

Universidad de las Américas Puebla

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.



Tesis para completar los requisitos del Programa de Honores

Cuantificación de la huella de carbono en la construcción de tres tipos muros, aplicado a casas de interés social en México-Puebla.

Eduardo Hoyos de la Vega

Licenciatura en Ingeniería Civil

Jurado Calificador

Mentor: Benito Corona Vásquez

Jurado: María Elena Raynal Gutiérrez

Jurado: Ernesto Adrián Díaz Montagner

Cholula. Puebla. México a 10 de Mayo de 2018

....Agradezco a Dios por la vida, a mis padres que me lo han dado todo, a mis hermanos y amigos que han estado conmigo en todo momento y a mi familia que ha sido mi fuerza para poder seguir adelante.

Índice

Capítulo 1 Introducción

Capítulo 2 Marco Teórico

2.1 Contaminación

2.2 Inicios de la contaminación

2.3 Contaminación ambiental en México

2.4 Conceptos básicos

Capítulo 3 Marco contextual respecto a la construcción

3.1 Antecedentes

3.2 Industria de la construcción en México

3.3 Contaminación en la industria de la construcción

3.4 Materiales de construcción a estudiar

3.5 Normas y Leyes

3.6 Análisis de huella de carbono por m² de muro

Capítulo 4 Posibles soluciones y alternativas al problema

4.1 Nuevos materiales

4.2 Reciclado

4.3 Vivienda sostenible

4.4 Análisis de Ciclo de Vida

4.5 Softwares para modelación

Capítulo 5 Conclusiones

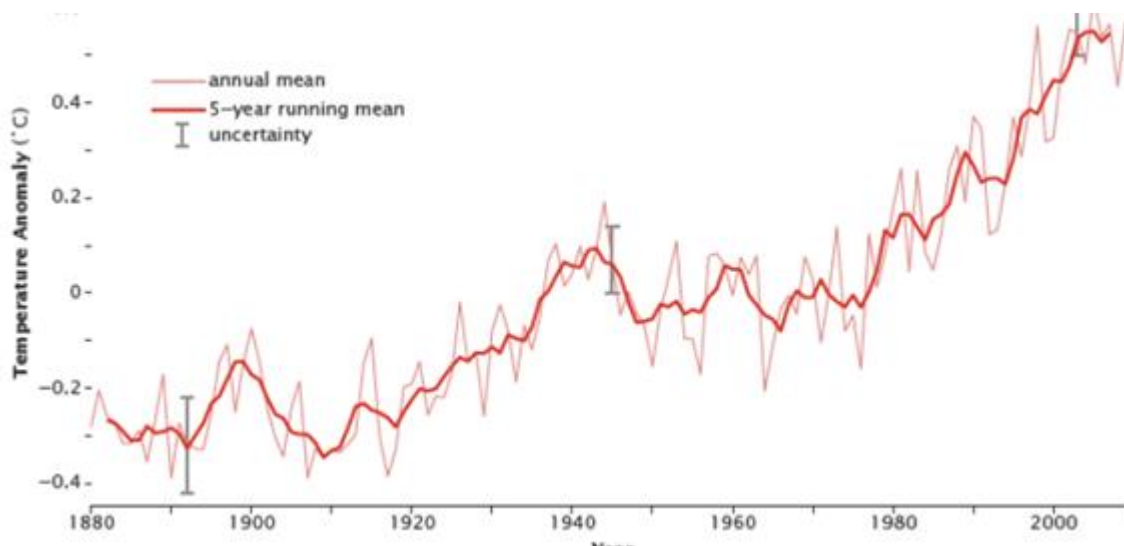
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

“Hoy más que nunca, la vida debe caracterizarse por un sentido de responsabilidad universal, no sólo entre naciones y entre humanos, sino entre humanos y cualquier otra forma de vida”

- Dalai Lama.

Las temperaturas de la superficie del planeta aumentan a gran ritmo. En los últimos 100 años, la temperatura media global ha aumentado 0,76 °C. Once de los doce años más calurosos desde 1850 se concentran entre 1995 y 2006. Por su parte Gómez (2010) menciona que si la concentración de gases se mantuviera en los niveles del año 2000, se esperaría un calentamiento de unos 0,1°C por década, lo que induciría cambios del sistema climático global, muy probablemente mayores que los observados durante el siglo XX, debido a las escalas de tiempo asociadas con los procesos del clima.

Temperatura media de la superficie global



Gráfica 1: Incremento de la temperature en los últimos 50 años. (Riebeek, 2010)

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. Es debido a causas naturales y también a la acción del hombre. Estos cambios en la temperatura afectan a los parámetros climáticos como la temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. El término "efecto de invernadero" se refiere a la retención del calor del Sol en la atmósfera de la Tierra por parte de una capa de gases en la atmósfera. Sin ellos la vida tal como la conocemos no sería posible, ya que el planeta sería demasiado frío. Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, que son liberados por la industria, la agricultura y la combustión de combustibles fósiles. El mundo industrializado ha conseguido que la concentración de estos gases haya aumentado un 30% desde el siglo pasado, cuando, sin la actuación humana, la naturaleza se encargaba de equilibrar las emisiones (Mapama, s.a.).

De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente (2012) los impactos ambientales directos resultantes de la construcción y la operación de las edificaciones incluyen la emisión de gases de efecto invernadero y otras emisiones atmosféricas relacionadas con el consumo de energía, el consumo y la descarga de agua y la escorrentía de agua pluvial. Otros impactos directos tienen que ver con los materiales de construcción, los residuos sólidos que se generan durante el ciclo de vida de un inmueble y la calidad del aire en interiores. De ahí la importancia de realizar un análisis de ciclo de vida en las edificaciones ya que, como lo comenta Gómez, el Análisis de Ciclo de Vida es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final.

Los impactos secundarios suelen relacionarse con el ciclo de vida de los productos utilizados en la edificación, el desarrollo de infraestructura y los sistemas de transporte. Como respuesta a lo anterior, las autoridades de la Ciudad de México consideran actualmente una normatividad en materia de edificación sustentable, la primera en su género en todo el país. Este instrumento permitiría a los impulsores de desarrollos inmobiliarios aumentar su capacidad de construcción, siempre que apliquen tecnologías eficientes de consumo de energía y agua.

El mundo está en constante cambio y evolución pero, en los últimos años, el cambio en la construcción y la arquitectura se está dando con más fuerza que en otros sectores. Esto se debe, entre otras cosas, al auge de las ideas de sostenibilidad, eficiencia energética y respeto por el medio ambiente. (Arrevol, 2016). Por ello es importante que se implementen más edificaciones que generen menos cantidades de CO₂ y por consiguiente ayudar a no incrementar más la temperatura del planeta.

Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es conocer cuáles son los materiales de construcción (tabique, tabicón o block hueco) que generan una menor huella de carbono al medio ambiente. Esto aplicado a la construcción de muros realizados a casas de interés social ubicadas en Puebla-México. Con el fin de permitir en corto plazo a promotores, diseñadores y constructores conocer, dimensionar y evaluar los impactos ambientales asociados a tecnologías, procedimientos o materiales aplicados a la edificación de muros para la vivienda de interés social.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se comenzará por definir algunos conceptos básicos para entender un poco más sobre la problemática de la que se hablará más adelante. Se comenzará por explicar algunos

conceptos como: contaminación, gases de efecto invernadero, huella de carbono y cómo todas estas están relacionadas en la contaminación de nuestro planeta.

2.1 CONTAMINACIÓN

La contaminación es un término que se conoce muy bien y puede ser definida de muchas maneras pero según Marimar (2018):

“La contaminación es la introducción de sustancias en un medio que provocan que éste sea inseguro o no apto para su uso. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química o energética (como sonido, calor, luz o radiactividad)”.

Como bien se sabe existen distintos tipos de contaminación y estos reciben su nombre dependiendo del medio al que están afectando. Se definirán los más principales y cómo es que estos afectan el medio ambiente.

2.1.1 Contaminación ambiental

La contaminación ambiental consiste en la liberación de sustancias químicas a la atmósfera, alterando su composición y poniendo en riesgo la salud de las personas y al resto de los seres vivos. Este tipo de contaminación se genera de diversas maneras, puede ser a través de los gases que liberan los coches, las fábricas, la quema de basura, los incendios forestales, las erupciones volcánicas o polvos industriales como el cemento, yeso, etc. Cada uno de estos contaminantes, expulsan gases contaminantes como el monóxido de carbono o el dióxido de azufre (Marimar, 2018).

Es importante tratar de que estos niveles de contaminación sean los menos posibles ya que cuantos más bajos sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo (Organización mundial de la salud, 2018).

2.1.2 Contaminación del agua

Comenta Izaguirre (2017) que este tipo de contaminación está presente cuando una o más sustancias se han acumulado en el agua hasta tal punto que causan problemas para los animales o las personas. Como lo hemos visto en la contaminación ambiental, la contaminación del agua es también en su mayoría causada por el ser humano, aunque también puede ser contaminada por cuestiones naturales como cuando un volcán entra en erupción y deposita sus cenizas en un cuerpo de agua (Ecoadmin, 2013). De acuerdo a Izaguirre estas sustancias contaminantes se pueden clasificar en distintos tipos:

Desechos orgánicos: Conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, u otros animales salvajes. Incluye heces, y otros materiales orgánicos que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, que son los procesos con oxígeno.

Compuestos orgánicos: Moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, disolventes, detergentes que se arrojan al suelo acaban en el agua y tardan mucho tiempo en descomponerse.

Contaminación térmica: El agua caliente que se libera de centrales de energía o procesos industriales aumenta la temperatura de ríos y embalses con lo que disminuye el oxígeno y eso resulta fatal para los seres vivos. (Izaguirre,2017).

2.1.3 Contaminación del suelo

La contaminación del suelo se define como la presencia de sustancias químicas tóxicas en el suelo, en concentraciones suficientemente altas como para representar un riesgo para la salud humana o el ecosistema (Maxwell, 2017). Maxwell a su vez comenta que normalmente ésta contaminación es producida por la ruptura de tanques de almacenamiento subterráneo, uso de pesticidas y acumulación directa de residuos industriales. Entre estos destacan los químicos como hidrocarburos de petróleo, solventes, pesticidas y otros metales pesados.

Estos son algunos de los principales tipos de contaminación que existen en nuestro planeta sin embargo existen demasiados como los son: la contaminación química, contaminación radiactiva, contaminación térmica, contaminación acústica, contaminación visual, contaminación electromagnética entre otras. Todos los tipos de contaminación desde luego que se consideran un peligro para los seres vivos. Sin embargo en el desarrollo de esta tesis se hablará o se hará referencia únicamente a la contaminación ambiental, del agua y suelo.

2.2 INICIOS DE LA CONTAMINACIÓN

Sabemos que existe la contaminación pero, ¿desde cuándo comenzó a existir la contaminación en nuestro planeta? De acuerdo a investigadores de Estados Unidos y Dinamarca en un sitio a gran altitud en los Andes peruanos hallaron una capa con elementos depositados dentro de un bloque de hielo el año 793 y 1989 de nuestra era (Uglietti et al., 2015).

Uglietti menciona que este núcleo de hielo ha proporcionado el primer registro detallado de contaminación atmosférica generalizada por factores humanos en América del Sur antes de la Revolución Industrial, que comenzó en la segunda mitad del siglo XVIII.

Comenta a su vez que investigadores encontraron un aumento en la concentración de bismuto¹ en el hielo alrededor del año 1480, en paralelo a la expansión del imperio inca, y menciona que probablemente se debió al uso de bismuto en la producción de bronce. Un dato interesante es que las concentraciones de varios metales aumentaron alrededor del año 1540, al menos una década después del inicio de la colonización española en América del Sur, por un auge en la minería y la metalurgia en la producción de plata (2015). m³

2.3 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO

En México existen diferentes ciudades con un alto índice de contaminación pero según El Financiero al menos en el Valle de México flotan todos los días más de 180 mil toneladas de 120 sustancias contaminantes. Esto ha contribuido a que el número de muertes por enfermedades respiratorias agudas e influenza se triplicara en el país en cuatro años, al pasar de mil 148 casos en 2010 a tres mil 18 en 2014 (2015). Según Huitrón (2017) el trabajo de investigación elaborado por la OMS se encargó de la medición de los niveles de partículas menores a 10 micras (PM10)² registradas anualmente en cada una de las ciudades sometidas a la observación de su base de datos. Por sorpresa la Ciudad de México no ocupa el primer lugar de esta lista pero sí se encuentra entre las 10 más contaminadas. A continuación se presentan las ciudades más contaminadas de México:

¹ El bismuto es un metal cristalino, blanco grisáceo, su principal uso está en la manufactura de aleaciones de bajo punto de fusión. (Lenntech, 1998)

² Las partículas suspendidas forman una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. (Inecc, s.a.)

- Monterrey
- Toluca
- Salamanca
- León
- Irapuato
- Silao
- Ciudad de México
- Guadalajara
- Puebla

Aunque la ciudad de México no se encuentra en los primeros niveles de contaminación se analizará esta debido a que en ella se encuentran muchas de las empresas de construcción de las cuales se hablará más adelante.

La contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México es un tema que preocupa al gobierno y a los habitantes de la zona desde hace más de tres décadas. Ésta misma está ahogando al valle de la Ciudad de México con un índice de hasta 127 puntos de partículas suspendidas, llegando en el año 2017 con cuatro contingencias ambientales con índices de contaminación hasta 186 puntos, esto según los datos más recientes del Sistema de Monitoreo Atmosférico. Menciona también que la mala calidad del aire de esta zona que abarca a más de 21 millones de habitantes, supone un riesgo para los niños, los ancianos y personas que realicen actividades físicas al aire libre. La autora añade que este grado de contaminación se traduce en molestias físicas para los viandantes, tales como comezón en el paladar, picazón en la garganta, ardor en los ojos y constantes estornudos. (Suárez, 2017)

Para hacerle frente a este creciente problema, se han implementado diferentes medidas que parecen nunca ser suficientes ya que en varias de ellas el sistema está rebasado por prácticas de corrupción inaceptables, menciona el centro de estudios Mario Molina (Suárez, 2017). Entre las medidas que se han implementado se encuentran la reformulación de las gasolinas, la verificación obligatoria, el programa Hoy No Circula, la reubicación de industrias, campañas de

educación vial, programas de restauración y conservación de áreas verdes y cambios a la normatividad, entre otros (Soco, 2017).

De acuerdo con Memorias de cálculo (2014), La secretaría del Medio Ambiente divide en cuatro categorías principales las fuentes contaminantes: las puntuales, las de área, las móviles y las naturales. Las fuentes puntuales incluyen a las industrias, los comercios y los servicios regulados; las fuentes de área están conformadas por instalaciones pequeñas y numerosas pero cuyas emisiones en conjunto son considerables, como por ejemplo, las domésticas, las de combustibles, solventes y residuos agrícolas y ganaderos. Las fuentes móviles son cualquier transporte automotor que circula por las vialidades, mientras que las emisiones de fuentes naturales son las producidas por los procesos propios de la vegetación y de los suelos.

“La degradación de la calidad del aire básicamente radica en la existencia de cerca de 30,000 establecimientos industriales y en la presencia de alrededor de tres millones de vehículos automotores. Las emisiones de estas fuentes y las características geográficas y climáticas de la zona, no permiten, en las condiciones actuales, garantizar una buena calidad de aire.” (Ezcurra et al., s.a.).

2.4 CONCEPTOS BÁSICOS

2.4.1 Dióxido de carbono

Como menciona Sordo. “El CO₂ es un gas incoloro, inodoro y con un sabor ácido. Su estructura molecular está compuesta de un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno, es decir, según la nomenclatura química: CO₂.” (s.a.). A pesar de que pensamos erróneamente que el CO₂ es un compuesto dañino y nocivo para la salud, realmente el CO₂, por sí solo no es malo, es un

compuesto natural que es esencial para el ciclo biológico de las plantas y esenciales para la regulación del clima y la vida en la tierra (Yáñez y Rodríguez, 2012).

2.4.2 Gases de Efecto Invernadero

Adentrándonos un poco más en el tema existe un término conocido como Gases de efecto invernadero³ el cual según Bester los GEI son aquellos gases que se acumulan en la atmósfera terrestre y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera. Es decir, son aquellos gases presentes en la atmósfera que dan lugar al efecto invernadero. Pero el problema surge cuando aumenta la concentración de estos GEI, generando un incremento de la temperatura media global” (2016).

Pero como lo comenta “Huella de carbono” (2009) el incremento de estos GEI no se ha dado de manera natural, la mayor parte del calentamiento global ha sido causado por casi todas las actividades que realizamos los humanos como: movilidad y alimentación, así como bienes que poseemos y utilizamos. Todos estos implican un consumo de energía, lo que significa contribuir a las emisiones de GEI a la atmósfera.

2.4.3 Huella de carbono

Para hacer la medición de los Gases Efecto Invernadero nace el concepto de Huella de Carbono (HDC) que mide la emisión de Gases Efecto Invernadero en toneladas de carbón equivalente.

Esto se mide en emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) que se emiten durante el ciclo de vida de un producto, comenzando desde las materias primas utilizadas hasta la disposición final de sus desechos. Esta concepción involucra no sólo a la empresa que elabora un determinado bien, sino también a toda su cadena de proveedores (Luigi, s.a.).

³ en adelante se utilizará GEI en vez de Gases de Efecto Invernadero.

Por lo tanto, así como cada ser humano genera una huella de carbono también los diferentes sectores de la industria generan una gran huella de carbón al medio ambiente.

2.4.3.1 Huella de carbono en la industria

¿Por qué calcular la huella de carbono en la industria?, según Martín (2013) las empresas calculan la huella de carbono para la optimización de procesos a lo largo del ciclo de vida de un producto, también buscan el apoyo a un diseño que minimice el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de un producto, ayuda también a la detección de impactos ambientales significativos, optimización de procesos a lo largo de la cadena de suministro de la cartera de productos de una organización y el dar visibilidad a las organizaciones que calculan su comportamiento ambiental, o a las organizaciones que mejoran con el tiempo su comportamiento ambiental.

A su vez existen varias metodologías para el cálculo de la Huella de Carbono en las empresas, organizaciones, productos y servicios estos métodos utilizan obtenciones de datos muy similares como son el ciclo de vida del producto pero que difieren en cuanto al enfoque y al alcance estos son:

- Protocolo de Gases Efecto Invernadero (Protocolo GEI).
- La metodología Balance de Carbono (Bilan Carbone).
- PAS 2050.
- PAS 2060.
- Normas ISO.
- Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3).
(Valderrama, Espíndola & Quezada, 2011).

CAPÍTULO 3. MARCO CONTEXTUAL RESPECTO A LA CONSTRUCCIÓN

En este capítulo podremos entender más acerca a detalle acerca de la industria de la construcción, se hablará acerca de qué es la construcción, desde cuándo se comenzó a construir, cómo ha evolucionado la construcción en México y en el mundo, cómo es que afecta el sector de la construcción al medio ambiente, cuáles son los materiales de construcción más ocupados actualmente, entre otros temas.

3.1 ANTECEDENTES

Para poder entender más el contexto del que se hablará, se comenzará por definir lo que es construcción, para eso Pérez (2011) indica que la palabra construcción viene del latín “constructio”, construcción es la acción y efecto de construir. Este verbo hace mención a edificar, fabricar o desarrollar una obra de ingeniería.

La construcción es una actividad que ha existido desde tiempos muy antiguos, prácticamente desde la edad Edad de Piedra. Durante los años 12,000 aC los primeros cazadores de esta era construyeron refugios temporales que estaban hechos de anillos de piedras y pieles de animales que tenían la función de paredes, estas últimas estaban apoyadas en diversos postes centrales (Construmática, s.a.). Construmática añade que esta antigua actividad humana se inició con la funcional necesidad de un ambiente controlado es decir poder estar preparados ante los efectos del clima. Gracias a estas construcciones los seres humanos eran capaces de adaptarse a una amplia variedad de climas y convertirse en una especie.

La construcción ha evolucionado de manera significativa ya que en un principio los refugios humanos fueron muy simples y tal vez duraban sólo unos pocos días o meses. Con el tiempo, sin embargo, incluso las estructuras temporales se convirtieron en formas muy refinadas

tales como el iglú. Poco a poco las estructuras más duraderas comenzaron a aparecer, especialmente después del advenimiento de la agricultura, cuando la gente comenzó a quedarse en el mismo sitio durante largos períodos. Es aquí donde las nuevas construcciones tomaban nuevas funciones, tales como el almacenamiento de comida y la ceremonia. Algunos comenzaron a tener las estructuras simbólicas, así como valor funcional, que marca el comienzo de la distinción entre la arquitectura y la construcción (Construmática, s.a.).

Ahora que se entiende más acerca de la historia de la construcción se pasará a analizar lo que significa el sector de la construcción en el mundo hoy en día. El sector de la construcción como lo comenta Eco ABG es muy importante en el desarrollo de un país ya que proporciona elementos de bienestar básicos en una sociedad al construir desde la infraestructura nacional como puentes, carreteras u hospitales, hasta unidades de bienestar individual como viviendas y hoteles. Para que este sector funcione requiere de insumos provenientes de otras industrias como el acero, hierro, cemento, arena, cal, madera, entre otros. Un dato interesante es que el sector de la construcción se considera como uno de los mayores empleadores industriales del mundo. Es un sector que ayuda a que economía crezca considerablemente, ya que puede decirse que por cada trabajo en la construcción se generan dos trabajos más en el mismo sector o en otras partes de la economía relacionadas con el mismo (2014).

Con base en lo anterior sabemos que el sector de la construcción beneficia a un país, pero cómo se puede saber la forma en que lo beneficia. Una manera de saberlo es mediante la participación que tiene este sector en el Producto Interno Bruto de un País. El Producto interno bruto, reducido a sus siglas P.I.B., es la principal macromagnitud existente, el cual mide el valor monetario de la producción de bienes y servicios finales de un país, durante un período de tiempo, normalmente un año (EcuRed, s.a.). En cuanto al sector de la construcción, el Sistema de

Cuentas Nacionales de México (2011) incluye el valor de las casas, edificios, estadios, construcción de obras de ingeniería, presas, pozos petroleros, al producto interno bruto. Restando el consumo de materiales de construcción y el valor de los terrenos en las que estas obras se realizaron.

A manera de ejemplo, en cuanto a la situación mundial se puede decir que la participación de la construcción dentro del producto Interno Bruto en el 2015 ha llegado a niveles cercanos a 7% en los países en desarrollo, como es el caso de Colombia y Uruguay. En los países industrializados se han alcanzado valores de 10%, como ocurre con Japón. Canadá alcanzó el 9% hasta el 2° trimestre del 2015, en tanto Estados Unidos alcanzó el porcentaje de 11% en el 2° trimestre de 1977. Como se puede observar, la Industria de la construcción es, en todos los países, un indicador del desarrollo económico y la prueba evidente de su evolución. Es muy importante recalcar que la capacidad de construir representa tanto realizar lo nuevo, como reutilizar el potencial de lo ya construido.

Por otro lado también podemos ver como el P.I.B. nos puede indicar que cierto país no progresó en determinado sector, tal es el caso de México, que según De la Rosa (2018) obtuvo una baja de 1% en el P.I.B. la construcción con respecto al año previo (2016), con lo que rompió su ritmo de crecimiento de tres periodos consecutivos. Menciona también que lo que influyó en que existiera esta baja fue la drástica reducción de los recursos públicos destinados a inversión física en el 2017 con relación al 2016, el repunte de los precios en los materiales de la construcción y el aumento de la tasa de interés e inestabilidad en el mercado cambiario.

3.2 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO

Según Oxford Business Group (2017) la industria de la construcción en México es la cuarta actividad de mayor valor agregado en el país y esta constituye el 8% del P.I.B.. Comenta que la población mexicana continúa impulsando la demanda de viviendas, tiendas, fábricas y oficinas. Se espera que la financiación del sector privado se haga cargo del sector público y se convierta en el motor clave del crecimiento. Agrega también que las ganancias en Cemex se han incrementado gracias a proyectos como el nuevo aeropuerto de Ciudad de México que es el más grande de su tipo en Latinoamérica. Por su parte Andrade añade que las estimaciones para el 2018 apuntan a un crecimiento moderado de 1.1% y, de acuerdo con la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, se espera que el sector tenga un crecimiento de 2.0% en los próximos tres años. Y de acuerdo en la Federación Internacional de la Industria de la Construcción, el segmento de la construcción aportó 6.5% del P.I.B. mundial. (2018).

En México se cuenta con diferentes planes de desarrollo que ayudan a este sector en el largo plazo. Un ejemplo de ello es el Plan Nacional de Desarrollo, el cual es determinado por el presidente de la República, este incluye cinco metas. Una de estas estrategias promueve el desarrollo urbano sustentable e inteligente para procurar la vivienda digna de los mexicanos, este modelo incluye fomentar ciudades más competitivas, prosperas, seguras y sustentables (Andrade, 2018).

Todo esto sin olvidar el plan de reconstrucción que ayude a los damnificados por el reciente terremoto de magnitud 7.1, el cual sucedió el 19 de septiembre del 2017, con epicentro en Morelos(Ibarra, 2017). En dicho terremoto se vieron afectados estados como: Chiapas, Puebla, Oaxaca, Tlaxcala, Morelos y la Ciudad de México. Pero “este programa de reconstrucción y rehabilitación será mucho más rápida y eficiente si se juntaran esfuerzos del

gobierno, el sector privado y social”, menciona el secretario de Hacienda y Crédito Público, José Antonio Meade (El Universal, 2017).

3.3 CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.

Para entender un poco más acerca de la importancia de la huella de carbono en las industrias Martín, 2013 comparte el siguiente ejemplo y su posible solución a este problema. En el sector alimentario existe un gran número de vehículos que transportan sus productos diariamente y el mal uso de estos medios de transporte hace que estos generen una gran cantidad de CO₂, una solución a este problema podría ser la optimización de las distintas rutas que realizan para la entrega de su producto para así emitir una menor cantidad de CO₂.

Por otra parte podemos observar el sector de la Construcción, el cual es responsable de consumir el 50% de los recursos naturales, el 40% de la energía y del 50% del total de los residuos generados (Arquitecturamexico, 2011).

La industria de la construcción genera daños al medio ambiente de distintas maneras. Una de ellas es la deforestación ya que como lo comenta Arquitecturmexico los constructores dinamitan las montañas para extraer el hierro y hacer varillas, consumen cerros para obtener sílice, hierro y oxido de aluminio para producir cemento y cal. También toman la tierra para hacer tabiques y deforestan los bosques para ocuparlos como cimbra, para hacer casas o muebles. Estadísticamente el 50% de los materiales que utilizamos en la construcción provienen de la corteza terrestre como el tezontle, grava, tepetate, y muchos otros (2011).

Menciona también que el consumo de energía es otro de los factores que la construcción ha afectado, un ejemplo claro es la cantidad de energía que se requiere para calentar hornos

industriales que alcanzan los 1700°C para producir cemento, acero, cal, tabiques, vidrio, aluminio, etc. sumado a la cantidad de energía necesaria para construir, a la que se consume en edificios, más la energía que se requiere para transportar los materiales de un continente a otro, en total el 40% de la energía consumida en el mundo se ocupa en la industria de la construcción.(Arquitectura México, 2011)

La otra parte que se ha estado analizando en este trabajo es la emisión de contaminantes. La cual sucede durante el proceso de extracción de minerales ya que existe un gran desprendimiento de gases contaminantes. Solo por citar un ejemplo, para producir cemento, se extrae la calestra en un calcinador instantáneo y tan solo en 5 segundos libera el 95% del CO₂ presente en el polvo mediante una reacción química para separar la cal que es el elemento más importante del cemento” (Arquitecturamexico, 2011).

Como ya se ha comentado “La construcción es uno de los sectores que más influye en el cambio climático entre otras razones, porque la fabricación de cemento Portland implica una emisión considerable de CO₂, que supone el 5% del balance total de emisiones mundiales” (Domoterra, 2016).

“El cemento es el componente clave en la producción de concreto, adicionalmente es el material más usado en el mundo después del agua” (Concreto Sostenible,s.a.). Como ejemplo podemos decir que: cada año, la industria de la construcción emplea 1.6 billones de toneladas de cemento, 10 billones de toneladas de roca y arena y un billón de toneladas de agua. Cada tonelada de cemento, requiere 1.5 toneladas de roca caliza así como del consumo de combustibles fósiles, con un coste ambiental de 1 toneladas de CO₂ emitida por cada tonelada de cemento producida. Debido a este alto coste ambiental, las cementeras están ajustando los procesos de fabricación para reducir y compensar las emisiones, instalando superficies de

carbonatación en las chimeneas, o mediante algas que se alimentan de humos ricos en Dióxido de Carbono (Domoterra, s.a.).

Otro ejemplo claro es la cementera mexicana Cemex, ya que esta empresa cementera está comprometida a reducir su huella de carbono para contribuir a mejorar el medio ambiente. Prueba de ello es que en los últimos diez años, han reducido sus emisiones directas netas y brutas en un 7.8% y 4.6% respectivamente. En ese mismo periodo, han tenido una disminución de al menos 30% en cada uno de los parámetros normados por SEMARNAT para emisiones a la atmósfera (nivel 1) en hornos de cemento. Mencionan también que el co-procesamiento de residuos sustituye el uso de combustibles derivados del petróleo, lo que contribuye a mitigar la emisión de gases de efecto invernadero en la producción del cemento (Cemex, s.a).

3.4 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN A ESTUDIAR

Al igual que se mencionó acerca de la historia de la construcción los materiales también tuvieron una historia, y estos se fueron descubriendo e implementando a través del tiempo. Los primeros materiales de construcción fueron perecederos, como las hojas, ramas y pieles de animales. Más tarde, se utilizaron materiales naturales más duraderos, tales como arcilla, piedra, y madera, por último, los materiales sintéticos, tales como ladrillo, hormigón, metal y plástico (Construmática, s.a.). Cantillo por su parte hablando de una perspectiva más global menciona que en la antigua Mesopotamia se construyeron las primeras ciudades con ladrillo. En Roma se logró un adelanto impresionante con la puzolana que consiste en un polvo mezclado con agua para después convertirse en piedra. Después de un tiempo se fue incorporando el hierro en la construcción y con base con ese antecedente aparecieron materiales nuevos como el acero y el concreto armado.

Como dato extra la autora añade que el hormigón, el vidrio y el acero son los tres materiales producidos en abundancia a partir de la segunda Revolución Industrial (2015).

El ser humano es muy ambicioso y cada vez ve la forma de seguir mejorando en las actividades que realiza. Con el descubrimiento de estos materiales lo primero que buscaban era hacer edificios de mayor altura y cada vez con más espacio, esto gracias a que se crearon materiales cada vez más resistentes y sabían cómo se comportarían estos mismos ante distintos escenarios. Una vez alcanzados estos objetivos ahora lo primordial era el ambiente interior de los edificios: se buscaba que cada vez se controlara más la regulación de la temperatura del aire, la luz y los niveles de sonido, la humedad, los olores, la velocidad del aire, y otros factores que afectan a la comodidad de los humanos. Y ahora lo que busca el ser humano es que estos proyectos se realicen de una manera rápida, económica, segura y que sobre todo sea amigable con el medio ambiente (Construmática, s.a.).

En la construcción se emplean una gran variedad de materiales pero los más utilizados en México son el ladrillo, block, cemento y acero. A continuación se dará una breve explicación de cada uno de estos.

3.4.1 Ladrillo

Los ladrillos son piezas formadas por masa de barro, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción a más de 1000°C. Estos son destinados principalmente a la construcción de muros, suelos y otras estructuras debido a su bajo costo, alta resistencia y su buen comportamiento térmico y acústico, por lo que debe ser invulnerable a los efectos de la intemperie, y poseer suficiente resistencia a la compresión. Su color rojo es debido al óxido de hierro que

generalmente se encuentra en las arcillas o tierras arcillosas, material que se usa para la fabricación de ellos (Devia & Dario, 2016, p10).

3.4.2 Block de construcción

Según Materiales de construcción (2018): “El block hueco es un material hecho a base de cemento, arena y agregados, obteniendo como resultado un material de gran resistencia estructural. El block es excelente que se usa en la construcción de paredes, muros y muros de carga, es adaptable a climas tropicales o cálidos.” Al igual que el ladrillo existen numerosas dimensiones de block, su elección depende del tipo de construcción que se quiere realizar, su resistencia a la compresión y el peso del mismo.

3.4.3 Cemento

El cemento como menciona Cemex “es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el Clinker (principal ingrediente del cemento) que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento” (2017).

Es de suma importancia conocer la magnitud en la que este elemento hace un daño al medio ambiente ya que como lo menciona Hussain (2015): “La producción de cemento y acero representa más del 10% de las emisiones mundiales anuales de gases de efecto invernadero.”

De acuerdo con Cemex (2017) existen 3 tipos de cemento y son:

Mortero óptimo: Está diseñado para trabajos que no requieren elevadas resistencias y producir mezclas más manejables y de máxima adherencia.

Portland gris ordinario: Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de clinker, caliza y yeso, molidos finamente; el cemento mezclado con agua, grava y arena crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo una consistencia denominada concreto. Se pueden encontrar en resistencias: 30R, 40, 40R, 30 RS, 30RRS. El cemento ensacado se vende en presentaciones de 10, 25 y 50 kilos.

Cemento blanco: Es un cemento con las mismas características que un cemento Portland y posee la característica de ser blanco, es ideal para obras ornamentales o arquitectónicas. Así mismo se recomienda como adhesivo o estuco para hacer emboquillados y junta de azulejos, para tirol y fabricación de pintura permitiendo pigmentarse con facilidad.

3.4.4 Acero

De acuerdo a la página de internet Alacero, este material es una aleación⁴ de hierro con una cantidad de carbono que puede variar entre 0,03% y 1,075% en peso de su composición, dependiendo del grado. Es muy importante recalcar que el acero no es lo mismo que hierro. El hierro es un metal relativamente duro, con temperatura de fusión de 1535 °C y punto de ebullición 2740 °C. Existen muchos tipos de acero según el o los elementos aleantes que estén presentes. Según la página de internet cada tipo de acero permitirá diferentes aplicaciones y usos, lo que lo hace un material versátil y muy difundido en la vida moderna, donde podemos encontrarlo ampliamente. (s.a)

⁴ Aleación: “Es la mezcla sólida homogénea de dos o más metales, o de uno o más metales con algunos elementos no metálicos.” (EcuRed, s.a.)

3.5 NORMAS Y CERTIFICACIONES QUE APOYEN LA CONSTRUCCIÓN

SOSTENIBLE

3.5.1 LEED

Una de las certificaciones más conocidas es la certificación LEED por sus siglas en inglés que significan Leadership in Energy & Environmental Design. Consiste en un sistema de certificación con reconocimiento internacional para edificios sustentables creado por el Consejo de Edificación Sustentable de Estados Unidos (U.S. Green Building Council Bioconstrucción, s.a.). Entre los beneficios que proporciona esta evaluación se encuentran:

- Espacios con mejores condiciones para la salud y productividad.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Acceso a incentivos fiscales.
- Disminución en los costos de operación y residuos.
- Incremento del valor de sus activos.
- Ahorro energético y de recursos.

De acuerdo con Khanna et. al. (2015) la primera versión del sistema LEED 1.0 de LEED se lanzó en 1998, seguida de una versión 2.0 actualizada con los niveles de calificación LEED, plata, oro y platino en 2000. Hasta octubre de 2013, 19,416 proyectos habían recibido esta certificación a nivel mundial, con 17.270 de esos proyectos en los EE. UU.

Los autores añaden que la certificación LEED tiene nueve sistemas de calificación, con nueva construcción, operaciones de construcción existentes, interiores comerciales y núcleo y carcasa, que son los sistemas más comúnmente utilizados. Los otros sistemas de clasificación distinguen entre tipos de edificios comerciales específicos (por ejemplo, hoteles, escuelas,

comercio minorista, cuidado de la salud), hogares y, más recientemente, vecindarios. Esta certificación a su vez tiene cuatro niveles de certificación: certificado, plata, oro y platino.

Para obtener alguno de estos niveles mencionados se realiza sistema de sumatoria de puntos, donde se tienen que presentar prerequisites obligatorios (que no dan puntos) y créditos (opcionales) permiten alcanzar uno de los cuatro niveles de certificación posibles. Se obtiene el certificado, al obtener de 40 a 49 puntos, la certificación Plata, al alcanzar de 50 a 59 puntos, la Oro, al lograr de 60 a 79 puntos y la certificación Platino, si se obtiene 80 puntos o más (Bioconstrucción, s.a.). El edificio debe recertificarse al menos una vez cada cinco años o la certificación LEED operativa y de mantenimiento caducará. (Khanna et. al.,2015)

De acuerdo con Bioconstrucción, (s.a.), a grandes rasgos, el proceso de certificación para un proyecto sustentable, es el siguiente:

- Validación de los Requerimientos Mínimos del Programa.
- Selección Sistema LEED: elección del sistema dependiendo el tipo de edificio
- Registro del Proyecto: El registro del proyecto se realiza a través del portal LEED online
- Aplicación para Certificación
- Revisión preliminar: Retroalimentación por parte del consejo aprobatorio, donde expresarán posibles dudas sobre los créditos aplicados.
- Revisión final.
- Certificación LEED del Proyecto: En este último paso, se conoce el puntaje final y el nivel de certificación alcanzados por el proyecto.

Como ejemplo, dentro de México Sánchez (2014) señala que en México existen actualmente 115 edificios certificados bajo el sello LEED que expide el Green Building Council,

6 proyectos bajo el Living Building Challenge del International Living Future Institute y 12 proyectos bajo el Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables (PCES).

3.5.2 Living Building Challenge

El Living Building Challenge es un programa de certificación de edificios ecológicos y un marco de diseño sostenible que visualiza el ideal para el entorno construido. Sánchez menciona que esta certificación tiene un sistema de calificación riguroso en las construcciones sustentables, ya que busca que cumpla con diversos requerimientos, entre ellos, el uso de la energía cero, el tratamiento de los residuos y el agua, y un mínimo de 12 meses de operación continua(2014). La autora añade que su aplicación en México inició en 2009 y se están consolidando las bases para apoyar la formación de lo que sería el Living Future Institute de México, con el apoyo del Departamento de Arquitectura de la Universidad Iberoamericana de la Ciudad de México.

El Instituto ofrece las siguientes certificaciones. (ILFI, s.a.).

- Living building certification
- Petal certification
- Zero energy certification: Requiere proyectos para generar toda la energía en el sitio sin combustión.

Cada una de las anteriores certificaciones requiere distintos aspectos a considerar y al igual de la certificación LEED depende del tipo de edificio que se va a construir.

3.5.3 Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables (PCES)

De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente (2012) el PCES pretende establecer un estándar para calificar a los edificios tanto habitacionales como comerciales y ofrecer una serie de incentivos fiscales (como descuentos en el impuesto predial y las licencias de construcción),

financiamientos a tasas preferenciales y rapidez en la gestión de trámites. Ello resulta atractivo para los desarrolladores inmobiliarios, además de que tiene como base un compromiso con la protección del medio ambiente, la aplicación de nuevas ideas y propuestas enfocadas en mejorar el entorno y la creación de una conciencia, en todos los sectores de la población, respecto a la importancia de los procesos sustentables.

Menciona la Secretaria que el objetivo de esta certificación es promover y fomentar la reducción de emisiones contaminantes y el uso eficiente de los recursos naturales en el diseño y la operación de edificaciones, con base en criterios de sustentabilidad; lo anterior se cumple mediante la aplicación y la certificación de un proceso de regulación voluntaria y el otorgamiento de incentivos económicos. (Secretaría del Medio Ambiente, 2012)

3.5.4 ISO14000

Según Calidad y Gestión (2010) los sistemas de gestión ambiental están basados en normas de referencia. La más extendida de éstas es la norma internacional ISO 14001, que forma parte de la familia de normas ISO 14000. ISO 14001 se aplica a aquellos aspectos ambientales que la organización puede controlar y sobre los cuales se supone que tiene influencia, aunque no establece en sí criterios específicos de desempeño ambiental.

La página añade que esta Norma se aplica a cualquier organización que desee:

- Implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión ambiental
- Asegurarse de su conformidad con su política ambiental establecida
- Demostrar esta conformidad a terceros
- Solicitar la certificación/registro de su sistema de gestión ambiental por parte de una organización externa

- Realizar una autoevaluación y una auto declaración de conformidad con esta Norma.

Todos los requisitos de esta Norma están destinados a ser incorporados a cualquier sistema de Gestión ambiental, cuyo grado de aplicación dependerá de factores tales como la política ambiental de la organización, la naturaleza de sus actividades y las condiciones en las cuales ella opera.

3.5.5 NMX-AA-164-SCF1-2013 de Edificación Sustentable

Esta norma mexicana, de aplicación voluntaria a nivel nacional, especifica los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable. 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.

3.5.6 NMX-AA-SCFI-157-2012

Esta norma se basa en requisitos y especificaciones de sustentabilidad para la selección del sitio, diseño, construcción, operación y abandono del sitio de desarrollos inmobiliarios turísticos en la zona costera de la península de Yucatán. Su objetivo establecer requisitos y especificaciones de desempeño sustentable para desarrolladores y prestadores de servicios turísticos para la selección y preparación del sitio, diseño, construcción, operación y abandono del sitio de Desarrollos Inmobiliarios Turísticos que se ubiquen en la zona costera en la Península de Yucatán. La presente norma de cumplimiento voluntario constituye un marco de referencia de sustentabilidad

turística, estableciendo las bases para un esquema de certificación, según información de la Semarnat (Sánchez, 2014).

En México existen normas de edificación sustentable y estas son emitidas por la Secretaría de Energía (Sener), sin embargo se utilizan únicamente como un sistema de evaluación y no como normas obligatorias, debido a que la disposición voluntaria pretende inducir a la planeación urbana sustentable, según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Sánchez, 2014).

3.6 ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO POR METRO CUADRADO DE MURO

En esta sección se analizará la construcción de un muro con distintos tipos de materiales de un metro de largo por un metro de alto, esto con el fin de ver cuál combinación de materiales genera una menor huella de carbono al medio ambiente. Se utilizarán materiales básicos y cotidianos que se emplean en la construcción de muros, al final de esta sección también se hará un análisis breve en cuanto a lo que costaría cada material, esto con el fin de hacer un pequeño estudio de costo-beneficio. Con este ejemplo puede quedar un poco más clara la idea del análisis de ciclo de vida (LCA de aquí en adelante por sus siglas en inglés) que será mencionada en el Capítulo cuatro, ya que se hará una parte de un LCA en donde se analizará desde la obtención de los materiales hasta la construcción del muro.

| Etapa | Elementos incluidos |
|---------------------------|----------------------------------|
| Producción del edificio | Materias primas |
| | Transporte |
| | Fabricación |
| Construcción del edificio | Transporte |
| | Procesos on-site de construcción |

Tabla 3.6.1: Etapas a analizar (Aranda, 2014).

Primero que nada tenemos que conocer el procedimiento para realizar un muro de tabique, donde según Wiki How (s.a.) tenemos que hacer lo siguiente:

1. Elegir el ladrillo que se utilizará, estos pueden ser resistentes a la intemperie, resistencia intermedia a la intemperie o no resistentes a la intemperie.
2. Comprar la cantidad necesaria de ladrillos.
3. Excavar una zanja para el cimiento, esta zanja va a depender del alto del muro: por ejemplo si tenemos un muro de 60 cm la zanja tendrá que ser de 30x30 cm.
4. Clavar estacas de madera en la zanja al mismo nivel.
5. Verter el concreto en la zanja hasta la parte superior de las estacas antes colocadas.
6. Construir 2 postes indicadores a los costados del muro, esto con el fin que el muro vaya quedando nivelado.
7. Antes de poner la primer fila de ladrillos remójalos en aguay déjalos secar por completo.
8. Coloca la primer capa de mortero a lo largo de la base del cimiento y comienza a colocar los ladrillos uno por uno, presionando levemente.
9. Retira el mortero excedente a medida que avances
10. Una vez terminada la primera fila repetir desde el paso 7 con ayuda de la cuerda guía.
11. Continuar hasta alcanzar la altura deseada.

Cabe recalcar que para la construcción de este muro los principales materiales que se necesitarán son:

- Ladrillo, block, tabicón, etc.
- Cemento
- Arena
- Grava
- Agua
- Acero

Una vez entendido el proceso de elaboración de un muro podemos comenzar a realizar el análisis de huella de carbono.

El proceso metodológico que se seguirá para la realización de este estudio está compuesto de cuatro etapas, esta metodología se siguió con base al trabajo de investigación de Análisis del ciclo de vida de la vivienda de interés social en México, “Sistemas constructivo en muros”.

1. Selección de unidades de análisis
2. Trabajo de campo
3. Pruebas de laboratorio
4. Análisis de ciclo de vida de acuerdo a la norma ISO 14000

En cada uno de estos rubros fue necesaria la captación de información de diversas fuentes electrónicas y en algunas de ellas que requerían de intervención de software especializados por lo

tanto se tomaron datos de la investigación antes mencionada ya que no se contaba con dichos software o equipos de medición.

3.6.1 Selección de unidades de análisis.

Como menciona Gómez et.al. (2010): “Los materiales de construcción en la vivienda en México dependen en gran medida de los recursos naturales disponibles en cada zona en particular”. De acuerdo a datos del INEGI las piezas más empleadas en las casas de interés social en el estado de Puebla son el tabique artesanal recocido y el “block” de tepexil hueco (Barona & Sánchez, 2005, p.8). A manera de enriquecer esta investigación se añadirá un tercer material el cual recibe el nombre de tabique solido de cemento. Se hará la comparativa en cuanto a la construcción de un muro con ayuda de estos materiales.

Estos materiales se eligieron para este tipo de edificaciones ya que su diseño y especificaciones constructivas son generalmente son comunes para todo el país, además de que son materiales de bajo costo, fáciles de adquirir, su construcción no requiere de mano de obra especializada y su sistema constructivo es de pronta ejecución.

En específico las casas de interés social con las que se tomará referencia serán las de INFOAVIT Margarita Figura 3.6.1.1 en donde se ha caracterizado por albergar desarrollos habitacionales para población de escasos recursos.



Imagen 3.6.1.1: Imagen satelital de unidad habitacional INFONAVIT Margarita. (Google maps)

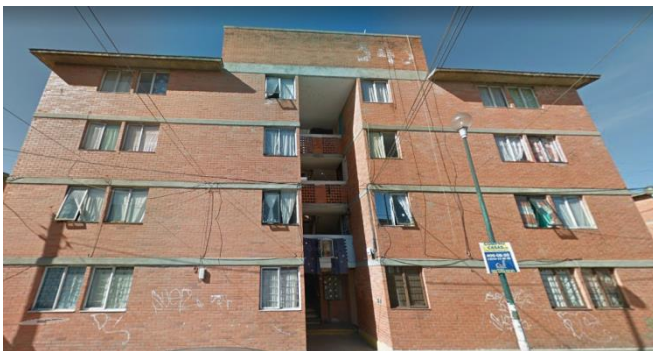


Imagen 3.6.1.2: Imágenes del tipo de casas que se pueden encontrar en esta unidad habitacional (Google maps).

El plano arquitectónico de dichas casas no es el mostrado en la figura 3.6.1.3, pero se aproxima bastante a las dimensiones que se requiere estudiar. Los cálculos que se harán serán con base a este plano.

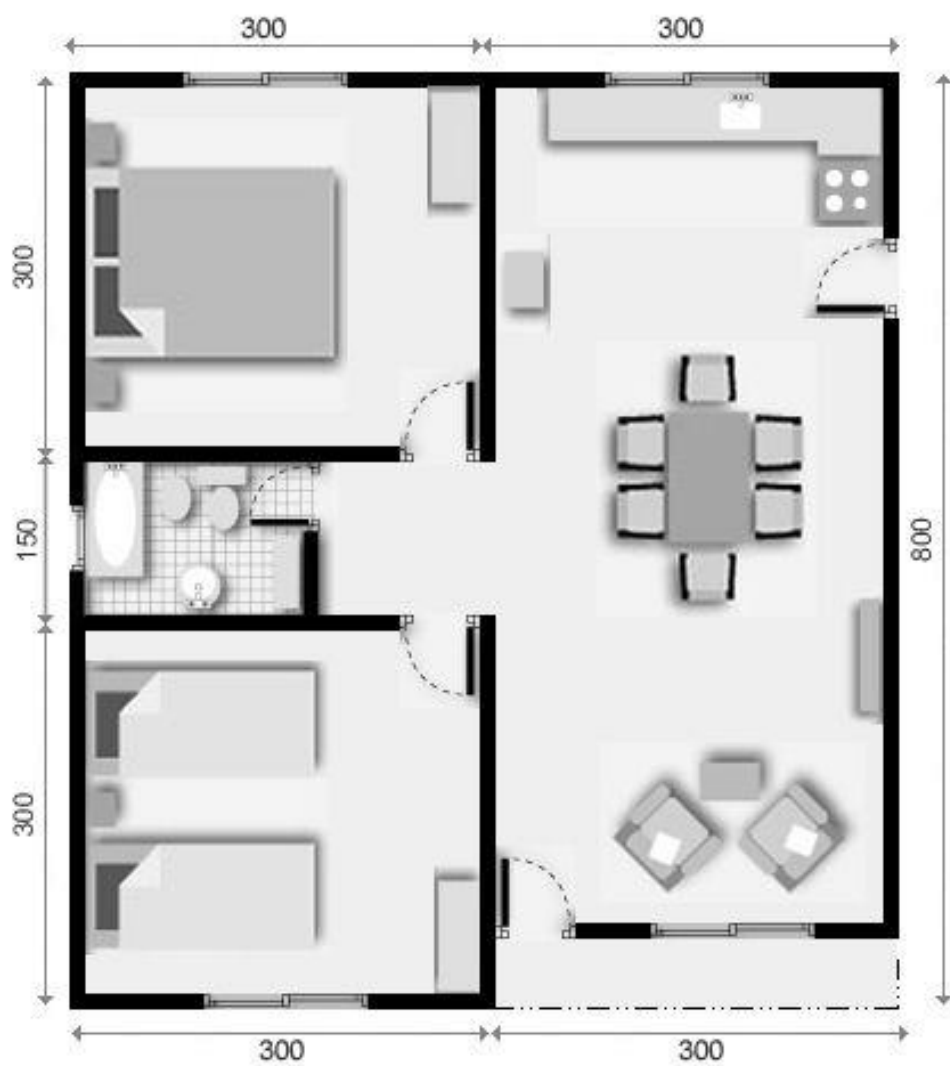


Imagen 3.6.1.3: Plano arquitectónico aproximado de las casas de interés social en esta unidad habitacional (Pinterest, s.a.).

3.6.2 Trabajo de campo.

Para poder facilitar el análisis en este apartado se tomarán en cuenta datos relacionado con otras investigaciones como: el proceso de producción, etapas, maquinaria y el tipo de energía utilizado en cada una de ellas. Para obtener mayor exactitud en las mediciones los investigadores registraron la marca, modelo de la maquina, su capacidad (carga o transporte), y la eficiencia energética de operación expresada en unidades de potencia o trabajo (Hp, Kwh, Ton/Km, etc.). También determinaron el tipo de energía empleado (Gasolina, diesel, etc) así como su origen. Se tomó nota también de los distintos medios de transporte, su capacidad de carga y las distancias recorridas. Estas últimas si variaran ya que en mi caso las distancias de los bancos de materiales a las unidades habitacionales cambian.

3.6.3 Pruebas de laboratorio

En Puebla la producción del Ladrillo de Barro Cocido (LBC) es artesanal, por lo que la información referente a los consumos energéticos que se producen por la combustión de biomasa durante su cocción es insuficiente (Gómez et. al. 2010). Menciona también que entre las maderas más utilizadas para la cocción del ladrillo se encuentran: ficus, guásima, higuera y guamúchil. Se tomarán en cuenta los resultados de la investigación “Análisis de ciclo de vida de la vivienda de interés social en México” sobre las distintas pruebas de laboratorio realizadas en estas maderas.

3.6.4 Análisis

Para tener una idea más exacta acerca de los materiales con los que se estará trabajando hacemos referencia a las siguientes tablas.

| Tipos | Subtipos | Grados de calidad |
|----------------------|----------|-------------------|
| Bloques de Cemento | Sólidos | A-B-C |
| | Huecos | A-B |
| Tabiques y Tabicones | Sólidos | A-B-C |
| | Huecos | A-B |

Tabla 3.6.4.1: Tabla de bloques y tabicones (Berona & Sánchez, 2005interest, s.a.).

En la Tabla 3.6.4.1 se pueden ver las distintas categorías de bloques y tabiques que se pueden encontrar en el mercado con sus respectivos grados de calidad.

| Grado de Calidad | Usos |
|------------------|--|
| A | Aptos para muros interiores y exteriores, de carga o de relleno. Su baja absorción permite su uso sin recubrimiento. |
| B | Aptos para muros interiores y exteriores, de carga o de relleno. En muros exteriores deben protegerse de la intemperie mediante recubrimiento o sellador impermeable. |
| C | Aptos para muros interiores de relleno. Por su alto porcentaje de absorción, no es recomendable su uso en exteriores por medio de un recubrimiento o sellador impermeable. |

Tabla 3.6.4.2: Tabla de grado de calidad (Berona & Sánchez, 2005interest, s.a.).

La Tabla 3.6.4.2 describe los grados de calidad que pueden tener los bloques o tabiques.

| Características | Bloques de cemento | | | | | Tabiques y tabicones | | | | |
|---|--------------------|----|----|--------|----|----------------------|----|----|--------|----|
| | Sólidos | | | Huecos | | Sólidos | | | Huecos | |
| | Grados de calidad | | | | | Grados de calidad | | | | |
| Resistencia a la Compresión (Mpa, mínima) | A | B | C | A | B | A | B | C | A | B |
| Absorción de agua (% , máxima) | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 | 14 | 6 | 6 | 8 | 6 |
| | 17 | 20 | 23 | 17 | 20 | 17 | 20 | 23 | 17 | 20 |

Tabla 3.6.4.3: Tabla de características (Berona & Sánchez, 2005interest, s.a.).

La Tabla 3.6.4.3 muestra las distintas resistencias a la compresión de los distintos bloques y tabiques.

Para analizar los muros se tomó como referencia las fases del ciclo de vida del proyecto “Análisis de ciclo de vida de la vivienda de interés social en México” (2010).

Fases del ciclo de vida a analizar:

1. Extracción de la materia prima principal con que se fabrican los componentes base.
2. Transporte de la materia prima extraída hasta el sitio de producción.
3. Producción del componente base.
4. Transporte del sitio de producción hasta el sitio de la obra.
5. Construcción de los muros de la vivienda.

3.6.4.1 Muro de tabicón sólido de cemento (TSC)

Al igual que el ladrillo de barro recocido, el tabicón está disponible en varias dimensiones pero las dimensiones que se ocupará en esta investigación son: 10x14x28 cm, con un peso de 5.12 kg por pieza y un precio de \$4200 por millar.

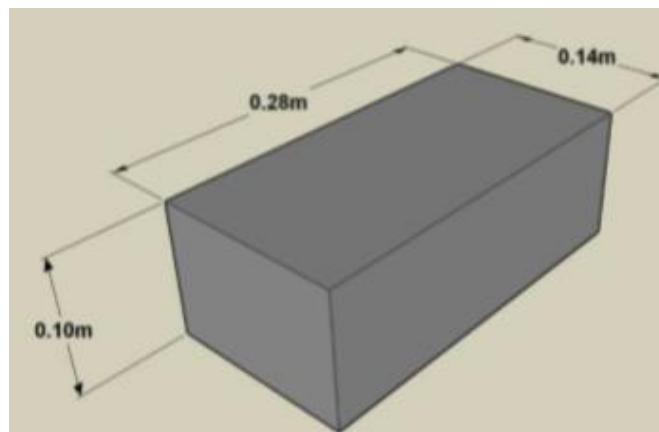


Imagen 3.6.4.4: Imagen con dimensiones de tabicón sólido de cemento. (Gómez et. al., 2010)

Etapa 1: Fabricación y transporte del material.

El proceso de este material consta de seis operaciones básicas:

1. Mezclado de materias primas mediante una revolvedora.
2. Transporte de la mezcla hacia la vibro-compactadora por una banda transportadora.
3. Compactación de la mezcla en los moldes, mediante una vibro-compactadora.
4. Extracción y traslado manual de las piezas compactadas al área de secado.
5. Secado de las piezas mediante energía solar.
6. Estiba manual en el camión de transporte al sitio de construcción.

Las proporciones para la elaboración por pieza de TSC por cada saco de cemento son de 0.15 m³ de arena y 0.60 m³ de jal⁵, teniendo como resultado una producción de 150 piezas.

Ahora bien, se requieren 32 piezas para construir un metro cuadrado de muro, lo que da como resultado un consumo de 10.67 kg de cemento, 0.0320 m³ de arena y 0.1280 m³ de jal.

Por otro lado se utilizó una revolvedora de 15 HP que mezcla los materiales durante aproximadamente 30 segundos a fin de generar un volumen suficiente para forjar 15 piezas. La mezcla se lleva durante 20 segundos aproximadamente a la vibro-compactadora mediante una banda transportadora de 5 HP. La vibro-compactadora de 6 HP tarda a su vez 13 segundos en compactar la mezcla en el molde de 15 piezas. En total el proceso dura alrededor de 63 segundos, haciendo un consumo eléctrico de 0.1301 Kwh para 15 piezas y 0.2776 Kwh para las 32 piezas que integran un m² de muro, unidad funcional determinada para este estudio.

⁵ De acuerdo con Cladimaco (2016) la Jal también llamada piedra pomez o tepojal: Es un tipo de piedra volcánica extrudida. Conforme las burbujas de gases se escapan de la lava, este material se vuelve espeso, cuando ésta se enfría se endurece, el resultado es un material de una roca muy ligera rellena de pequeñas burbujas de gas.

| Maquina | Cantidad de motores | Potencia por motor | Potencia Total | Consumo eléctrico | Tiempo por saco cemento | Consumo eléctrico por saco cemento | Consumo eléctrico por m ² |
|----------------------|---------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Unidades | | HP | HP | Kwh | s | Kwh | Kwh |
| Revolvedora | 1 | 15 | 15 | 11.19 | 30 | 0.0933 | 0.1989 |
| Banda transportadora | 1 | 5 | 5 | 3.73 | 20 | 0.0207 | 0.0442 |
| Vibro-compactadora | 2 | 3 | 6 | 4.476 | 13 | 0.0162 | 0.0345 |
| Total | 4 | 23 | 26 | 19.396 | 63 | 0.1301 | 0.2776 |

Consumo eléctrico (0.746 Kwh/HP)

Tabla 3.6.4.5: Resumen del consumo energético para la fabricación del TSC. (Gómez et. al., 2010)

En la Tabla 3.6.4.5 se muestra el resumen del consumo energético para la fabricación de TSC.

Como paso final se dejan secar las piezas al sol y posteriormente se colocan en el camión para su distribución. Considerando que cada pieza pesa 5.12 kg, el peso de las 32 piezas que forman un m² es de 0.1638 ton, multiplicado por la distancia de la bloquera ubicada en San Pedro Cholula al centro de Puebla, estimado en aproximadamente 14.4 km, arroja como resultado un trabajo efectivo de 2.3593 ton-Km, equivalente a un consumo energético de 1.9259 Mj por efecto del transporte de las piezas terminadas al lugar de construcción. Se consideró un factor de conversión: 1 Mj = 1.225 TonKm. En la Figura 3.6.4.6 podemos observar un resumen de los datos obtenidos

| Entradas conocidas desde la tacnósfera (materiales/combustibles, electricidad/calor) | Cantidad | Unidad |
|---|-----------------|----------------|
| Cemento | 10.67 | kg |
| Arena | 0.032 | m ³ |
| Jal | 0.128 | m ³ |
| Trabajo efectivo de transporte a lugar de construcción | 2.3593 | TonKm |
| Energía eléctrica (mezcla producida en México) | 0.2776 | KwH |

Figura 3.6.4.6: Resumen de los datos obtenidos (Elaboración propia).

Etapa 2: Construcción

Como componentes adicionales se utilizará el mortero para el pegado de piezas y elementos verticales de refuerzo estructural compuestos de concreto y acero.

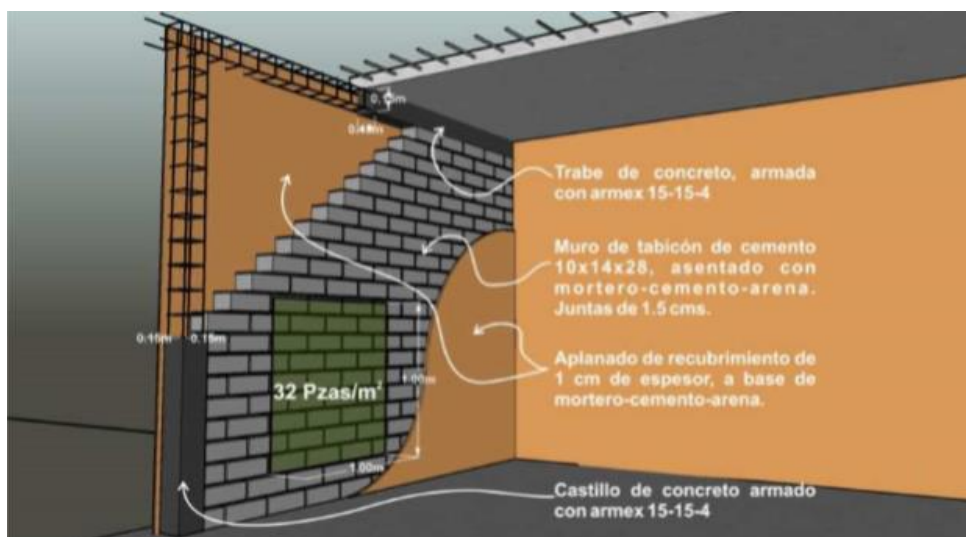


Imagen 3.6.4.7: Representación de muro de TSC (Gómez, 2010)

De acuerdo con Gómez et. al. (2010). Para elaborar mortero de adherencia con un saco de cemento de 50 kg se requieren 0.114 m³ de arena y 0.38 m³ de agua, con este volumen se pueden

pegar 239 piezas de TSC (0.1877 m^3). Haciendo la proporción, un m^2 de muro que implica 32 pzas (0.0255 m^3), requiere 0.0052 m^3 de agua, 0.0155 m^3 de arena y 6.7 kg de cemento.

Tabla de proporción

| Cantidad de piezas | Arena | Agua | Cemento |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
| pzas | m^3 | m^3 | kg |
| 239 | 0.114 | 0.38 | 50 |
| 32 | 0.0153 | 0.0509 | 6.6946 |

Tabla 3.6.4.8: Tabla de proporción (Elaboración propia)

Los refuerzos estructurales verticales son columnas de concreto reforzadas con castillos de Acero Armex 15-15-4. Este tipo de castillos generalmente se colocan a cada 3 ó 4 m de distancia, así como en esquinas, cruces de muros o donde indique el cálculo estructural. Por lo tanto el cálculo depende del diseño de la vivienda. Una vez conociendo el tipo de vivienda y conocidos la cantidad de columnas y muros que debe incluir, podemos calcular el volumen de castillos proporcional a un m^2 de muro. Tomando en cuenta las medidas de la casa antes mostrada tenemos como resultado 40.5 ml de construcción lo que al multiplicarlo por la altura que es de 2.7 m se obtiene un resultado de 109.35 m^2 en los que se localizan 20 columnas de refuerzo. Proporcionalmente se tienen 0.2 piezas de castillo por m^2 ($20/109.35$)

En base a Gómez et. al. (2010). Una pieza de Armex 15-15-4 tiene una longitud de 6.5 m y un peso de 7.93 kg. Una pieza de castillo para la vivienda que se está estudiando tiene una altura de 2.7 m y por lo tanto un peso de 3.37kg. Proporcionalmente un m^2 de muro de TSC requiere 0.54 m de castillo de acero equivalente a 0.674 kg.

Tabla de proporción

| <u>Longitud armex</u> | <u>Peso</u> | <u>Proporcion por m²</u> |
|-----------------------|-------------|-------------------------------------|
| m | kg | |
| 6.35 | 7.93 | 0.54 m de armex |
| 2.7 | 3.3718 | 0.674 kg |

Tabla 3.6.4.9: Tabla de proporción (Elaboración propia)

Por otra parte la sección de una columna es de 15x15 cm con una altura de 2.7 m por lo que su volumen es de 0.0608 m³ de concreto y el volumen proporcional para un m² de muro es de 0.01216 m³. Con un saco de cemento de 50 kg se pueden elaborar 0.3397 m³ de concreto F'c=100kg/cm², requiriendo una mezcla de 0.152 m³ de arena, 0.114 m³ de grava y 0.038 m³ de agua. Por lo tanto, para producir 0.01216 m³ de concreto se requieren 0.0054 m³ de arena, 0.0041 m³ de grava, 1.79 kg de cemento y 0.0014 m³ de agua. En la tabla siguiente se expresa de una manera más clara la información antes mencionada.

Tabla de proporción

| <u>Cantidad de concreto</u> | <u>Arena</u> | <u>Grava</u> | <u>Agua</u> | <u>Cemento</u> |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| m³ | m³ | m³ | m³ | kg |
| 0.3397 | 0.152 | 0.114 | 0.038 | 50 |
| 0.01216 | 0.0054 | 0.0041 | 0.0014 | 1.7898 |

Tabla 3.6.4.10: Tabla de proporción (Elaboración propia)

Para la elaboración de mortero se utiliza una revolvedora a base de gasolina, que tiene un rendimiento aproximado de 1 Lt/hr. La revolvedora debe funcionar alrededor de cuatro minutos para una mezcla proporcional a 50 kg de cemento, lo cual produce 0.1877 m³ de mortero. Proporcionalmente, para los 0.0255 m³ que se requieren para un m² de muro, el equipo debe

funcionar 0.544 minutos o 0.0091 horas. Considerando que la gasolina equivale a 34.8 Mj/Lt y 1 Mj = 947.82 BTU, se tiene como resultado que el consumo energético por la revolvedora para mezclar mortero suficiente para un m² de muro de TSC es de 299.16 BTU (0.3156 Mj).

Para la elaboración del concreto se emplea igualmente la revolvedora. Para esta función el equipo funciona a partir de un saco de cemento de 50 kg durante 4 minutos para mezclar 0.3397 m³. Proporcionalmente para los 0.01216 m³ que demanda un m² de muro, la revolvedora debe funcionar 0.1432 minutos o 0.0024 horas. Con el mismo rendimiento Mj/Lt del párrafo anterior, tenemos como resultado que el consumo energético por la revolvedora para mezclar concreto suficiente para refuerzos estructurales proporcionales a un m² de muro de TSC es de 79.16 BTU (0.08352Mj).

| Tabla de proporción | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| m³ a mezclar | Tiempo | Tiempo |
| m³ | min | horas |
| 0.3397 | 4 | |
| 0.01216 | 0.1432 | 0.0024 |

Tabla 3.6.4.11: Tabla de proporción (Elaboración propia)

Si se contabiliza el transporte de los materiales (cemento, arena y grava) para la producción del mortero y del concreto, para las columnas se obtiene lo siguiente:

Consideramos que la arena pesa 1600 kg/m³ para los 0.0204 m³ que se requieren de arena para un m² tenemos un peso de .03264 ton, multiplicado por la distancia del banco de material ubicado en San Francisco Totimehuacan, Puebla estimado en aproximadamente 7 km

arroja como resultado un trabajo efectivo de 0.228 Ton-Km, equivalente a un consumo energético de 0.1865 Mj por efecto del transporte de arena al lugar de construcción para producir el concreto.

Por otra parte si en un m² necesitamos 8.57 kg de cemento que es igual a 0.00857ton, multiplicado por la distancia del banco de material ubicado en San Francisco Totimehuacan, Puebla estimado en aproximadamente 7 km arroja como resultado un trabajo efectivo de 0.06 Ton-Km, equivalente a un consumo energético de 0.0489 Mj por efecto del transporte de cemento al lugar de construcción para producir el concreto.

Ahora bien si en un m² necesitamos 0.0041 m³ de grava y que esta pesa 1450 kg/m³, tenemos un peso de 0.006 ton, multiplicado por la distancia del banco de material ubicado en San Francisco Totimehuacan, Puebla estimado en aproximadamente 7 km arroja como resultado un trabajo efectivo de 0.042Ton-Km, equivalente a un consumo energético de 0.0343 Mj por efecto del transporte de cemento al lugar de construcción para producir el concreto.

El resumen de los materiales ocupados en la producción de un m² de muro de TSC se encuentra en la Figura 3.6.4.12

| Huella de carbono (en ton de CO₂) debido a la producción y transporte de TSC | | | | | |
|--|-----------------|----------------|--|------------------|---------------------------------------|
| Materiales | Cantidad | Unidad | Conversión | Resultado | Unidad |
| Cemento | 10.67 | kg | 610 kg de CO ₂ por Ton | 0.00651 | Ton de CO ₂ |
| Arena | 0.032 | m ³ | --- | --- | --- |
| Jal | 0.128 | m ³ | --- | --- | --- |
| Mezcla de materiales | | | | | |
| Revolvedora | 0.2779 | Kwh | 1 Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.0001289 | Ton de CO ₂ |
| Transporte de material | | | | | |
| Transporte de tabique a obra | 1.9259 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.0002481 | Ton de CO ₂ |
| | | | | Suma | 0.006887 Ton de CO₂ |

Huella de carbono (en ton de CO2) debido a la construcción de un m2 TSC

| Mortero | | | | | |
|-------------------------------|------------------|---------------|--|-----------------------|-------------------|
| Materiales | Cantidad | Unidad | Conversión | Resultado | Unidad |
| Cemento | 6.78 | kg | 610 kg de CO2 por Ton | 0.0041 | Ton de CO2 |
| Arena | 0.0155 | m3 | --- | --- | --- |
| Mezcla de materiales | | | | | |
| Revolvedora | 0.3156 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO2 | 0.00004 | Ton de CO2 |
| Transporte de material | | | | | |
| Arena | 0.1865 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO2 | 0.000024 | Ton de CO2 |
| Cemento | 0.0489 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO2 | 0.0000063 | Ton de CO2 |
| Grava | 0.0343 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO2 | 0.0000044 | Ton de CO2 |
| Concreto | | | | | |
| Materiales | Cantidad | Unidad | Conversion | Resultado | |
| Cemento | 1.78 | kg | 610 kg de CO2 por Ton | 0.001 | Ton de CO2 |
| Arena | 0.0054 | m3 | --- | --- | --- |
| Grava | 0.0041 | m3 | --- | --- | --- |
| Acero | 0.67 | kg | 1680 kg de CO2 por Ton | 0.00113 | Ton de CO2 |
| Mezcla de materiales | | | | | |
| Revolvedora | 0.0835 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO2 | 0.00001 | Ton de CO2 |
| Total= | 0.0132417 | | Ton de CO2 | Suma 0.0063547 | Ton de CO2 |

Tabla 3.6.4.12: Resumen (Elaboración propia)

3.6.4.2 Muro de ladrillo de barro recocido (LBR)

Para este caso se realizará un muro de 15 cm de espesor a base de ladrillo de barro recocido. Existe una gran cantidad de dimensiones de este tipo de ladrillo, pero en este caso se tomará uno de los más utilizados en México con dimensiones 5x14x28, con un peso de 2.837 kg, con un precio aproximado de \$2800 el millar

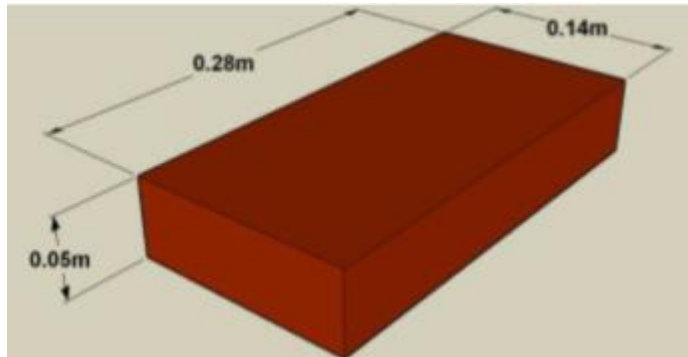


Imagen 3.6.4.13: Imagen con dimensiones de ladrillo rojo recocido (Gómez et. al, 2010)

Para completar la construcción de este muro requerimos también mortero de cemento-arena para poder unir las piezas, y un aplanado en ambas caras de mortero cemento-arena y estructura de refuerzo a base de dalas y columnas de dimensiones 15x15cm de concreto con refuerzo de acero.

Etapas 1: Fabricación y transporte del material

Para producir este tipo de material no es necesario un consumo energético de ningún tipo de maquinaria, solo es necesario extraer la materia prima para su elaboración que en este caso es la tierra (arcilla), y agua. De acuerdo con Gómez (2010) la tierra por lo general se extrae del mismo predio de la ladrillera y el agua es extraída de pozos, por lo que no existe un consumo energético por efecto de transporte de materia prima.

El autor añade que el proceso de producción del ladrillo consta de 8 operaciones básicas:

1. Extracción a pico y pala de la arcilla existente en el mismo predio.
2. Elaboración de la mezcla de tierra y agua, hecha también manualmente, con pala y con los pies del trabajador.
3. Colocación de la mezcla en moldes de aluminio o madera.
4. Secado de las piezas moldeadas por los efectos de la energía solar durante tres días.
5. Colocación de las piezas en un horno construido con LBC y recubierto con barro.
6. Cocción de las piezas en el horno mediante la combustión de biomasa durante 20 a 24 horas.
7. Enfriado de las piezas por efecto del viento.
8. Estiba de las piezas terminadas en un camión de 7 m³ de capacidad para su transporte a obra.

Para la cocción de los ladrillos se usan generalmente cuatro tipos de madera: ficus, guamúchil, guásima e higuera, cuyo volumen comprende el 40% de la biomasa requerida, y la ya mencionada estopa de coco que comprende el 60% de la mezcla de combustible. El aporte por la

combustión de la estopa de coco se desprecia, pero la de la leña no, quedando entonces un trabajo de 98.273 Mj por m² de muro de LBC.

El consumo energético por efecto de transporte de las piezas elaboradas hasta el sitio de construcción, está en función del peso de 52 piezas que conforman 1 m², esto es 147.7 kg (2.84 kg x 52 piezas), por la distancia de la ladrillera ubicada en San Pedro Cholula al centro de Puebla que es de 14.4 km aproximadamente, arroja como resultado un trabajo efectivo de 2.12 tonKm y un consumo energético de 1.736 Mj. La Figura 3.6.4.14 resume lo antes mencionado.

| Inventario de entradas por fabricación de un m² de LBC | | |
|--|----------|--------|
| Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles, electricidad/calor) | Cantidad | Unidad |
| Combustion de biomasa | 98.27 | Mj |
| Trabajo efectivo de transporte a lugar de construcción | 1.736 | Mj |

Tabla 3.6.4.14: Resumen (Elaboración propia)

Etapa 2: Construcción

Para la construcción del muro de LBC se consideraron como componentes secundarios solamente el mortero para pegado de piezas y los elementos verticales de refuerzo estructural hechos de concreto y acero.

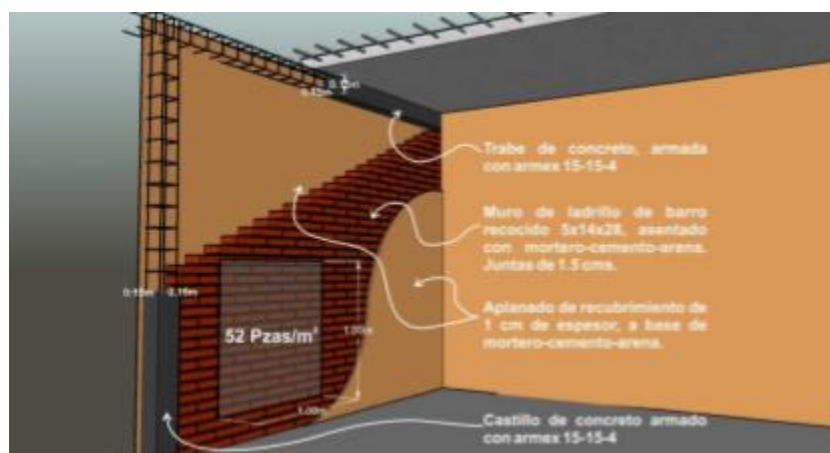


Imagen 3.6.4.15: Imagen con dimensiones de ladrillo rojo recocido (Gómez et. al, 2010)

Para elaborar el mortero de adherencia con un saco de 50 kg se requieren 0.1140 m³ de arena y 0.38 m³ de agua, volumen que alcanza para pegar 271 piezas de LBC (0.1877m³). Proporcionalmente, un m² de muro que implica 52 piezas (0.036 m²), requiere 9.59 kg de cemento, 0.0219 m³ de arena y 0.0073 m³ de agua.

Tabla de proporción

| Cantidad de piezas | Arena | Agua | Cemento |
|--------------------|----------------|----------------|---------|
| pzas | m ³ | m ³ | kg |
| 271 | 0.114 | 0.38 | 50 |
| 52 | 0.0219 | 0.0729 | 9.5941 |

Tabla 3.6.4.16: Tabla de proporción (Elaboración propia)

Los refuerzos estructurales verticales se consideran como en el trabajo ya antes mencionado, en donde encontramos columnas de concreto reforzadas con castillos de acero

Armex 15-15-4. Este tipo de castillos generalmente se colocan a cada 3 ó 4 m de distancia, así como en esquinas, cruces de muros o donde indique el cálculo estructural. Por lo tanto el cálculo depende del diseño de la vivienda. Una vez conociendo el tipo de vivienda y conocidos la cantidad de columnas y muros que debe incluir, podemos calcular el volumen de castillos proporcional a un m² de muro. Tomando en cuenta las medidas de la casa antes mostrada tenemos como resultado 40.5 ml de construcción lo que al multiplicarlo por la altura que es de 2.7 m se obtiene un resultado de 109.35 m² en los que se localizan 20 columnas de refuerzo. Proporcionalmente se tienen 0.2 piezas de castillo por m² (20/109.35).

En base a Gómez et. al. (2010). Una pieza de Armex 15-15-4 tiene una longitud de 6.5 m y un peso de 7.93 kg. Una pieza de castillo para la vivienda que se está estudiando tiene una altura de 2.7 m y por lo tanto un peso de 3.37kg. Proporcionalmente un m² de muro de TSC requiere 0.54 m de castillo de acero equivalente a 0.674 kg.

| Tabla de proporción | | |
|----------------------------|-------------|-------------------------------------|
| Longitud armex | Peso | Proporcion por m² |
| m | kg | |
| 6.35 | 7.93 | 0.54 m de armex |
| 2.7 | 3.3718 | 0.674 kg |

Tabla 3.6.4.17: Tabla de proporción (Elaboración propia)

Por otra parte la sección de una columna es de 15x15 cm con una altura de 2.7 m por lo que su volumen es de 0.0608 m³ de concreto y el volumen proporcional para un m² de muro es de 0.01216 m³. Con un saco de cemento de 50 kg se pueden elaborar 0.3397 m³ de concreto F'c=100kg/cm², requiriendo una mezcla de 0.152 m³ de arena, 0.114 m³ de grava y 0.038 m³

de agua. Por lo tanto, para producir 0.01216 m³ de concreto se requieren 0.0054 m³ de arena, 0.0041 m³ de grava, 1.79 kg de cemento y 0.0014 m³ de agua. En Figura 3.6.4.18 siguiente se expresa de una manera más clara la información antes mencionada.

| Cantidad de concreto | Arena | Grava | Agua | Cemento |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| m³ | m³ | m³ | m³ | kg |
| 0.3397 | 0.152 | 0.114 | 0.038 | 50 |
| 0.01216 | 0.0054 | 0.0041 | 0.0014 | 1.7898 |

Tabla 3.6.4.18: Tabla de proporción (Elaboración propia)

Para la elaboración de mortero se utiliza una revolvedora a base de gasolina, que tiene un rendimiento aproximado de 1 Lt/hr. La revolvedora debe funcionar alrededor de cuatro minutos para una mezcla proporcional a 50 kg de cemento, lo cual produce 0.1877 m³ de mortero. Proporcionalmente, para los 0.036 m³ que se requieren para un m² de muro, el equipo debe funcionar 0.768 minutos o 0.0128 horas. Considerando que la gasolina equivale a 34.8 Mj/Lt y 1 Mj = 947.82 BTU, se tiene como resultado que el consumo energético por la revolvedora para mezclar mortero suficiente para un m² de muro de TSC es de 422.16 BTU (0.4454 Mj).

Para la elaboración del concreto se emplea igualmente la revolvedora. Para esta función el equipo funciona a partir de un saco de cemento de 50 kg durante 4 minutos para mezclar 0.3397 m³. Proporcionalmente para los 0.01216 m³ que demanda un m² de muro, la revolvedora debe funcionar 0.1432 minutos o 0.0024 horas. Con el mismo rendimiento Mj/Lt del párrafo anterior, tenemos como resultado que el consumo energético por la revolvedora para mezclar

concreto suficiente para refuerzos estructurales proporcionales a un m² de muro de TSC es de 79.16 BTU (0.08352Mj).

| Tabla de proporción | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| m³ a mezclar | Tiempo | Tiempo |
| m3 | min | horas |
| 0.3397 | 4 | |
| 0.01216 | 0.1432 | 0.0024 |

Tabla 3.6.4.19: Tabla de proporción (Elaboración propia)

Si se contabiliza el transporte de los materiales (cemento, arena y grava) para la producción del mortero y del concreto, para las columnas se obtiene lo siguiente:

Consideramos que la arena pesa 1600 kg/m³ para los 0.027 m³ que se requieren de arena para un m² tenemos un peso de .0437 ton, multiplicado por la distancia del banco de material ubicado en San Francisco Totimehuacan, Puebla estimado en aproximadamente 7 km arroja como resultado un trabajo efectivo de 0.306 Ton-Km, equivalente a un consumo energético de 0.2497 Mj por efecto del transporte de arena al lugar de construcción para producir el concreto.

Por otra parte si en un m² necesitamos 11.37 kg de cemento que es igual a 0.01137 ton, multiplicado por la distancia del banco de material ubicado en San Francisco Totimehuacan, Puebla estimado en aproximadamente 7 km arroja como resultado un trabajo efectivo de 0.0795 Ton-Km, equivalente a un consumo energético de 0.06497 Mj por efecto del transporte de cemento al lugar de construcción para producir el concreto.

Ahora bien si en un m² necesitamos 0.0041 m³ de grava y que esta pesa 1450 kg/m³, tenemos un peso de 0.006 ton, multiplicado por la distancia del banco de material ubicado en San Francisco Totimehuacan, Puebla estimado en aproximadamente 7 km arroja como resultado un trabajo efectivo de 0.042Ton-Km, equivalente a un consumo energético de 0.0343 Mj por efecto del transporte de cemento al lugar de construcción para producir el concreto.

El resumen de los materiales ocupados en la producción de un m² de muro de TSC se encuentra en la TABLA kkjj

| Huella de carbono (en ton de CO₂) debido a la producción y transporte de LBC | | | | | |
|--|-----------------|----------------|--|------------------|--|
| Materiales | Cantidad | Unidad | Conversión | Resultado | Unidad |
| Arena | 0.26 | m ³ | --- | --- | --- |
| Agua | 17.3 | lts | --- | --- | --- |
| Preparación | | | | | |
| Combustión | 98.27 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.01266 | Ton de CO ₂ |
| Transporte de material | | | | | |
| Transporte de tabique a obra | 1.736 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.00022367 | Ton de CO ₂ |
| | | | | Suma | 0.0128837 Ton de CO₂ |

| Huella de carbono (en ton de CO₂) debido a la construcción de un m² LBC | | | | | |
|--|-----------------|----------------|--|------------------|--|
| Mortero | | | | | |
| Materiales | Cantidad | Unidad | Conversión | Resultado | Unidad |
| Cemento | 9.59 | kg | 610 kg de CO ₂ por Ton | 0.0059 | Ton de CO ₂ |
| Arena | 0.0219 | m ³ | --- | --- | --- |
| Mezcla de materiales | | | | | |
| Revolvedora | 0.4454 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.000057 | Ton de CO ₂ |
| Transporte de material | | | | | |
| Arena | 0.2497 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.000032 | Ton de CO ₂ |
| Cemento | 0.06497 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.00000837 | Ton de CO ₂ |
| Grava | 0.0343 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.0000044 | Ton de CO ₂ |
| Concreto | | | | | |
| Materiales | Cantidad | Unidad | Conversion | Resultado | |
| Cemento | 1.78 | kg | 610 kg de CO ₂ por Ton | 0.001 | Ton de CO ₂ |
| Arena | 0.0054 | m ³ | --- | --- | --- |
| Grava | 0.0041 | m ³ | --- | --- | --- |
| Acero | 0.67 | kg | 1680 kg de CO ₂ por Ton | 0.00113 | Ton de CO ₂ |
| Mezcla de materiales | | | | | |
| Revolvedora | 0.0835 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.00001 | Ton de CO ₂ |
| | | | | Suma | 0.0080918 Ton de CO₂ |

Total= 0.02097544 Ton de CO₂

Tabla 3.6.4.20: Resumen (Elaboración propia)

Si se compara este resultado con el del muro de TSC se puede ir notando que existe una diferencia en cuanto a las toneladas de CO₂ emitidas.

| | | | |
|----------|--------|-------------------|-------------------|
| Muro TSC | Total= | 0.0132417 | Ton de CO2 |
| Muro LBC | Total= | 0.02097544 | Ton de CO2 |

3.6.4.3 Muro de block hueco de cemento (BHC)

Este tipo de material es generalmente utilizado en muros. Existen diferentes dimensiones para este material pero el que se utilizará será el de 15x20x40 cm, con un peso de 10.1 kg y un precio de \$9548 por millar.

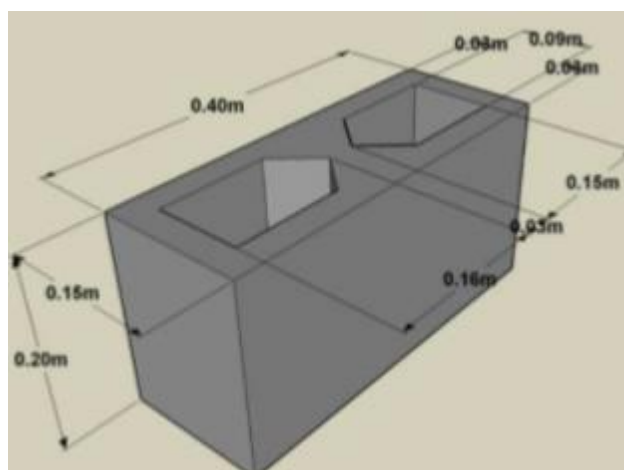


Imagen 3.6.4.21: Imagen con dimensiones de block hueco (Gómez et. at., 2010).

Etapal: Fabricación del material y transporte al sitio de construcción.

El proceso de producción del BHC consiste seis operaciones básicas.

1. Mezclado de materias primas arena y cemento, mediante una revolvedora.
2. Transporte de la mezcla hacia la vibro-compactadora por una banda transportadora.
3. Compactación de la mezcla en los moldes, mediante una vibro-compactadora.
4. Extracción y traslado manual de las piezas compactadas al área de secado.
5. Secado de las piezas mediante energía solar.
6. Estiba manual en el camión de transporte al sitio de construcción.

Comenta Gómez (2010) que La proporción para la elaboración de BHC por cada 50 kg de cemento es de 0.235 m³ de arena, mezcla suficiente para producir 42 piezas. Ahora bien, se requieren 12.5 piezas para construir un m² de muro, lo que da como resultado un consumo de 14.88 kg de cemento y 0.0699 m³ de arena.

Por otra parte el autor añade que, la revolvedora de 15 HP mezcla los materiales durante aproximadamente 30 segundos a fin de generar un volumen suficiente para forjar 4 piezas. La mezcla se lleva durante 20 segundos aproximadamente a la vibro-compactadora mediante una banda transportadora de 5 HP. La virbro-comprensadora de 6 HP tarda a su vez 13 segundos en compactar la mezcla en el molde de 4 piezas. En total el proceso dura alrededor de 63 segundos, haciendo un consumo eléctrico de 0.1301 Kwh para 4 piezas y 0.4067 Kwh para las 12.5 piezas que integran un m² de muro.

| Maquina | Cantidad de motores | Potencia por motor | Potencia Total | Consumo eléctrico | Tiempo por saco cemento | Consumo eléctrico por saco cemento | Consumo eléctrico por m ² |
|----------------------|---------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Unidades | | HP | HP | Kwh | s | Kwh | Kwh |
| Revolvedora | 1 | 15 | 15 | 11.19 | 30 | 0.0933 | 0.2914 |
| Banda transportadora | 1 | 5 | 5 | 3.73 | 20 | 0.0207 | 0.0648 |
| Vibro-compactadora | 2 | 3 | 6 | 4.476 | 13 | 0.0162 | 0.0505 |
| Total | 4 | 23 | 26 | 19.396 | 63 | 0.1301 | 0.4067 |

Consumo eléctrico (0.746 Kwh/HP)

Tabla 3.6.4.22: Resumen (Elaboración propia).

Como paso final se dejan secar las piezas y posteriormente se cargan al camión que las transportará al lugar de la construcción.

Considerando que cada pieza pesa 10.1 kg, el peso de las 12.5 piezas que forman un m² es de 0.1265 ton, multiplicado por la distancia de la ladrillera ubicada en San Pedro Cholula al centro de Puebla que es de 14.4 km aproximadamente, arroja como resultado un trabajo efectivo de 1.818 ton-Km, equivalente a un consumo energético de 1.48 Mj por efecto del transporte de las piezas terminadas al lugar de construcción (factor de conversión: 1 Mj = 1.225 TonKm).

Inventario de entradas por fabricación de un m² de BHC

| | Cantidad | Unidad |
|--|----------|----------------|
| Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles, electricidad/calor) | | |
| Cemento | 14.88 | kg |
| Arena | 0.0699 | m ³ |
| Trabajo efectivo de transporte a lugar de construcción | 1.487 | Mj |
| Energía eléctrica (mezcla producida en México) | 0.4067 | KwH |

Tabla 3.6.4.23: Inventario de entradas (Elaboración propia).

Etapa 2: Construcción

Para la construcción del muro de BHC se consideraron como componentes secundarios solamente el mortero para pegado de piezas, los elementos verticales de refuerzo estructural compuestos de concreto y acero y los refuerzos horizontales.

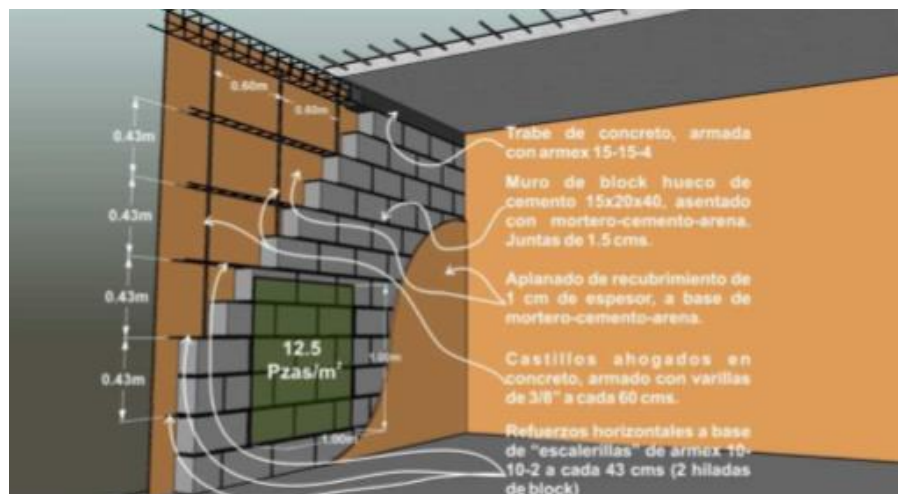


Imagen 3.6.4.24: Representación de muro de block hueco (Gómez, 2010)

Para elaborar mortero de adherencia con un saco de cemento de 50 kg se requieren 0.1140 m³ de arena y 0.38 m³ de agua, volumen suficiente para pegar 148 piezas de BHC (0.1877m³). Proporcionalmente, un m² de muro que implica sólo 12.5 piezas (0.0159 m³), requiere 0.0032 m³ de agua, 0.0096 m³ de arena y 4.22 kg de cemento.

De acuerdo con Gómez (2010) los refuerzos estructurales verticales en este tipo de muro son columnas de 2.70 m de altura, colocadas a cada 60 cm, ahogadas en los huecos del block y con una varilla de 3/8" como refuerzo. Teniendo en cuenta que por cada 1.62 m² de muro existe una de estas columnas, por cada m² existen .62 piezas de castillo de 1.67 m de longitud. Considerando que 1 metro de varilla de 3/8" pesa 0.557 kg, entonces 1.67 m pesa 0.928 kg.

Este mismo muro de block hueco utiliza un refuerzo horizontal llamado “escalera”, el cual está compuesto de una armadura Armex de 2 varillas con refuerzo perpendicular a cada 10 cm. Se coloca a cada 43 cm en sentido vertical, por lo que en un metro existen dos hileras de escalera. Siendo un m² la unidad de análisis, se consideran entonces 2 m de escalera por m². Una pieza de 6.35 m de escalera pesa 3.766 kg por lo que 2 m pesan 1.186 kg.

Como se mencionó anteriormente, las varillas están sumergidas en concreto en los huecos del block que miden 0.15x0.09 m. El volumen de concreto de una columna de 2.7 m de altura es de 0.0365 m³ (0.15 x 0.09 x 2.70). Ahora bien, un m² de muro implica 0.62 columnas de 1.67 m, por lo que el volumen de concreto correspondiente es de 0.0225 m³. De acuerdo a las proporciones de materia prima que se ocupan para formar el concreto $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$, se tiene que para ese volumen de concreto se requiere 0.0101 m³ de grava, 0.0076 m³ de arena, 0.0025 de agua y 2.5168 de cemento.

Para la elaboración de mortero se utiliza una revolvedora a base de gasolina, que tiene un rendimiento aproximado de 1 Lt/hr. La revolvedora debe funcionar alrededor de cuatro minutos para una mezcla proporcional a 50 kg de cemento, lo cual produce 0.1877 m³ de mortero. Proporcionalmente, para los 0.0159 m³ que se requieren para un m² de muro, el equipo debe funcionar 0.338 minutos o 0.0056 horas. Considerando que la gasolina equivale a 34.8 Mj/Lt y 1 Mj = 947.82 BTU, se tiene como resultado que el consumo energético por la revolvedora para mezclar mortero suficiente para un m² de muro de BHC es de 186 BTU (0.1962 Mj).

Para la elaboración del concreto se emplea igualmente la revolvedora. Para esta función el equipo funciona a partir de un saco de cemento de 50 kg durante 4 minutos para mezclar 0.3397 m³. Proporcionalmente para los 0.0225 m³ que demanda un m² de muro, la revolvedora debe funcionar 0.2649 minutos o 0.0044 horas. Con el mismo rendimiento Mj/Lt del párrafo

anterior, tenemos como resultado que el consumo energético por la revoladora para mezclar concreto suficiente para refuerzos estructurales proporcionales a un m² de muro de BHC es de 145.64 BTU (0.1229 Mj).

| Inventario de entradas por construcción de un m² de BHC | Cantidad | Unidad |
|---|-----------------|----------------|
| Cemento | 12.37 | kg |
| Arena | 0.0282 | m ³ |
| Grava | 0.0101 | m ³ |
| Acero | 2.114 | kg |
| Energía por revoladora | 0.2798 | Mj |

Tabla 3.6.4.25: Inventario de entradas (Elaboración propia)

Si se contabiliza el transporte de los materiales (cemento, arena y grava) para la producción del mortero y del concreto, para las columnas se obtiene lo siguiente:

Consideramos que la arena pesa 1600 kg/m³ para los 0.017 m³ que se requieren de arena para un m² tenemos un peso de .0275 ton, multiplicado por la distancia del banco de material ubicado en San Francisco Totimehuacan, Puebla estimado en aproximadamente 7 km arroja como resultado un trabajo efectivo de 0.1926 Ton-Km, equivalente a un consumo energético de 0.1572 Mj por efecto del transporte de arena al lugar de construcción para producir el concreto.

Por otra parte si en un m² necesitamos 11.37 kg de cemento que es igual a 0.01137 ton, multiplicado por la distancia del banco de material ubicado en San Francisco Totimehuacan, Puebla estimado en aproximadamente 7 km arroja como resultado un trabajo efectivo de 0.0795 Ton-Km, equivalente a un consumo energético de 0.06497 Mj por efecto del transporte de cemento al lugar de construcción para producir el concreto.

Ahora bien si en un m² necesitamos 0.0041 m³ de grava y que esta pesa 1450 kg/m³, tenemos un peso de 0.006 ton, multiplicado por la distancia del banco de material ubicado en San Francisco Totimehuacan, Puebla estimado en aproximadamente 7 km arroja como resultado un trabajo efectivo de 0.042Ton-Km, equivalente a un consumo energético de 0.0343 Mj por efecto del transporte de cemento al lugar de construcción para producir el concreto.

El resumen de los materiales ocupados en la producción de un m² de muro de TSC se encuentra en la Figura 3.6.4.26

| Huella de carbono (en ton de CO₂) debido a la producción y transporte de BHC | | | | | |
|--|-----------------|----------------|--|------------------|--|
| Materiales | Cantidad | Unidad | Conversión | Resultado | Unidad |
| Cemento | 14.88 | kg | 610 kg de CO ₂ por Ton | 0.0091 | Ton de CO ₂ |
| Arena | 0.0699 | m ³ | --- | --- | --- |
| Mezcla de materiales | | | | | |
| Revolvedora | 0.4067 | Kwh | 1 Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.00018863 | Ton de CO ₂ |
| Transporte de material | | | | | |
| Transporte de tabique a obra | 1.487 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.00019 | Ton de CO ₂ |
| | | | | Suma | 0.0094586 Ton de CO₂ |

| Huella de carbono (en ton de CO₂) debido a la construcción de un m² BHC | | | | | |
|--|-----------------|----------------|--|------------------|--|
| Mortero | | | | | |
| Materiales | Cantidad | Unidad | Conversión | Resultado | Unidad |
| Cemento | 7.04 | kg | 610 kg de CO ₂ por Ton | 0.0040 | Ton de CO ₂ |
| Arena | 0.0096 | m ³ | --- | --- | --- |
| Mezcla de materiales | | | | | |
| Revolvedora | 0.286 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.0000368 | Ton de CO ₂ |
| Transporte de material | | | | | |
| Arena | 0.1865 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.000024 | Ton de CO ₂ |
| Cemento | 0.0489 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.0000063 | Ton de CO ₂ |
| Grava | 0.0343 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.0000044 | Ton de CO ₂ |
| Concreto | | | | | |
| Materiales | Cantidad | Unidad | Conversión | Resultado | Unidad |
| Cemento | 5.33 | kg | 610 kg de CO ₂ por Ton | 0.003 | Ton de CO ₂ |
| Arena | 0.0076 | m ³ | --- | --- | --- |
| Grava | 0.0101 | m ³ | --- | --- | --- |
| Acero | 2.114 | kg | 1680 kg de CO ₂ por Ton | 0.00354 | Ton de CO ₂ |
| Mezcla de materiales | | | | | |
| Revolvedora | 0.286 | Mj | 1Mj =0.2778 Kwh 1Kwh=0.0004638 Ton de CO ₂ | 0.0000368 | Ton de CO ₂ |
| | | | | Suma | 0.0106483 Ton de CO₂ |

Total= 0.02010693 Ton de CO2

Tabla 3.6.4.26: Resumen (Elaboración propia).

La siguiente tabla muestra un cuadro comparativo entre las Ton de CO2 que produce cada muro por m2.

| | | | |
|----------|---------------|-------------------|-------------------|
| Muro TSC | Total= | 0.0132417 | Ton de CO2 |
| Muro LBC | Total= | 0.02097544 | Ton de CO2 |
| Muro BHC | Total= | 0.02010693 | Ton de CO2 |

A diferencia del trabajo en el que se ha estado basando esta investigación (Análisis del ciclo de vida de la vivienda de interés social en México, “Sistemas constructivo en muros”.

Gabriel Gómez-Azpeitia, Víctor Arvizu Piña y Pablo Arena Granados) en esta investigación se hará un pequeño comparativo en cuanto los costos por m2 que requeriría cada tipo de muro para así poder también analizar qué tipo de muro es el que conviene más económicamente.

Algunos de los precios ya se conocían pero otros fueron tomados de acuerdo a Centro de Transferencia Cuemanco (2015). En las siguientes tablas se puede observar de manera más clara los precios para producir un m2 de muro de los distintos materiales:

| Estimación de precios por m² para muro de TSC | | | | |
|---|-----------------|---------------|--------------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad | Precio | Total |
| Tabicón | 32 | Pzas | \$4200 X 1000 pzas | \$ 134.40 |
| Arena | 0.021 | m3 | \$144 X 1m3 | \$ 3.00 |
| Grava | 0.0041 | m3 | \$150 X 1m3 | \$ 0.60 |
| Cemento | 8.56 | kg | \$150 X 50kg | \$ 25.68 |
| Acero | 0.67 | kg | \$160 X 6.2 kg | \$ 17.29 |
| | | | Suma | \$ 180.97 |

Tabla 3.6.4.27: Estimación de precios por m2 para muro de TSC (Elaboración propia)

| Estimación de precios por m² para muro de LBC | | | | |
|---|-----------------|----------------|-------------------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad | Precio | Total |
| Ladrillo | 52 | Pzas | \$2800 X 1000 pzas | \$ 145.60 |
| Arena | 0.027 | m ³ | \$144 X 1m ³ | \$ 4.00 |
| Grava | 0.0041 | m ³ | \$150 X 1m ³ | \$ 0.60 |
| Cemento | 11.37 | kg | \$150 X 50kg | \$ 34.11 |
| Acero | 0.67 | kg | \$160 X 6.2 kg | \$ 17.29 |
| Suma | | | | \$ 201.60 |

Tabla 3.6.4.28: Estimación de precios por m² para muro de LBC (Elaboración propia)

| Estimación de precios por m² para muro de BHC | | | | |
|---|-----------------|----------------|-------------------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad | Precio | Total |
| Block | 12.5 | Pzas | \$9548 X 1000 pzas | \$ 119.35 |
| Arena | 0.017 | m ³ | \$144 X 1m ³ | \$ 2.47 |
| Grava | 0.01 | m ³ | \$150 X 1m ³ | \$ 1.50 |
| Cemento | 27.25 | kg | \$150 X 50kg | \$ 81.75 |
| Acero | 2.114 | kg | \$160 X 6.2 kg | \$ 54.55 |
| Suma | | | | \$ 259.62 |

Tabla 3.6.4.29: Estimación de precios por m² para muro de BHC (Elaboración propia)

| Material | TonCO₂ | Precio |
|-----------------|--------------------------|---------------|
| TSC | 0.01324 | \$ 180.97 |
| LBC | 0.02097 | \$ 201.60 |
| BHC | 0.0201 | \$ 259.62 |

Tabla 3.6.4.30: Resumen de TonCO₂ y Precios (Elaboración propia)

Una vez analizada la información anterior se puede observar que el m² de muro de BHC es el más caro con un precio de \$259.62 y por lo tanto el menos conveniente. Por otro lado podemos observar que el m² de muro de TSC es el más económico con un precio de \$180.97.

Cabe recalcar que el precio de estos materiales obtenidos puede variar dependiendo de la región en que se compren. En este caso solo se consideró en la estimación de precios el coste de los materiales, aspectos como la mano de obra o el transporte de material a la obra no fueron considerados.

A manera de conclusión se puede decir que a través del estudio realizado el muro hecho con TSC resulta la mejor opción tanto económicamente y ambientalmente ya que presentó sólo 0.01324 TonCO₂ al medio ambiente con un costo de \$180.97 por m². Por lo tanto como primera opción para construir los muros de las casas de interés social INFOAVIT Margarita sería el TSC, como segunda opción se consideraría el LBC, ya que aunque no es el mejor en cuanto a cuestión ambiental (0.02097 TonCO₂) debido al alto nivel de combustión que genera al momento de ser preparado, es un material barato y presenta un buen comportamiento térmico. El BHC no se consideraría como una opción viable ya que no presenta niveles bajos de TonCO₂ (0.0201 TonCO₂) esto debido a que requiere gran cantidad de cemento en su preparación así como una gran cantidad de acero de refuerzo. Es importante mencionar que en este estudio no se tomó en cuenta la etapa de ocupación de la vivienda, pero de igual manera es importante realizar este análisis ya que aquí es donde se analizan propiedades térmicas de los materiales, y puede que esto influya también en la elección del material.

CAPÍTULO 4 POSIBLES SOLUCIONES Y ALTERNATIVAS AL PROBLEMA

En este capítulo se expondrán algunas de las posibles soluciones o alternativas al problema analizado en el capítulo 3.9 con el fin de complementar la información expuesta en ese capítulo. Cabe recalcar que la aplicación de estas propuestas requeriría un nuevo análisis pero se piensa que serían de gran ayuda integrarlas en la construcción de los muros.

4.1 NUEVOS MATERIALES

El ser humano siempre está en busca de una mejora continua y ejemplo de ello son los nuevos materiales de construcción que ha creado, esto con el fin de que produzcan menos emisiones a la atmósfera y a su vez que sean más baratos o que al menos compitan con los precios de los materiales actuales. En este apartado se presentarán algunos de los nuevos materiales de construcción que podrían ser útiles para el caso analizado en el capítulo 3.9

4.1.1 Ladrillos ecológicos

Se sabe que el principal problema del ladrillo es su proceso de fabricación ya que requiere de gran cantidad de madera como combustible y esto genera grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera. ARREVOL menciona que actualmente existen varias soluciones alternativas al ladrillo de arcilla cocida de toda la vida, algunos son tratamientos de reciclados de vidrio o plásticos y otros parten de prensados naturales como tierras comprimidas. (2016).

Una de las opciones es Durabric, un ladrillo que se fabrica mezclando agua, tierra y cemento, comprimiendo la mezcla en un molde y dejando que fragüe de forma natural, sin fuego. Con este proceso, se consiguen salvar hasta 14 árboles por cada casa construida ya que no se utiliza la madera como combustible en la fabricación del ladrillo. Al evitar el proceso de cocción, este ladrillo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero hasta diez veces en

comparación con los ladrillos cocidos tradicionales. En cuanto al coste, construir un muro con Durabric es un 20% más barato que con ladrillos de arcilla cocida. (ARREVOR, 2016)

4.1.2 Cementos Ecológicos

Como se ha visto a lo largo de este trabajo la producción de cemento es uno de los principales emisores de CO₂ a la atmósfera ya que genera el 5 % de las emisiones mundiales. Gracias a esta problemática ingenieros se han dado a la tarea de buscar nuevas soluciones, entre las cuales se encuentran el E-Crete.

Grupo Zeobond se fundó con la visión de desarrollar tecnología de geopolímeros y ser pionera en su comercialización para hacer que la fabricación de cemento sea un proceso mucho más sostenible y ambientalmente menos dañino. El producto que esta empresa ofrece se llama E-Crete y este surge con la necesidad de reducir los gases de efecto invernadero al momento de su fabricación la cual consiste en cenizas volantes, el subproducto de la quema de carbón en una central eléctrica, y la escoria, el subproducto de la fabricación de acero, E-Crete reduce el CO₂ incrustado del concreto en al menos un 60% en comparación con el cemento Portland ordinario basado en concreto. Esto proporciona dos beneficios medioambientales significativos: el primero es la reducción de CO₂, que no tiene paralelo en la industria de la construcción, y el segundo es el uso de residuos industriales reciclados que se traduce en menos extracción de materias primas (Zeobond, 2012).

4.2 RECICLADO DE MATERIALES

Otro papel muy importante que se debe de considerar es el del reciclado de los materiales. En muchas ocasiones no se busca que lo materiales con los que se van a construir cuenten con una oportunidad de reciclado después de su vida útil, pero a pesar de esto muchas empresas han tratado de solucionar este problema y buscar la forma de reciclar los materiales ya existentes.

Un claro ejemplo según Uribe (2016) es el del ladrillo hecho con colillas de cigarrillos, el cual menciona que los investigadores del Royal Melbourne Institute of Technology han desarrollado una técnica para la fabricación de ladrillos con colillas de cigarrillos. Los investigadores descubrieron que la fabricación de ladrillos de barro con tan sólo 1 por ciento de colillas de cigarrillo podría compensar por completo la producción anual mundial de cigarrillos y al mismo tiempo fabricar un ladrillo más ligero y eficiente.

Otro material que debería ser tomado en cuenta es el acero ya que presenta muy buenas características de reciclado. Según Arquitectura y Acero (s.a.) el acero tiene una serie de atributos específicos que son de gran importancia para la construcción sustentable. Entre ellos se pueden mencionar:

- Alto contenido reciclado: todo el acero que se produce en el mundo tiene un contenido de material reciclado que, dependiendo del proceso de producción, varía entre un 15% y puede llegar hasta más de un 90%. Estos valores son de los más altos comparados con otros materiales de construcción.
- Altas tasa de recuperación para reciclar (98% aprox.): todo el acero incorporado en una construcción es recuperable. Un edificio de acero, dependiendo de su concepción estructural y de las uniones, es fácilmente desmontable y todo el material es posible de

ser reciclado. Estas tasas de recuperación son, también, más altas que otros materiales de construcción.

- Reutilización de materiales: Una de las características de los edificios de acero es que son enteramente desmontables y transportables. De esta forma, se puede reutilizar el edificio en su concepción original en un nuevo emplazamiento o reutilizar sus componentes con muy pocas modificaciones en nuevos edificios o estructuras.

4.3 VIVIENDA SOSTENIBLE

Las viviendas sostenibles o ecológicas se plantean como una alternativa económica y respetuosa con el medioambiente, ya que además de reducir las facturas energéticas, mejoran el confort y su habitabilidad al integrarse de forma natural con el clima y el estilo de vida de sus habitantes. (Ramos, 2014). Por su parte Construmática (2015) menciona que la vivienda sostenible debe considerar factores como: el emplazamiento, la orientación, la ventilación, las instalaciones eléctricas, las aguas negras, la calidad de la construcción, el origen de los materiales y los componentes del edificio.

El punto de estas viviendas según Expok (2012) es que consuman siempre menos energía de la que producen. Por esta razón, las casas sostenibles cubren las necesidades de las personas sin sacrificar su demanda futura.

Por otro lado, se consideran construcciones ecológicas aquellas que, tanto su estructura como su construcción, realizan un uso eficiente de los recursos durante su vida útil. Y es aquí donde entran las casas sostenibles de arquitectura bioclimática, que se enfocan a la optimización de la energía mediante la adaptación de los edificios a las condiciones climáticas de su entorno (viento, ubicación, vegetación, relieve etc.) (Expok, 2012).

Como dato adicional Ramos (2014) menciona que el autoconsumo, la eficiencia energética, los materiales ecológicos y las tecnologías sostenibles son el denominador común de estas construcciones, que si bien pueden ser más caras, su amortización a largo plazo puede suponer un ahorro energético cercano al 70%.

Las principales ventajas de las casas bioclimáticas según Eroski consumer (2005) son:

- Mejorar el aislamiento térmico y sonoro con materiales naturales y reciclados.
- Optimizar el consumo energético y reducir la contaminación por CO₂.
- Aumenta el ahorro energético, incluso permiten la autosuficiencia.
- El diseño creativo puede adaptarse a cualquier circunstancia.

Ortega y Soto (2010) mencionan algunos aspectos importantes en una casa sustentable, los cuales ofrecen numerosos beneficios. Para este tipo de viviendas es indispensable aprovechar la ventilación cruzada, con esto reduciremos el uso de aire acondicionado. Para reducir el calor también es posible la instalación de materiales más ligeros que tengan aislamiento y usar colores claros en la casa. En el caso de edificios se puede optar por el uso de azoteas verdes en las cuales se recolecte el agua pluvial. Y se aproveche para labores como: riego, sanitarias etc.

En cuanto al interior se puede hacer uso de focos fluorescentes que ayudan a reducir el consumo en un 50%. En cuanto al agua se puede optar por cambiar un calentador de depósito por uno de paso el cual reduce el consumo por calentamiento de agua un 10% y el consumo total de gas un 7% .

Es posible mejorar los niveles de confort y reducir considerablemente los consumos de agua y energía en una vivienda, desde la aplicación de adecuadas estrategias de diseño hasta el

uso de dispositivos más eficientes y aislamiento térmico. Por el momento lograr una vivienda sustentable representa un costo elevado debido al costo de las tecnologías led y fotovoltaica (Ortega & Soto, 2010).

A pesar de que las viviendas sostenibles tienen muchas ventajas, también presentan desventajas las cuales han provocado que no se vean cada vez más este tipo de vivienda. Ya que aunque acabes amortizando la inversión, este tipo de viviendas son de coste más elevado que las casas tradicionales. Por otra parte este tipo de viviendas aun no son muy populares, lo cual hace que sea difícil encontrar tanto los materiales como los técnicos que entiendan al respecto. Y por último se puede decir que aunque estas casas por muy ideales que parezcan no todo el mundo quiere o puede adaptarse a ellas (Isan, 2014). Por lo tanto es importante difundir las nuevas tecnologías para propiciar su uso, regulación y reducción de costos, así como considerarlas desde el proceso de diseño para obtener un proyecto integral y amigable con el medio ambiente.

4.4 ANALISIS DE CICLO DE VIDA

La selección cuidadosa de materiales de construcción ambientalmente sostenibles es la manera más fácil para que los constructores comiencen a incorporar principios de diseño sostenible en los edificios. En el pasado, la selección de materiales se basaba en ciertas prácticas verdes limitadas: el uso de materiales locales, el reciclaje, independientemente de su proceso de fabricación y eliminación. En los tiempos modernos, es reemplazado por ACV.



Imagen 4.4.1: Imagen de análisis de ciclo de vida (Aranda, 2014).

El análisis de ciclo de vida ACV o mejor conocido por sus siglas en Inglés LCA(life cycle analysis). Es una técnica para evaluar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, este análisis compila un inventario de las entradas y salidas relevantes de un sistema de productos; evalúa los impactos ambientales potenciales asociados con esas insumos y salidas e interpreta los resultados de las fases de análisis de inventario y evaluación de impacto(Sustainable Design, 2014). En otras palabras el LCA cuantifica e intercepta de manera exhaustiva los flujos de energía y material hacia y desde el medio ambiente. Aplicando esto al sector de la construcción los principios del diseño del ciclo de vida

proporcionan pautas importantes para la selección de materiales de construcción. Cada paso del proceso de fabricación, desde la recolección de las materias primas, la fabricación, la distribución y la instalación, hasta la última reutilización o eliminación, se examina por su impacto ambiental. El ciclo de vida de un material se puede organizar en tres fases: pre-construcción; Edificio; y Post-Edificio (Hussain, 2015). En la Figura 4.4.2 podemos observar cómo estas tres fases del ciclo de vida se relacionan con el flujo de materiales a lo largo de la vida del edificio

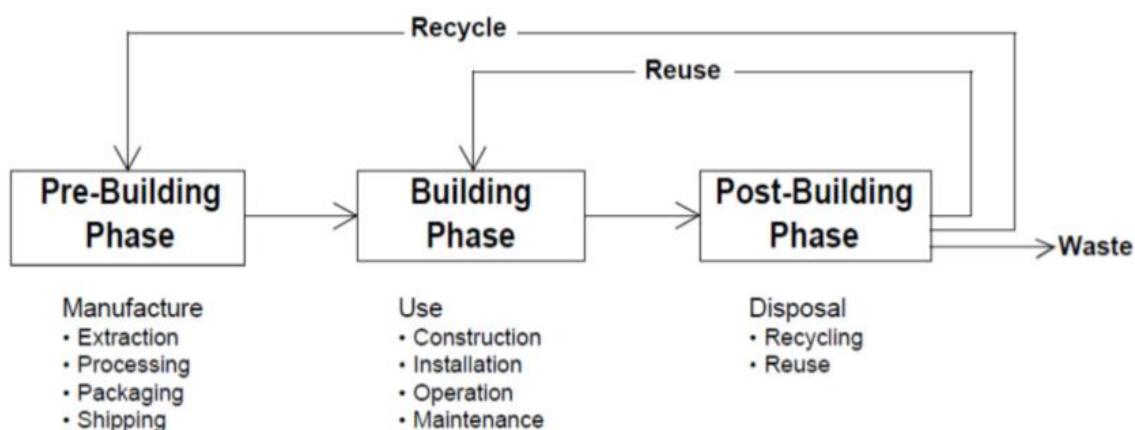


Imagen 4.4.2: 3 fases del ciclo de vida (Hussain, 2015).

De acuerdo con el autor, estas fases se pueden describir de la siguiente manera:

Fase de pre-construcción: La fase de pre-construcción describe el proceso de producción y entrega de un material, pero sin incluir el punto de instalación. Esto incluye obtener materias primas en la naturaleza, así como extraer, fabricar, empaquetar y transportar a un sitio de construcción.

Fase de construcción: La fase de construcción se refiere a la vida útil de un material de construcción. Esta fase comienza en el punto del ensamblaje del material en una estructura, incluye el mantenimiento y la reparación del material, y se extiende a lo largo de la vida del material dentro o como parte del edificio.

Fase posterior a la construcción: La fase posterior a la construcción se refiere a los materiales de construcción cuando su utilidad en un edificio ha expirado. En este punto, un material se puede reutilizar en su totalidad, se pueden reciclar sus componentes a otros productos o se puede descartar.

Como ya se comentó anteriormente los criterios para la selección de materiales de construcción sostenibles son de suma importancia, ya que estos incluyen la sostenibilidad en relación con una amplia gama de cuestiones ambientales. Se deben de considerar aspectos como la extracción y cosecha de materias primas, procesos de fabricación, técnicas de construcción y eliminación de desechos de demolición. La Tabla 4.4.3 compara las cualidades sostenibles de diferentes materiales utilizados para el mismo propósito. La presencia de una o más de estas "características verdes" en un material de construcción puede ayudar a determinar su sostenibilidad relativa.

| Green Features | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| Manufacturing Process(MP) | Building Operations(BO) | Waste Mgmt.(WM) |
| Waste Reduction(WR) | Energy Efficiency(EE) | Biodegradable(B) |
| Pollution Prevention(PP) | Water Treatment & Conservation(WTC) | Recyclable(R) |
| Recycled(RC) | Non Toxic(NT) | Reusable(RU) |
| Embodied Energy Reduction(EER) | Renewable Energy Source(RES) | Others(O) |
| Natural Materials(NM) | Longer Life(LL) | |

Tabla 4.4.3: Green Featres (Hussain, 2015).

4.5 SOFTWARES PARA LA MODELACIÓN

4.5.1 Diseño Sostenible Integrado en BIM

Según Graphisoft (s.a.) el motor integrado de Evaluación Energética de ArchiCAD soporta múltiples bloques térmicos. Esto permite a los usuarios evaluar sus diseños con una tecnología que cumple con las normativas y hace de ArchiCAD la solución BIM más "verde" del mercado.

4.5.1.1 Evaluación Energética del Edificio

La función de evaluación energética incluida en ArchiCAD utiliza los motores de cálculo VIP de StruSoft. ArchiCAD 17 permite a los arquitectos realizar la evaluación del rendimiento energético del edificio con una tecnología que cumple las normativas, con el soporte de múltiples bloques térmicos. Como resultado, los diseñadores pueden hacer cálculos de energía de forma dinámica y precisa desde el mismo principio, durante y hasta el final del proyecto.

A manera de ejemplo Graphisoft (s.a.) realizará una evaluación de la energía en un proyecto realizado en un Centro de investigación de laboratorios construido en el sur de Inglaterra.

Para empezar se tiene que hacer una evaluación de la energía de flujo de trabajo. En otras palabras se tiene que transferir el modelo de BIM en un modelo de BEM.

BIM to BEM Workflow

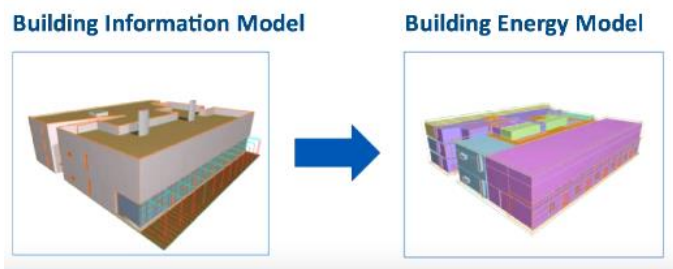


Imagen 4.5.1: BIM to BEM (Graphisoft, s.a.)

A este paso se le llama flujo de trabajo de BIM a BEM. A continuación se cuentan con tres diferentes etapas en donde se puede mejorar el proyecto con información que es relevante para la evaluación de la energía.

En la primera etapa se trabaja con los espacios, se tiene que organizar los espacios del proyecto dentro de algo que se llama termo-bloques (nueva terminología en ArchiCAD 17). Los termo bloques son una colección de espacios con unas condiciones climáticas idénticas, en ArchiCad esto significa que el espacio es un bloque térmico que tiene un mismo perfil operacional.

La segunda etapa tiene que ver con la estructura del edificio, en esta parte se asignan propiedades físicas a los materiales del edificio y se corroboran las propiedades térmicas las cuales han sido calculadas por los elementos de construcción de ArchiCAD.

En la tercera etapa se trabaja con la cuenta del medio ambiente, se debe de asegurar que la localización del proyecto es la correctamente ajustada, revisar que se tienen los datos correctos del clima y que se hayan definido los factores de energía relevantes en precios.



Imagen 4.5.2: 3 pasos (Graphisoft, s.a.)

Después de haber hecho esto el modelo BEM estará listo para realizar una evaluación de la energía. A continuación, se verá un ejemplo para ver cómo se puede crear termo bloques en ArchiCAD. Para trabajar con la primera de las tres etapas se deben seguir los siguientes pasos.

En la Imagen 4.5.3 podemos observar el modelo del edificio en 3D para poder facilitar su visualización.



Imagen 4.5.3: Edificio 3D (Graphisoft, s.a.)

Se procede a seleccionar la herramienta de “11 Zones 3D” en donde se va a obtener la siguiente visualización.

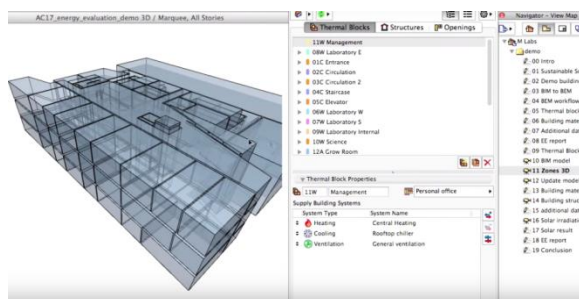


Imagen 4.5.4: Edificio (Graphisoft, s.a.)

La Imagen 4.5.5 permite ver las zonas de ArchiCAD en una ventana 3D. Para crear termo bloques solo se selecciona cada bloque que requiere sea termobloque

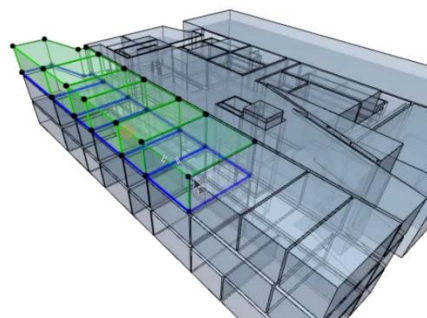


Imagen 4.5.5: Selección bloques (Graphisoft, s.a.)

Posteriormente los bloques se introducen a la carpeta Management y luego se hace click en actualizar el modelo para obtener lo siguiente. En esta parte ya aparece marcada la zona en donde se está aplicando el termobloque. A lo largo de la simulación de energía el software calcula los flujos de energía a lo largo de los diferentes termobloques.

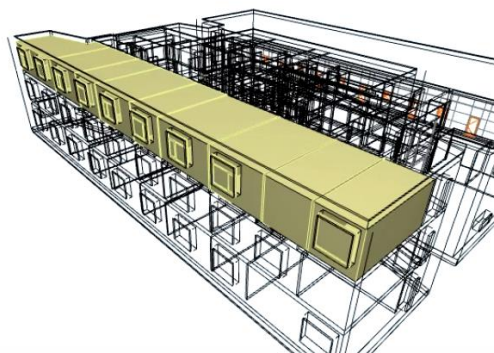


Imagen 4.5.6: Bloques (Graphisoft, s.a.)

Para realizar la segunda etapa se asigna las correctas propiedades térmicas a nuestro modelo BEM. Al hacer click en este icono “building materials” se añadirán las propiedades de los materiales

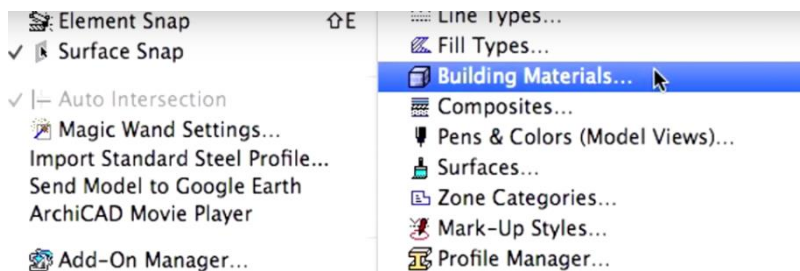


Imagen 4.5.7: Indicación (Graphisoft, s.a.)

En el tercer apartado se pueden analizar factores como la radiación en un edificio, esto significa que se puede calcular cualquier ganancia interna de calor causada por la radiación solar a través los servicios de acristalamiento del edificio. En este caso se analizará lo que el programa muestra si queremos ver el diagrama de radiación solar de las siguientes ventanas.

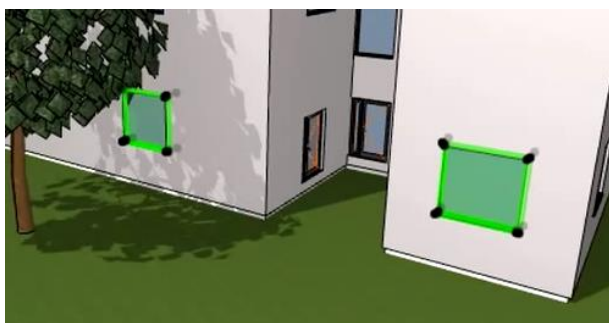


Imagen 4.5.8: Imagen ventanas (Graphisoft, s.a.)

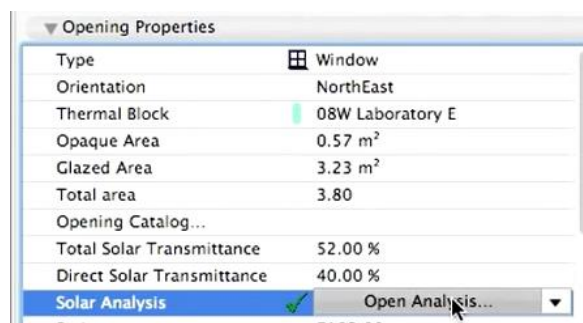


Imagen 4.5.9: Indicación (Graphisoft, s.a.)

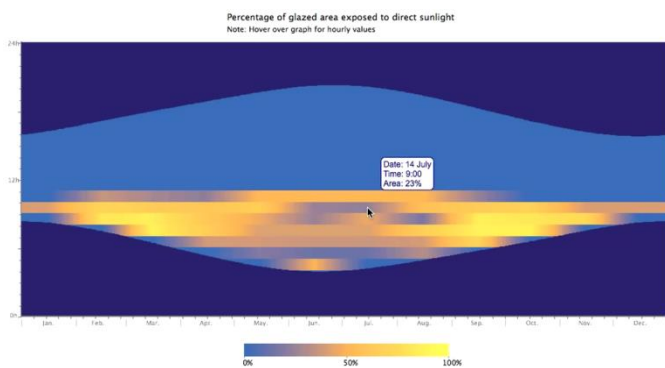


Imagen 4.5.10: Gráfica (Graphisoft, s.a.)

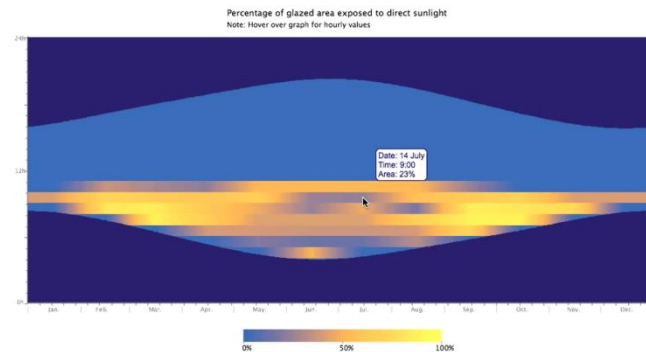


Imagen 4.5.11: Gráfica (Graphisoft, s.a.)

En la Imagen 4.5.10 en el eje de las x se pueden ver los meses del año y en el eje y se pueden ver las horas del día. El color amarillo muestra las horas en el año en donde el sol atraviesa la ventana, los espacios oscuros entre las líneas amarillas representan las sombras

registradas a causa de las nubes en el transcurso de un año, pero también llegan a ver unas líneas que no tienen discontinuidades, esto se debe a que el programa también calcula cuando los arboles cercanos a las ventanas pierden sus hojas en otoño y por tal motivo hay mayor luz del sol que pega a las ventanas en esta temporada.

Cuando se comparan las dos ventanas se pueden ver las diferencias que existen entre ellas, ArchiCad puede decir la cantidad exacta de energía que se acumula en las ventanas en un año. Gracias a estas herramientas ahora si es posible modelar el impacto ecológico en algún proyecto y se puede estar seguros de que estos factores por más pequeños que sean también será tomados en cuenta.

El paso final es considerado como el análisis de los datos, es aquí donde se muestran todos los detalles del modelo BEM. En el reporte se puede elegir que capítulos incluir y también mostrar el balance final de energía del proyecto. Se puede también modificar el tipo de vistas en que quieres ver tu información ya sea por colores o por datos.

CAPITULO 5 CONCLUSIONES

Actualmente la población mundial no toma en serio el tema del cuidado al medio ambiente, algunas personas piensan que el calentamiento global es un tema inventado por los científicos y que no debería ser tomado en cuenta. Nos encontramos en un punto en que tenemos reaccionar y darnos cuenta que el cambio climático nos afecta a todos y de una manera muy grave. El impacto potencial es enorme, con predicciones de falta de agua potable, grandes cambios en las condiciones para la producción de alimentos y un aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor. En definitiva, el cambio climático no es un fenómeno sólo ambiental sino de profundas consecuencias económicas y sociales (Mapama, s.a.).

A lo largo de este proyecto pude aprender distintas cosas que en un principio no conocía, cosas como que solo el 10% de la contaminación que producen los edificios se genera al momento de la construcción del mismo y que el 90% de la contaminación que generan se produce durante su ciclo de vida. Este fue un dato que me impresionó mucho ya que en un principio sentía que mi investigación no valdría la pena y que debía enfocarla más hacia viviendas sustentables o ecotecnologías las cuales también son de suma importancia en el ciclo de vida de un edificio, pero después comprendí que todo es parte de un proceso y que si no se hace bien las bases no se hará bien lo que le siga. Viéndolo de otro punto de vista si consideramos a nivel mundial un ahorro en los contaminantes que se generan en ese proceso de construcción (10%), podemos decir que existe una gran disminución en la huella de carbono que se genera mundialmente a la atmosfera.

Por otra parte considero que se debería hacer más énfasis en cuanto a las normas de construcción que existen en México ya que como se vio en el capítulo 3.6 muchas de las normas

con respecto a la construcción sostenible son voluntarias. Considero que estas normas deberían de comenzar a ser obligatorias las empresas constructoras se responsabilicen cada vez más y para que en verdad tomemos acción sobre el problema del calentamiento global y no se quede solo como una opción voluntaria en la que sólo se beneficie a las empresas que cumplan estas normas o certificaciones.

A su vez recalco la importancia que tiene el análisis de ciclo de vida en las edificaciones, ya que a través de este análisis podemos cuantificar y analizar de una manera más clara todos y cada uno de los contaminantes que estamos generando a la atmósfera. Sé que es un proceso largo y tedioso ya que durante el análisis de los tres sistemas constructivos me di cuenta que no es fácil porque son demasiadas las cosas que se tienen que considerar, como: el tener en cuenta desde donde se van a hacer los materiales de construcción que quieres ocupar, así como conocer las distancias que tienen que recorrer los materiales desde el punto en donde se fabricaron hasta el punto de la construcción. Pero siento que al final vale mucho la pena conocer cuál es la opción que genera una menor contaminación al medio ambiente considerando el factor económico. En este caso se pudo llegar a la conclusión de que el muro tabicón sólido de cemento fue el que presentó la menor emisión de Ton de CO₂ y a su vez el mejor precio. Esto fue una cosa que me sorprendió ya que me esperaba que ladrillo de barro cocido fuera el que menos contaminara y resultó ser el que más contamina.

Cabe recalcar que los resultados de este análisis solo contemplan la fase de producción de los materiales y construcción del muro, no se contempló la parte de la ocupación de la vivienda ni la parte de demolición de la misma. Por lo que un análisis de todas estas etapas juntas podría arrojar otro resultado.

Para concluir me gustaría citar la frase de Paul Polman que dice, “Si logramos nuestras metas de sustentabilidad pero nadie nos sigue, habremos fallado”. Esta frase me llamó mucho la atención ya que no solo tenemos que hacer el análisis de cuanto estamos contaminando al medio ambiente, también debemos de hacer un esfuerzo por contagiar a la gente y convencerla de que debemos tomar conciencia sobre la gran cantidad de contaminantes que estamos emitiendo a la atmósfera.

En este caso se reflejó la problemática al sector de la construcción, pero no solamente es este sector el que genera el problema, lo generan también el sector industrial, el sector energético, el sector minero, pero sobre todo el problema se genera desde casa ya ahí es donde comienza la educación de separar la basura, de utilizar más el transporte público en vez del automóvil o de apagar la luz cuando no se ocupa. Considero que el problema y la solución a este problema están en cada uno de nosotros y nos corresponde a todos reaccionar y solucionarlo. Así que cuidemos el medio ambiente y seleccionemos correctamente cada ladrillo en nuestras vidas.

Referencias

- Sordo, J. (s.a.). ¿Qué es el CO₂ y el dióxido de carbono?. CO₂ y el cambio climático. Recuperado de <http://www.homohominisacrares.net/sec/ecologia/co2/co2.htm>
- Yáñez, D., y Rodríguez, J. (2012). ¿Qué es el CO₂?. Conciencia Eco. Recuperado de <https://www.concienciaeco.com/2012/02/20/que-es-el-co2/>
- Bester. (2018). Gases de efecto invernadero (GEI). Recuperado de <https://bester.energy/blog/gases-de-efecto-invernadero-gei/>
- Huella de Carbono. (2009). ¿Qué es la huella de carbono?. Huella de Carbono. Recuperado de <http://www.huellacarbono.es/apartado/general/huella-de-carbono.html>
- Mantín, L. (2013). Jornada técnica la huella de carbono ¿Nueva exigencia del mercado?, La huella de carbono en la industria alimentaria. Recuperado de http://ruralcat.gencat.cat/c/document_library/get_file?uuid=7a8633cd-db80-454b-9170-00c8503b0418&groupId=20181
- Arquitecturamexico, (2011). ¿Por qué contamina tanto la industria de la construcción?, Arquitecturamexico. Recuperado de <https://arquitecturamexico.wordpress.com/2011/11/08/%C2%BFpor-que-contamina-tanto-la-industria-de-la-construccion/>
- Arquitecturamexico, (2011). Arquitectura sustentable. Arquitecturamexico. Recuperado de <https://arquitecturamexico.wordpress.com/2011/11/08/%C2%BFpor-que-contamina-tanto-la-industria-de-la-construccion/>
- Holcim. (2016). ¿Qué es la construcción sostenible?. Desarrollo sostenible. Holcim Ecuador. Recuperado de <http://www.holcim.com.ec/desarrollo-sostenible/holcim-foundation-for-sustainable-construction/que-es-la-construccion-sostenible.html>
- Karamanian, C. (2013). ¿Qué son las construcciones sustentables?. Sudentator. Recuperado de <http://www.sudentator.com/blog-es/2013/03/que-son-las-construcciones-sustentables/>
- Demoterra. (2016). La huella de carbono y los proyectos de reconstrucción. Demoterra, superadobe y sostenibilidad. Recuperado de <http://www.domoterra.es/blog/2016/07/16/la-huella-de-carbono/>
- Cemex. (s.a.). Huella de Carbono. Cemex. Recuperado de <https://www.cemexmexico.com/web/cemex-mexico/sostenibilidad/medio-ambiente/huella-de-carbono>
- Concreto Sostenible. (s.a.). Concreto sostenible: avances en materiales. Blog 360° en concreto. Recuperado de <http://blog.360gradosenconcreto.com/concreto-sostenible-avances-en-materiales/>
- Devia, F. Darío, C. (2016). Evaluación de la huella de carbono en la producción de bloque de arcilla en ladrillera “los cristales”. Recuperado de <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10399/Claculo%20HDC%20Los%20Cristales.pdf?sequence=1>
- Marimar, M. (2018). Contaminación, ¿qué es?, clases, naturaleza y hombre, soluciones. Cuidar el planeta. Recuperado de <https://elblogverde.com/la-contaminacion/>
- Vaivasuata. (2015). Diferentes tipos de contaminación. Ciencias naturales. Recuperado de <http://diferenciaentre.info/diferentes-tipos-de-contaminacion/>
- Ecoadmmmin. (2013). Contaminación del agua. Ecología hoy. Recuperado de <http://www.ecologiahoy.com/contaminacion-del-agua>
- Izaguirre, M. (2017). Contaminación del AGUA ¿Qué es? Conoce causas y efectos en la salud. Planeta te quiero verde org. Recuperado de <https://contaminacionambiental.net/contaminacion-del-agua/>

- Uglietti, C., Gabrielli, P., Cooke, C. A., Vallelonga, P. y Thompson, L. G. (2015). "Widespread pollution of the South American atmosphere predates the industrial revolution by 240 y". PNAS. Recuperado de www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1421119112
- Lenntech. (1998). Propiedades químicas del Bismuto. Lenntech. Recuperado de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/bi.htm>
- Huiltrón, A. (2017). Conoce las ciudades más contaminadas de México , ¿Dónde se ubica la CDMX?. Saludario. Recuperado de <http://saludario.com/las-10-ciudades-mas-contaminadas-de-mexico-oms/>
- Memorias de cálculo. (2014). Inventario de emisiones de la CDMX. Contaminantes criterio, tóxicos y de efecto invernadero.
- Soco, M (2017). La contaminación de la ciudad de México ¿Por qué no disminuye aun con contingencias ambientales?. Xataka México. Recuperado de <https://www.xataka.com/otros-1/la-contaminacion-de-la-ciudad-de-mexico-por-que-no-disminuye-aun-con-contingencias-ambientales>
- Ezcurra**, E., Fuentes, V., Legorreta, J., Navarro, J., Páramo, V. y Serra, M.(s.a.). Problemas ambientales en la ciudad de México. Revista de cultura científica. Recuperado de <http://www.revistaciencias.unam.mx/en/169-revistas/revista-ciencias-21/1519-problemas-ambientales-en-la-ciudad-de-m%C3%A9xico.html>
- Luigi, W. (s.a.). Las industrias y la huella de carbono. Copal. Recuperado de <http://copal.org.ar/wp-content/uploads/2015/06/carbono.pdf>
- Pérez, J. (2011). Definición de construcción. Definición. Recuperado de <https://definicion.de/construccion/>
- Ineec. (s.a.). Partículas suspendidas, Inecc. p.49 Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/517/cap4.pdf>
- Suárez, K. (2017). El valle de México, de nuevo irrespirable. El país. Recuperado de https://elpais.com/internacional/2017/12/20/mexico/1513804613_427198.html
- El Financiero. (2015). ¿Vives en el Valle de México?, respiras 6.5 kilos de contaminantes al día
El Financiero. Recuperado de <http://www.elfinanciero.com.mx/nacional/vives-en-el-valle-de-mexico-respiras-kilos-de-contaminantes-al-dia>
- Construmática. (s.a.). Construcción. Construmática. Recuperado de <http://www.construmatica.com/s/construccion>
- Ecu Red. (s.a.). Producto interno bruto. EcuRed conocimiento con todos y para todos. Recuperado de https://www.ecured.cu/Producto_Interno_Bruto
- Cantillo, V. (2015). La importancia de la construcción en el mundo, Prezi. Recuperado de <https://prezi.com/dgcgrttwyuct/la-importancia-de-la-construccion-en-el-mundo/>
- Eco ABG. (2014). Sector construcción. Eco ABG. Recuperado de <http://abg.org.gt/pdfs/Marzo-2014/SECTOR%20CONSTRUCCI%C3%93N%20MARZO%202014.pdf>
- De la Rosa, A (2018). PIB en construcción rompió tendencia de crecimiento. El Economista. Recuperado de <https://www.economista.com.mx/empresas/PIB-en-construccion-rompio-tendencia-de-crecimiento-20180225-0109.html>
- Sistema de Cuentas Nacionales de México. (2011). Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por entidad federativa 2005-2009. Año base 2003. Segunda versión. INEGI. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825169244>
- Oxford Business Group. (2017). Construction & Real Estate. Oxford Business Group. Recuperado de <https://oxfordbusinessgroup.com/mexico-2017/construction-real-estate>

- Andrade, R. (2018). La industria de la construcción. El Economista. Recuperado de <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/La-industria-de-la-construccion-20180130-0110.html>
- El Universal. (2017). Destinarán recursos para reconstruir zonas afectadas por el sismo. Cartera Queretaro. El Universal. Recuperado de <http://www.eluniversalqueretaro.mx/cartera/19-09-2017/destinaran-recursos-para-reconstruir-zonas-afectadas-por-el-sismo>
- Ibarra, C. (2017). Ficha técnica del sismo del 19 de septiembre de 2017 en México. Televisa.News. Recuperado de <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/ficha-tecnica-sismo-19-septiembre-2017-mexico/>
- Cemex. (2017). Cemento, Productos Cemex. Recuperado de <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento>
- EcuRed (s.a.). Aleación. EcuRed conocimiento con todos y para todos. Recuperado de <https://www.ecured.cu/Aleaci%C3%B3n>
- Alacero. (s.a.). ¿Qué es el acero? Alacero. Recuperado de <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/que-es-el-acero>
- Pablo. (s.a.). Tipos de ladrillos para la construcción. Saber y Hacer construcción bricolaje. Recuperado de <http://saberyhacer.com/tipos-de-ladrillos-para-construccion>
- WikiHow. (s.a.). Cómo hacer una pared de ladrillos. Wiki How. Recuperado de <https://es.wikihow.com/hacer-una-pared-de-ladrillos>
- Barona, E. y Sánchez, F. (2005). Características de la vivienda de interés básica, social y económica urbana en Puebla-México. e-Gnosis Núm 3. p. 8. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/730/73000313.pdf>
- Gómez, G., Arvizu, V. y Arena, P. (2010). Análisis de Ciclo de Vida de la vivienda de interés social en México, sistemas constructivos en muros. Universidad de Colima. Reporte técnico final, Proyecto: 66630-2007-01
- Cladimaco. (2016). Jal agregados, Cladimaco. Recuperado de: <https://www.cladimaco.com/jal.html>
- Centro de Transferencia Cuemanco. (2015). Costo de materiales, C.T.C. Recuperado de: <http://www.retirodeescombros.com.mx/index.php/materiales-de-construccion>
- Materiales para construcción. (2018). Block Hueco, abastecedora de materiales de construcción. Recuperado de: <http://www.materialesparaconstruccion.com.mx/block-y-tabique/block/>
- Hussain, A y Kamal, A. (2015) Energy Efficient Sustainable Building Materials: An Overview. Engineering Materials. Vol. 650 pp-39. Recuperado de: <file:///H:/Udlap/Papeles%20tesis/Tesis%20ppers/Comparativa%20de%20los%20materiales%20tradicionales%20y%20los%20nuevos/Hussain%202015%20%20%20%20%20Energy%20Efficient%20Sustainable%20Building%20Materials.pdf>
- Sustainable Design. (2014). Life Cycle Assesment. Solid works, sustainability. Recuperado de: [file:///C:/Users/Eduardo/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/770/02%20Análisis%20de%20ciclo%20de%20vida\[10957\].pdf](file:///C:/Users/Eduardo/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/770/02%20Análisis%20de%20ciclo%20de%20vida[10957].pdf)
- Aranda, A., Scarpellini, S., Zabalaza, I. y Días, S. (2014). Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida. Eco Habitar. Recuperado de: <http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>
- Bioconstrucción y Energía Alternativa. (s.a.). Certificación LEED. ¿Qué es?. Recuperado de: <http://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/>

- Khanna, N., Romankiewics, J., Feng, W., Zhou, N. y Ye, O. (2015). Comparative policy study for green buildings in U.S. and China, ISBN: 978-1-63463-641-4. Recuperado de: <file:///H:/Udlap/Papeles%20tesis/Tesis%20ppers/Viviendas%20sustentables/GREEN%20BUILDINGS%20IN%20THE.pdf>
- ILFI, (s.a.). International Living Future Institute, Living Building Basics. Recuperado de: <https://living-future.org/lbc/basics/>
- Secretaría del Medio Ambiente. (2012). Programa de certificación de edificaciones sustentables. Libros Blancos. Recuperado de: <http://martha.org.mx/una-politica-con-causa/wp-content/uploads/2013/09/15-Certificacion-Edificaciones-Sustentables.pdf>
- Sánchez, S. (2014). 11 normas y certificaciones de edificación sustentable en México. Obras Web. Recuperado de: <http://obrasweb.mx/construccion/2014/08/28/11-normas-y-certificaciones-de-edificacion-sustentable-en-mexico>
- Calidad y Gestión. (2010). ISO 14000- Sistema de gestión ambiental. Recuperado de: http://calidad-gestion.com.ar/boletin/52_iso_14000_gestion_ambiental.html
- ARREVOL. (2016). Ladrillos ecológicos. 7 materiales del futuro en la construcción. Recuperado de <http://www.arrevol.com/blog/7-materiales-del-futuro-en-la-construccion>
- Zeobond (2012). E-Crete. Products. Zeobond Group. Recuperado de: <http://www.zeobond.com/products-e-crete.html>
- Uribe, B. (2016). Diez materiales innovadores que pueden cambiar la industria de la construcción. Arch Daily. Recuperado de: <https://www.archdaily.mx/mx/791634/diez-materiales-innovadores-que-pueden-cambiar-la-industria-de-la-construccion>
- Arquitectura y acero. (s.a.). Acero y sustentabilidad. Alacero. Recuperado de <http://www.arquitecturaenacero.org/sustentable/acero-y-sustentabilidad>
- Arquitectura México. (2011). ¿Por qué contamina tanto la industria de la construcción?. Recuperado de <https://arquitecturamexico.wordpress.com/2011/11/08/%C2%BFpor-que-contamina-tanto-la-industria-de-la-construccion/>.
- Construmática. (2015). Contaminación en los elementos constructivos. Recuperado de http://www.construmatica.com/construpedia/Contaminaci%C3%B3n_en_los_Elementos_Constructivos.
- Ramos, O. (2014). Casas sostenibles y ecológicas, eficiencia energética natural. Recuperado de <http://soymedioambiente.com/casas-sostenibles-ecologicas-eficiencia-energetica-natural>.
- Expok. (2012). Viviendas sustentables. Un beneficio para el medio ambiente. Recuperado de <http://www.expoknews.com/viviendas-sustentables-un-beneficio-para-el-medio-ambiente/>.
- Acciona. (2015). Arquitectura bioclimática: casas que ahorran. Recuperado de <http://www.sostenibilidad.com/casas-que-ahorran-construccion-bioclimatica>.
- Eroski consumer. (2015). Viviendas bioclimáticas: ventajas e inconvenientes. Recuperado de http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2003/02/24/58359.php?page=2.
- Ortega, A. y Soto, R. (2010). Beneficios del uso de ecotecnologías en viviendas de interés social. *Revista VIVEICA*, 28-33.
- Isan, A. (2014). Ecología verde. *Ventajas y desventajas de las viviendas bioclimáticas*. Recuperado de <http://www.ecologiaverde.com/ventajas-y-desventajas-de-las-viviendas-bioclimaticas/>.

Graphisoft. (s.a.). Diseño sostenible integrado en BIM. Archicad. Recuperado de:

http://www.graphisoft.mx/archicad/archicad_17/energy_evaluation/

Mapama (s.a.). ¿Qué es el cambio climático y cómo nos afecta?. Gobierno de España. Recuperado de:

<http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>

Riebeek, H. Global Warming. Earth Observatory. Recuperado de:

<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/>

Pinterest. (s.a.). Planos arquitectónicos. Pinterest. Recuperado de

<https://www.pinterest.com.mx/pin/655062708269604581/>

