

Esau Islas Gómez

Desarrollo Sostenible – Diseño de salones para la educación básica utilizando el análisis de ciclo de vida

2020



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Desarrollo Sostenible – Diseño de salones para la educación básica
utilizando del análisis de ciclo de vida.

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en:

Ciencias con Línea Terminal en Estructuras

Presenta

Ing. Esau Islas Gómez

Dirigido por:

Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández

Querétaro, Qro. a 26 de mayo del 2020



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias con Línea Terminal en Estructuras

Desarrollo Sostenible – Diseño de salones para la educación básica
utilizando el análisis de ciclo de vida.

Opción de titulación

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ciencias (Estructuras)

Presenta:

Esaú Islas Gómez

Dirigido por:

Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández

Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández

Presidente

Dr. Guadalupe Moisés Arrollo Contreras

Secretario

Dr. Jaime Moisés Horta Rangel

Vocal

Dra. María de la Luz Pérez Rea

Suplente

M.C. Luis Francisco Pérez Moreno

Suplente

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Fecha (será el mes y año de aprobación del Consejo Universitario)

RESUMEN

Los salones escolares en los que pasamos gran parte de nuestra vida pueden ser utilizados como instrumentos de concientización y educación ambiental si se construyen de manera adecuada y siguiendo una serie de parámetros establecidos. Actualmente las aulas en las que se desarrolla la educación pública, únicamente priorizan el estado estructural y dejan de lado consideraciones relevantes para que sus ocupantes tengan unas mejores condiciones que favorezcan el aprendizaje.

Esta tesis presenta la evaluación por medio del Análisis de Ciclo de Vida (LCA) de un aula de clases común en la educación primaria que construye el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa a lo largo del país, con ayuda del software del instituto De Materiales Sustentables Athena y la compara con cuatro propuestas de salones de clases diseñados para cada una de las zonas sísmicas del país y que toma en cuenta parámetros sustentables para no solo provocar el menor impacto en el ambiente posible sino también fungir como un espacio activo que puede leerse como un libro de texto como lo indica la teoría del constructivismo. Esto es con el objetivo de crear conciencia sobre el planeta desde una edad temprana a las futuras generaciones y que puedan afrontar los desafíos que por la poca preocupación ambiental pasada se verán obligados a enfrentar en el futuro.

(Palabras clave: análisis de ciclo de vida, salones de clase, diseño por sismo)

SUMMARY

The classrooms in which we spend large parts of our lives can be used as instruments of environmental awareness and education if they are built appropriately and following a series of established parameters. Currently the classrooms in which public education is developed, only prioritize the structural part and leave aside relevant considerations which can make their occupants have better conditions that improve learning.

This work presents the evaluation through the Life Cycle Analysis (LCA) of a common classroom in basic education that the INIFED builds throughout the country, with the help of the Athena Sustainable Materials Institute software and compares it with four proposals for classrooms, designed for each of the country's seismic zones and which take into account sustainable parameters to not only cause the least possible impact on the environment but also serve as an active place that can be read as a textbook as indicated by the theory of constructivism. This is with the aim of raising awareness about the planet from an early age to future generations and that they can face the challenges that due to little past environmental concern they will be forced to face in the future.

(Keywords: life cycle analysis, classrooms, seismic design)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios que me ayuda y sustenta en cada paso de mi vida diaria y sin el cual no sería nada. A mi esposa en donde encuentro un aliento para seguir adelante, gracias por su paciencia y apoyo incondicional.

A la Facultad de Ingeniería, a todos los profesores, alumnos y personal académico que pudieron influir en mi formación durante mi tiempo ahí. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo económico que mes con mes estuvo presente.

Por último, un muy especial agradecimiento a mis padres quienes son un ejemplo en mi vida diaria, que siempre estuvieron ahí para apoyar y alentar a sus hijos, que nos dieron todo lo que estuvo en sus manos para que pudiéramos llegar muy lejos, con quienes he podido compartir momentos amargos y dulces y a quienes amo, admiro y respeto con todo mi corazón, gracias.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
1. Introducción	10
2. Antecedentes.....	11
2.1 <i>Justificación</i>	17
2.2 <i>Descripción del problema</i>	18
2.3 <i>Hipótesis y objetivos</i>	19
3. Marco teórico	20
3.1 <i>Análisis de Ciclo de vida (LCA)</i>	20
3.2 <i>Certificación LEED</i>	23
3.3 <i>Análisis por Sismo</i>	27
3.4 <i>Escuelas</i>	29
4. Metodología	31
4.1 <i>Elección de Eco-Tecnologías</i>	34
4.2 <i>Distribución de Espacios</i>	36
4.3 <i>Especificación de los Materiales</i>	39
4.4 <i>Determinación de los Modelos Estructurales Posibles</i>	40
4.5 <i>Análisis de Ciclo de Vida</i>	49
4.6 <i>Puntuación LEED</i>	50
4.7 <i>Comparación de los Modelos</i>	50
4.8 <i>Análisis del Modelo de Salón promedio</i>	52
4.9 <i>Contraste de Todos los Modelos</i>	54
5. Resultados y Discusión	57
5.1 <i>Conclusiones</i>	59

5.2 Líneas de investigación futuras.....	60
6. Referencias.....	61
7. Apéndices.....	64
7.1 Anexos.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<i>Tabla 1 - Puntaje LEED (LEED, 2020)</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2 - Principios Edificios de Alto Rendimiento (Subasic, 2009).....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3 - Consumo Energético de una escuela primaria promedio en México (SENER, 2015)</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4 - Aceleraciones Máximas en Roca y Factor de Respuesta (Elaboración Propia, con PRODISIS) ..</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5 - Periodos Característicos (CFE, 2008)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6 - Cargas muertas de diseño (Elaboración Propia).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 7 - Resultados Análisis Sísmico Salón INIFED (Elaboración Propia).....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 8 - Comparativa de Periodos Fundamentales.....</i>	<i>57</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

<i>Figura 1 - Componentes del Desarrollo Sustentable (Sabins, 2012)</i>	12
<i>Figura 2 - Ciclo de vida (Van Dam y Taylor, Building Sustainable Pavements with concrete 2009)</i>	21
<i>Figura 3 - Fases LCA en edificios (ATHENA, Sustainable Materials Institute) About LCA</i>	23
<i>Figura 4 - Zonificación Sísmica de la República Mexicana, INIFED (2014)</i>	28
<i>Figura 5 - Relación entre la CRE y el desarrollo sustentable (UNICEF: CRE Toolkit, 2014)</i>	29
<i>Figura 6 - Diagrama de flujo del Marco Teórico</i>	33
<i>Figura 7 - Sistema de captación de agua (Rotoplas, 2019)</i>	34
<i>Figura 8 - Capas de Techo Verde (Elaboración Propia)</i>	35
<i>Figura 9 - Planta Arquitectónica Zona A (Elaboración Propia)</i>	37
<i>Figura 10 - Planta Arquitectónica Zona B (Elaboración Propia)</i>	38
<i>Figura 11 - Planta Arquitectónica Zona C (Elaboración Propia)</i>	38
<i>Figura 12 - Planta Arquitectónica Zona D (Elaboración Propia)</i>	39
<i>Figura 13 - Modelado Zona A (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	44
<i>Figura 14 - Modo 1: Desplazamiento en X, Zona A (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	44
<i>Figura 15 - Modo 2: Desplazamiento en Y, Zona A (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	45
<i>Figura 16 - Modo 3: Torsión, Zona A (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	45
<i>Figura 17 - Modelado Zona B (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	45
<i>Figura 18 - Modo 1: Desplazamiento en X, Zona B (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	46
<i>Figura 19 - Modo 2: Desplazamiento en Y, Zona B (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	46
<i>Figura 20 - Modo 3: Torsión, Zona B (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	46
<i>Figura 21 - Modelado Zona C (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	47
<i>Figura 22 - Modo 1: Desplazamiento en X, Zona C (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	47
<i>Figura 23 - Modo 2: Desplazamiento en Y, Zona C (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	47
<i>Figura 24 - Modo 3: Torsión, Zona C (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	48
<i>Figura 25 - Modelado Zona D (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	48
<i>Figura 26 - Modo 1: Desplazamiento en X, Zona D (Elaboración Propia CYPECAD 2020)</i>	48

Figura 27 - Modo 2: Desplazamiento en Y, Zona D (Elaboración Propia CYPECAD 2020)	49
Figura 28 - Modo 3: Torsión, Zona D (Elaboración Propia CYPECAD 2020)	49
Figura 29 - Planta Arquitectónica salón INIFED (ALVAREZ, 2014)	53
Figura 30 - Ilustración grafica de la Teoría de la Acción Planeada (Ajzen, 1991)	60

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1 - Espectro Zona A (Elaboración Propia)	41
Gráfica 2 - Espectro Zona B (Elaboración Propia)	42
Gráfica 3 - Espectro Zona C (Elaboración Propia)	42
Gráfica 4 - Espectro Zona D (Elaboración Propia)	43
Gráfica 5 - Comparativa del Potencial de Calentamiento Global - Salones Diseñados por Zonas (Elaboración Propia, ATHENA)	50
Gráfica 6 - Comparativa del Consumo de Combustibles Fósiles -Salones Diseñados por Zonas (Elaboración Propia, ATHENA)	51
Gráfica 7 - Comparativa del Potencial de Agotamiento del Ozono - Salones Diseñados por Zonas (Elaboración Propia, ATHENA)	52
Gráfica 8 - Comparativa del Potencial de Agotamiento del Ozono (Elaboración personal, ATHENA)	55
Gráfica 9 - Comparativa de Consumo de Combustibles Fósiles (Elaboración personal, ATHENA)	55
Gráfica 10 - Comparativa del Potencial de Calentamiento Global (Elaboración personal, ATHENA)	56

1. Introducción

De entre las diversas problemáticas que aquejan a la humanidad, el calentamiento global es una de las principales. El constante y desmedido crecimiento poblacional, la necesidad de recursos y la contaminación que esto genera, provocan que estemos en un planeta cada vez menos habitable, lo que puede llevar a condiciones de vida que sean insufribles. Para contrarrestar esto, es necesario cambiar no solo nuestros sistemas de producción y nuestra excesiva demanda de recursos, sino nuestra sociedad en general.

Para poder cambiar la cultura de una sociedad completa, necesitamos tomar a la educación desde tempranas edades como la base que nos permita realizar este cambio. Hay distintos enfoques que se pueden abordar para alfabetizar a las personas y una de ellas se refiere al constructivismo, la cual nos dice que el entorno que nos rodea no solo lo habitamos sino nos educa y los edificios no son solo espacios pasivos sino se pueden tomar como libros de texto como tal.

2. Antecedentes

La principal causa del calentamiento global son las emisiones de gases de efecto invernadero. Por esto, se toman medidas para preservar al planeta de las consecuencias negativas del calentamiento global causado por la contaminación del aire (transporte, fábricas y plantas de energía), incluido el cambio climático, el aumento del nivel del mar y la modificación de las corrientes marinas (UNESCO, 2005). Debido a esto, hubo la necesidad de hacer un cambio en como tratamos nuestro entorno, con el fin de poder preservar el mundo que nos rodea.

La sustentabilidad, si bien no era un concepto muy conocido hasta tiempos recientes, ha comenzado a tener un auge en las décadas pasadas, por la necesidad de dejar el mundo en un mejor lugar para las futuras generaciones (Sabnis, 2012). Esto ha llevado a empresas de cualquier ámbito a adecuar sus servicios para reducir el impacto que pueden tener sobre el medio ambiente y para lograrlo, muchas de ellas han tenido que planificar sus operaciones en torno al desarrollo sostenible y los conceptos o ámbitos que esto abarca.

El concepto de desarrollo sostenible, por primera vez utilizado en el reporte "Our Common Future" hecho por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo en 1987, define al desarrollo sustentable como: satisfacer las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Este principio abarca mucho más que el desarrollo verde o problemas ambientales, porque comprende tres componentes básicos que son: impactos sociales, económicos y ambientales (Schokker, 2010); ninguno de estos componentes debe ser perdido de vista ya que la solución a los problemas, con un enfoque en desarrollo sustentable, debe de encontrarse en un balance donde estos tres aspectos convergen.

En resumidas cuentas, desarrollo sostenible, es la voluntad de mejorar la calidad de vida de todos, incluido el de las generaciones futuras, aunando el crecimiento económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente. Sin embargo, ningún continente, gobierno, institución o individuo puede lograrlo solo porque la naturaleza de los desafíos a superar requiere un compromiso global, colectivo e individual (UNESCO, 2005).

Mejorar la calidad de nuestra vida implica un cambio en nuestro aprendizaje. Como el Exdirector General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Koichiro Matsuura, enfatiza: "La educación, en todas sus formas y en todos los niveles, no es solo un fin en sí misma sino también uno de los instrumentos más poderosos que tenemos para lograr los cambios necesarios para lograr el desarrollo sostenible. "

Los componentes del desarrollo sustentable antes mencionados, son conocidos como "Triple-Bottom-Line" o Triple Línea de Base y fueron definidos por la Conferencia de Naciones Unidas en Rio de Janeiro en 1992. Su principal función era desarrollar una manera inteligente de crear conciencia sobre el medio ambiente (Sabnis, 2012) con un enfoque desde distintos ángulos, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1 - Componentes del Desarrollo Sustentable (Sabins, 2012)

La Triple Línea de Base se pueden explicar de la siguiente manera: desde el lado ambiental (“Environmental”), es encontrar una manera de tener un desarrollo económico que puede ser sostenido sin necesidad de agotar los recursos naturales. El lado económico (“Economic”) hace énfasis en que para que una empresa siga siendo un miembro valioso de la comunidad en la que opera y contribuya al medio ambiente y sostenibilidad social, debe operar con ganancias a largo plazo. Por último, están los impactos sociales (“Social”) que se refieren a que las industrias sustentables deben proveer a la sociedad efectos positivos a través de educación, empleo, etc. (Sabnis, 2012).

Escuelas – Educación para el Desarrollo Sostenible

Para poder lograr el desarrollo sostenible, es necesario considerar la educación sustentable o educación para el desarrollo sostenible, como uno de los fundamentos. La educación es un motor de cambio, entonces, la educación para el desarrollo sostenible contribuirá a que los ciudadanos puedan hacer frente a los desafíos del presente y del futuro y a los líderes a tomar decisiones pertinentes para un mundo viable (UNESCO, 2005).

En el reporte: “UN Decade of Education for Sustainable Development 2005-2014”, la UNESCO menciona que una educación sustentable tendrá como resultado, individuos que hayan adquirido pensamiento crítico y creativo que, en el manejo de conflictos, estrategias de resolución de problemas y evaluación de proyectos, puedan tomar parte activa y contribuir a la vida de la sociedad, siendo respetuoso con la Tierra y la vida en toda su diversidad; esto está en pro del principal objetivo que persigue el desarrollo sostenible.

Un correcto diseño de espacios físicos puede ser una base para una mejor comprensión de nuestra relación con el medio ambiente; por lo tanto, se puede decir que un edificio escolar ofrece un papel de alguna manera pedagógico al fomentar la alfabetización ambiental visual (Tucker & Izadpanahi, 2017).

Taylor, en su trabajo “Learning Environment as a three Dimensional Textbook” hace énfasis en que la estructura por sí misma y entorno no son solo espacios pasivos, sino que también pueden ser una herramienta de aprendizaje activa para el aprendizaje de física, geometría, botánica y ecología, ya que maestros, alumnos y padres aprenden a "leer el entorno", interactuar y aprender de él en muchos niveles (Taylor, 1993).

Tucker e Izadpanahi concluyen en su estudio sobre la influencia de los edificios escolares en los estudiantes, que el diseño sostenible de las escuelas es influyente para aumentar las actitudes y conductas ambientales de los niños. Por lo tanto, se puede alentar a los diseñadores y educadores escolares a colaborar para crear escuelas que faciliten el aprendizaje a través del compromiso con la educación para el desarrollo sustentable (Tucker & Izadpanahi, 2017).

De aquí entonces la importancia del diseño de un salón escolar, que proporcione las herramientas necesarias para crear una educación y cultura encaminada al desarrollo sustentable.

Diseño Sustentable

La construcción es una de las industrias que más rápido crecen y evolucionan, por esta razón y por su naturaleza, puede jugar un papel importante en términos de agotamiento de los recursos no renovables, generación de desechos, alto consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero (Bahareh et al 2011). Debido a esto fue necesario que este sector se adecuara en la medida de lo posible al desarrollo sustentable; su adaptación comenzó en los años noventa, cuando los sectores industriales incluyendo el sector de la construcción, comenzaron a reconocer el impacto que sus actividades tenían en el medio ambiente (Haapio y Viitaniemi 2008).

Conceptos producto de la adaptación de la industria de la construcción surgieron, tales como “green buildings” y “sustainable buildings” entre otros. El diseño sustentable o sostenible comenzó a ser parte de los diseños estructurales

en las nuevas edificaciones y paso de simplemente ser un “diseño verde” a edificios de alto rendimiento o como se les conoce High-Performance Buildings (Subasic, 2009).

El diseño de edificios de alto rendimiento, integra los conceptos sociales, económicos y ambientales, tratando de relacionar a todas las partes involucradas en el diseño de una construcción, para que no solo se enfoquen en su área específica, sino trabajen como conjunto.

LCA – Análisis de ciclo de vida

Existen herramientas para apoyar en el diseño sustentable, una de ellas es el análisis de ciclo de vida o LCA (Life Cycle Assessment). El LCA es un mecanismo utilizado para realizar la evaluación cuantitativa del material utilizado, los flujos de energía y los impactos ambientales; es una técnica para evaluar aspectos asociados con el desarrollo de un producto y su posible impacto a lo largo de la vida de un producto (desde la cuna hasta la tumba) desde la adquisición de la materia prima, el procesamiento, fabricación, uso y finalmente su eliminación (Sharma et al, 2011).

Este tipo de análisis nos sirve para evaluar el riesgo ambiental de los recursos de cualquier tipo, asociados con el producto, que en este caso es una construcción.

Según Klöpffer (2006) el LCA se ha convertido en una metodología ampliamente utilizada por la forma integrada de tratar temas como el marco de referencia, la evaluación de impacto y la calidad de los datos. La metodología del LCA se basa en los estándares internacionales ISO 14040 y consta de cuatro pasos: definir el objetivo y el alcance, crear el inventario, evaluar el impacto y finalmente interpretar los resultados (ISO, 2006). Existen diversos tipos de software para realizar un LCA, de los cuales, algunos son utilizados para el sector de la construcción como lo es ATHENA, desarrollado por el Athena Sustainable Materials Institute.

LCA – Software ATHENA

El Instituto ATHENA trabaja con líderes de la sostenibilidad en la fabricación de productos, diseño de edificios, construcción y programas ecológicos para evitar grandes impactos ambientales en la producción y el consumo de materiales de construcción. El ciclo de vida de este programa, se basa en seis etapas que son: extracción de recursos, fabricación, construcción en sitio, ocupación/mantenimiento, fin de vida y por último reciclaje/reutilización/eliminación (About LCA, 2013).

Dentro de su software se encuentra el “Impact Estimator for Buildings” que es un programa que permite modelar configuraciones personalizadas de sistemas constructivos y aislamientos, para diseños propuestos o edificios existentes. Si se requieren modelos predefinidos, se puede utilizar el EcoCalculator, donde el usuario solo necesita ingresar los pies cuadrados de cualquier sistema constructivo preestablecido, para recibir resultados instantáneos de la evaluación de impacto del ciclo de vida (ATHENA, 2018).

LEED

Con el fin de poder parametrizar las edificaciones sostenibles de una manera cuantitativa, nacieron distintos organismos encaminados a revisar las construcciones tanto nuevas como existentes, ofreciendo certificaciones basadas en puntos que se obtienen de acuerdo a parámetros previamente establecidos. En el año 2000 el US Green Building Council desarrollo el sistema LEED (Leadership in Energy & Environmental Design).

LEED es un programa de certificación que reconoce a los edificios con un menor impacto ambiental, además LEED adopta un enfoque de construcción integral que alienta y guía un proceso colaborativo e integrado de diseño y construcción (Vangeem y Marceau, 2002).

Este programa de certificación independiente, sirve como herramienta para construcciones de todo tipo y tamaño, y valida las características sustentables de algún proyecto o construcción existente.

Estudios afirman que se puede implementar el Life Cycle Assessment (LCA) para obtener estándares de sustentabilidad más altos en el LEED (Dekkiche y Taileb, 2016). Cuando se implementa el LCA, los resultados mejoran la evaluación de sostenibilidad en las construcciones.

La evaluación del ciclo de vida permite realizar análisis para evaluar cómo se distribuyen los impactos entre los procesos y las etapas del ciclo de vida. Por lo tanto, el uso de LCD podría proporcionar una plataforma para comparar los sistemas de calificación de construcción sostenible para comprender el enfoque, la efectividad y las consecuencias de cada sistema (Ming Hu, 2017).

2.1 Justificación

La mayor preocupación ante el futuro de la humanidad son las consecuencias que el cambio climático trae consigo, tales como el calentamiento global, que produce sequías, inundaciones y huracanes. Esto se debe al aumento enorme en los gastos de servicios sanitarios, protección de los medios de subsistencia y vivienda entre otros (Mendizabal, 2015). Para revertir esta situación el desarrollo sostenible es necesario, ya que la sociedad no frena su demanda de bienes y servicios.

Anthony Lake, Director Ejecutivo de la UNICEF en abril de 2013 dijo: “El desarrollo sostenible empieza y termina con niños en un entorno seguro, saludables y bien educados”. De modo que, para poder alcanzar la sostenibilidad ambiental en el consumo de agua, energía y materiales, la educación puede desempeñar un papel crucial en la creación de una sociedad ambientalmente alfabetizada (Tucker & Izadpanahi, 2017).

Burucu Gulay menciona que un método ideal para la educación de la sostenibilidad es, considerar los entornos construidos y naturales como un libro que debe leerse y usarlos como materiales de aprendizaje; porque, como es un hecho conocido, no todos los niños pueden aprender leyendo libros o escuchando a los maestros. Un edificio escolar debería de diseñarse de acuerdo con los criterios de sostenibilidad y recordar el hecho de que su producto no es solo un lugar donde se desarrolla la educación, sino que también es, en sí mismo, un entorno para el aprendizaje (Gulay, 2015).

El papel del ingeniero estructurista en el diseño sostenible tiene que ver con las estrategias sustentables que tienen un impacto directo en el diseño estructural de una construcción (Subasic, 2009). Si bien el estructurista es una parte del equipo de diseño, este debe trabajar en conjunto con las otras disciplinas para en conjunto lograr el mejor diseño integral de la edificación.

2.2 Descripción del problema

México emite 472 millones de toneladas de CO₂ al año, por la producción ineficiente de energéticos, industria y energía (Banco Mundial, 2014) y es participe con el 1.5% de los gases que generan el efecto invernadero a nivel global. En cuestión de desarrollo sustentable se encuentra en el lugar 84 por detrás de países como Bután, Jamaica y Bolivia (SGD, 2018), muy por detrás de países como Suecia y Dinamarca que lideran esta clasificación.

Es necesario que México tenga un cambio cultural en cuanto a la cuestión ambiental. Para lograr esto, la educación desde tempranas edades debe ser la base, porque es la mejor forma de crear una sociedad que en un futuro tome en cuenta el desarrollo sustentable en todos los aspectos de su vida, tales como: como transporte, alimentación, higiene y por supuesto la construcción de viviendas, escuelas y edificios. Parte de esta educación se obtiene del entorno que nos rodea y la percepción que tenemos del mismo; de aquí la importancia de un modelo diferente de salones escolares, que integren distintos conceptos

ambientales y no solo mitiguen la propia huella ecológica que deja la edificación sino complementen a la educación de los individuos que los habitan.

Actualmente las aulas de educación básica en las instituciones públicas en México, siguen un patrón que parece basarse únicamente en la seguridad que indican los distintos reglamentos de construcción, y no persigue un diseño que, además de ser estructuralmente seguro, apoye la educación para el desarrollo sustentable tanto en alumnos, profesores y demás individuos, e igualmente aminore el impacto ambiental que una estructura en funcionamiento tiene en cuestiones de luz, agua, deshechos, espacios, etc. Todo esto en pro de enfocar al país a la sostenibilidad.

Aunado a esto, el diseño estructural no debe descuidarse especialmente en un país que, dependiendo la zona, puede llegar a tener serios problemas si se presenta un evento sísmico de gran magnitud.

2.3 Hipótesis y objetivos

Hipótesis: Un diseño estructural, basado en el análisis de ciclo de vida en conjunto con la parametrización LEED, se puede usar como herramienta para alcanzar la sustentabilidad y mejorar las condiciones para la educación básica.

Objetivo: Encontrar el modelo más eficiente, económica, social y ambientalmente, de un salón clases para educación básica; comparando distintos materiales y diseños estructurales, utilizando el software de ATHENA para realizar un análisis de ciclo de vida (LCA) e integrarlo al sistema de puntuación LEED, y realizar la comparativa con un edificio escolar promedio en México.

3. Marco teórico

A continuación, se presenta los conceptos teóricos que implica un análisis de ciclo de vida, que deben tomarse en cuenta porque pueden afectar directamente en la selección de materiales de construcción y como afectan en la sustentabilidad. También se mencionan las especificaciones del sistema de puntuación del programa de certificación sustentable LEED, las consideraciones que toma en cuenta, su relación e integración con el análisis de ciclo de vida y las recomendaciones en la planeación del diseño de una edificación.

Por último, las consideraciones que se deben tener para el análisis por sí mismo, la relación que tiene la educación con el desarrollo sustentable y el impacto que una edificación planeada con fundamentos sustentables puede tener en la percepción de sus ocupantes; apoyando así la educación para el desarrollo sustentable, creando una conciencia ecológica.

3.1 Análisis de Ciclo de vida (LCA)

Para lograr un diseño sostenible o sustentable, se necesitan métodos y herramientas para medir y comparar los impactos ambientales de las distintas actividades humanas para varios productos (Sharma et al, 2011). De aquí que la incorporación del Análisis de Ciclo de Vida (LCA) al diseño de una construcción puede beneficiar ampliamente porque permite optimizar los factores sociales, económicos y ambientales que son los principales indicadores de la sustentabilidad (Ortiz et al, 2009).

Según el manual Green Building with Concrete (Sabnis, 2012), para el LCA, idealmente el ciclo del material debe ser cerrado y sin desperdicios. Por lo tanto, se aplican las siguientes reglas al seleccionar los materiales para la construcción sustentable:

- Deben consumir menos energía al ser producidos.

- No deben involucrar el transporte a larga distancia (tanto para las materias primas como para el producto terminado).
- Los recursos naturales y las materias primas utilizadas no deben afectar el medio ambiente.
- Deben ser fáciles de reciclar, o en su defecto fáciles para poder eliminarse en basureros.
- Deben ser seguros tanto en producción y uso.
- En la medida de lo posible, utilizar materiales obtenidos de reciclaje.
- Deben tener larga vida y durabilidad.

Según Van Dam y Taylor (2009), la sustentabilidad puede ser evaluada con base en una metodología que mida y compare los aspectos económicos, ambientales y sociales, influenciados por el ciclo de vida de la edificación, como se muestra en la Figura 2.

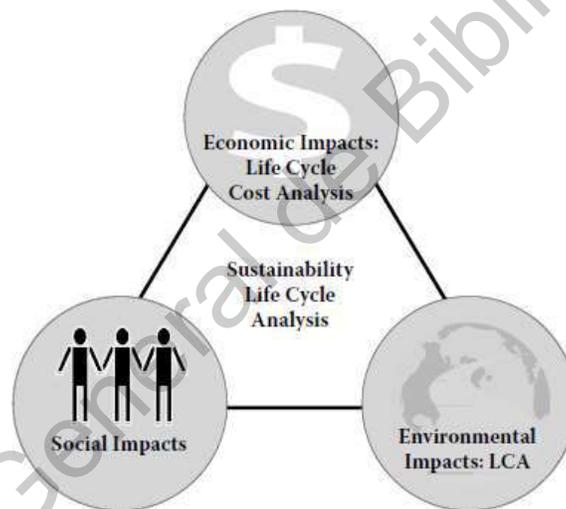


Figura 2 - Ciclo de vida (Van Dam y Taylor, Building Sustainable Pavements with concrete 2009)

Esta metodología está diseñada para usarse de varias maneras, ya sea hacer una evaluación comparativa de la práctica actual y evaluar las mejoras a medida que se implementan, comparar diferentes sistemas o soluciones de forma equitativa o evaluar los beneficios relativos de los enfoques alternativos al diseño, la selección de materiales, etc. Aunque el LCCA (Life Cycle Cost Analysis), está enfocado a los pavimentos.

Para desarrollar esta metodología, es muy útil el software de ATHENA que el Sustainable Materials Institute provee. El Estimador de Impacto de ATHENA y EcoCalculator son herramientas con una evaluación detallada del ciclo de vida que proporcionan acceso a los resultados del LCA en la construcción de productos y reportan los resultados de un edificio. Los impactos se pueden ver en conjunto o se desglosan por seis fases (About LCA, 2013):

- **Extracción de recursos:** Se hace el seguimiento del uso de energía y las emisiones al aire, agua y tierra por unidad de recurso utilizado en la construcción. Además de la extracción, que incluyen actividades como la reforestación y también incorpora el transporte de materias primas.
- **Fabricación:** Esta etapa normalmente representa la mayor proporción de energía incorporada y emisiones asociadas con el ciclo de vida de un producto de construcción. Comienza con la entrega de materias primas y otros materiales a la fábrica y termina con el producto listo para su envío.
- **Construcción en sitio:** Esta etapa comienza con el transporte de productos individuales y subconjuntos de las instalaciones de fabricación a los distribuidores. Además, la generación de desechos y el uso de energía de máquinas como grúas y mezcladoras, transporte de equipos hacia y desde el sitio, cimbrado de concreto, etc.
- **Ocupación/Mantenimiento:** En la ocupación se toma en cuenta funciones como el aire acondicionado, la iluminación y el uso del agua, así como la introducción de nuevos productos como pinturas, revestimientos de suelos y otros acabados interiores. También considera que un edificio puede ser remodelado o reconfigurado varias veces a lo largo de su vida. En el mantenimiento, se revisan las partes de un edificio que pueden ser modificadas y las que permanecen intactas hasta la demolición.
- **Fin de vida:** Aun cuando la demolición marca el final del ciclo de vida de un edificio, puede no ser el final para componentes individuales o productos que enfrentan una etapa posterior (reciclaje/reutilización/eliminación). Esta parte de LCA tiene una gran incertidumbre; implica tratar de predecir actividades que son un largo camino en el futuro.

Todas estas fases interactúan entre sí formando un ciclo, como se muestra en la Figura 3.

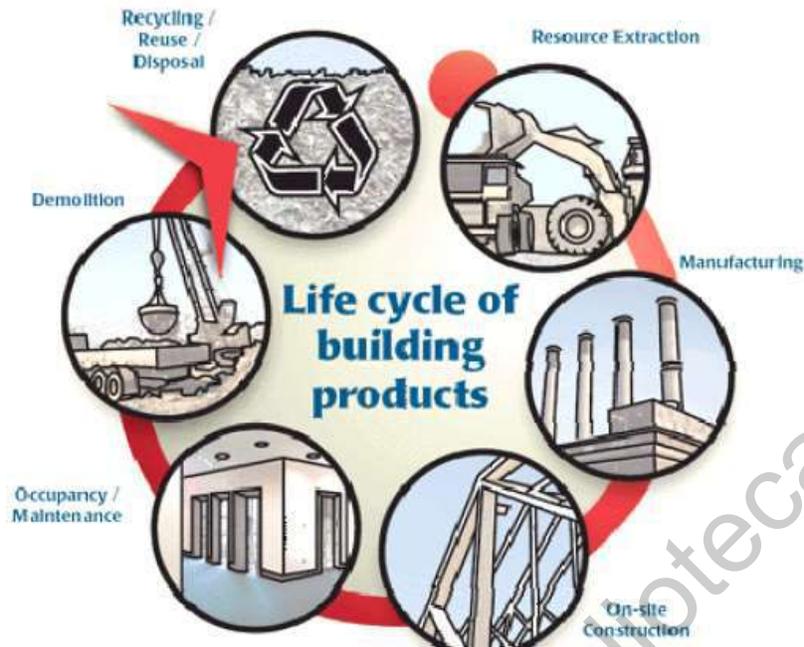


Figura 3 - Fases LCA en edificios (ATHENA, Sustainable Materials Institute) About LCA

3.2 Certificación LEED

Actualmente la versión más moderna del programa LEED, es la v4 que salió en julio de 2018. Según la página oficial del US Green Building Council (USGB) la sección LEED BD+C (Building Design + Construction) comprende a cualquier tipo de proyecto, desde rascacielos comerciales hasta centros de datos, para nuevas construcciones y grandes renovaciones de edificios existentes. En este sector también se acotan los edificios escolares de aprendizaje básicos y auxiliares en terrenos escolares K-12. También se puede utilizar para la educación superior y edificios no académicos en los campus de la escuela.

Todas estas categorías se dividen en subcategorías individuales que detallan los aspectos a tomarse en cuenta y el máximo de puntos que se pueden obtener son 110. En función de la cantidad de puntos logrados, un proyecto obtiene uno de los cuatro niveles de calificación LEED: Certificado (40 – 49), Plata (50 – 59), Oro (60 – 79) o Platino (80+).

Los proyectos que persiguen la certificación LEED obtienen puntos en varias categorías, que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 - Puntaje LEED (LEED, 2020)

<i>CATEGORIA</i>	<i>PUNTAJE</i>
<i>UBICACIÓN Y TRANSPORTE</i>	16
<i>SITIOS SUSTENTABLES</i>	12
<i>EFICIENCIA DE AGUA</i>	11
<i>ENERGIA Y ATMOSFERA</i>	33
<i>MATERIALES Y RECURSOS</i>	13
<i>CALIDAD AMBIENTAL INTERIOR</i>	16
<i>INNOVACIÓN</i>	6
<i>PRIORIDAD REGIONAL</i>	4

Othman et al (2014) en su estudio sobre la integración de LCA en LEED para la estructura en edificios de escuelas, hicieron un modelo que incorpora el Life Cycle Assessment en el sistema de puntuaciones de LEED para una mejor evaluación de la sostenibilidad de la estructura, utilizando distintos tipos de recubrimientos en edificios escolares.

Utilizaron acero, concreto, mampostería y madera como bases para la estructura; en cuanto al recubrimiento se usaron paneles prefabricados, postes de acero, postes de madera y muro doble de tabique, considerando una vida útil de 75 años. Y dieron las siguientes recomendaciones principales:

- Los edificios de concreto y mampostería tienen un alto consumo de energía durante las etapas de fabricación, construcción y demolición. Sin embargo, reducen el consumo de energía y el impacto ambiental durante la operación y durante el ciclo de vida general.
- El edificio de concreto con aislamiento mínimo ha obtenido el puntaje LEED total más alto, seguido de la mampostería, mientras que el acero y la mampostería con acero quedaron al final.
- La aplicación de las recomendaciones K-12 AEDG resultó en el máximo ahorro de energía.

- El puntaje LEED promedio en la categoría de materiales y recursos no excedió 6, lo que indica el nivel de los obstáculos en la industria de la construcción en el reciclaje y la reutilización de materiales.
- Este modelo se puede mejorar incluyendo la calidad del aire interior, y con las modificaciones apropiadas, se puede aplicar para otro tipo de edificios y regiones climáticas. También sería ideal hacer el análisis de costos para seleccionar materiales más adecuadamente.

Una observación importante que realizaron fue que el LCA obtiene puntajes LEED menores a los que merece ya que se le incluye en la categoría de "Procesos de Innovación y Diseño". Por lo tanto, sería bueno que se revisara la estructura LEED para acomodar en ella puntajes asignados de acuerdo con su papel decisivo en la puntuación de sostenibilidad.

Las herramientas y los datos del software de ATHENA se pueden utilizar aisladamente, o en conjunto con LEED, Green Globes, el estándar nacional de construcción verde ICC 700, ASHRAE 189.1, CalGreen y el código internacional de construcción ecológica; de aquí la selección para su uso.

Las categorías individuales en el programa de certificación LEED, se observa que ciertos criterios son más preferenciales que otros para los edificios escolares, tales como: la iluminación adecuada aprovechando la luz del día, que garantizaría la comodidad de los lugares para la educación, la comodidad acústica, ventilación natural, aire acondicionado, eficiencia energética, espacios verdes, etc. Esto da la pauta para enfocar que el diseño sustentable de los edificios escolares es de gran importancia para la educación sustentable (Gulay, 2015) y por ende para el desarrollo sostenible.

Sagun Christine A. Subasic en "Sustainable Buildings and Structural Engineer" (2009). Los edificios de alto rendimiento deben de considerar los siguientes principios adaptados de la High Performance School Building and Strategy Guide del Sustainable Buildings Industry Council (Washington, DC), que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 - Principios Edificios de Alto Rendimiento (Subasic, 2009)

CONCEPTO	DESCRIPCION
<i>La luz del día y el control visual</i>	La luz del día incluye la orientación del edificio, el uso de ventanas, domos, etc. para tener la mayor cantidad de luz natural. Impacta estructuralmente en la colocación de muros de carga, columnas, y otros elementos estructurales, así como el dimensionamiento de marcos para ventanas más amplias.
<i>Planificación ambientalmente sensible del sitio</i>	Esta parte incluye proveer de sombras para estacionar, infraestructura adecuada para tormentas, pavimentos permeables y también los techos verdes. El diseño de estructuras a partir de cargas muertas proporcionadas por el sistema de techo verde y otros sistemas especiales.
<i>Eficiencia de agua</i>	Utilizar equipos ahorradores de agua, reutilizar el agua de lluvia (considerar peso del almacenaje de agua en el diseño estructural interno o externo).
<i>Confort acústico</i>	Utilizar materiales con mayor masa ayuda bastante a disminuir la transmisión del sonido. De igual manera el uso de muros de block o ladrillo pueden aislar el sonido.
<i>Análisis de energía</i>	Un análisis de energía puede llevar a un edificio energéticamente más eficiente. Con los resultados del mismo se pueden tomar decisiones en cuanto a la orientación, iluminación, etc.
<i>Envoltura de construcción</i>	Crear barreras contra el aire, así como aislamiento térmico proporcionado por estas mismas.
<i>Comodidad térmica</i>	Controlar la temperatura y humedad del edificio. Reducir la temperatura dentro del edificio utilizando paredes de concreto expuesto u otros materiales.
<i>Alto rendimiento HVAC</i>	Utilizar ventilación natural, chimeneas térmicas y espacios

	verticales para sacar el aire caliente.
<i>Calidad ambiental superior en interiores</i>	Reducir los compuestos volátiles orgánicos (VOCs). Se puede lograr evitando utilizar pinturas y recubrimientos aplicados en el lugar.
<i>Seguridad y protección</i>	Se deben considerar factores de diseño contra explosiones e impactos, así como diseñar contra incendios. También zonas de evacuación adecuadas.
<i>LCCA</i>	El costo total de la vida del edificio: construcción, mantenimiento y demolición, inclusive hasta reciclaje.
<i>Materiales ambientales</i>	Considerar impacto ambiental de los materiales usados, como: manufactura, eficiencia de uso, desperdicios y vida útil.

En cuanto a los materiales, considerar: Materia prima (abundancia, localización regional), durabilidad, eficiencia energética, contenido y componentes reciclados, sin sustancias tóxicas, reducción de desechos durante su producción y construcción, uso eficiente en el diseño, usar energía renovable, uso de agua reciclada, etc. No habrá un material que las cumpla todas, pero dependiendo del uso se pueden considerar los aspectos más importantes que debe cumplir (Subasic, 2009).

3.3 Análisis por Sismo

Las consideraciones que se deberán de tomar para el análisis sísmico son las mencionadas en el manual de construcción de la CFE. Este manual clasifica a las estructuras en 3 categorías, de entre las cuales las escuelas están en el grupo A que se define como estructuras que requieren un alto grado de seguridad, son construcciones que de presentar una falla estructural causarían un número elevado de pérdidas humanas, culturales o económicas (CFE, 2008).

Otro subgrupo que debe considerarse, es la clasificación de las estructuras dentro del Grupo A es la clase, en este caso sería clase 2: Estructuras que no pertenecen ni se relacionan con el sector energético o industrial (escuelas, hospitales, etc).

También hay que considerar la zonificación sísmica de la República Mexicana. En la Figura 4 se muestra en términos generales el nivel de riesgo sísmico para ciertas áreas determinadas.



Figura 4 - Zonificación Sísmica de la República Mexicana, INIFED (2014)

Este mapa se encuentra también en las Normas y Especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones de la INIFED en las especificaciones de Diseño por Sismo (INIFED, 2015).

Como lo muestra la Figura 4, el país se divide en cuatro regiones de la “A” a la “D”. dicha clasificación es utilizada en reglamentos de construcción con el objetivo de exponer los requisitos mínimos de diseño que se deben seguir para que una estructura tenga suficiente seguridad estructural.

Debido a que cada área señalada cuenta con condiciones diferentes de diseño, se propondrá hacer 4 tipos de salones diferentes, con el objetivo de que cada uno tenga las consideraciones específicas para el área en la cual estará planeada su construcción.

3.4 Escuelas

La UNICEF en su publicación sobre los derechos de los niños, menciona que el centro del desarrollo sustentable, se encuentra la educación de los derechos de los niños (CRE), y esta comprende la educación para el desarrollo sostenible, educación para la paz y educación contra el racismo. Como se muestra en la Figura 5 (UNICEF: CRE Toolkit, 2014).

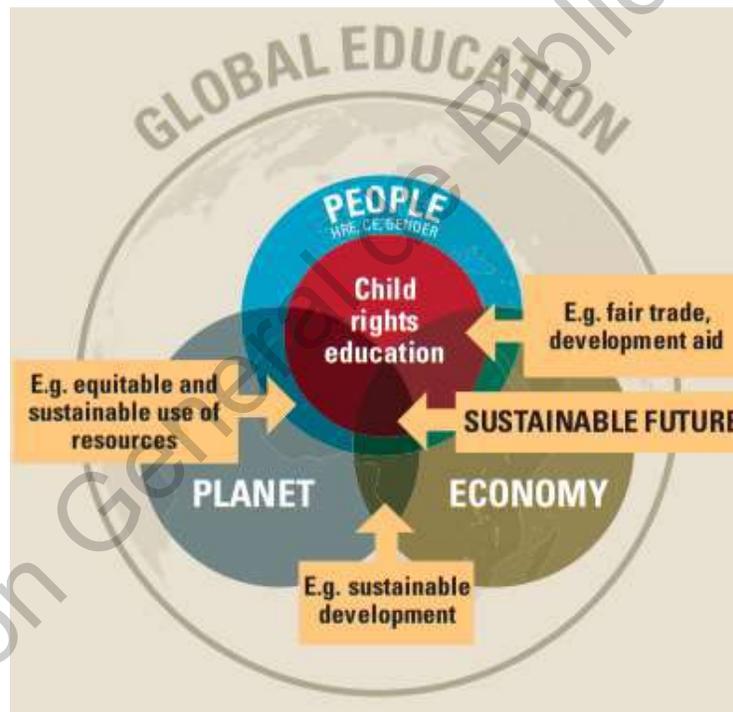


Figura 5 - Relación entre la CRE y el desarrollo sustentable (UNICEF: CRE Toolkit, 2014)

Una de las teorías del aprendizaje es el Constructivismo. Esta teoría afirma que el aprendizaje es un proceso activo y contextualizado de construcción del conocimiento en lugar de adquirirlo, lo que quiere decir que el conocimiento se

construye a partir de experiencias personales e hipótesis del entorno (Ertmer et al, 1993).

Burger y Thompson definen el aprendizaje como "la relación entre el estímulo y la respuesta" (Berger y Thompson, 1995), de modo que el aprendizaje ocurre cuando las nuevas experiencias evocan nuevos comportamientos y actitudes. Dado que se ha formulado la hipótesis de que el proceso de desarrollo podría "estar influido por las características de los entornos físicos" (David y Weinstein, 2013).

Burucu Gulay en su estudio hace hincapié que la sostenibilidad ecológica y ambiental, en gran medida, se puede obtener con la arquitectura; y esta vista se puede transferir a los estudiantes sobre edificios (Gulay, 2015).

Un diseño de escuela según los criterios de sostenibilidad puede proporcionar conveniencia para enseñar al alumno muchas cosas útiles, como la conciencia ambiental ecológica, la preservación de la energía, etc. En este sentido, las escuelas sostenibles son materiales concretos que son ideales para enseñar a los estudiantes numerosos conceptos y que son de fácil acceso.

Según el estudio realizado por Tucker & Izadpanahi, el diseño sostenible de las escuelas es influyente para elevar la mayoría de las dimensiones de las actitudes y conductas ambientales de los niños. Por lo tanto, se puede alentar a los diseñadores y educadores escolares a colaborar para crear escuelas que faciliten el aprendizaje a través del compromiso con la educación para el desarrollo sustentable.

Un diseño de escuela debe incluir características de sostenibilidad que mejoren los lazos de los niños con la naturaleza, dándole la importancia que esta merece y aliente a los niños a usar fuentes de energía renovables como la solar, etc. (Tucker & Izadpanahi, 2017).

4. Metodología

En esta sección se muestra la metodología para realizar la selección de materiales, elementos estructurales, modelado, análisis de ciclo de vida, etc. De los cuales saldrán los tipos de salones que tendrán que ser comparados en una primera instancia, y posteriormente con el salón existente.

1. Elección de eco-tecnologías.

Revisar las distintas tecnologías ecológicas existentes, en cuestiones de iluminación, energía, techos verdes, tratamiento y reutilización de aguas negras, captación de agua de lluvia, y de más nuevas técnicas en el mercado, que pudieran utilizarse en el salón escolar. Priorizando el aspecto económico y su viabilidad, en comparación con los posibles beneficios ecológicos.

2. Distribución de espacios.

Dependiendo de la cantidad y el tipo de tecnologías que se decidan implementar, tendrá que hacerse una distribución para analizar los espacios destinados a albergar a las mismas. Como se mencionó anteriormente, serán 4 modelos distintos, uno para cada zona sísmica del país.

3. Especificación de los materiales.

Definir para los cuatro modelos, los diferentes tipos de materiales para la estructura, que, si bien tendrán su mayor impacto en el análisis de ciclo de vida, deberán aportar resistencia en el análisis sísmico.

4. Determinación de los modelos estructurales posibles.

En esta etapa del proyecto se establecen los criterios estructurales, revisando las múltiples ingenierías que convergen en la planeación de la construcción, para hacer un diseño estructural que esté de acuerdo a las normas mexicanas en infraestructura física educativa, que establece el Instituto Nacional de la Infraestructura Educativa (INIFED, 2013) y las normas de diseño por sismo que establece la CFE.

Una vez que sean sentadas las bases de diseño estructural, cada salón deberá ser sometido a las cargas de sismo que su región específica del país demande, dependiendo de su zona de interés. El análisis sísmico se realizará con ayuda del Software de CYPE 2020 y los datos sísmicos se obtendrán del PRODISIS.

5. Análisis de ciclo de vida (LCA).

A través del software de ATHENA, se realizará el análisis de ciclo de vida de cada uno de los 4 modelos, con un periodo de retorno de 50 y 80 años, para obtener los parámetros de consumo de energía (kWh), potencial de calentamiento global (kg CO₂ eq.) y las emisiones en el aire, agua y tierra, que todos los insumos utilizados en la construcción producen.

6. Puntuación LEED.

Ya con los modelos definidos y el LCA hecho, se ubicarán los modelos en sus puntuaciones respectivas para realizar la comparación.

7. Comparación de modelos sustentables.

Una vez obtenidos los resultados de LEED y LCA, se compararán los modelos revisando su viabilidad económica y su impacto ambiental.

8. Análisis del modelo de salón promedio.

Se buscará el proyecto de alguna construcción para uso escolar básico que construya el INIFED y se realizará su análisis tanto económico como de ciclo de vida y puntuación LEED.

9. Contraste de todos los modelos.

Todos los resultados obtenidos de los análisis anteriores, incluyendo los 4 modelos sustentables y el modelo existente, se organizarán de manera que puedan compararse todas las categorías analizadas.

10. Discusión, resultados y conclusiones.

Se mostrarán los datos y resultados que se obtuvieron. Los resultados obtenidos serán presentados con detalle para poder hacer una discusión de los casos de estudio, eligiendo el modelo que presente una mejor opción en vías del desarrollo sustentable, justificando su elección y emitiendo comentarios y recomendaciones sobre todos los modelos.

La metodología antes mencionada se aprecia en el diagrama de flujo de la Figura 6:



Figura 6 - Diagrama de flujo del Marco Teórico

4.1 Elección de Eco-Tecnologías

◆ Captación de Agua

El sistema de captación de agua recolectara este recurso desde el techo de cada salón, pasando el agua de lluvia por un filtro que eliminara residuos y finalmente se almacenara en un tanque de retención para posteriormente poder ser utilizada, como se muestra en la Figura 7.



Figura 7 - Sistema de captación de agua (Rotoplas, 2019)

Al no ser potable el agua almacenada, puede utilizarse como agua de riego que pueda residir tanto en el techo verde como en los alrededores de las instalaciones. De cualquier manera, se necesita un sistema hídrico de respaldo para cuando el sistema no cuente con el recurso necesario para su uso (Rotoplas, 2019).

◆ Generación de Energía

El consumo energético en una escuela debe ser ampliamente considerado en cuanto a su ocupación y funcionamiento se refiere.

La Secretaria de Energía (SENER) en su estudio sobre Estudio de Eficiencia Energética en Escuelas indica que el consumo promedio de energía en las escuelas en México es el que se muestra en la Tabla 3 (SENER, 2015). Estos datos son requeridos por el programa de LCA para poder evaluar sus distintos impactos

Tabla 3 - Consumo Energético de una escuela primaria promedio en México (SENER, 2015)

<i>kWh</i>	<i>TIPO DE CONSUMO</i>
158849	Sistemas de aire acondicionado que están integrados por tipo ventana, minisplit y ventiladores
42987	Sistemas de iluminación (interior y exterior)
17676	Cargas misceláneas que se componen de equipos que están ya sea en la cafetería, cooperativa y oficinas
1422	Equipos que aún se conservan en las escuelas y son utilizados para pasar documentales educativos, y los demás equipos de audio que no son muy utilizados
220934	TOTAL

Un panel promedio hoy en la actualidad mide 1 x 1.95 metros y tiene un peso de 22 kilos, esto mientras su potencia este en un rango de 320 a 340 watts, con este tipo de potencia se puede ahorrar en promedio entre un 25 y 30% de energía.

◆ Techo Verde

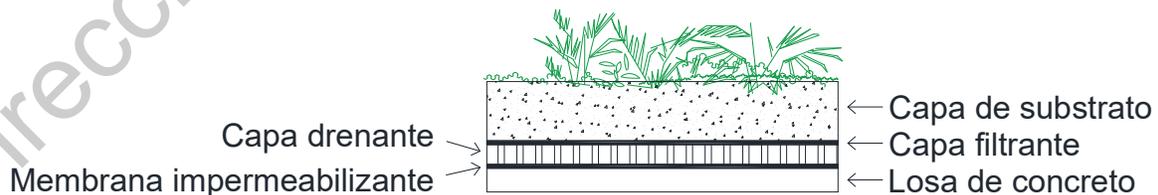


Figura 8 - Capas de Techo Verde (Elaboración Propia)

La composición del techo verde constara de una capa de sustrato, una capa filtrante, capa drenante y por último una membrana impermeabilizante antes de hacer contacto con la losa de concreto como se muestra en la Figura 8.

El peso de este tipo de sistema es de 250 kg/m² una vez saturado.

4.2 Distribución de Espacios

Como se mencionó anteriormente, el diseño se realizará basándose en los parámetros que tiene la INIFED. De los cuales los más importantes que se tomaron en cuenta fueron los siguientes:

- Los grupos tendrán capacidad para un mínimo de 32 alumnos y para un máximo de 45.
- Iluminación natural. Mínimo 17% del área del local. La entrada de luz natural se controlará para minimizar las ganancias térmicas y el deslumbramiento.
- El elemento divisorio entre el salón y las áreas verdes será mínimo 50% de cristal transparente.
- Área mínima de salón 72.00 m² y área mínima de biblioteca 6.00 m².

MODELO ZONA A

El modelo propuesto para la Zona A consiste en un salón dual ovalado con capacidad para 34 estudiantes, con un área total de 79.27 m² de los cuales 73.12 m² son del aula y 6.15 m² son para la biblioteca dentro del aula. En la Figura 9 se puede apreciar la planta arquitectónica.

Este diseño se puede encontrar de una manera más detallada en el Apéndice 1, con sus dimensiones, cortes y fachadas.

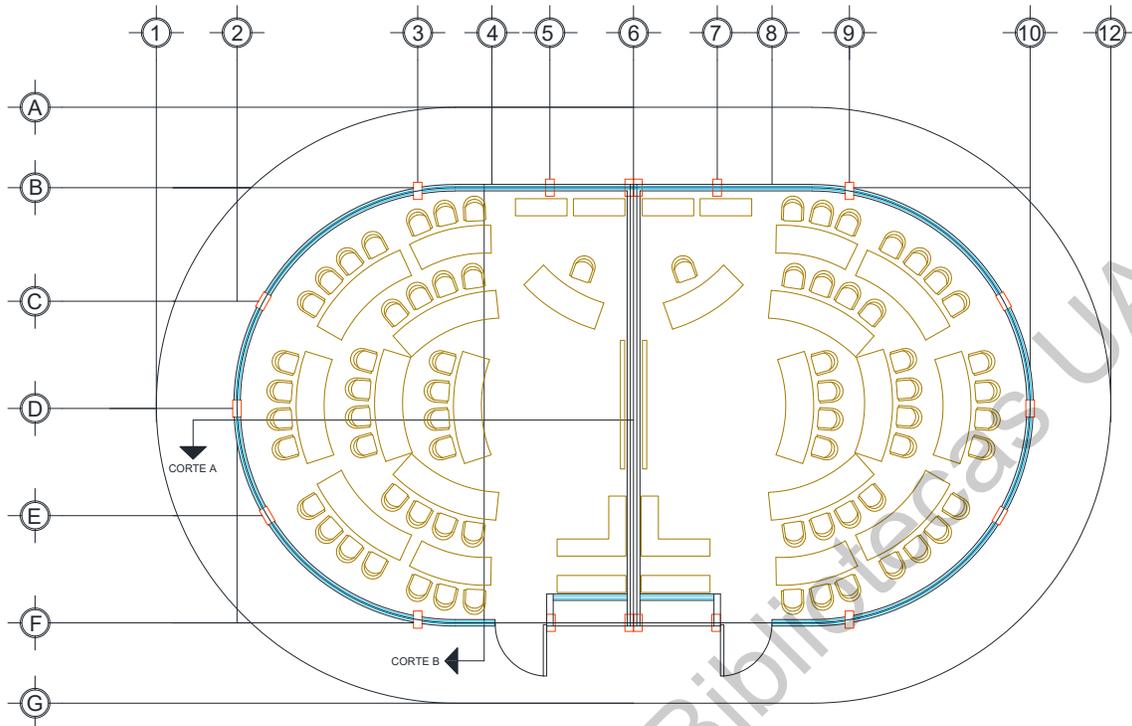


Figura 9 - Planta Arquitectónica Zona A (Elaboración Propia)

MODELO ZONA B

El modelo propuesto para la Zona B es también un salón dual, con capacidad para 32 estudiantes, con un área total de 82.50 m² de los cuales 76.50 m² son del aula y 6.00 m² son para la biblioteca dentro del aula. En la Figura 10 se puede apreciar la planta arquitectónica. Los detalles de este modelo se encuentran en el Apéndice 2.

MODELO ZONA C

El modelo para la Zona C es un salón dual rectangular, con capacidad para 32 estudiantes, con un área total de 80.20 m² de los cuales 72.20 m² son del aula y 8.00 m² son para la biblioteca dentro del aula. En la Figura 11 se puede apreciar la planta arquitectónica, sus detalles completos se encuentran en el Apéndice 3.

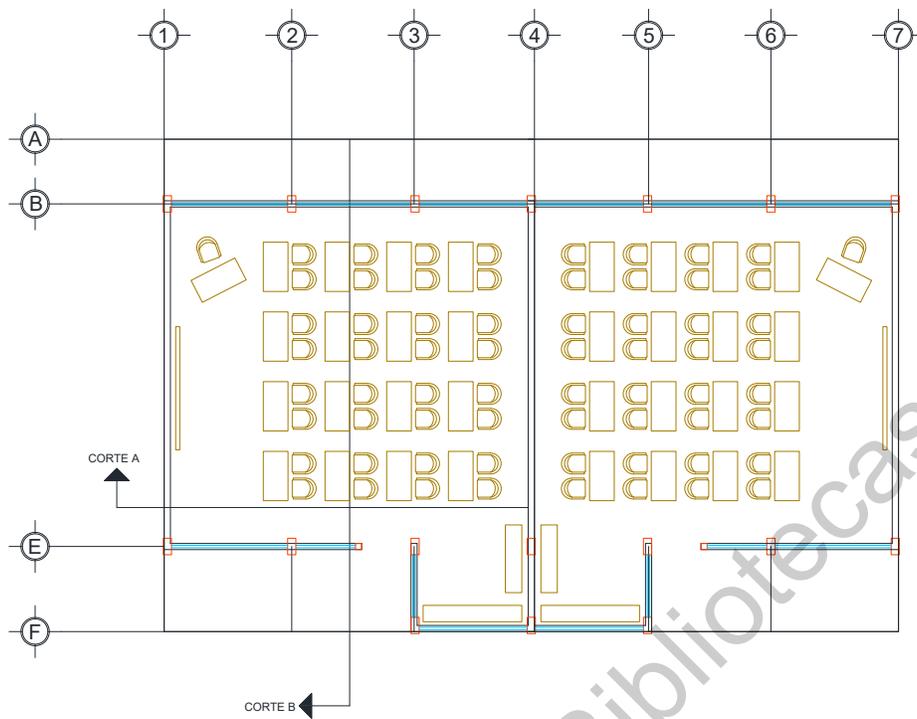


Figura 10 - Planta Arquitectónica Zona B (Elaboración Propia)

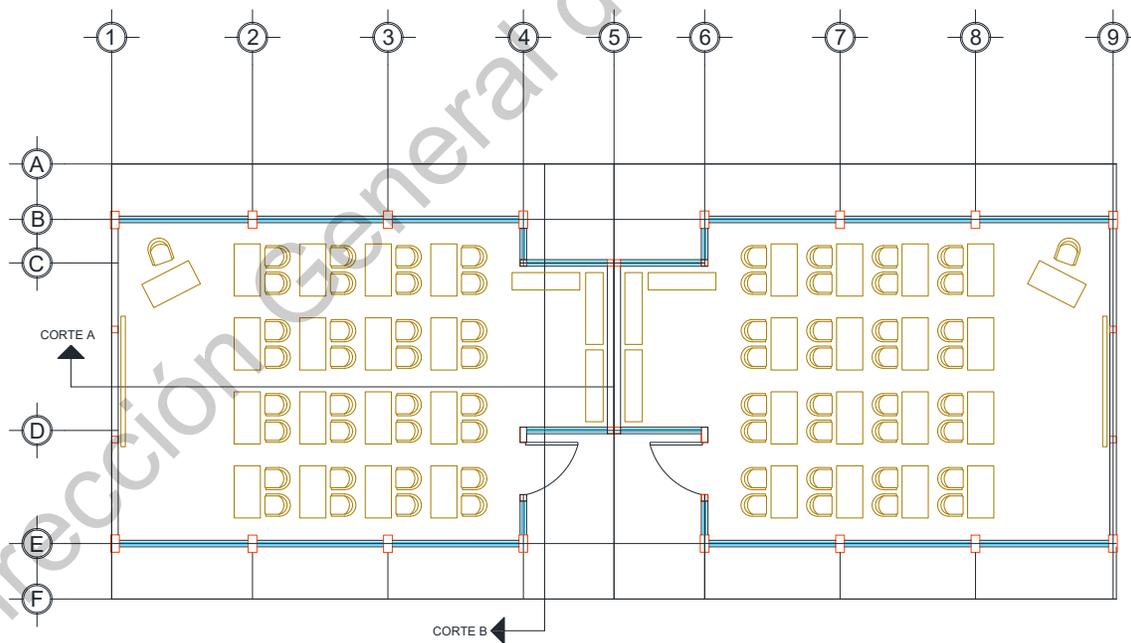


Figura 11 - Planta Arquitectónica Zona C (Elaboración Propia)

MODELO ZONA D

Por último, el modelo para la Zona C es un salón dual, con capacidad para 38 estudiantes, con un área total de 78.00 m² de los cuales 72.00 m² son del aula y 6.00 m² son para la biblioteca dentro del aula. En la Figura 12 se puede apreciar la planta arquitectónica y en el Apéndice 4 sus detalles completos.

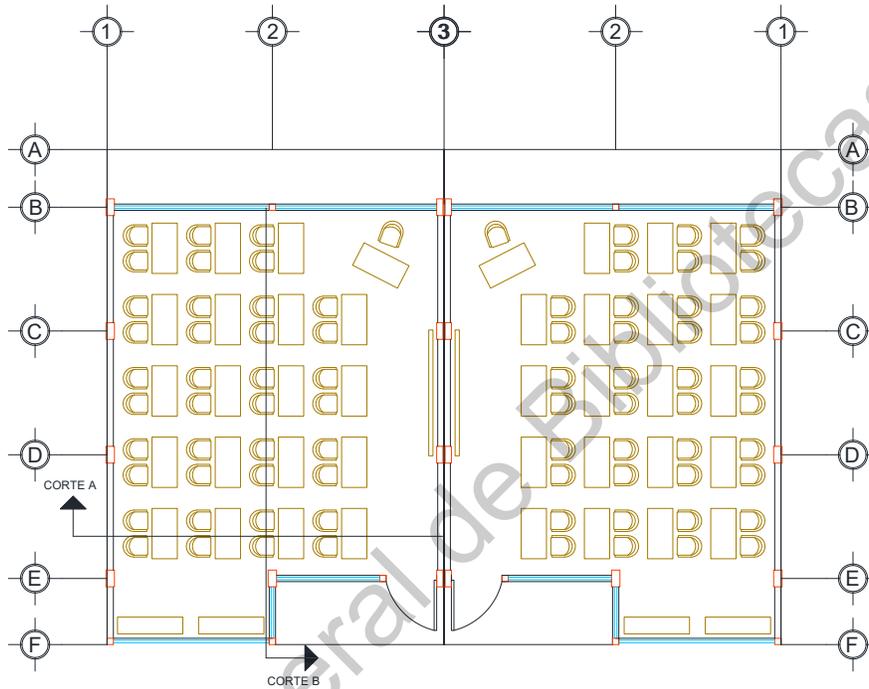


Figura 12 - Planta Arquitectónica Zona D (Elaboración Propia)

4.3 Especificación de los Materiales

CONCRETO ALTERNATIVO (Oscar Ojeda, 2017)

- Residuos de las industrias.
- Sustituto de la arena en morteros base cemento y ocupa entre el 60 y 75% del volumen del concreto.
- Reduce la porosidad del mortero, aumenta su densidad y resistencia a la compresión y la flexión.

- Después de 56 días la mezcla superó en alrededor del 15% la resistencia a comparación de los concretos tradicionales.
- Además de ser más duradero, el cemento ecológico es más barato, ya que el ingrediente principal son los desechos industriales.

LADRILLOS BTC (Construcción Sostenible, 2015)

- Bloques de Tierra Comprimida
- Mezcla de tierra cruda y un material estabilizante, como cal, cemento, asfalto o yeso, que es moldeada y comprimida utilizando una prensa mecánica.
- Estabilizados con Hidróxido de Calcio o cemento.

4.4 Determinación de los Modelos Estructurales Posibles

Las consideraciones que se tomaron para probar los modelos estructurales fueron las siguientes junto con la Tabla 4.

- Grupo A, clase 2 (A2)
- Terreno TIPO I → Terreno firme o rocoso
- Amortiguamiento → Estructuras de concreto reforzado (5%)
- Factor de comportamiento sísmico $Q = 2$
- Factor reductor por sobrerresistencia $R_o = 2$
- Factor por redundancia $\rho = 0.8$
- Factor de importancia estructural $FIE = 1.5$

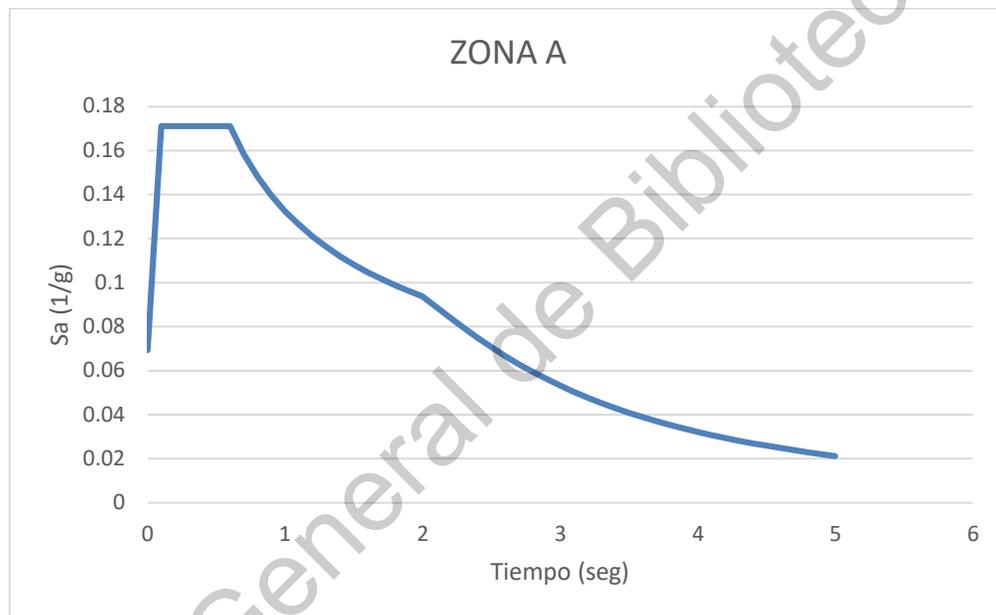
Tabla 4 - Aceleraciones Máximas en Roca y Factor de Respuesta (Elaboración Propia, con PRODISIS)

	a^r_0	F_{Res}
ZONA A	45.36 cm/s ²	2.47
ZONA B	59.39 cm/s ²	2.47
ZONA C	110.71 cm/s ²	2.96
ZONA D	335.13 cm/s ²	2.24

Las distorsiones permisibles de entrepiso serán de $Q = 2 \rightarrow 0.006$. Los espectros de diseño correspondientes a los datos anteriores fueron obtenidos en el PRODISIS y se muestran a continuación.

1. Preliminares para diseño estructural edificio de aulas en zona sísmica A

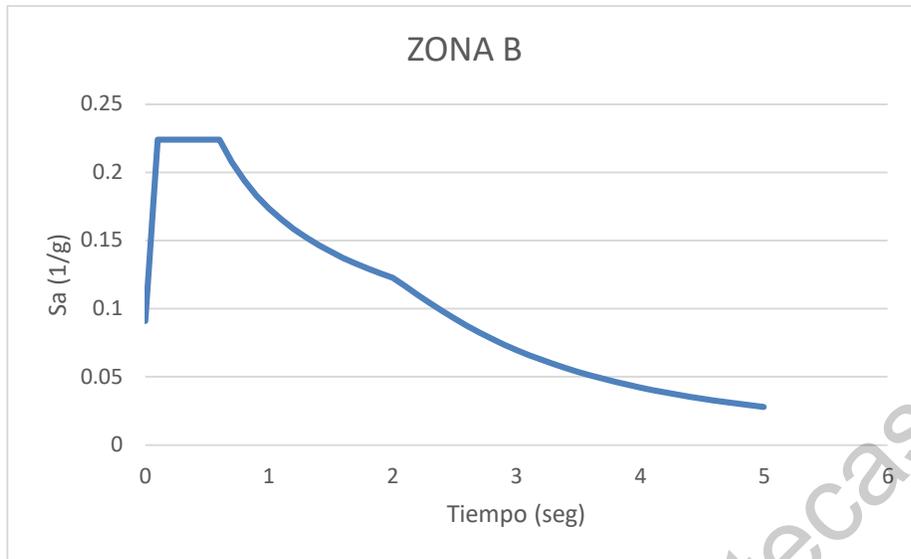
- Francisco I. Madero, Coahuila
- Longitud = -103.231 O
- Latitud = 26.7406 N
- Zona Sísmica: A
- Tipo de Suelo: I
- Clasificación estructural: A2
- $F_{Sit} = 1.00$
- $F_{Res} = 2.47$



Gráfica 1 - Espectro Zona A (Elaboración Propia)

2. Preliminares para diseño estructural edificio de aulas en zona sísmica B

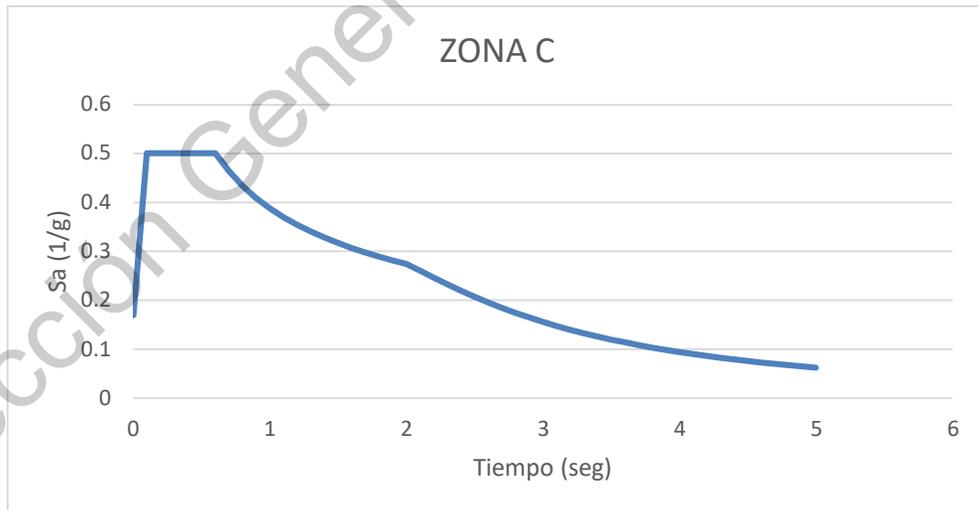
- León, Guanajuato.
- Longitud = -101.585 O
- Latitud = 21.2225 N
- Zona Sísmica: B
- Tipo de Suelo: I
- Clasificación estructural: A2
- $F_{Sit} = 1.00$
- $F_{Res} = 2.47$



Gráfica 2 - Espectro Zona B (Elaboración Propia)

3. Preliminares para diseño estructural edificio de aulas en zona sísmica C

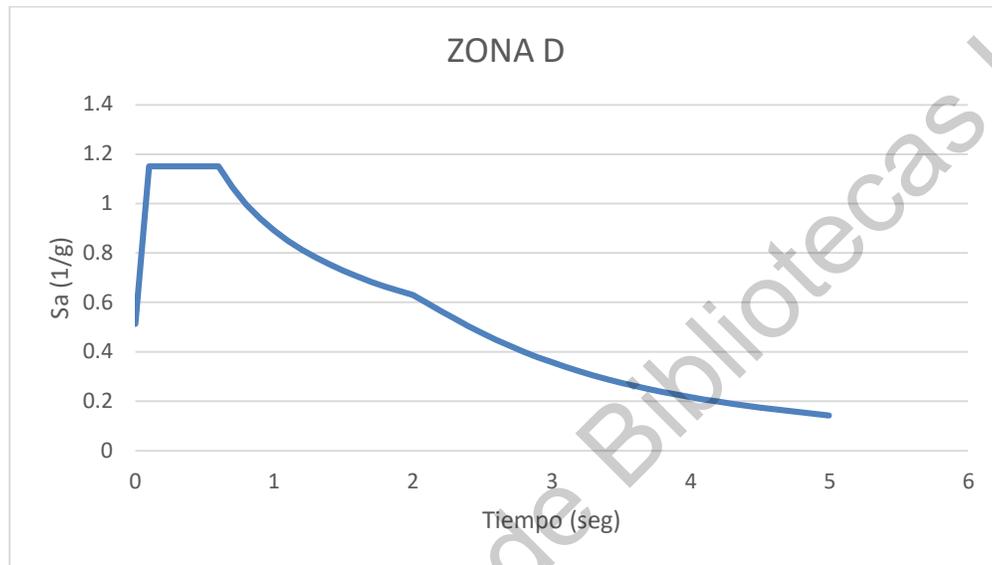
- Pátzcuaro, Michoacán.
- Longitud = -101.582 O
- Latitud = 19.4688 N
- Zona Sísmica: C
- Tipo de Suelo: I
- Clasificación estructural: A2
- $F_{Sit} = 1.00$
- $F_{Res} = 2.96$



Gráfica 3 - Espectro Zona C (Elaboración Propia)

4. Preliminares para diseño estructural edificio de aulas en zona sísmica “D”

- Colima, Colima.
- Longitud = -103.669 O
- Latitud = 19.1229 N
- Zona Sísmica: D
- Tipo de Suelo: I
- Clasificación estructural: A2
- $F_{sit} = 1.00$
- $F_{Res} = 2.24$



Gráfica 4 - Espectro Zona D (Elaboración Propia)

Para todos los espectros anteriores los valores de los periodos característicos y exponentes que controlan las ramas descendentes de los espectros de diseño se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 - Periodos Característicos (CFE, 2008)

Zona	Tipo de terreno	Ta(s)	Tb(s)	Tc(s)	k	r
A, B, C y D	I	0.1	0.6	2.0	1.5	1/2

Después de tener los espectros de diseño se hizo el modelado de cada uno de los salones y se analizó por los desplazamientos en “X”, desplazamientos en “Y” y la torsión, para obtener los periodos fundamentales y las distorsiones en ambos sentidos.

Aunado a eso, las cargas muertas para la losa se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6 - Cargas muertas de diseño (Elaboración Propia)

CARGAS MUERTAS PARA LOSA		
Elemento	Descripción	Kg/m²
Losa	Nervada 20cm nervios 10cm	260
Aplanado	Mortero cemento arena 2.5cm máximo	40
Instalaciones	Instalación eléctrica e hidráulica	20
Relleno	Tepetates o tezonles no saturados (12cm promedio)	160
Techo verde	Peso máximo de elementos saturados	250
Reglamento	Carga adicional por colado en sitio	40
TOTAL		770

El modelado de la zona A y los resultados de los desplazamientos por sismo se muestran en las figuras siguientes.

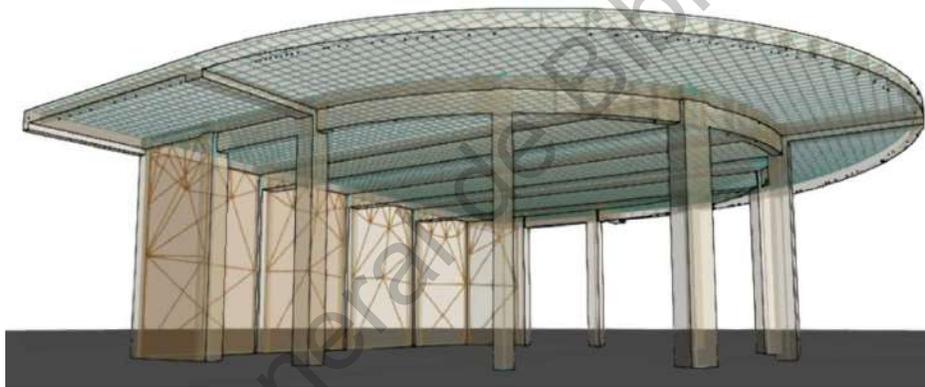


Figura 13 - Modelado Zona A (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

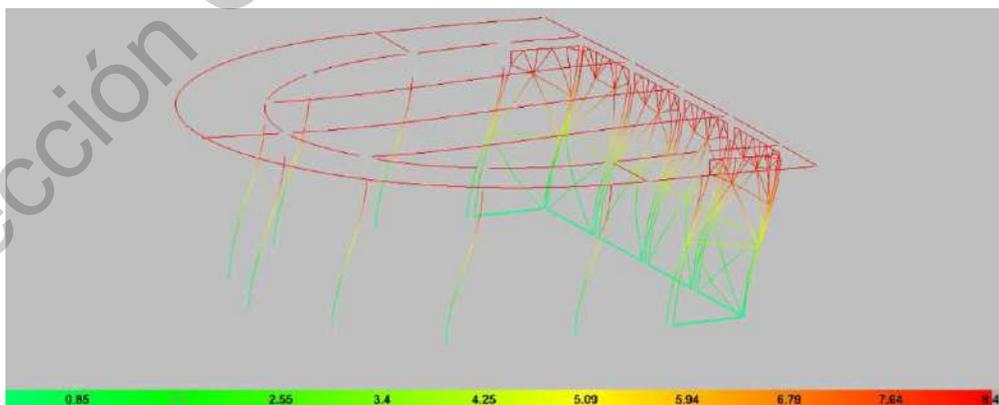


Figura 14 - Modo 1: Desplazamiento en X, Zona (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

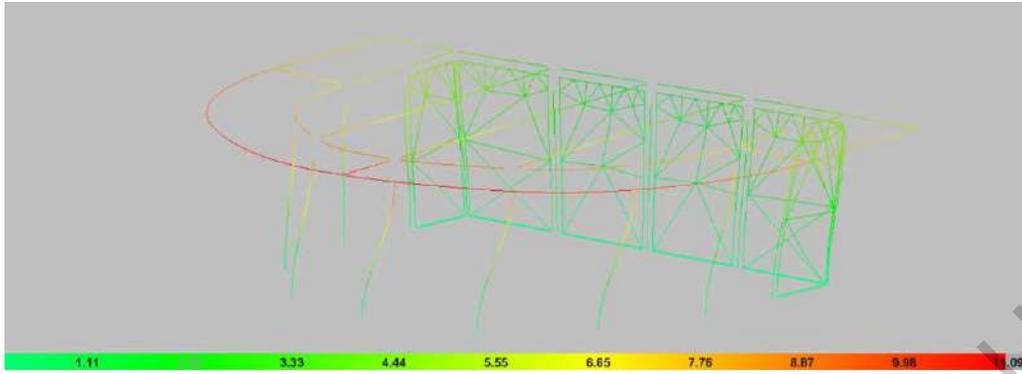


Figura 15 - Modo 2: Desplazamiento en Y, Zona A (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

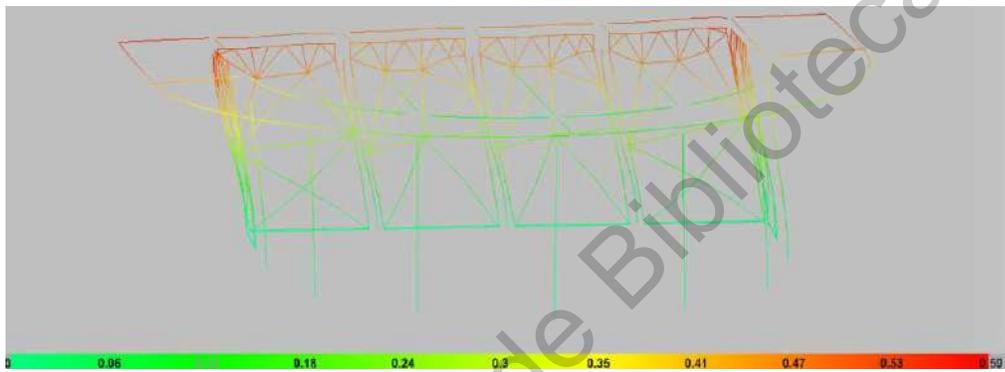


Figura 16 - Modo 3: Torsión, Zona A (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

El modelado de la zona B y los resultados de los desplazamientos por sismo se muestran en las figuras siguientes.

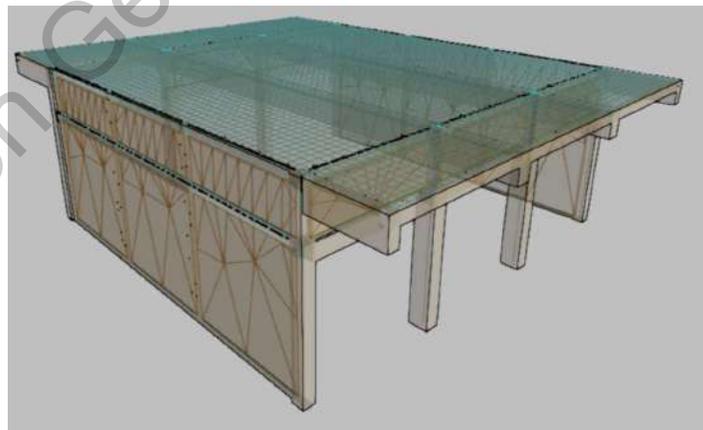


Figura 17 - Modelado Zona B (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

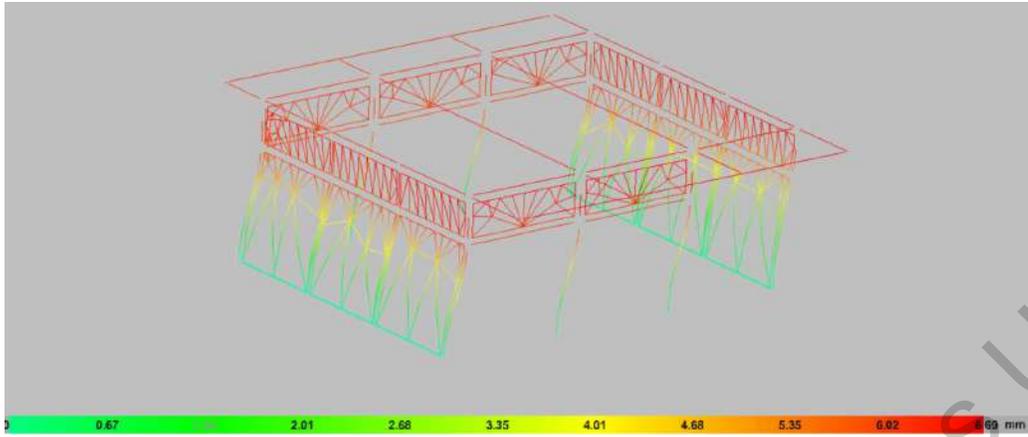


Figura 18 - Modo 1: Desplazamiento en X, Zona B (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

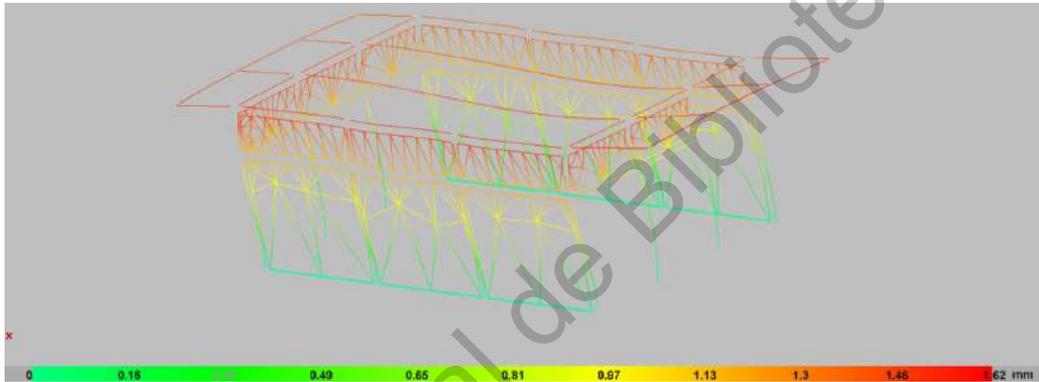


Figura 19 - Modo 2: Desplazamiento en Y, Zona B (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

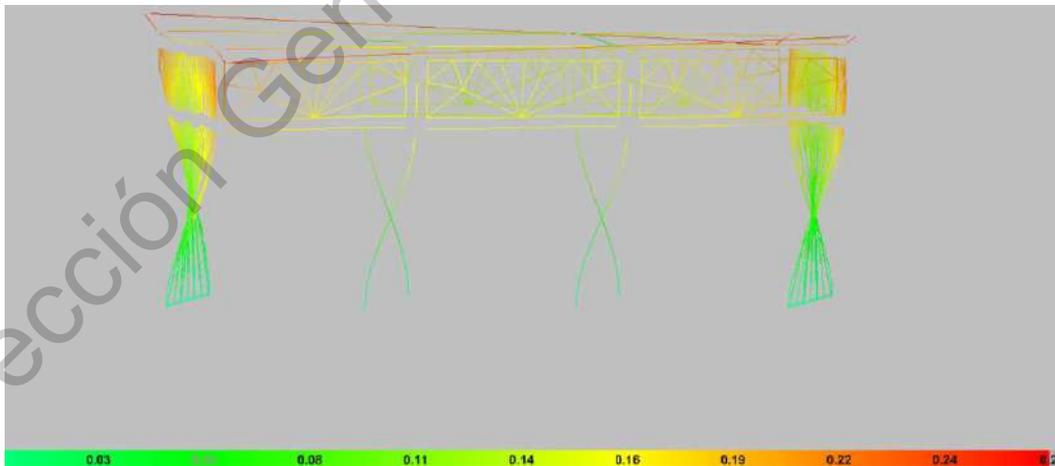


Figura 20 - Modo 3: Torsión, Zona B (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

El modelado de la zona C y los resultados de los desplazamientos por sismo se muestran en las figuras siguientes:



Figura 21 - Modelado Zona C (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

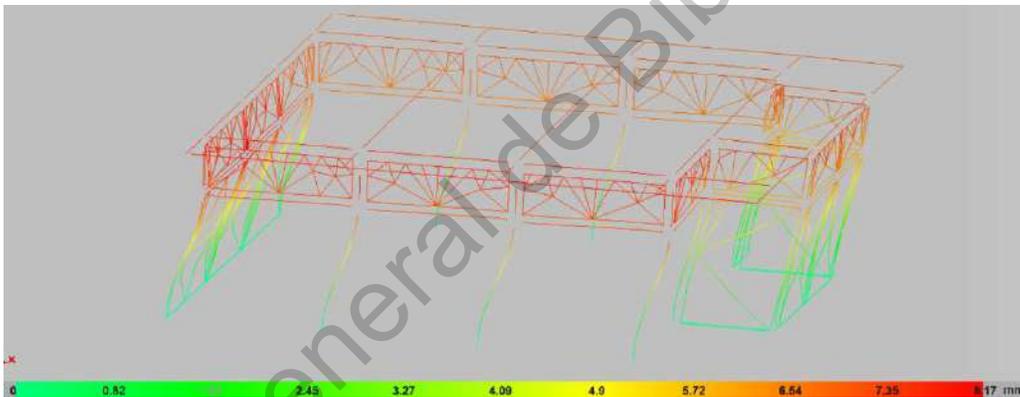


Figura 22 - Modo 1: Desplazamiento en X, Zona C (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

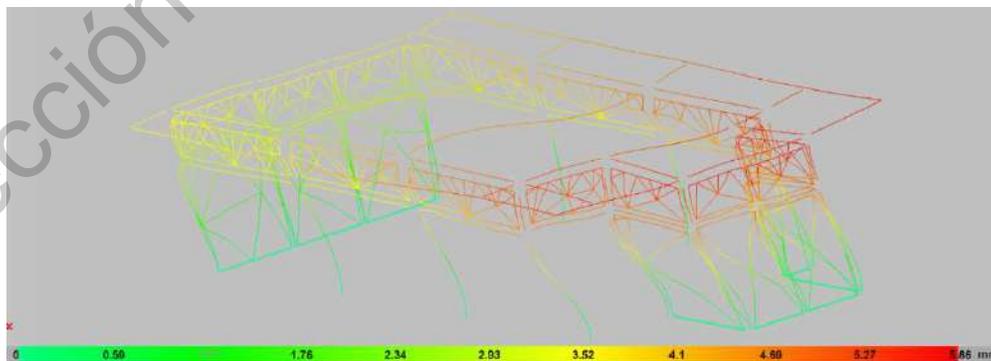


Figura 23 - Modo 2: Desplazamiento en Y, Zona C (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

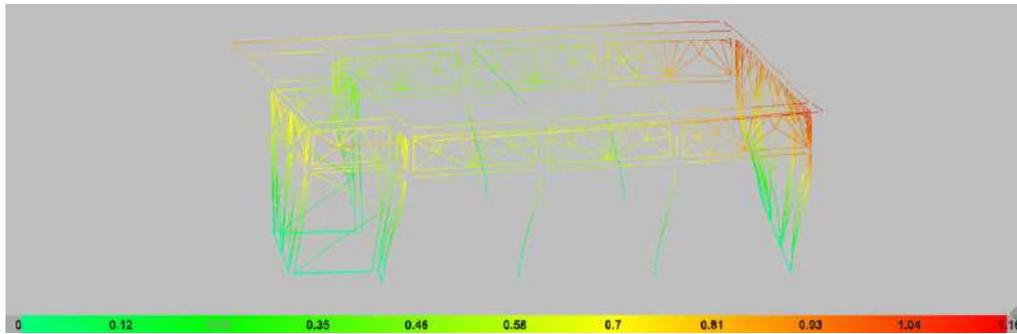


Figura 24 - Modo 3: Torsión, Zona C (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

El modelado de la zona D y los resultados de los desplazamientos por sismo se muestran en las figuras siguientes.



Figura 25 - Modelado Zona D (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

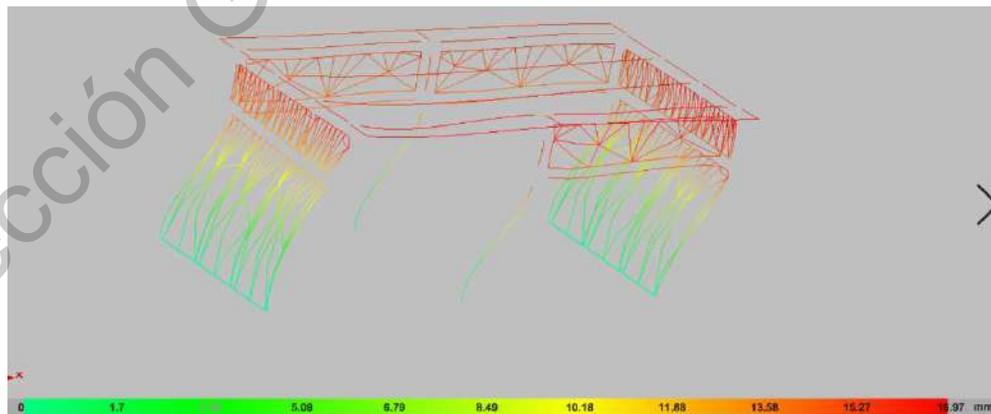


Figura 26 - Modo 1: Desplazamiento en X, Zona D (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

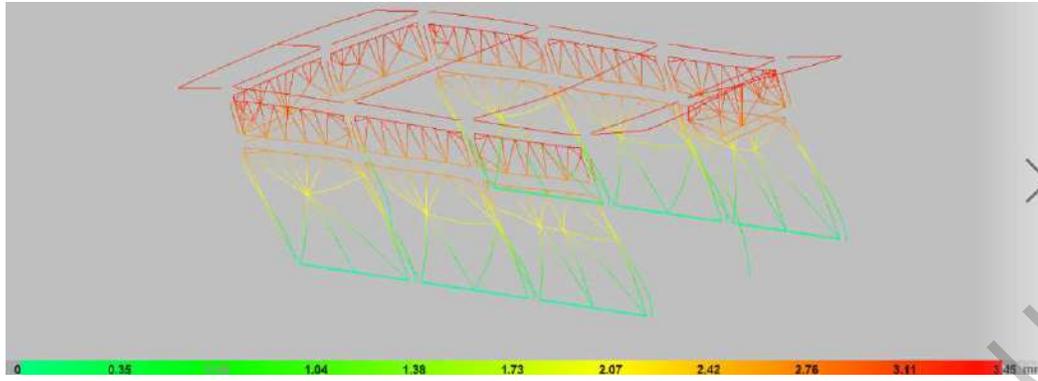


Figura 27 - Modo 2: Desplazamiento en Y, Zona D (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

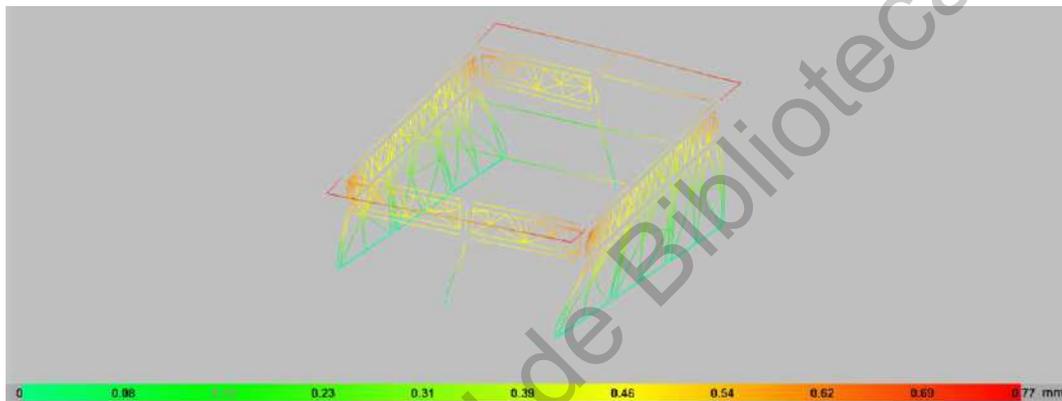


Figura 28 - Modo 3: Torsión, Zona D (Elaboración Propia CYPECAD 2020)

4.5 Análisis de Ciclo de Vida

Se metieron todos los modelos de los salones en el software de ATHENA para realizar el análisis de ciclo de vida, tomando en cuenta un periodo de vida de 50 años. Existen 8 categorías diferentes que son las siguientes:

- Acidification Potential
- Eutrophication Potential
- Fossil Fuel Consumption
- Global Warming Potential
- HH Particle
- Ozone Depletion Potential
- Smog Potential
- Total Primary Energy

Los resultados más relevantes se muestran en la comparativa de los modelos, donde se organizan dependiendo de la categoría.

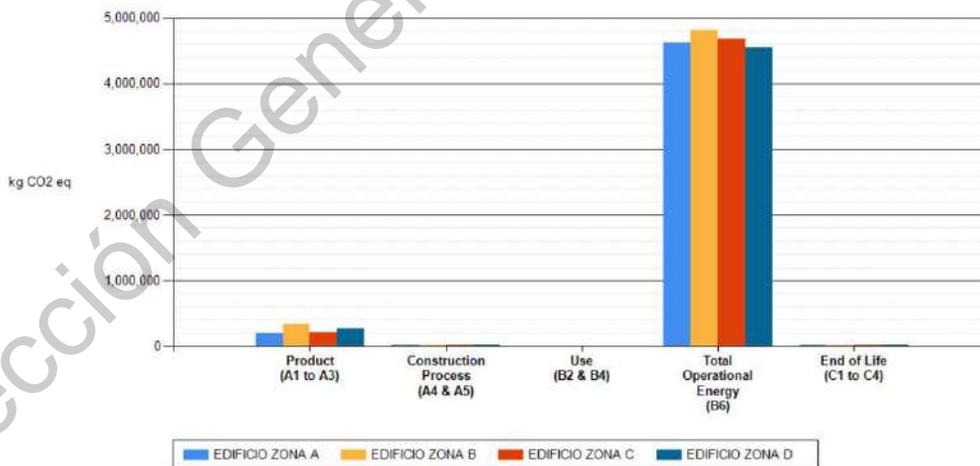
4.6 Puntuación LEED

Debido a que los parámetros sostenibles tomados en cuenta en los 4 salones diseñados son los mismos, se procederá a hacer un solo checklist para todos, ya que de cualquier manera obtendrían las mismas calificaciones.

Gracias a las nuevas tecnologías ecológicas y sostenibles que se utilizaron pudieron obtenerse 41 puntos en la escala de calificación, lo que permite por muy poco, estar en el nivel de certificado (los cuatro niveles de certificación que existen los cuales son: Certificado, Silver, Gold y Premium). El checklist con los detalles de que puntos se otorgaron, se encuentra en el Apéndice 5.

4.7 Comparación de los Modelos

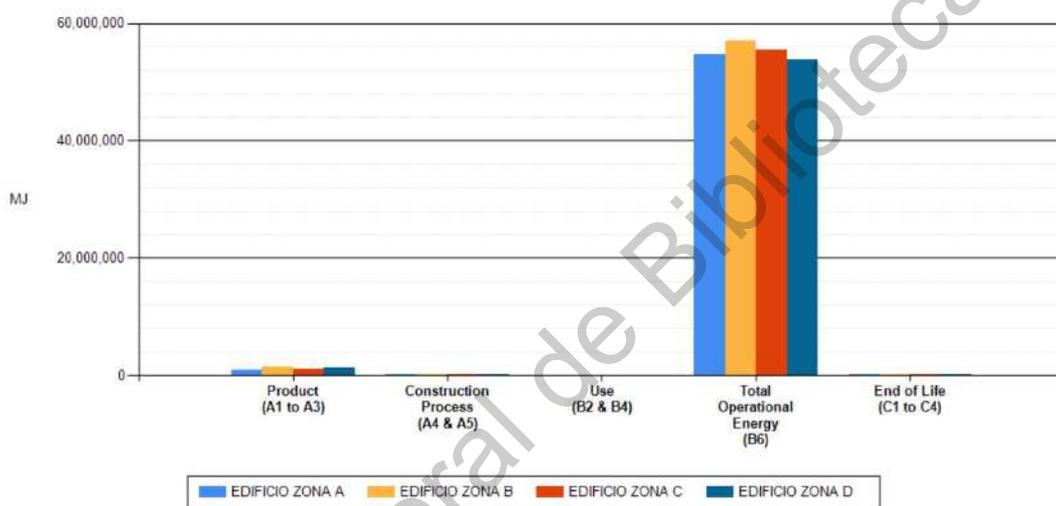
La intención de esta comparativa es ver como varían en su Análisis de Ciclo de Vida de cada uno para ver sus fortalezas y debilidades. La comparativa del Potencial de Calentamiento Global se muestra en la Gráfica 5.



Gráfica 5 - Comparativa del Potencial de Calentamiento Global - Salones Diseñados por Zonas (Elaboración Propia, ATHENA)

El potencial de calentamiento global el cual es una medida de equivalencia con dióxido de carbono como el estándar de referencia común para el calentamiento global o los efectos de gases de efecto invernadero. Todos los demás gases de efecto invernadero se conocen como que tienen un "efecto de equivalencia de CO2", que es simplemente un múltiplo del potencial de efecto invernadero (capacidad de captura de calor) del dióxido de carbono.

La comparativa entre el Consumo de Combustibles Fósiles se muestra en la Gráfica 6.



Gráfica 6 - Comparativa del Consumo de Combustibles Fósiles -Salones Diseñados por Zonas (Elaboración Propia, ATHENA)

El consumo de combustible fósil en Mega Joules (MJ), incluye todas las fuentes de energía de combustible fósil calculadas dentro del Estimador de impacto, incluido el uso directo e indirecto de combustible fósil; se utiliza para transformar o transportar materias primas en productos y edificios, y la energía fósil inherente contenida en materias primas o materias primas que también se utilizan como fuentes de energía comunes.

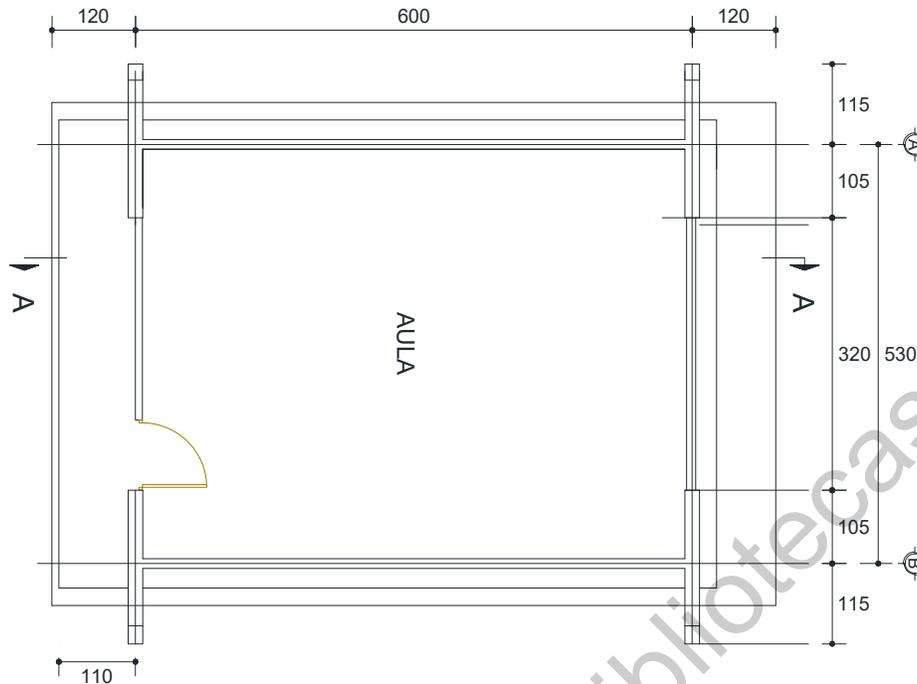


Figura 29 - Planta Arquitectónica salón INIFED (ALVAREZ, 2014)

Las especificaciones de este salón son las siguiente: la estructura está a base de muros de carga, de tabique rojo recocido rigidizados con castillos y cadenas. La losa es de concreto armado y los muros transversales de tabique de barro rojo recocido serán de 14 cm. de espesor y los longitudinales serán de tabique rojo de 21 cm de espesor. Los castillos y las trabes son de concreto armado. La cimentación es a base de zapatas aisladas, sin embargo, se considerará como losa de cimentación para mayor facilidad en la utilización del software de ATHENA.

En cuanto a las dimensiones de la misma, las más relevantes son: 5.30 m x 6.00 m de base, 2.65 m de altura en sus costados y 3.76 m en la parte más alta. Las dimensiones del techo a dos aguas, consta de dos elementos de 4.40 m x 6.50 m. Los dos muros más largos son los considerados de carga, y en los cortos se encuentran las ventanas y puerta. Los tímpanos triangulares que dan la forma al techo son de concreto armado.

Como se mencionó en la introducción, esta aula únicamente enfatiza en su diseño la parte estructural, por lo que al no procurar otras condiciones tales como el impacto ambiental, el potencial de calentamiento global, la energía no renovable, etc. Lo más probable es que no compita en un nivel tan alto.

También se realizó su análisis de ciclo de vida, su checklist de LEED y se le aplicaron las cargas sísmicas, los resultados principales se muestran en la Tabla 7 y las imágenes se encuentran en el Apéndice 7.

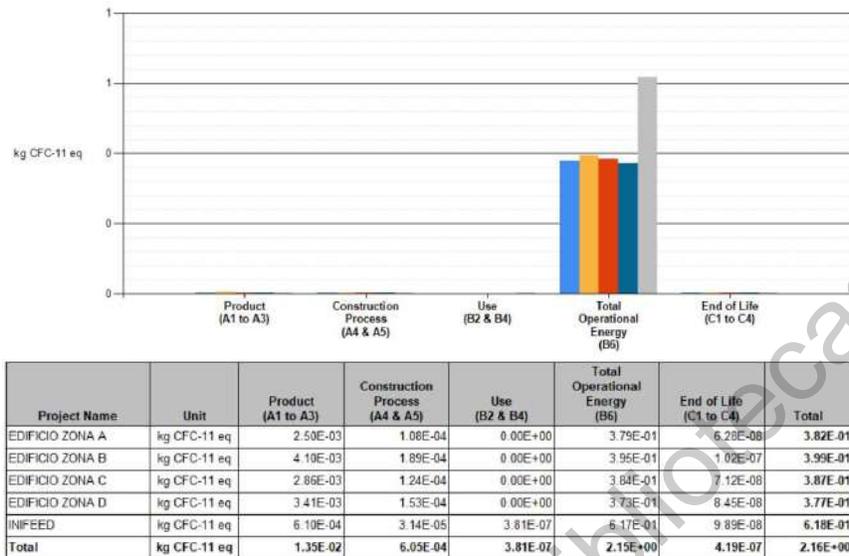
Tabla 7 - Resultados Análisis Sísmico Salón INIFED (Elaboración Propia)

ZONA		Periodos Fundamentales	Distorsiones
A	SISMO X	0.091	1/3709
A	SISMO Y	0.08	1/6270
B	SISMO X	0.091	1/2827
B	SISMO X	0.091	1/1278
C	SISMO Y	0.08	1/2179
C	SISMO X	0.091	1/552
D	SISMO Y	0.08	1/928
D	SISMO Y	0.08	1/4778

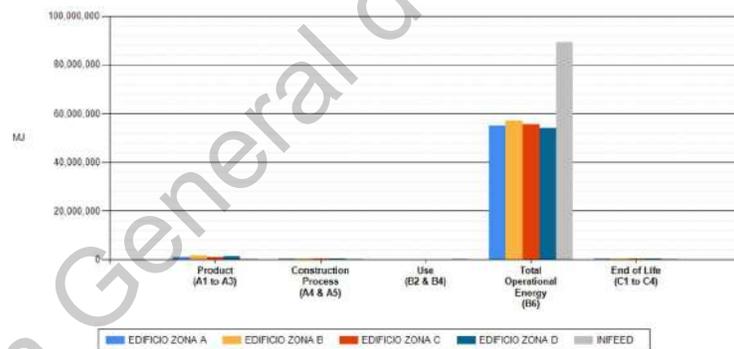
4.9 Contraste de Todos los Modelos

La primer comparativa que se realizara es la del Análisis de Ciclo de Vida, entre los 4 modelos diseñados y el aula de la INIFED, comparando el Potencial de Agotamiento del Ozono, Consumo de Combustibles Fósiles y Potencial de Calentamiento Global.

El Potencial de Agotamiento del Ozono y el Consumo de Combustibles Fósiles se muestran en la Gráfica 8 y Gráfica 9 respectivamente.

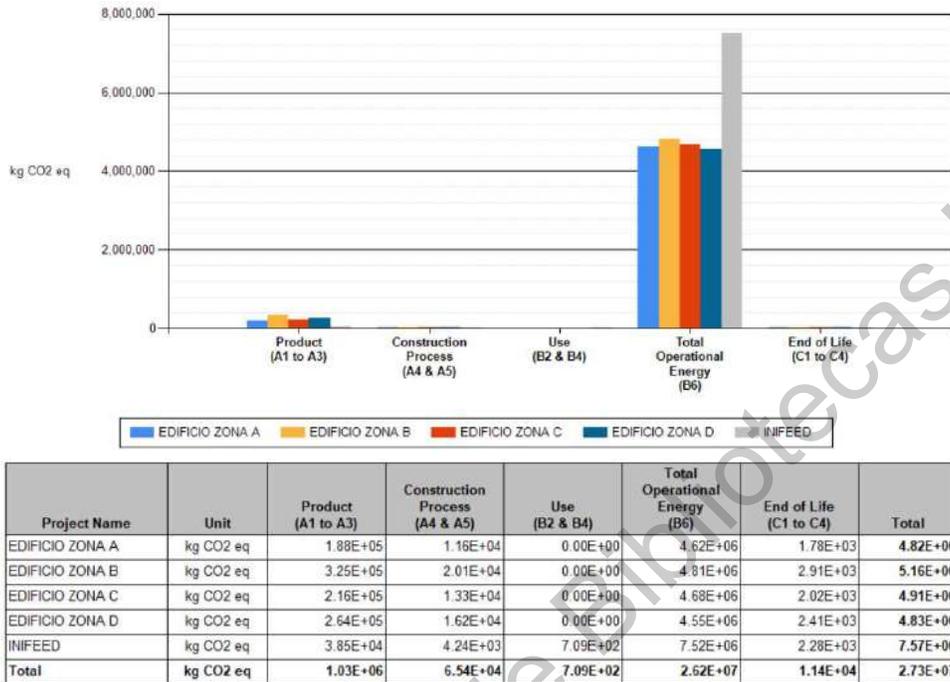


Gráfica 8 - Comparativa del Potencial de Agotamiento del Ozono (Elaboración personal, ATHENA)



Gráfica 9 - Comparativa de Consumo de Combustibles Fósiles (Elaboración personal, ATHENA)

Por último, está la Gráfica 10 que muestra el potencial de Calentamiento Global y los datos de la misma.



Gráfica 10 - Comparativa del Potencial de Calentamiento Global (Elaboración personal, ATHENA)

Los resultados de la calificación obtenida por LEED (Checklist con conceptos específicos en los Apéndices 5 y 7e.) fueron bastante dispares. Los salones creados bajo criterios sustentables obtuvieron el nivel de Certificado con 41 puntos de 110 posibles. Mientras tanto el salón común obtuvo apenas 13 puntos de los 110 que se pueden obtener.

En lo que al análisis sísmico corresponde, la comparativa de los resultados se muestran en la Tabla 8. Están acomodados por zonas, mostrando el Periodo Fundamental tanto del aula como para el suelo, tanto para “x” como para “y”, comparando el salón sustentable con el salón tipo INIFED analizado para la misma zona.

Tabla 8 - Comparativa de Periodos Fundamentales

EDIFICIO		PERIODO FUNDAMENTAL			PERIODO FUNDAMENTAL		
		EDIFICIO	SUELO		EDIFICIO	SUELO	
ZONA A	SISMO X	0.311	1.00	✓	0.00229	0.006	✓
	SISMO Y	0.320	1.00	✓	0.00074	0.006	✓
INIFED (A)	SISMO X	0.091	1.00	✓	0.00027	0.006	✓
	SISMO Y	0.08	1.00	✓	0.00016	0.006	✓
ZONA B	SISMO X	0.283	1.00	✓	0.00194	0.006	✓
	SISMO Y	0.123	1.00	✓	0.00046	0.006	✓
INIFED (B)	SISMO X	0.091	1.00	✓	0.00035	0.006	✓
	SISMO Y	0.08	1.00	✓	0.00021	0.006	✓
ZONA C	SISMO X	0.182	1.00	✓	0.00226	0.006	✓
	SISMO Y	0.141	1.00	✓	0.00160	0.006	✓
INIFED (C)	SISMO X	0.091	1.00	✓	0.00078	0.006	✓
	SISMO Y	0.08	1.00	✓	0.00046	0.006	✓
ZONA D	SISMO X	0.186	1.00	✓	0.00461	0.006	✓
	SISMO Y	0.083	1.00	✓	0.00096	0.006	✓
INIFED (D)	SISMO X	0.091	1.00	✓	0.00181	0.006	✓
	SISMO Y	0.08	1.00	✓	0.00108	0.006	✓

5. Resultados y Discusión

En cuanto al Análisis de Ciclo de Vida se refiere, la contaminación que la construcción de estos salones produce, así como su vida útil y completa destrucción, los resultados más importantes de las categorías antes mencionadas, los resultados más relevantes nos dicen que:

- Potencial de Calentamiento Global: El edificio para la zona B fue el más alto de los diseñados, pero aún se encuentra un 32% por debajo del que corresponde a la INIFED. Esto sin considerar también que el edificio promedio es aproximadamente entre un 30% y 33% más pequeño en área que los propuestos. El edificio de la zona A fue el que mejor desempeño tuvo en esta categoría.

- Consumo de combustibles Fósiles: Las tendencias mostradas anteriormente se mantienen, el salón ecológico propuesto que tuvo los niveles más altos fue el B, pero aún se mantiene muy por abajo del edificio de INIFED por un 34%. En esta categoría el aula que tuvo un mejor desempeño fue la diseñada para la zona D.
- Potencial de Agotamiento del Ozono: una vez más el aula para la zona B tuvo el desempeño más pobre, pero se encuentra un 35% por debajo de los valores que obtuvo el aula INIFED. También aquí el aula de la zona D fue la que mejor desempeño tuvo.

Se puede identificar claramente que el comportamiento de las gráficas es prácticamente el mismo, con unas leves variaciones. Es claro que los materiales y el consumo energético de una edificación condicionan bastante su impacto en el entorno, sin tomar en cuenta inclusive que el salón propuesto es más grande que el original de la INIFED.

El comportamiento antes mencionado tiene un mayo mella en los resultados de las calificaciones de LEED donde las aulas propuestas estuvieron 28 puntos por encima del salón de clases común. Si bien el nivel que alcanzan no es el ideal (únicamente certificado) son buenas aulas independientes que, en conjunto con las modulaciones propias de una escuela sustentable, ayudarían a alcanzar puntajes más elevados.

Los resultados del análisis sísmico fueron satisfactorios para todos los casos como se mostró en la Tabla 8, donde se presenta la comparativa de los periodos fundamentales obtenidos por el CYPE 2020. Cabe resaltar que, si bien el edificio de la INIFED obtuvo buenos resultados, presento torsión en más de un modo. Otra peculiaridad fue que los elementos correspondientes a los antepechos de los salones propuestos fueron desacoplados de la modulación tridimensional por no presentar ayuda estructural real.

Otras observaciones que es bueno mencionar es que el salón promedio construido por la INIFED no cuenta con los requerimientos mínimos de espacio establecidos, así como de diseño arquitectónico que establecen sus propios manuales.

5.1 Conclusiones

Existen alguna variedad de salones que el Instituto de Nacional de la Infraestructura Educativa construye, los cuales cuentan con dimensionamientos mayores al analizado en este trabajo, pero tampoco toman en cuenta criterios sustentables ni de mayor diseño arquitectónico. Esto es de alguna manera entendible porque únicamente centran su función en el área de la seguridad estructural, ya que estos edificios albergan numerosas personas y deben ser lo suficiente seguros para algún evento catastrófico.

Podemos concluir que el salón de clases que mejor comportamiento tuvo en todas las partidas que se analizaron fue el ubicado en la zona D, pero, el aula de la zona A también tuvo un rendimiento sobresaliente y debido a la estética que su construcción representa, su modulación de pupitres interna en forma de ovalo para centrar la atención de los estudiantes en un solo punto y la gran iluminación natural que permite, pudiera considerarse como la mejor opción.

Si bien un salón escolar sustentable no será la solución global a los múltiples problemas que enfrenta nuestra humanidad, si es un paso (uno de muchos que se tienen que dar) para apuntar al desarrollo sustentable. Es necesario que todas las ramas del conocimiento trabajen en conjunto para poder mejores soluciones a problemas sencillos y complejos, para dar un mejor rumbo a nuestro planeta, ya que es el único que tenemos.

“La infraestructura debe ser desarrollada por expertos, no por políticos”

-Johan Schot

5.2 Líneas de investigación futuras

Debería abordarse un diseño integral en el que todas las partes involucradas puedan interferir desde tempranas etapas del proyecto. Esto quiere decir involucrar no solo a todos los sectores ingenieriles sino también a los futuros ocupantes tanto alumnos y maestros. Se sugiere un trabajo en conjunto con alguna área de la psicología que permita hacer un diseño con base en principios de receptividad psicológica y tendencias populares.

Deben aplicarse dos estudios, uno primeramente informativo y un segundo que corrobore los resultados del primer estudio, para que pueda tener una referencia de que objetos, tecnologías y otros elementos, quedan más fácilmente grabados en la memoria de los niños.

Se sugiere un estudio que suponga lo propuesto en la Figura 30.

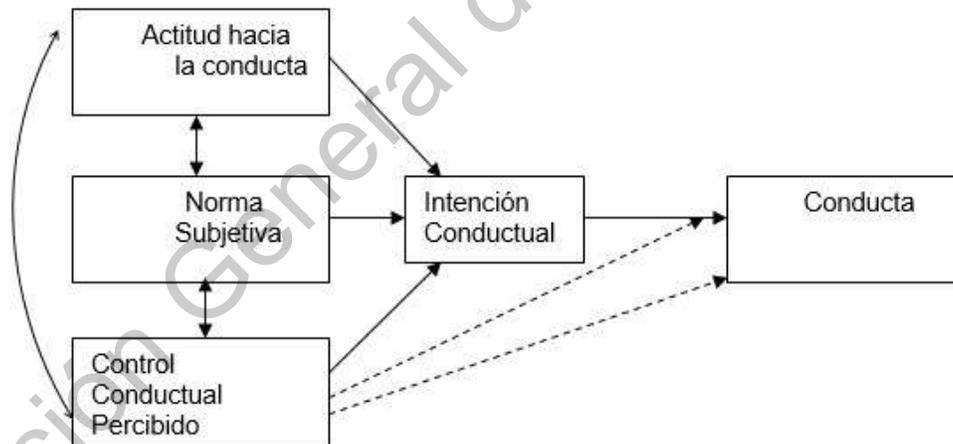


Figura 30 - Ilustración grafica de la Teoría de la Acción Planeada (Ajzen, 1991)

6. Referencias

- About LCA (2013) Athena Sustainable Materials institute.
- Andrea J. Schokker (2010). The Sustainable Concrete Guide, Strategies and Examples. U.S. Green Concrete Council. Federal Highway Administration Research and Technology, FHWA-HRT-13-098, pp 220.
- Anne Taylor (1993). The learning environment as a three-dimensional textbook, *Children's Environments*, 10 (2), (pp.170-179).
- ASCE National Capital Section (2017). Sustainability Technical Committee http://asce-ncs.org/?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=66&fontstyle=f-larger
- ATHENA Sustainable Materials Institute (2018). <http://www.athenasmi.org/our-software-data/overview/>.
- Bahareh Reza, Rehan Sadiq, Kasun Hewage (2011) Sustainability assessment of flooring systems in the city of Tehran: An AHP-based life cycle analysis
- Banco Mundial (2014). Alianza Estratégica de País (AEP) 2014 - 2019 para los Estados Unidos Mexicanos, <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2013/12/12/WBG-New-Country-Partnership-Strategy-for-Mexico-2014-2019>
- Berger, K. S., & Thompson, R. A. (1995). The developing person through childhood and adolescence (4th ed., p. c1995). New York: Worth Publishers.
- Burcu Gulay Tasc (2015). Sustainability” Education by Sustainable School Design. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 186 pp. 868 – 873
- CFE (2008). Manual de Diseño de Obras Civiles – Sección C. Estructuras – Tema 1. Criterios de Diseño – Capítulo 3: Diseño por sismo.
- Christine A. Subasic, P.E. LEED AP (2009). Sustainable Buildings and the Structural Engineer
- Construcción Sostenible (2015) – Arquitectura y Empresa – Construcción Sostenible: Bloques de Tierra comprimida BTC - <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/construccion-sostenible-bloques-de-tierra-comprimida-btc>
- Ernesto Álvarez Rey (2014) Aula Tipo INIFED – Documentos de Arquitectura - <https://documentos.arq.com.mx/Detalles/127039.html>
- Ertmer, P. A., & Newby, T. J. (1993). Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design perspective. *Performance improvement quarterly*, 6(4), 50-72.

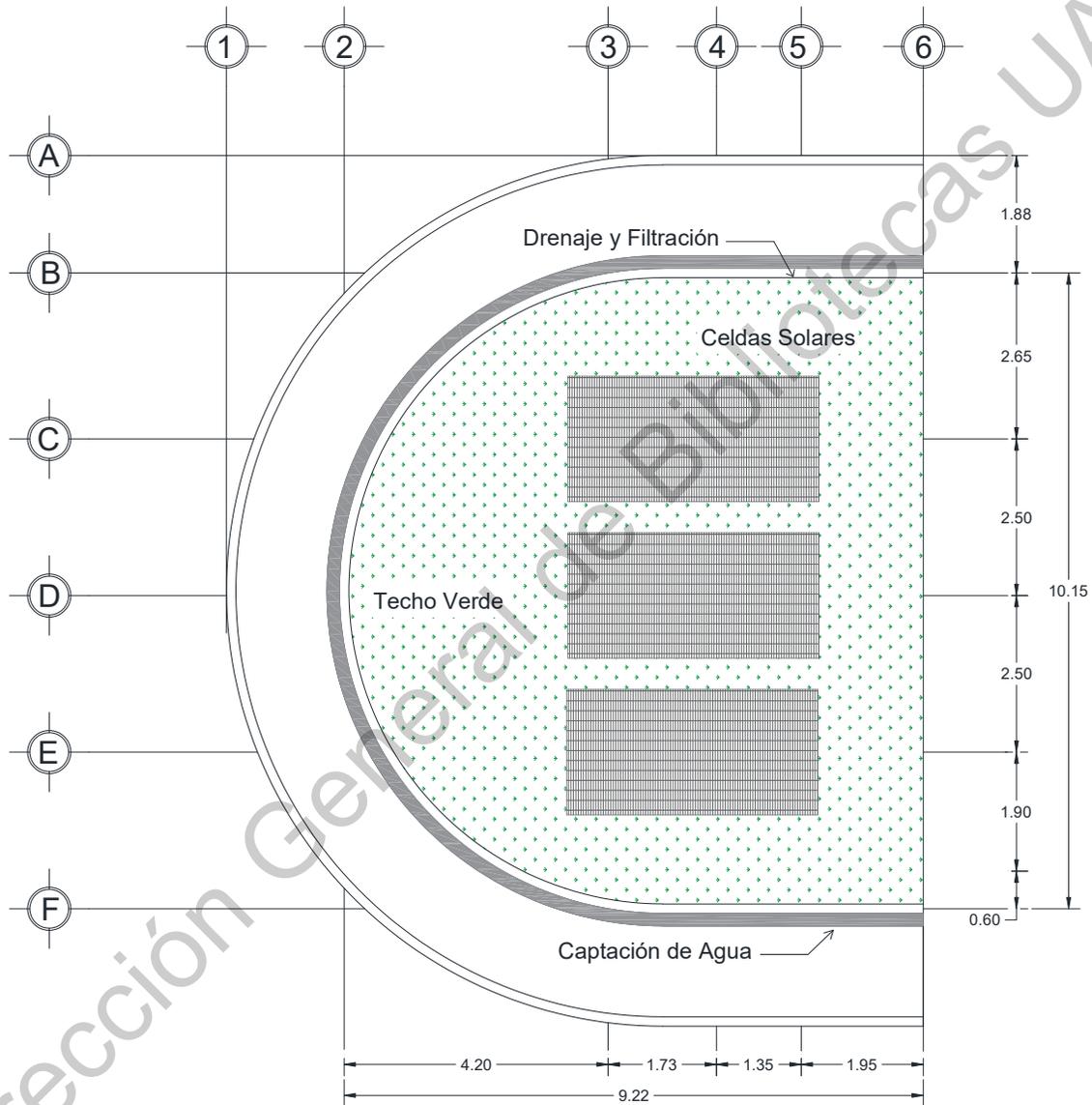
- Gabriela Mendizabal Bermudez (2015) La sociedad ante los retos del cambio climático. Boletín Mexicano de Derecho Comparado, nueva serie, año XLVIII, num 143, mayo-agosto de 2015, pp. 697-730.
- Gajanam M. Sabins (2012). Green Building with Concrete: Sustainable Design and Construction.
- Haapio A, Viitaniemi P. (2008). A critical review of environmental assessment tools. Environmental Impact Assessment Review
- Hamoud Dekkiche, Ali Taileb (2016). The Importance of Integrating LCA into the LEED Rating System.
- Icek Ajzen (1991) The Theory of Planned Behavior. University of Massachusetts at Amherst. ORGANIZATIONAL BEHAVIOR AND HUMAN DECISION PROCESSES 50, 179-211 (1991)
- INIFED (2013) Instituto Nacional de la Infraestructura Educativa. Acciones y Programas – Normas mexicanas en infraestructura física educativa.
- INIFED (2015) Instituto Nacional de la Infraestructura Educativa. Acciones y Programas – Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones. Volumen 4 – Seguridad estructural. Tomo II Diseño por Sismo.
- International Standardization Organization - ISO (2006). Environmental management -life cycle assessment- principles and framework, ISO 14040.
- Klöpffer W. (2006) The role of SETAC in the development of LCA. Int J Life Cycle Assess 2006; 11:116-22.
- LEED (2020) LEED Rating System - <https://www.usgbc.org/leed>
- Martha G. Vangeem y Medgar L. Marceau (2002), Using Concrete to Maximize LEED Points.
- Ming Hu, Peter Cunningham, Sarah Gilloran (2017) Sustainable design rating system comparison using a life-cycle methodology. Building and Environment
- Oscar Ojeda (2017) UASLP – Comunicación Social <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Paginas/Divulgacion/Gaceta/Notas/2017/Septiembre/180917/Concreto-ecologico.aspx>
- Oscar Ortiz, Francesc Castells, Guido Sonnemann (2009) Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. Construction and Building Materials pp 28-39.
- Othman Subhi Alshamrani, Khaled Galal, Sabah Alkass (2014) Integrated LCAeLEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings. Building and Environment 80 Pp 61-70

- Richard Tucker & Parisa Izadpanahi (2017). Live green, think green: Sustainable school architecture and children's environmental attitudes and behaviors. *Journal of Environmental Psychology* 51 (2017) 209e216
- ROTOPLAS (2019) - Conoce cómo funciona un sistema de captación de agua. <https://rotoplascentroamerica.com/conoce-como-funciona-un-sistema-de-captacion-de-agua/>
- SDG – Sustainable Development Solutions Network (2018) A Global Initiative for the United Nations. <http://www.sdgindex.org/>
- SENER (1025) - Secretaria de Energía – Estudios en materia de eficiencia energética – Estudio de eficiencia energética en escuelas, 2015.
- Sharma A, Saxena A, Sethi M, Shree V, Varun (2011). Life cycle assessment of buildings: a review.
- Thomas Van Damm y Peter Taylor (2009). Building Sustainable Pavements with concrete.
- UNESCO - UN Decade of Education for Sustainable Development 2005 – 2014 (2005) - Education for Sustainable Development (ED/PEQ/ESD)
- UNICEF: CRE Toolkit - Child Rights Education Toolkit (2014) Rooting Child Rights in Early Childhood Education, Primary and Secondary Schools.

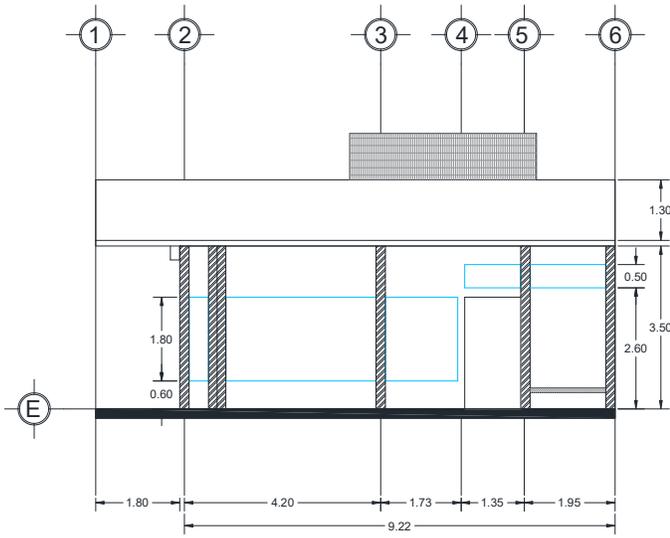
7. Apéndices

7.1 Anexos

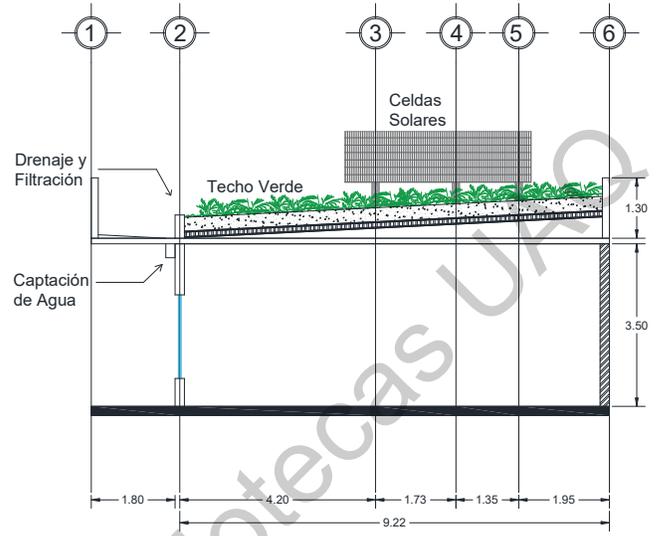
Apéndice 1 – Detalles Arquitectónicos salón escolar Zona A.



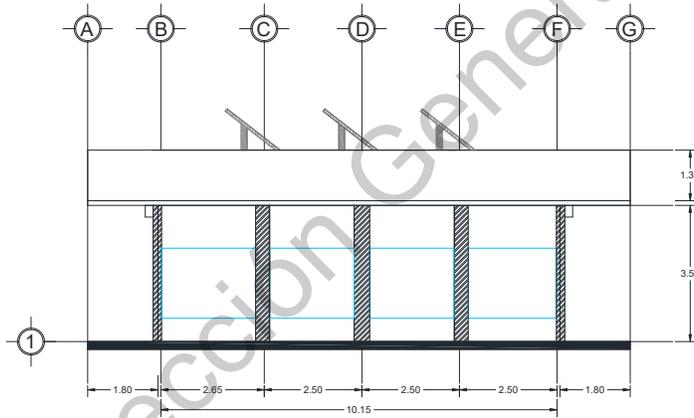
TECHO



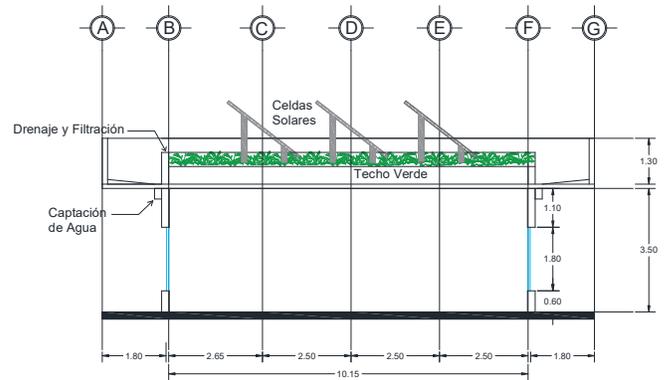
FACHADA PRINCIPAL



CORTE A

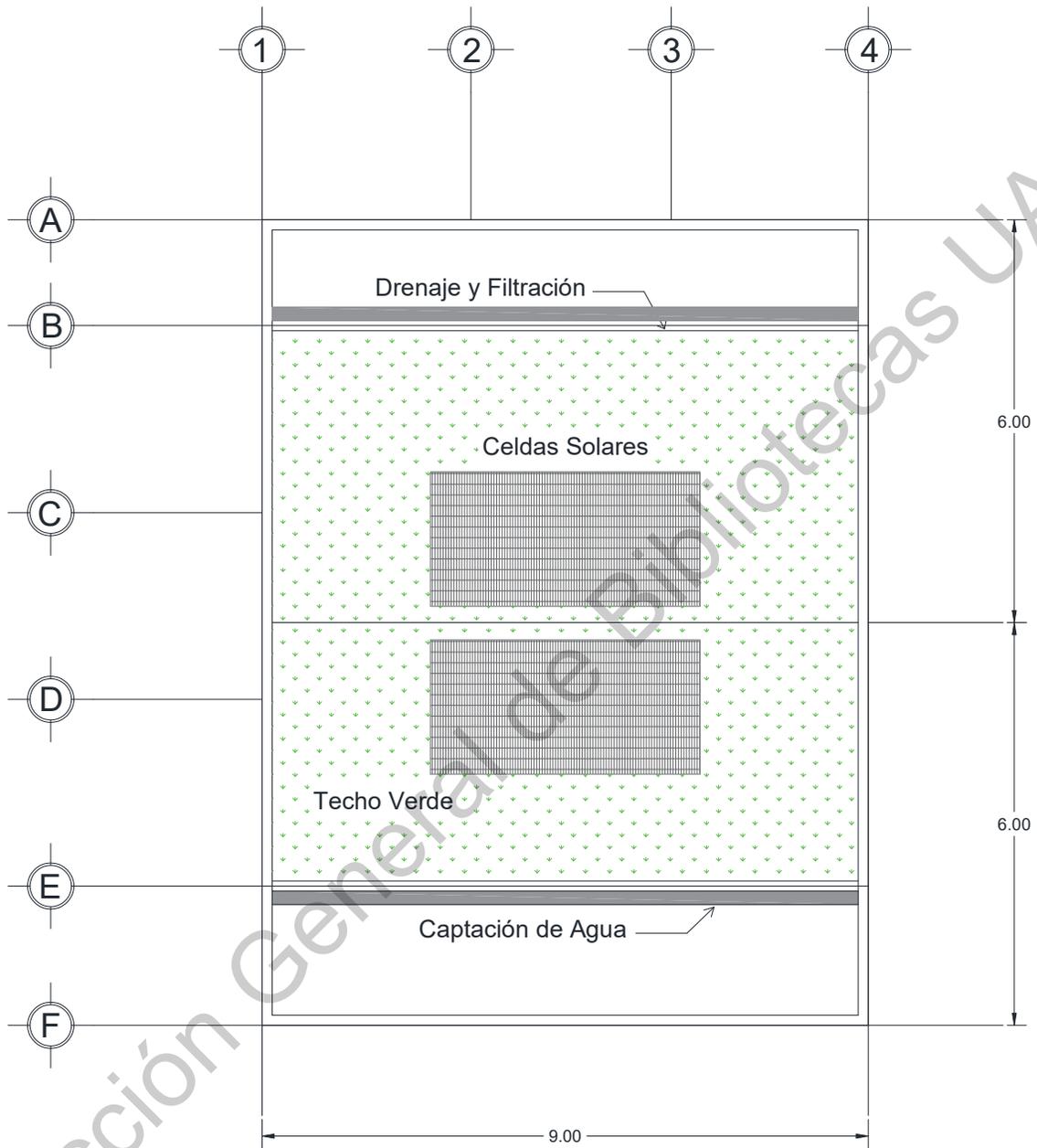


FACHADA LATERAL

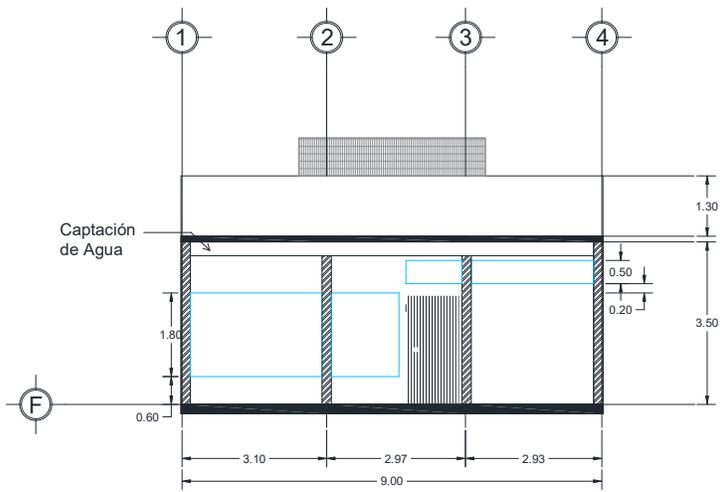


CORTE B

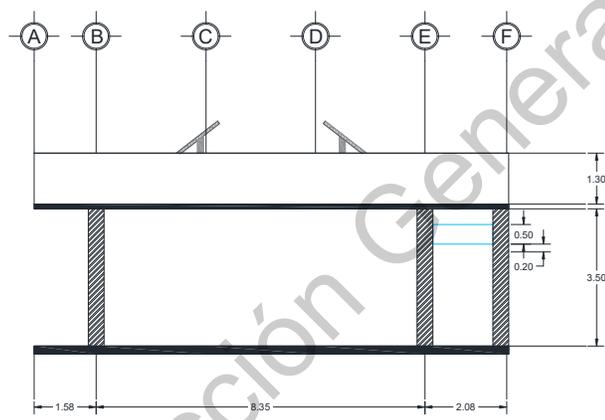
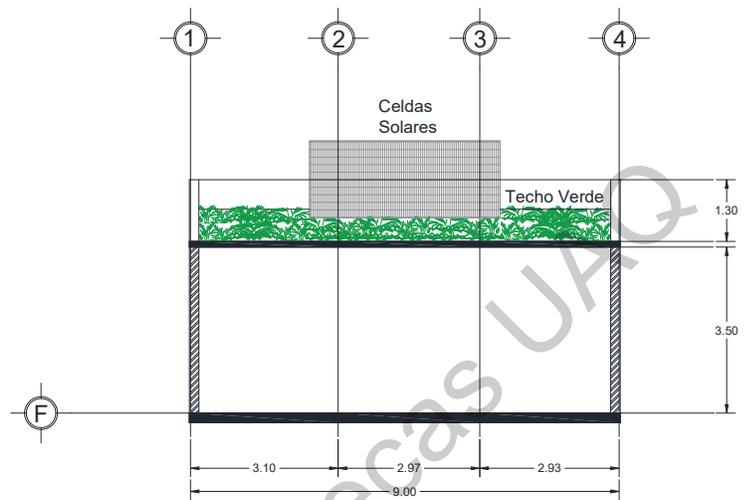
Apéndice 2 – Detalles Arquitectónicos salón escolar Zona B.



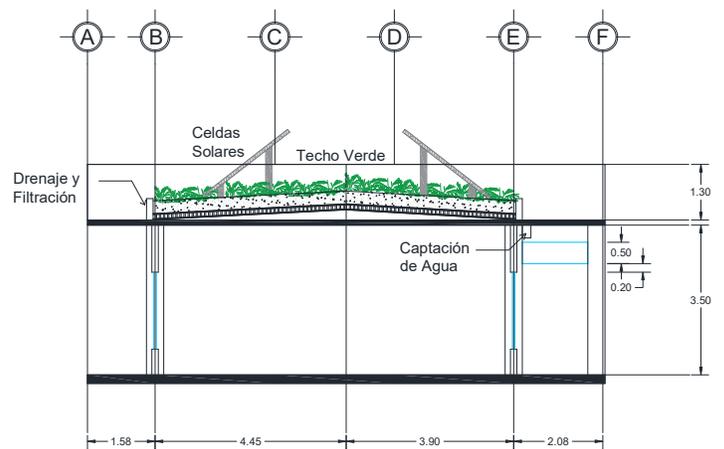
TECHO



FACHADA PRINCIPAL

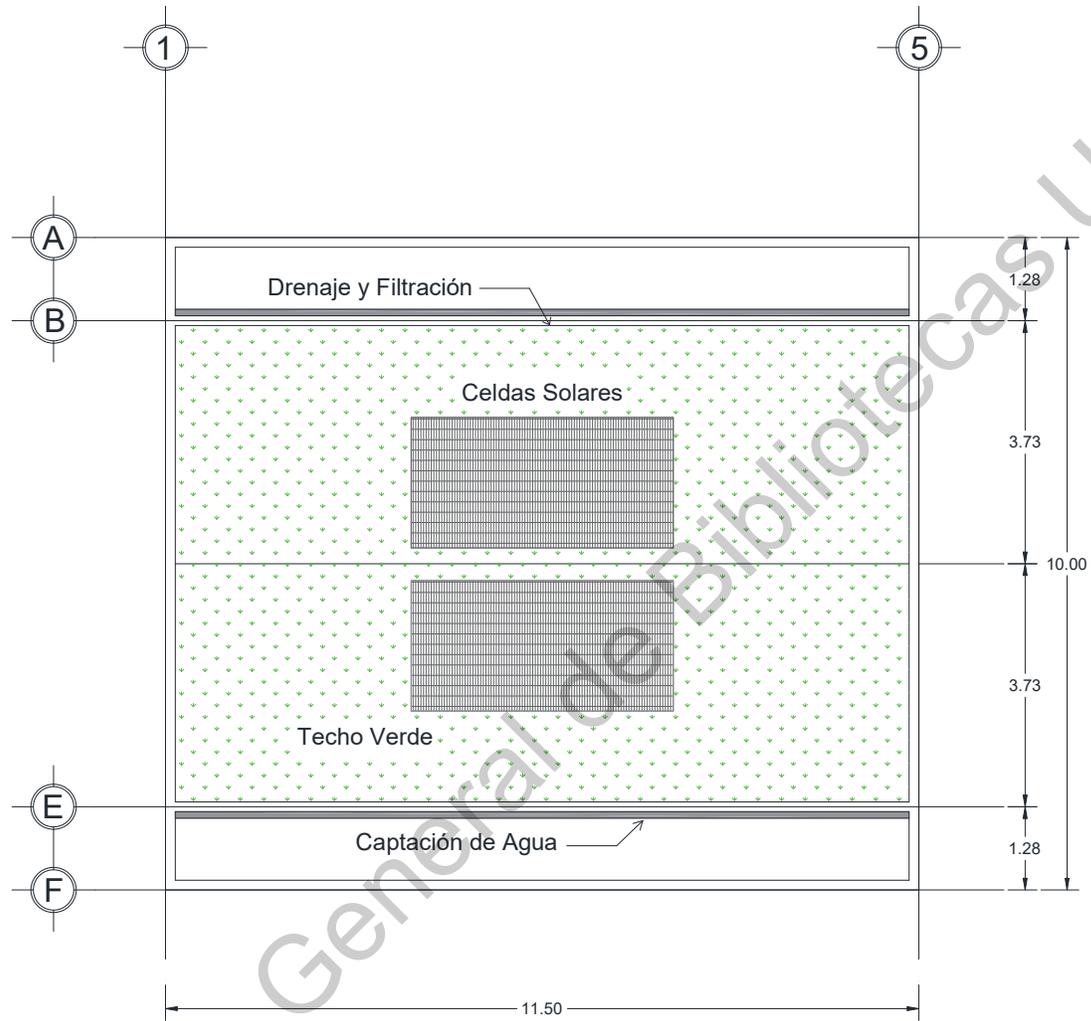


FACHADA LATERAL

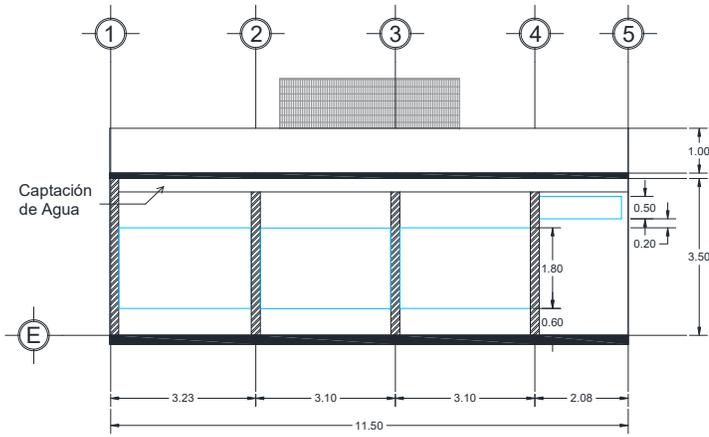


CORTE B

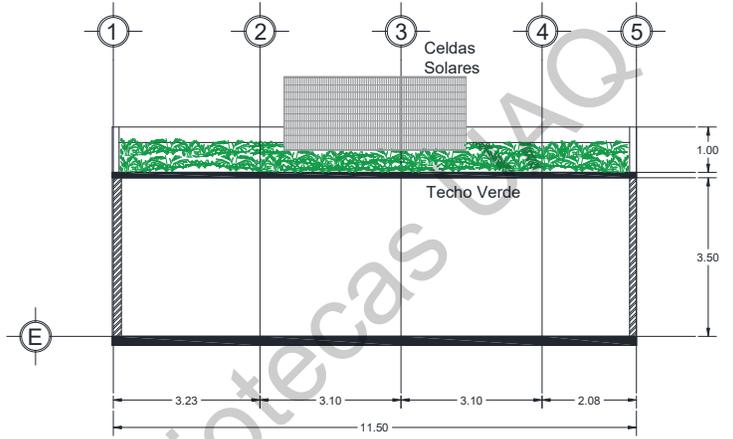
Apéndice 3 – Detalles Arquitectónicos salón escolar Zona C.



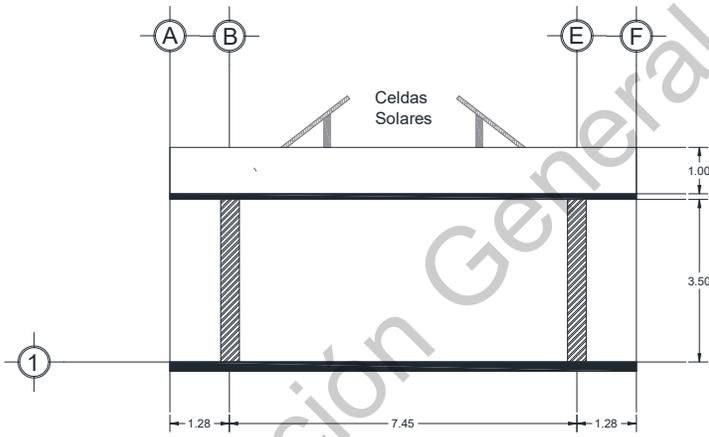
TECHO



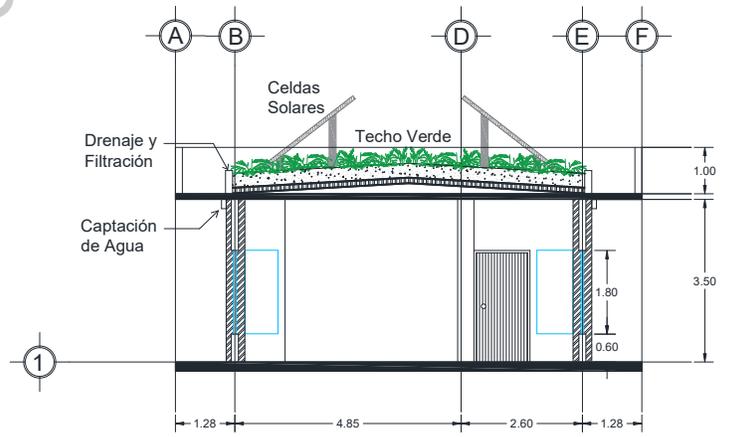
FACHADA PRINCIPAL



CORTE A

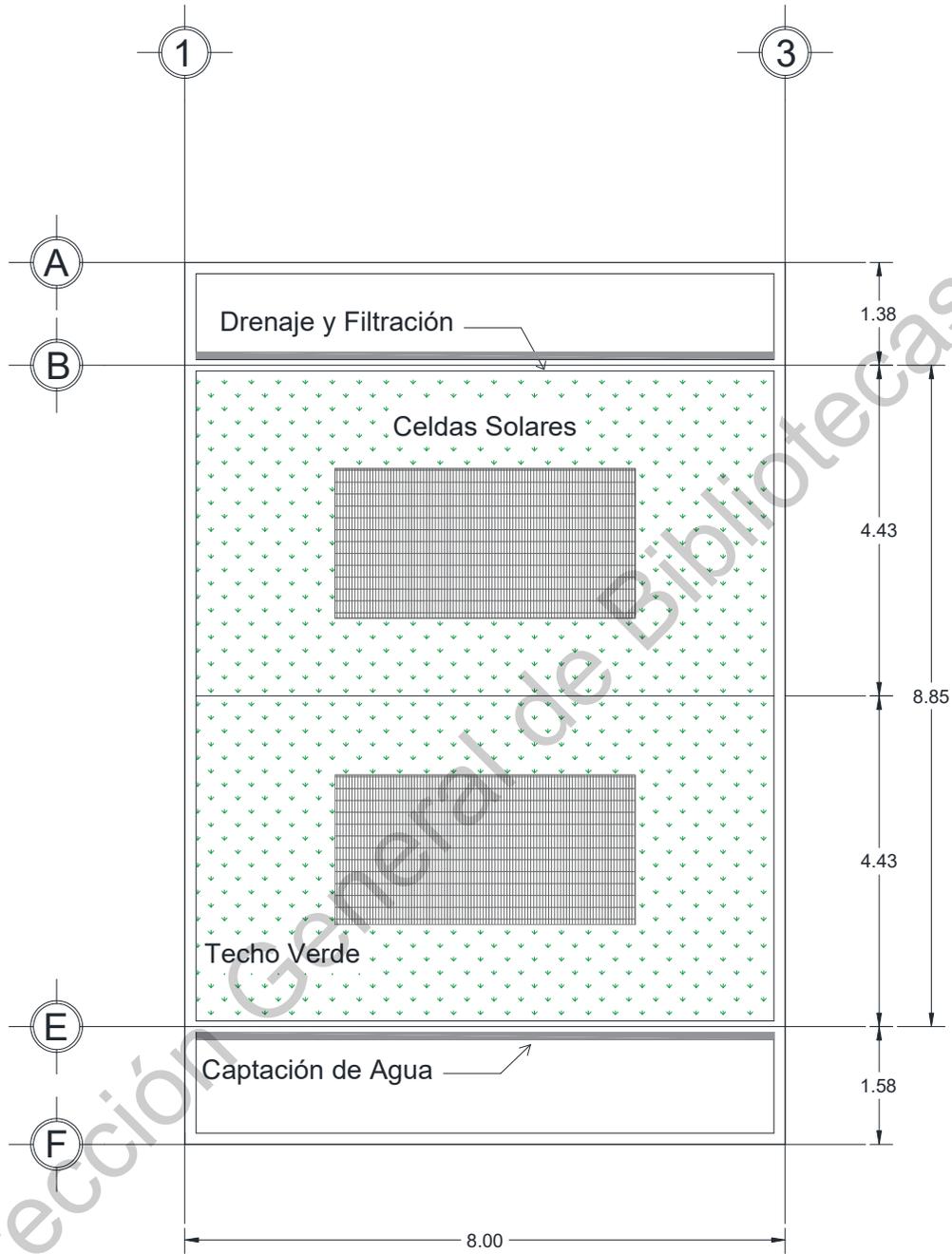


FACHADA LATERAL

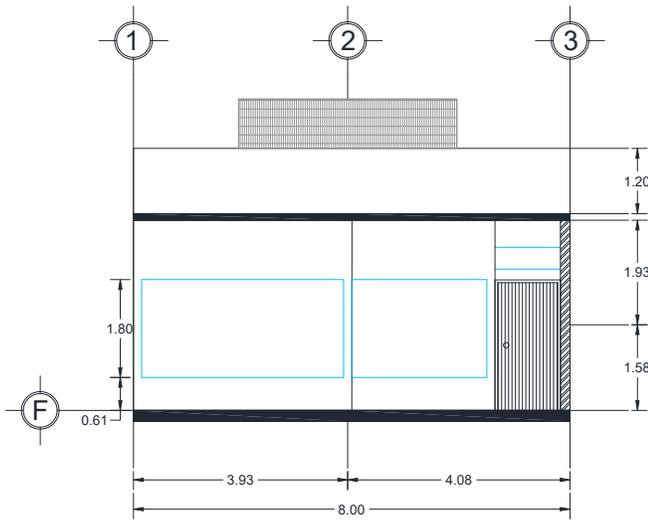


CORTE B

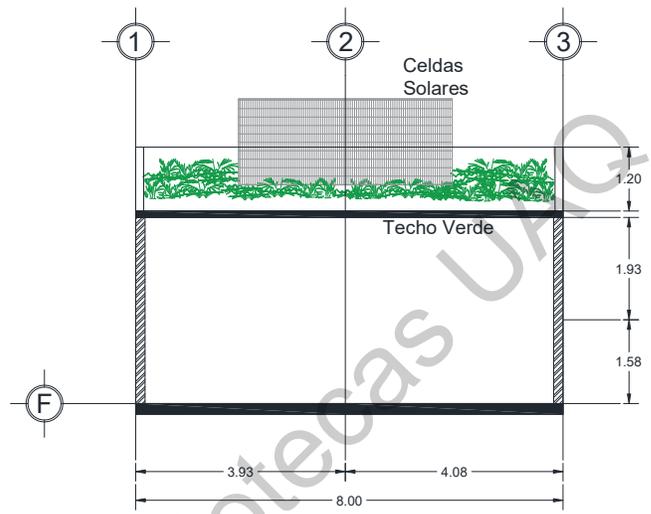
Apéndice 4 – Detalles Arquitectónicos salón escolar Zona D.



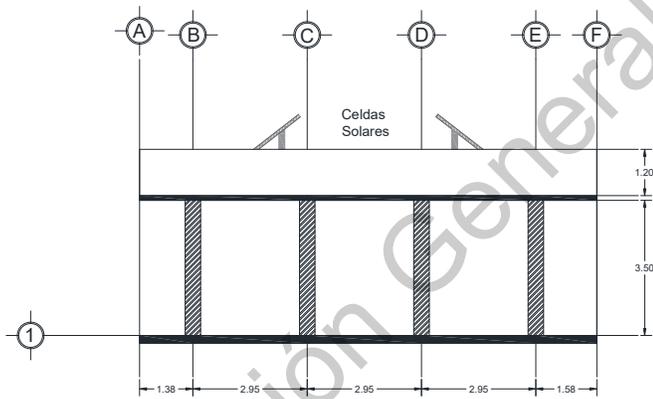
TECHO



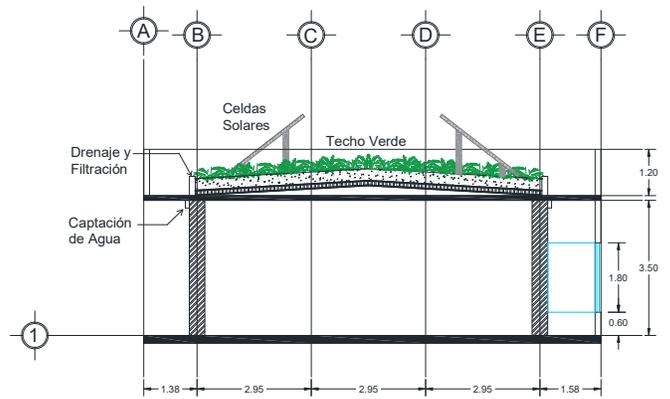
FACHADA PRINCIPAL



CORTE A



FACHADA LATERAL



CORTE B



LEED 2009 for Schools New Construction and Major Renovations

Project Name _____

Project Checklist

Date _____

4		Sustainable Sites		Possible Points: 24
Y	?	N		
Y			Prereq 1	Construction Activity Pollution Prevention
Y			Prereq 2	Environmental Site Assessment
1			Credit 1	Site Selection 1
			Credit 2	Development Density and Community Connectivity 4
			Credit 3	Brownfield Redevelopment 1
1			Credit 4.1	Alternative Transportation—Public Transportation Access 4
1			Credit 4.2	Alternative Transportation—Bicycle Storage and Changing Rooms 1
			Credit 4.3	Alternative Transportation—Low-Emitting and Fuel-Efficient Vehicles 2
			Credit 4.4	Alternative Transportation—Parking Capacity 2
			Credit 5.1	Site Development—Protect or Restore Habitat 1
			Credit 5.2	Site Development—Maximize Open Space 1
			Credit 6.1	Stormwater Design—Quantity Control 1
			Credit 6.2	Stormwater Design—Quality Control 1
			Credit 7.1	Heat Island Effect—Non-roof 1
			Credit 7.2	Heat Island Effect—Roof 1
1			Credit 8	Light Pollution Reduction 1
			Credit 9	Site Master Plan 1
			Credit 10	Joint Use of Facilities 1

7		Water Efficiency		Possible Points: 11
Y	?	N		
Y			Prereq 1	Water Use Reduction—20% Reduction
3			Credit 1	Water Efficient Landscaping 2 to 4
			Credit 2	Innovative Wastewater Technologies 2
3			Credit 3	Water Use Reduction 2 to 4
1			Credit 3	Process Water Use Reduction 1

17		Energy and Atmosphere		Possible Points: 33
Y	?	N		
Y			Prereq 1	Fundamental Commissioning of Building Energy Systems
Y			Prereq 2	Minimum Energy Performance
Y			Prereq 3	Fundamental Refrigerant Management
10			Credit 1	Optimize Energy Performance 1 to 19
5			Credit 2	On-Site Renewable Energy 1 to 7
			Credit 3	Enhanced Commissioning 2
			Credit 4	Enhanced Refrigerant Management 1
			Credit 5	Measurement and Verification 2
2			Credit 6	Green Power 2

7		Materials and Resources		Possible Points: 13
Y	?	N		
Y			Prereq 1	Storage and Collection of Recyclables
			Credit 1.1	Building Reuse—Maintain Existing Walls, Floors, and Roof 1 to 2
			Credit 1.2	Building Reuse—Maintain 50% of Interior Non-Structural Elements 1
1			Credit 2	Construction Waste Management 1 to 2

		Materials and Resources, Continued		
Y	?	N		
1			Credit 3	Materials Reuse 1 to 2
2			Credit 4	Recycled Content 1 to 2
2			Credit 5	Regional Materials 1 to 2
1			Credit 6	Rapidly Renewable Materials 1
			Credit 7	Certified Wood 1

5		Indoor Environmental Quality		Possible Points: 19
Y	?	N		
Y			Prereq 1	Minimum Indoor Air Quality Performance
Y			Prereq 2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control
Y			Prereq 3	Minimum Acoustical Performance
			Credit 1	Outdoor Air Delivery Monitoring 1
1			Credit 2	Increased Ventilation 1
			Credit 3.1	Construction IAQ Management Plan—During Construction 1
			Credit 3.2	Construction IAQ Management Plan—Before Occupancy 1
2			Credit 4	Low-Emitting Materials 1 to 4
			Credit 5	Indoor Chemical and Pollutant Source Control 1
1			Credit 6.1	Controllability of Systems—Lighting 1
			Credit 6.2	Controllability of Systems—Thermal Comfort 1
			Credit 7.1	Thermal Comfort—Design 1
			Credit 7.2	Thermal Comfort—Verification 1
			Credit 8.1	Daylight and Views—Daylight 1 to 3
			Credit 8.2	Daylight and Views—Views 1
			Credit 9	Enhanced Acoustical Performance 1
1			Credit 10	Mold Prevention 1

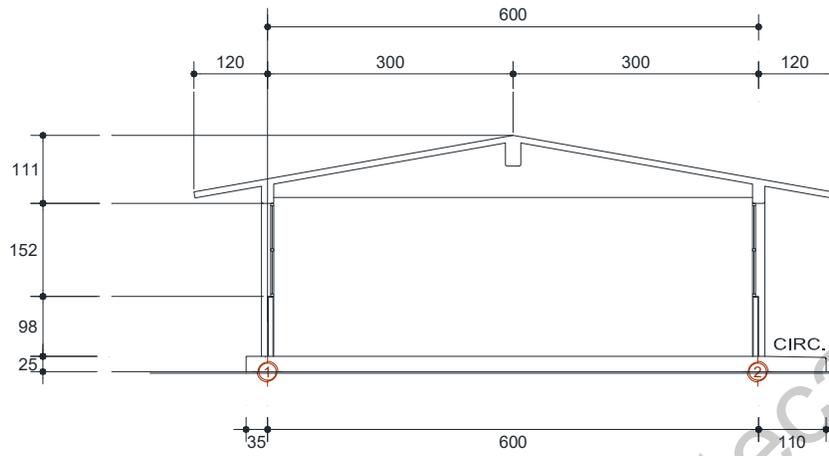
1		Innovation and Design Process		Possible Points: 6
Y	?	N		
			Credit 1.1	Innovation in Design: Specific Title 1
			Credit 1.2	Innovation in Design: Specific Title 1
			Credit 1.3	Innovation in Design: Specific Title 1
			Credit 1.4	Innovation in Design: Specific Title 1
			Credit 2	LEED Accredited Professional 1
1			Credit 3	The School as a Teaching Tool 1

		Regional Priority Credits		Possible Points: 4
Y	?	N		
			Credit 1.1	Regional Priority: Specific Credit 1
			Credit 1.2	Regional Priority: Specific Credit 1
			Credit 1.3	Regional Priority: Specific Credit 1
			Credit 1.4	Regional Priority: Specific Credit 1

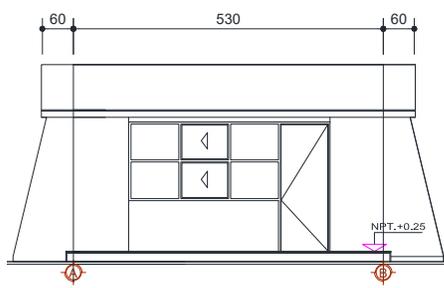
41		Total		Possible Points: 110
----	--	-------	--	----------------------

Certified 40 to 49 points Silver 50 to 59 points Gold 60 to 79 points Platinum 80 to 110

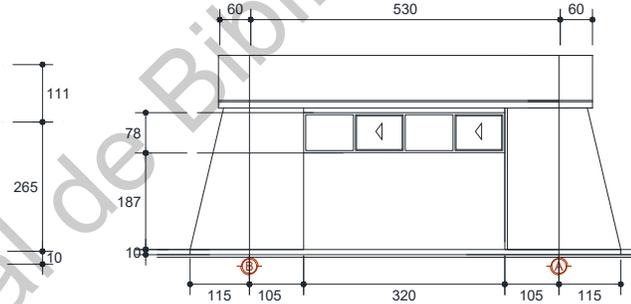
Apéndice 6 – Detalles Arquitectónicos salón INIFED



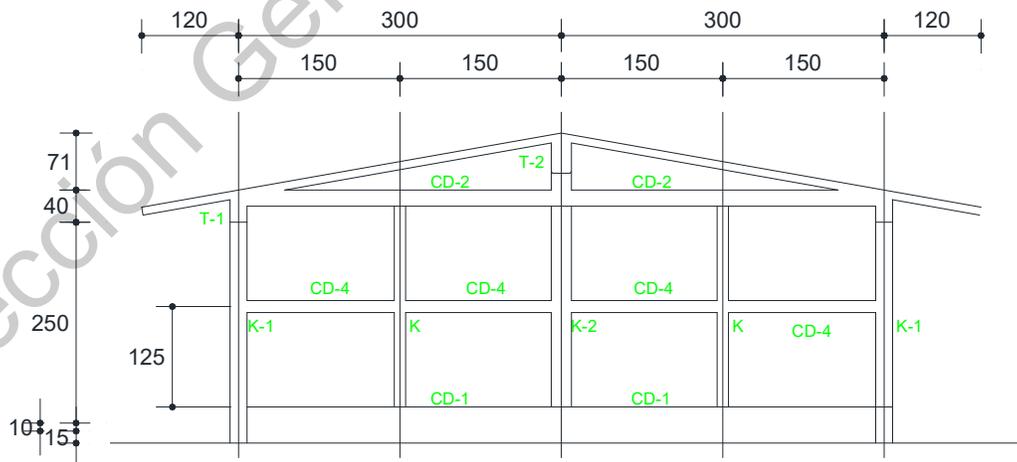
CORTE A-A



FACHADA PRINCIPAL

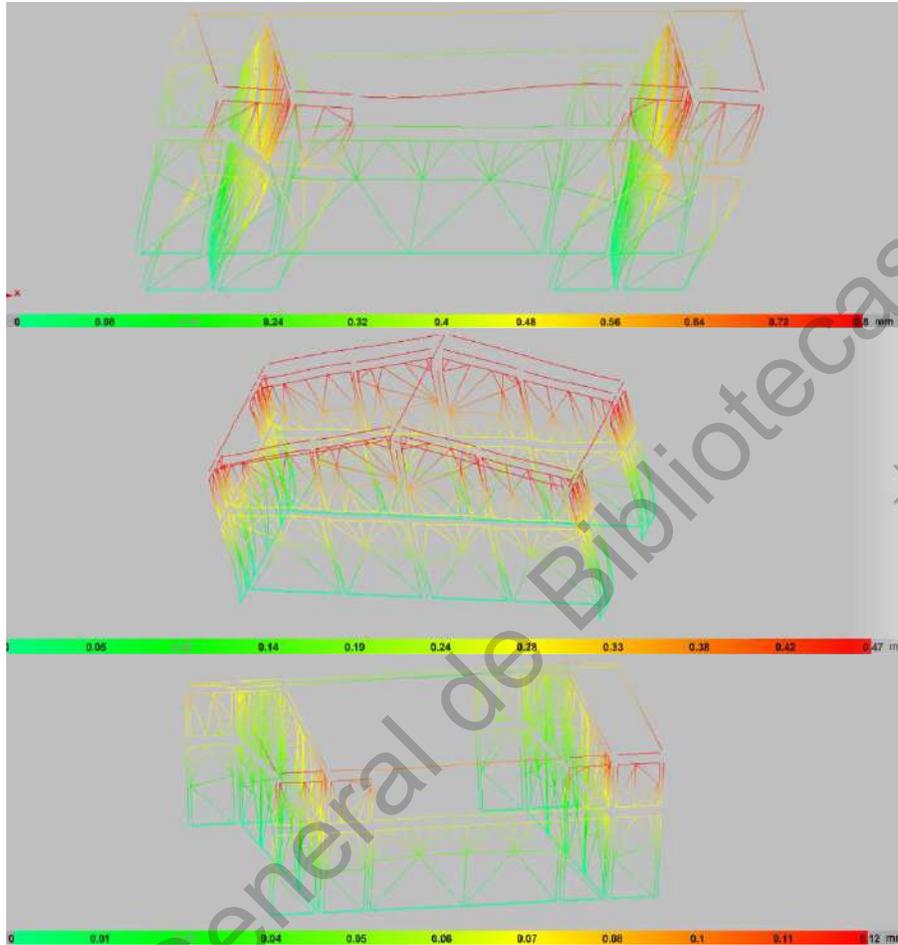


FACHADA POSTERIOR

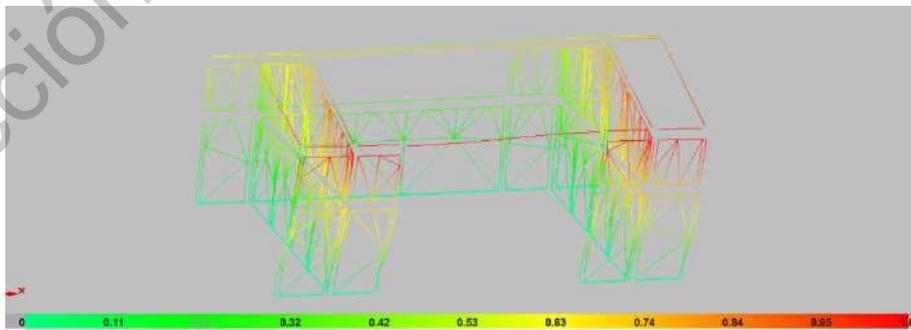


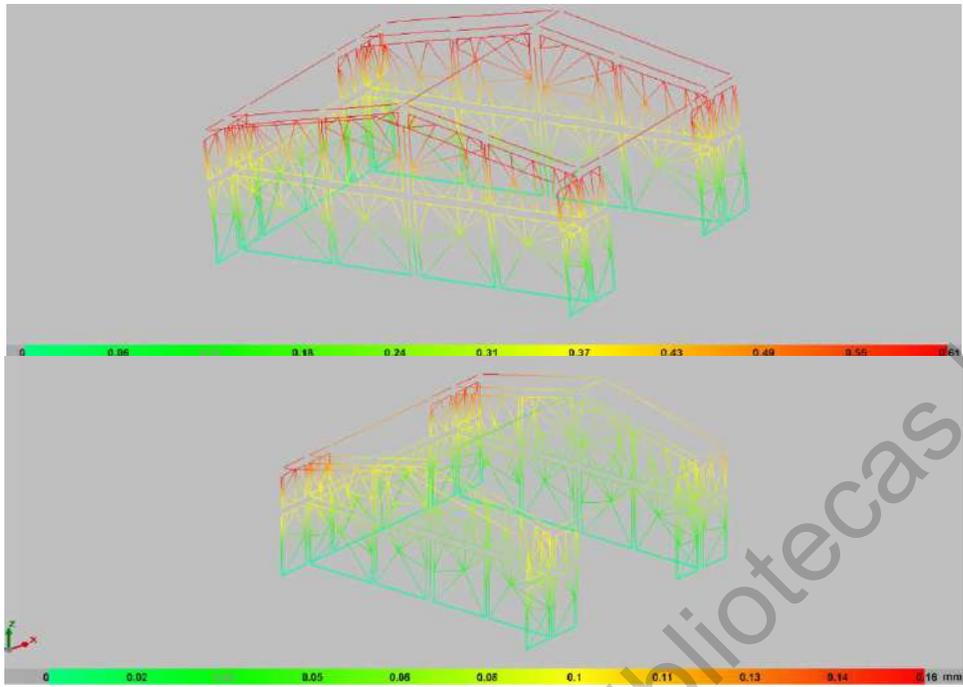
Apéndice 7

a) Modelo Análisis Sísmico Zona A (Desplazamiento en X, Y, Torsión)

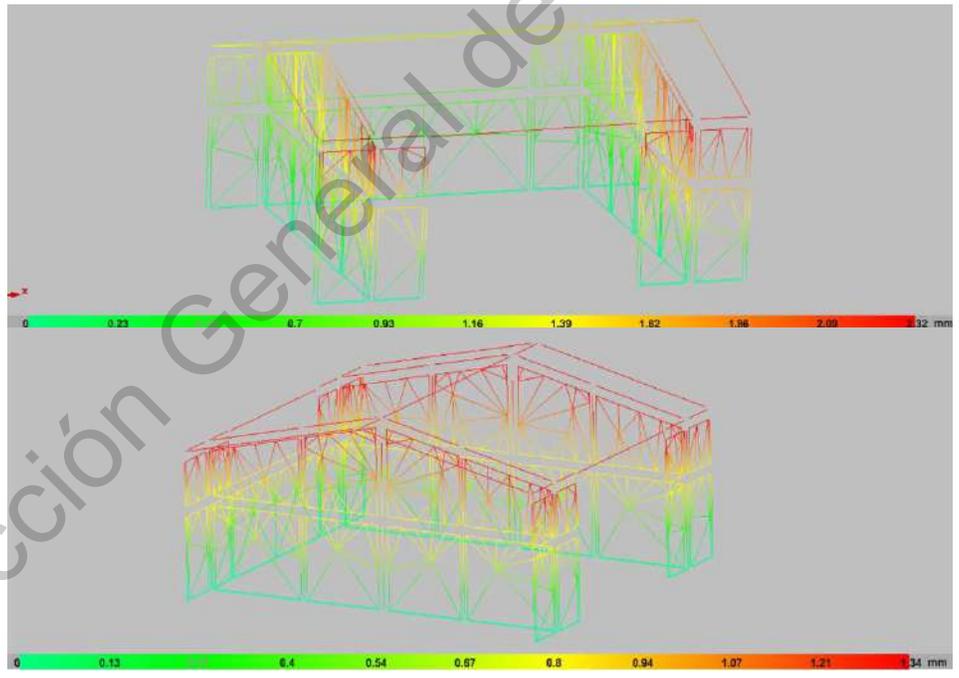


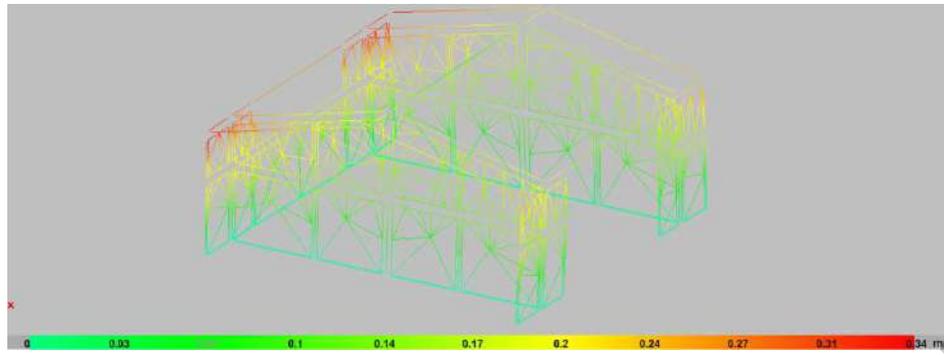
b) Modelo Análisis Sísmico Zona B (Desplazamiento en X, Y, Torsión)



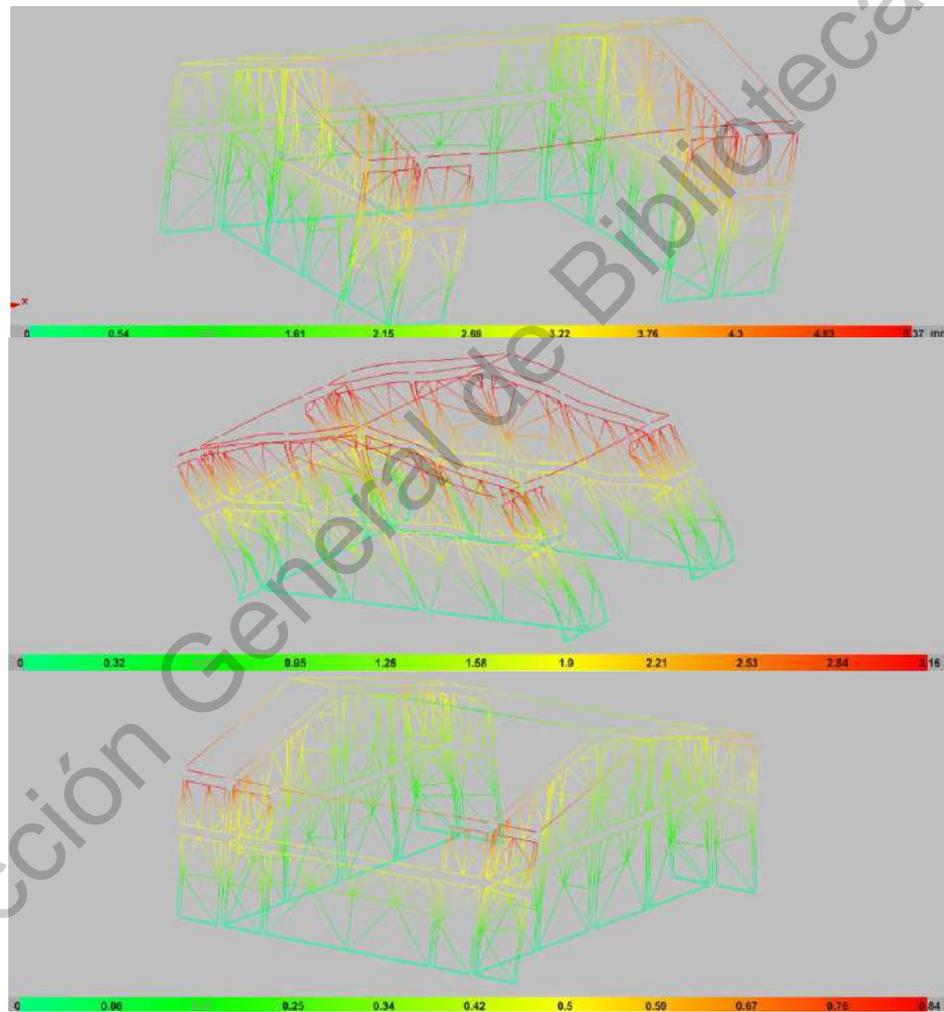


c) Modelo Análisis Sísmico Zona C (Desplazamiento en X, Y, Torsión)





d) Modelo Análisis Sísmico Zona D (Desplazamiento en X, Y, Torsión)



f) Análisis de Ciclo de Vida

