienzo es definir claramente los términos que en lo sucesivo serán los pilares de este desarrollo temático, así bien se comenzará definiendo el término sustentabilidad, para lo cual varios autores han servido como apoyo, sin embargo, de entre este cúmulo de información se logró tomar los puntos clave de cada definición aportando a su vez partes faltantes en las mismas. Sustentabilidad se define como la capacidad de mantener un equilibrio de los recursos naturales del entorno, así como una administración eficiente y racional de los mismos con el objetivo de satisfacer las necesidades humanas actuales sin perjudicar las de futuras generaciones.

Ahora bien, integrando el término hacia la infraestructura y edificación se puede determinar que la sustentabilidad en edificaciones es la integración de estrategias enfocadas a adaptar un proyecto de obra civil al medio ambiente, promoviendo la utilización de técnicas dirigidas a mitigar el impacto ambiental y a conservar los recursos naturales provenientes del sitio.

Al formular la pregunta de dónde provienen estas técnicas, modelos y métodos es siempre importante y sobre esto agregamos además de los antecedentes ya mencionados, el gran papel que juega como en cualquier proyecto de ingeniería, “una necesidad”, que para nuestro caso surge a partir de las ideas de un desarrollo enfocado al cuidado del medio ambiente. Es entonces, donde se marca cronológicamente la preocupación de los seres humanos por realizar sus actividades cotidianas, pero bajo un esquema cada vez más riguroso de protección ambiental global.

Con este tipo de metodologías se busca reparar los problemas creados por nuestras mismas actividades de crecimiento, es decir, por la urbanización, los impactos que tienen la explotación de los recursos naturales no renovables, mal manejo de residuos, contaminación en todas sus vertientes, entre otros problemas. Por esta razón el uso de materias primas, productos, servicios y

procesos respetuosos con el medio ambiente durante la planeación, diseño, ejecución, puesta a punto, operación y cierre de una edificación son ya no de carácter importante, sino imprescindible el cual deberá ir creciendo y aplicarse tanto en estructuras nuevas, como también implementarlas en edificaciones existentes.

La civilización es el resultado de un gran número de puntos de inflexión que combinados han marcado el rumbo hacia donde hoy nos dirigimos y que claramente los últimos cambios de eras que a su vez decaen en un gran cambio de estilo de vida no han sido del todo buenos. Nos encontramos en un punto donde la falta de cuidado del medio ambiente, la naturaleza y todo aquello que provee las materias primas, para que nuestra vida sea como la conocemos, está generando un parteaguas en la sociedad, al romper todos los esquemas de vida en los demás campos biológicos, es decir, nos encontramos en un punto crítico como especie que claramente se acelera cada vez más y esto sólo por todas y cada una de nuestras acciones productivas demandantes de recursos.

Debido a lo anterior y por otras razones más, no podemos continuar por el mismo camino debido al enorme riesgo que tenemos enfrente de destruir todos y cada uno de los sistemas ambientales existentes. Cada individuo es responsable de sus actividades de generación que consumen ciertos recursos naturales pero en esta temática el problema se torna global y las soluciones que se desarrollen deben adoptarse de igual manera.

Actualmente se presenta como una necesidad, en parte básica, la de generar nuestras propias fuentes de energía, en razón de los antecedentes comentados pero sin restarle importancia a la continua caída de las economías globales así como la incapacidad de estabilizar los mercados mundiales y el control del gasto irracional de los recursos naturales que cada vez son menos.

La participación de quienes han provocado estos problemas, causa lo mencionado anteriormente, sin embargo, como todas las aportaciones innovadoras de cualquier índole, se debe hacer bajo un esquema riguroso de reglamentación para su cumplimiento.

Se pueden discernir dos etapas: la inicial, en donde se hacen los estudios de investigación y se preparara para la introducción en ciertos puntos cruciales y clave para su realce, es aquí donde se gratifica a quienes adoptan las tecnologías y el conocimiento promovido, pero no es hasta la segunda etapa en donde se toma la fuerza global requerida, se hace referencia a la globalización del conocimiento, técnicas, tecnologías e incluso normativa que será en su momento parte de la vida cotidiana de todos nosotros.

Buscar este nivel de aceptación debe ser preponderante aunque desgraciadamente las barreras de accesibilidad son altas, no obstante, con la presente investigación se busca contribuir a alcanzar este horizonte. En ambas etapas, tanto en la inicial con las gratificaciones burocráticas así como en la final con el compromiso normativo se tiene, por otro lado, la compensación energética, en donde las inversiones se traducen en ahorros, en ganancias y en una mejor calidad de vida y estancia dentro de infraestructura de este tipo, pero el trasfondo es la parte medular, es decir, la restauración del medio ambiente, la mitigación y posible eliminación de los daños provocados por las actividades económicas humanas.

Encontrar soluciones a esta crisis ambiental global es el punto crucial para poder seguir subsistiendo y cohabitando con el sinnúmero de especies que nos acompañan en el planeta; a estas metodologías, técnicas, sistemas, procesos y conjuntos de conocimiento que permiten dar salida a dichos conflictos los englobaremos conceptualmente en un “desarrollo sustentable”.

Al comienzo de la etapa final en la aplicación de la sustentabilidad y su globalización, se tendrá una marcada incertidumbre, que consiste en cómo medir cuan sustentable es en general cierta actividad o particularmente cierta edificación, para lo cual actualmente se ha comenzado a dar seguimiento para la resolución de este problema. Las aportaciones obtenidas son inicialmente de carácter empírico que evolucionan en componentes cualitativos que nunca se consolidan en proyecciones medibles que permitan obtener un parámetro de la sustentabilidad particular de cada proyecto.

A partir de esto se introducen incógnitas de cómo saber si es o no sustentable y si lo es, cuánto. Esto a su vez nos traslada a cuestiones como: ¿Qué medir de una edificación para considerarlo sustentable? Y consecuentemente, ¿Cómo medir estas características?, entre algunas otras, serán estas el parteaguas de la investigación.

Las diferentes normativas en el ámbito global nos muestran cómo realizar las valorizaciones para llegar a un momento en donde se puede percibir si una edificación es o no sustentable y si lo es, determinar cuánto; por otro lado, la percepción del individuo que realiza las mediciones y valorizaciones es arbitraria, mencionando que la misma normatividad no posee los parámetros correspondientes para determinar si un aspecto a evaluar es aceptable dentro de cierto marco legal. Es por esto que surge la necesidad de poder conceptualizar los aspectos a evaluar en términos de parámetros englobados en normatividades existentes aplicables para el correcto funcionamiento de los sistemas de producción y consumo de materias primas y a su vez energía, para así parametrizar cada uno de los aspectos a evaluar para proporcionar un nivel de sustentabilidad en la edificación basado en cuantificaciones sin ambigüedades basados en la normatividad aplicable.

1.2 Desarrollo sustentable

Anteriormente englobamos de manera sucinta la semántica perteneciente al desarrollo sustentable pero, por supuesto, hablaremos a fondo al respecto, iniciando con una descripción del surgimiento de estos nuevos conceptos, así como del papel que han jugado en nuestro país.

A lo largo de la historia se han acuñado y adoptado algunos términos para tratar de relacionar la edificación con el medio ambiente, los recursos naturales y su aprovechamiento sostenible.

En el presente texto, sin ánimos de realizar una exhaustiva reseña histórica, mencionaremos algunos de mayor realce. Inicialmente nos remontaremos a 1968, año en el que se planteó el compromiso de pactar un encuentro mundial sobre el

medio ambiente, esto durante la Conferencia Internacional de la Biosfera celebrada en París, sin embargo, fue hasta el año de 1972 durante la Conferencia de las Naciones Unidas acerca del medio ambiente en Estocolmo, donde Ignacy Sachs acuña el concepto de “ecodesarrollo”.

Más tarde, en los años ochenta, se fortaleció la utilización del término “desarrollo sostenible”, el cual tuvo una mayor aceptación por parte de los diversos grupos interesados en el tema que en ocasiones involucraban al desarrollo con términos como crecimiento; se marcó una gran diferencia en ese momento debido a que se planteaba que para tener desarrollo era necesario tener una alta calidad de vida de las personas, pero a su vez con el pertinente cuidado hacia el medio ambiente, mientras que el crecimiento solo se inclinaba a la acumulación de bienes y servicios.

En la década de los noventa las ideas de sustentabilidad se focalizan en dos vertientes que representan estereotipos diferentes de las cuales la “sostenibilidad débil” se centra en la idea que los economistas avalan la sustitución de capital natural por capital financiero, esto es, con el crecimiento económico se puede reparar el daño provocado al ambiente, mientras que por otro lado la “sostenibilidad fuerte” es apoyada por los ecologistas y científicos quienes comparten que dichos daños ambientales son irreversibles.

Particularmente, en el año de 1992, las ideas de desarrollo sustentable toman importancia al marco de la “Cumbre de la Tierra” realizada en Río de Janeiro, donde este concepto protagonizó algunos debates sobresalientes.

Si bien es claro que a pesar de los numerosos intentos por aproximar conceptualmente la idea de un claro desarrollo sustentable aún no se tienen claras algunas partes, sin embargo, lo único que si está firme es la “insostenibilidad” del sistema actual.

Buscar un equilibrio entre los sistemas económicos, el correcto funcionamiento de la sociedad lo que sustenta una buena calidad de vida y evidentemente el cuidado al medio ambiente es imprescindible por lo que así y solo así se puede llegar a un

óptimo desarrollo sustentable para lo que podemos conceptualizar este término como un *proceso que permite vincular una creciente mejora en la calidad de vida de la sociedad con el particular y constante apego hacia una ideología proteccionista del medio productor de recursos, es decir, todos y cada uno de los ecosistemas en los que nos desenvolvemos, lo cual permita un paulatino progreso del sistema económico base.*

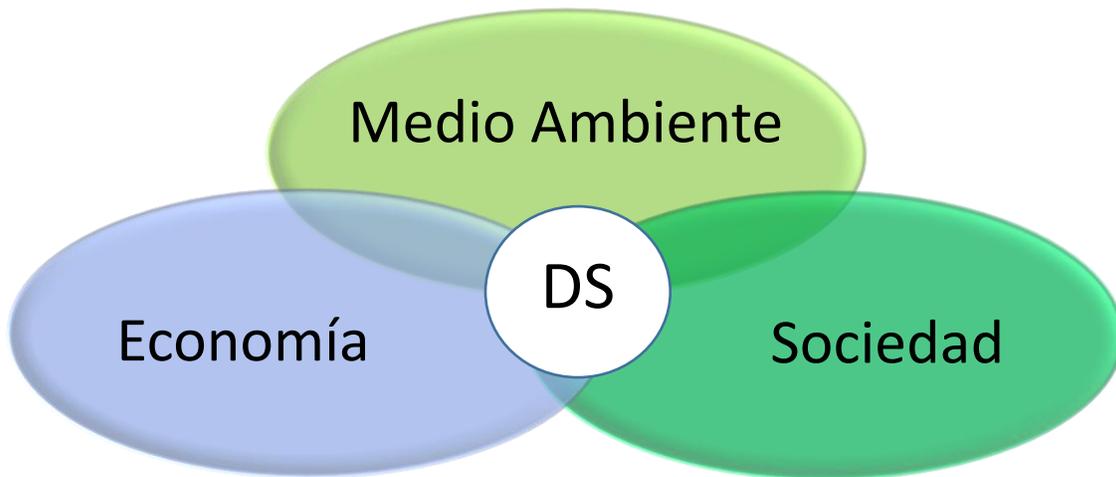


Figura 1. Desarrollo sustentable. Adaptado de: (Hernández-Moreno, Diseño y manejo sustentable en edificación, 2010)

1.3 El desarrollo sustentable en el contexto mexicano

A lo largo de la historia México se ha caracterizado, más aún desde la segunda mitad del siglo pasado, por presentar e investigar acerca de numerosas iniciativas para mitigar los impactos que las edificaciones producen al ambiente, así como de proyectos para el desarrollo de la sustentabilidad aplicada a las edificaciones e infraestructura. A continuación, haremos mención de algunos autores mexicanos que impulsaron el desarrollo sustentable en nuestro país y que bien vale la pena aludir a su esfuerzo; David Morillón, contemporáneo de la sustentabilidad en nuestro país, en su texto *Edificación Sustentable en México: Retos y Oportunidades* menciona la distinción de cuatro etapas que concentran la información y la presentan en los avances propios de cada una de estas etapas:

Etapa	Periodo	Características
Inicio	1950-1976	Integrar el diseño de infraestructura hacia un enfoque ambiental.
Auge	1976-1995	Cambio de conciencia hacia el cuidado del medio ambiente.
Cambio	1996-2000	Se presenta del diseño bioclimático al sustentable.
Contemporánea	2000-actual	Iniciativas y normativa para la edificación sustentable.

Tabla 1. Etapas de la edificación sustentable en México Adaptado de: (Morillón-Gálvez, 2011)

La diversidad conceptual que existe alrededor de la edificación sustentable es vasta, por lo cual a continuación mencionaremos algunos términos la margen de los trabajos de investigación que cada personaje logro desarrollar. Comenzamos en el año de 1967 con Ernesto Jáuregui O. quien trabajó con la concepción de los índices de disconfort por medio de la temperatura en condiciones normales y en condiciones con climas variables, principalmente los húmedos; este personaje, asumiendo su papel de pionero en el ámbito, desarrolló trabajos basados en el estudio del bioclima humano y el desarrollo urbano con enfoque bioclimático en ciudades del trópico.

Más tarde, durante los años 70 se tuvo una contribución importante por parte de los hermanos Arias con un prototipo de “Casa Ecológica Autosuficiente”, al cual se le denominó *Xochicalli*, de igual forma publicaron una serie de recomendaciones para el uso de las ecotecnologías. Por otra parte, durante la década de los 80, instituciones como la Universidad de Colima, la Universidad Autónoma de Baja California, la Universidad Autónoma Metropolitana y la Universidad Nacional Autónoma de México contribuyeron significativamente al desarrollo de la arquitectura bioclimática.

Durante los años 90 se impulsaron algunos posgrados como en Heliodiseño, en Arquitectura y Medio Ambiente, Diseño Bioclimático, entre otros. Además en el sureste del país en la Universidad Autónoma de Yucatán se llevaron a cabo trabajos a cerca de materiales de origen vegetal, simulación térmica de edificaciones y estudios de bioclima. Por su parte, en esta época, la Universidad Autónoma del Estado de México trabajaba en proyectos sobre regulación de temperatura en edificaciones, así como calentamiento en las mismas, esto motivado por las exigencias propias del clima de la ciudad.

Hacia el año 2000 se realizaron construcciones de casas en el norte del país con las aplicaciones de algunos de los trabajos desarrollados anteriormente, estos fueron sistemas de aprovechamiento de energía solar para climatización y calentamiento de agua, ventilación subterránea, reúso de aguas grises, tratamiento de agua y ahorro de energía eléctrica mediante dispositivos más eficientes.



Figura 2. Sistema de aprovechamiento de energía solar (Pinterest, 2016).



Figura 3. Proceso de reúso de aguas grises. (Hídrica, 2016)



Figura 4. Dispositivos para ahorro energético. (Arvizu, 2018)

A partir de estas aplicaciones se ha buscado, en primera instancia, cómo regular su uso para posteriormente hacer de observancia cada vez con mayor rigor y

obligatoriedad tanto en los edificios de mayor relevancia hasta el nivel vivienda para llevar esta ideología desde nuestros hogares hasta nuestro ámbito laboral. Dichas normatividades emergentes llegan a detonar el realce de la sustentabilidad no sólo en nuestro país sino en el mundo para impulsar el desarrollo de programas de certificación, los cuales se encuentran en constante evolución respondiendo a las exigencias propias de los también cambiantes impactos ambientales de las edificaciones. En este punto con dichos programas de certificación de edificaciones, se busca normar la consideración de temas como la eficiencia energética integral, el ya mencionado bajo impacto ambiental de las edificaciones y el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales para la producción de materias primas para la construcción de las edificaciones, lo que nos lleva a impactos ambientales de orden retrógrado como son, por mencionar algunos, la huella hídrica y de carbono en la producción de los materiales para la construcción, es decir, no sólo validar las acciones sustentables con las actividades directas de campo, más bien con las indirectas halladas en la proveniencia de los materiales usados. Si bien, se está trabajando por lograr que una certificación de este tipo no sea solo un *plus* en las edificaciones sino que represente actividades imprescindibles y aplicables para cualquier obra de infraestructura tanto privada como pública.

1.4 Edificaciones sustentables

Al paso de los años se han formulado diversas definiciones de lo que es una edificación sustentable, sin embargo, para que una edificación tenga esta característica se deben considerar distintos aspectos, los cuales se presentan en los procesos de diseño y construcción, a continuación, se mencionan algunos de estos criterios:

Respetar las condiciones y características del paisaje y contexto en el proceso de creación del edificio, desde su trazado hasta su construcción y mantenimiento.

Tomar en cuenta el ciclo de la vida de los edificios como auxiliar en el proceso de diseño.

Tomar en cuenta todas las características físicas del lugar como clima, viento, suelo y agua para hacer un proyecto acorde y con ventajas en el confort.

Requerimientos arquitectónicos básicos como los son: programas o partidas arquitectónicas, superficies, columnas, texturas, colores y otros.

En el proyecto se deben integrar los seis elementos principales del manejo de recursos en edificación: sitio, energía, calidad del interior del edificio, agua, materiales y desechos.

Cuando se diseñe un edificio desde el punto de vista sustentable no debe realizarse como una moda ecológica más bien como una verdadera necesidad.

Respetar y seguir las normas existentes que regulan la calidad de los edificios aunque en México y en muchos otros países todavía no existen normas y legislación completas acerca de la edificación ecológica, los responsables de diseño y construcción de los proyectos tienen la obligación de plantear propuestas de diseño sustentable sobre la base de criterios existentes en la materia.

El ciclo de vida del edificio inicia desde que es imaginado hasta el fin de su vida útil; este periodo contiene diversas etapas, a lo largo de las cuales el diseño sustentable se puede y debe hacer presente.

La siguiente figura muestra el ciclo de vida de los edificios:

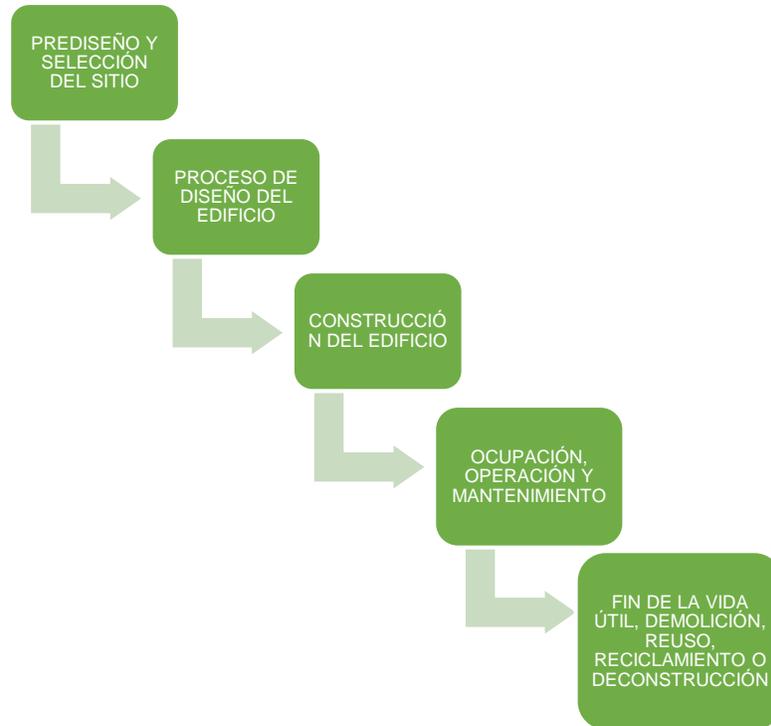


Figura 5. Ciclo de la vida del edificio y su relación con el proceso de diseño. Adaptado de: (Hernández-Moreno, 2010)

Para poder llevar a cabo este proceso existen varias recomendaciones, entre ellas se encuentran

Si el proyecto lo demanda será necesario seleccionar un buen equipo de trabajo que conozca temas y procedimientos de este tipo de edificaciones.

Se deberá nombrar un gerente de proyecto que interactúe con el dueño e integrantes del equipo, así como contratistas y consultores externos, esto para que haya una mejor armonía en la ejecución de los trabajos.

La integración del diseño se realizará por todos los miembros del equipo.

Utilizar la simulación por medio de software especializado para así poder anticiparse a los problemas y establecer soluciones desde el proceso de diseño.

Se debe considerar el manejo de recursos desde el planteamiento del diseño en sus primeras fases del ciclo de vida.

Diseñar la edificación para una larga vida útil, es decir, que sea durable, de bajo mantenimiento y de alto confort para los usuarios.

Cuando se trata de realizar un estudio muy amplio en numerosos edificios es recomendable establecer un caso de estudio base que sirva para todos los casos. (Hernández-Moreno, 2010)

Estas son algunas de las recomendaciones que se hacen para la elaboración de proyectos con enfoque sustentable por lo que es importante seguirlas ya que con esto se ahorrará trabajo, recursos y tiempo, debido a que desde un inicio se considera el enfoque en el proyecto y el equipo de trabajo tendrá una idea más clara del objetivo.

Todo lo mencionado anteriormente es para la elaboración de un diseño de proyecto sustentable, sin embargo, las edificaciones ya existentes también pueden tener este mismo enfoque sustentable.

Para ello se tienen que cambiar o modificar los modelos con los que funcionan estos edificios por lo que los trabajos a realizar son para una transformación y/o reconversión.

Si se llegara a tener esta transformación en las edificaciones del país se tendrían grandes beneficios económicos, ambientales y sociales, los cuales se mencionan a continuación:

- Plusvalía del valor comercial
- Aumenta el patrimonio y se aumenta el ciclo de vida de la edificación
- Menores costos de operación y mantenimiento (recibos de luz y agua)
- Cambiar la manera como se construye en México
- Cambio de Paradigma
- Demostrar con un caso real de éxito
- Predicar con el ejemplo siendo congruentes
- Edificio Museo (recorridos, conferencias y eventos)
- Edificio Escuela (cursos y seminarios)
- Centro comunitario de sustentabilidad.

1.5 Normas internacionales

1.5.1 BREEAM

Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (BREEAM) fue el primer sistema con más de 29 años en el mercado, diseñado para la evaluación, certificación así como de la verificación los aspectos de sustentabilidad ambiental en edificaciones en función de la tipología y uso del edificio.

Geográficamente BREEAM tiene más injerencia en el Reino Unido debido a que es su país de origen y se encuentra adaptado a la normativa local, sin embargo, cuenta con 270,000 edificios certificados en 63 países desde 1990.

Algo que destaca a BREEAM es que se basa en la figura de los asesores formados por el BRE (*Building Research Establishment*) quienes se encargan de aplicar los criterios de certificación.

El BRE fue fundado en 1921 y es una organización privada que lleva a cabo investigación, asesoramiento así como pruebas en los sectores de la construcción y el entorno construido.

El objetivo de la certificación BREEAM es otorgar una puntuación final después de aplicar un factor de ponderación ambiental que toma en cuenta la importancia relativa de cada área de impacto, en total son 10 áreas que se mencionan a continuación:

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

- Innovación (BREEAM ES, 2017)

Los niveles de certificación según la evaluación son los siguientes:

- *Pass* (Aprobado)
- *Good* (Bueno)
- *Very Good* (Muy Bueno)
- *Excellent* (Excelente)
- *Outstanding* (Sobresaliente)

A continuación, se mencionan solo algunas de las edificaciones acreditadas por BREEAM en España:

URBASER, S.A. (Grupo ACS): Naves Industriales en el Parque Central de Vehículos de Barcelona.

Año de certificación: 2017 (2da. etapa en proceso).

Ubicación: Barcelona, España.

Grado de certificación: Muy bueno.



Figura 6. (BREEAM, 2017)

**CEPSA (Compañía Española de Petróleos, SAU): Torre Cepsa en Castellana
259^a**

Año de certificación: 2019 (En proceso).

Ubicación: Madrid, España

Grado de certificación: Muy bueno



Figura 7. (BREEAM, 2017)

**Dirección General de Patrimonio: Ministerio de Asuntos Exteriores y
Cooperación (MAEC)**

Año de certificación: 2015.

Ubicación: Madrid, España

Grado de certificación: Muy bueno



Figura 8. (BREEAM, 2017)

1.5.2 DGNB

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges (DGNB), la institución responsable de su desarrollo es *German Sustainable Building Council (Asociación de Construcción Sostenible de Alemania)* en cooperación Ministerio Federal de Transportes, Obras Públicas y Desarrollo Urbano (BMVBS). (INGETECNIA)

Esta certificación permite la evaluación integral de los edificios sobre una base científica que está en constante evolución y puede ser utilizado en todo el mundo para una variedad de tipos de edificios.

Para evaluar los edificios se establecen seis áreas funcionales:

- Ecología
- Economía
- Aspectos socio-culturales y funcionales
- Tecnología
- Procesos
- Ubicación (INGETECNIA, 2017)

Dependiendo de la evaluación del nivel de rendimiento general serán otorgados:

- Oro (80%)
- Plata (65%)
- Bronce (50%)

Una de las ventajas de esta certificación es que hace un énfasis en la valoración económica y la evaluación del impacto sociocultural pero entre las desventajas está el alcance de esta certificación ya que solamente se da en Alemania y solo algunos países europeos se han hecho partícipes.

Badische Anilin- und Soda-Fabrik (BASF) es la principal empresa química del mundo y está buscando que su nuevo edificio D105 obtenga esta certificación.

Con este sistema busca comprobar que se cumplieron los altos estándares de construcción, uso y evalúa factores como ecología, economía y tecnología.

Edificio D105, BASF

Año de certificación: En proceso

Ubicación: Ludwigshafen, Alemania.

Grado de certificación: Oro

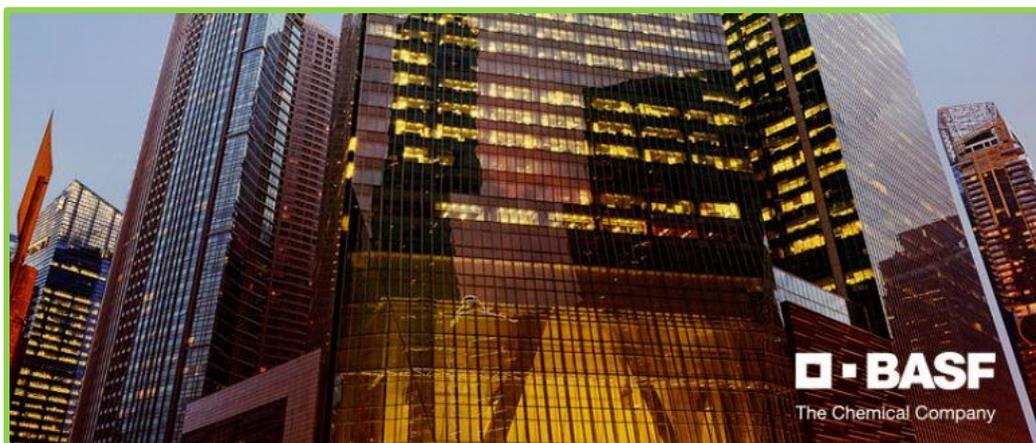


Figura 9. (CECODES, 2015)

1.5.3 CASBEE

Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE) es un sistema de evaluación y certificación para la edificación administrado por el *Institute for Building Environment and Energy Conservation* (IBEC) con sede en Japón. Fue fundada en el año de 2001 y su objetivo principal es el de contribuir al compromiso de Japón de disminuir sus emisiones de gases invernadero en un 25%; en el año 2008 ampliaron su visión y modificaron lineamientos una de las principales mejoras fue la generación de CO₂.

La certificación cuenta con los siguientes esquemas de validación:

- CASBEE para Pre-Proyecto
- CASBEE para Nuevas Construcciones
- CASBEE para Edificios Existentes
- CASBEE para Reformas

- Edificios de oficinas, escuelas, vivienda, etc.

Los criterios para la evaluación constan de dos rubros, en primera instancia se hablan de puntajes y por otro lado de resultado obtenidos.

Q (calidad) [Q]: Construyendo Calidad Ambiental y Desempeño: Valida la mejora en la calidad de vida de los usuarios del edificio, dentro del espacio cerrado hipotético (propiedad privada).

L (Cargas) [SL] Construyendo Cargas Ambientales: Valida los impactos ambientales negativos que van más allá del espacio hipotético cerrado para el exterior (la propiedad pública).

Posteriormente con estos dos puntajes anteriores se obtiene un indicador llamado *Built Environmental Efficiency* el cual se obtiene de la siguiente manera:

$$BEE = \frac{25 \times (SQ - 1)}{25 \times (5 - SLR)}$$

Finalmente, de acuerdo a este indicador se otorgan los grados de certificación que son los siguientes:

- Excelente (BEE=3.0 o mayor y cumpliendo que SQ=50 o mayor)
- Muy Bueno (BEE entre 1.5 y 3.0 y un SQ menor a 50)
- Bueno (BEE entre 1.0 y 1.5)
- Regular (BEE entre 0.5 y 1.0)
- Pobre (BEE menor a 5.0)

La desventaja de esta certificación es que, aunque el método dispone de la posibilidad de adaptarse a condiciones locales tales como la climatología o prioridades ambientales, está concebido para ser utilizado fundamentalmente en Japón, su lugar de procedencia y algunos otros países de área asiática, ya que tiene en cuenta aspectos singulares de estas zonas, como el efecto inducido por la sismicidad.

Asimismo, es necesaria e indispensable la participación de profesionales expertos en el método de evaluación, existen dos requisitos básicamente para ser un CASBEE-AP, el primero es ser un arquitecto de primer nivel (refiriéndose a la clasificación profesional de las entidades educativas de Japón) y aprobar los exámenes de acreditación.

Algunas edificaciones representativas de CASBEE son:

Edificio Corporativo NISSAN

Año de certificación: 2009.

Ubicación: Yokohama, Japón.

Grado de certificación: CASBEE Excellent.



Figura 10. (iStock, 2017)

Midland Square: Edificio Corporativo (Oficinas centrales de empresas como TOYOTA).

Año de certificación: 2007

Ubicación: Nagoya, Japón.

Grado de certificación: CASBEE Excellent.



Figura 11. (Japan-Guide, 2017)

Gate city Osaky - Tokyo: Complejo de usos mixtos.

Año de certificación: Re-certificado 2010.

Ubicación: Tokio, Japón.

Grado de certificación: CASBEE Excellent.



Figura 12. (HULIC, 2017)

1.5.4 ISO 55000

La Organización Internacional de Estandarización (ISO) en el año 2014 publicó la norma ISO 55001, la cual apuesta por el desarrollo de un Sistema de Gestión de la Energía (SGE) como medio para alcanzar una mayor eficiencia energética en las edificaciones.

Esta norma se basa en el enfoque PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) y en términos generales se deben realizar las siguientes acciones:

Analizar el consumo de energía pasado, presente y futuro

Generación y seguimiento de la línea base energética

Definir indicadores de desempeño energético

Plantear objetivos y metas para el SGE

Seguimiento a los planes de acción

Programa de auditorías internas

Revisión gerencial (Gerencia de edificios, 2014)

Esta norma es compatible con el resto de normas de sistemas de gestión integrados, como Calidad (ISO 9001), Medio ambiente (ISO 14001), Seguridad (ISO 45001), Eficiencia Energética (ISO 50001), etc.

1.5.5 NMX-AA-164-SCFI-2013 (Edificación Sustentable. Criterios y requerimientos ambientales mínimos).

Se debe entender primero el concepto de una norma mexicana la cual tiene como principal objetivo prever para un uso común y repetido reglas, especificaciones, atributos, métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas reglas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado.

Esta norma establece criterios y requerimientos ambientales mínimos para que la edificación contribuya al bienestar de los ocupantes, a la mitigación de impactos ambientales y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, explica la SEMARNAT (Obras WEB, 2013).

La Norma Mexicana Edificación Sustentable es un instrumento de política ambiental que contiene especificaciones técnicas más estrictas que las normas oficiales mexicanas (NOM's) o que se refieren a aspectos no previstos por estas, las cuales son establecidas de común acuerdo con particulares o con asociaciones u organizaciones que los representes, con estricto apego a la Ley Federal de Metrología y Normalización.

Esta norma mexicana, de aplicación *voluntaria* a nivel nacional, especifica los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable para que contribuya al bienestar de los ocupantes, a la mitigación de impactos ambientales y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Aplica a las edificaciones y sus obras exteriores, ya sean individuales o en conjuntos de edificios, nuevas o existentes, sobre una o varios predios, en arrendamiento o propias.

Se aplica a una o varias de sus fases: diseño, construcción, operación, mantenimiento y demolición, incluyendo proyectos de remodelación, renovación o reacondicionamiento del edificio

La principal desventaja de esta norma es que es de carácter voluntario por lo tanto al momento no hay proyectos o edificaciones donde se haya ejecutado.

1.5.6 LEED

Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) es una certificación independiente que otorga US Green Building Council desde el año 2000 a las edificaciones que utilizan estrategias enfocadas al cuidado del medio ambiente y la salud o, como comúnmente, le llaman “autosustentables”.

LEED hace hincapié en el confort de los ocupantes, los problemas internos de la contaminación, los efectos del calor y está especialmente indicado para espacios que utilizan ventilación mecánica y aire acondicionado y donde la infraestructura existente promueve el uso de automóviles.

Se pueden alcanzar 4 tipos dependiendo de la puntuación que la construcción obtenga:

- Certificación LEED: 40 a 49 puntos
- Certificación LEED Plateada: 50 a 59 puntos
- Certificación LEED Oro: 60 a 79 puntos
- Certificación LEED Platino: 80 o superior (VEO VERDE, 2014)

Los créditos se clasifican en siete familias y cada una reúne créditos relacionados con su categoría. Las familias son:

- Ubicación y transporte.

Presta atención en incentivar de transporte alternativo (bicicletas, autos híbridos, transporte público) enfocado a la disminución del uso del auto común.

- Sitios Sustentables.

Los créditos de esta categoría se refieren a los agentes que impactan dentro del entorno exterior, como evitar la sedimentación y erosión, restauración del hábitat, tratamiento de agua de lluvia, entre otras estrategias.

- Eficiencia del agua.

Los créditos de esta familia se basan en el aprovechamiento óptimo del agua, su tratamiento, captación, reutilización, ahorro y su desecho correcto.

- Energía y atmósfera.

Esta familia es la que toma más créditos dentro de la escala LEED. Procura una utilización óptima de la energía, la fuente de la misma y cómo el aprovechamiento de energía impacta en la comunidad.

- Materiales y recursos.

Esta familia de créditos toma en cuenta el origen de los materiales en la construcción, dando prioridad a materiales reutilizados. Además, evalúa la manera en que los residuos propios de la construcción son manejados.

- Calidad de ambiente interior.

Familia enfocada en el bienestar de los ocupantes del inmueble a través de estrategias que influyan en su salud y bienestar así como acciones que procuren una renovación del aire interior a través de una adecuada ventilación, libre de químicos o humo de tabaco, el aseguramiento de un ambiente interior con una temperatura confortable, entre otros aspectos.

- Innovación.

Esta familia de créditos se basa en el compromiso constante de mejora de las estrategias implementadas.

- Prioridad regional.

Con la finalidad de eliminar que la huella de carbono aumente debido al transporte de materiales que se fabrican a distancias largas, las estrategias empleadas con materiales y soluciones regionales merecieron una familia de créditos.

Esta certificación es la más recurrida en México, hasta el momento existen más de 140 proyectos registrados en la certificación LEED. A continuación, se hace mención de algunas edificaciones que ya han sido certificadas:

Centro Centrex L'Oréal

Año de certificación: 2010

Ubicación: CDMX, México.

Grado de certificación: GOLD.



Figura 13. (Construction 21, 2017)

Torre HSBC

Año de certificación: 2006

Ubicación: CDMX, México.

Grado de certificación: GOLD.



Figura 14. (ABILIA, 2017)

Lexmark LCCP Building

Año de certificación: 2010

Ubicación: Ciudad Juárez, México.

Grado de certificación: GOLD.



Figura 15. (LEXMARK, 2011)

Estas son algunas de las certificaciones más importantes que hay alrededor del mundo, todas tienen diferentes perspectivas y con esto distintas estrategias de evaluación y calificación, sin embargo, todas cuentan con un objetivo en común que es el promover la edificación sustentable para la protección del medio ambiente.

Para fines de esta investigación se utilizará como base la certificación LEED, más adelante se detallarán las ventajas que esta tiene.

1.6 Estrategias de manejo sustentable en edificaciones

Como se mencionó anteriormente, existen diversas recomendaciones para el manejo de las edificaciones sustentables, muchas de estas son en la etapa de diseño, ahora se darán a conocer las estrategias que más comúnmente se utilizan.

Esto se resume a elaborar un plan o programa general de diseño, en donde se involucran las estrategias y consideraciones técnicas que deben tomarse en cuenta. Este plan debe contener lo siguiente:

Objetivos que se desean alcanzar empleando las consideraciones técnicas de tipo sustentable en el proyecto.

Incluir estudios y documentos que se pueden derivar del manejo sustentable de cada uno de los rubros.

De acuerdo con los alcances de la presente investigación y debido a la gran amplitud que nuestro marco normativo de referencia tiene, se acota a trabajar únicamente con tres rubros de la certificación LEED, los cuales son los más representativos debido a su alto impacto en el puntaje final del índice de sustentabilidad a obtener. Estos son: uso eficiente del agua, uso eficiente de la energía y manejo del confort en la edificación.

1.7 Ventajas, desventajas y elección de las normas internacionales

Como ya se mencionó al final del punto 1.5, la certificación que se utilizará como referencia es LEED, de la cual las principales ventajas de esta metodología frente a las demás son las siguientes:

- El método está dotado de una alta credibilidad a nivel internacional debido a que en la actualidad hay varios millones de m² de edificios registrados y certificados distribuidos por todo el mundo.
- Es un método que dispone de varias decenas de miles de profesionales acreditados en el mundo entero y entre sus miembros se cuentan más de 15,000 organizaciones.
- El método contempla el ciclo de vida total del proyecto y certifica edificios acabados y en funcionamiento, a diferencia de otros métodos que hacen certificaciones basadas exclusivamente en el diseño.
- LEED no forma a los calificadores, sin embargo, se concede un crédito adicional si en el proceso interviene un profesional acreditado.

- La certificación tiene un mayor sentido en una política corporativa global.
- El Consejo Mexicano de Edificación Sustentable es el organismo que difunde el sistema LEED en México. Al ingresar como miembro de este Consejo, uno se convierte en parte del proceso de cambio hacia una industria constructora más sustentable y ecológicamente responsable.

1.8 Resumen

En este primer capítulo se mencionaron todos los pormenores de lo que es la sustentabilidad y cómo se puede aplicar así como las características que debe cumplir una edificación que quiera pertenecer a esta índole, también se mencionaron algunas de las certificaciones que existen en el mundo que ayudan a avalar el índice que tiene cada edificio y cuál de estas se tomará como base para el desarrollo del sistema experto propuesto.

En los siguientes capítulos se detallará y explicará en qué consisten las estrategias que se incluirán en el sistema experto como son manejo de agua, energía y confort dentro de la edificación.

2. MANEJO DEL AGUA EN EDIFICACIONES SUSTENTABLES

2.1 Introducción

El constante crecimiento de la población mundial es un fenómeno bien conocido, Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) esta cifra puede alcanzar 9 mil millones de personas en todo el planeta en el año 2050 y 3 mil millones de personas más vivirán en las ciudades.

El aumento en la demanda de agua que generará el crecimiento poblacional sumado a la creciente escasez y elevada explotación de las fuentes tradicionales de extracción permite considerar la falta de agua a futuro como un problema actual. Todo lo anterior, aunado al cambio climático y sus consecuencias, conforman tres de las amenazas más importantes que componen la problemática mundial del agua.

Se puede afirmar que si los niveles de consumo se mantienen tal como están (demanda creciente debido al aumento de población), llegaremos a un punto en que ya no habrá agua para todos.

El problema es serio pero todavía hay tiempo para resolverlo mediante una de las dos vías de solución posibles o una combinación de ellas, estas son:

- Aumentar la oferta de agua
- Disminuir la demanda

Para aumentar la oferta se requieren fuentes alternativas, ya que las fuentes tradicionales están prácticamente agotadas (pozos, manantiales, ríos, entre otros). Las fuentes alternativas son costosas tanto para la población, económicamente hablando, como para el medio ambiente.

La otra opción, disminuir la demanda, depende de dos factores:

- Disponibilidad de recursos técnicos, los cuales serían, por ejemplo, aparatos ahorradores de agua.

- Factores sociales, como por ejemplo el fomento de la concienciación social en el ámbito doméstico.

En la presente investigación, para el manejo del agua en la edificación, se trata de disminuir la demanda pero sin descuidar la satisfacción del usuario, para eso se propondrán diversas herramientas ahorradoras de agua, es decir, la disminución de la demanda pero que brinden el mismo resultado.

Se busca lograr la optimización entre generar un gasto menor de agua, pero obteniendo los mismos resultados o realizando las mismas actividades cotidianas en las que como seres humanos utilizamos el agua, para ello se deberá buscar también la forma de reutilizar las aguas grises propias de la edificación lo que impactará de buena forma en el propósito que se tiene de disminuir la demanda para el usuario.

2.2 Manejo y control de agua en el sitio

El agua es un recurso imprescindible para la vida y para el funcionamiento de los ecosistemas. Los seres humanos han utilizado el agua de acuerdo a sus necesidades y en su aprovechamiento han introducido ciertos cambios en el ciclo hidrológico. Estos cambios afectan tanto la disponibilidad como la calidad del agua.

Existe un modo de abordar las problemáticas hidrológicas que se denomina Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Este enfoque, plantea un tratamiento de las cuestiones hidrológicas de una manera integradora. La Asociación Mundial del Agua define la GIRH como *“un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”* (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2013).

En el capítulo anterior se manejó la definición de sustentabilidad, tomándola en cuenta, se sostiene que el agua es el recurso en la actualidad que debe ser utilizado de modo tal que pueda ser aprovechado con buena calidad y en cantidad

suficiente por las futuras generaciones. Para lograrlo, es necesaria la solidaridad y cooperación de todos los actores involucrados, con distinto grado de participación y de responsabilidad, en la gestión del agua.

La creciente demanda de agua dulce y los conflictos en la demanda de recursos hídricos en áreas densamente pobladas son problemas de importancia que enfrentan la mayoría de los países y regiones. Además, en la actualidad se observa la difícil complementariedad entre muchas acciones públicas en el sector agua, por ejemplo, que deben tener en cuenta un aumento de la demanda efectiva, lograr mayor productividad de forma sustentable y garantizar la protección del medio ambiente asociado.

Lo anterior conduce al deseo de mejorar la calidad del agua y además querer ahorrarla en una edificación, teniendo en cuenta que no es muy tomado en cuenta este aspecto por el sector público y se observa difícil que desde ahí se puedan tomar cartas en el asunto, pero ¿Qué instrumentos pueden motivar ahorros de agua en una edificación? A continuación, se hace mención de los más comunes para los distintos muebles sanitarios:

Lavabos, fregadero y/o llaves:

- **Perlizadores.** Son dispositivos de ahorro de agua que se incorporan a la tubería existente, reducen drásticamente el consumo de agua y la energía empleada en su calentamiento. Su funcionamiento se basa en la mezcla de aire y agua por efecto de la presión, produciendo un chorro de agua suave y sin salpicaduras. Con los perlizadores se consigue un ahorro de agua y la energía empleada en su calentamiento entre el 43 y 64% sobre las tuberías tradicionales. (La Tienda del Ahorro de Agua, 2013)
- **Aireadores.** Permiten mezclar el agua con aire reduciendo el caudal, lo que no significará que tengas que disminuir el confort ni la sensación de cantidad de agua. Aunque no lo creas, te permitirán ahorrar un 50% de agua. (EcoInventos, 2018).

Regaderas

- **Limitadores de caudal.** Empleados en las duchas, son dispositivos de ahorro de agua a los que no les afecta la presión de trabajo. Se fabrican en caudales de 5 a 10 l/min, y pueden ser giratorios o fijos. Se colocan entre el grifo y el flexo. Con los limitadores de caudal se consigue un ahorro de agua y la energía empleada en su calentamiento entre el 38 y 69%. Válidos para duchas fijas y duchas de mano.
- **Reductores volumétricos de caudal.** También para duchas, pero que no posean una función economizadora. Se fabrican en caudales de 5 a 12 l/min, pueden ser giratorios o fijos y se colocan entre el grifo y el flexo. Con los reductores de caudal se consigue un ahorro de agua y la energía empleada en su calentamiento entre el 25 y 69%. A diferencia de los limitadores o reductores de caudal de flujo constante, éstos son sensibles a variaciones de presión. Válidos para duchas fijas y duchas de mano. (La Tienda del Ahorro de Agua, 2013).
- **Mecanismos para cisternas.** Pueden ser de dos tipos, un mecanismo de descarga de doble pulsador y otro mecanismo de descarga por contrapesos. Permiten realizar dos descargas, una parcial y otra total, regulando las mismas de 2 a 12 litros. Generan un ahorro de agua de entre el 40 y 70%.
- **Válvulas de seguridad.** Son dispositivos cuyo objeto es vaciar el contenido del agua retenida en el interior de la tubería del flexo de ducha, tras el uso de la misma. Tienen la opción de integrar un limitador de caudal de 8 ó 10 l/min. Destacan por su construcción robusta y fabricación con materiales de alta calidad. (La Tienda del Ahorro de Agua, 2013)

2.3 Uso de sistemas para aguas grises

En este apartado se hablará de la importancia de las aguas grises, cómo y cuándo utilizarlas, dónde no usarlas, qué productos usar y las plantas que con ella pueden ser regadas. Con la finalidad de que si se desea implementar un sistema para

aprovecharlas, el usuario tenga una idea de cómo hacerlo y qué plantas se benefician de ellas.

Las aguas grises son aguas provenientes de las lavadoras, regaderas, tinas y lavabos. Son aguas residuales que tuvieron un uso ligero, pueden contener jabón, cabello, suciedad o bacterias, pero que están suficientemente limpias para regar las plantas. En algunos lugares, el agua de la tarja de la cocina es considerada agua gris, mientras que en otros lugares es clasificada como “aguas negras” lo mismo que el agua del inodoro. El agua proveniente del inodoro, así como el agua del lavado de pañales, no debe ser considerada aguas grises (Allen, 2015). Tampoco pueden ser consideradas como aguas grises aquellas que provengan de un lavabo que reciba productos químicos ni de casas que usen descalcificador de agua a base de sodio.

Reutilizar las aguas grises es un factor de gran peso en las prácticas sustentables del uso de agua, hay muchos beneficios en el uso de las aguas grises en lugar de agua potable para el riego.

Algunos de ellos son:

- Disminuir el uso de agua potable de 16% a 40%, dependiendo del sitio y el diseño del sistema.
- Disminuir el monto de los recibos de agua.
- Reducir las necesidades de energía y químicos usados para tratar las aguas residuales. (Allen, 2015)

Otro beneficio de usar aguas grises es que concientiza de nuestras fuentes de suministro de agua, ayudándonos a comprender de dónde es que viene el agua que consumimos y a dónde va dirigida. Al reutilizar las aguas grises de una edificación preservamos los recursos de agua para otros seres vivos.

Las aguas grises son de mucha utilidad si se requiere hacer que una edificación sea sustentable, sin embargo, también existen recomendaciones a seguir para su uso ya que el utilizarlas implica ser más precavidos.

Las recomendaciones se muestran a continuación:

- No almacenar las aguas grises por más de 24 horas. Si las aguas grises se almacenan, los nutrientes que hay en ellas empezarán a descomponerse y generarán malos olores.
- Minimiza el contacto con las aguas grises. Las aguas grises pueden contener patógenos. Todos los sistemas deben ser diseñados para que el agua sea absorbida en el suelo y no esté al alcance de los animales ni de las personas.
- Infiltra las aguas grises en el suelo: no permitas estancamiento. Necesitas saber qué tan rápido se absorbe el agua en tu suelo para diseñar un sistema adecuado. Las aguas grises estancadas proporcionan oportunidades de reproducción de mosquitos, así como el contacto con animales y seres humanos.
- Ajusta la cantidad de aguas grises directamente a las necesidades de riego de tus plantas. (Allen, 2015)

Las aguas grises pueden ser una fuente de buena calidad para el agua de riego o un peligro para las plantas: todo depende de los jabones y productos que se usan dentro de la edificación.

Un sistema bien diseñado encuentra el equilibrio entre la cantidad de aguas grises disponible y la cantidad de irrigación de agua necesaria para las plantas. Debido a que la cantidad de aguas grises y el agua que las plantas necesitan fluctúa, la meta del diseño es encontrar el punto de acoplamiento óptimo: regar la mayor cantidad de plantas posible, mientras se mantengan saludables. En los tiempos de lluvia cuando las plantas no necesitan riego, se puede cerrar el sistema de riego de aguas grises o, en suelos bien drenados, dejarlo abierto. La cantidad de aguas grises que pasa por los sistemas es mínima si se llega a comparar con una tormenta de lluvia.

2.3.1 Plantas compatibles con aguas grises

Para el riego con aguas grises, las plantas grandes son más adecuadas que las plantas pequeñas. Un árbol o arbusto con un área de raíz extensa aguantan mucho mejor las fluctuaciones en la cantidad de agua que reciben que las plantas pequeñas. Las plantas grandes también necesitan más agua que las pequeñas, haciendo más fácil distribuir cantidades mayores de aguas grises para una menor cantidad de plantas (Allen, 2015).

Algunas áreas del jardín no son adecuadas para el riego con aguas grises, como el césped o áreas llenas de plantas pequeñas. Ahora se mencionan algunas plantas que son perfectamente compatibles con aguas grises.

Estas son las plantas más fáciles de regar con aguas grises:

- Árboles. Los árboles frutales (o cualquier árbol) adaptados a tu clima local prosperan con riego de aguas grises.
- Arbustos y matorrales. Los arbustos y matorrales propios de tu región son fáciles de regar con aguas grises. Considera las variedades frutales o encuentra algunas para crear un hábitat benéfico para pájaros e insectos.
- Enredaderas. Enredaderas comestibles, como el maracuyá o el kiwi, son atractivas y producen frutas.

2.3.2 Plantas perennes grandes

Los vegetales perennes, que se producen año tras año sin necesidad de ser replantados (como la alcachofa, nopal o chayote) son una adición productiva para cualquier jardín. Las plantas florales proveen hábitat para pájaros y mariposas.

2.3.3 Plantas de desecho ecológico (plantas de humedal)

Si se tiene abundante agua de riego y no se requiere ser consciente del uso de agua en un jardín, puedes considerar sembrar plantas de humedal, prosperan con riego frecuente y abundante de aguas grises.

Es más fácil dirigir una porción de aguas grises para regar un humedal, que vaciar todas las aguas grises en él y luego regar otras plantas con el agua que fluye del

humedal (los humedales suelen usarse para procesar las aguas grises en lugares sin necesidades de riego u opciones sépticas o de drenaje, y en este diseño fluyen todas las aguas grises a través del humedal). Los humedales en los jardines traseros son propensos a obstruirse, lo que impide que las aguas grises salgan de ellos.

2.3.4 Plantas nativas y de bajo consumo de agua

Las aguas grises también se pueden utilizar para regar las plantas nativas y tolerantes a la sequía pero se debe tener cuidado de no regarlas en exceso. Estas plantas pueden sobrevivir sequías típicas en su clima aunque lucirán mejor durante los tiempos secos con un poco de agua extra (por esta razón mucha gente las riega). Diseña un sistema de aguas grises para distribuir el agua sobre la mayor cantidad posible del jardín.

En cuanto a la regulación de las aguas grises, su uso es legal en muchos países, por ejemplo, el código de California (desde agosto del 2009) permite la instalación legal de sistemas de aguas grises de bajo costo, incluso algunos sin la necesidad de tramitar un permiso. Las regulaciones para el estado de California para los sistemas residenciales de aguas grises pueden encontrarse en el capítulo 16 del Código de Plomería de California del 2013 (Allen, 2015).

2.4 Uso de sistemas biológicos en métodos de tratamiento de agua

El tratamiento biológico de aguas residuales se lleva a cabo mediante una serie de importantes procesos que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. Estos procesos aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento.

Cuando se reproducen, se agregan entre ellos y forman unos flóculos macroscópicos con suficiente masa crítica como para decantar en un tiempo razonable.

La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal así como la eliminación de compuestos que contienen nitrógeno y fósforo. Es uno de los tratamientos más habituales, no sólo en el caso de aguas residuales del hogar, sino en buena parte de las aguas industriales, por su sencillez y su bajo coste económico de operación (Condorchem Envitech, 2017).

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente nitrógeno y fósforo, y, por último, en el caso de sistemas aerobios, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. El oxígeno no es imprescindible, ya que los microorganismos son capaces de degradar la materia orgánica también en condiciones anaerobias. Este aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente.

En el metabolismo celular juega un papel fundamental el aceptor final de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas residuales. Atendiendo a cuál es dicho aceptor final de electrones se distinguen tres casos:

- **Sistemas aerobios:** El oxígeno es el aceptor final de electrones preferido por cualquier célula. Si existe oxígeno en el medio, éste será el aceptor final de electrones, lo que conlleva que se obtengan rendimientos energéticos elevados y una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias en condiciones aerobias (Condorchem Envitech, 2017).
- **Sistemas anaerobios:** En este caso el aceptor final de electrones es la propia materia orgánica que actúa como fuente de carbono. Como resultado de este metabolismo, la mayor parte del carbono se destina a la formación de subproductos del crecimiento (biogás, que es CO₂ y metano) mientras que la fracción de carbono utilizada para la síntesis

celular es baja. De cara al tratamiento, este hecho supone una doble ventaja: se produce poca cantidad de lodos a la vez que se produce biogás, el cual puede ser revalorizado (Condorchem Envitech, 2017).

Normalmente se aprovecha para producir energía eléctrica, la cual se auto consume en la propia instalación.

- **Sistemas anóxicos:** Se denominan así los sistemas en los que el aceptor final de electrones no es el oxígeno ni tampoco la materia orgánica. En condiciones anóxicas el aceptor final de electrones suelen ser los nitratos, los sulfatos, el hidrógeno, etc. Cuando el aceptor final de electrones es el nitrato, como resultado del proceso metabólico, el nitrógeno de la molécula de nitrato es transformado en nitrógeno gas. Así pues, este metabolismo permite la eliminación biológica del nitrógeno del agua residual (desnitrificación) (Condorchem Envitech, 2017).

Al tomar en cuenta todos estos aspectos existe una gran variedad de formas de operar, dependiendo de las características del agua, así como de la carga orgánica a tratar. Los criterios que ayudan a seleccionar si es más conveniente un proceso aerobio, o bien, si un proceso anaerobio será mayor provechoso, son la concentración de materia orgánica a eliminar, si es necesaria la eliminación de nitrógeno, la disponibilidad de espacio físico y la relación entre el OPEX (Costos de explotación) y el CAPEX (Costos de inversión) del proyecto (Condorchem Envitech, 2017). En la siguiente tabla se puede observar cómo en función de estos criterios, qué tipo de proceso (aerobio o anaerobio) es más conveniente:

Concepto	Aerobio	Anaerobio
Concentración de materia orgánica	DQO ¹ ≤ 3.00 mg/L	DQO ¹ ≥ 3.00 mg/L
Espacio requerido	Muy elevado	Pequeño
Eliminación de nutrientes	Posible	No es posible
CAPEX	Bajo	Elevado
OPEX	Elevado	Bajo

¹Demanda Química de Oxígeno

Tabla 2. Determinación del tipo de sistema a utilizar para tratamiento de agua.

Por otro lado, la biomasa puede crecer libre, en suspensión en el interior del biorreactor, o bien adherida a un soporte (biomasa fija). En el proceso convencional crece en suspensión, igual que en el caso de los reactores secuenciales (SBR) y en los reactores de biomembrana (MBR). En los reactores de biodiscos, biofiltros, filtros percoladores o de lecho móvil (MBBR) la biomasa crece adherida a la superficie de un soporte de plástico o de arena (Condorchem Envitech, 2017). Este criterio, si la biomasa crece en suspensión o fijada a un soporte, conlleva una serie de consecuencias prácticas que conviene tener en cuenta en el momento de seleccionar qué tecnología es la más conveniente. En la siguiente tabla se resumen:

Concepto	Biomasa Fija	Biomasa en suspensión
Espacio requerido	Bajo	Alto
CAPEX	Alto	Bajo
OPEX	Bajo	Alto
Eliminación de nutrientes	Baja	Alta
Flexibilidad de operación	Media-Baja	Alta

Respuestas a tóxicos y/o inhibidores	Media-Baja	Alta
--------------------------------------	------------	------

Tabla 3. Tabla resumen para selección.

Así pues, la selección del proceso biológico más conveniente sólo se puede hacer después de analizar las características del efluente, el tipo de proceso que lo genera, el grado de depuración requerido y las necesidades globales del usuario.

2.5 Uso adecuado del consumo de agua del edificio

El crecimiento continuado de la población del planeta (9.500 millones de personas en 2050), la pobreza hídrica, el aumento progresivo del consumo del agua (se ha triplicado en el siglo xx), la mala gestión de la misma y la existencia de instalaciones y grandes infraestructuras deficientes y obsoletas, pueden ser las causas del problema del agua a nivel mundial (Certificados Energéticos, 2014).

La concientización social y política respecto del uso responsable del agua, junto a los avances en tecnología enfocados al consumo y saneamiento eficiente pueden ser soluciones efectivas, tanto a nivel urbano como doméstico. Los usuarios de los edificios consumen agua y generan residuales.

El impacto ambiental debido al aumento continuado del consumo del agua, consiste en la reducción del agua presente en ríos, arroyos, acuíferos subterráneos y cuerpos de agua dulce. Se estima que el 70% del planeta está cubierto por agua y sólo el 1% es agua dulce. Además, sólo el 35% del agua que consumimos vuelve a los mismos, mientras que el 65% restante vuelve al sistema de suministro de agua después de ser usada (Certificados Energéticos, 2014).

Una vez conocido el impacto ambiental asociado al problema del agua, LEED establece unos objetivos en el *Rating System para la Categoría Water Efficiency*, los objetivos son:

- Reducir la cantidad de agua necesaria en edificios y el exterior de los mismos.

- Reducir el consumo de agua municipal.
- Reducir la necesidad de tratamiento de las aguas residuales.
- Aprovechamiento del agua de lluvia para las necesidades de agua interior y exterior (equilibrio hídrico).

2.6 Estrategias para el ahorro y el uso eficiente del agua

2.6.1 En el interior del edificio

El reparto en el consumo de agua en una vivienda tipo puede ser el que muestra la siguiente imagen:

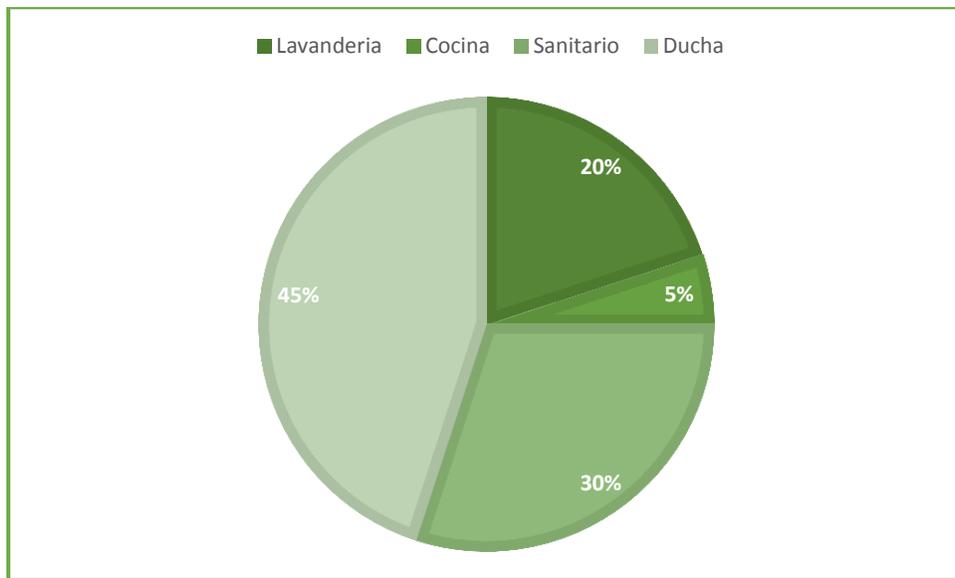


Figura 16. Adaptado con datos de LEED

(Certificados Energéticos, 2014)

LEED propone las siguientes estrategias verdes para la categoría *Water Efficiency* en el interior de los edificios:

1. Sanitarios de alta eficiencia

Cambiar el viejo inodoro por otro de alta eficiencia que consuma no más de 6 litros por descarga. Este acto puede significar hasta un ahorro en consumo de agua en torno al 20%.

2. Urinarios sin agua

Este tipo de aparatos no utiliza agua y requiere un mantenimiento menor. Protegen el medioambiente y colaboran en el ahorro en el consumo de agua.

3. Inodoros de Compost

No utilizan agua sin que procesan los residuos orgánicos con procesos microbiológicos. No es adecuada su instalación en edificios de gran altura.

4. Duchas y grifos de flujo bajo

Sustituir los grifos de la ducha por otros que consuman 6,7 litros por minuto es una buena alternativa para reducir el consumo de agua en cada ducha.

5. Uso de aireadores y sensores de movimiento

Colocar un aireador en un grifo puede suponer un 30% de ahorro. Los sensores controlan la cantidad de agua suministrada.

6. Instalación de medidores de agua

Consiste en instalar contadores por zonas que miden el consumo y ayudan a verificar las estimaciones de consumo de agua.

7. Uso de aguas pluviales

Recolección de aguas pluviales, que instalados en plantas superiores aprovechan la gravedad para su distribución.

8. Reutilización de aguas grises

Las aguas grises suponen entre un 50 y un 80% de las aguas residuales en los edificios de viviendas; se pueden almacenar y utilizar posteriormente, mediante los tratamientos adecuados. Las aguas grises tienen su origen en bañeras, duchas, lavabos y lavadoras, y no incluyen agua potable, agua de fregaderos, lavavajillas ni de inodoros o urinarios.

El agua de duchas y lavabos, se pueden utilizar en inodoros tras su reciclado, y este gesto puede suponer un ahorro del 30% de consumo de agua para una vivienda tipo. También puede ser utilizada para el riego y el lavado del coche.

9. Tratamiento y re-utilización de aguas residuales

El agua regenerada es un recurso con múltiples beneficios y es una estrategia en el diseño de edificios verdes. El aprovechamiento tanto de aguas grises como pluviales *in-situ*, permite su utilización en inodoros, el riego o en las torres de refrigeración, una vez han sido tratadas. De esta manera, se crea un circuito cerrado de agua reutilizada que permite reducir el consumo de agua de la red general, la generación de aguas residuales, el tratamiento en depuradoras locales e incluso la energía necesaria para su tratamiento en estas instalaciones. Los edificios certificados LEED que incluyen esta estrategia reciben incentivos por ello de las agencias estatales. Este hecho supone un rápido retorno de la inversión.

Sin embargo, el hecho de llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales *in situ*, puede suponer un consumo adicional de energía.

2.6.2 En el exterior del edificio

Los objetivos principales son:

1. Regar sólo cuando sea necesario.
2. Limitar o descartar el uso de agua natural para el riego de jardines.

Para cumplir con estos objetivos se plantean las siguientes estrategias:

Un buen diseño del paisaje mediante

- La selección de plantas apropiadas: las plantas nativas y las plantas adaptables no nativas que se adapten al clima local, sobreviven a pesar de las restricciones del uso del agua (se adaptan a las precipitaciones regionales) y requieren menos fertilizantes, son resistentes a enfermedades y requieren menor mantenimiento.

- La técnica del Xeriscape, es un ejemplo de buen diseño, y que permite reducir o eliminar el riego complementario mediante una adecuada planificación y diseño, el análisis del suelo y su mejora, la selección de plantas apropiadas, riego eficiente, uso de coberturas como el *mulching* y un mantenimiento adecuado.
- El *mulching* sirve para mantener garantizar la humedad y la temperatura adecuada en las raíces de las plantas
- Reducción del uso del césped debido al consumo elevado de agua para su mantenimiento.

Riego eficiente

- Riego por goteo (eficacia del 90%). No se produce escorrentía superficial como en el riego convencional, el agua se aplica sobre la raíz de la planta y el período de amortización de la inversión es corto.
- Control del riego basado en el clima local mediante sensores. Mediante esta tecnología se adaptan los cronogramas de riego, a las condiciones reales del entorno, los datos meteorológicos históricos, y las necesidades reales de las plantas.
- Revisiones anuales de las necesidades reales de las diferentes áreas que forman el paisaje.

Mantenimiento

- Altura adecuada del corte si existe césped, utilizar los recortes como abono natural y revisión del sistema de riego.

2.7 Uso adecuado de agua en torre de enfriamiento pasivo

El alto costo de la energía, el agotamiento de los recursos naturales y el problema del cambio climático a nivel mundial, obligan a los profesionales que se dedican a la construcción a diseñar y construir los edificios con estrategias de climatización pasiva para alcanzar niveles de confort higrotérmico adecuados y en climas cálidos esto se consigue con mayor facilidad puesto que se percibe más descenso de temperatura que en climas templados o fríos.

Sin embargo, esta postura no se ha logrado generalizar, ya sea por cuestiones económicas, sociales o por desconocimiento de las técnicas y estrategias aplicables, por lo que en muchos de los casos no se satisfacen esas necesidades de confort, incluso se agravan.

Las necesidades de climatización se siguen solucionando por medios activos que utilizan energía convencional para funcionar, como lo es el aire acondicionado con el consecuente consumo de recursos naturales, emisión de CO₂ al ambiente y alto costo energético, lo anterior es lo que se pretende minimizar en la medida de lo posible con este proyecto de investigación.

El desarrollo industrial ha producido una gran cantidad de aplicaciones tecnológicas que se hacen presentes en prácticamente todos los ámbitos del quehacer humano, sobre todo durante las primeras décadas del siglo xx. Entre ellas se tiene el control térmico de habitaciones, donde el avance tecnológico se manifestó por medio de la tecnología del acondicionamiento mecánico del aire, dando lugar al control térmico artificial del espacio y así se fue dejando de lado el control térmico natural de una edificación.

La dependencia de la tecnología del acondicionamiento mecánico del aire por parte de los diseñadores estuvo basada en la idea de la abundancia de energía de bajo costo. Esta tecnología representó un logro importante en el desarrollo del confort para el ser humano, el problema se suscita cuando ésta avasalló a los sistemas pasivos de control térmico de habitaciones.

El control térmico natural de espacios habitables ha sido una práctica tradicional en todas las culturas humanas. Diversas culturas desarrollaron el control térmico mediante el uso de materiales adecuado y la disposición correcta de espacios y formas y por el empleo de sistemas pasivos de energía, aún en situaciones climáticas extremas.

Así, para el caso del frío extremo, el iglú esquimal es una solución ya que su forma hemisférica desvía los vientos y aprovecha la capacidad aislante de la nieve que lo rodea. La cubierta de hielo que se forma en su interior es un efectivo sello que

evita las filtraciones de aire. La retención de calor en este tipo de estructuras permite mantener una temperatura interior de 16°C mientras que en el exterior es de -45 °C.

En condiciones de calor extremo la arquitectura de los trogloditas en Túnez constituye una solución acertada, así como las torres de viento en Irán que enfrían y humidifican el aire que es conducido al espacio interior de las edificaciones. La necesidad de calentar o enfriar los espacios donde ha vivido el hombre ha sido resuelta de diferentes formas, en diferentes épocas y de acuerdo a las características climáticas de las regiones de diversas culturas. (Guzman, 1993).

El costo del acondicionamiento mecánico del aire hace que los sistemas pasivos de enfriamiento sean opciones viables económicamente y son ambientalmente opciones limpias.

Los países desarrollados hacen uso del acondicionamiento mecánico del aire en gran escala por lo que un porcentaje de la energía producida se destina a cubrir esta demanda. Así el desarrollo de sistemas pasivos fue motivado por el deseo de ahorrar energía disminuyendo la demanda pico de electricidad y establecer una alternativa al uso de energía eléctrica.

En países en vías de desarrollo, donde la tecnología de aire acondicionado no se emplea actualmente a gran escala, el interés en el desarrollo de los sistemas pasivos de control térmico debe fundamentarse en los escasos recursos e infraestructura para cubrir la creciente demanda de energía.

El clima está determinado por varios factores, entre los que se encuentran la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las diversas condiciones atmosféricas y la distribución existente de tierra y agua. Por lo anterior, México cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales de manera muy general pueden clasificarse, según su temperatura, en cálido y templado; y de acuerdo con la humedad existente en el medio, en: húmedo, subhúmedo y muy seco (Sosa, 2014).

El enfriamiento es la transferencia de energía desde un espacio o desde el aire, a un espacio, con el fin de lograr una temperatura más baja que la de los entornos naturales (Velrag, 2012). En los últimos años, los sistemas de aire acondicionado se utilizan para controlar la temperatura, contenido de humedad, la circulación y la pureza del aire dentro de un espacio con el fin de lograr los efectos de confort deseados para los usuarios.

Asimismo, en las últimas décadas la relativa escasez fuentes de energía convencionales y su costo han originado una evaluación de las prácticas de diseño y aplicaciones de los sistemas de aire acondicionado y se han desarrollado nuevas tecnologías y procesos para lograr confort en edificaciones por medios naturales.

En los últimos años, el rápido crecimiento económico en algunas de las naciones densamente pobladas como India o China ha estimulado el empleo de fuentes de energía sostenibles y tecnologías de conservación de energía ambientalmente amigables. A nivel mundial, los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo anual de energía de todo el mundo. La mayor parte de esta energía es para iluminación, calefacción, refrigeración y aire acondicionado (Velrag, 2012).

El nivel creciente de daños al medio ambiente ha creado una mayor conciencia a nivel internacional, dando lugar al concepto de edificios verdes. De manera general los investigadores, responsables políticos, ecologistas gente dedicada a la construcción ha estado en la conservación de energía y su utilización en edificaciones. También se estableció que fuentes alternas de energía y tecnologías específicas se pueden utilizar para satisfacer parcialmente las necesidades de refrigeración en edificios.

El tópico del enfriamiento natural pasivo cubre procesos naturales y técnicas para la “refrigeración” de edificios en las que se logra enfriar con el empleo de fuentes de energía renovables y minimizando el consumo de electricidad para hacer funcionales los sistemas convencionales.

Las técnicas de enfriamiento pasivo están relacionadas con el confort térmico de los ocupantes. Es posible aumentar la eficiencia de la refrigeración pasiva mediante técnicas de transmisión de calor mecánica, que mejoran los procesos de enfriamiento naturales. Estas aplicaciones se denominan sistemas de refrigeración "híbridos". Aquí el consumo de energía se mantiene a muy bajos niveles, al tiempo que la eficiencia de los sistemas y su aplicabilidad se mejora (Velrag, 2012). La refrigeración pasiva de edificaciones se clasifica como: Reducción y prevención de calor (Reducir ganancias de calor), Moderación térmica (Modificar ganancias de calor), Disipación de calor (Eliminar calor interno).

El interés por el desarrollo de sistemas pasivos de energía fue una respuesta a la necesidad de controlar térmicamente el espacio interior de los edificios mediante el uso adecuado de procesos de transferencia de energía que se producen de forma natural y que son parte esencial del equilibrio térmico en todo el planeta. El aprovechamiento de estos sistemas de energía es una alternativa alineada a la conciencia ambiental que se desarrolló desde la década de 1960 en el mundo (Guzman, 1993).

Esta conciencia ambiental busca mitigar los efectos provocados por modelos de desarrollo industrial basados principalmente en procesos de transformación de la energía empleando combustibles fósiles y más recientemente por procesos de fisión del átomo.

Recursos del enfriamiento pasivo

Los medios que hacen posible el enfriamiento pasivo son los depósitos energéticos ambientales, los cuales permiten mantener un equilibrio entre la energía que llega a la tierra continuamente procedente del sol y la que debe ser disipada para mantener una temperatura adecuada para la vida sobre el planeta. Estos depósitos ambientales reciben también el calor descargado por los sistemas activos. "Los tres depósitos energéticos ambientales son La Bóveda Celeste, La Atmósfera y el Subsuelo" (Guzman, 1993).

- **Bóveda Celeste:** Depósito energético que se encuentra fuera del planeta y recibe toda la energía que éste disipa. La transferencia de energía hacia la bóveda celeste se produce exclusivamente por radiación especialmente por las noches.
- **Atmósfera:** La transferencia de calor hacia ella implica la participación de viento, o sea, aire en movimiento, que se produce en primera instancia a través de la convección. Esta transferencia de calor está influenciada también por el contenido de vapor de agua y la presión que constituyen características físicas del aire.
- **Subsuelo:** El enfriamiento es tal vez el menos efectivo de los métodos de enfriamiento pasivo a pesar de que es el más seguro como recurso. El subsuelo puede ser una fuente de calor o un absorbedor del mismo en su interacción con el edificio. Debido a su gran masa la temperatura subterránea durante el verano estará normalmente varios grados por debajo de la temperatura promedio ambiental.

Este apartado tiene por nombre “Uso adecuado de agua en torre de enfriamiento pasivo” debido a que para un mejor confort en la edificación se plantea enfriamiento evaporativo, ya que la temperatura del aire disminuye al estar en contacto con agua.

El enfriamiento evaporativo consiste en hacer circular una corriente de aire en contacto con una masa de agua de modo que la evaporación del agua produce una disminución de las temperaturas de ambos. El aire enfriado contribuye a refrescar la edificación (ATECOS, 2012).

La efectividad del enfriamiento evaporativo es muy alta, pero tiene grandes limitaciones: es necesario un ambiente suficientemente seco y exponer el agua a una corriente de aire. La temperatura menor que puede alcanzarse por este procedimiento es igual a la temperatura del bulbo húmedo del aire, que varía en función de la humedad relativa del aire: cuanto menor sea ésta, menor será la primera.

Este tipo de enfriamiento es la práctica más simple para remover el calor de un edificio y es el método de enfriamiento pasivo más utilizado, sobre todo, en las regiones tropicales y subtropicales. En la mayoría de los climas, con excepción de los más húmedos, el enfriamiento por evaporación representa el más potente recurso de enfriamiento natural. En las regiones de clima cálido seco la evaporación del agua para efectos de enfriamiento del aire, ha sido una práctica cultural tradicional (Guzman, 1993).

La técnica de enfriamiento puede materializarse de muy diversas formas, entre las cuales destacan estanques y fuentes interiores o en patios, cubiertas inundadas, aspersión de agua en las cubiertas, sin embargo, para este caso se plantea una torre (tipo chimenea) dentro de la cual se pretende que se realice este proceso para ventilar la edificación.

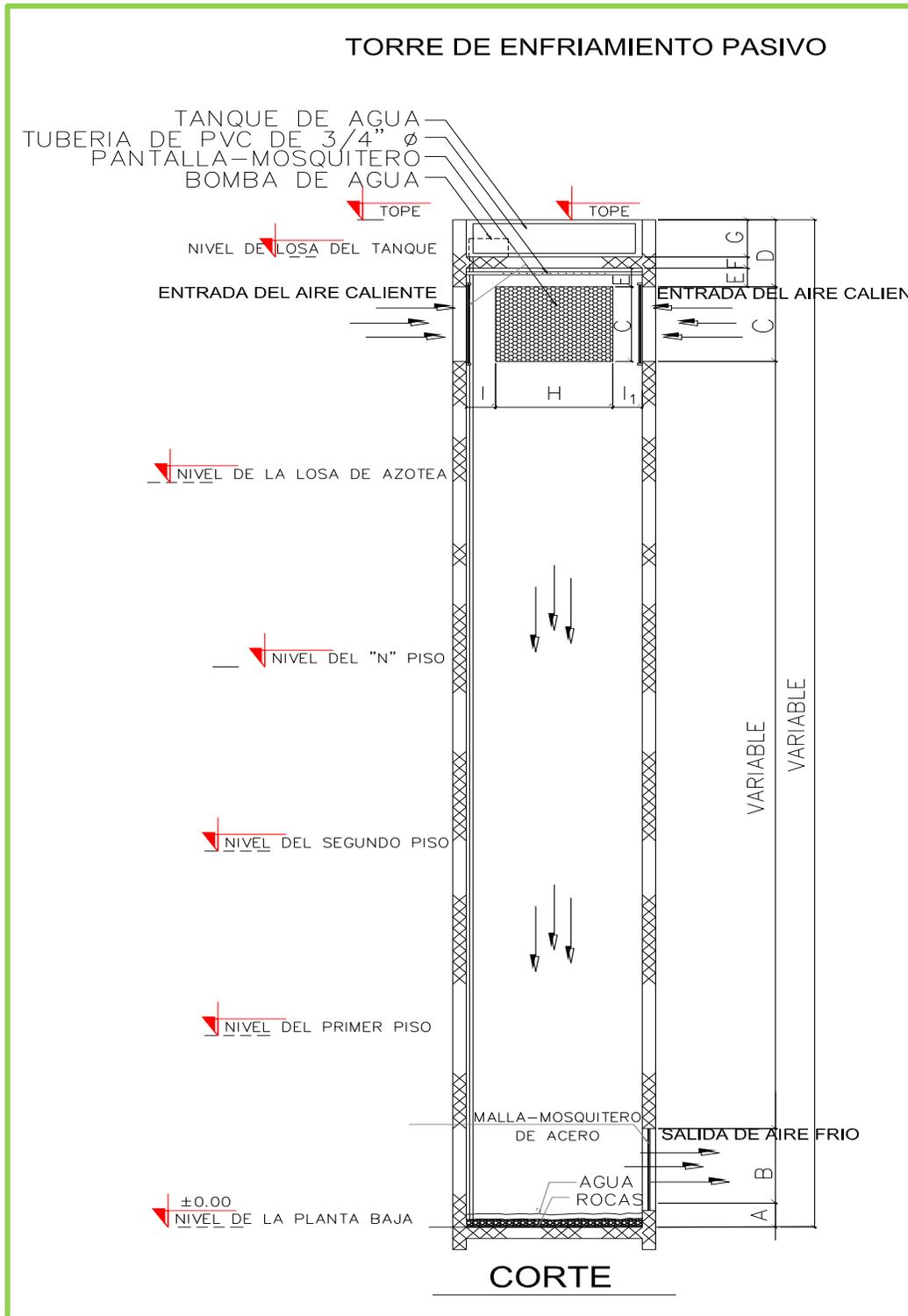


Figura 17. Esquema del funcionamiento de torre de enfriamiento pasivo (Hernández-Moreno, Vida útil en el diseño sustentable de edificios).

Como el esquema del Hernández Moreno lo explica, la torre de enfriamiento pasivo consiste en la captación de aire caliente por medio de ventanas que se encuentran en la parte superior de la torre, dentro de ella también se cuenta con un tanque, el cual almacena agua para hacerla escurrir por los muros perimetrales a lo largo de la “chimenea” de enfriamiento con la finalidad de que el flujo de aire alcance un descenso de temperatura de tal forma que se logre ventilar la edificación (Hernández-Moreno, Vida útil en el diseño sustentable de edificios).

Las dimensiones de la torre deberán variar de acuerdo al tamaño de edificación que se tenga, el mismo caso para las ventilas o ventanas de captación de aire caliente como para aquella o aquellas que se tengan para la salida de aire frío. La geometría de ellas se dará en función de los espacios a los cuales desemboquen y cabe mencionar que también se debe tomar en cuenta el diseño del interior como lo son muros, colocación y tamaño de las ventanas, esto con la finalidad de lograr mejores resultados.

En la figura anterior se presenta una torre de enfriamiento pasivo para un edificio de “n” niveles y el aire frío solo desemboca en la planta baja, sin embargo, es posible lograr que todos y cada uno de los entresijos del edificio cuenten con ventilación por medio de la torre. Cabe aclarar que se deberá poner mayor atención en el diseño ya que existirían pérdidas de flujo de aire frío conforme avance este flujo en los diferentes niveles.

Por último, se observa una bomba de agua la cual será la encargada de regresar el fluido al tanque que se encuentra en la parte superior, dicha bomba funcionará con energía solar y, por ende, así se obtiene el sistema de enfriamiento pasivo dentro de la torre.

También se hace mención del mantenimiento y aseo de la torre que deberá ser cada medio año, esto para que no genere malos olores dentro de ella y se perjudique el confort por contaminación del aire dentro de la edificación para la cual la torre se encuentre en funcionamiento.

2.8 Resumen

Uno de los objetivos principales de este proyecto es optimizar el uso del agua ya que es un recurso no renovable que conforme pasa el tiempo y crece la población cada vez es más escaso. Por ello, en este capítulo se habla de diversas ideas para lograr disminuir la demanda del vital recurso natural.

Es de suma importancia tomarlas en cuenta ya que si bien pueden ser de un costo un poco mayor el de la inversión inicial al de accesorios comunes como válvulas, llaves, etc., aquí vemos una inversión a largo plazo, en economía y en calidad de vida para la población que se quiera beneficiar.

El saber manejar las aguas grises también sería de gran ayuda ya que no se ocuparía agua potable o de la que se utiliza para las necesidades básicas del hogar, más bien, esa agua se estaría reutilizando y así impactaría de una forma favorable en el consumo de agua en la edificación porque se le estaría dando un doble uso y con un muy buen sentido.

En los capítulos siguientes se hablará acerca de las otras dos estrategias que comprende el sistema experto que son el manejo de la energía y del confort.

3. MANEJO DE LA ENERGIA EN EDIFICACIONES SUSTENTABLES

3.1 Introducción

El consumo de energía de una manera racional es parte medular del desarrollo sostenible e integral de un país, es así como esto se traduce a las metodologías para hacer eficientes tanto los procesos productivos como los servicios y consumos globalizados, es decir, qué cantidad de energía se puede ahorrar para realizar una actividad que en el pasado demandaba mayor cantidad de ella o, visto de otro modo, qué actividades son posibles realizar con cierta cantidad de energía.

El camino que hemos tomado como especie está descrito por todos y cada uno de nuestros procesos de producción y consumo. Si nos detenemos a analizar este trayecto se concluirá siempre que tenemos que cambiar esta metodología satisfaciendo del mismo o de mejor modo las necesidades energéticas para así combinando lo anterior con un uso racional de los recursos y garantizar un desarrollo sostenible óptimo.

De nuevo se presentan requerimientos de medición que se satisfacen con indicadores de eficiencia energética, los cuales determinan los factores que impulsan el uso de la energía en los distintos rubros económicos, por otro lado, dichos indicadores proveen los alcances de mejora de la eficiencia energética y el ahorro de energía por rubro.

En México, se perciben cinco sectores en los que se involucran los indicadores de eficiencia energética, estos se mencionan a continuación y de ellos cabe resaltar que han sido definidos por la Secretaria de Energía coordinado con la Agencia Internacional de Energía en su publicación “Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos” para la determinación de sus indicadores de eficiencia energética.

El primero de estos marcados sectores es el del **transporte** compuesto por los vehículos de autotransporte terrestre, ferroviarios, marítimos y aéreos que se desplazan dentro del territorio nacional. Este sector es uno de los mayores

consumidores de energía, lo que al mismo tiempo lo coloca con un gran potencial para la optimización de procesos y el ahorro de energía.

Por otro lado, se encuentra el sector de la **industria y sector primario** que a su vez posee diferentes vertientes como la manufactura, explotación de recursos naturales, suministro de energía y la construcción de la cual se profundizará en este apartado. Se ha observado un aumento importante en el consumo de energía debido a ciertos factores como la globalización, el incremento poblacional, el crecimiento tecnológico, entre otros; lo que a su vez crea un creciente potencial en eficiencia energética.

El sector **residencial** representa uno de los mayores consumidores de energía a nivel mundial, esto se denota cuando analizamos las actividades residenciales críticas como son calentamiento de agua, cocción de alimentos, iluminación, calefacción y enfriamiento de ambientes, así como el uso de electrodomésticos; es por esta razón que el potencial que existe en este sector para el ahorro y eficiencia energética es grande, basta con mirar hacia la industria productora de electrodomésticos, la cual está teniendo un giro hacia comercializar productos con un menor consumo de energía.

Un rubro del que dependen las actividades secundarias y terciarias es la **generación de electricidad**, el cual está ligado directamente con un índice que relaciona la capacidad de generación de energía y el combustible utilizado para su producción.

El sector **servicios y comercio** es de gran importancia para la economía nacional, debido a que es uno de los principales contribuyentes al PIB, sin embargo, es difícil monitorear el consumo de energía por usuario final. Es por lo anterior que es importante mencionar que los indicadores aquí son el consumo de energía por usuario final, la intensidad energética y el consumo por m².

Los indicadores de energía y eficiencia energética deben ser monitoreados y analizados constantemente por las instancias públicas, los organismos de investigación y las instituciones académicas para que en conjunto se contribuya a

precisar los datos estadísticos a lo largo de la historia y así vislumbrar una mejora en las tendencias para la optimización tanto de los procesos de generación de energía como en las actividades de consumo de la misma.

Se han descrito los rubros en los que se debe monitorear constantemente la optimización de procesos productivos y de consumo. El tema en desarrollo integra parte de los cinco sectores y a continuación acotaremos lo correspondiente a la edificación.

Un edificio o edificación está definida como una construcción hecha por el hombre con la finalidad de alojar animales, objetos o personas, así como sus actividades. Se encuentra completa o parcialmente delimitado por una envolvente externa, formada por los elementos estructurales o arquitectónicos lo que permite la creación de microclimas interiores.

La mayoría de las ventajas y desventajas, así como el potencial climático, provienen de la envolvente de la edificación la cual funciona como un medio por el cual se lleva a cabo un **intercambio energético** entre el interior con las ganancias internas producidas por elementos artificiales y en el exterior que se define con las condiciones climáticas propias del sitio. De igual modo, como en muchos aspectos, se busca un equilibrio en el mencionado intercambio energético que provoque a su vez una mejora en el aprovechamiento de la energía. En este punto entra en juego un subproceso del intercambio energético, llamado transferencia de calor, el cual representa problemas en la construcción en climas extremos, tanto fríos como cálidos. El problema principal está ligado con un indicador mencionado anteriormente, este es el descrito por la cantidad de energía para calefacción y enfriamiento ambiental, radicando en la ejemplificación del verano/invierno, el cual consiste simplemente en que durante el invierno el calor fluye desde los espacios habitados hacia el exterior y los espacios sin calefacción mientras que en verano el calor se mueve desde el exterior al interior. Esto provoca serias complicaciones sobre el confort y grandes demandas energéticas.

Hacer un cambio en la manera en que se capta, aprovecha y consume energía es un reto para la edificación, lo cual nos aproxima hacia el objetivo de la edificación

sustentable, si no todas, pero al menos la mayoría de las pérdidas de energía térmica o la falta de aprovechamiento la misma en una edificación se deben a una inadecuada envolvente de la edificación.

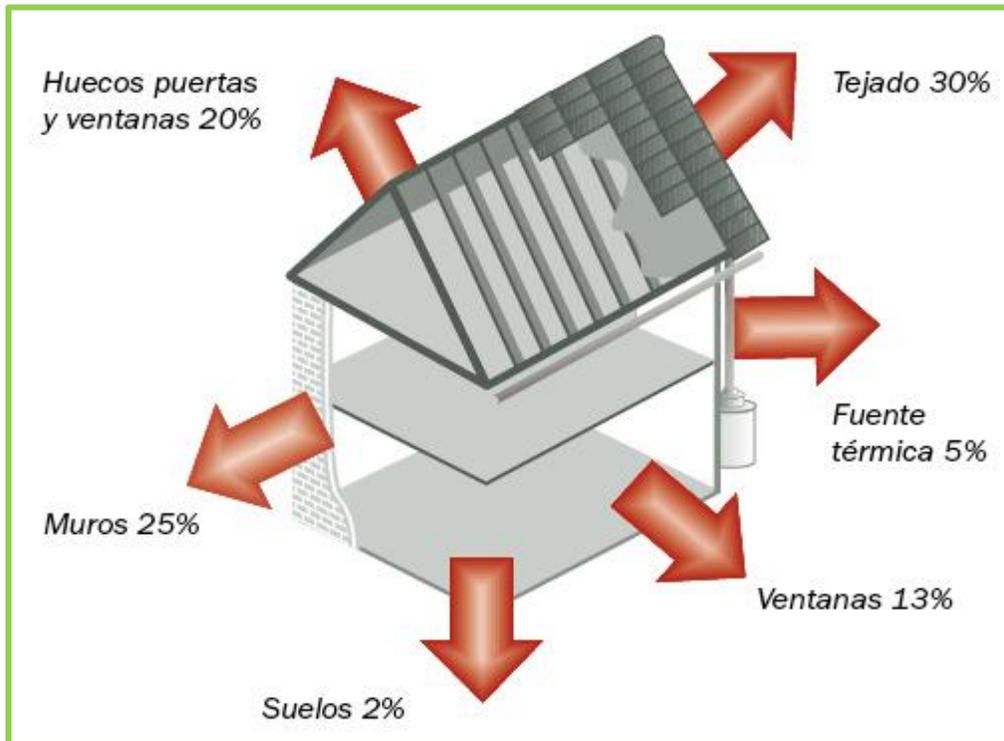


Figura 18. Pérdidas clásicas de energía a través de la envolvente del edificio. (Aipex, 2011)

A todo lo anterior se presentan dos términos muy similares pero que en su trasfondo no son del todo lo mismo, se hace referencia al “*Ahorro Energético*” y a la “*Eficiencia Energética*”, de donde si bien ambos buscan una reducción en el consumo de energía mediante acciones cambiantes concretas, sin desfavorecer el nivel de confort percibido, ambas toman dos vertientes diferentes, es decir, el primer término se acuña desde la varianza de ciertos hábitos de consumo, como por ejemplo el apagar las luces de una habitación en desuso, cerrar llaves de agua, entre otras; por su parte la *eficiencia energética* es la acción de minimizar la cantidad de energía requerida para un proceso demandado pero sin afectar la calidad de este, esto se logra por ejemplo con la colocación de grifería ahorradora,

uso de electrodomésticos de bajo consumo, que suponen un actuar normal de los usuarios pero también un menor consumo de energía.

Las acciones que combinan ambas medidas, combinando la responsabilidad social con las virtudes de la tecnología aplicada en estos rubros es sin lugar a dudas la mejor estrategia para un óptimo consumo de energía. Sin embargo, resalta la división de estas medidas en función de su temática:

- Medidas tecnológicas: implica eficiencia energética que a su vez conlleva la sustitución de fuentes de energía contaminantes.
- Medidas para el consumo responsable: esto refleja directamente en el ahorro energético mencionado, donde emerge y se consolidan las buenas prácticas culturales y habituales para el ahorro energético.
- Medidas instrumentales: Representan el marco legal, económico y de gestión para la regulación de manejo energético.

A continuación, se describirán algunas estrategias que combinan ambas acciones para lograr una edificación con un adecuado manejo energético.

3.2 Ubicación del edificio para ahorro del consumo energético

La elección del sitio para la realización de algún proyecto de infraestructura, particularmente los de uso habitacional o laboral, es un tema que no debiera pasar desapercibido, sin embargo, en muchas ocasiones ocurre que es un aspecto muy débil para ser tomado en cuenta en un proyecto de estos tipos, razón por la cual en muchas edificaciones se tienen problemas principalmente con la envolvente de la edificación, la ventilación así como con la iluminación. Problemas que fácilmente se pueden abatir con una correcta ubicación y orientación de nuestra edificación.

Como lo mencionamos, los aspectos más perjudicados cuando no se toma en cuenta la ubicación del edificio, son:

a) Iluminación, al tener el potencial de reducir el consumo de energía debido al uso de iluminación artificial.

b) Envolvente, que repercute directamente en el confort percibido basándose en la calidad del aislamiento térmico.

c) Ventilación, que involucra el intercambio por ventilación cruzada y para enfriamiento pasivo.

Por lo anterior se consideran diseños preliminares por clima, en lo que se toman objetivos propios de cada tipo de clima; la siguiente tabla muestra propuestas para eficientar una estructura por medio de objetivos en cuanto al confort percibido:

TIPO DE CLIMA	OBJETIVOS
CÁLIDO HUMEDO	Maximizar exposición a la sombra.
	Reducir fachadas orientadas al oriente.
	Estrategias de zonificación particulares, de acuerdo a viento, lluvias, etc.
CÁLIDO SECO	Maximizar exposición a la sombra.
	Edificio con gran capacidad de dispersión de calor.
TEMPLADO	Maximizar los efectos del calor y sombra en las áreas requeridas respectivamente.
	Controlar el efecto del viento para permitir su circulación en horas cálidas.
FRÍO	Maximizar los efectos del calor y radiación solar, esto se puede controlar con la orientación de la estructura.
	Reducir el impacto del viento.

Tabla 4. Objetivos del diseño por clima. Adaptado de: Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.

A partir de este punto es donde surge un término denominado “*Arquitectura Bioclimática*”, la cual estrictamente se define como la disciplina que se encarga de

adecuar una edificación a las condiciones climáticas propias del lugar, con la finalidad de obtener el grado máximo de confort con el menor consumo energético o apoyo secundario de fuentes de energía.

3.3 Optimizar el envolvente del edificio para mejor rendimiento térmico

Todas las edificaciones, como lo referimos anteriormente tienen un intercambio energético con el exterior a través de su envolvente, la cual es un medio por el cual se realiza esta actividad y se forma por los elementos estructurales y arquitectónicos tales como muros, suelo, losas, puertas, ventanas, entre otros. La eficiencia de esta envolvente radica en la optimización de las pérdidas energéticas, lo cual se traduce en técnicas como el uso de materiales adecuados para la elaboración de envolventes más eficientes que permitan reducir la necesidad de acondicionamiento de la temperatura interior de una edificación.

En referencia con lo anterior podemos mencionar los sistemas que contribuyen con la edificación en las ganancias bioclimáticas, estos se clasifican de la siguiente manera:

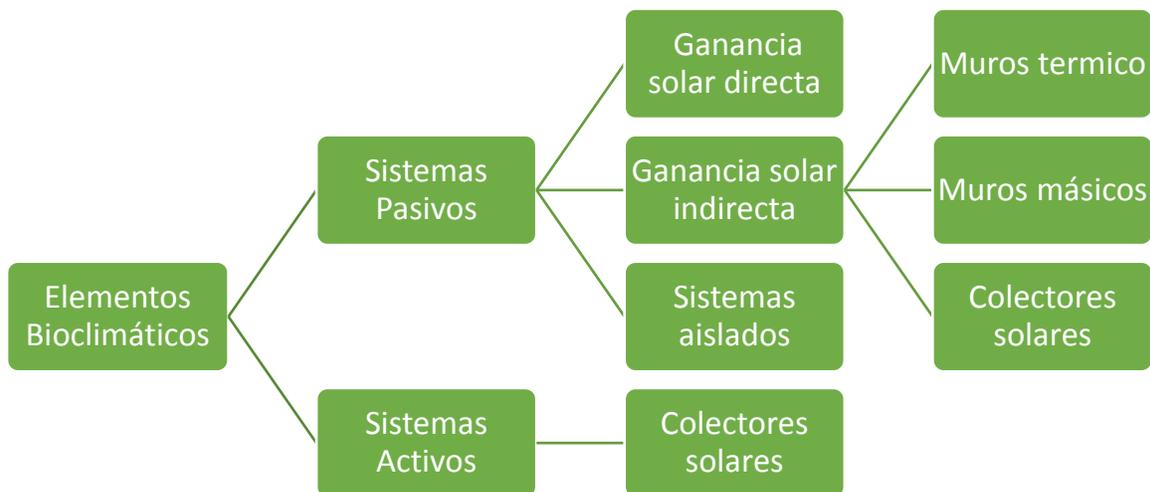


Figura 19. Sistemas que contribuyen en la ganancia bioclimática.

Cabe hacer énfasis en que los sistemas solares activos son aquellos que aprovechan la energía solar a través de sistemas mecánicos como paneles fotovoltaicos mientras que los sistemas pasivos toman las ventajas de la energía solar de acuerdo con la naturalidad de las construcciones, optimizando el movimiento natural del calor y aire con la finalidad de llegar a un mayor confort térmico sin la necesidad de apoyo mecánico.

Adentrándonos directamente en las referencias de la envolvente de una edificación, se puede referir que la incorrecta aplicación de técnicas bioclimáticas es lo que nos provoca deficiencias en el desempeño de la envolvente del edificio. Los materiales y componentes adecuados nos permiten una optimización en la eficiencia térmica, lo cual redundará en una menor necesidad energética al existir menores requerimientos de calefacción o enfriamiento.

3.4 Proveer iluminación artificial combinada con iluminación natural

Todas las personas necesitan de luz adecuada para el desarrollo de sus actividades, esta iluminación debe cubrir las necesidades físicas, psicológicas y estéticas, claro está que dicha luz puede provenir de dos fuentes: la natural y la artificial, siendo la primera proveniente del sol mientras que la artificial es la que nos proporcionan focos, lámparas entre otros objetos. La luz natural es provista hacia una edificación de tres maneras diferentes: el haz directo procedente del sol, la luz difusa sobre la atmósfera y la luz procedente de reflexiones con el suelo y otros objetos del exterior. Esta luz natural es la predominante en las actividades del ser humano, logrando obtener esta en los espacios interiores a través de los puentes térmicos de la envolvente, es decir, las ventanas, los tragaluces, cúpulas, muros traslúcidos, muros cortina, patios, entre otros elementos arquitectónicos. Sin embargo, muchas otras actividades humanas se realizan con la ausencia total o parcial de la luz natural por lo que es necesario el suministro de luz artificial. El uso de la luz natural durante el día es imprescindible ya que permite reducir tanto los gastos económicos de la edificación como evitar la emisión de agentes contaminantes del medio ambiente en la producción inicial de la energía eléctrica, la cual al día de hoy es la principal fuente de obtención de luz artificial.

Uno de los objetivos principales de la arquitectura bioclimática es buscar optimizar el aprovechamiento de la luz natural para el desempeño adecuado de los habitantes de la edificación, logrando esto con estrategias que hemos mencionado como la ubicación del edificio para el ahorro del consumo energético, la optimización de la envolvente, entre otras.

Actualmente se ha conceptualizado a la iluminación arquitectónica como los espacios que moldea la luz, este concepto está tomando fuerza debido a la continua búsqueda por optimizar las condiciones de luz de un espacio. Si bien, cada proyecto y espacio es diferente, podemos señalar aspectos generales que contribuyen a llegar a esta optimización, los cuales involucran estrategias en aspectos de control como:

- La distribución de las luminarias: ya sean estas naturales o artificiales, se tiene el requerimiento de distribuirlas de manera adecuada para condicionar de una buena manera la adaptación del ojo lo cual a su vez permita la adecuada visibilidad del área.
- Los deslumbramientos: que se traducen en sensaciones producidas por áreas brillantes dentro del campo de visión, evitar este fenómeno es importante para mantener un buen nivel de confort visual, evitar accidentes, errores y fatiga.
- Profundidades de las edificaciones: ya que la iluminación lateral y colindancias establecen un límite sobre la profundidad para que este pueda ser iluminado de buena manera durante el día.
- La orientación es un aspecto de suma importancia ya que la ubicación de la fachada, así como de sus ventanas influyen en la iluminación interior así como la relación de estos elementos con el recorrido del sol durante el día, entre otras técnicas.

De acuerdo a lo anterior tenemos una lista que nos permite llegar a un buen diseño en el aspecto de proveer una adecuada iluminación:

- Elección del lugar de desplante.
- Consideración de las colindancias y sus obstáculos.
- Orientación del edificio.
- Selección de la forma y dimensiones adecuadas de la edificación de acuerdo a las actividades a desempeñar.
- Adecuadas estrategias de acondicionamiento.
- Distribución interna del edificio.
- Diseño de los huecos y puentes visuales o térmicos.

Con un adentrado análisis particular de cada uno de los puntos indicados en la lista anterior se puede lograr un óptimo diseño de una edificación, ya que como se menciona cada edificación es diferente y es responsabilidad de quien proyecta el prever las necesidades de los futuros habitantes de dicha estructura.

3.5 Proveer una adecuada instalación de iluminación artificial

Actualmente el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica se ha convertido en un factor importante el cual se encuentra en vías de alcanzar un desarrollo sustentable para nuestra sociedad, esto es por el impacto que su uso causa en la economía y también en el medio ambiente.

La iluminación artificial es un componente esencial en cualquier edificación ya que hace posible la visión del entorno, pero, además al interactuar con los objetos y el sistema visual de los usuarios puede modificar la apariencia del espacio, influir sobre su estética y ambientación, así como afectar el rendimiento visual, estado de ánimo y motivación de las personas. El diseño de iluminación requiere comprender la naturaleza de esas interacciones y, además, conocer y manejar los métodos así como la tecnología para producirlas pero fundamentalmente demanda una fuerte dosis de intuición y creatividad para utilizarlas sobre todo en el tema que se viene manejando el cual es la sustentabilidad.

Visto desde una perspectiva globalizadora, el diseño de iluminación puede definirse como la búsqueda de soluciones que permitan optimizar la relación entre el usuario y su medio ambiente. Esto implica tener en cuenta diversos aspectos interrelacionados y la integración de técnicas, resultados, metodologías y enfoques de diversas disciplinas y áreas del conocimiento, como la física, la ingeniería civil, la arquitectura, el gerenciamiento energético y ambiental, por ello, la solución a una demanda específica de iluminación debe ser resuelta en un marco interdisciplinario.

3.5.1 El concepto de iluminación eficiente

Hasta no hace mucho el diseño de iluminación implicaba suministrar luz en cantidades apropiadas a fin de posibilitar la realización de las tareas con un rendimiento visual considerable. El aspecto cualitativo se limitaba, eventualmente, a eliminar o reducir posibles efectos de deslumbramiento. Sin embargo, el descubrimiento de que la luz no sólo afecta las capacidades visuales de las personas sino también su salud y bienestar, por un lado, el vertiginoso desarrollo tecnológico de fuentes luminosas, dispositivos ópticos y sistemas de control y la necesidad de utilizar los recursos energéticos de manera más eficiente, por otro, le dieron al concepto de diseño un perfil notablemente más cualitativo.

Teniendo en cuenta ese nuevo enfoque, se puede decir que:

Un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de atmósferas agradables, emplea apropiadamente los recursos tecnológicos (fuentes luminosas, luminarias, sistemas ópticos, equipos de control, etc.), hace un uso racional de la energía para contribuir a minimizar el impacto ecológico y ambiental; todo esto por supuesto, dentro de un marco de costos razonable, que no solamente debe incluir las inversiones iniciales sino también los gastos de explotación y mantenimiento (Raitelli, 2014).

3.5.2 Alumbrado de interiores

La iluminación es un campo de aplicación de la electricidad, la luz eléctrica es la más cómoda, limpia, segura e higiénica de los otros tipos de luz artificial, sin embargo, requiere de una correcta utilización de forma eficiente y económica,

tomando en consideración que las fuentes primarias de producción de energía eléctrica que alimentan a las instalaciones y sistemas de alumbrado, están constituidas por alimentación de energéticos primarios que constituyen de fuentes no renovables.

El problema del alumbrado o de la iluminación interior o exterior, es obtener una buena iluminación con un menor consumo de energía eléctrica. La determinación de los niveles de iluminación adecuados para una instalación no es un trabajo sencillo ya que hay que tomar en cuenta que los valores de los niveles recomendados para cada actividad y entorno son producto de evaluaciones subjetivas de los usuarios (García & Navarrete, 2014).

3.5.3 El proceso de diseño de iluminación

No es fácil establecer un procedimiento para diseñar un sistema de iluminación ya que cualquier proyecto puede tener diferentes puntos de abordaje, todo depende del tipo de edificio o área a iluminar. No obstante, es recomendable seguir el proceso que se emplea en otros campos del diseño en la ingeniería y que se indica en el siguiente esquema:



Figura 20. Proceso de diseño de Iluminación.

(Diagrama obtenido del Capítulo 8 del Ing. Mario Raitelli)

A continuación, se describe brevemente cada uno de los pasos del procedimiento anterior.

Análisis del Proyecto. El procedimiento puede ser aplicable tanto en nuevos diseños como para remodelar instalaciones existentes y comienza por un análisis destinado a reunir datos que permiten determinar las demandas, visuales de iluminación y establecer los alcances, así como las limitaciones del trabajo. La

identificación clara y precisa de estas cuestiones es fundamental para el éxito de cualquier proyecto.

Por otro lado, las demandas visuales son una consecuencia de realizar actividades y para determinarlas se debe evaluar la dificultad de las tareas en función de sus características y condiciones en las que éstas se realizan.

Planificación Básica. A partir del análisis de la información reunida en la etapa anterior es posible establecer un perfil de las características que debe tener la instalación para satisfacer las distintas demandas que el trabajo plantea.

Lo que se busca aquí es desarrollar las ideas básicas del diseño sin llegar a precisar aún ningún aspecto específico como ejemplo sería la selección de las luminarias. En este punto es donde se define el sistema de alumbrado, las características de las fuentes luminosas, la factibilidad para el uso de alumbrado natural y, en su caso, la estrategia para su integración con la iluminación artificial, etc.

- I. Diseño detallado. En esta etapa, en función del perfil definido en la fase de planificación básica, se comienzan a resolver los aspectos específicos del proyecto, estos suelen comprender la selección de luminarias, el diseño geométrico y sistema de montaje, los sistemas de alimentación, comando y control eléctricos, la instalación de alumbrado de emergencia y seguridad.

Además, se realiza el análisis económico-financiero y el presupuesto del proyecto, se confecciona la documentación técnica (planos y memorias descriptivas) incluyendo una propuesta de esquemas funcionales para propiciar el uso racional de la energía y un programa adecuado de mantenimiento. Es muy conveniente, y a menudo solicitado por el usuario, considerar varias alternativas.

Es aquí donde el ingeniero juega un papel de relevancia para el proyecto en general, se trata de elegir las luminarias, si como todo un sistema adecuado y completo para que se puedan satisfacer las necesidades del usuario que ocupe una edificación, es decir, el sistema que proveerá de iluminación artificial deberá

brindar un ahorro de energía eléctrica y por ende un ahorro en los bolsillos del usuario.

A su vez, deberá ser confortable, es decir, tener la suficiente capacidad para que los usuarios no tengan dificultades de visibilidad al realizar sus actividades cotidianas.

- II. Asistencia Técnica y Evaluación Posterior. Las dos últimas etapas del proceso de diseño de iluminación indicadas en la figura 3.1 en realidad no pertenecen a lo que tradicionalmente se entiende como proyecto pero es conveniente incluir en la propuesta de trabajo, no sólo el diseño, sino también la asistencia técnica durante la ejecución de la obra y una vez concluida ésta, la evaluación del impacto del proyecto. Si habláramos de un proyecto de obra civil, está refiriéndose a la supervisión y mantenimiento una vez concluida la etapa de construcción de cualquier proyecto.

En la etapa ejecución de obras, el proyectista puede asesorar a la dirección técnica en la resolución de cuestiones problemáticas que, como se sabe, siempre se presentan en cualquier montaje u obra; por ejemplo, alteraciones respecto del diseño original o modificaciones en otros aspectos del proyecto que requieren el replanteo de algunas de las soluciones técnicas, como en la mayoría de los proyectos de ingeniería.

Finalmente, la etapa de evaluación posterior tiene como objetivo analizar el proyecto en términos “técnicos económicos” y fundamentalmente, en función del grado de aceptación y/o satisfacción de los usuarios. La evaluación técnica implica el control de los parámetros luminotécnicos proyectados (mediante mediciones fotométricas) y de las condiciones de funcionamiento eléctricas, térmicas y mecánicas de todos los componentes de la instalación.

El análisis económico por su parte, apunta a evaluar si los esquemas funcionales y las estrategias de control adoptadas han satisfecho las expectativas, esto es, si los costos de funcionamiento del sistema, en especial el consumo de energía, responden a lo previsto.

3.6 Maximizar el rendimiento de los sistemas mecánicos

A principio de los años 80, algunas revistas empezaron publicar versiones de los “Edificios Inteligentes”, publicaciones concernientes con sistemas mecánicos hablaban sobre edificios que tenían sistemas de automatización y estos significaban y simbolizaban un ahorro de energía y eficiencia en el consumo de la misma.

Los sistemas mecánicos son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan, al transformar distintos tipos de energía.

Algunas características de los sistemas mecánicos son las siguientes:

- Se caracterizan por presentar elementos o piezas sólidos, con el objeto de realizar movimientos por acción o efecto de una fuerza.
- En ocasiones, pueden asociarse con sistemas eléctricos y producir movimiento a partir de un motor accionado por la energía eléctrica.
- En general la mayor cantidad de sistemas mecánicos usados actualmente son propulsados por motores de combustión interna.
- En los sistemas mecánicos se utilizan distintos elementos relacionados para transmitir un movimiento.
- Como el movimiento tiene una intensidad y una dirección, en ocasiones es necesario cambiar esa dirección y/o aumentar la intensidad y para ello se utilizan mecanismos.

Los sistemas mecánicos suministran servicios esenciales para el edificio, a continuación, se mencionan algunos:

- El sistema de abastecimiento de agua suministra agua potable para consumo humano y para saneamiento.
- El sistema de drenaje elimina los desechos y la materia orgánica de un edificio.

- La calefacción, ventilación y los sistemas de aire acondicionan los espacios interiores de un edificio para la comodidad ambiental de los ocupantes.
- El sistema eléctrico controla, mide y protege el suministro de energía eléctrica de un edificio.
- Asimismo, distribuye de una manera segura la energía, la iluminación, la seguridad y los sistemas de comunicación.
- Los sistemas de transporte vertical trasladan personas y bienes de un nivel a otro en edificios de altura media y de gran altura.
- Los sistemas contra incendio detectan y combaten los incendios.
- Las estructuras de gran altura también pueden requerir sistemas de disposición de desechos y sistemas de reciclado.

El ahorro de energía en los sistemas mecánicos, así como su uso adecuado son claros ejemplos de la calidad mejorada, asegurando en el mediano plazo, de que los efectos globales de la innovación reduzcan el efecto adverso al medio ambiente.

El rendimiento mecánico se define como la relación entre el trabajo útil obtenido y el trabajo consumido, por lo tanto, lo que se pretende es reducir el trabajo consumido sin afectar el obtenido.

A continuación, se muestra una gráfica del consumo de energía en México en el año 2015, que son los datos más actuales proporcionados por el Sistema de Información Energética.

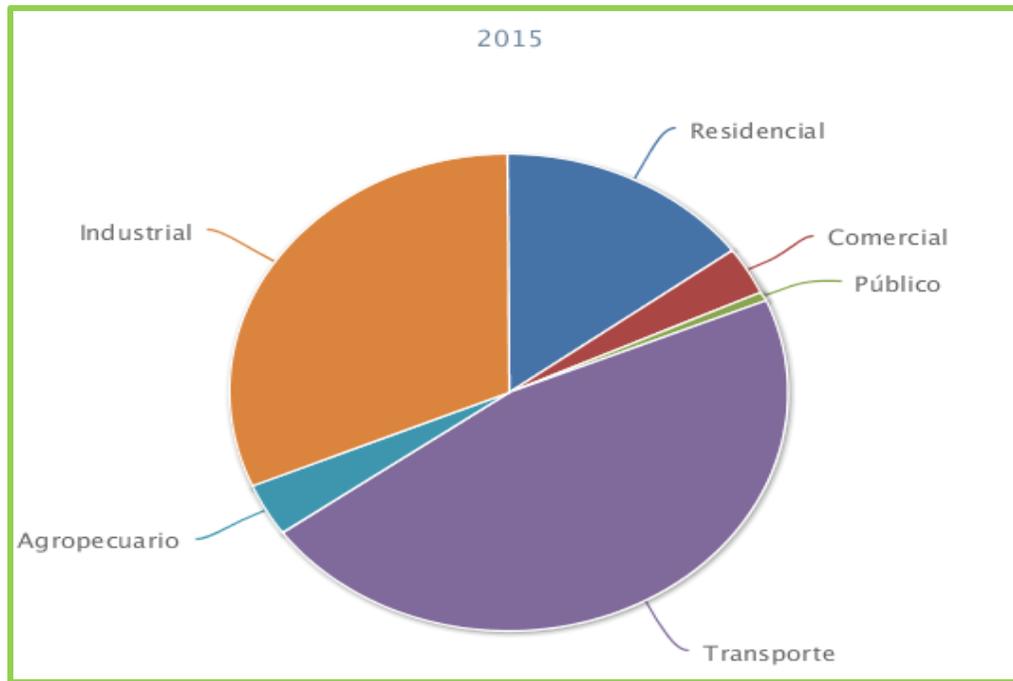


Figura 21. Consumo final de energía por sector en el año 2015. (Secretaría de Energía, 2015).

Los sectores de interés para este trabajo son el residencial, comercial y público, que representan el 15%, 3% y 0.6%, respectivamente, con un total de 18.6%.

Dada esta información, con la maximización del rendimiento de estos sistemas se beneficia al 20% del consumo total de energía.

Este ahorro y maximización se debe prever como ya se mencionó en el capítulo 1, en la fase de proyecto, existen diferentes sistemas para la contratación de los servicios de firmas que se encargaran del desarrollo de dicho proyecto, ya sea sólo del diseño o de la construcción y el diseño, entre otros aspectos.

La adopción de alguno de estos sistemas va a depender de los esquemas que se manejen en el país en que se realizará el proyecto, a continuación, se analiza el caso de México y los Estados Unidos.

En el caso de México, se manejan diferentes esquemas:

1. Obra Pública: Estos contratos pueden ser

a) Diseño y construcción

b) Licitación primeramente del diseño y posteriormente licitación de la construcción.

2. Proyectos concesionados: Los contratos son:

a) DBOT (diseño, construcción, operación y transferencia)

b) BOT (construcción, operación y transferencia) y

c) Compra de activos (Infraestructura existente que se pone a venta y se recupera la inversión operándola).

En el caso de Estados Unidos existen tres sistemas:

1. *Design-Bid-Build o Hard Bid*, cuyo principal objetivo es buscar el menor costo, los equipos a cargo del proyecto son independientes entre sí (equipo de diseño, contratista, subcontratistas, proveedores).

2. *Construction Management at Risk o Negotiated Work*, donde el propietario contrata de forma independiente los servicios de una firma de construcción y los del equipo de diseño.

3. *Design-Build*, se trata de un sistema en donde una sola entidad se encarga del diseño y la construcción, lo que significa que el propietario y dicha entidad estarán en contacto para cualquier asunto relacionado con el proyecto.

Algunas estrategias que se manejan para el diseño de edificaciones e involucran el diseño sustentable y están enfocadas a este rubro de la energía son las siguientes:

- Sistemas con poco o nulo uso de energía eléctrica.
- Sistemas independientes.
- Sistemas eléctricos ahorradores.
- Sistemas con sensores de movimiento y/o inteligentes.
- Sistemas condicionados a fuente de energía determinada.

En algunas de estas estrategias el costeo tal vez sea elevado, sin embargo, en un cierto periodo de retorno serán factibles y necesarias.

3.7 Uso eficiente de los equipos y aparatos

En las edificaciones de uso casa habitación, se está rodeado de todo tipo de aparatos eléctricos y electrónicos que se usan regularmente para satisfacer diversas necesidades. Se considera su uso tan elemental que a veces se olvida el coste de energía que ese uso lleva asociado.

Los principales aparatos que consumen electricidad se muestran en la siguiente Figura.

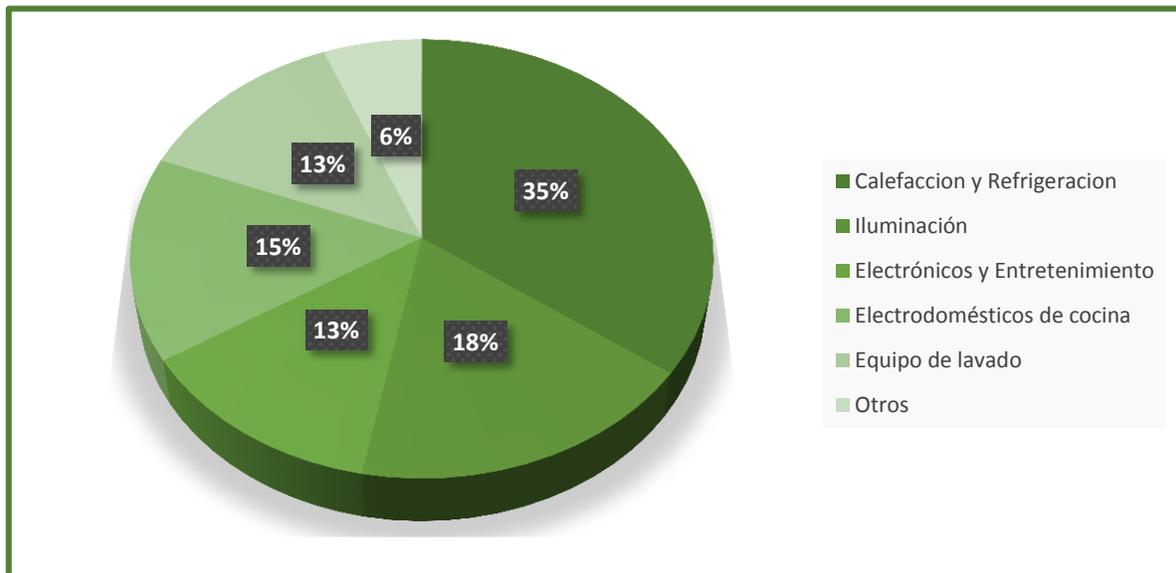


Figura 22. Repartición del consumo eléctrico en una casa habitación. (IUSES, 2010).

A parte del precio de compra, que normalmente es el criterio utilizado para la elección de un aparato debería ser considerado seriamente el coste de funcionamiento del aparato durante su vida.

El primer paso para hacer una edificación eficiente es entender donde se utiliza la energía. Se puede tener un gran éxito en la reducción del gasto de electricidad si se centra en las áreas donde se consume la mayor parte de la energía.

Para ello es indispensable conocer los siguientes dos conceptos básicos.

Potencia eléctrica: Generalmente se expresa en vatios (W) o kilovatios (kW). La potencia de los aparatos se puede ver en la mayoría de los casos estampada en la

parte inferior o posterior del aparato o en su placa. El consumo de electricidad de un aparato, en primer lugar, depende de su “potencia eléctrica”, es decir, la máxima potencia absorbida por el aparato.

Consumo eléctrico: Se obtiene multiplicando potencia y tiempo. Cuando se usa la electricidad para ver la televisión (o simplemente manteniéndola en *standby*) durante una hora se están consumiendo 150 vatios-hora de electricidad.

A continuación, se muestra una tabla con los distintos aparatos electrónicos y su potencia:

Aparato eléctrico	Potencia [W]
Cafetera (4/10 tazas)	700-1,200
Tostadora	900
Licuada	300
Microondas	700-1,500
Plancha	2,000
Lavadora	2,000
Secadora	1,500-3,000
Lavavajillas	20-250
Aparato eléctrico	Potencia [W]
Ventilador de mesa	20-250
Ventilador de techo	10-50
Aspirador	1,800
Secador de pelo	1,000-,1,800
Estéreo	50-300
Laptop	50
TV (25" / 19")	80-150
Refrigerador	70-350

Tabla 5. Rangos de potencia de aparatos eléctricos.

(IUSES, 2010)

Un punto importante que cabe mencionar es la “etiqueta energética” que dio origen en la Unión Europea, de la cual uno de los principales objetivos es ayudar a las familias a tomar decisiones sobre la compra de aparatos que consumen energía. También es un incentivo para los fabricantes para tratar de mejorar la eficiencia energética de sus productos. La etiqueta energética sólo es obligatoria para un grupo de productos, como bombillas, coches y la mayoría de aparatos eléctricos (como refrigeradores, estufas, lavadoras y otros ya mencionados). Existen otros aparatos con un menor consumo de energía que todavía no son calificados con la etiqueta energética, algunos de estos son: tostadoras, ventiladores, batidoras, entre otros.

Si bien es cierto que el avance tecnológico en los aparatos electrodomésticos ha revolucionado su funcionalidad y eficiencia, también es cierto que estos avances en la tecnología han provocado que algunos de estos aparatos al permanecer conectados a la corriente eléctrica continúan consumiendo energía, aunque aparentemente estén apagados, es decir, que no estén realizando su función principal. A esto se le conoce como energía en espera, energía de reposo, modo inactivo, modo dormido o también como consumo vampiro.

¿Cómo se detectan estos consumos? Los aparatos que consumen energía sólo por el hecho de estar conectados, son aquellos que mantienen un pequeño foco encendido o un *display* digital que marca la hora o algún otro mensaje. Los que cuentan con control remoto, memoria y/o programación, cuyas únicas modalidades son encendido y apagado, no consumen energía cuando están apagados, aunque estén conectados a la corriente eléctrica.

En la siguiente tabla se enlistan los aparatos que más demandan potencia eléctrica en modo de espera:

Aparato	Potencia en espera [W]	Tiempo sin uso al día [h]	Tiempo sin uso al mes [h]	Consumo mensual [Kwh]
Decodificador digital	17	18	547.2	9.3
Computadora	14.1	16	486.4	6.9
Modem inalámbrico	4	16	486.4	3
Microondas	6.2	23	699.2	2.8
DVD	3.8	22	668.8	2.5
Televisor analógico	3.8	18	547.2	2.1
Minicomponente	2.7	21	638.4	1.7
Pantalla LCD	3	18	547.2	1.6
Consola de videojuegos	1.9	22	668.8	1.3
Impresora	2.5	16	486.4	1.2

Tabla 6. Vampiros de energía.

(PROFECO, 2015).

Existen diversas estrategias para hacer más eficiente el uso de los aparatos eléctricos, se mencionan a continuación:

- Erradicar toda actividad que use energía sin estricta necesidad y apagar equipos que no se estén usando [10 ± 20 %]
- Controlar filtraciones y renovaciones de aire por extractores de baño [10 ± 20 %]
- Pintar cielos y paredes de colores claros [5%]
- Encendido solo las luces necesarias durante horas de aseo [10 ± 30%]
- Dividir circuitos de iluminación (40 ± 60%)
- Aprovechar la luz natural [10 ± 15%]

- Mantén en buen estado tus aparatos eléctricos, principalmente los de la cocina, pues con ello prolongas su duración y reduces el consumo de energía.
- Desconecta desde la clavija todos los aparatos que no estés utilizando.
- Utiliza un multicontactos con el cual puedas cortar la corriente de suministro.

Evita conectar varios aparatos en un mismo enchufe, se puede sobrecargar la instalación y provocar un problema mayor.

- Revisa que tu instalación eléctrica no tenga fugas. Ello se puede detectar si el medidor sigue girando a pesar de estar desconectados todos los aparatos eléctricos y apagada la iluminación. (Heinrich Boell Foundation, 2005).

3.8 uso de energías renovables u otras fuentes alternas

La energía renovable es hoy en día un tema de bastante interés para muchos profesionistas relacionados o no con la ingeniería, proveen una fuente limpia de producción, así como contribuyen a la generación de empleos y una vez que están en uso son capaces de producir ahorros significativos en la economía de las personas que las utilizan, sea desde una vivienda hasta una industria.

De ella depende en gran medida la sustentabilidad de una edificación, además, como ya se mencionó, también tiene un peso considerable en la economía de los usuarios debido a que si un edificio genera su propia energía ya no tendrá la necesidad de pagar a quien pudiera tener la facultad de suministrarla.

En la actualidad, el sector energético se ha convertido en una condición para el crecimiento económico de los países, debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento del producto interno bruto y la demanda de energía de cada país.

Países como Alemania, Brasil, Dinamarca, España, Canadá y Reino Unido han desarrollado tecnologías que les han permitido utilizar diversas fuentes renovables, fundamentalmente para la generación de energía eléctrica y, aunque

su participación en la producción mundial aún es pequeña, estas energías representan una opción para el suministro eléctrico mundial (SENER, 2012).

Es por ello que en este punto se hace hincapié en la energía renovable, sin embargo, no se descartan otras fuentes de producción de energía, siempre y cuando no genere impacto ambiental considerable (lo ideal es que no genere impacto alguno) para producirlas. El hecho de fomentar las energías renovables conlleva a múltiples beneficios; por un lado, se puede llegar a mitigar los gases de efecto invernadero y por otro, también se estaría contribuyendo a una generación de energía más diversa.

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).

Las principales formas de energías renovables que existen son la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas.

Las energías renovables provienen de forma directa o indirecta de la energía del Sol; constituyen una excepción la energía geotérmica y la de las mareas. Para este caso, nos avocaremos a la manera de producir energía renovable en edificación de manera:

- Energía eólica. Es aquella que se produce a través de aerogeneradores. El Sol calienta de forma desigual las diferentes zonas del planeta, provocando el movimiento del aire que rodea la Tierra y dando lugar al viento. Por lo tanto, se puede decir que el viento es energía en movimiento, gracias al cual los barcos de vela han podido navegar y se ha podido transformar el movimiento de las aspas de un molino en energía útil, ya sea para bombear agua, moler o para producir electricidad. (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008)

La rotación terrestre, sumada a la diferencia de temperatura y a la presión atmosférica influyen en la dirección del viento. La energía del viento depende de

su velocidad y, en menor medida, de su densidad (la cual disminuye con la altitud). Cerca del suelo, la velocidad es baja, pero aumenta rápidamente con la altura.

Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará al viento, sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y con mayor velocidad sobre las montañas, aunque en grandes valles rodeados de montañas aparece el denominado efecto túnel, que puede proporcionar buenas velocidades de viento.

A escala local lo que sucede es que durante el día el Sol calienta el aire sobre tierra firme más que el que está sobre el mar. El aire continental se expande y eleva, disminuyendo así la presión sobre el terreno y haciendo que el viento sople desde el mar hacia la costa (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008). Es por ello que la energía eólica puede llegar a ser viable para una edificación, incluso ya hay edificios en el mundo que producen su propia energía de forma eólica.

La energía eólica es la que contiene el viento en forma de energía cinética ($E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$). Esta energía se puede transformar en otro tipo de energía como la mecánica, eléctrica, hidráulica, etc.

Una de las formas más utilizadas en la actualidad para el aprovechamiento a gran escala de la energía eólica es a través de las denominadas aeroturbinas, que se puede subdividir en:

- Energía mecánica: aeromotores
- Energía eléctrica: aerogeneradores

Los aeromotores se han utilizado desde hace siglos para la molienda de grano, el bombeo de agua, etc. Actualmente siguen utilizándose en menor proporción para estos usos, además de incorporarse también en sistemas de desalación de agua.

Los aerogeneradores son los sistemas de aprovechamiento eólico más utilizados hoy en día, observándose un crecimiento muy pronunciado en su utilización a partir del año 1990. Su funcionamiento se basa en que al incidir el viento sobre sus palas se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve un generador que produce electricidad.

A continuación, se mencionan algunas de las ventajas del uso de la energía eólica:

- Un importante potencial de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, es decir, evita el envío a la atmósfera de miles de toneladas de gases contaminantes producto de la combustión del carbón y el petróleo.
- Mayor cantidad de energía producida, esto al respecto de las fuentes de energía fósil, la electricidad que llega a producir un aerogenerador alcanza una capacidad de energía similar a la de 1,000 Kg de petróleo, evitando que se quemen diariamente miles de litros de este combustible.
- El bajo impacto en recursos como lo son el suelo y el agua por no hacer uso de estos en la producción de energía.

- Energía solar o fotovoltaica. Esta energía es la que más utiliza la naturaleza para mantener la vida y da origen a la mayoría de las formas de energía. La energía contenida en la radiación solar anual equivale a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad.

La energía procedente del sol se ha utilizado, directa o indirectamente, desde hace siglos en numerosas actividades: agricultura, arquitectura, industria, etc.

El Sol puede aprovecharse energéticamente de dos formas conceptualmente diferentes:

- Como fuente de calor: energía solar térmica de baja y media temperatura.
- Como fuente de electricidad: energía solar fotovoltaica y solar térmica de alta temperatura.

Este tipo de energía tiene la gran ventaja es que permite la generación de la misma en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. Lo cual permite implementar sistemas distribuidos que minimicen las pérdidas por transporte. Existen diversas formas de utilizarse.

- Paneles fotovoltaicos que convierten directamente la energía luminosa en energía eléctrica.

- Paneles solares sirven para calentar agua de diversos usos desde la que se utiliza para bañarse hasta para la alberca y calefacción, los paneles solares y fotovoltaicos son diferentes entre sí, éstos últimos se utilizan solo para generar electricidad.
- Colectores solares parabólicos, ellos concentran la radiación solar aumentando temperatura en el receptor y una vez aumentada la temperatura se produce energía.

- Tecnología solar fotovoltaica. Es energía a través de paneles fotovoltaicos, estos paneles también se llaman módulos o colectores fotovoltaicos se construyen con dispositivos semiconductores tipo diodo los cuales se excitan con la luz del sol provocando saltos en los electrones lo cual generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. Para lograr voltajes mayores se unen en serie varios de estos diodos.

- **Energía Geotérmica.** Se obtiene a partir del calor interno de la tierra. En algunos puntos este calor está cerca de la superficie y se pone en contacto con aguas subterráneas, las cuales pueden alcanzar la temperatura de ebullición produciendo vapor, el cual se aprovecha para mover turbinas o calentar. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radiogénico (Maldonado & Maldonado, 2014).

- **Energía de Biomasa.** Se obtiene a partir de la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. Este proceso almacena la energía solar en forma de carbono, la cual es transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado (Maldonado & Maldonado, 2014).

- **Energía Hidráulica.** Se obtiene a partir de la energía potencial contenida en las masas de agua en movimiento la cual puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para

poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico, caso concreto son las presas.

La principal razón por la cual se hace referencia de estas energías es debido al poco espacio y recursos que se utilizan para su producción.

Teniendo los conceptos de los distintos tipos de energía renovables ahora se puede hacer una recomendación acerca de cuáles son los más viables para una edificación, de esto dependerá también su localización. A criterio de este trabajo de investigación, los más apropiados son los paneles solares, celdas fotovoltaicas y aerogeneradores.

¿Por qué utilizar estas fuentes de energía en una edificación? No es porque las demás no sean funcionales pero si por sus características el costo de operación pudiera ser más alto, sin contar los espacios y/o zonas donde se tendrían que colocar, sin embargo, para producir energía por medio del aire como por medio del sol, puede ser prácticamente en cualquier zona del exterior del edificio sin ocupar grandes espacios y pueden pasar casi desapercibidos.

En México, la ingeniera Sandra Casillas del Instituto Tecnológico de la Laguna (ITL) ha desarrollado un par de celdas fotoeléctricas transparentes capaces de convertir las ventanas en paneles solares, generando al instante hasta ocho vatios por metro cuadrado de energía (UNOCERO, 2015).



Figura 23. Celda solar transparente.

(UNOCERO, 2015)

Sus beneficios son instantáneos, tan sólo se necesita colocar en la ventana y conectar los dos hilos de cobre con los que cuenta para poder hacer uso de la energía. Las celdas son hasta 30% más económicas que las convencionales.

En México, los techos de las viviendas en el territorio nacional reciben la suficiente energía solar como para producir hasta 200 veces la cantidad que consumen pero su aprovechamiento es casi nulo a diferencia de países como Alemania, con una radiación de apenas 3.2 kW/m^2 y que es uno de los líderes en explotación de energía solar (UNOCERO, 2015).

La celda fotovoltaica transparente que se puede utilizar a la perfección como ventana, más los paneles solares que se podrían situar en la azotea de una edificación y, como ya se mencionó nos sirven para poder calentar agua, fungen como un complemento para poder generar energía con menos huella de carbono, dando muchos puntos de sustentabilidad a un inmueble.

Por otro lado, tenemos los aerogeneradores que contrario a lo que pensamos pueden ser muy pequeños y capaces de abastecer de buena forma a una edificación.

Las pequeñas turbinas eólicas están desempeñando un papel cada vez mayor en algunos países, especialmente en Asia y en Estados Unidos. Hasta el momento, los mercados de mini eólica europeos, aparte del Reino Unido, no han sido los principales impulsores de esta historia de éxito, ni técnica ni económicamente (El Periódico de la Energía, 2015) aunque esto puede cambiar en un futuro próximo.



Figura 24. Turbinas eólicas en edificio
(El Periódico de la Energía, 2015).

Como se puede apreciar, esta es otra forma para producir energía eléctrica que se puede complementar con alguna otra para así tener lo necesario para que una edificación sea lo más cercano a un autoconsumo en cuanto a energía se requiere, de esta forma se reduce de forma significativa un gasto en el consumo de energía.

Para el sistema experto se toman en cuenta los dos tipos de energía renovable más comunes y más utilizados en México hoy en día, las cuales son la energía solar y eólica.

3.9 Resumen

La edificación y el sitio se combinan para formar un sistema complejo de componentes relacionados. La edificación misma, el ambiente exterior y el ambiente interior deben funcionar como una unidad. Cuando la edificación está

diseñada correctamente, cada parte funciona para proporcionar un ambiente seguro, cómodo y sano para sus habitantes.

La integración de las estrategias se da desde el momento de la evaluación inicial de cada estrategia, a partir de ahí se podrá dar un resultado si la integración se está llevando a cabo.

Una edificación que esta automatizado ajusta la seguridad, aire acondicionado, calefacción e iluminación de manera automática para su comodidad, conveniencia, y para ahorrar energía. Un sistema de automatización para cualquier tipo de edificación aumenta enormemente el valor, la seguridad y la eficiencia de esta.

Como se ha mencionado a lo largo de este capítulo la energía es de vital importancia para un desarrollo sustentable, se han tratado diversos sistemas y aspectos de una edificación que generan y promueven dicho desarrollo; estos sistemas trabajan independientemente uno de otro, sin embargo, la integración de todos ellos es lo que logra una eficiencia energética completa.

Esto se puede ver desde la siguiente perspectiva, se puede tener un ahorro considerable con el uso adecuado y eficiente de los aparatos electrónicos, sin embargo, si no se atiende el sistema de iluminación no se verá reflejado el beneficio y será el mismo resultado para cada uno de los casos.

Dado esto se recomienda cumplir o bien contar con la mayoría de los puntos mencionados en este capítulo para que pueda ser apreciable el ahorro energético y se pueda obtener un puntaje satisfactorio para la certificación deseada.

En el próximo capítulo se abarcarán los temas respecto al confort dentro de la edificación, esto involucra la humedad, ventilación, condiciones terminas, la iluminación, acústica y desahogo visual.

El confort es otra vertiente que consideran las certificaciones de sustentabilidad ya y es de gran importancia ya que ante todo la sustentabilidad es que haya una agradable interacción entre la edificación y el usuario.

4. MANEJO DEL CONFORT DENTRO DE LAS EDIFICACIONES SUSTENTABLES

4.1 Introducción

Durante la evolución de nuestra especie y específicamente en las épocas contemporáneas, hemos dependido sino completamente, pero si en gran medida de medios rudimentarios para producir trabajos, como el fuego, los animales, el sol, el viento, el agua e incluso de sí mismo, lo cual ha representado un avance no tan significativo en el resultado de las producciones humanas. De manera particular, al momento de construir, el hombre antiguo lo hacía enfocado a los climas con los que se enfrentaba. En un pasado no tan lejano, es decir, cerca de la Revolución Industrial se comenzaron a producir bienes o servicios mediante máquinas que obtenían su fuente de energía a partir de combustibles fósiles como carbón, gas, petróleo o algún derivado para lograr los fines requeridos, esto último se traslada a la satisfacción de algunas necesidades en específico que han marcado nuestra época y que son tan básicas hoy en día, tal como son calefacción, enfriamiento, ventilación y producción de electricidad, entre otras. Esto nos trasladó a no construir más de acuerdo al clima nativo del sitio dado que el consumo de estos combustibles y sus servicios brindados satisface esta necesidad, sin embargo, esto ha acarreado grandes problemas ambientales al tener un derroche incalculable de estos derivados fósiles.

La tendencia actual es la implementación de diseños bioclimáticos que permitan la interacción entre los microclimas creados al interior de las edificaciones con los climas particulares de cada lugar, todo esto mediante premisas claras que evidentemente no nos harán regresar a construir como nuestros antepasados pero si nos orientaran a enfocar los conocimientos actuales, las nuevas herramientas informáticas, la tecnología de los materiales entre otras técnicas de construcción hacia la creación de espacio más confortables que no demanden grandes cantidades de energía para cubrir las necesidades humanas de temperatura, ventilación, iluminación y acústica adecuadas e incluso algunas más específicas

como los desahogos visuales y las condiciones de servicio de una edificación marcadas por las vibraciones de las estructuras.

El confort es eso que se ha vuelto más demandante cada día, esto bajo las premisas de que las generaciones actuales van en busca de una mayor calidad de vida con un mayor grado de comodidades en cada uno de los servicios que reciben pero esto no quiere decir que esto debe representar un mayor consumo de energía sino, todo lo contrario, se busca eficientar todos estas “máquinas” que nos proveen de comodidades para que este consumo energético sea inversamente proporcional al confort percibido en una edificación.

Adentrando un poco más en la historia del confort como concepto se puede mencionar que durante el siglo xvii la representación de confort estuvo asociada con lo privado, con la intimidad, se relacionaba con la domesticidad. Posteriormente, durante el próximo siglo se le dio más relevancia al ocio, a la comodidad, mientras que en el siglo xix se tradujo como la calidad y el comportamiento de los elementos en los que intervenía lo mecánico (luz, calor y ventilación). Ya en el siglo xx, se le asignó el concepto de eficiencia y comodidad para así en los años siguientes ser planteado como algo que podía ser cuantificado, analizado y estudiado. (M.H. F. Guzmán, 2004)

Hoy en día es concebido por muchos investigadores como una invención verbal, un artificio cultural, y también como una experiencia objetiva que se experimenta personalmente. Existen otros en cambio que expresan que el confort es una sensación óptima compleja, que depende de factores físicos, fisiológicos, sociológicos y psicológicos, en donde el cuerpo humano se siente satisfecho y no necesita luchar con agentes nocivos e incómodos, ya que se encuentra en **equilibrio con el entorno**.

El confort en general radica en la idea inicial del confort térmico, lo cual según la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) es aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico, esto implica la ausencia de sensaciones como calor o frío. Más adelante, en este capítulo, profundizaremos en cada uno de los rubros del confort,

con lo cual se tendrá una idea mucho más clara de este tipo de definiciones, que permita incorporar hacia una correcta interacción con el entorno.

4.2 Proveer un limpio y saludable ambiente al interior

En la actualidad, en las ciudades y en los países industrializados los habitantes de las pasan gran parte de su tiempo en espacios cerrados, por lo que una mala calidad del aire interior puede afectar de manera seria la calidad de vida de las personas.

El número de habitantes en México afectados por el deterioro de las condiciones ambientales de sus edificaciones ha experimentado un aumento notable en las últimas décadas, con lo que se ha producido, en consecuencia, un interés creciente por conocer dichas condiciones y de manera paralela nos surge la necesidad de mejorarlas para que en consecuencia mejore también nuestra calidad de vida.

De esta forma se están diseñando edificios cada vez más herméticos, en los que la renovación del aire interior, y por tanto la dilución y/o eliminación de cualquier contaminante presente en el mismo, se efectúa mediante sistemas de ventilación mecánica, cuyo objetivo además es climatizar el aire. Para nuestro caso, la eliminación y/o dilución de contaminantes presentes en el aire se efectuará mediante ventilación natural, esta ventilación la dará la torre de enfriamiento pasivo (descrita en capítulos anteriores).

Un ambiente limpio y saludable tiene que ver directamente con la “calidad ambiental en interiores”, la Dra. Gloria Cruceta quien es la directora de SEGLA Innovación en Calidad Ambiental, la cual es una empresa especialista en calidad ambiental al interior de edificaciones la define como ***el conjunto de condiciones ambientales en interiores, definidas por los niveles de contaminación química, microbiológica y factores físicos, que no afectan adversamente la salud de los usuarios y promueven su bienestar.*** (SEGLA)

Asimismo, sabemos que la calidad en el ambiente interior (llamada CAI) de una edificación va a jugar un papel muy importante en ciertas afectaciones que puedan

sufrir las personas que en se encuentren haciendo uso de ella así como en malestar y/o en la falta de confort que se puede experimentar dentro.

Los factores implicados en la CAI de una edificación suelen ser de origen químico, biológico o físico, además, todos ellos pueden proceder tanto de agentes que se sitúen en el interior del edificio como de algunos otros que se encuentren fuera de él.

- **Factores químicos.** En un ambiente interior es posible encontrar varios tipos de contaminantes de origen químico procedentes de distintas fuentes, tanto exteriores como interiores (como se mencionó anteriormente). Los contaminantes químicos están constituidos por materia inerte, pudiendo presentarse en el aire en forma de moléculas individuales (gases o vapores) o moléculas unidas (aerosoles).

Regularmente, estos contaminantes son derivados de fenómenos como la combustión, materiales de construcción y también de decoración, además, los productos de limpieza usados de manera cotidiana también originan contaminantes, existe una clasificación de agentes químicos en cinco grupos y a continuación se definen de manera breve.

- **Productos derivados de la combustión.** Son formados por la combustión de sustancias que contienen carbono, ésta es una fuente importante de emisión de gases y de materia en forma de ceniza y polvo.

Algunos de estos gases son asfixiantes, como el CO y CO₂, y otros son irritantes del tracto respiratorio. Pueden causar dolor de cabeza, falta de concentración, mareos, somnolencia y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y el tiempo de exposición (Ruiz & Sanz, 2013).

Su presencia en un interior puede deberse a la presencia de fuentes internas o proceder del exterior. El principal contaminante interior que originaba productos derivados de la combustión era el humo del tabaco, sin embargo, en el país hay una ley la cual no permite fumar en lugares cerrados. Las calderas, las cocinas y

los vehículos a motor también originan este tipo de compuestos por lo que es recomendable que la ventilación de estas instalaciones se encuentre separada del resto de la edificación.

- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).** Son una amplia gama de compuestos químicos que contienen átomos de carbón y que pueden ser gases o, si bien son líquidos, tienden a evaporarse fácilmente a temperatura ambiente.

Su presencia es elevada en nuevas construcciones y en edificios recientemente remodelados, ya que están presentes en la composición de resinas, barnices, pinturas, productos para el tratamiento de muebles, moquetas, alfombras, entre otros.

Los efectos son variables en función del tipo de compuesto, pero de manera general, se considera que el 80% de los COVs son potenciales irritantes de piel, ojos y tracto respiratorio, y el 25% podrían ser cancerígenos. Otros efectos característicos son: dolores de cabeza, irritación de mucosas, disfunciones neuropsicológicas, etc. (Ruiz & Sanz, 2013).

- **Plaguicidas.** Están constituidos por una gran variedad de compuestos orgánicos, la mayoría de ellos son semivolátiles. La exposición a estos compuestos puede implicar efectos sobre la salud que van desde irritación de mucosas hasta efectos sistémicos, dependiendo de la concentración, no se evaporan tan fácilmente (debido a que son semivolátiles) como los COVs, y al modo de aplicación.

Un problema muy frecuente relacionado con los plaguicidas es que generalmente se utilizan cuando el edificio está desocupado, por la noche o durante los fines de semana, cuando el sistema de renovación del aire (ventilación) está parado, con lo cual no se eliminan. Así cuando el sistema se pone en marcha, coincidiendo con el retorno de sus ocupantes, los contaminantes circulan por todo el edificio, con el consiguiente riesgo de exposición.

- **Radón.** Es un gas incoloro e inodoro producto de la desintegración del uranio y del torio, presente en casi todos los suelos y rocas (El Debate, 2017).

Puede penetrar en las viviendas por grietas, poros en el suelo o a través de las tuberías así como de los conductos y, en elevadas concentraciones, aumenta el riesgo de cáncer de pulmón.



Figura 25. Presencia del gas Radón en México.

(Instituto de física, UNAM, 2017)

La importancia del radón radica en que es considerado cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Al tratarse de un gas, no se retiene de forma significativa en el tracto respiratorio. Sin embargo, los productos originados en su desintegración se pueden unir a partículas de aerosoles presentes en el aire, las cuales, en función de su tamaño, pueden ser retenidas a distintos niveles del sistema respiratorio.

Las más pequeñas, la fracción respirable, alcanzarán los bronquios y pulmones, depositándose allí, aumentando la probabilidad de desarrollar un proceso cancerígeno (Ruiz & Sanz, 2013).

- **Partículas y fibras en suspensión.** Las partículas en suspensión son contaminantes dispersos en el aire en forma de aerosoles (líquidos o sólidos). Las partículas presentes en un ambiente interior pueden clasificarse, según su origen, en biológicas, radiactivas, minerales y de combustión.

El tamaño de las partículas se expresa generalmente en micras. El efecto final es variable, en función de la composición química y del tamaño de las partículas. En ambientes interiores, las partículas de más de 10 μm de diámetro se consideran generalmente como polvo.

A partir de este tamaño y a medida que va disminuyendo el diámetro de las partículas, éstas son capaces de llegar a mayor profundidad del sistema respiratorio. Así, las partículas de diámetro inferior a 1 μm son capaces de alcanzar los alvéolos y difundirse al resto del cuerpo a través de la sangre.

Algunos de los efectos más comunes de estas partículas en suspensión son: irritación de ojos y vías respiratorias, agravamiento de episodios asmáticos y de enfermedades cardiovasculares y aumento de la frecuencia del cáncer de pulmón a largo plazo (Ruiz & Sanz, 2013).

Cuando la longitud de las partículas es tres veces mayor que su diámetro pasa a denominarse fibras.

- **Agentes Biológicos.** La contaminación biológica en ambientes interiores se transmite mayoritariamente a través del aire, en forma de aerosoles.

Los bioaerosoles comprenden a los microorganismos y a los fragmentos, toxinas y partículas producto de los desechos de todo tipo, cuyo origen es la materia viva. Formando parte de los bioaerosoles se pueden encontrar, por tanto, microorganismos tales como virus, bacterias, hongos y protozoos y también granos de polen, pelos y caspa de animales, fragmentos de insectos y ácaros, así como sus excrementos, micotoxinas y endotoxinas, y compuestos orgánicos volátiles procedentes del metabolismo de los microorganismos.

Esta contaminación puede provenir del exterior, a través de puertas y ventanas o de los conductos de ventilación y/o climatización, o también del interior del edificio, mediante la respiración de los ocupantes.

Los contaminantes biológicos pueden causar tres tipos básicos de enfermedades entre los ocupantes de un edificio (Ruiz & Sanz, 2013):

- Enfermedades infecciosas: Implica la invasión de las células por microbios para reproducirse. Ejemplo gripe.
- Enfermedades alérgicas: Se presentan cuando los individuos entran en contacto con sustancias capaces de generar la alergia o alérgenos. Ejemplo asma.
- Enfermedades tóxicas: Originadas por las toxinas que producen algunos tipos de bacterias (endotoxinas) y hongos (micotoxinas) y que pueden dar lugar a reacciones inflamatorias o tener efectos tóxicos en humanos.

- **Agentes Físicos.** Al hablar de agentes físicos en CAI nos estamos refiriendo a las condiciones termohigrométricas (temperatura, humedad, velocidad del aire), la iluminación local, el ruido ambiental y las vibraciones percibidas.

Estos factores, a diferencia de los químicos y los biológicos, son más fáciles de identificar y cuantificar a través de mediciones.

En este apartado no se profundiza acerca de los agentes físicos debido a que en el apartado 4.7 se habla con más detalle de ellos. Sin embargo, si se hace mención de que si no se provee un ambiente limpio y saludable en el interior de una edificación se ocasionará que se originen algunos problemas de salud para los usuarios, por ende, a continuación, se hace mención de los principales problemas de salud relacionados con la CAI.

4.2.1 Problemas de salud relacionados con la CAI

Cuando la CAI en una edificación presenta deficiencias repercutirá de manera notable en el confort de los trabajadores, dando lugar a molestias, sensaciones de

malestar e incomodidad (deslumbramientos, falta de concentración, mareos, tos, etc.).

Pero una mala CAI no sólo origina molestias, sino que también puede dar lugar a la aparición de enfermedades que, en general, no suelen ser graves, aunque en algunos casos, como por ejemplo la enfermedad del legionario, sí lo son. La enfermedad del legionario es una bacteria que se propaga mediante el vapor de agua, en las edificaciones suele propagarse por aire acondicionado, la población más vulnerable son los adultos de más de 50 años y personas con enfermedades del sistema inmunológico. Los síntomas pueden no aparecer, pero si aparecen son: tos, dolor de cabeza, mareos, dificultad para respirar y dolores musculares.

Las alteraciones de salud más importantes debidas a una mala calidad del ambiente

interior se engloban dentro del nombre genérico de Enfermedades Relacionadas con el Edificio (ERE), en las cuales el origen de la enfermedad es perfectamente conocido. Por otro lado, la aparición de determinados síntomas sin conocimiento de causa, que desaparecen una vez los trabajadores abandonan el edificio, ha dado lugar a la denominación de un síndrome, el Síndrome del Edificio Enfermo (SEE) (Ruiz & Sanz, 2013).

4.2.2 Enfermedades Relacionadas con el Edificio (ERE).

Se trata de enfermedades infecciosas, alergias o de tipo irritativo, como ya se mencionó anteriormente, pueden ser causadas por agentes biológicos, químicos o físicos específicos, lo que significa que tienen una causa conocida.

Son poco frecuentes, pero pueden dañar de manera fuerte a la salud si llegan a afectar a personas sensibles o con las defensas debilitadas pueden incluso a llegar a provocar la muerte.

Según el Instituto Nacional de Seguridad de Higiene en el Trabajo (INSHT) de España, las ERE se clasifican en dos grupos:

- En el grupo 1 se encuentran las personas con enfermedades conocidas que sufren un empeoramiento clínico al estar o permanecer en una edificación con problemas de CAI, los ejemplos más frecuentes de estas enfermedades son asma, rinitis alérgica o dermatitis atópica.
- En el grupo dos se encuentran enfermedades más específicas producidas por causas identificables que están presentes en la edificación, las enfermedades suelen ser alérgicas, infecciosas y tóxicas.

4.2.3 Síndrome del Edificio Enfermo (SEE)

En el año de 1982, la Organización Mundial de la Salud (OMS) definió el SEE como “un fenómeno que se presenta en ciertos espacios interiores no industriales y que produce, en al menos un 20% de los ocupantes, un conjunto de síntomas tales como sequedad e irritación de mucosas, dolor de cabeza, fatiga mental e hipersensibilidades inespecíficas, sin que sus causas estén perfectamente definidas” (OMS, 2018).

Algo que suele ser común en el SEE es que los síntomas antes mencionados desaparezcan al abandonar la edificación.

El síndrome del edificio enfermo no suele tener una causa única, más bien, tiene varias causas y a continuación se enlistan según el INSHT.

- Edificios nuevos o recientemente remodelados.
- Baja calidad en los materiales de construcción.
- Sistema de ventilación mecánica común a todo el edificio o a amplios sectores del mismo, en los que recircula gran parte del aire.
- Superficies interiores recubiertas con materiales textiles como lo son alfombras.

Por otro lado, la OMS distingue entre edificios temporalmente enfermos, edificios nuevos o de reciente remodelación donde los síntomas de SEE desaparecen con el tiempo y edificios permanentemente enfermos a aquellos en los que los síntomas persisten a lo largo de los años.

4.3 Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos

La humedad es un elemento del clima, así como lo es la temperatura y la presión atmosférica. Se define como la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera. La rama de las ciencias físicas que tiene por objeto estudiar la proporción de humedad en la atmósfera es la *Higrometría*, y el aparato que la mide se llama *Higrómetro*.

El control de la humedad es fundamental en el funcionamiento apropiado de cualquier edificación, así mismo es importante para proteger a los ocupantes de efectos adversos a la salud y para proteger la edificación, sus sistemas mecánicos y sus contenidos de daños físicos o químicos. Sin embargo, los problemas de humedad son tan comunes en las edificaciones que muchas personas los consideran inevitables.

La humedad causa problemas a los propietarios de las edificaciones, al personal de mantenimiento y a sus ocupantes. Muchos de los problemas comunes de humedad pueden ser rastreados a malas decisiones en el diseño, la construcción o el mantenimiento. (U.S. Environmental Protection Agency, 2016).

En los Estados Unidos se han hecho investigaciones acerca de este tema, los miembros del Comité en Espacios Interiores con Exceso de Humedad y la Salud quienes hicieron la recopilación de esta información, concluyeron que las pruebas epidemiológicas demuestran una asociación entre la exposición a interiores con exceso de humedad y efectos adversos a la salud, incluyendo:

- Síntomas adversos de la parte alta del sistema respiratorio (nariz y garganta).
- Tos.
- Respirar con dificultad.
- Síntomas asmáticos en personas afectadas por el asma.
- Disnea (falta de aire al respirar).
- Enfermedades en la parte baja del sistema respiratorio en niños sanos fuera de esas condiciones.

- Desarrollo de asma.

Además de causar problemas de salud, la humedad puede dañar los materiales de construcción y sus componentes. Por ejemplo:

- Condiciones prolongadas de humedad excesiva pueden llevar a la propagación de mohos, bacteria, mohos que pudren la madera, y pestes de insectos en materiales de construcción.
- Reacciones químicas en materiales de construcción y sus componentes, puede ser causa de, por ejemplo, corrosión en sujetadores estructurales, cables, techos de metal y serpentinas de aire acondicionado y fallas en adhesivos de pisos y techos.
- Materiales de construcción solubles en agua pueden disolverse de nuevo.
- Materiales de madera se pueden pandear, hinchar o pudrir.
- El ladrillo o concreto puede dañarse durante los ciclos de congelamiento-descongelamiento y por deposición de sal debajo de la superficie.
- Pinturas y barnices pueden dañarse.

Las siguientes fotografías muestran algunos de los daños que pueden ser resultado de problemas de humedad en edificaciones.



Figura 26. Moho creciendo en la superficie de paneles de yeso y remates pintados. La alta humedad por largo tiempo es la fuente de humedad que permite el enmohecimiento. Todos los muros tuvieron condiciones similares cercanas a la condensación.

(U.S. Environmental Protection Agency, 2016)



Figura 27. Otros daños por lluvia en el revoque interior. La filtración de la lluvia convierte el compuesto de la junta del panel de yeso en un fluido, causando que se formen burbujas en el yeso y que se levante.

(U.S. Environmental Protection Agency, 2016)



Figura 28. Corrosión en lámina de acero galvanizada acanalada. El agua proviene de la filtración de agua de lluvia.

(U.S. Environmental Protection Agency, 2016)



Figura 29. El agua de lluvia es introducida de este ensamblaje de ladrillos por acción capilar, y la humedad camina hacia abajo por la fuerza de gravedad. La pintura despegada contiene plomo y provoca un medio ambiente peligroso.

(U.S. Environmental Protection Agency, 2016)

Como se puede apreciar la mitigación de este problema es muy importante tanto para la salud y la misma edificación, para controlar la humedad para una larga vida de la edificación y una buena calidad del aire interior, se tienen estas 3 estrategias:

1. Controle el agua en estado líquido.
2. Prevenga la humedad en exceso en interiores y la conducción de vapor de agua en el flujo y difusión del aire para limitar la condensación y absorción de la humedad en materiales y superficies frías.
3. Seleccione materiales resistentes a la humedad para lugares inevitablemente mojados.

Siguiendo estas estrategias será más sencillo controlar la humedad y prevenir una gran mayoría de problemas comunes en las edificaciones. (U.S. Environmental Protection Agency, 2016).

Estrategia 1: Control del Agua en Estado Líquido

Conservar el agua en estado líquido fuera de la edificación. Proteger los ocupantes del agua es el propósito primario de los ensamblajes incluyendo techos, muros y fundaciones. Entre las fuentes de agua del exterior del edificio se encuentran:

Lluvia y deshielos de nieve o heladas.

Agua subterránea y agua corriente superficial.

Agua que se trae a la edificación en tuberías.

Materiales mojados que se encerraron en ensamblajes durante la construcción.

Estrategia 2: Manejo de la Condensación

Limite la condensación en interiores y asegúrese que la condensación se seque en el lugar donde, y cuando ocurra.

La solución radica en instalar o adecuar alguno de los siguientes sistemas:

- Sistemas de extracción
- Ventilación
- Sistemas de aire acondicionado

Estrategia 3: Usar Materiales Tolerantes a la Humedad

Esta última estrategia se refiere a usar materiales de construcción que puedan soportar mojarse, en áreas que se puede asumir que se mojen. Se puede lograr un control adecuado usando materiales tolerantes a la humedad y diseñando ensamblajes que se sequen con rapidez. Los materiales tolerantes a la humedad se deberán usar en áreas que:

- Por diseño, se mojarán: cuartos de servicio, cuartos de lavandería, cocinas, baños, piscinas interiores, tinas de hidromasaje, vestidores, pisos de recintos de entrada y pisos que son regularmente limpiados o lavados con agua.
- Es probable que se mojen por accidente: cuartos de lavandería, lavatorios, cuartos de baño, de servicio están propensos a fugas de agua y derramamientos, así como sótanos que puedan estar a la altura de algún nivel freático del suelo.

4.4 Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno

La ventilación es una estrategia bioclimática que acompaña a la arquitectura e ingeniería a lo largo del tiempo.

La ventilación es un aspecto crítico en el comportamiento energético de los edificios y afecta en la salud de los usuarios, además influye directamente en la durabilidad de los materiales que componen los edificios.

Ventilar es renovar o mover el aire de un lugar, al llevar a cabo esta acción los vientos llevan con ellos los microorganismos nocivos para la salud humana, los olores no deseados y los gases tóxicos, dejando el ambiente fresco y ventilado, mejorando la calidad del aire.

Algunos de los beneficios de la ventilación son:

- Asegurar la limpieza y circula el aire no respirable.
- Asegurar la salubridad y calidad del aire, ayuda tanto el control de la humedad, concentraciones de gases o partículas en suspensión.
- Luchar contra los humos en caso de incendio.
- Disminuir las concentraciones de gases o partículas a niveles adecuados para el funcionamiento de maquinaria o instalaciones.
- Proteger determinadas áreas de patógenos que puedan penetrar vía aire.
- Colaborar en el acondicionamiento y/o equilibrio térmico del edificio.

Existen dos tipos de ventilación: la ventilación natural y la ventilación forzada.

La ventilación natural es aquella que se obtiene mediante técnicas naturales, sin usar ningún dispositivo mecánico, algunas de éstas técnicas son el aprovechamiento de las diferencias de temperatura entre dos puntos (efecto chimenea), las diferencias de presión (efecto Venturi) y la velocidad y presión del viento sobre un hueco.

La ventilación forzada es la que se realiza mediante la creación artificial, por medios mecánicos (extractores, ventiladores, etc), de depresiones o sobrepresiones en conductos de distribución de aire o áreas del edificio. (MADRID ARQUITECTURA, 2017)

Una de las primeras consideraciones bioclimáticas (es decir, que inciden directamente sobre el bienestar) sobre los edificios es el control de la ventilación, sea ésta natural o forzada.

Dentro de la ventilación natural, se encuentra la ventilación cruzada, que se produce cuando hay al menos dos aberturas en lados opuestos de los espacios, lo que permite la completa circulación del aire. La colocación de estas aberturas debe tener en cuenta el efecto de los vientos predominantes en cada zona.

Un control preciso sobre la ventilación natural es básico para que el movimiento del aire se mantenga por debajo de los límites de la incomodidad funcional, evitando las corrientes de aire que pueden provocar malestar térmico local.

Para lograr un control térmico se deben tener consideraciones preventivas en la etapa de construcción, una de estas es la verificación de los caudales que establezca el proyecto, esto se logra con la correcta instalación de las aberturas de ventilación, los conductos de extracción/impulsión y los equipos de ventilación mecánica controlada, esto se hace para evitar ciertas infiltraciones, que son un parámetro que no se puede controlar sólo desde el proyecto y que puede desequilibrar el sistema de ventilación de forma considerable.

4.5 Proveer buenas condiciones térmicas

Tal y como se menciona anteriormente, el confort de una manera generalizada radica en los ideales de la confortabilidad térmica, las cual a su vez determina la permanencia dentro de una edificación y por su puesto una agradable permanencia. Por contraparte los tipos de clima de cada lugar en donde se construye una edificación marcan específicamente las necesidades de confort que se tendrán una vez dentro de la construcción, pero es la capacidad de modificar y adaptar las edificaciones con el propósito de hacerlas más confortables para sus habitantes, la que permite desempeñar adecuadamente las actividades humanas.

Las condiciones térmicas están definidas por aspectos básicos propios de los humanos, es decir que para que una persona se encuentre sin alteraciones corporales y en satisfacción con el ambiente se deben cumplir ciertos parámetros que marca nuestra anatomía, en otras palabras, nuestro cerebro es quien nos indica cuando estamos insatisfechos con el ambiente al enviar impulsos eléctricos cuando la temperatura de nuestra piel desciende por debajo de los 34°C o bien cuando asciendo sobre los 37°C; todo esto nos conduce de nuevo al llamado intercambio energético y particularmente a las pérdidas que el cuerpo tiene de acuerdo al espacio y condiciones en las que se encuentre. Con base en esta premisa, el cuerpo humano no percibe la temperatura del ambiente, si no los factores que ocasionan las pérdidas de energía de su cuerpo, así bien nuestro objeto de estudio deberán ser esas variables: temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire y la humedad.

Cuando se lleva a cabo el diseño de una edificación se tienen que tomar en cuenta modelos térmicos los cuales toman conceptos constructivos de espacio y elementos. Concretamente estos conceptos son los cerramientos de la edificación que en conjunto crean la envolvente del edificio, las particiones interiores, huecos y puentes térmicos.

4.5.1 Envoltente del edificio

Sin fines de detallar las características de este elemento, dado que esto se describió en anteriores puntos; solo recordaremos que está integrada por los elementos que delimitan los espacios habitables con el exterior. El objetivo es definir estos elementos conformantes de la envolvente como aquellos que impidan completamente o casi en su totalidad cualquier tipo de contacto con el exterior, por ejemplo, cubiertas rígidas, muros, suelos, entre otros.



Figura 30. Espacio típico con cerramientos contundentes.

Fuente (UnComo, 2017)

4.5.2 Particiones interiores

Estos son elementos constructivos internos de la edificación que dividen la estructura global en unidades independientes, esto determina diferentes

exigencias en virtud de que dichos espacios tengan variantes de uso. Esto además permite tener un ambiente particular en cada área.



Figura 31. Subdivisiones de una vivienda tipo.

Fuente (Casa Creativa publicidad y medios, 2015)

4.5.3 Huecos

Son elementos transparentes o semitransparentes de la envolvente del edificio. Estos pueden ser ventanas, tragaluz y domos, así mismo como los elementos de cristal con una superficie semitransparente superior al 50%.



Figura 32. Huecos típicos contemporáneos.

(HOMIFY INTERNACIONAL, 2016)

4.5.4 Puentes térmicos

Se puede definir como la zona de la envolvente térmica del edificio en la que se interrumpe la uniformidad de un elemento en la envolvente. Es una variación que puede ser por un cambio del espesor de los elementos o bien, de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad.

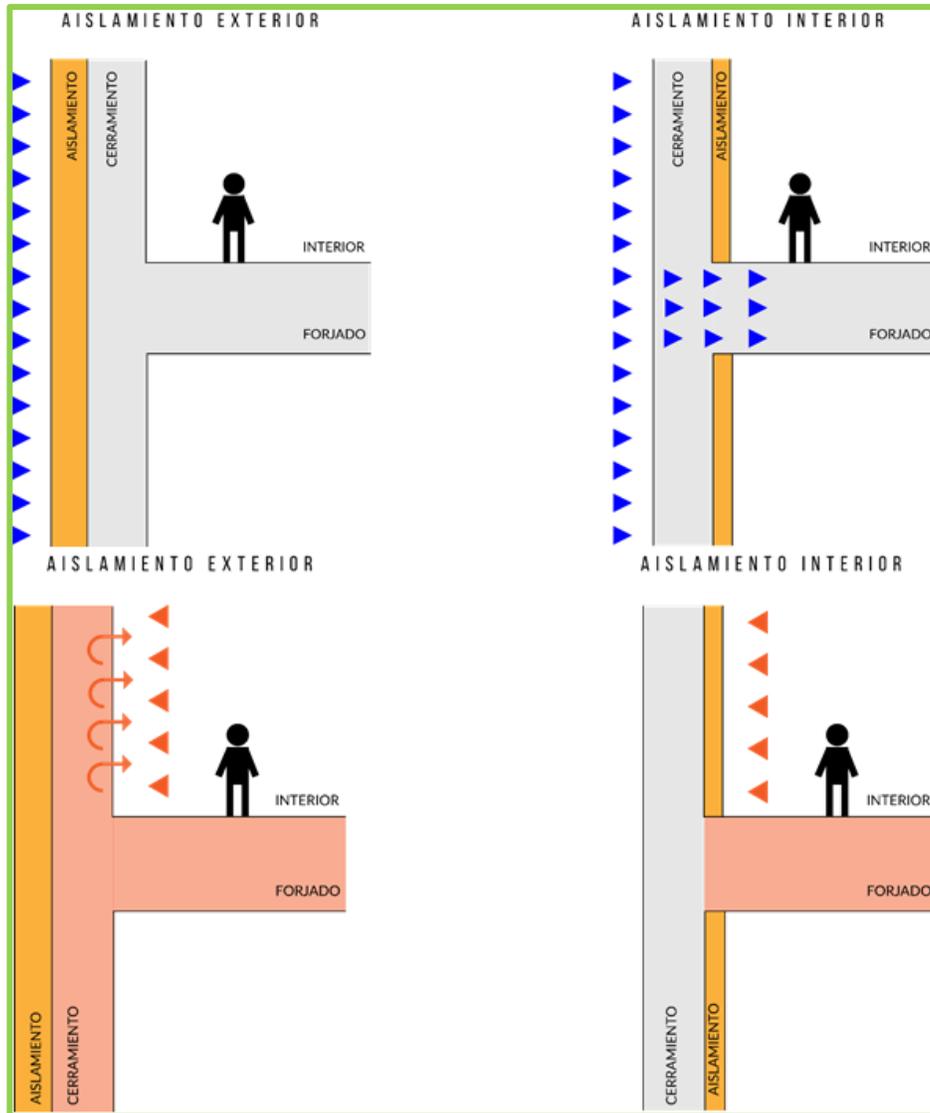


Figura 33. Puente térmico interior y exterior.

(Rehabilitación Energetica, 2017)

4.6 Proveer buena iluminación y ventilación

Inicialmente se puede mencionar que la luz natural tiene una gran importancia en el desempeño de nuestras actividades, ya sea dentro o fuera de una edificación pero, enfocando particularmente a interiores, se busca optimizar mediante elementos arquitectónicos enfocados al bioclima interior toda esta luz que es dotada de manera natural. Evidentemente toda esta luz tiene variaciones en las superficies últimas de contacto, esto debido a los múltiples obstáculos naturales como plantas, árboles, relieve y artificiales como los mismos edificios y construcciones en general.

La orientación juega un papel muy importante en el aspecto del aprovechamiento de la luz solar, en la siguiente figura se muestran distintas formas de orientación y cuan benéficas son para el aprovechamiento de la luz solar.

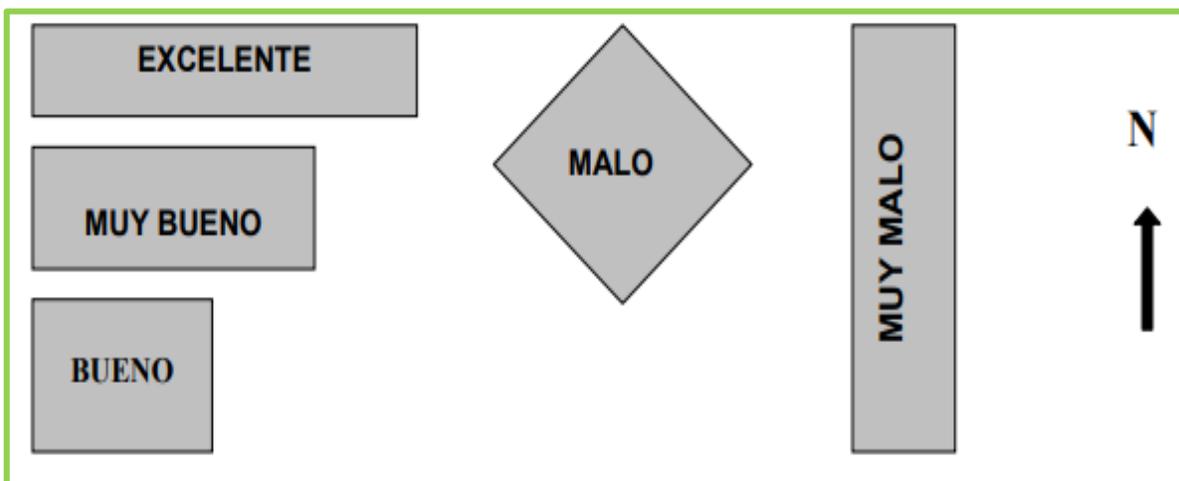


Figura 34. Orientaciones favorables y desfavorables de los edificios para que la mayoría de los espacios tengan acceso a la luz natural.

(Pattini, 2008, pág. 12)

Por otro lado, un factor más que contribuye de fuerte manera al correcto aprovechamiento de la luz solar, son las ventanas y puentes térmicos, para lo cual se establecen objetivos a lograr en su diseño e implementación como los siguientes:

- Maximizar la transmisión de luz por unidad de área vidriada.

- Controlar la penetración de la luz solar directamente sobre el plano de trabajo.
- Minimizar los deslumbramientos sobre los puntos de trabajo.
- Maximizar las ganancias diurnas de calor para así eficientar la calefacción natural en los espacios.
- Controlar el correcto acondicionamiento de sombras de acuerdo a la orientación del edificio con la finalidad de evitar sobrecalentamientos estacionales o bien algún deslumbramiento.

De manera general se menciona que estos puntos se podrán lograr a través de algunas estrategias de diseño propias de los diseñadores de la edificación.

Análogamente de cómo se menciona en el capítulo 3.5 acerca de las instalaciones de iluminación artificial, se pueden establecer algunos objetivos a lograr para determinar un adecuado aprovisionamiento de iluminación:

- Cumplir con las recomendaciones de confort visual.
- Crear ambientes agradables para los usuarios de las edificaciones.
- Concientizar el uso energético con el uso de sistemas con la mayor eficiencia energética posible.

Partiendo de estas premisas es importante comentar respecto al sinnúmero de variaciones posibles dentro de las condiciones de un espacio cerrado, es decir, por ejemplo, la actividad visual a desempeñar ya que habrá una considerable variación si el espacio a iluminar demanda gran actividad visual como un aula o biblioteca; a que si el espacio por el contrario tiene una baja demanda de actividades visuales como pueden ser vestíbulo, pasillos, almacenes, entre otros.

Concretamente la iluminación recae completamente sobre criterios de calidad y diseño, donde la iluminancia toma un gran papel, al ser la cantidad de flujo luminoso (lúmenes) emitido por una fuente de luz y que llega vertical u horizontalmente a una superficie, dividido por dicha superficie, siendo su unidad de medida el lux (*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2001*) y

esta a su vez se ve afectada en función del tipo de actividad a realizar, las condiciones ambientales y la duración de dicha actividad.

Por otro lado, hay efectos de la iluminación que deben ser controlados, como es el deslumbramiento, el cual puede ser directo por lámpara o cualquier luminaria, además de cualquier superficie de alta reflectancia, sin embargo, este se puede eliminar con la introducción de luminarias que redistribuyan el flujo lumínico de una manera adecuada.



Figura 35. Control de efectos del deslumbramiento mediante técnicas de luz indirecta.
(ICANDELA, 2017)

Si bien el confort en general no es un término que lo establezcan uno o dos parámetros, el confort parece ser muy marcado por la temperatura, la ventilación y la iluminación, de ahí que una correcta ventilación e iluminación sea un parteaguas a la hora de diseñar una edificación y es por esto que existe una regulación dentro de la normatividad mexicana que responde a criterios imprescindibles como niveles mínimos de iluminación, niveles máximos

permisibles de reflexión que sin duda colaboran para tener estándares de ejecución en estos parámetros.

4.7 Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones

Las buenas condiciones acústicas y de vibraciones tienen que ver con el concepto del edificio enfermo, el cual, ya fue definido en párrafos anteriores, sólo para recordar se deja en claro que el SEE no afecta de igual forma a todas las personas que ocupen una edificación.

El ruido y las vibraciones constituyen dos de los contaminantes físicos que más afectan a los ocupantes de estas construcciones. En este apartado, se aborda la influencia del ruido y las vibraciones en una edificación, así como la influencia potencial que pueden ejercer sobre las personas que están en contacto con ellas.

4.7.1 Ruido

El ruido ha ido formando parte de nuestras vidas, de modo que por lo general no se aprecian todos los efectos producidos por éste. A menudo pueden resultar experiencias en su mayoría agradables, pero conjuntamente a estas sensaciones, tenemos también sonidos molestos e incluso perjudiciales para la salud.

Produce efectos negativos tanto en la salud como en los diferentes aspectos de la vida periódica de las personas, siendo este fenómeno perjudicial en los núcleos urbanos. La contaminación acústica es aquella generada por un sonido el cual no es deseado que afecta la calidad de vida de un individuo causándole no solo problemas de tipo psicológico (subjetivos) sino también fisiológicos (como la pérdida de audición) e inclusive problemas sociales y económicos.

El ruido es uno de los contaminantes que más afecta a las comunidades. Los efectos que provoca han sido estudiados con profundidad, sin embargo, aquí se mencionan algunos de los efectos principales. El ruido es causa directa de la **hipoacusia** (o pérdida auditiva irreversible, reconocido este efecto como enfermedad profesional). En el ámbito comunitario tiene lugar el fenómeno conocido por **socioacusia**, que consiste en la pérdida irreversible y progresiva de la capacidad de escuchar, debido al ruido generado por determinado ambiente

social y asimilado durante años. Es también responsable de transformaciones fisiológicas y psicológicas en el organismo que se manifiesta en afectación directa de la calidad de vida y en el comportamiento (Sexto, 2012).

Además, el ruido también interfiere en la comunicación, provoca malestares como lo son trastornos en el sueño, entre otras cosas propicia la pérdida de la atención y la disminución del rendimiento en el trabajo, es causa de estrés y de la consiguiente disminución del sistema defensivo del organismo humano. A continuación, se da una breve descripción de algunos de esos factores de ruido mencionados.

- **Malestar.** Este es quizá el efecto más común del ruido sobre las personas y la causa inmediata de la mayor parte de las quejas.

La sensación de malestar procede no sólo de la interferencia con la actividad en curso o con el reposo sino también de otras sensaciones menos definidas pero a veces muy intensas, por ejemplo, la de estar siendo perturbado. Las personas afectadas hablan de intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, desamparo, ansiedad o rabia. Todo ello contrasta con la definición de "salud" dada por la Organización Mundial de la Salud (OMS): "Un estado de completo bienestar físico, mental y social, no la mera ausencia de enfermedad". (FINCADMIN)

El nivel de malestar varía no solamente en función de la intensidad del ruido y de otras características físicas del mismo que son menos objetivas (ruidos "chirriantes", "estridentes", etc.) además de factores tales como miedos asociados a la fuente del ruido o el grado de legitimación que el afectado atribuya a la misma. Si el ruido es intermitente influyen también la intensidad máxima de cada episodio y el número de éstos (Vega, 2008).

- **Interferencia con la comunicación.** El nivel del sonido de una conversación en tono normal es, a un metro en promedio del hablante, de entre 50 y 55 dB. Hablando a gritos se puede llegar a 75 u 80. Por otra parte, para que la palabra sea perfectamente inteligible es necesario que su intensidad supere en alrededor de 15 dB al ruido de fondo (Vega, 2008).

Con lo anterior se puede deducir que un ruido superior a 35 ó 40 decibeles provocará dificultades en la comunicación oral que sólo podrán resolverse, parcialmente, elevando el tono de voz. A partir de 65 decibelios de ruido de fondo, la conversación se torna extremadamente difícil.

Situaciones parecidas se dan cuando el sujeto está intentando escuchar otras fuentes de sonido como televisión o música. Ante la interferencia de un ruido, se reacciona elevando el volumen de la fuente creándose así una mayor contaminación acústica sin lograr totalmente el efecto deseado.

- **Pérdida de atención, de concentración y de rendimiento.** Es evidente que cuando la realización de una tarea necesita la utilización de señales acústicas, el ruido de fondo puede enmascarar estas señales o interferir con su percepción. Por otra parte, un ruido repentino producirá distracciones que reducirán el rendimiento en muchos tipos de trabajos y acciones, especialmente en aquellos que exijan un cierto nivel de concentración. En ambos casos se afectará a la realización de la tarea, apareciendo errores y disminuyendo la calidad de la misma.

Algunos accidentes tanto laborales como de circulación, pueden ser debidos a este efecto. En ciertos casos las consecuencias serán duraderas, por ejemplo, los niños sometidos a altos niveles de ruido durante su edad escolar no sólo aprenden a leer con mayor dificultad además tienden a alcanzar grados inferiores de dominio de la lectura.

- **Efectos en el sueño.** Muchas personas experimentan problemas para dormir debido al ruido. Incluso algunos estudios sociales indican que la perturbación del sueño es considerada uno de los efectos más perjudiciales del ruido ambiente.

La exposición al ruido puede inducir perturbaciones para dormir desde el punto de vista de dificultades para quedarse dormido, alteraciones en los ciclos del sueño y profundidad y en el proceso de despertar.

La exposición al ruido nocturno puede inducir efectos secundarios o efectos posteriores, esto es, efectos que se pueden medir en la mañana del día después

de estar expuesto al ruido. Los efectos secundarios incluyen aumento de fatiga, disminución del humor y bienestar y disminución del rendimiento. La molestia durante la noche también influye en el nivel total de molestia diaria (Vega, 2008).

- **Efectos en la audición.** Es el aumento del umbral de la audición. El deterioro del oído ocurre predominante alrededor de las frecuencias de 3 a 6 kHz, con efectos más acusados en los 4 kHz. Los valores bajo los cuales no se espera deterioro auditivo son los 75 dB, evaluado en 8 horas, incluso para una exposición de ruido ocupacional prolongada (Vega, 2008). Sin embargo, a estos valores referenciales deben agregarse otros factores, tales como el número de años de exposición y la susceptibilidad individual. No existe diferencia de género en cuanto a la resistencia a la pérdida auditiva, hombres y las mujeres están igualmente en riesgo.

Se espera que el ruido ambiental y de actividades de ocio no causen deterioro auditivo si se está expuesto a niveles por debajo de los 70 dB en 24h. Para los adultos, el límite del ruido impulsivo se fija en los 140 dB. En el caso de los niños pero considerando sus hábitos de juego con los juguetes ruidosos, la presión sonora máxima no debe exceder los 120 dB.

- **Estrés y sus manifestaciones y consecuencias.** Las personas sometidas de forma prolongada a situaciones como las anteriormente descritas (ruidos que hayan perturbado y frustrado sus esfuerzos de atención, concentración o comunicación, o que hayan afectado a su tranquilidad, su descanso o su sueño) suelen desarrollar algunos de los siguientes síndromes:

- Cansancio crónico.
- Tendencia al insomnio, con la consiguiente agravación de la situación.
- Enfermedades cardiovasculares como la hipertensión, además e han mencionado aumentos de hasta el 20% o el 30% en el riesgo de ataques al corazón en personas sometidas a más de 65 decibelios de forma periódica.
- Trastornos del sistema inmune responsable de la respuesta a las infecciones y a los tumores.

- Trastornos psicofísicos tales como ansiedad, manía, depresión, irritabilidad, náuseas, jaquecas, y neurosis o psicosis en personas predispuestas a ello.
- Cambios conductuales, especialmente comportamientos antisociales tales como hostilidad, intolerancia, agresividad, aislamiento social y disminución de la tendencia natural hacia la ayuda mutua (Vega, 2008).

4.7.2 Vibraciones

Por su parte las vibraciones son todas aquellas oscilaciones mecánicas que son emitidas por una fuente utilizando uno o varios medios de propagación y que pueden afectar a los seres vivos. El efecto de las vibraciones en el ser humano se condiciona a variedad de factores físicos, así como a la posición de la persona expuesta (de pie o acostada). Al igual que con el ruido, las vibraciones pueden caracterizarse en función de las frecuencias que contenga la señal vibratoria (o sonora), las amplitudes a esas frecuencias y el tiempo de exposición (Sexto, 2012).

En el caso de un edificio, el efecto de las vibraciones tiende a romper con la condición de comodidad debido al insuficiente aislamiento de las fuentes generadoras de vibraciones y ruido, tales como motobombas, sistemas de aire acondicionado, elevadores, sanitarios, ruidos de la calle, ruido de aviones, entre otros. En ambientes industriales las vibraciones son causa de múltiples enfermedades del sistema osteomuscular pero ello ocurre cuando los niveles y la exposición a las oscilaciones logran valores no alcanzables normalmente en la vida comunitaria.

Es bien sabido, por los diversos cursos que llevamos en ingeniería, que las magnitudes de las oscilaciones o vibraciones de las estructuras (frecuencias, aceleraciones, velocidades, desplazamientos, etc.) medidas o calculadas deben evaluarse en función de si los efectos de ellas son o no tolerables.

Resulta relativamente complejo discernir entre valores aceptables o inaceptables, los efectos psicológicos sobre las personas responden a parámetros de

sensibilidad propios de cada ser humano y por lo tanto resultan de difícil evaluación objetiva dada la posibilidad de valoraciones subjetivas individuales distintas. Tampoco resulta sencillo valorar los efectos de las vibraciones en la maquinaria o instalaciones de algún proceso productivo (que influyan dentro de la edificación), mientras que los valores tolerables o aceptables para evitar sobreesfuerzos en estructuras pueden determinarse de manera más segura, pues se pueden medir y valorar de manera real. Los valores límite para las vibraciones pueden darse mediante valores de aceleración, velocidad, desplazamientos, amplitudes, frecuencias o cantidades empíricas derivadas de las anteriores.

Existen criterios estructurales plasmados en los distintos reglamentos de construcción alrededor del mundo en los cuales nos dice los parámetros a cubrir para determinar las vibraciones o deformaciones que una estructura pueda tomar y así determinar si son adecuadas o no para la estructura. Asimismo, existe algún criterio psicológico que para este caso de estudio se toma más en cuenta por la cuestión del confort de una edificación y a continuación se mencionará un poco.

- **Criterio Psicológico.** La sensibilidad humana a las vibraciones de los edificios o estructuras es muy sutil. Como ejemplo, el cuerpo humano percibe desplazamientos de amplitudes de vibración de sólo 0.001 mm mientras que las yemas de los dedos pueden llegar a detectar amplitudes 20 veces inferiores, sin embargo, la reacción humana a una vibración dada depende mucho de las circunstancias. La sensación personal de falta confort o bienestar se percibe a niveles diferentes en cada una de las situaciones: sentados en una mesa de trabajo en la oficina, operando una máquina o conduciendo un coche. La actitud de la persona también es determinante en la percepción de las oscilaciones, la costumbre de percibir las o el hecho de ser el protagonista que crea las vibraciones (no son una agresión externa) puede disminuir su importancia subjetiva.

En la percepción de las vibraciones por parte de las personas influyen un gran número de factores como por ejemplo: la posición de la persona afectada (de pie, sentada o acostada), la dirección de incidencia de la vibración respecto a la columna vertebral, la actividad que esté desarrollando la persona en ese momento

(descansar, caminar, correr) encontrarse solo o en grupo (algunos compañeros pueden percibir vibraciones que nosotros no percibimos), la edad, el sexo, frecuencia de ocurrencia de las vibraciones, momento del día en que se producen las oscilaciones.

A pesar del gran número de factores que influyen en la percepción de las vibraciones, la intensidad de esta percepción depende de parámetros físicos objetivos de las oscilaciones como, por ejemplo: amplitud del desplazamiento, velocidad, aceleración, duración de las vibraciones y frecuencia de vibración.

Para la sensación de confort, la normativa ISO 2631-1 presenta unos valores de referencia en su Anexo C. En este caso el dato que marca según esta normativa la sensación de confort de la persona es la aceleración:

Aceleración [a] en m/s^2	Calificación
$a < 0.315$	Confortable
$0.315 < a < 0.630$	Poco confortable
$0.500 < a < 1.000$	Bastante inconfortable
$0.800 < a < 1.600$	Inconfortable
$1.250 < a < 2.500$	Muy Inconfortable
$2.000 < a$	Extremadamente Inconfortable

Tabla 7. Tabla de confort de acuerdo a la aceleración de las vibraciones

Elaboración propia con datos de la norma ISO 2631-1

Como se puede observar, no es un tema menor la cuestión del ruido ni de las vibraciones, tal vez no repercute de forma considerable a corto plazo, pero el hecho de no corregir estas condiciones en una edificación nos puede llevar de forma clara a la disminución de la calidad de vida de las personas que lo utilicen con el tipo de padecimientos ya mencionados.

4.8 Proveer adecuado desahogo visual al exterior

Este punto al igual que algunos otros se tratan desde el diseño hasta la prevención en edificaciones existentes, una estrategia básica a nivel proyecto, es que la localización del edificio no esté en un terreno sensible a impactos ambientales, como reservas ecológicas o zonas de riesgo ambiental.

Según la revista *Arquitectura Sustentable*, la contaminación visual demuestra la incapacidad de una ciudad para desarrollar un sistema de organización que permita el flujo de la población, menciona que la contaminación visual contribuye a crear atmósferas de estrés y aprensión en los habitantes de una ciudad e incluso puede generar reacciones claustrofóbicas en ciertas personas. En su volumen XII de 2010, la revista concluye mencionando que, para lograr un nivel de calidad de vida estable y sano, es necesario eliminar el exceso de imágenes e información destinada a tus ojos y tanto los gobiernos como los ciudadanos, en general, necesitan aprender a preservar los ámbitos donde te mueves habitualmente de la abundancia de estímulos visuales, además enfatiza la conciencia de mantener el orden y no tirar basura en el suelo.

El arquitecto Enrique Santoscoy, responsable del movimiento CCC (Ciudad Clara y Calmada), menciona algunas estrategias, así mismo, otras fuentes hacen mención a diversas estrategias que ayudaran a la mitigación de la contaminación visual:

1. Es importante plantear un ordenamiento que permita ubicar de forma adecuada esta serie de elementos visuales en las ciudades. Para iniciar, se debe dar entera prioridad a elementos necesarios para fortalecer e instruir al tráfico sobre los modos de conducción, tales como el sistema de señalización, y que esta medida no se vea opacada ni alterada, de tal forma que se reduzca su visualización, pues es un elemento fundamental.
2. El área gráfica a modo de publicidad, la cual se encuentra en las ciudades, lo que genera un caos y desorden que tiene la posibilidad de mitigar sus acciones. Existe una reglamentación que busca regular y controlar el uso de los colores que se incorporan en las presentaciones de publicidad como

las vallas y los avisos, principalmente. Estos procesos deben hacerse con base en las normas establecidas, donde el color rojo representará el peligro y las prohibiciones, el color amarillo serán las medidas preventivas y el color azul hará referencia a una serie de señalamientos sobre establecimientos y ofrecimiento de servicios.

3. Es necesario que se planteen una serie de normas que permitan conocer las estancias adecuadas para la colocación de los elementos gráficos que van a implementarse para la población. Esto deberá realizarse con base en la funcionalidad que cada uno de los elementos ejecute y en esta medida, se determinará según los principios básicos, para mejorar y brindar diferentes áreas de visualización y comunicación primeramente de forma visual.
4. Enfocado a las distintas vallas publicitarias, una opción sería la restricción de algunas de las que acarreen más complicaciones a los peatones en zonas de tráfico intenso como el centro y las glorietas.
5. Lo mejor para evitar desórdenes en vía pública es crear un sistema confiable y justo de multas para quien cometa infracción pues no sólo causa contaminación visual sino también al medio ambiente puesto a que las basuras que se encuentran en algunos barrios o colonias de la ciudad causan molestias a los vecinos debido a la mala imagen, el olor y la contaminación.
6. Con respecto a las construcciones en obra negra y edificaciones muy altas, se debe realizar una mejor comunicación e información a quien realiza estas actividades, en este punto se hace necesario que las personas logren culminar lo más pronto posible los procesos de construcción y reconstrucción, los edificios a medio construir son un peligro para quien transita por allí además de que contribuyen a crear una imagen de desorden, desarreglo y caos, ya que los materiales en la vía pública exponen a peligros tanto a conductores como a las personas que transitan en esa zona, así mismo, durante la construcción se tienden a montar avisos

publicitarios que ocupan grandes espacios, por lo que estos también desaparecerán con el paso de la finalización de la edificación particular.

7. La mejor estrategia que se debería ejecutar para los comerciantes ambulantes es dar una mejor ubicación donde estos puedan ejercer su labor, pues permitir que sigan ocupando las calles demuestra la falta de organización y apreciación de los espacios comunes de la ciudad y su existencia contribuye a que familias de bajos recursos económicos tomen como solución ocupar las calles de la ciudad, incluso llegando a considerar venta de productos ilegales o clandestinos.

4.9 Resumen

El confort en las edificaciones ha evolucionado a la par del desarrollo de la humanidad, lo cual se ha visto reflejado en uno de los pilares de este desarrollo, es decir, la infraestructura. Ahora la implementación de sistemas cada vez más agradables a los sentidos de los seres humanos es imprescindible, esto sin dejar atrás la interacción con el medio ambiente y su cuidado.

En este capítulo se abordaron temas que permiten al usuario ampliar el panorama respecto a los sistemas integrales que colaboran para lograr un confort acorde a las necesidades particulares que demande cada proyecto. Se tomaron ideas para comprender qué aspectos intervienen para que un sistema proporcione un adecuado confort al usuario, así como el marco teórico para posteriormente dentro del sistema experto incluir las limitantes de acuerdo a las distintas normas aplicables a cada caso.

Los parámetros e investigaciones tomadas para las estrategias ya vistas del manejo del confort se tomaron como válidas dado que en la zona donde primeramente se estudiaron estos temas, las características y tipologías son muy similares a la zona donde se desenvuelve este trabajo, se tiene como primer ejemplo, la investigación hecha por la autoría de la Arq. María Blender donde las condiciones climáticas (temperatura y humedad) son muy similares a las de la zona de estudio.

Con lo antes mencionado se concluye que un adecuado confort es parte fundamental en el bienestar físico y psicológico de los usuarios de cualquier tipo de edificación, por lo cual hacer uso de los sistemas apropiados que permitan llegar a lograr esto ha dejado de ser un plus para convertirse en un tema medular de cualquier proyecto de edificación.

Posterior a este capítulo se aborda la teoría de la lógica difusa, que es la base del sistema experto, donde su función es el proceso de decisión, esto se logra con valores de entrada y procesamiento de datos, dando como resultado un valor que será el índice de sustentabilidad y es el objetivo de esta investigación.

5. LÓGICA DIFUSA

5.1 Introducción

La lógica difusa fue investigada, por primera vez, a mediados de los años sesenta, por Lotfy A. Zadeh, profesor de la Universidad de Berkeley (California), cuando se dio cuenta de lo que él llamó principio de incompatibilidad: “Conforme la complejidad de un sistema aumenta, nuestra capacidad para ser precisos y construir instrucciones sobre su comportamiento disminuye hasta el umbral más allá del cual, la precisión y el significado son características excluyentes”. (Parra, 2010)

El profesor e ingeniero introdujo entonces el concepto de conjunto difuso (Fuzzy Set) bajo el que reside la idea de que los elementos sobre los que se construye el pensamiento humano no son números sino etiquetas lingüísticas.

La lógica difusa permite representar el conocimiento común, que es mayoritariamente del tipo lingüístico cualitativo y no necesariamente cuantitativo, en un lenguaje matemático a través de la teoría de conjuntos difusos y funciones características asociadas a ellos.

Surgió como una herramienta importante para el control de sistemas y procesos industriales complejos, así como también para la electrónica de entretenimiento y hogar, sistemas de diagnóstico, sistemas más recientes están vinculados con la industria, la medicina y la actividad espacial y otros sistemas expertos.

En otras palabras, el concepto de lógica difusa está asociado con la manera en que las personas perciben el medio, por ejemplo, ideas relacionadas con la altura de una persona, velocidad con la que se mueve un objeto, la temperatura en una habitación, cotidianamente se formulan de manera ambigua y depende de quién percibe el efecto físico o químico. Una persona puede ser alta o baja, algo puede moverse rápido o lento, una temperatura puede ser baja o moderada o alta, se dice que estas afirmaciones acerca de una variable son ambiguas porque rápido, bajo, alto son afirmaciones del observador y estas pueden variar de un observador a otro.

Entendido esto, se puede decir que la lógica difusa tiene dos significados diferentes. En un sentido estricto, la lógica difusa es un sistema lógico, que es una extensión de la lógica de varios valores. Sin embargo, en un sentido más amplio, la lógica difusa es casi sinónimo de la teoría de conjuntos difusos, una teoría que se refiere a las clases de objetos con límites poco definidos en el que la pertenencia es una cuestión de grado.

Los conceptos básicos de lógica difusa que se aplican en los sistemas expertos, así como en los sistemas control, son *conjuntos difusos*, *funciones de pertenencia*, operaciones borrosas, reglas, inferencia, defusificación y los pasos para la toma de decisión.

Los sistemas expertos son programas computacionales diseñados para tener disponibles los resultados de los expertos a los no expertos. Estos programas tratan de emular los patrones de razonamiento de dichos expertos.

Los sistemas expertos no son considerados como sistemas de inteligencia artificial, ya que un sistema experto no aprende ni mejora con la experiencia, sin embargo, si se agregan hechos a su base de datos, adquiere conocimientos y, si además se agregan reglas, aumentan sus habilidades.

Existen varias formas para crear programas que actúen como sistemas expertos, los primeros y más utilizados son los sistemas basados en reglas, los cuales usan reglas “si – entonces” para poder representar el proceso de razonamiento del experto.

En los puntos siguientes se hablará más a fondo de los términos básicos de la lógica difusa, así como su función dentro del proceso de decisión.

5.2 Conjuntos difusos y funciones características

Como ya se ha mencionado Lotfy A. Zadeh fue la persona pionera en investigaciones acerca de lógica difusa y por consecuencia él también fue quien habló por primera vez de conjuntos difusos, concepto que se considera como la base para poder adentrarnos en el estudio de la lógica difusa. Así que para poder comprender de una mejor manera se realiza una comparación de conjuntos

matemáticos clásicos con conjuntos difusos los cuales se diferencian de la teoría clásica dado que considera una regla de pertenencia al conjunto que toma valores entre cero y uno, dando lugar al termino conjunto borroso o difuso asociado a un valor lingüístico, etiqueta calificativa o bien solo una palabra o característica (X). Por ejemplo y particularizando al presente caso de estudio, considerando un conjunto de cuatro edificios con el mismo uso habitacional, donde “*sustentable*” será nuestra llamada etiqueta lingüística. Partiendo de esto, en la teoría de conjuntos clásica tendríamos que para cada elemento, llamemos *A*, *B*, *C*, y *D*, se les proporcionará un valor de cero si el edificio no es “*sustentable*” y por el contrario de uno si el edificio si es “*sustentable*”. Mientras para el caso de conjuntos difusos el término “*sustentable*” mostraría etiquetas diferentes para cada elemento según la perspectiva o cumplimiento de cada elemento sobre el aspecto evaluado.

Elemento	Característica	Teoría clásica	Teoría Difusa
A	MUY SUSTENTABLE	1	1
B	SUSTENTABLE	INDEFINIDO	0.65
C	POCO SUSTENTABLE	INDEFINIDO	0.37
D	NO SUSTENTABLE	0	0

Tabla 8. Comparación numérica entre lógica clásica y difusa.

De acuerdo con lo anterior se logra realizar la siguiente gráfica, la cual muestra la definición de cuan sustentable son los cuatro elementos evaluados.

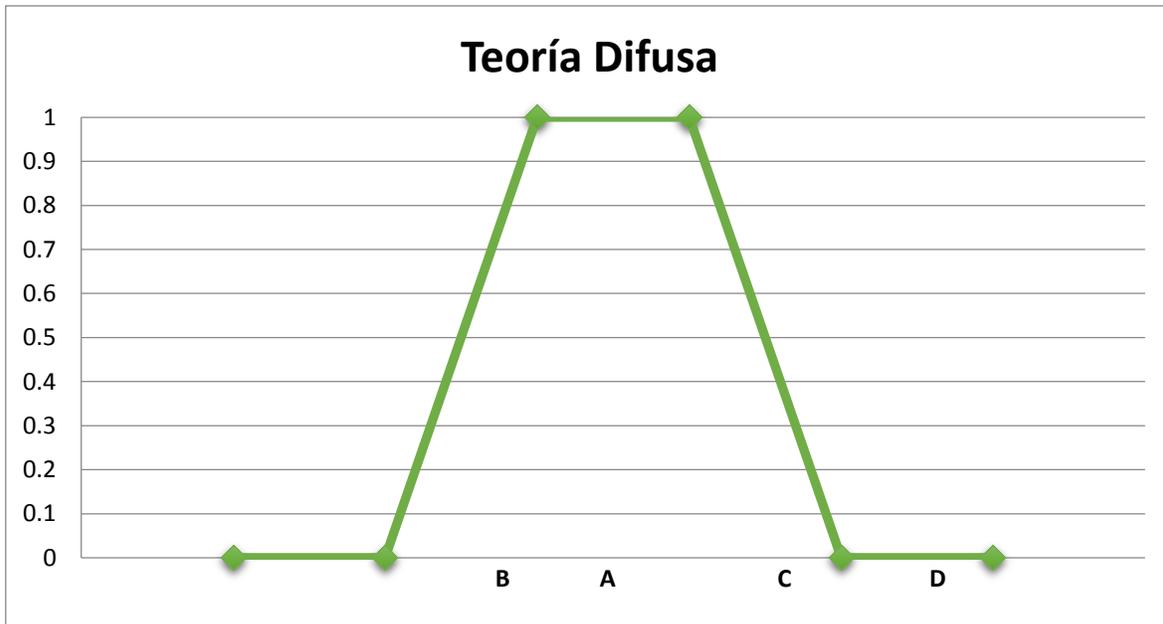


Figura 36. Representación gráfica de una función característica de la teoría difusa.

En otros términos, se tendría que para cada conjunto o subconjunto borroso o difuso se define una función de pertenencia de la siguiente forma: $\mu_X(t)$ que indica el grado en que la variable t es incluida en el concepto representado por la etiqueta X .

Una de las ventajas que ofrecen los conjuntos difusa diferencia de los clásicos es que posibilitan agrupar elementos conforme al grado de pertenencia, por ejemplo, regresando de nuevo a la lógica clásica, si el gasto medio diario de agua en un hogar para considerarse ahorrador son 195 L/hab, se diría que una persona que consuma 196 L/día pertenece al subconjunto de derrochadores, mientras que quien consume 194 L/día pertenece al subconjunto de ahorradores, lo cual representa una cierta incongruencia ya que la diferencia es mínima.

Por otro lado, la lógica borrosa vuelve no claras las fronteras entre derrochador y ahorrador y nos diría que para cada valor diferente de consumo de agua se tendría un grado de pertenencia entre 0 y 1, es decir, al habitante que consuma 191 L/día podría pertenecer al conjunto difuso de ahorradores con un grado de pertenencia de 0.87 o bien quien consuma 150 L/día lo hará con un grado de pertenencia de 0.75. De esta manera se considera entonces que la lógica clásica

es un caso límite de la lógica difusa en donde se le asigna grado de pertenencia al subconjunto de derrochadores de 1 a las personas con un gasto medio de 195 L/día o mayor y un grado de pertenencia 0 a quienes consumen menos de 195 L/día.

Debido al gran apego que existe hacia las teorías de lógica clásica en muchos campos de aplicación lo cual genera una buena comprensión de este tipo de conjuntos, es importante definir las principales diferencias entre los conjuntos clásicos y los difusos:

- La función de pertenencia asociada a los conjuntos concretos sólo puede tener dos valores: 0 ó 1, mientras que en los conjuntos difusos pueden tener cualquier valor entre el intervalo 0 y 1.
- Un elemento puede pertenecer (parcialmente) a un conjunto difuso y simultáneamente pertenecer (parcialmente) al complemento de dicho conjunto, lo anterior no es posible en los conjuntos clásicos.
- Las fronteras de un conjunto clásico son exactas, es decir, un elemento pertenece o no pertenece a dicho conjunto, en tanto que las de un conjunto difuso son precisamente difusas ya que existen elementos en las fronteras mismas y estos elementos pueden pertenecer al mismo tiempo a más de un conjunto difuso con diferente grado de pertenencia. (Rodríguez, 2004)

5.2.1 Principales funciones de pertenencia características en la lógica difusa

La función de inclusión o pertenencia de un conjunto difuso consiste en un conjunto de pares ordenados $F = \{(u, \mu_F(u)) \mid u \in U\}$ si la variable es discreta, o una función continua si no lo es. (González, 2013).

En lógica difusa encontramos funciones que se utilizan con mayor frecuencia, así que a continuación las describiremos:

- Función Trapezoidal

$$S(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (\frac{u-a}{b-a}) & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ (\frac{d-u}{d-c}) & c \leq u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases}$$

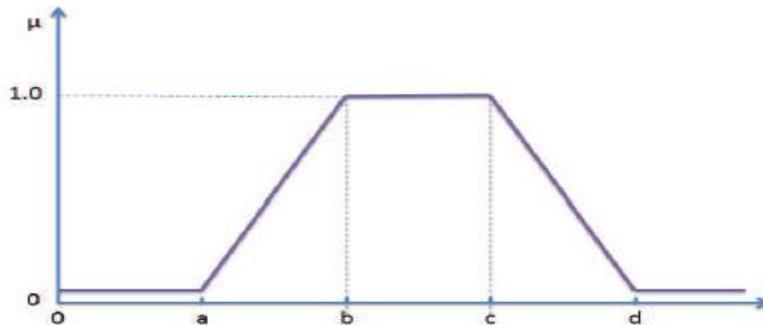


Figura 37. Representación analítica y gráfica de una función trapezoidal.

(González, 2013).

- Función singular

$$S(u; a) = \begin{cases} 1 & u = a \\ 0 & u \neq a \end{cases}$$

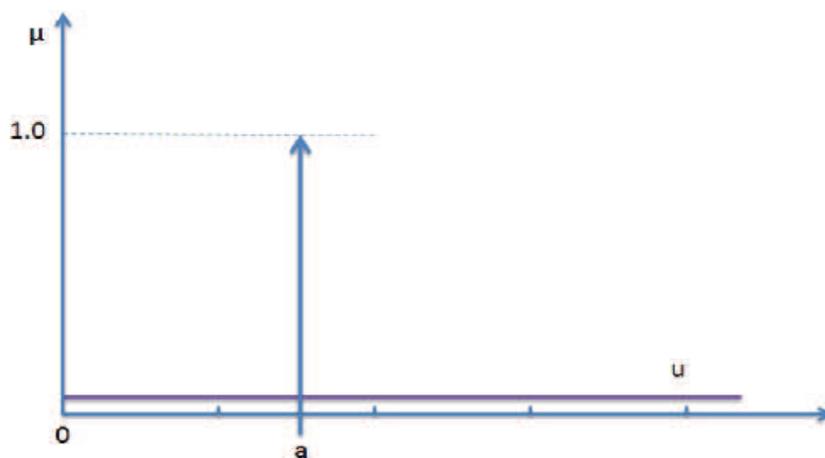


Figura 38. Representación analítica y gráfica de una función singular.

(González, 2013).

- Función triangular

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \left(\frac{u-a}{b-a}\right) & a \leq u \leq b \\ \left(\frac{c-u}{c-b}\right) & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases}$$

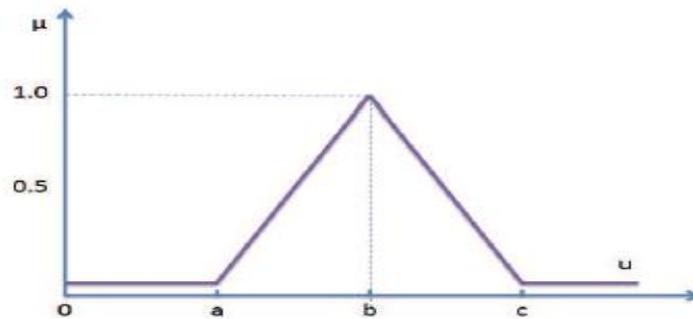


Figura 39. Representação analítica e gráfica de uma função triangular.

(González, 2013).

- Función tipo S

$$S(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ 2\left(\frac{u-a}{c-a}\right)^2 & a \leq u \leq b \\ 1 - 2\left(\frac{u-a}{c-a}\right)^2 & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases}$$

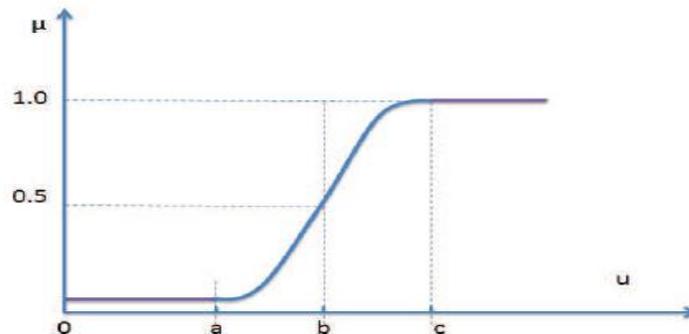


Figura 40. Representação analítica e gráfica de uma função tipo S.

(González, 2013).

- Función tipo π

$$\pi(u; b, c) = \begin{cases} S(u; c - b, c - b/2, c) & u \leq c \\ 1 - S(u; c - b, c - b/2, c) & u \geq c \end{cases}$$

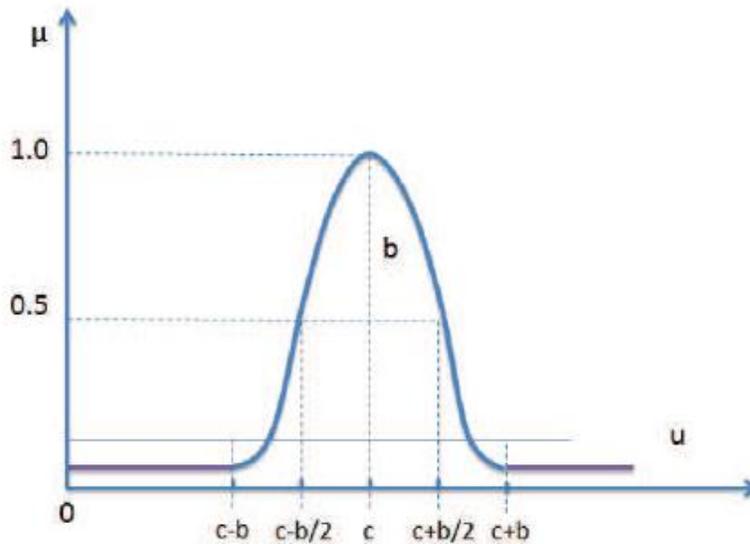


Figura 41. Representación analítica y gráfica de una función tipo π .

(González, 2013).

5.3 Inferencia difusa

Al igual que la lógica común o la que todos conocemos, en la lógica difusa se ocupa del razonamiento formal con proposiciones pero a diferencia de la lógica clásica, los valores de las proposiciones pueden tomar valores intermedios entre verdadero y falso o también de algún número propuesto).

El objeto de la lógica difusa es proporcionar un fundamento formal al razonamiento que se basa en un lenguaje natural para que sea entendido por todos, además se caracteriza por tratarse de un razonamiento de tipo aproximado pero no por eso erróneo.

Una de las características importantes a considerar en esta propuesta es la relación (isomorfismo) observada entre: teoría de conjuntos, lógica y sistemas matemáticos (retículos y álgebra booleanas). Algunas de las equivalencias más importantes de estos isomorfismos se pueden observar en la Tabla 9 (Cuchango & Méndez, 2010).

CONJUNTOS	LÓGICA	ÁLGEBRA BOOLEANA
Pertenencia	Veracidad	Valor
Pertenece (\in)	Verdad (V)	1
No Pertenece (\notin)	Falso (F)	0
Intersección (\cap)	Conjunción (\wedge)	Producto (\times)
Unión (\cup)	Disyunción (\vee)	Suma (+)
Complemento ($\bar{}$)	Negación (\neg)	Complemento ($\bar{}$)

Tabla 9. Equivalencia entre conjuntos, lógica y algebra Booleana.

(Cuchango & Méndez, 2010)

La inferencia es el proceso mediante el cual se genera un mapeo para que a una entrada se le asigne una salida mediante el uso de lógica difusa. El proceso de inferencia provee las bases para tomar de decisiones en el sistema. Este proceso involucra el uso de funciones de pertenencia. Existen diferentes métodos de inferencia, los más comunes son los de Mamdani y Takagi-Sugeno-Kang.

El método Mamdani utiliza reglas tipo si-entonces (*if-else*). Una regla de la base de reglas o base de conocimiento tiene dos partes, el antecedente y la conclusión como se observa en la Figura 42, en un sistema difuso tipo Mamdani tanto el antecedente como el consecuente de las reglas están dados por expresiones lingüísticas.

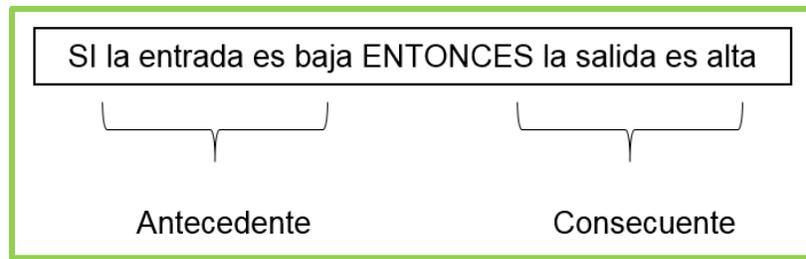


Figura 42. Regla tipo Si-Entonces, Mamdani.

Las reglas de la base de conocimiento de un sistema Sugeno son diferentes a las de los sistemas Mamdani pues el consecuente de estas reglas ya no es una etiqueta lingüística sino que es una función de la entrada que tenga el sistema en un momento dado como se visualiza en la Figura 43.

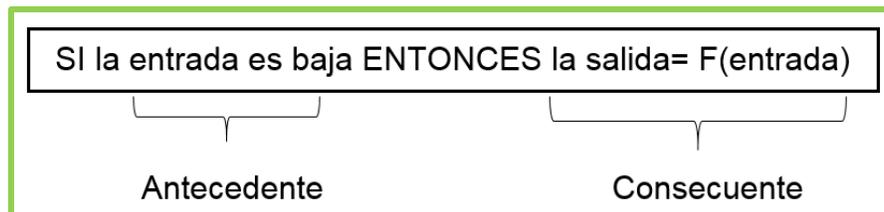


Figura 43. Regla tipo Si-Entonces. Sugeno

En los sistemas difusos tipo Sugeno, los valores que arrojan los consecuentes de las diferentes reglas que se han activado en un momento determinado ya son valores numéricos por lo que no se necesita una etapa de defusificación (Santoyo, 2016).

- Defusificación.

Después de la inferencia, tendremos una conclusión difusa, una variable lingüística cuyos valores han sido asignados por grados de pertenencia, sin embargo, usualmente necesitamos un escalar que corresponda a estos grados de pertenencia, a este proceso se le llama defusificación. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del centroide, método promedio máximo, método del promedio ponderado y método de membresía del medio del máximo. Para el caso de este proyecto, se utiliza el método del promedio ponderado.

La ecuación general del promedio ponderado es:

$$\sum_{i=1}^n \frac{(x_{max_i} * \mu(x_{max_i}))}{\sum \mu(x_{max_i})}$$

Dónde:

- n= número de máximos
- x_{max} = valor de x del máximo
- $\mu(x_{max})$ = es el valor de pertenencia del máximo

5.4 Diagramas de bloques de un sistema de lógica difusa

Un sistema de control puede tener varios componentes. Para mostrar las funciones que lleva a cabo cada uno de ellos y por lo general se usa una representación denominada diagrama de bloques.

Un diagrama de bloques es una representación gráfica del modelo matemático de un sistema. En muchos casos, estos diagramas permiten entender el comportamiento y conexión del sistema. En un diagrama de bloques se unen todas las variables del sistema, mediante bloques funcionales, el cual es un símbolo para representar la operación matemática que sobre la señal de entrada hace el bloque para producir la salida (FACULTAD DE INGENIERIA UC, 2015).

La figura muestra un elemento del diagrama de bloques. La punta de flecha que señala el bloque indica la entrada y la punta de flecha que se aleja del bloque representa la salida. Tales flechas se conocen como señales.

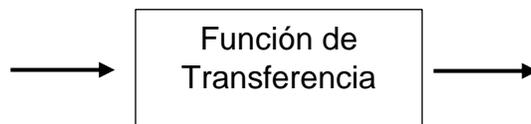


Figura 44. Elemento de un diagrama de bloques.

Un diagrama de bloques contiene información relacionada con el comportamiento dinámico, pero no incluye información de la construcción física del sistema. Por esta razón, muchos sistemas diferentes y no relacionados pueden representarse mediante el mismo.

Cabe destacar que, en un diagrama de bloques, la principal fuente de energía no se muestra explícitamente y que el diagrama de bloques de un sistema determinado no es único. Es posible dibujar varios diagramas de bloques diferentes para un sistema, dependiendo del punto de vista del análisis.

A continuación, se consideran algunos aspectos de los diagramas de bloques:

- Estructuración - descomposición de un problema complejo en un conjunto de problemas más pequeños y simples.
- Especifica las relaciones causa - efecto en un sistema.
- Muestra los componentes de un sistema y su interconexión.
- La estructuración contiene elementos de creatividad, ingenio y arte.

Ahora, se describen las diferentes etapas del proceso que se lleva a cabo para cada toma de decisión del sistema difuso.

- a) Datos de entrada. Dato proveniente del sensor o registro que mide la variable del proceso, puede presentar desviaciones con respecto al valor real.
- b) Fusificación. Se convierte un número en valores correspondientes a las funciones de pertenencia a la cual pertenece.
- c) Evaluación de reglas. Las reglas definen la estrategia de control o conocimiento, se realizan operaciones entre los conjuntos.
- d) Inferencia. Se determina el conjunto de salida de cada regla.
- e) Agregado. Se obtiene la función de pertenencia de la variable de salida a partir de alguna operación entre todos los conjuntos de salida de la etapa de inferencia.
- f) Defusificación. Definida la función de pertenencia de la salida, se determina cual dato es el más representativo del conjunto de salida total.

- g) Dato de salida. Es la variable que tomará el usuario para modificar el estado del proceso.



Figura 45. Diagrama de flujo de las Etapas para la toma de decisión.

(Bonifacio Martín del Brio, 2002)

5.5 Resumen

Después de este capítulo donde se mencionó acerca de la teoría de la lógica difusa, así como su utilidad para realizar procesos de decisión, los cuales dentro de la lógica clásica suelen ser de mayor complejidad dado que los temas son subjetivos, tienen diversas variables y se establecen pertenencias a más de un rango en específico.

Con la lógica difusa, éste proceso de toma de decisiones se facilita gracias a la metodología que hay dentro de un sistema de este tipo, donde se involucran un gran número de variables las cuales, mediante la defusificación, interactúan entre sí para finalmente determinar el valor correspondiente al análisis de inferencia en dicho sistema.

Para este caso donde se pretende evaluar la sustentabilidad en las edificaciones, el sistema de lógica difusa desarrollado es utilizado para obtener un índice particular de sustentabilidad, con base en los procesos mencionados a lo largo de este capítulo. Dicho índice podrá ser utilizado en materia ambiental para la gestión de las certificaciones con las instituciones pertinentes.

6. DESARROLLO DEL SISTEMA DIFUSO

6.1 Introducción

Como se menciona anteriormente, en este trabajo de investigación se abarcan tres aspectos para determinar el índice de sustentabilidad en una edificación, éstos son agua, energía y confort. Ahora se hablará del programa basado en la lógica difusa que fue utilizado para sistematizar esto que se tenía en mente. Como primer paso, se decidió dar valores de entre cero y uno a cada aspecto donde cero es “muy poco sustentable” y uno es “muy sustentable”, cabe mencionar que hay parámetros intermedios como lo son “poco sustentable” y también “sustentable”, asimismo, de acuerdo a los parámetros a evaluar se determinaba el número de combinaciones y fue como se procedió a realizarlo en primera instancia en el programa de Excel 2016 teniendo un mínimo de 72 y un máximo de 4,374 combinaciones.

Los aspectos que se han tomado en cuenta en cada uno de los componentes elegidos son:

Estrategias de agua

- Manejo y control de agua en el sitio
- Uso de sistemas para aguas grises
- Uso adecuado del consumo de agua en el edificio
- Uso adecuado de la torre de enfriamiento pasivo

Estrategias de manejo de energía

- Ubicación del edificio para ahorro del consumo energético
- Optimizar la envolvente del edificio para mejor rendimiento térmico
- Proveer iluminación artificial combinada con iluminación natural
- Proveer una adecuada instalación de iluminación artificial
- Maximizar el rendimiento de los sistemas mecánicos
- Uso eficiente de los equipos y aparatos

- Uso de energías renovables u otras fuentes alternas

Estrategias de confort al interior

- Proveer un limpio y saludable ambiente al interior
- Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos
- Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno
- Proveer buenas condiciones térmicas
- Proveer buena iluminación y ventilación
- Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones
- Proveer adecuado desahogo visual al interior

Cada estrategia de las antes mencionadas ya ha sido descrita previamente en los capítulos anteriores con la finalidad de hacer más digerible el programa desarrollado tomando en cuenta cada una de ellas.

6.2 Funciones de pertenencia

Como se mencionó en el apartado 5.2, uno de los factores que intervienen en la lógica difusa son las funciones características, estas dependen de cuantos parámetros se evalúan y cuantos resultados posibles hay.

A modo de ejemplo se toma el punto 4.2 “Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos” donde se mide la temperatura, este aspecto tiene la función doble triangular.

A continuación, se muestra la gráfica y función de la medición de la temperatura:

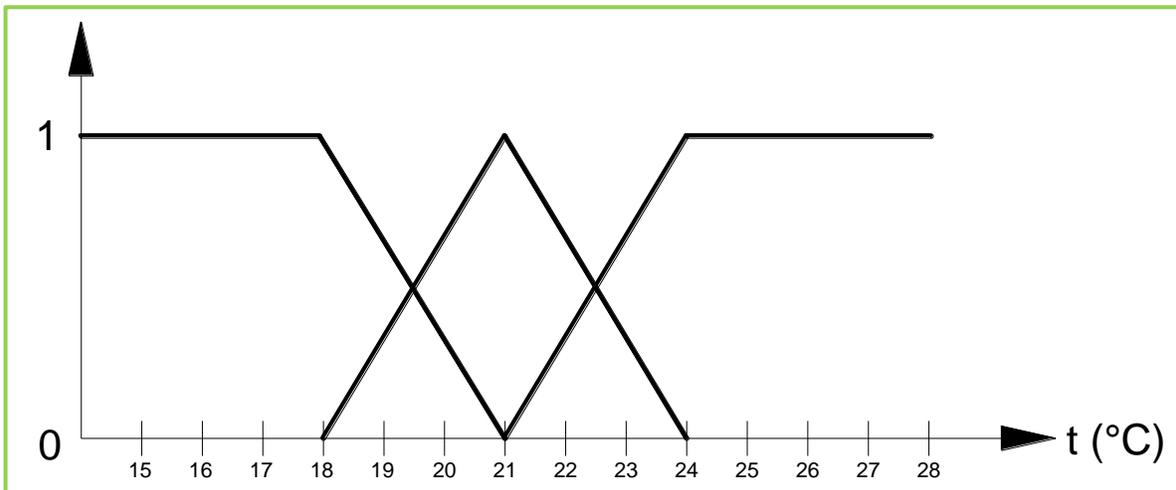
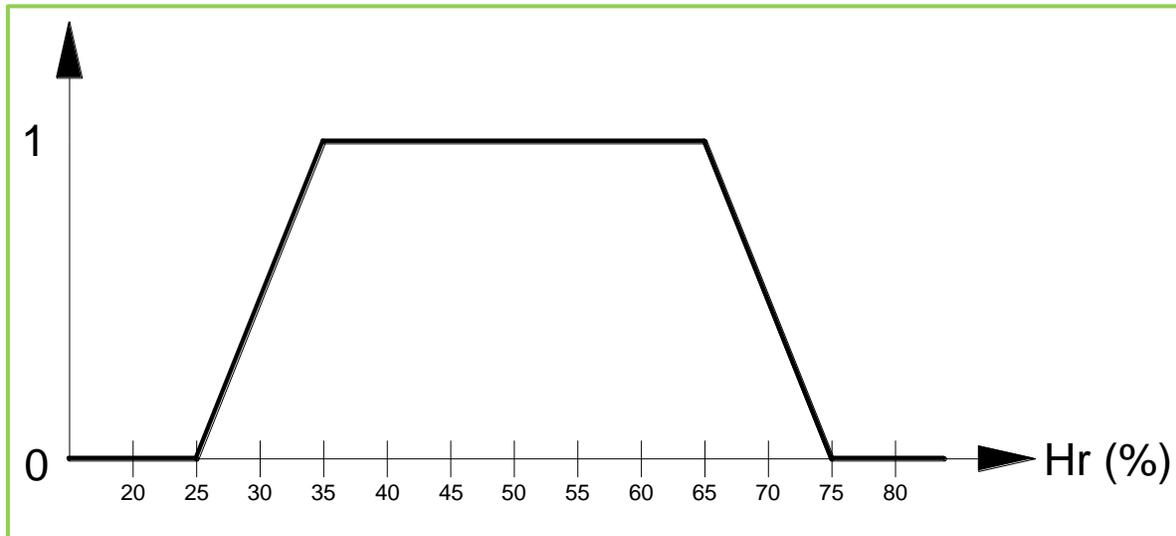


Figura 46. Función de pertenencia doble triangular aplicada al caso de estudio (temperatura).

$$f(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & [0, 18] \\ x/3 - b_1 & [18, 21) \\ -x/3 + b_2 & [21, 24) \\ 1 & [24, \infty) \end{array} \right\}$$

Se aprecia como los valores son constantes de 0° a 18°, que se interpreta como una temperatura baja y poco confortable, posteriormente entra la función que comprende de 18° a 21° los cuales son la mitad de los valores que se consideran confortables, asimismo, entra la función que va de 21° a 24° que son la otra mitad de valores confortables y por ultimo valores constantes de 24° en adelante que quiere decir que es una temperatura alta y nada confortable.

Del mismo punto 4.2 se mide la humedad relativa la cual se interpreta con la función trapezoidal, a continuación, se muestra la figura y funciones perteneciente:



$$f(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & [0, 25] \\ x/10 - b_1 & [25, 35) \\ 1 & [35, 65] \\ -x/10 + b_2 & [65, 75) \\ 0 & [75, 100] \end{array} \right\}$$

Se aprecia como los valores son constantes de 0% a 25°, que se interpreta como un porcentaje de humedad muy bajo y poco comfortable, es decir, un puntaje de 0, posteriormente entra la función creciente que comprende de 25% a 35%, luego de esta, entra en juego la función que representa la humedad comfortable que va de 35% a 65%, que equivale al puntaje máximo, ahora entra la función decreciente

Figura 47. Función de pertenencia trapezoidal aplicada al caso de estudio (humedad relativa).

que va de 65% a 75% la cual ya se considera no comfortable y por último los valores constantes de 75% a 100% que se interpreta como una humedad relativa muy alta y nada comfortable.

Estas dos funciones son las principales que se utilizan en los aspectos aplicados al manejo del confort en edificaciones, cabe mencionar que las funciones de pertenencia que se mencionan en el apartado 5.2 aplican en los puntos que son probabilísticos, es decir, que parten de una muestra y el criterio de esta misma.

En los casos que se explicaron anteriormente se partió de una investigación en la cual se hizo una serie de cuestionamientos a una muestra poblacional de la cual se obtienen los niveles mínimos y máximos, esto se traduce en las gráficas de las funciones mostradas con anterioridad.

6.3 Reglas lógicas

Con base a los aspectos de la teoría de la lógica difusa vistos anteriormente se menciona en este apartado,, la aplicación de dichas reglas que como se señaló en capítulos anteriores están enfocadas a la parte de la sustentabilidad en edificaciones.

Los valores de entrada serán los obtenidos con mediciones realizadas en el sitio de interés, lo cual permite eliminar los aspectos subjetivos de las valoraciones realizadas por los expertos como generalmente se acostumbra hacer, es decir, la evaluación consiste en que el personal encargado de dicho trabajo deberá poner en práctica su capacidad y experiencia para determinar la calidad de cada aspecto que implica la certificación dejando de lado una perspectiva cuantitativa o bien normativa, ya que lo que se propone en esta investigación es brindar una evaluación con parámetros cuantificados con los instrumentos de medición apropiados para cada caso.

A continuación, se muestran en la Tabla 10 cada uno de los aspectos a evaluar y a su vez su respectivo instrumento de medición o cuantificación con el propósito de mostrar a la persona encargada de llevar a cabo la evaluación las herramientas más apropiadas a utilizar en cada caso:

No.	ESTRATEGIA	UNIDADES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
<i>ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE AGUA</i>			
2.1	Manejo y control del agua del sitio	l/s, %	Cuantificación de muebles sanitarios
2.2	Uso de sistemas para aguas grises	m ³ , %	Contómetro
2.3	Uso de sistemas biológicos en métodos de tratamiento de agua	m ³ , %	Contómetro
2.4	Uso adecuado del consumo de agua del edificio	**	**
2.5	Uso adecuado de agua en torre de enfriamiento pasivo	*	*
<i>ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE ENERGIA</i>			
3.1	Ubicación del edificio para ahorro del consumo energetico	m ²	Cinta métrica
3.2	Optimizar el envolvente del edificio para mejor rendimiento termico	**	**
3.3	Proveer iluminacion artificial combinada con iluminacion natural	Luxes, Watts	Luxometro
3.4	Proveer una adecuada instalacion de iluminacion artificial	Luxes	Luxometro
3.5	Maximizar el rendimiento de los sistemas mecanicos	HP, %	Vatimetro
3.6	Uso eficiente de los equipos y aparatos	HP, %	Vatimetro
3.7	Uso de energias renovables u otras fuentes alternas	Kwh, %	Vatimetro
3.8	Integrar los sistemas y reducir el uso del total de la energia	**	**
<i>ESTRATERIAS PARA EL MANEJO DEL CONFORT</i>			
4.1	Proveer un limpio y saludable ambiente al interior	**	**
4.2	Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos	%Hr, °C	Higrómetro y termómetro
4.3	Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno	%O, mm/Hg	Medidor de oxígeno disuelto y barómetro
4.4	Proveer buenas condiciones termicas	**	**
4.5	Proveer buena iluminacion y ventilacion	**	**
4.6	Proveer buenas condiciones acusticas y de vibraciones	dB, m/s ²	Sonómetro y vibrómetro
4.7	Proveer adecuado desahogo visual al exterior	m ² , %	Cámara fotográfica

*La evaluación unicamente se realiza verificando la existencia del sistema o elemento descrito.

** No cuenta con unidades ni instrumento de medición ya que dependen de una o más estrategias ya medidas.

Tabla 10. Aparatos de medición usados.

Una vez realizada la medición con los datos recabados en sitio los cuales fungen como valores de entrada para alimentar el sistema experto, el cual se encarga de transformarlos mediante los procesos mencionados en el capítulo anterior para finalmente obtener el índice de sustentabilidad.

Los criterios adoptados para realizar el procesamiento de datos parten de ponderar los puntajes de cada aspecto a evaluar, con el objetivo de determinar el grado de influencia que tiene dicho aspecto sobre la estrategia global.

Dentro del criterio inicial de procesamiento de datos se proponen rangos donde se acota el puntaje en máximo tres posibles opciones, esto determinado de acuerdo a la magnitud que tiene cada puntaje. Las opciones propuestas se dividen en los siguientes casos:

Si el máximo puntaje posible es “1” solo se tienen dos opciones: “0” y “1” del cual 0 es nada sustentable (NS) y 1 es sustentable (S) respectivamente. Caso contrario,

el posible puntaje es mayor a “1” se tendrá siempre 3 opciones, por ejemplo, si el puntaje es “2” se tiene que 0 es nada sustentable (NS), 1 es poco sustentable (PS) y 2 es sustentable (S) tal como se presenta en las tablas de criterios.

ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DEL AGUA			
NO.	DESCRIPCIÓN	PUNTOS	%
2.1	Manejo y control del agua del sitio	5	50.00%
2.2	Uso de sistemas para aguas grises	2	20.00%
2.3	Uso de sistemas biológicos en métodos de tratamiento de agua	1	10.00%
2.4	Uso adecuado del consumo de agua del edificio	1	10.00%
2.5	Uso adecuado de agua en torre de enfriamiento pasivo	1	10.00%
TOTAL		10	100.00%

Tabla 11. Estrategias aplicadas al manejo del agua en la edificación.

ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DEL AGUA						
NO.	CRITERIO EN PUNTAJE			CRITERIO EN PORCENTAJE		
2.1	0 = NS	1,2,3,4 = PS	5 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
2.2	0 = NS	1 = PS	2 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
2.3	0 = NS	1 = S	-	0 = NS	1 = S	-
2.4	0 = NS	1 = S	-	0 = NS	1 = S	-
2.5	0 = NS	1 = S	-	0 = NS	1 = S	-
NOMENCLATURA: NS = NADA SUSTENTABLE, PS = POCO SUSTENTABLE, S = SUSTENTABLE						

Tabla 12. Criterios de puntajes para las estrategias de manejo del agua.

ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE LA ENERGIA			
NO.	DESCRIPCIÓN	PUNTOS	%
<i>Reducir cargas de energía</i>			
3.1	Ubicación del edificio para ahorro del consumo energético	2	7.69%
3.2	Optimizar el envolvente del edificio para mejor rendimiento térmico	2	7.69%
3.3	Proveer iluminación artificial combinada con iluminación natural	2	7.69%
<i>Diseño eficiente de los sistemas electromecánicos</i>			
3.4	Proveer una adecuada instalación de iluminación artificial	2	7.69%
3.5	Maximizar el rendimiento de los sistemas mecánicos	2	7.69%
3.6	Uso eficiente de los equipos y aparatos	1	3.85%
3.7	Uso de energías renovables u otras fuentes alternas	3	11.54%
<i>Simular el total de la energía que se usaría</i>			
3.8	Integrar los sistemas y reducir el uso del total de la energía	12	46.15%
TOTAL		26	100.00%

Tabla 13. Estrategias aplicadas al manejo de la energía en la edificación.

ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE LA ENERGIA						
NO.	CRITERIO EN PUNTAJE			CRITERIO EN PORCENTAJE		
<i>Reducir cargas de energía</i>						
3.1	0 = NS	1 = PS	2 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
3.2	0 = NS	1 = PS	2 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
3.3	0 = NS	1 = PS	2 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
<i>Diseño eficiente de los sistemas electromecánicos</i>						
3.4	0 = NS	1 = PS	2 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
3.5	0 = NS	1 = PS	2 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
3.6	0 = NS	1 = S	-	0 = NS	1 = S	-
3.7	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
<i>Simular el total de la energía que se usaría</i>						
3.8	0 - 4 = NS	5 - 10 = PS	11, 12 = S	0 = NS	0.625 = PS	0.958 = S
<p>NOMENCLATURA: NS = NADA SUSTENTABLE, PS = POCO SUSTENTABLE, S = SUSTENTABLE</p>						

Tabla 14. Criterios de puntajes para las estrategias de manejo de la energía.

ESTRATEGIAS PARA EL CONFORT AL INTERIOR			
NO.	DESCRIPCIÓN	PUNTOS	%
<i>Calidad del aire al interior</i>			
4.1	Proveer un limpio y saludable ambiente al interior	3	12.50%
4.2	Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos	3	12.50%
4.3	Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno	6	25.00%
<i>Factores humanos</i>			
4.4	Proveer buenas condiciones térmicas	3	12.50%
4.5	Proveer buena iluminación y ventilación	3	12.50%
4.6	Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones	3	12.50%
4.7	Proveer adecuado desahogo visual al exterior	3	12.50%
TOTAL		24	100.00%

Tabla 15. Estrategias aplicadas al manejo del confort en la edificación.

ESTRATEGIAS PARA EL CONFORT AL INTERIOR						
NO.	CRITERIO EN PUNTAJE			CRITERIO EN PORCENTAJE		
<i>Calidad del aire al interior</i>						
4.1	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
4.2	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
4.3	0 = NS	1 - 5 = PS	6 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
<i>Factores humanos</i>						
4.4	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
4.5	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
4.6	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S	0 = NS	1 = S	-
4.7	0 = NS	1,2 = PS	3 = S	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
NOMENCLATURA: NS = NADA SUSTENTABLE, PS = POCO SUSTENTABLE, S = SUSTENTABLE						

Tabla 16. Criterios de puntajes para las estrategias de manejo del confort.

A continuación, se explica la programación para obtener el valor del aspecto 4.2 “Uso de energías renovables u otras fuentes alternas”, este rubro cuenta con un puntaje máximo de 3, asimismo, se calcula el porcentaje del aspecto en estudio

respecto a la estrategia global, es decir, las estrategias para el “MANEJO DE LA ENERGIA” tiene un puntaje total de 24, entonces:

$$3/24 = 0.125 = 12.50\%$$

ESTRATEGIAS PARA EL CONFORT AL INTERIOR			
NO.	DESCRIPCIÓN	PUNTOS	%
<i>Calidad del aire al interior</i>			
4.1	Proveer un limpio y saludable ambiente al interior	3	12.50%
4.2	Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos	3	12.50%
4.3	Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno	6	25.00%
<i>Factores humanos</i>			
4.4	Proveer buenas condiciones térmicas	3	12.50%
4.5	Proveer buena iluminación y ventilación	3	12.50%
4.6	Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones	3	12.50%
4.7	Proveer adecuado desahogo visual al exterior	3	12.50%
TOTAL		24	100.00%

Tabla 17. Ponderación de las estrategias.

Posteriormente se reparten los posibles puntajes en tres opciones:

ESTRATEGIAS PARA EL CONFORT AL INTERIOR			
NO.	CRITERIO EN PUNTAJE		
<i>Calidad del aire al interior</i>			
4.1	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S
4.2	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S
4.3	0 = NS	1 - 5 = PS	6 = S
<i>Factores humanos</i>			
4.4	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S
4.5	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S
4.6	0 = NS	1, 2 = PS	3 = S
4.7	0 = NS	1,2 = PS	3 = S
NOMENCLATURA: NS = NADA SUSTENTABLE, PS = POCO SUSTENTABLE, S = SUSTENTABLE			

Tabla 18. Repartición de puntajes por estrategia.

En donde se aprecia que el valor de “0” equivale a “Nada sustentable”, los valores “1 y 2” son “Poco sustentables” y el valor de “3” es “Sustentable”.

Ahora el siguiente paso es obtener un valor normalizado de 0 a 1 para cada una de las 3 opciones, donde el puntaje máximo, es decir, “3” es el 100%, esto se logra con la siguiente fórmula:

$$\frac{\sum \text{Puntajes} / \text{No. de puntajes}}{\text{Puntaje máximo}}$$

Entonces se obtiene lo siguiente:

$$\frac{0/1}{3} = 0$$

$$\frac{(1 + 2)/2}{3} = 0.5$$

$$\frac{3/1}{3} = 1$$

ESTRATEGIAS PARA EL CONFORT AL INTERIOR			
NO.	CRITERIO EN PORCENTAJE		
<i>Calidad del aire al interior</i>			
4.1	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
4.2	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
4.3	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
<i>Factores humanos</i>			
4.4	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
4.5	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
4.6	0 = NS	1 = S	-
4.7	0 = NS	0.5 = PS	1 = S
NOMENCLATURA: NS = NADA SUSTENTABLE, PS = POCO SUSTENTABLE, S = SUSTENTABLE			

Tabla 19. Normalización de los grados de pertenencia de las estrategias.

A continuación, se explica la manera en la cual se realizó la programación para obtener el índice de cada estrategia:

Para iniciar se determinaron todas las posibles combinaciones con cada uno de los aspectos a evaluar, es decir:

ASPECTO	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	TOTAL
OPCIONES	3	3	3	3	3	3	3	2187

Tabla 20. Posibles combinaciones por grupo de estrategias.

En donde se multiplican todas las opciones entre sí, en este caso todas tienen 3 opciones que se puede ver como 3⁷, en caso de existir números distintos a los demás se deberá multiplicar uno a uno para obtener el total de combinaciones.

Para explicar el desarrollo del índice de alguna estrategia se usara los siguientes datos:

- Combinación No. 1080 “Estrategias para el confort al interior”:

Aspecto / Combinación	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	R
1080	0.5	0.5	0.5	0	1	1	1	0.625

Tabla 21. Combinación 1080 para obtención de índice en estrategias para el confort al interior de la edificación.

Los aspectos se integran para dar un resultado (R) donde cada uno de ellos ya tiene un valor normalizado de acuerdo al puntaje obtenido como se explicó anteriormente.

Estos valores se multiplican por el porcentaje del aspecto correspondiente que se obtuvo al inicio, en este caso el porcentaje es 12.50%, es decir:

$$0.5 \times 12.50\% = 0.0625$$

Este proceso se realiza con cada uno de los aspectos, es decir:

Aspecto / Combinación	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	R
1080 (VN)	0.5	0.5	0.5	0	1	1	1	
Valor ponderado (VP)	0.125	0.125	0.25	0.125	0.125	0.125	0.125	
Resultado (VN x VP)	0.0625	0.0625	0.125	0	0.125	0.125	0.125	0.625

Tabla 22. Obtención del índice por estrategia.

Dándonos un resultado de “Estrategias para el confort al interior” de 0.625 en dado caso de que las mediciones y resultados determinaran el uso de esta combinación de las 2187 disponibles.

Este proceso es igual en todas las combinaciones generadas. Este valor determina que tan sustentable es la edificación según la siguiente escala propuesta:

ESCALA PROPUESTA	
0-0.250	MUY POCO SUSTENTABLE
0.251-0.500	POCO SUSTENTABLE
0.501-0.750	SUSTENTABLE
0.751-1.00	MUY SUSTENTABLE

Tabla 23. Escala propuesta para índices por estrategia

En donde ya se puede determinar en qué rango se encuentra este índice, para este caso es “SUSTENTABLE”.

$$0.501 < 0.625 < 0.750.$$

6.4 Índice de sustentabilidad

El índice de sustentabilidad se obtiene a través de una metodología la cual permite cuantificar y posteriormente clasificar el desempeño e integración con el medio ambiente, en este caso, de una edificación, es decir, un valor obtenido después realizar una evaluación que engloba diversos indicadores que caracterizan a los distintos recursos naturales que proveen a esta última, que en la actualidad son

elaboradas con un enfoque cualitativo, lo cual impide conocer con precisión el estado de interacción entre dicha edificación y el medio ambiente.

En esta investigación se aborda este tema con la variante de que es de carácter cuantitativo, lo cual facilita y precisa numéricamente dicha evaluación.

Las estrategias manejadas por LEED son 7 de las cuales para este trabajo como ya se mencionó fueron utilizadas 3 de ellas, por ende, solo se alcanza un puntaje máximo de 60, por lo que se tiene que realizar nuevamente una ponderación para que este puntaje de 60 sea equivalente a un puntaje de 100.

Anteriormente ya se obtuvieron los resultados de cada una de estas tres estrategias, ahora se realiza la interacción entre ellas para de esta forma obtener el índice global de sustentabilidad, para ello se lleva a cabo un proceso similar al explicado en el capítulo anterior.

Con la finalidad de clasificar el índice de sustentabilidad y parametrizar una evaluación convencional, se proponen los siguientes parámetros:

Nivel básico (D): 50 a 65 puntos

Nivel intermedio (C): 66 a 79 puntos

Nivel superior (A): 80 o superior

En los apartados siguientes se evaluará una edificación tipo con base en las estrategias descritas en los capítulos anteriores las cuales tienen una mayor jerarquía en LEED y serán las que, interactuando entre sí, brinden el índice de sustentabilidad resultado de esta evaluación con el sistema experto propuesto.

Adicionalmente el sistema propuesto convergerá hacia un “informe de sustentabilidad”, en el cual se plasma además del nivel de sustentabilidad mencionado; un informe de resultados, es decir, el comportamiento de cada una de las variables que resultaron de mayor impacto, ya sea positivo o negativo en el análisis de la edificación en estudio, además de concluir con una serie de recomendaciones clave de los aspectos de mejora potencial que representan gran

impacto en análisis de sensibilidad de las variables involucradas, es decir, los elementos puntuales que se dictamine mejorar, sustituir o implementar.

Cabe mencionar que, si bien el sistema propuesto no representa la obtención de una certificación de las comentadas en el marco referencial de esta investigación, sí representa un proceso de análisis de datos mediante lógica difusa referenciados a la normatividad aplicable que concluye con un dictamen de sustentabilidad en el que el usuario conocerá en donde está ubicada su edificación en referencia al nivel de sustentabilidad y adicionalmente conocer los aspectos a mejorar, o bien, implementar en su edificación. El índice propuesto representa un punto crítico para diversas perspectivas de la edificación: desde el constructor, el cliente e incluso para las dependencias gubernamentales correspondientes, si es que se ven involucradas.

6.5 Aplicación al caso 1 (estrategias para el manejo del agua)

En el caso general se ha determinado realizar las mediciones de campo para las aplicaciones a los diferentes casos (manejo del agua, uso eficiente de la energía y confort) en un edificio con poca antigüedad, que en términos generales posee en su diseño elementos que contribuyen de una mejor manera con el funcionamiento de las actividades humanas que ahí se desempeñan y a su vez se integra adecuadamente con el medio ambiente.

Con lo anterior referenciamos al edificio de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma del Estado de México denominado Centro de Investigación de Arquitectura y Diseño (CIAD). Cabe mencionar que este edificio se encuentra dentro de las instalaciones de Ciudad Universitaria.

En general la aplicación del sistema experto inicia con la recolección de datos, particularmente para este caso se inicia con datos relacionados con el consumo de agua de la edificación como consecuencia de las actividades humanas dentro del lugar.

6.5.1 Manejo y control del agua del sitio

Esta estrategia inicia con la cuantificación de los muebles sanitarios o bien, todos aquellos que generen un gasto de agua, cada uno de estos tiene un gasto diferente el cual ya se encuentra normado con base a las llamadas unidades mueble (UM), la cual equivale a 0.07875 L/s (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2004).

Obtenido este dato, para cada tipo de mueble existen diferentes tipos de ahorro como ya se mencionó en el capítulo 2 de esta investigación, cada uno de estos métodos genera un ahorro con diferente porcentaje del gasto total.

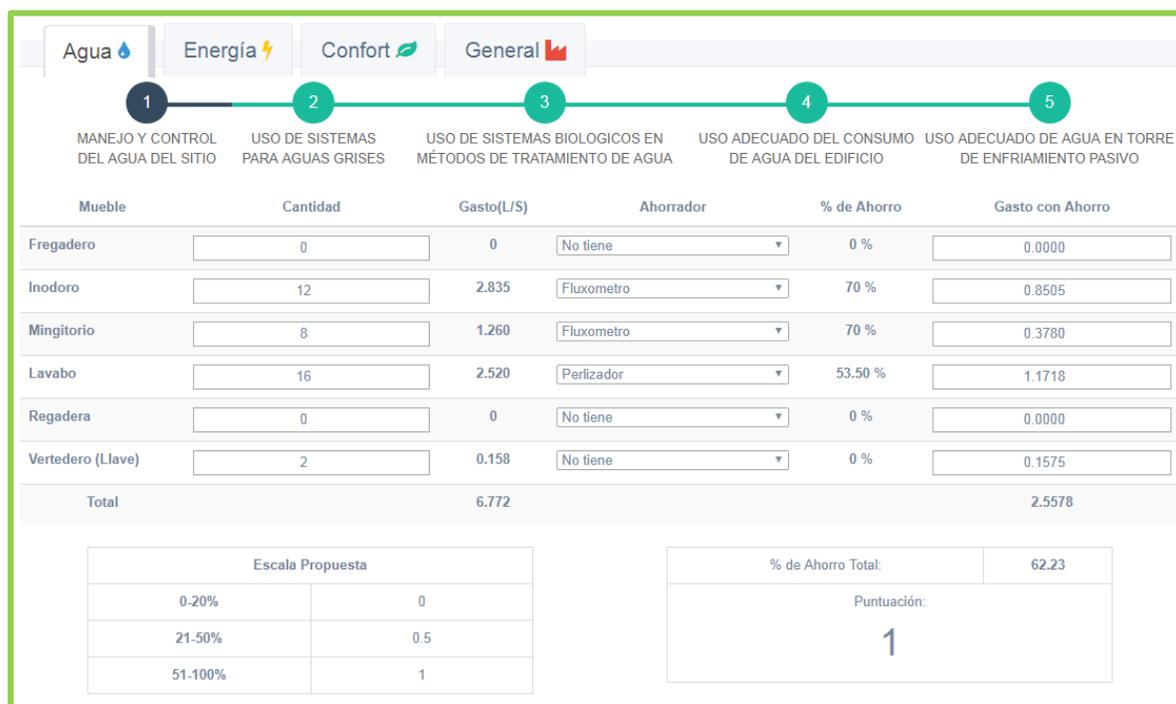


Figura 48. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Manejo y control del aguas del sitio".

Dado el gasto estimado con algún tipo de dispositivo ahorrador, se tiene un levantamiento de todos estos y se compara con el gasto estimado tradicional, es decir, el gasto sin dispositivos ahorradores; de donde se obtiene la puntuación de

esta estrategia del manejo y control del agua en el sitio con base en los porcentajes comparativos del gasto con ahorro y gasto sin ahorro.

Los índices dados en este aspecto son propuestos de acuerdo al porcentaje de ahorro que se tenga en la edificación.

6.5.2 Uso de sistemas de aguas grises

En la estrategia que concierne al uso de sistemas de aguas grises, se tiene un procedimiento tal que delimita la puntuación desde el inicio del cálculo con la determinación de la existencia o ausencia de un sistema de tratamiento de aguas grises. Para el caso en estudio la edificación no posee algún sistema de tratamiento de aguas grises por lo que la puntuación es cero, sin embargo, el sistema experto tiene la posibilidad de hacer los cálculos para la obtención de la puntuación de este rubro mediante la determinación del porcentaje que algún sistema de tratamiento de aguas grises implementado en la edificación pueda tratar respecto al volumen de aguas grises totales producido por la misma edificación.

SI

NO

LA EDIFICACIÓN ¿CUENTA CON TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES?

Escala Propuesta	
NO	0
0-30%	0.5
31-100%	1

Puntuación:

Figura 49. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso de sistemas de aguas grises".

6.5.3 Uso de sistemas biológicos en métodos de tratamiento de agua

El funcionamiento para esta estrategia es muy similar al anterior, ya que el cálculo está en función de la capacidad de tratamiento de agua mediante sistemas biológicos y está determinado inicialmente por la presencia o ausencia de algún

sistema de este tipo y posteriormente parametrizado por el volumen de aguas tratado en relación al volumen de agua desechado. Es el caso de estudio una circunstancia desfavorable para un índice de sustentabilidad alto dado que la edificación no cuenta con algún sistema biológico de tratamiento de agua, sin embargo, el sistema puede seguir operando como se explica en el punto anterior.

Agua **Energía** Confort **General**

1 2 3 4 5

MANEJO Y CONTROL DEL AGUA DEL SITIO USO DE SISTEMAS PARA AGUAS GRISAS USO DE SISTEMAS BIOLÓGICOS EN MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA USO ADECUADO DEL CONSUMO DE AGUA DEL EDIFICIO USO ADECUADO DE AGUA EN TORRE DE ENFRIAMIENTO PASIVO

SI Planta de Tratamiento

NO Biodigestor

¿LA EDIFICACIÓN CUENTA CON TRATAMIENTO DE AGUAS CON SISTEMAS BIOLÓGICOS?

Escala Propuesta	
NO	0
0-30%	0.5
31-100%	1

Puntuación: 0

Figura 50. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso de sistemas de aguas grises".

6.5.4 Uso adecuado del consumo de agua del edificio

Un uso adecuado del agua viene dado por factores como el de la efectividad con la que el usuario reciba un servicio de un mueble de gasto de agua, es decir, recae en los hábitos y costumbres respecto al consumo de agua por parte del usuario, sin embargo, esto no indica un correcto o deficiente funcionamiento de estas instalaciones que a final del día es lo que se está evaluando. Por otro lado, la medición que sí nos indica si se está haciendo un buen uso del agua es la eficiencia de los muebles introducidos en nuestra edificación, bajo esta premisa se determina que el uso adecuado del consumo del agua de la edificación está directamente ligado con la evaluación correspondiente del manejo y control del agua del sitio, es decir que la puntuación obtenida del cálculo de la primer estrategia del manejo del agua se refleja en esta estrategia y así fue el caso para el edificio en estudio.

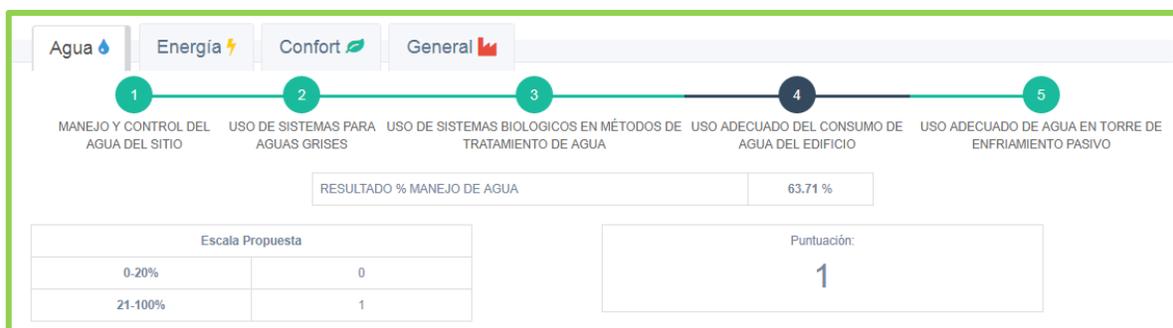


Figura 51. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso adecuado del consumo de agua del edificio".

6.5.5 Uso adecuado de agua en torre de enfriamiento pasivo

En esta estrategia la obtención de la puntuación correspondiente se establece por la presencia de una torre de enfriamiento pasivo, es decir, la puntuación sólo tiene dos alternativas: que haya o no torre de enfriamiento pasivo, para el caso en estudio no se cuenta con este elemento, obteniendo así una puntuación de cero.

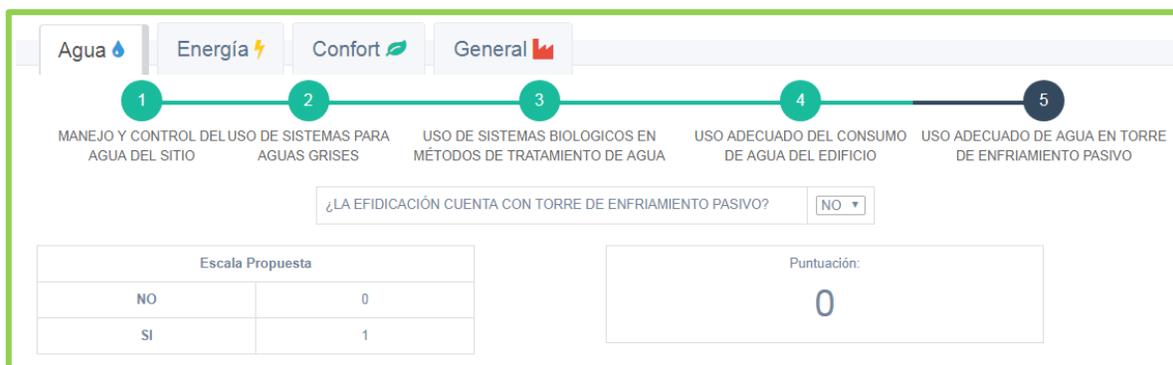


Figura 52. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso adecuado en torre de enfriamiento pasivo".

6.6 Aplicación al caso 2 (estrategias para el manejo de la energía)

El conjunto de estrategias referentes al manejo de la energía en la edificación comprende elementos y proyecciones desde una perspectiva de arquitectura bioclimática hasta la correcta integración de sistemas sostenibles de generación y aprovechamientos energéticos; ambas enfocados hacia la eficiencia energética en el funcionamiento de la edificación.

6.6.1 Ubicación del edificio para ahorro del consumo energético

La ubicación de una edificación desde el enfoque de la arquitectura bioclimática es uno de los conceptos básicos de eficiencia energética sobre los que se proyectan y realizan edificaciones orientadas al desarrollo sustentable.

El sistema experto toma como base la orientación de la o las fachadas con mayor área translúcida, es decir, con las áreas por las que la incidencia directa de los rayos solares logre penetrar al interior de la edificación para así otorgar el correspondiente puntaje para esta estrategia; tomando como referencias positivas a fachadas con grandes porcentajes de áreas traslucidas orientaciones hacia oriente y poniente. Dentro de nuestro caso de estudio, las fachadas con mayor área translúcida se encuentran orientadas hacia el oriente y poniente, lo cual nos coloca en la orientación óptima para esta edificación y por consecuencia un puntaje muy positivo para esta estrategia.



Figura 53.A. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Ubicación del edificio para ahorro del consumo energético".

6.6.2 Proveer iluminación artificial combinada con iluminación natural

El adecuado funcionamiento de una edificación en el aspecto de la iluminación está determinado por las aportaciones unitarias de la luz natural y de la luz artificial, así como de la optimización en la combinación de ambas. Este rubro se enfoca en dos ramas, es decir, el aspecto de la potencia eléctrica, determinada por las luminarias, y el aspecto lumínico, determinado por las aportaciones de la combinación de la luz natural y artificial.

El sistema experto inicia las mediciones con la parte lumínica, al realizar mediciones de los luxes dentro de cada tipo de espacios dentro de la edificación y en este aspecto la Normativa Mexicana determina las condiciones de iluminación en espacios interiores, es decir, el nivel mínimo de iluminación dentro de un espacio interior.

Asimismo, se miden los watts por metro cuadrado, esto se logra cuantificando las luminarias en la edificación y teniendo la especificación del gasto energético en watts, este dato se compara con los valores que la normativa correspondiente y así arrojar la puntuación de este rubro.



Figura 54. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer iluminación artificial combinada con iluminación natural".

6.6.3 Proveer una adecuada instalación de iluminación artificial

Para complementar el uso adecuado y optimización de la iluminación se debe determinar si la iluminación artificial es la adecuada, para esto, la medición de este rubro será cuando no haya presencia de sol, para de esta manera obtener el dato neto de cuantos luxes genera el sistema de iluminación en cuestión.

Este dato será comparado con el que indica la norma del punto anterior con niveles mínimos de iluminación (luxes), posteriormente, se evaluará en la escala propuesta donde el objetivo es analizar el exceso de luxes generado, donde se dará más valor al sistema que no supere en demasía el valor mínimo normado.



Figura 55. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer una adecuada instalación de iluminación artificial"

6.6.4 Maximizar el rendimiento de los sistemas mecánicos

En este punto se toma en cuenta si la edificación en estudio cuenta con elevadores y/o escaleras eléctricas, poleas, entre otros; de ser así se deberá verificar si ya cuentan con algún sistema ahorrador de energía respecto a los convencionales, en el caso de estudio se cuenta únicamente con un elevador, el cual no cuenta con alguno de los sistemas mencionados por lo cual repercute en el puntaje de este aspecto.

¿LA EDIFICACIÓN CUENTA CON SISTEMAS ELECTROMECÁNICOS?

Sistema	No. Elementos	Mecanismo de ahorro energético No.
Escaleras Electricas	0	0
Elevadores	1	0
Montacargas	0	0
Plataformas	0	0
Bandas Transportadoras	0	0
Salva Escaleras	0	0
Totales	1	0

PORCENTAJE DE AHORRO 0.00%

Escala Propuesta	
NO	0
1-30%	0.5
31-100%	1

Puntuación:
0

Figura 56. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Maximizar el rendimiento de los sistemas mecánicos".

6.6.5 Uso eficiente de los equipos y aparatos

En este rubro se consideran todos los aparatos electrónicos que estén en uso en la edificación en estudio.

En la actualidad este tipo de aparatos ya cuentan con una etiqueta de eficiencia energética, y muestra en qué nivel se encuentra, es decir, cuanto se ahorra con el uso de dicho aparato.

Este aspecto se evaluó con los aparatos electrónicos encontrados en la edificación, que en su mayoría son computadoras y lámparas, estos se cuantifican y se realiza el producto de este valor por su consumo, arrojando una cifra en WH, que se compara con los mismos aparatos simulando que no tuvieran ninguna etiqueta.



Figura 57. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso eficiente de los equipos y aparatos".

6.6.6 Uso de energías renovables u otras fuentes alternas

Para realizar dicha evaluación se realiza una observación y verificación de sistemas sustentables de producción de energía eléctrica, como lo son del tipo solar y eólico.

En caso de que cuenten con alguno de estos se verifica que porcentaje de la energía utilizada en la edificación se está produciendo con este sistema y se realiza la comparativa con la energía total utilizada, entre mayor porcentaje de energía se genere, mayor será el puntaje.

En el caso de estudio, no se cuenta con ningún sistema, por lo que el puntaje es desfavorable.

¿EL EDIFICIO CUENTA CON ALGUN SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE?

Escala Propuesta	
NO	0
1-30%	0.5
> 30%	1

Puntuación:
0

Figura 58. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso de energías renovables u otras fuentes alternas".

6.6.7 Optimizar el envoltorio del edificio para mejor rendimiento térmico

Anteriormente se ha definido la envoltorio de un edificio, así como las particularidades que dan la pauta para eficientarla en el aspecto térmico. De lo anterior se rescatan los aspectos involucrados para llegar a dicha eficiencia, entre los que se encuentran la ubicación del edificio para ahorro del consumo energético, aprovechamiento de iluminación artificial combinada con iluminación natural, una adecuada instalación de iluminación artificial y una buena ventilación para mayor control térmico y patógeno; así que esta estrategia la determinaran los puntajes obtenidos en las estrategias mencionadas.

Para el caso de estudio se tiene un puntaje favorable dado que las evaluaciones de las estrategias involucradas para este punto cuentan con puntajes altos.



Figura 59. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Optimizar el envoltorio del edificio para mejor rendimiento térmico".

6.6.8 Integrar los sistemas y reducir el uso del total de la energía

Para este caso se realiza la suma de los puntajes de los siete aspectos anteriores referidos al manejo de la energía, en total se tienen 12 puntos disponibles de acuerdo a la certificación LEED, si se cuenta un valor de 0 a 2 se habla de un puntaje malo, si va de 3 a 9 se considera un puntaje aceptable y por último si oscila de 10 a 12 se puede decir que se está realizando una correcta integración de los sistemas y además se está reduciendo el uso total de energía en la edificación.



Figura 60. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Integrar los sistemas y reducir el uso del total de la energía".

6.7 Aplicación al caso 3 (estrategias para el manejo del confort)

El de estrategias para la evaluación y manejo del confort en la edificación agrupan una serie de premisas que principalmente señalan la constante necesidad de que todas las actividades humanas se realicen bajo grados óptimos de confort de acuerdo a la región en la que se ubiquen, para su aplicación en el caso de estudio se toman nuevamente aspectos sobresalientes de la arquitectura bioclimática, los cuales corresponden específicamente a la manera en que el sistema propuesto evalúa el índice cuantitativo en este apartado

6.7.1 Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos

Esta estrategia toma como referencia inicial el trabajo que se adecua a nuestro caso de estudio en este aspecto, es decir, el referente a los umbrales de confort para temperatura y humedad en climas templados de la Arq. María Blender (Blender, 2015), los cuales se incorporan como:

- Temperatura:
 - Mínimo: 19 °C
 - Máximo: 24 °C

- Humedad relativa:
 - Mínimo: 35%
 - Máximo: 70%

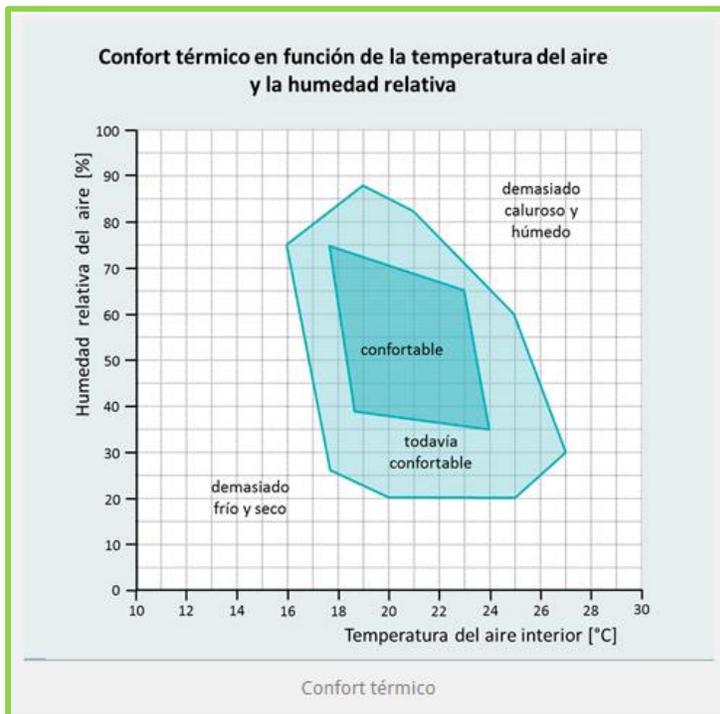


Figura 61. El confort térmico.
(Blender, 2015)

El sistema experto solicitara estas cantidades medidas directamente con los instrumentos señalados, estos son fuzzificados mediante una gráfica de cuadrantes que a continuación se muestra:

HUMEDAD RELATIVA (%) A = 0% - 34% B = 35% - 70% C = 71% - 100%	A , C	B , C	C , C
	A , B	B , B	C , B
	A , A	B , A	C , A
	A = 0% - 18%	B = 19% - 24%	C = >25%
	TEMPERATURA (°C)		

Figura 62. Diagrama de fuzzificación para la temperatura y humedad.

(Blender, 2015)

Para este diagrama se toman valores correspondientes para cada letra, es decir: A, C= 0 y B=0.5, con esta valorización y las correspondientes combinaciones se logra el puntaje de la combinación sumando los puntajes unitarios de cada variable, por ejemplo, para el caso en estudio lo que representa numéricamente la combinación (B,B) es 0.5 dado que B=0.5 para una temperatura medida de 22°C y B=0.5 para una humedad medida en campo del 60%. Para cualquier otro caso en estudio se sigue esta misma metodología.

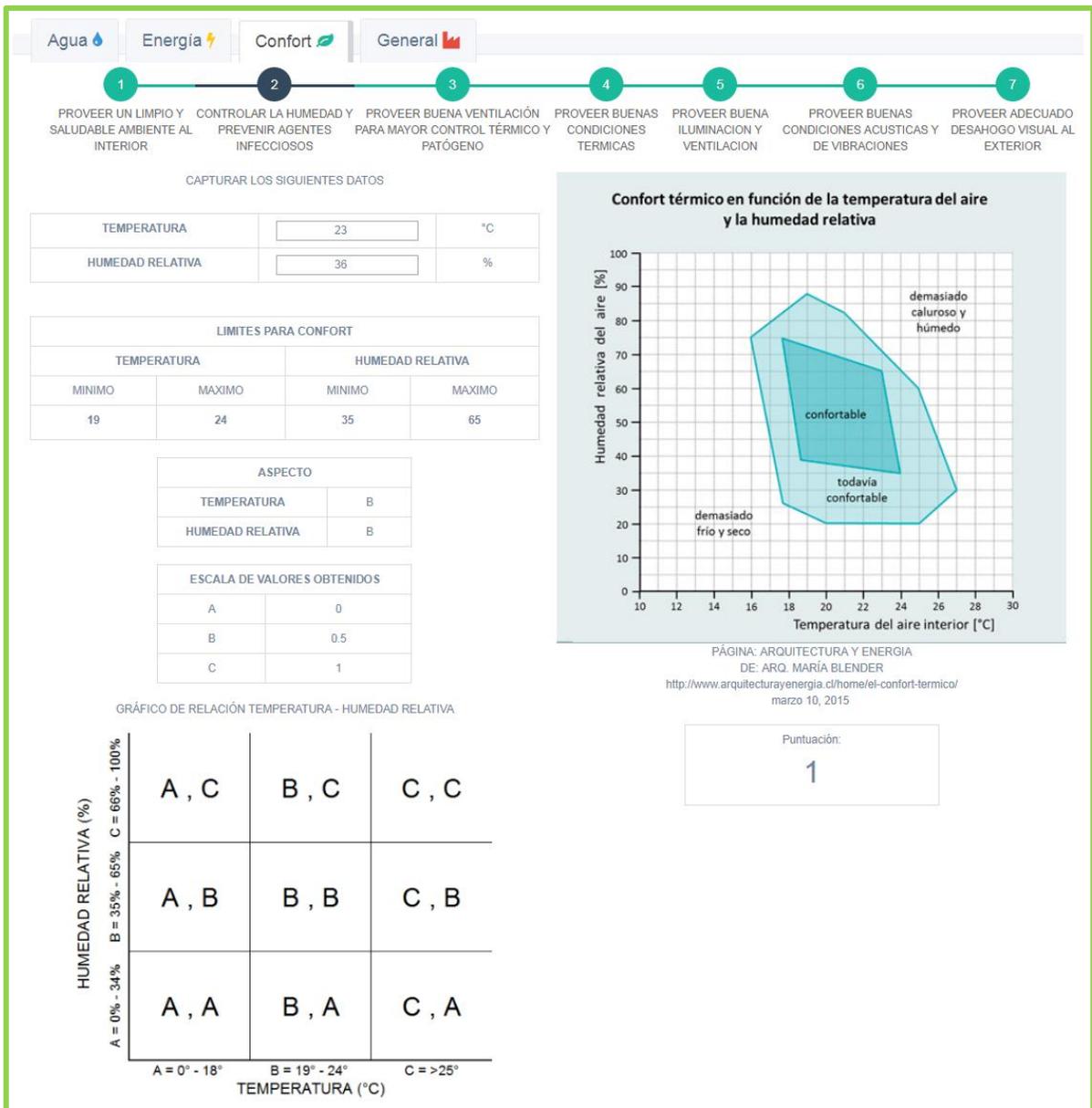


Figura 63. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos".

6.7.2 Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno

El procedimiento correspondiente a esta estrategia inicia con la toma de datos, pero su procesamiento es más simple, al únicamente tomar una escala propuesta con base a las recomendaciones de estudios realizados para el porcentaje de oxígeno óptimo para el ser humano, así como la presión atmosférica. Dichos

márgenes de las escalas propuestas acotan las condiciones en las que el ser humano puede permanecer sin sufrir hasta cierto punto algún daño agudo o crónico a la salud.

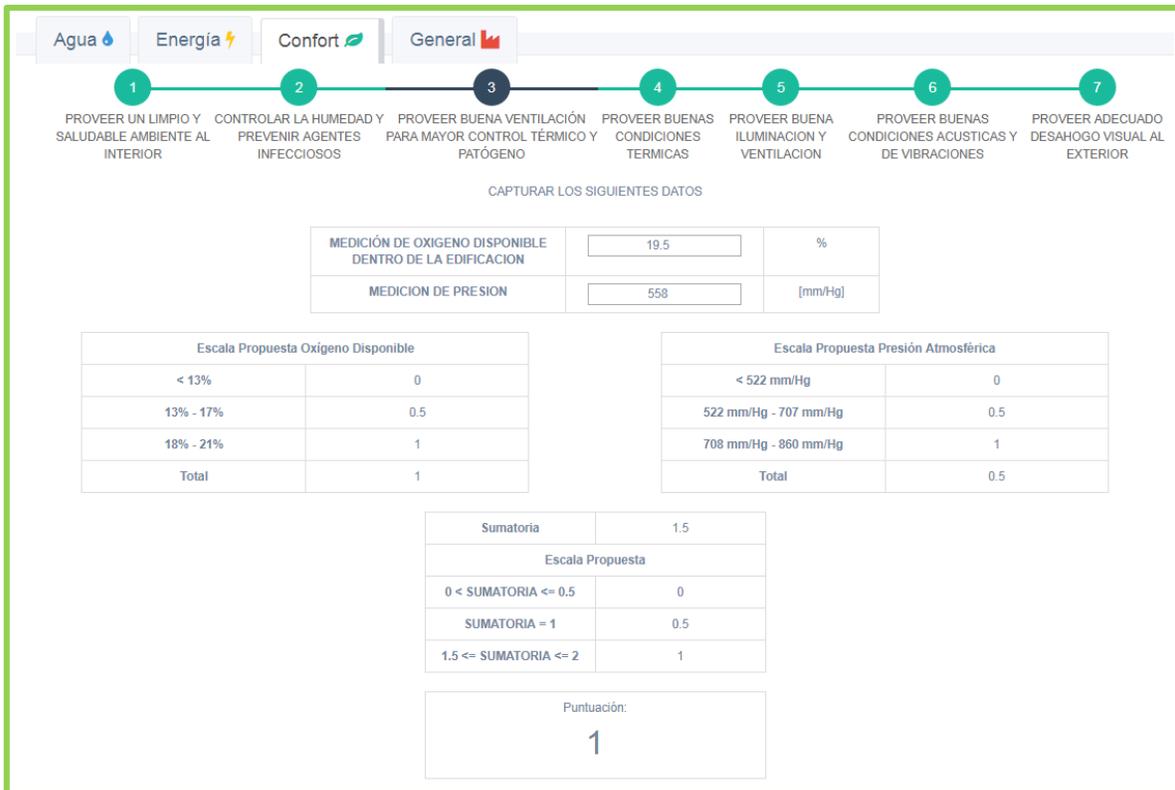


Figura 64. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno".

6.7.3 Proveer un limpio y saludable ambiente al interior

En esta estrategia se determinó que al haber una directa relación con las 2 estrategias anteriores su valor particular estará en proporción directa con las valoraciones obtenidas en el control de la humedad y prevención de agentes infecciosos, así como en el aprovisionamiento de una adecuada ventilación para mayor control térmico y patógeno.



Figura 65. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer un limpio y saludable ambiente al interior".

6.7.4 Proveer buena iluminación y ventilación

Para el análisis de esta estrategia se toma como referencia la relación directa que existe entre las estrategias referentes al aprovisionamiento de una adecuada ventilación para mayor control térmico y patógeno, así como a una adecuada iluminación natural y artificial. En general, se fuzzifica con una parametrización normalizada de las dos estrategias que al ser sumados sus posibles valores se obtiene la sumatoria correspondiente. En este caso la edificación en estudio al haber obtenido un índice de 1.0 para la estrategia de iluminación natural y artificial y de 1.0 en la estrategia de aprovisionamiento de una adecuada ventilación para mayor control térmico y patógeno, se calcula un índice para ésta estrategia de 1.0.



Figura 66. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buena iluminación y ventilación".

6.7.5 Proveer buenas condiciones térmicas

En el caso de esta estrategia de igual forma se verifica la pertenencia y relación directa con las estrategias de optimizar el envolvente del edificio para mejor rendimiento térmico y una buena iluminación y ventilación. El cálculo para la obtención de este índice se ve afectado por los valores de las mencionadas estrategias anteriores.



Figura 67. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buenas condiciones térmicas".

6.7.6 Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones

Esta estrategia se conforma por dos índices que definen las condiciones tanto acústicas como las referentes a vibraciones de la edificación, en lo que respecta a las condiciones acústicas, se hace referencia a los límites permisibles de ruido de acuerdo al uso que se tiene de la edificación, ya sea residencial, comercial e industrial, o bien áreas exteriores en general que también se subclasifican de acuerdo al horario de uso de los espacios de la edificación; dichos límites para nuestro caso de estudio son tomados del Acuerdo que modifica la NOM-081-SEMARNAT-1994, donde se establecen los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición. (SEMARNAT, 2013)

ZONA	HORARIO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE dB (A)
Residencial ¹ (exteriores)	6:00 a 22:00	55
	22:00 a 6:00	50
Industriales y comerciales	6:00 a 22:00	68
	22:00 a 6:00	65
Escuelas (áreas exteriores de juego)	Durante el juego	55
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento.	4 horas	100

Tabla 24. Límites máximos permisibles.

(SEMARNAT, 2013)

Aplicando este criterio, el sistema experto realiza una serie de cuestiones al usuario para poder determinar cuál es el uso de la edificación y si tiene o no espacios adicionales al aire libre, además se introducen los datos que son medidos en campo referentes a los decibeles (dB) de cada uno de los espacios señalados para así poder fuzzificar mediante reglas de pertenencia particulares de acuerdo a lo observado, es decir, la primera barrera será pertenecer hacia la parte inferior al intervalo marcado por la normatividad, para posterior marcar que tan acercado se encuentra al límite marcado en función de ponderaciones sobre cuantos espacios se encuentran bajo estos parámetros normativos iniciales.

Para el caso en estudio al tener fachadas directas a la vía pública por la parte oriente y una vía vehicular interna por otro lado, es difícil cumplir con estos parámetros ya que en su mayoría los espacios evaluados presentaban mediciones cercanas a los 70 dB, lo cual después del análisis del sistema experto nos arroja un índice para esta estrategia de 0.5.



Figura 68. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones" - Acústica

Por otro lado, se observa que la parte de las vibraciones de la estructura se toman como referencia los estudios realizados acerca de los parámetros específicos para la aceptación de vibraciones en una estructura, en un enfoque global con perspectivas desde la estructura y desde la percepción del usuario, es decir. Dentro de estos análisis se considera la manera de medir estas vibraciones para ser lo más acertado posible al cambiar las posturas del usuario que reflejara en la percepción particular y así evitar la subjetividad de las mediciones.

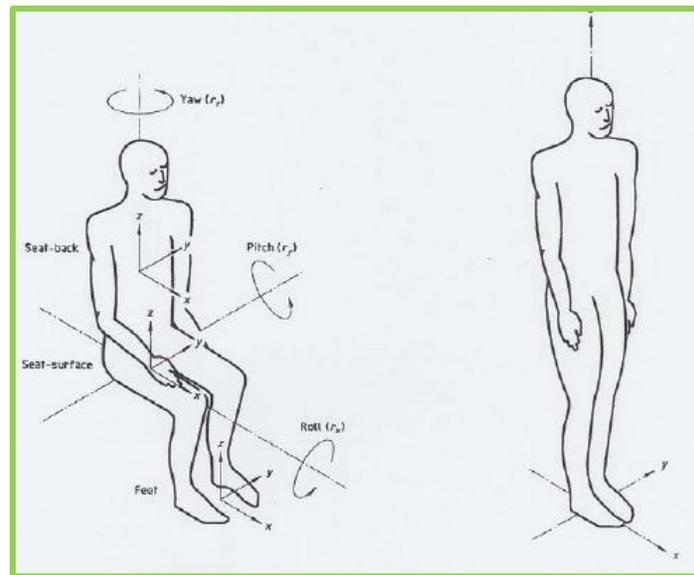


Figura 69. Posiciones y ejes del cuerpo humano de acuerdo a la actividad desempeñada.

(Terrés, 2004)

En cuanto a las vibraciones el sistema experto propuesto considera el siguiente criterio para definir cierta vibración como confortable o con percepciones extremas para el ser humano (Alfaro, 2005):

Evaluación de los efectos debidos a la exposición a vibraciones	Valores de a_w (según ISO 2631-1:1997)
<p>Confort (0,5 a 80 Hz)</p>	<p>$a_w < 0,315 \text{ m/s}^2$ no molesto $0,315 < a_w < 0,63 \text{ m/s}^2$ ligeramente molesto $0,5 < a_w < 1 \text{ m/s}^2$ bastante molesto $0,8 < a_w < 1,6 \text{ m/s}^2$ molesto $1,25 < a_w < 2,5 \text{ m/s}^2$ muy molesto $a_w > 2,5 \text{ m/s}^2$ extremadamente molesto</p>
<p>Percepción (0,5 a 80 Hz)</p>	<p>0.015 m/s² (0,01 – 0,02) m/s²</p>
<p>Mareo producido por el movimiento (0,1 a 0,5 Hz)</p>	<p>0,5 m/s</p>

Figura 70. Criterios para la evaluación de la exposición a vibraciones sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento

De acuerdo con lo anterior y tomando como referencia las estimaciones que se acotan en la ISO 2631-1:1997, se propone que:

$$a_w = \sqrt{\sum K_i^2 * a_i^2}$$

De donde;

a_w = aceleración ponderada en los ejes X, Y, Z.

a_i = aceleraciones medidas con la ponderación de acuerdo a la posición especificada, ver (Alfaro, 2005) tabla 2.

K_i = los factores de multiplicación que dependen de la frecuencia ponderada seleccionada, su valor suele ser la unidad, ver (Alfaro, 2005) tabla 2.

Se realizan los cálculos mencionados para determinar el índice particular para vibración el cual, para el caso de estudio, al no contar con el instrumento de medición apropiado queda indefinido el índice propio de las vibraciones y en consecuencia el índice global correspondiente a esta estrategia.



Figura 71. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones" - Vibraciones.

6.7.7 Proveer adecuado desahogo visual al exterior

Para esta estrategia se presenta de nuevo la subjetividad que existe en relación a la forma de medir, la percepción y otros aspectos relevantes como la geometría de los puentes térmicos traslucidos además de los obstáculos exteriores que impiden un desahogo visual adecuado. Adentrando al funcionamiento para el cálculo del índice en esta estrategia, el sistema experto solicita la orientación de la fachada principal, alturas de entrepiso y numero de niveles totales. De aquí se distinguen tres tipos de niveles: el tipo A, el cual es único siempre ya que es el que se encuentra desde el nivel de terreno natural hasta el nivel uno, el tipo B que va desde el entrepiso 2 hasta el nivel tal que ninguna otra estructura vecina obstaculice el nivel siguiente, si fuera el caso que una estructura colindante es de mayor altura a la edificación en estudio, el análisis se compone únicamente e

estos dos tipos de nivel, caso contrario se sigue con el tipo C que se define desde el último nivel que forma parte del tipo B hasta el último nivel de la edificación propuesta.

Las mediciones a realizar se efectúan en cada uno de los muros que permitan visualizar el exterior claramente mediante puentes térmicos traslucidos, en el centro geométrico de cada habitación, se calcula el porcentaje efectivo de desahogo visual a través de los porcentajes de superficies traslucidas en relación al área total del muro y adicionalmente se reduce en referencia al porcentaje de área afectada por los obstáculos exteriores, esto último mediante análisis fotográfico aproximado por computadora.

En este apartado de la estrategia en discusión del caso de estudio, después del procedimiento realizado con los cálculos comentados, se obtuvo un grado de pertenencia de 0.5 para el desahogo visual.

Por otro lado, también se toma en cuenta la orientación de la edificación, esto con el objetivo de determinar si la orientación es la correcta de acuerdo con las áreas de fachada, la forma de interactuar con el sistema es con la introducción de las áreas totales de cada una de las fachadas y para esto la carga de reducción de puntaje sobre el índice la determina el porcentaje de área de la fachada con mayor área en relación a la fachada en la que está orientada la edificación y si estas no son las mismas tendrá que ser al menos el 50% la fachada de orientación en relación a la mayor fachada.

Para el caso de estudio el área de orientación es la cara oriente, la cual es la fachada con mayor área, lo que representa un índice con valor de pertenencia de 1.0, esto se interpreta como una excelente orientación combinada con una buena distribución de las áreas de fachadas.

Agua
Energía
Confort
General

1
 PROVEER UN LIMPIO Y SALUDABLE AMBIENTE AL INTERIOR

2
 CONTROLAR LA HUMEDAD Y PREVENIR AGENTES INFECCIOSOS

3
 PROVEER BUENA VENTILACIÓN PARA MAYOR CONTROL TÉRMICO Y PATÓGENO

4
 PROVEER BUENAS CONDICIONES TÉRMICAS

5
 PROVEER BUENA ILUMINACION Y VENTILACION

6
 PROVEER BUENAS CONDICIONES ACUSTICAS Y DE VIBRACIONES

7
 PROVEER ADECUADO DESAHOGO VISUAL AL EXTERIOR

DATOS PRINCIPALES DE LA EDIFICACIÓN		
NÚMERO DE NIVELES DE LA EDIFICACIÓN	5	NIVELES
ALTURA PROMEDIO DE ENTREPISO	3	M
ALTURA TOTAL DE LA ESTRUCTURA	15	M
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN ESTIMADA POR PLANTA	325.2	M2
ORIENTACIÓN DE LA FACHADA PRINCIPAL	OESTE	

TIPOS Y NÚMERO DE ENTREPISOS		
ENTREPISO	CANTIDAD	H [M]
A - NIVEL 1 (A NIVEL DE CALLE)	0	0
¿HAY EDIFICACIONES COLINDANTES DE MAYOR ALTURA QUE LA EDIFICACIÓN EN ESTUDIO?	NO	
B - (DE NIVEL 2 AL NIVEL DONDE NO SE OBSTACULICE POR ESTRUCTURAS COLINDANTES), SI UNA ESTRUCTURA COLINDANTE ES MAYOR A LA ESTRUCTURA DE ANÁLISIS, CONSIDERAR SOLO HASTA ESTE TIPO DE ENTREPISOS.	5	15
C - (A PARTIR DEL NIVEL B HASTA ULTIMO NIVEL)	0	0
ALTURA TOTAL		15

PORCENTAJE DE ALTURAS SEGÚN TIPO	
A - NIVEL 1	0%
B - NIVEL 2	100%
C - NIVEL 3	0%

TIPO DE ESPACIO	PUNTAJE
DE CENTRO (NINGÚN LADO HACIA EXTERIOR)	0
DE BORDE (UN LADO HACIA EXTERIOR)	0.5
DE ESQUINA (DOS LADOS HACIA EXTERIOR)	0.75
AISLADOS (MÁS DE DOS LADOS HACIA EXTERIOR)	1.0

B - NIVELES

TIPO	#	DESCRIPCIÓN	% ÁREA TOTAL	ÁREA [M2]	ÁREA DE VISIÓN (VENTANAS) (M2)				OBSTACULOS INTERIORES Y EXTERIORES				FAVORABLE	% DE DESAHOGO	
					N	S	E	W	%[N]	%[S]	%[E]	%[W]			
Espacios de Centro	1	PASILLOS	15%	48.78	0	0	0	0							
	2														
	3														
Espacios de Borde	1	CUBICULOS	55%	178.88			6.74	7.84			40%	65%	E	60%	15%
	2	SALAS DE JUNT					9.90	7.35			40%	65%	E	60%	15%
	3														
Espacios de Esquina	1	CUBICULOS	30%	97.56			6.74	7.84			40%	65%	E	60%	22.5%
	2	SALAS DE JUNT					9.90	7.35			40%	65%	E	60%	22.5%
	3														
Espacios Ahislados	1		0%	0											
	2														
	3														
			100%	325.20										75%	

Escala Propuesta	
<20%	0
21% - 80%	0.5
81%<	1

Puntuación:

0.5

Figura 72. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer adecuado desahogo visual al exterior".

6.8 Análisis y discusión de resultados

Una vez realizada la medición de todos los parámetros considerados en la edificación, el sistema propuesto convergerá hacia un “**informe de sustentabilidad**”, en el cual, se plasma además del nivel de sustentabilidad mencionado, un informe de resultados, es decir, el comportamiento de cada una de las variables que resultaron de mayor impacto, ya sea positivo o negativo en el análisis de la edificación.



Figura 73. Interfaz del sistema experto de totales y resultado.

Como se aprecia en la imagen la edificación en estudio obtuvo un índice de **67.83** en una escala de 0 a 100, lo cual la posiciona en el **NIVEL 2**, considerando esto como una valoración aceptable debido a que ingresa a esta posición con un resultado que escasamente superó el límite inferior de dicho nivel.

También se va a concluir con una serie de recomendaciones clave de los aspectos de mejora potencial que representan impacto en el análisis de sensibilidad de las variables involucradas, es decir, los elementos puntuales que se dictamine mejorar, sustituir o bien, implementar.

Cabe mencionar que, si bien el sistema propuesto no representa la obtención de una certificación de las comentadas en el marco referencial de esta investigación, sí representa un proceso de análisis de datos mediante lógica difusa referenciados a la normatividad aplicable que concluye con un dictamen de sustentabilidad en el que el usuario podrá observar en qué nivel se encuentra la edificación con respecto a los niveles de certificación conocidos globalmente.

El índice propuesto representa un parteaguas para una certificación real debido al sentido cualitativo que ésta tiene y como ya se mencionó, en el informe se entregan los aspectos a corregir con sus respectivas recomendaciones para mejorar el índice de sustentabilidad deseado, en caso de que se requiera, para de esta manera certificar la edificación con el organismo correspondiente.

6.9 Recomendaciones generales

Una vez comprendido el funcionamiento del programa y todo lo que ello implica, hasta la discusión de resultados, vale la pena realizar una serie de recomendaciones muy generales con la finalidad de obtener mejores puntuaciones al finalizar la evaluación de una edificación.

- **Estrategias de agua.** Para este apartado es altamente recomendable instalar en los muebles sanitarios y todo aquel mueble que contenga una llave los aparatos mencionados en el apartado “Manejo y control de agua en el sitio” debido al gran impacto que tienen en el puntaje de esta estrategia, ya que si se tiene un ahorro desde aquí, el apartado de “Uso adecuado del agua en el edificio”, se va a cumplir con una buena calificación, cabe destacar que el hecho de poner un sistema a tratar las aguas grises para reutilizarlas también impacta de forma significativa.
- **Estrategias de manejo de energía.** Pese a que en estas estrategias nos llevan a pensar que para tenerlas en un puntaje alto al edificio tiene que ser construido desde cero por el hecho de mencionar apartados como “ubicación del edificio”, “envolvente del edificio”, entre otras, no es así, se puede tener un puntaje adecuado si el edificio tiene la capacidad de generar energía por sí mismo y aunado a ello, si no tiene iluminación

natural, con un proyecto de ventanas en zonas estratégicas se puede mitigar ese problema y con ello también el de iluminación artificial, lo que nos llevaría a tener un puntaje adecuado en esta estrategia.

- **Estrategias de confort al interior del edificio.** En esta estrategia cabe hacer mención de algo sustentable que se está comenzando a utilizar en la actualidad y que nos ayudara en varios apartados que aquí se manejan, se hace referencia a los muros a azoteas verdes debido a que estos nos ayudan a disminuir el nivel de ruido, mejoran la calidad de aire, es decir, lo vuelven más limpio, con ello hay mejores condiciones térmicas, entre otros, y tan sólo estos puntos nos ayudan también a obtener mejor calificación en los demás y con ello, un excelente puntaje en esta estrategia.

A continuación, se muestra los totales de cada rubro, así como la interacción entre estos resultados; esta es la última ventana que arroja el programa y muestra el nivel en que se encuentra la edificación en la escala propuesta.

6.10 Resumen

En este capítulo se explicó más a detalle el trasfondo del programa, es decir, desde las funciones de pertenencia, las cuales, en otras palabras, son las encargadas de digerir los datos ingresados por el usuario para de esta forma brindar veracidad en el análisis realizado por este software.

Otro de los aspectos importantes abarcados en el capítulo, es el de las reglas lógicas, es aquí donde se explican los parámetros y valores que tomaran cada una de las variables previamente descritas, dando a conocer los puntajes que estas toman y por qué los toman para finalmente dar a conocer que tan sustentable puede o no ser una edificación tomando en cuenta los parámetros ya mencionados.

A la postre y una vez explicadas tanto las funciones de pertenencia y las reglas lógicas que las regirán, se propone el índice de sustentabilidad, el cual, es el final del software, es aquel que nos dictamina el grado de sustentabilidad que tiene la

edificación en estudio, para esta investigación y recordando, se propusieron los siguientes:

- Nivel básico (D): 40 a 49 puntos
- Nivel intermedio (C): 50 a 59 puntos
- Nivel intermedio – superior (B): 60 a 79 puntos
- Nivel superior (A): 80 o superior

Con base en ellos se podrá dar una idea el usuario de que tan sustentable se encuentra una edificación de acuerdo a los organismos de certificación globales, principalmente LEED.

Para verificar la veracidad que tiene todo lo descrito en el capítulo, se realizaron las aplicaciones a algunos casos en el edificio de post grado de la facultad de arquitectura de la UAEMéx, donde se realizaron las mediciones pertinentes con los respectivos aparatos que cada una de ellas ocupa, de esta forma se verifica el funcionamiento del software.

7. CONCLUSIONES GENERALES

Las principales aportaciones de esta investigación son las normas aplicadas y adaptadas de LEED a la normativa mexicana para establecer parámetros cuantitativos de los aspectos a evaluar que las normas ya mencionadas toman en cuenta.

Los parámetros enmarcados con base a la norma LEED en este sistema experto sirven no sólo para edificaciones próximas a construirse, sino también para adaptar las ya construidas, es decir, tomar la edificación existente y realizar el trabajo de medición para que de esta manera se convierta en una más amigable con el medio ambiente mediante el índice de sustentabilidad arrojado y tomando en cuenta el informe final que sea entregado.

La normativa vigente actualmente no cuenta con metodologías claras para realizar las mediciones que se mencionan a lo largo de la investigación, por lo que este aspecto se considera una de las principales contribuciones de este trabajo al ramo de las certificaciones sustentables, así como la interpretación de temas subjetivos hacia un lenguaje matemático, los cuales se utilizan para dar un índice más certero del estatus de la edificación en estudio.

La presente investigación la pueden tomar los profesionales de la construcción para aplicarla sus nuevos diseños de edificaciones, de esta manera, serán más amigables con el medio ambiente y si así se desea en algún momento, también se puede contribuir a para la obtención de una certificación de alguno de los organismos ya mencionados de forma más fácil.

Este trabajo de investigación, si se desea continuar por esta línea, podrá ser de gran utilidad para desarrollar más herramientas que permitan, por lo menos en México llevar a cabo evaluaciones sustentables con un método cuantitativo así como investigaciones futuras.

En este trabajo se han sentado las bases para la determinación cuantitativa de parámetros establecidos en el marco referencial que se ha propuesto, sin

embargo, también se crea un espacio no solo de aplicación como se menciona en varios capítulos, sino de investigación continua, al tener demasiada amplitud de acuerdo a las necesidades de cada región y de cada tipo de edificación, así como de las particularidades que esto engloba. Por otro lado, resalta la ventaja emergente de lo anterior, la cual gira en torno de una gran adaptabilidad a las normativas nativas de cada una de los contextos en los que se desarrolle una evaluación a través de esta metodología.

La capacidad de este trabajo de abrir la puerta de futuras investigaciones y metodologías para la ampliación y complementación de los objetivos planteados; es grande, dado que posee un sinnúmero de campos de aplicación que eventualmente pueden llegar a converger en una metodología complementaria que plantee una valorización integral de una certificación de orden regional o bien nacional.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ABILIA. (2017). *ABILIA INTELIGENCIA INMOBILIARIA CONCIENCIA SUSTENTABLE*. Recuperado el 19 de Mayo de 2017, de <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/>
- Aipex. (2011). *Asociación Iberica de Poliestireno Extruido*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018, de Introducción a la eficiencia: http://www.aipex.es/eficiencia_es.php?s=2
- Alfaro, M. G.-C. (2005). Evaluación de las vibraciones de cuerpo completo sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento. En I. N. Trabajo, *Notas técnicas de prevención* (págs. 1-6). España.
- Allen, L. (Abril de 2015). *Greywater Action*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2018, de <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>
- Arvizu, J. (Septiembre de 2018). *El Mañana*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018, de <https://www.elmanana.com/contaminan-mercurio-focos-ahorradores-focos-ahorradores-contaminacion-mercurio/3338637>
- ATECOS. (2012). *SISTEMAS PASIVOS: ENFRIAMIENTO*. Madrid.
- Blender, A. M. (Marzo de 2015). *Arquitectura & Energía*. Recuperado el 18 de Enero de 2018, de <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>
- BREEAM. (2017). *BREEAM.ES*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2017, de <http://www.breeam.es>
- BREEAM ES. (2017). *BREEAM® Internacional*. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, de <http://www.breeam.es/index.php/conocenos/breeam-internacional>
- Casa Creativa publicidad y medios. (2015). *Casa Creativa publicidad y medios*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <http://casacreativa.co/animacion3.html>
- CECODES. (2015). *CECODES - Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de <http://www.cecodes.org.co/site/basf-en-busca-de-certificacion-dgnb/>
- Certificados Energéticos. (28 de Marzo de 2014). *Certificados Energéticos*. Recuperado el 25 de Febrero de 2018, de <http://www.certificadosenergeticos.com/ahorro-eficiencia-uso-agua-edificios-entorno-lead>
- Condorchem Envitech. (09 de Abril de 2017). *Condorchem Envitech*. Recuperado el 9 de Marzo de 2018, de <http://blog.condorchem.com/tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>

- Construction 21. (2017). *Construction 21 España*. Recuperado el 18 de Agosto de 2017, de <https://www.construction21.org/espana/>
- Cuchango, H. E., & Méndez, J. J. (2010). Sistema de inferencia difusa basado en relaciones Booleanas. *Ingeniería, Vol. 15*, pp.52-66.
- EcolInventos. (2018). *EcolInventos*. Recuperado el 5 de Octubre de 2018, de <https://ecoinventos.com/22-soluciones-para-ahorrar-agua-en-el-hogar/>
- El Debate. (28 de 05 de 2017). *El Debate*. Recuperado el 6 de Junio de 2017, de <https://www.debate.com.mx/salud/Radon-El-riesgo-de-cancer-que-emana-del-suelo-20170528-0085.html>
- El Periódico de la Energía. (18 de 03 de 2015). *EL PERIODICO DE LA ENERGIA*. Recuperado el 30 de Junio de 2017, de <http://elperiodicodelaenergia.com/europa-da-el-primer-paso-para-impulsar-la-minieolica-a-traves-del-autoconsumo/>
- FACULTAD DE INGENIERIA UC. (2015). *ing.uc.edu.ve*. Obtenido de http://www.ing.uc.edu.ve/~dgramos/tem3/tema3_2.htm
- FINCADMIN. (s.f.). *Cómo y por qué evitar ruidos molestos*. Recuperado el 2 de Agosto de 2018, de <https://www.fincadmin.com/como-y-por-que-evitar-ruidos-molestos/>
- García, D. J., & Navarrete, I. L. (2014). Propuesta de Iluminación Eficiente y Ahorro de Energía (Edificio 3 de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia). En D. J. García, & I. L. Navarrete, *Propuesta de Iluminación Eficiente y Ahorro de Energía (Edificio 3 de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia)* (pp. 12-17). Ciudad Universitaria, México.
- Gerencia de edificios. (5 de Mayo de 2014). *Gerencia de edificios*. Recuperado el 5 de Mayo de 2017, de <http://www.gerenciadeedificios.com/201405054157/articulos/desde-la-gerencia/normas-iso-herramienta-para-la-operacion-de-edificios.html>
- González, M. C. (2013). *“SISTEMAS DIFUSOS” una herramienta para la administración de inventarios*. México, D.F.
- Guzman, L. H. (1993). *Evaluación de un Techo Estanque como Sistema de Enfriamiento Pasivo en un Clima Sub-Húmedo*. Colima.
- Heinrich Boell Foundation. (Diciembre de 2005). *Archivo chile*. Recuperado el 25 de Julio de 2017, de http://www.archivochile.com/Chile_actual/patag_sin_repre/06/chact_hidroay-6%2000003.pdf
- Hernández-Moreno, S. (2010). *Diseño y manejo sustentable en edificación*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hernández-Moreno, S. (s.f.). *Vida útil en el diseño sustentable de edificios*.

- Hídrica, H. S. (2016). *HidroSol Sustentabilidad Hídrica*. Recuperado el 2018, de <http://hydrosol.cl/index.php/servicios/reutilizacion-de-aguas-residuales>
- HOMIFY INTERNACIONAL. (2016). *HOMIFY*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2017, de https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/488673/haz-de-tu-casa-un-espacio-brillante-instala-un-tragaluz
- HULIC. (2017). *HULIC REIT, INC*. Recuperado el 24 de Abril de 2018, de <http://hulic-reit.co.jp/en/>
- ICANDELA. (2017). *Iluminación, Arquitectura e Interiorismo ICANDELA*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, de <https://www.google.com.mx/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwj0jPu61orYAhWryoMKHQhAl0QjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.icandela.com%2Fes%2Fnotices%2F2016%2F04%2Fblaha-office-un-showroom-donde-muebles-y-texturas-conviven-junto-a-una-iluminac>
- INGETECNIA. (2017). *INGETECNIA*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2017, de DGNB Certificación Sostenible: <http://www.ingetecnia.com/es/invernadero/dgnb>
- INGETECNIA. (s.f.). *INGETECNIA*. Recuperado el 5 de Enero de 2019, de INGETECNIA: <http://www.ingetecnia.com/es/invernadero/dgnb>
- Instituto de física, UNAM. (Mayo de 2017). *Debate*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2017, de Debate: <https://www.debate.com.mx/salud/Radon-El-riesgo-de-cancer-que-emana-del-suelo-20170528-0085.html>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2001). *“Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros docentes”*. Madrid, España: IDAE.
- Instituto Tecnológico de Canarias. (2008). *Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- iStock. (2017). *iStock by Getty Images*. Recuperado el 8 de Junio de 2017, de <http://www.istockphoto.com/es>
- IUSES. (Noviembre de 2010). Recuperado el 2 de Mayo de 2017, de www.iuses.eu
- Japan-Guide. (2017). *japan-guide.com*. Recuperado el 1 de Septiembre de 2018, de <http://www.japan-guide.com/>
- La Tienda del Ahorro de Agua. (17 de Mayo de 2013). *Tienda del Ahorro de Agua*. Recuperado el 18 de Febrero de 2018, de <http://www.latiendadelahorrodeagua.com/ahorrar-agua>
- LEXMARK. (2011). *LEXMARK 2010 CORPORATE SOCIAL RESPONSABILITY REPORT*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de <http://www.lexmark-emea.com/>

- M.H. F. Guzmán, J. O. (2004). CONFORT TÉRMICO EN LOS ESPACIOS PUBLICOS URBANOS. *Hábitat Sustentable Vol. 4, N°. 2* , pp. 52-63.
- MADRID ARQUITECTURA. (2017). *MADRID ARQUITECTURA*. Recuperado el 7 de Julio de 2017, de <http://madridarquitectura.com/40-tecnicas-bioclimaticas-la-ventilacion/>
- Maldonado, A. B., & Maldonado, S. B. (2014). *Aprovechamiento de la energía Solar fotovoltaica dentro de un proyecto de vivienda sustentable*. Ciudad Universitaria, México: UNAM.
- Morillón-Gálvez, D. (1 de Diciembre de 2011). *Academia de Ingeniería México*. Recuperado el 26 de Julio de 2017, de <http://www.ai.org.mx/presentacion/edificaci%C3%B3n-sustentable-en-m%C3%A9xico-retos-y-oportunidades>
- Obras WEB. (4 de Noviembre de 2013). *Obras WEB - Construcción*. Recuperado el 25 de Marzo de 2017, de <http://www.obrasweb.mx/construccion/2013/11/04/entro-en-vigor-la-norma-mexicana-de-edificacion-sustentable>
- Parra, D. H. (2010). *Lógica difusa*. Recuperado el 23 de Agosto de 2018, de <http://logicadifusatgs.blogspot.com/2010/05/las-ideas-acerca-del-tema-fueron.html>
- Pattini, A. (2008). Luz Natural e Iluminación de interiores. En A. Pattini.
- Pinterest. (2016). *Pinterest*. Recuperado el 30 de Octubre de 2017, de <https://www.pinterest.com.mx/explore/sistema-de-energ%C3%ADa-solar/>
- PROFECO. (2015). Recuperado el 28 de Abril de 2017, de http://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2015/bol305_Electrodomesticos.asp
- Raitelli, M. (2014). *Diseño de la Iluminacion de Interiores*. Tucuman.
- Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. (2 de Mayo de 2004). Normas Técnicas Complementarias para Instalaciones para Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas.
- Rehabilitación Energetica. (15 de Marzo de 2017). Recuperado el 20 de Junio de 2018, de <http://rehabilitacionenergetica.com/?p=1072>
- Rodríguez, F. O. (2004). *Modelado y control PD-difuso en tiempo real para el sistema barra-esfera*. México, D.F.
- Ruiz, L. R., & Sanz, M. P. (2013). *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de <http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Calidad%20del%20ambiente%20interior/CalidadambinteriorDTECAI.pdf>
- Santoyo, J. P. (2016). *Diseño de un Control Inteligente Utilizando Técnicas de Lógica Difusa, Aplicado a un Balastro Electrónico*. Aguascalientes.

- Secretaria de Energia. (2015). *SENER - SIE*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de Sistema de Información Energética: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE7C02>
- SEGLA. (s.f.). *BarcelonaTech*. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de BarcelonaTech: <https://www.cresca.upc.edu/congreslegionella/arxius/ponencies/cruceta-calidad-ambiental.pdf>
- SEMARNAT. (03 de Diciembre de 2013). Limites maximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición. México.
- SENER. (2012). *PROSPECTIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES 2012-2026*. México.
- Sexto, L. F. (2012). *Síndrome del Edificio Enfermo. Ruido y Vbraciones como Factores de Riesgo*. La Habana.
- Sosa, L. C. (2014). Eficiencia de Estrategias de Enfriamiento Pasivo en Clima Cálido Seco . *Tecnología, medio ambiente y sostenibilidad*, 86-95.
- Terrés, A. (2004). Criterios de aceptación de vibraciones. En A. Terrés.
- U.S. Enviromental Protection Agency. (Abril de 2016). *EPA United States Enviromental Protection Agency*. Recuperado el 25 de Enero de 2017, de https://espanol.epa.gov/sites/production-es/files/2016-07/documents/moisture_control_guidance_spanish_april_2016_508_final.pdf
- UnComo. (2017). *UnComo*. Recuperado el 28 de Junio de 2017, de <https://hogar.uncomo.com/articulo/como-ganar-luz-en-espacios-sin-ventanas-47202.html>
- Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. (25 de junio de 2013). *UNICEN*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2018, de <http://www.unicen.edu.ar/content/la-importancia-del-manejo-sustentable-del-agua>
- UNOCERO. (16 de junio de 2015). *UNOCERO*. Recuperado el 29 de Julio de 2017, de <https://www.unocero.com/noticias/ciencia/cientifica-mexicana-convierte-ventanas-en-eficientes-paneles-solares/>
- Vega, V. H. (2008). *Evaluación de Ruido Ambiental en la Ciudad de Puerto Montt*. Valdivia: Austral.
- Velrag, N. B. (2012). *Educación en Ingeniería Química*. Recuperado el 5 de Mayo de 2018, de <http://www.ssecoconsulting.com/mejora-del-confort-teacutermico-con-enfriamiento-pasivo.html>
- VEO VERDE. (6 de Agosto de 2014). *VEO VERDE*. Recuperado el 12 de Enero de 2019, de <https://www.veoverde.com/2014/08/asi-se-obtiene-la-certificacion-leed-en-edificios/>

9. ANEXOS

Índice de figuras

Figura 1. Desarrollo sustentable. Adaptado de: (Hernández-Moreno, Diseño y manejo sustentable en edificación, 2010)	16
Figura 2. Sistema de aprovechamiento de energía solar (Pinterest, 2016).....	18
Figura 3. Proceso de reúso de aguas grises. (Hídrica, 2016)	19
Figura 4. Dispositivos para ahorro energético. (Arvizu, 2018).....	19
Figura 5. Ciclo de la vida del edificio y su relación con el proceso de diseño. Adaptado de: (Hernández-Moreno, 2010).....	22
Figura 6. (BREEAM, 2017).....	26
Figura 7. (BREEAM, 2017).....	27
Figura 8. (BREEAM, 2017).....	28
Figura 9. (CECODES, 2015)	30
Figura 10. (iStock, 2017)	32
Figura 11. (Japan-Guide, 2017)	33
Figura 12. (HULIC, 2017)	34
Figura 13. (Construction 21, 2017).....	38
Figura 14. (ABILIA, 2017).....	39
Figura 15. (LEXMARK, 2011).....	40
Figura 16. Adaptado con datos de LEED	55
Figura 17. Esquema del funcionamiento de torre de enfriamiento pasivo	65
Figura 18. Perdidas clásicas de energía a través de la envolvente del edificio. (Aipex, 2011).....	72
Figura 19. Sistemas que contribuyen en la ganancia bioclimática.	75
Figura 20. Proceso de diseño de Iluminación.....	80
Figura 21. Consumo final de energía por sector en el año 2015. (Secretaria de Energía, 2015).....	85
Figura 22. Repartición del consumo eléctrico en una casa habitación. (IUSES, 2010).	87
Figura 23. Celda solar transparente.	97
Figura 24. Turbinas eólicas en edificio	98
Figura 25. Presencia del gas Radón en México.	106
Figura 26. Moho creciendo en la superficie de paneles de yeso y remates pintados. La alta humedad por largo tiempo es la fuente de humedad que permite el enmohecimiento. Todos los muros tuvieron condiciones similares cercanas a la condensación.	112
Figura 27. Otros daños por lluvia en el revoque interior. La filtración de la lluvia convierte el compuesto de la junta del panel de yeso en un fluido, causando que se formen burbujas en el yeso y que se levante.	113

Figura 28. Corrosión en lámina de acero galvanizada acanalada. El agua proviene de la filtración de agua de lluvia.	113
Figura 29. El agua de lluvia es introducida de este ensamblaje de ladrillos por acción capilar, y la humedad camina hacia abajo por la fuerza de gravedad. La pintura despegada contiene plomo y provoca un medio ambiente peligroso.	113
Figura 30. Espacio típico con cerramientos contundentes.	118
Figura 31. Subdivisiones de una vivienda tipo.	119
Figura 32. Huecos típicos contemporáneos.	120
Figura 33. Puente térmico interior y exterior.	121
Figura 34. Orientaciones favorables y desfavorables de los edificios para que la mayoría de los espacios tengas acceso a la luz natural.	122
Figura 35. Control de efectos del deslumbramiento mediante técnicas de luz indirecta.	124
Figura 36. Representación gráfica de una función característica de la teoría difusa.	140
Figura 37. Representación analítica y gráfica de una función trapezoidal.	142
Figura 38. Representación analítica y gráfica de una función singular.	142
Figura 39. Representación analítica y gráfica de una función triangular.	143
Figura 40. Representación analítica y gráfica de una función tipo S.	143
Figura 41. Representación analítica y gráfica de una función tipo π	144
Figura 42. Regla tipo Si-Entonces, Mamdani.	146
Figura 43. Regla tipo Si-Entonces. Sugeno.	146
Figura 44. Elemento de un diagrama de bloques.	147
Figura 45. Diagrama de flujo de las Etapas para la toma de decisión.	149
Figura 46. Función de pertenencia doble triangular aplicada al caso de estudio (temperatura).	153
Figura 47. Función de pertenencia trapezoidal aplicada al caso de estudio (humedad relativa).	154
Figura 48. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Manejo y control del aguas del sitio".	166
Figura 49. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso de sistemas de aguas grises".	167
Figura 50. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso de sistemas de aguas grises".	168
Figura 51. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso adecuado del consumo de agua del edificio".	169
Figura 52. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso adecuado en torre de enfriamiento pasivo".	169
Figura 53.A. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Ubicación del edificio para ahorro del consumo energético".	170
Figura 54. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer iluminación artificial combinada con iluminación natural".	172

Figura 55. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer una adecuada instalación de iluminación artificial".....	173
Figura 56. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Maximizar el rendimiento de los sistemas mecánicos".....	174
Figura 57. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso eficiente de los equipos y aparatos".....	175
Figura 58. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Uso de energías renovables u otras fuentes alternas".....	176
Figura 59. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Optimizar el envolvente del edificio para mejor rendimiento térmico".	177
Figura 60. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Integrar los sistemas y reducir el uso del total de la energía".	178
Figura 61. El confort térmico.	179
Figura 62. Diagrama de fuzzificación para la temperatura y humedad.	180
Figura 63. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos".....	181
Figura 64. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buena ventilación para mayor control térmico y patógeno".....	182
Figura 65. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer un limpio y saludable ambiente al interior".	183
Figura 66. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buena iluminación y ventilación".	184
Figura 67. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buenas condiciones térmicas".....	185
Figura 68. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones" - Acústica.....	187
Figura 69. Posiciones y ejes del cuerpo humano de acuerdo a la actividad desempeñada.....	188
Figura 70. Criterios para la evaluación de la exposición a vibraciones sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento.....	189
Figura 71. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer buenas condiciones acústicas y de vibraciones" - Vibraciones.....	190
Figura 72. Interfaz del sistema experto para la estrategia de "Proveer adecuado desahogo visual al exterior".	192
Figura 73. Interfaz del sistema experto de totales y resultado.	193

Índice de tablas

Tabla 1. Etapas de la edificación sustentable en México Adaptado de: (Morillón-Gálvez, 2011)	17
Tabla 2. Determinación del tipo de sistema a utilizar para tratamiento de agua. ...	53
Tabla 3. Tabla resumen para selección.	54
Tabla 4. Objetivos del diseño por clima. Adaptado de: Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.....	74
Tabla 5. Rangos de potencia de aparatos eléctricos.....	88
Tabla 6. Vampiros de energía.	90
Tabla 7. Tabla de confort de acuerdo a la aceleración de las vibraciones	131
Tabla 8. Comparación numérica entre lógica clásica y difusa.....	139
Tabla 9. Equivalencia entre conjuntos, lógica y álgebra Booleana.....	145
Tabla 10. Aparatos de medición usados.	156
Tabla 11. Estrategias aplicadas al manejo del agua en la edificación.....	157
Tabla 12. Criterios de puntajes para las estrategias de manejo del agua.	157
Tabla 13. Estrategias aplicadas al manejo de la energía en la edificación.	158
Tabla 14. Criterios de puntajes para las estrategias de manejo de la energía. ...	158
Tabla 15. Estrategias aplicadas al manejo del confort en la edificación.....	159
Tabla 16. Criterios de puntajes para las estrategias de manejo del confort.	159
Tabla 17. Ponderación de las estrategias.	160
Tabla 18. Repartición de puntajes por estrategia.	160
Tabla 19. Normalización de los grados de pertenencia de las estrategias.....	161
Tabla 20. Posibles combinaciones por grupo de estrategias.	162
Tabla 21. Combinación 1080 para obtención de índice en estrategias para el confort al interior de la edificación.	162
Tabla 22. Obtención del índice por estrategia.	163
Tabla 23. Escala propuesta para índices por estrategia	163
Tabla 24. Límites máximos permisibles.	186

Código fuente

Se anexa el código de la programación del aspecto 2.1 “Manejo y control del agua en el sitio”.

Cabe mencionar que los demás aspectos se programaron de manera similar.

```
<!-- CONTENIDO AGUA -->
<div id="step-1">
  <div class="row">
    <div class="col-sm-12">
      <table class="table table-striped">
        <thead>
          <tr>
            <th>Mueble</th>
            <th>Cantidad</th>
            <th>Gasto(L/S)</th>
            <th>Ahorrador</th>
            <th>% de Ahorro</th>
            <th>Gasto con Ahorro</th>
          </tr>
        </thead>
        <tbody>
          <tr data-tipo="Fregadero">
            <td><b>Fregadero</b></td>
            <td><input type="number" class="nbrGasto" value="0" min="0"></td>
            <td><center><label class="lblAgua1Gasto">0</label></center></td>
            <td><center>
              <select class="selectAhorrador">
                <option value="0">No tiene</option>
                <option value="53.50">Perlizador</option>
                <option value="50">Valvula temporizada</option>
                <option value="80">Sensor electronico</option>
                <option value="-1">Otro</option>
              </select>
            </center></td>
            <td><center><label class="lblAguaAhorro">0</label>
              <input type="number" class="AhorradorOtro" value="0" style="width: 30%;
text-align:center;" hidden> %
            </center></td>
            <td><input type="number" class="txtGastoAhorro" value="0" readonly></td>
          </tr>
          <tr data-tipo="Inodoro">
            <td><b>Inodoro</b></td>
            <td><input type="number" class="nbrGasto" value="0" min="0"></td>
            <td><center><label class="lblAgua1Gasto">0</label></center></td>
            <td><center>
              <select class="selectAhorrador">
                <option value="0">No tiene</option>
                <option value="60">Doble Descarga</option>
                <option value="50">Inodoro con presurizador</option>
                <option value="70">Fluxometro</option>
                <option value="-1">Otro</option>
              </select>
            </center></td>
            <td><input type="number" class="txtGastoAhorro" value="0" min="0" max="100"
              </td>
          </tr>
        </tbody>
      </table>
    </div>
  </div>
</div>
```

```

        </select>
    </center></td>
    <td><center><label class="lblAguaAhorro">0</label>
        <input type="number" class="AhorradorOtro" value="0" style="width: 30%;
text-align:center;" hidden> %
    </center></td>
    <td><input type="number" class="txtGastoAhorro" value="0" readonly></td>
</tr>
<tr data-tipo="Mijitorio">
    <td><b>Mijitorio</b></td>
    <td><input type="number" class="nbrGasto" value="0" min="0"></td>
    <td><center><label class="lblAgua1Gasto">0</label></center></td>
    <td><center>
        <select class="selectAhorrador">
            <option value="0">No tiene</option>
            <option value="80">Sensor Electronico</option>
            <option value="100">Minj Seco</option>
            <option value="70">Fluxometro</option>
            <option value="-1">Otro</option>
        </select>
    </center></td>
    <td><center><label class="lblAguaAhorro">0</label>
        <input type="number" class="AhorradorOtro" value="0" style="width: 30%;
text-align:center;" hidden> %
    </center></td>
    <td><input type="number" class="txtGastoAhorro" value="0" readonly></td>
</tr>
<tr data-tipo="Lavabo">
    <td><b>Lavabo</b></td>
    <td><input type="number" class="nbrGasto" value="0" min="0"></td>
    <td><center><label class="lblAgua1Gasto">0</label></center></td>
    <td><center>
        <select class="selectAhorrador">
            <option value="0">No tiene</option>
            <option value="53.50">Perlizador</option>
            <option value="70">Valvula temporizada</option>
            <option value="80">Sensor electronico</option>
            <option value="-1">Otro</option>
        </select>
    </center></td>
    <td><center><label class="lblAguaAhorro">0</label>
        <input type="number" class="AhorradorOtro" value="0" style="width: 30%;
text-align:center;" hidden> %
    </center></td>
    <td><input type="number" class="txtGastoAhorro" value="0" readonly></td>
</tr>
<tr data-tipo="Regadera">
    <td><b>Regadera</b></td>
    <td><input type="number" class="nbrGasto" value="0" min="0"></td>
    <td><center><label class="lblAgua1Gasto">0</label></center></td>
    <td><center>
        <select class="selectAhorrador">
            <option value="0">No tiene</option>
            <option value="53.50">Perlizador</option>
            <option value="70">Valvula temporizada</option>
            <option value="80">Sensor electronico</option>
        </select>
    </center></td>

```

```

        <option value="-1">Otro</option>
    </select>
</center></td>
<td><center><label class="lblAguaAhorro">0</label>
    <input type="number" class="AhorradorOtro" value="0" style="width: 30%;
text-align:center;" hidden> %
</center></td>
<td><input type="number" class="txtGastoAhorro" value="0" readonly></td>
</tr>
<tr data-tipo="Vertedero">
<td><b>Vertedero (Llave)</b></td>
<td><input type="number" class="nbrGasto" value="0" min="0"></td>
<td><center><label class="lblAgua1Gasto">0</label></center></td>
<td><center>
    <select class="selectAhorrador">
        <option value="0">No tiene</option>
        <option value="53.50">Perlizador</option>
        <option value="70">Valvula temporizada</option>
        <option value="80">Sensor electronico</option>
        <option value="-1">Otro</option>
    </select>
</center></td>
<td><center><label class="lblAguaAhorro">0</label>
    <input type="number" class="AhorradorOtro" value="0" style="width: 30%;
text-align:center;" hidden> %
</center></td>
<td><input type="number" class="txtGastoAhorro" value="0" readonly></td>
</tr>
<tr>
<th>Total</th>
<td></td>
<td><center><label id="lblAgua1GastoT">0</label></center></td>
<td></td>
<td></td>
<td><center><label id="lblAgua1GastoAhorroT">0</label></center></td>
</tr>
</tbody>
</table>
<center>
<div class="col-sm-6">
<table class="table table-bordered" style="width: 80%; text-align: center;">
<tr>
<td colspan="2"><center><b>Escala Propuesta</b></center></td>
</tr>
<tr>
<th style="width: 50% !important;">0-20%</th>
<td style="width: 50% !important;">0</td>
</tr>
<tr>
<th>21-50%</th>
<td>0.5</td>
</tr>
<tr>
<th>51-100%</th>
<td>1</td>
</tr>

```

```

    </table>
  </div>
  <div class="col-sm-6">
    <table class="table table-bordered" style="width: 80%; text-align: center;">
      <tr>
        <td>% de Ahorro Total:</td>
        <td><b id="lblAgua1PorcentajeFinal">0.0</b></td>
      </tr>
      <tr>
        <td colspan="2">Puntuación: <b><h1
id="lblAgua1Puntuacion">0</h1></b></td>
      </tr>
    </table>
  </div>
</center>
</div>
</div>
</div>

```

```

<script>
$(document).ready(function() {
//1/----- Arrreglo datos Seccion 1 Tab de Agua -----
$arregloAgua1 = {
  'Fregadero' :
  {
    'UM'      : 2,
    'Gasto'   : 0,
    'Porcentaje' : 0,
    'GastoAhorro' : 0
  },
  'Inodoro' :
  {
    'UM'      : 3,
    'Gasto'   : 0,
    'Porcentaje' : 0,
    'GastoAhorro' : 0
  },
  'Mijitorio' :
  {
    'UM'      : 2,
    'Gasto'   : 0,
    'Porcentaje' : 0,
    'GastoAhorro' : 0
  },
  'Lavabo' :
  {
    'UM'      : 2,
    'Gasto'   : 0,
    'Porcentaje' : 0,
    'GastoAhorro' : 0
  },
  'Regadera' :
  {
    'UM'      : 2,

```

```

    'Gasto'      : 0,
    'Porcentaje' : 0,
    'GastoAhorro' : 0
  },
  'Vertedero' :
  {
    'UM'      : 1,
    'Gasto'   : 0,
    'Porcentaje' : 0,
    'GastoAhorro' : 0
  }
};

//1/----- Calculo de Gasto por UM (Seccion 1)-----
$(document).on('change', '.nbrGasto', function(event) {
  $valor = $(this).val();
  $data = $(this).parent().parent().data('tipo');
  $cantidad = $valor * $arregloAgua['Seccion1']['Promedio'] * $arregloAgua1[$data]['UM'];
  $arregloAgua1[$data]['Gasto'] = $cantidad;
  $(this).parent().parent().find('.lblAgua1Gasto').html($cantidad.toFixed(3));
  CalculaSeccion1();
});
//1/----- Porcentaje ahorro capturable (Seccion 1)-----
$(document).on('change', '.AhorradorOtro', function(event) {
  $valor = $(this).val();
  $data = $(this).parent().parent().parent().data('tipo');
  $arregloAgua1[$data]['Porcentaje'] = $valor;
  CalculaSeccion1();
});
//1/----- Porcentaje ahorro seleccion (Seccion 1) -----
$(document).on('change', '.selectAhorrador', function(event) {
  $valor = $(this).val();
  $data = $(this).parent().parent().parent().data('tipo');
  $inputhiddenAhorrador = $(this).parent().parent().parent().find('.AhorradorOtro');
  $lblAhorrador = $(this).parent().parent().parent().find('.lblAguaAhorro');
  if ($valor == -1){
    $inputhiddenAhorrador.show();
    $lblAhorrador.hide();
    $inputhiddenAhorrador.val(0);
    $valor = 0;
  }else{
    $inputhiddenAhorrador.hide();
    $lblAhorrador.show();
    $inputhiddenAhorrador.val($valor);
    $lblAhorrador.html($valor);
  }
  $arregloAgua1[$data]['Porcentaje'] = parseFloat($valor);
  console.log($arregloAgua1);
  CalculaSeccion1();
});
//1/----- Calcula Todo (Seccion 1) -----
function CalculaSeccion1(){
  $totalGasto = 0;
  $.each($arregloAgua1, function(index, val) {
    $totalGasto += $(val)[0]['Gasto'];
  });
};

```

```

$arregloAgua['Seccion1']['TotalGasto']= $totalGasto;
$('#lblAgua1GastoT').html($totalGasto.toFixed(3));

$totalAhorro = 0;
$.each($arregloAgua1, function(index, val) {
    $totalAhorro += $(val)[0]['Porcentaje'];
});
$arregloAgua['Seccion1']['TotalAhorro']= $totalAhorro;

$totalGastoAhorro = 0;
$.each($arregloAgua1, function(index, val) {
    $valor = ($(val)[0]['Gasto'] - (($(val)[0]['Porcentaje']/100) * $(val)[0]['Gasto'])).toFixed(4);
    $arregloAgua1[index]['GastoAhorro'] = parseFloat($valor);
    $('tr[data-tipo="'+index+"']").find('.txtGastoAhorro').val($valor);
    $totalGastoAhorro += parseFloat($valor);
});
$arregloAgua['Seccion1']['TotalGastoA'] = $totalGastoAhorro.toFixed(4);
$('#lblAgua1GastoAhorroT').html($totalGastoAhorro.toFixed(4));

$PorcentajeFinal = (1 - ($arregloAgua['Seccion1']['TotalGastoA'] /
$arregloAgua['Seccion1']['TotalGasto'])) * 100;
$('#lblAgua1PorcentajeFinal').html($PorcentajeFinal.toFixed(2));
CalculaSeccion4();
if ($PorcentajeFinal >= 0 && $PorcentajeFinal < 21){
    $arregloAgua['Seccion1']['puntuacion'] = 0;
}else if($PorcentajeFinal > 20 && $PorcentajeFinal < 51){
    $arregloAgua['Seccion1']['puntuacion'] = 0.5;
}else{
    $arregloAgua['Seccion1']['puntuacion'] = 1;
}
$('#lblAgua1Puntuacion').html($arregloAgua['Seccion1']['puntuacion']);
}
}
</script>

```