



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Unidad Xochimilco

División de Ciencias y Artes para el Diseño

Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño

Área de concentración:

Diseño, Tecnología y Educación

Análisis e integración de la Norma Mexicana de Edificación Sustentable para el diseño de Instalaciones MEP con BIM

**Idónea comunicación de resultados que para obtener
el grado de Maestría presenta:**

José Ramón Castaños Quintero

Asesor:

Maestro Luis García Galiano

Ciudad de México, 19 de julio del 2018



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Unidad Xochimilco

División de Ciencias y Artes para el Diseño

Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño

Área de concentración:

Diseño, Tecnología y Educación

Análisis e integración de la Norma Mexicana de Edificación Sustentable para el diseño de Instalaciones MEP con BIM

**Idónea comunicación de resultados que para obtener
el grado de Maestría presenta:**

José Ramón Castaños Quintero

Asesor:

Maestro Luis García Galiano

Lector:

Dr. María Isabel Arbesú García

Coordinador de Área:

Dr. Iñaki Olaizola Arizmendi

Ciudad de México, 19 de julio del 2018

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi sincera gratitud a todo el personal académico y administrativo de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco por que, sin su guía y apoyo, este trabajo no hubiera sido posible. En especial al Dr. Iñaki Olaizola, que considero es un excelente profesor y amigo, a mi tutor el Maestro Luis García Galiano que, gracias a sus comentarios y su forma tan acertada de exponer las cosas, ayudó a dar forma y solidez a este proyecto de investigación y a la Dra. Isabel Arbesú por sus puntos de vista peculiares y su forma sencilla y amable de entablar comunicación dentro y fuera del aula. Por último, quisiera agradecer a mis padres y a Idaira por su apoyo incondicional, el cual me fortaleció durante los tiempos difíciles.

Resumen

Nuestro entorno natural se ha visto afectado por el crecimiento y el desarrollo tecnológico. La industria Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), propicia este desarrollo. Sin embargo, es responsable del consumo masivo de materiales y de energía; lo que contribuye directamente a la generación de contaminantes a nivel mundial. Las instalaciones Mecánicas, Eléctricas y de Plomería (MEP) inciden negativamente en esta problemática. Diversas investigaciones sostienen que la demanda de edificios de alto rendimiento ha incrementado en los últimos años y se ha convertido en una preocupación entre los profesionales de la industria. Esto ha impulsado la creación de nuevos métodos, normatividades e instrumentos para el diseño de edificaciones sustentables. Nuevas herramientas de diseño como el *Building Information Modeling* (BIM) facilitan y mejoran el proceso de diseño de dichas propuestas en etapas conceptuales de un proyecto. Sin embargo, el número de casos que logran aprovechar por completo las virtudes y características que representan estas nuevas alternativas, es por lo general muy bajo. La estandarización de prácticas de diseño basadas en normatividades sustentables, como la Norma mexicana de Edificación Sustentable, presentan características que pudieran mejorar la aplicación e integración del diseño sustentable con el BIM. El análisis de requerimientos específicos de la NMX-AA-164-SCFI-2013 pudiera ayudar a determinar las características que requieren cumplir las instalaciones MEP de alto rendimiento de acuerdo con el estándar mexicano y posteriormente poder desarrollar una base de datos de objetos BIM certificados. La implementación de esta propuesta ayudaría a determinar el tipo de equipos y materiales requeridos de acuerdo con los lineamientos establecidos por la norma mexicana de edificación sustentable.

Tabla de Contenido

Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Tabla de contenido	v
Lista de figuras	vii
Lista de tablas	ix
Capítulo 1: Estado del Arte	1
1.1. Introducción	1
1.2. Impactos ambientales de las edificaciones	3
1.2.1. Consumo energético	3
1.2.2. Instalaciones Mecánicas, Eléctricas y de Plomería (MEP)	5
1.2.3. Consumo y disponibilidad hídrica	5
1.3. Situación en México	6
1.4. Sector residencial y comercial	7
1.6. Resumen de capítulo	8
Capítulo 2: Marco teórico	9
2.1. Introducción	9
2.2. Prácticas sustentables	9
2.2.1. Desarrollo Sustentable (DS)	9
2.2.2. Edificación Sustentable (ES)	10
2.2.3. Diseño de instalaciones sustentables	11
2.2.4. Sistemas y estándares de diseño sustentable	12
2.3. Norma mexicana de edificación sustentable	14
2.3.1. Precedentes de la NMX-AA-164-SCFI-2013	14
2.3.2. Objetivos, requisitos y campo de aplicación	15
2.3.3. Energía y agua	16
2.3.4. Evaluación	16
2.4. Building Information Modeling (BIM)	17
2.4.1. Análisis del concepto	17
2.4.3. Beneficios de la implementación del BIM	18
2.4.4. Elementos BIM en Autodesk Revit	19
2.4.5. Diseño sustentable con BIM	20
2.5. Resumen de capítulo	23

Capítulo 3: Procedimiento metodológico	24
3.1. Introducción	24
3.2. Componentes del modelo propuesto	24
3.3. Módulo 1: NMX-AA-164-SCFI-2013	25
3.4. Módulo 2: Desarrollo de una base de datos	25
3.4.1. Selección y recolección de elementos BIM	27
3.4.2. Recolección de información disponible	28
3.4.3. Desarrollo de plantillas de trabajo en Autodesk Revit	
3.5. Resumen de capítulo	30
Capítulo 4: Desarrollo y análisis	31
4.1. Introducción	31
4.2. Criterios de diseño de la NMX-AA-164-SCFI-2013	32
4.2.1. Eficiencia energética en instalaciones	32
4.2.2. Criterios para la eficiencia hídrica en instalaciones	34
4.2.3. Estrategias para la aplicación en campo	36
4.2.4. Evaluación de criterios, medidas y estrategias sustentables	36
4.3. Desarrollo de base de datos	38
4.3.1. Recolección de elementos BIM e información	38
4.3.2. Revisión y organización de elementos BIM	42
4.3.3. Integración de la base de datos con Revit 2017	44
4.3.4. Aplicación del modelo	48
4.4. Resumen de capítulo	49
Capítulo 5: Discusión y líneas futuras de investigación	50
5.1. Conclusiones	50
5.2. Contribuciones de la investigación	51
5.2. Líneas futuras de investigación	53
Referencias	54
Anexos	58
Apéndice informativo	64

Lista de figuras

Figura 1. Proyección de emisiones de GEI por industria.....	4
Figura 2. Consumo energético de instalaciones Mecánicas, Eléctricas y Plomería.....	4
Figura 3. Requerimientos generales y particulares de la NMX-AA-SCFI-2013.....	15
Figura 4. Propuesta para la evaluación de conformidad de la NMX-AA-164-SCFI-2013.....	16
Figura 5. Vista 3D de modelo BIM Arquitectónico de tienda departamental en Sinaloa.....	18
Figura 6. Elementos modelo (3D) de la Unidad Académica del Instituto Tecnológico de Culiacán...20	
Figura 7. Tipos de archivos generados en Autodesk Revit.....	20
Figura 8. Ejemplo de jerarquización de equipos de aire acondicionado en MasterFormat.....	23
Figura 9. Procedimiento metodológico.....	24
Figura 10. Características de un objeto BIM.....	26
Figura 11. Propiedades de un calentador de agua instantáneo de alta eficiencia.....	28
Figura 12. Edificio “S” de la carrera de Diseño Industrial.....	29
Figura 13. Información específica del Edificio “S” establecida por medio de templates.....	30
Figura 14. Actividades realizadas durante el desarrollo del procedimiento metodológico.....	31
Figura 15. Procedimiento para el desarrollo de un base de datos de elementos BIM certificados...38	
Figura 16. Buscador de elementos BIM en el sitio de BIMobject.....	39
Figura 17. Búsqueda y recolección de objetos BIM certificados a través Librería Nacional BIM.....	39
Figura 18. Búsqueda y recolección de objetos BIM certificados a través de BIMobject.....	40
Figura 19. Búsqueda y recolección de objetos BIM certificados a través del sitio de bimstore.....	40
Figura 20. Recolección de objetos BIM e información relacionada al elemento.....	42
Figura 21. Organización de base de datos de elementos con MasterFormat 2016.....	43
Figura 22. Estructura del modelo desarrollado.....	44
Figura 23. Información del modelo BIM del Edificio “S” de Diseño Industrial.....	45
Figura 24. Acceso a las preferencias de Autodesk Revit.	46

Figura 25. <i>Identificación de la base de datos de elementos BIM desarrollada.....</i>	47
Figura 26. <i>Modelado BIM del edificio “S” de la carrera de Diseño Industrial en la UAM-X.....</i>	48
Figura 27. <i>Modelado BIM del edificio “S” de la carrera de Diseño Industrial en la UAM-X.....</i>	49

Lista de tablas

<i>Tabla 1. Estrategias y métodos para el diseño sustentable adaptados para instalaciones MEP.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Beneficios de BIM en el diseño de instalaciones MEP.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3. Medidas de la NMX-AA-164-SCFI-2013 para el diseño de instalaciones MEP.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4. Requisitos obligatorios para el desarrollo de edificaciones nuevas.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5. Aplicación de estrategias sustentables para el desarrollo de instalaciones MEP.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 6. NMX-AA-164-SCFI-2013 desde la teoría de Kim y Rigdon (1998) y Kubba (2017).....</i>	<i>37</i>

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE

1.1. *Introducción*

La industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) posee un papel protagónico en la degradación de nuestro ecosistema. En países desarrollados, como E.U.A. o Canadá, este sector es responsable de la mitad de las emisiones anuales de dióxido de carbono (CO²) y del consumo de tres cuartas partes de la electricidad producida (WBCSD, 2007; Middlebrooks, 2008; USDOE, 2008). Debido a esto, investigaciones recientes han concluido que el rendimiento energético en edificaciones es de suma importancia durante la búsqueda de soluciones afables para nuestro medio ambiente (Middlebrooks, 2008; Azhar et al., 2011; Park et al., 2012; Jalaei et al., 2014). Una parte importante de esta problemática es ocasionada por las instalaciones mecánicas, eléctricas y de plomería (MEP) (Kibert, 2005; Middlebrooks, 2008; USDOE, 2008). Por consiguiente, la demanda de edificaciones de alto rendimiento ha aumentado en los últimos años y el diseño de instalaciones MEP se ha convertido en uno de los factores más importantes a considerar durante el desarrollo de este tipo de proyectos (Biswas, 2008; Azhar, 2011; Zanni et al., 2014; Wang et al., 2015).

Investigaciones como la de Wong y Fan (2013) sostienen que la implementación del paradigma de la sustentabilidad en la industria AEC pudiera desempeñar un papel fundamental en la transición hacia economías con bajas emisiones de GEI (Wong & Fan, 2013). Por lo que el análisis y aplicación del concepto de Desarrollo Sustentable (DS) pudiera proporcionar las pautas necesarias para la resolución de la problemática anterior mencionada. La usual interpretación del DS, dentro de la industria AEC, es el de la construcción de edificaciones que utilicen menos materiales y demanden menos energía (Anastas & Zimmermann, 2003). Esta situación ha colocado a los diseñadores en una etapa de transición, en donde los objetivos principales se han centrado en minimizar: **1)** el consumo energético; **2)** las emisiones de carbono y **3)** la huella ambiental (USDOE, 2008). Sin embargo, la aplicación del DS en la industria AEC no se encuentra bien definida. Esto pudiera deberse, principalmente, al gran número de diseños que intervienen y conforman una edificación -estructura, paisaje, plomería, datos, calefacción, refrigeración, seguridad, energía, iluminación y controles-. Dichos diseños generan una exacerbada cantidad de información que limita y fragmenta la comunicación entre los integrantes de un equipo de trabajo (Cidik, et al., 2014). Por lo que distintas investigaciones señalan que las etapas conceptuales deben considerarse como las fases más críticas para la implementación de medidas sustentables (Schlueter & Thesseling, 2009; Jalaei & Jrade, 2014).

Durante las prácticas actuales de diseño, arquitectos e ingenieros deben realizar una serie de análisis de energía basados en las características específicas del proyecto desarrollado, e.g., la forma del edificio, el tipo de materiales utilizados, el contexto y sus instalaciones (Azhar et al., 2010). Sin embargo, la realidad es que no existe una integración como tal entre los procedimientos de diseño y dichos análisis de energía. Por lo que los diseñadores suelen incorporar medidas de eficiencia energética en fases posteriores a la conceptual (Schueter & Thesseling, 2009). Debido a esto, Kubba (2017) sostiene que “es necesario fomentar la colaboración multidisciplinaria desde etapas conceptuales con el objetivo de establecer un intercambio multidisciplinario de información y donde dicha interacción se encuentre fundamentada en la colaboración y en el diseño integrado” (2017: 79-121). Esto ha impulsado la creación de nuevos métodos de diseño, normatividades de edificación sustentable y herramientas tecnológicas. Lamentablemente, en México, el número de casos que logran aprovechar por completo las virtudes y características que representan estas nuevas alternativas de diseño es por lo general muy bajo. La estandarización de procedimientos de diseño basados en normatividades sustentables, como guías de trabajo, presentan características que pudieran facilitar y mejorar dicha integración.

En México, fue hasta el año 2013 cuando se oficializó por primera vez una reglamentación dirigida al diseño de edificaciones sustentables. El informe oficial de la norma NMX-AA-164-SCFI-2013 declara que es un instrumento de política ambiental y contiene especificaciones técnicas más estrictas a las ya establecidas por la norma oficial mexicana (NOM). La evaluación de las características del documento oficial y su incorporación por medio de una herramienta BIM pudiera facilitar el diseño de instalaciones MEP normadas. El objetivo principal de este proyecto de investigación es analizar e integrar los lineamientos establecidos por la norma NMX-AA-164-SCFI-2013 para el diseño de instalaciones MEP sustentables con la aplicación del *Building Information Modeling* (BIM). La utilización de nuevas herramientas de diseño como el BIM permiten **1)** visualizar edificios y sus instalaciones antes de su construcción; **2)** incorporar criterios de diseño sustentable durante etapas conceptuales; y **3)** posibilita la realización de análisis de energía. Esto pudiera permitir a ingenieros mecánicos identificar y cumplir los criterios y requerimientos mínimos establecidos para el desarrollo de instalaciones MEP de acuerdo con el estándar mexicano. Sin embargo ¿De qué manera puede ser categorizada e integrada en un mismo procedimiento de diseño la aplicación de la Norma Mexicana de Edificación Sustentable con una metodología BIM?

Para responder a esta pregunta de investigación fue necesario establecer 2 objetivos específicos:

1. Integrar los requerimientos de la norma mexicana de edificación sustentable en materia de instalaciones MEP con Autodesk Revit 2017 por medio de la recolección de elementos BIM certificados.
2. Elaborar un modelo BIM de una edificación existente que utilice el marco de referencia desarrollado y haga uso de los elementos BIM seleccionados.

1.2. Impactos ambientales de la industria AEC

1.2.1. Consumo energético

El consumo energético de un edificio se define como la cantidad de energía que requiere un inmueble para satisfacer la demanda de sus instalaciones y establecer un confort interior, *i.e.*, la energía que requiere un sistema para realizar su función (Manteca, 2012). De acuerdo con investigaciones realizadas por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) y por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD) los edificios representan el 40% del consumo energético en países desarrollados y, por sorprendente que parezca, estos superan la huella de carbono generada por toda la industria del transporte combinada (DOE, 2008; WBCSD, 2009). La Agencia Internacional de Energía (IEA) por su parte sostiene que el sector de la construcción es responsable de un tercio del consumo global de la energía final utilizada en todo el planeta, lo que lo hace responsable de aproximadamente un tercio del total de emisiones de GEI. Se ha pronosticado que, de no implementar mejores prácticas de diseño, la demanda energética de las edificaciones pudiera aumentar hasta en un 50% para el año 2050 (IEA, 2013). Esta situación convierte a la industria AEC en uno de los sectores más rentables para reducir a mediano y largo plazo la contaminación a nivel mundial. De lograrlo, se estima que el diseño y construcción de edificios de “alto rendimiento” ayudaría a reducir hasta en un 42% el nivel de CO₂ mundial y generaría ahorros de hasta 1,509 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) (IEA, 2010; IEA, 2013).

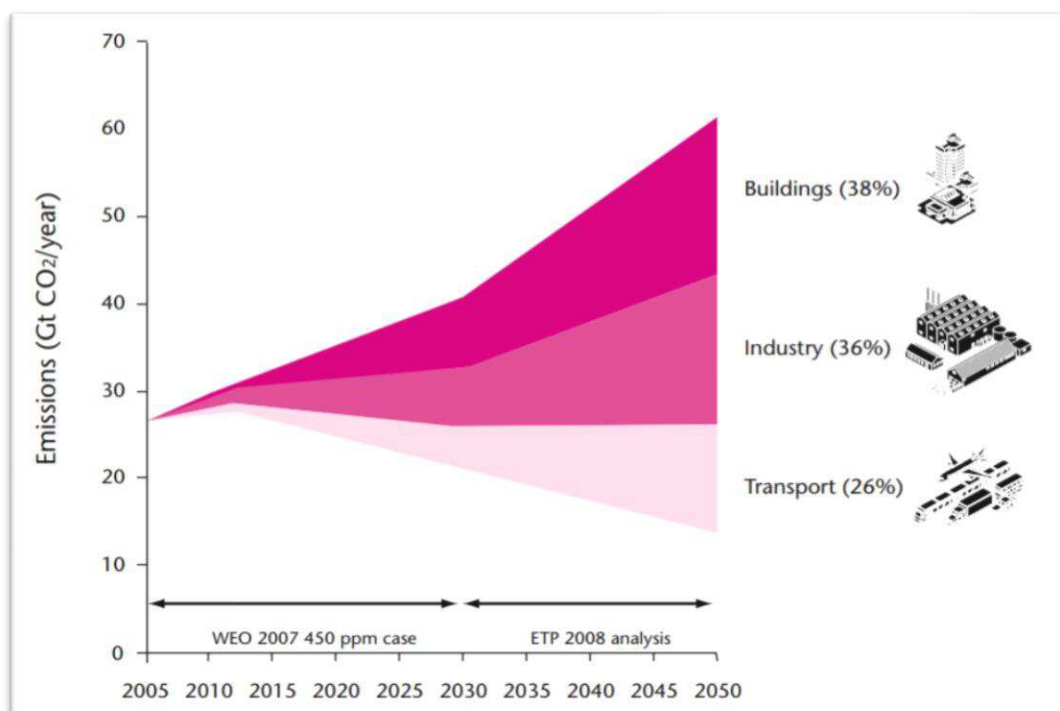


Figura 1. Proyección de emisiones de GEI por industria (WBCSD, 2009: 16)

A continuación, las siguientes publicaciones enfatizan la implicación de la industria AEC en el panorama energético mundial:

1) De acuerdo con el DOE, la quema de carbón y gas natural para suministrar electricidad a los edificios hace que estos sean responsables de la mayor proporción de emisiones de GEI en los Estados Unidos (DOE, 2008); **2)** La Administración de la Información sobre la Energía de los Estados Unidos (US-EIA) sostiene que la industria AEC consume el 48% de la energía generada, produce el 44.6% de las emisiones de CO₂ y es responsable del 76% de toda la electricidad producida en dicho país (Mazria, 2010); **3)** En 2013, un informe del Consejo para la Edificación Sustentable (USGBC) establece que a través del desarrollo de edificaciones de alto rendimiento es posible reducir entre un 24 y 50% el consumo de energía, el 30% de las emisiones de CO₂ y el 40% del consumo de agua (Wang & Adeli, 2014); y **4)** La Organización Mundial de la Energía (WEC), en su publicación más reciente titulada *World Energy Resources*, afirma que los edificios consumen aproximadamente el 34% de la energía total del planeta (WEC, 2016).

Debido a la situación crítica de esta problemática, el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD) ha establecido 3 ejes principales para la reducción de estas emisiones de GEI en las edificaciones (2009):

1. La reducción de la demanda de energía, que incluye el uso de diseños, materiales y equipos que sean más eficientes energéticamente.
2. La producción local de energía, a partir de recursos renovables y de otros modos alternativos.
3. La utilización uso de redes inteligentes de energía entre edificios.

1.2.2. Instalaciones MEP

Una edificación requiere de instalaciones de iluminación, calefacción en invierno, refrigeración en verano, calentamiento de agua, etc. Consecuentemente, se puede deducir que la ingeniería puede contribuir a la Eficiencia Energética (EE) de los edificios aportando sistemas mecánicos de menor demanda y de mejor tamaño (Middlebrooks, 2008). De acuerdo con Kibert (2005), “estas instalaciones son responsables del 23% de la energía total consumida en un edificio” (2005: 201). Lo que las convierte en un aspecto importante a considerar si lo que se desea es mejorar la EE en una edificación (Park et al., 2012). La utilización de mejores prácticas en el diseño de instalaciones MEP puede favorecer sustancialmente en la transición hacia una economía baja en emisiones de GEI debido a que el diseño y desarrollo de estos sistemas considera diversos elementos que pueden ser manipulados a conveniencia; como la correcta selección de materiales, equipos e instalaciones. Sin embargo, los factores que determinan el tipo de instalaciones MEP a utilizar se encuentran fuertemente influenciados por el diseño arquitectónico, la zona geográfica del edificio, su orientación y la infraestructura civil. Por esta razón, hoy en día existe una demanda de diseños más sofisticados, mejores espacios y de una mejor comunicación y coordinación entre disciplinas. Esto ha ocasionado que el diseño de instalaciones MEP se convierta en uno de los más recientes desafíos entre los profesionales de la industria (Wang et al, 2015: 134).

1.2.3. Consumo y disponibilidad hídrica

En México, la disponibilidad del agua es un asunto de seguridad nacional debido a que el 80% de la población del país vive en ambientes cálidos y secos (CCA, 2008). Se estima que el país recibe al año 3,845 metros cúbicos (m³) de agua por habitante (FAO, 2016); lo cual es considerado “bajo” de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (CCA, 2008: 53). Entre el aumento de la demanda hídrica y la reducción del suministro se puede deducir que la tendencia actual del consumo de agua a nivel mundial no es sustentable. Por tal motivo, se deben buscar e implementar formas eficientes para aprovechar el recurso y

tomar medidas que permitan utilizar menor cantidad de agua en cualquier proceso o actividad (Sánchez y Sánchez, 2004). Un edificio requiere de instalaciones hidráulicas que faciliten la disponibilidad del recurso. De acuerdo con Bourguett y colaboradores estas instalaciones pueden ser agrupadas en 4 categorías (2003: 18):

1. **Distribución:** tuberías de agua fría, tuberías de agua caliente.
2. **Medición:** medidores volumétricos de agua (contadores), medidores del nivel de agua en almacenamientos.
3. **Almacenaje:** cisternas, tinacos, piletas, albercas y otros depósitos o contenedores.
4. **Extracción:** llaves de lavabos (en servicios sanitarios, áreas de quirófanos y laboratorios).

La USGBC (2009), por su parte, clasifica la disponibilidad del agua de una edificación en 3 áreas de uso común (2009: 68): **1) Agua para interiores:** la utilizada en el interior del edificio para la descarga del inodoro, lavado de manos y para beber; **2) Agua en exteriores:** la utilizada fuera del edificio para el mantenimiento de la jardinería paisajista; y **3) Agua de proceso:** la utilizada en los sistemas de edificios para calefaccionar y refrigerar el aire a fin de mantener las temperaturas del edificio. De acuerdo con lo anterior, la eficiencia hídrica en una edificación puede entenderse como la implementación de prácticas que mejoren la manera tradicional de afrontar el incremento de la demanda del recurso, *i.e.*, “establecer una gestión estratégica e integral que modifique el comportamiento de los diferentes usuarios y, de esa manera, diseñar instalaciones hidráulicas eficientes y mejorar las existentes” (Sánchez y Sánchez, 2004: 10).

1.3. Situación en México

En América del norte el organismo encargado de abordar los asuntos ambientales y contribuir a prevenir posibles conflictos es la Comisión para Cooperación Ambiental (CCA). Esta organización fue creada por Canadá, Estados Unidos y México en el marco del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN) y señala que la energía consumida por los edificios en Canadá, E.U.A. y México ocasiona la liberación a la atmósfera de más de 2,200 megatoneladas (Mt) de dióxido de carbono (CO²); lo que se traduce en un 35% del total de la región.

De acuerdo con la información encontrada en las investigaciones realizadas por la CCA y la Secretaría de Energía (SENER) se estima que en México las edificaciones son responsables del:

1. 20% del consumo total de energía total del país
2. 5% del consumo total de agua
3. 25% del consumo total de electricidad
4. 20% de las emisiones de dióxido de carbono
5. 20% de los desechos generados.

Debido a la urgencia de esta situación se han establecido 3 posibles escenarios en nuestro país para el año 2030 (Ver anexo 1): **1)** El escenario tendencial (*business-as-usual*, BAU), el cual modela proyecciones energéticas y de emisiones de GEI con base en la extrapolación de la tasa del crecimiento inmobiliario y los niveles de consumo energético típicos de México; **2)** el escenario del Instituto Americano de Arquitectos (AIA), también conocido como Desafío 2030, el cual establece un calendario de mejora continua de las metas de desempeño energético a partir de reducciones en la cantidad de combustible fósil necesario para la operación de los edificios y; **3)** el escenario de una ecología profunda, el cual se fundamenta en la adopción de tecnologías modernas de ahorro de energía en los edificios (CCA, 2008: 40). De continuar con el escenario tendencial (BAU) se espera que en México se incremente en un 152% el consumo de energía del sector habitacional y 144% en el comercial. Esta situación representaría 119 mt adicionales de CO² para el 2030 tan solo en nuestro país. (CCA, 2008: 42).

1.4. Sector residencial y comercial

Las características y necesidades de una edificación residencial son claramente diferentes a las de una comercial debido a que el consumo de un edificio varía considerablemente dependiendo de las funciones que éste desempeñe, el país y la zona geográfica en la que se encuentre. Sin embargo, estudios de la US-EIA afirman que la mayor parte de la energía utilizada en ambos sectores se utiliza en el acondicionamiento del espacio, *i.e.*, **1)** calefacción; **2)** refrigeración; e **3)** iluminación (DOE, 2008: 15). El consumo energético se encuentra condicionado por dos factores: **1)** la demanda energética (DE) de los equipos e instalaciones que posee una edificación y **2)** su eficiencia energética (EE). La EE hace referencia a la reducción del consumo de energía primaria y, consecuentemente, al de GEI causado por el desarrollo y operación de los edificios.

Por lo tanto, la DE es la energía que requiere un edificio para funcionar correctamente, de acuerdo con los estándares adecuados y cumpliendo los requerimientos básicos de su función. El consumo energético, por su parte, atiende a la relación entre la

demanda y el rendimiento del sistema suministrador de energía, *i.e.*, $\text{Consumo} = \text{DE} / \text{R}$ (Manteca, 2012). Florencio Manteca (2012), director del área de energía en el Centro Nacional de Energía Renovables de España (CENER) sostiene que esta demanda puede ser generalizada y dividida en 3 tipos (2012):

1. **Demanda térmica:** para satisfacer los requerimientos de agua caliente y sanitaria (ACS), calefacción y refrigeración.
2. **Demanda luminosa:** en los requerimientos del confort lumínico.
3. **Demanda eléctrica:** para el funcionamiento de las diferentes instalaciones y aparatos.

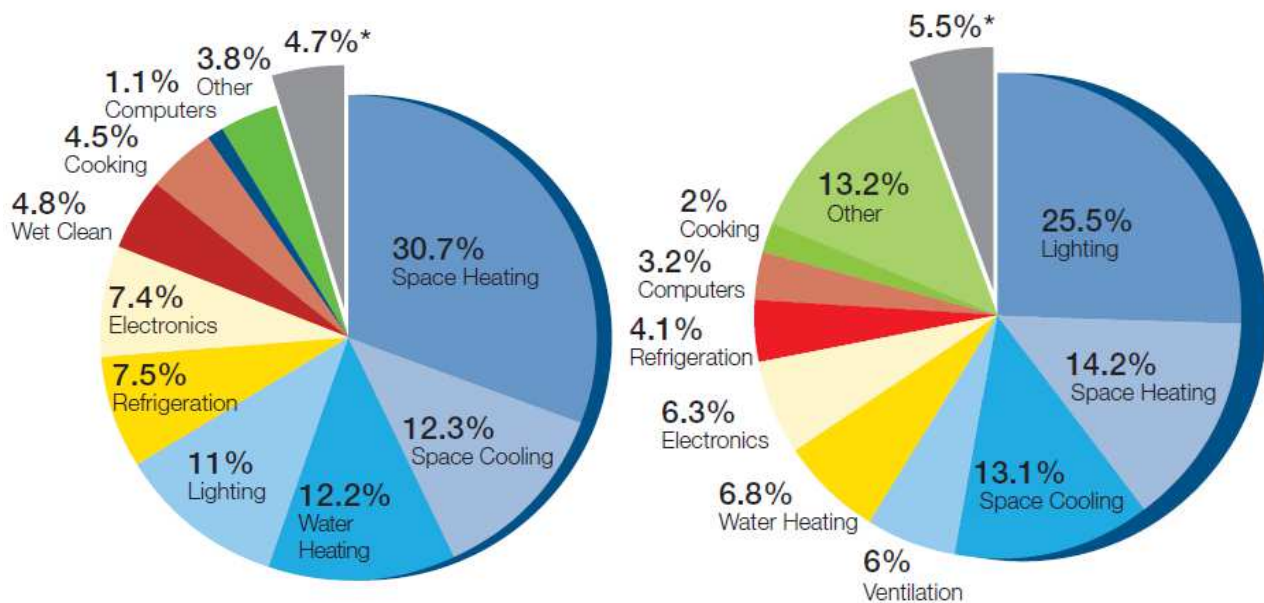


Figura 2. Consumo energético de instalaciones MEP; sector residencial vs sector comercial en E.U.A. (DOE, 2008: 15-22).

1.5. Resumen de capítulo

Este capítulo ha revisado la literatura existente referente a la importancia de las instalaciones MEP y los impactos ambientales generados por la industria AEC. Toda la información y referencias documentadas representan la problemática general de este proyecto de investigación. Distintos estudios sugieren que el análisis y la implementación del DS en los procedimientos de diseño de edificaciones, en conjunto con la utilización de nuevas herramientas tecnológicas, pudieran mejorar los diseños propuestos. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la aplicación del DS en esta industria no se encuentra claramente definida. En el caso específico de nuestro país, los profesionistas mexicanos no se encuentran preparados para el desarrollo de este tipo de proyectos multidisciplinarios (Guzmán *et al.*, 2014: 28).

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

Se ha establecido que el diseño de instalaciones MEP es uno de los aspectos con mayor importancia en el desarrollo de edificaciones de alto rendimiento. La revisión del estado del arte ha develado que es necesario generar cierto nivel de concientización sobre la importancia de la utilización de nuevas tecnologías de diseño, así como nuevas estrategias y métodos que faciliten la aplicación del DS en la industria AEC. Este capítulo analiza los siguientes puntos a través de una extensa revisión de la literatura:

1. Implicación del Desarrollo Sustentable (DS) en la industria AEC y análisis del concepto de Edificación Sustentable (ES).
2. Principios y estrategias en el diseño de instalaciones MEP sustentables.
3. Revisión de objetivos, requisitos y procedimientos para la aplicación de la norma mexicana de edificación sustentable NMX-AA-164-SCFI-2013.
4. Análisis del concepto de *Building Information Modeling* (BIM), objetos BIM y la evaluación de su implementación en el diseño sustentable.
5. Organización de elementos BIM a través de un sistema WBS (*Work Breakdown Structure*)

2.2. Prácticas sustentables en la Industria AEC

2.2.1. Desarrollo Sustentable (DS)

El DS es controvertido, esto se debe principalmente a que las teorías que existen alrededor del paradigma son moldeadas por las diferentes cosmovisiones otorgadas por personas y organizaciones; las cuales interpretan a su conveniencia el significado del término (Giddings *et al.*, 2002). Este concepto fue utilizado por primera vez en el año de 1972 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (CNUMAD) realizada en Estocolmo, Suecia. En 1980, La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) enfatizó la necesidad de encontrar nuevas alternativas de desarrollo enfocadas en la estimulación del crecimiento socioeconómico y define el DS como “el proceso de mejora económica y social que logra satisfacer las necesidades de todos los grupos interesados y, que mantiene al mismo tiempo las opciones futuras conservando los recursos naturales” (UICN, 1980: 16). Sin embargo, fue hasta 1987, cuando la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD) en su informe “*Our common future*” acuñó que el DS

“consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades” (WCED, 1987: 37). Investigadores como Kim y Rigdon (1998: 6), Harris (2003: 8) o Giddings (2002: 194) sostienen que esta definición pudiera parecer algo limitada al no describir claramente la terminología acerca de las necesidades humanas. En el año de 1997, Elkington realiza una reestructuración del concepto y lo sistematiza en 3 aspectos. A través de su libro, “*Cannibals with forks*”, introdujo el enfoque del *Triple Bottom Line (TBL)*, el cual considera que las dimensiones anteriormente definidas en el Informe de Brundtland (1987) debían ser tomadas en cuenta desde una perspectiva más integrada (Elkington, 2004: 2). Por lo tanto, en la actualidad el DS se encuentra estructurado sobre tres ejes: **1)** lo social, **2)** lo económico y **3)** lo ecológico, *i.e.*, las personas (sociedad), la prosperidad (economía) y el planeta (medio ambiente).

De acuerdo con la información encontrada en la literatura el objetivo actual de investigadores y profesionales se ha concentrado en encontrar el equilibrio entre los aspectos ambientales, sociales y económicos en los que se desenvuelve el concepto. Atacar esos vacíos resultaría en mayor o menor medida en una solución sustentable (Krygiel y Nies, 2008). En conclusión, la ambigüedad del DS propicia su complejidad. Sin embargo, la necesidad de implementarlo a largo plazo adquiere relevancia frente a la inminente sobrepoblación del planeta (NSF, 2000: 2). Es válido asumir que el DS se encuentra en un estado de transformación constante ya que este nos ayuda a apreciar el progreso del ser humano, su relación con el entorno y el manejo de sus recursos desde una perspectiva racional.

2.2.2. Edificación sustentable (ES)

La industria AEC puede contribuir de manera positiva en los objetivos del DS. Esto se debe, principalmente, “al impacto ambiental, social y económico que esta industria es capaz de generar” (Brennan y Cotgrave, 2014: 315). Myers (2005) afirma que “uno de los retos actuales que se plantean investigadores y profesionales es establecer alternativas de diseño, en donde los beneficios sociales y ambientales vayan de la mano con los beneficios económicos” (2005: 781). Debido a esto Kubba (2017) concluye, en su libro “*Handbook of Green Building Design and Construction*”, que **1)** optimizar el rendimiento de un edificio, **2)** reducir su impacto sobre el medio ambiente y **3)** minimizar el costo total, deben ser los objetivos finales de la sustentabilidad en la industria AEC (2017: 121). Por otro lado, Anastas y Zimmermann (2003) sostienen que “la aplicación del DS en la construcción depende de factores interrelacionados e interdependientes que se ven afectados por la

toma de decisiones de un equipo de diseño” (2003: 95). Por lo que el concepto de edificación sustentable (ES) puede ser entendido como el esfuerzo multidisciplinario de un equipo de diseño enfocado en la creación de proyectos ahorradores y amigables con nuestro entorno. La CCA (2008), aporta otra importante definición y establece que la ES:

Sugiere la utilización de prácticas y materiales respetuosos del medio ambiente en la planeación, diseño, ubicación, construcción, operación y demolición de edificaciones. El término se aplica tanto a la renovación y reacondicionamiento de inmuebles preexistentes como a la construcción de nuevos edificios, sean habitacionales o comerciales, públicos o privados (CCA, 2008: 72).

Por último, Kibert (2005) afirma, en su libro “*Sustainable Construction: Green Building Design and delivery*”, que el término de ES puede ser definido como las instalaciones saludables diseñadas y construidas de manera eficiente utilizando 7 principios: **1)** Reducción; **2)** Reutilización; **3)** Reciclaje; **4)** Protección de la naturaleza; **5)** Eliminación de tóxicos; **6)** Ciclo de vida y **7)** Calidad (2005: 12). De acuerdo con la información encontrada en la literatura se concluye que la ES: **1)** Atiende las necesidades de confort y funcionalidad de los usuarios; **2)** Es económicamente costeable tanto en su construcción como en su operación y mantenimiento; y **3)** Utiliza prácticas y materiales respetuosos del medio ambiente (Ver Anexo 2).

2.2.3. Diseño sustentable de instalaciones MEP

Como se mencionó anteriormente, el gran número de diseños requeridos en una edificación genera una exacerbada cantidad de información que limita y fragmenta la comunicación entre los integrantes de un equipo de diseño (Cidik, et al., 2014). Debido a esto, las etapas iniciales de un proyecto son consideradas las más críticas (Schlueter & Thesseling, 2009; Jalaei & Jrade, 2014). Esta interacción multidisciplinaria ha ocasionado la creación de nuevos métodos de diseño que se encuentran fundamentados en la colaboración y en el diseño integral. Un ejemplo es el método de diseño integrado (IPD), el cual consiste en la capacidad de compartir conocimientos entre disciplinas para facilitar la toma de decisiones en etapas conceptuales. Kubba (2017) sostiene que “este enfoque fomenta la colaboración multidisciplinaria desde las primeras etapas de diseño asumiendo que cada sistema afecta el funcionamiento de otro” (2017: 79-121).

Los participantes que usualmente conforman un IPD son (Krygiel & Nies, 2008: 58-60): **1) Los diseñadores:** tradicionalmente representados por diseñadores de interiores, arquitectos e ingenieros; **2) El propietario:** quien es el encargado de seleccionar a los miembros de un equipo; **3) El contratista:** el cual se encarga de llevar a cabo las

propuestas diseñadas en la obra; y, por último, **4) La comunidad:** debido a que su participación en el diseño puede aportar ideas basadas en las condiciones del lugar y en su experiencia (Ver Anexo 3).

En 1998, Kim y Rigdon establecieron un marco conceptual para aplicar el paradigma de la sustentabilidad en el diseño de edificaciones. A través de su investigación, titulada *“Introduction to Sustainable Design”* propusieron 3 principios (Kim & Rigdon, 1998: 8): **1) Economía de recursos:** Encargada de la reducción, reutilización y reciclaje de los recursos que ingresan en un edificio; **2) Diseño de un ciclo de vida:** Proporciona una metodología para analizar los procesos de construcción y su impacto; y **3) El diseño humano:** El cual se centra en las interacciones entre los seres humanos y el mundo natural. Estos principios pueden ser aplicados por medio de la colaboración de un equipo de trabajo multidisciplinario que utilice estrategias sustentables, e.g., IPD. Kubba (2017) concluye que los aspectos más importantes en una ES son (2017: 121): **1)** La eficiencia energética (EE); **2)** La eficiencia y disponibilidad del agua; y **3)** La eficiencia de los diseños. Debido a esto resulta importante analizar los métodos que pudieran ser utilizados para el diseño sustentable de instalaciones MEP con base en los principios establecidos por los autores anteriormente mencionados.

2.2.4. Sistemas y estándares para el diseño sustentable

Debido a la creciente demanda de edificaciones de alto rendimiento varias organizaciones han elaborado metodologías de diseño que evalúan la sustentabilidad en el desarrollo de proyectos. Con base en la revisión de la literatura, los factores determinantes en la evaluación sustentable pueden ser clasificados en 3 categorías: **1)** Factores económicamente sustentables, **2)** Factores socialmente sustentables; y **3)** Factores ambientalmente sustentables. De entre las distintas formas de evaluar una ES se han identificado 2 tendencias (Larsson, 2004): **1)** Los sistemas de evaluación sustentable; y **2)** Los estándares de edificación sustentable; ambas capaces de establecer los requerimientos para implementar en menor o mayor medida el concepto de DS en la industria AEC.

Los sistemas de evaluación son herramientas que miden el grado de sustentabilidad de un edificio por medio de la revisión de aspectos ambientales, económicos y sociales. Los aspectos comúnmente considerados por estos sistemas son el consumo energético, la eficiencia hídrica, los residuos generados, el confort de los ocupantes, etc. (Subirón, 2014). Algunos ejemplos de estos sistemas de evaluación son: **1)** El BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) del Reino Unido; **2)** El LEED

(*Leadership in Energy and Environmental Design*) en Estados Unidos; y el **3)** CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) en Japón.

Los estándares para la ES, por otro lado, son considerados como modelos a seguir para establecer una “buena práctica” en la industria de la construcción. A diferencia de los sistemas de evaluación, estos establecen requisitos mínimos de comportamiento y no realizan una clasificación, ni evaluación. Los principales estándares en la actualidad se centran fundamentalmente en (Ortiz, 2016): **1)** La adaptación al entorno; **2)** El consumo de energía; **3)** La reducción de emisiones de GEI; y **4)** El consumo de materiales. Algunos ejemplos de estos estándares son: **1)** El PASSIVHAUS en Alemania; **2)** El ZERO CARBON BUILDINGS del Reino Unido; y **3)** La NMX-AA-164-SCFI- 2013 en México.

PRINCIPIO 1: ECONOMÍA DE RECURSOS		
Estrategias		
Conservación de Energía	Conservación de Agua	Conservación de Materiales
↓	↓	↓
MÉTODOS		
Utilización de fuentes alternativas de energía.	Implementación de aparatos de bajo caudal.	Dimensionamiento adecuado de los sistemas MEP.
Calefacción pasiva y refrigeración.	Inodoros de vacío y depósitos más pequeños.	Rehabilitación de sistemas MEP existentes.
Insulación para evitar el aumento de calor o la pérdida de calor.	Recolección de aguas de lluvia.	Uso de materiales y componentes reciclados.
Uso de equipos mecánicos eficientes.	Recolección de aguas grises.	Uso de sistemas y materiales no convencionales.
PRINCIPIO 2 y 3: CICLO DE VIDA Y DISEÑO HUMANO		
Estrategias		
Primeras etapas de diseño	Diseño para el confort humano	Utilización y Reutilización
↓	↓	↓
MÉTODOS		
Utilización de materiales de larga duración.	Proporcionar confort térmico y visual.	Planificar mantenimientos de instalaciones.
Equipos y materiales que requieran poco mantenimiento.	Proporcionar un flujo aire limpio y fresco	Adaptar instalaciones existentes para nuevos y posibles usos.
Que puedan ser reciclables o reciclados.	Fácil acceso y control de instalaciones	Posible reciclaje de materiales y equipos en buen estado.

Tabla 1. Estrategias y métodos para el diseño sustentable adaptados para instalaciones MEP. Elaborado por el autor.

2.3. Norma Mexicana de edificación sustentable

2.3.1. Precedentes a la NMX-AA-164-SCFI-203

En el año 2013 el gobierno mexicano desarrolló por primera vez una norma dirigida al diseño y desarrollo de edificaciones sustentables. Actualmente es de aplicación voluntaria para todo tipo de edificación dentro del territorio nacional, pero se espera que en los próximos años se convierta en un estándar de carácter obligatorio. Ortiz Luque (2016) sostiene, en su investigación titulada “Modelo para la aplicación de la norma mexicana de edificación sustentable: NMX-AA-164-SCFI-2013”, que algunas de las acciones particulares que antecedieron a la creación de esta norma fueron (Ortiz, 2016: 63):

1) 2007: La realización de un análisis realizado por el Centro Mario Molina sobre los sistemas de evaluación, calificación y certificación internacionales, códigos de edificación y normas mexicana existentes fundamentaron el desarrollo de una norma especializada en el desarrollo de edificaciones sustentables **2) 2008:** La CCA sostuvo que todos los niveles de gobierno de una nación deben impulsar la participación tanto del sector privado como el social para la institucionalización de un ciclo de políticas y programas que apoyen el desarrollo continuo de mercados para la edificación sustentable; **3) 2010:** El Centro Mario Molina afirmó que la elaboración de códigos y normas sobre edificaciones sustentables representa la mejor forma de incidir en la disminución de las emisiones de GEI en México.

2.3.2. Objetivos, requisitos y campo de aplicación

El informe oficial de la NMX-AA-164-SCFI-2013 declara que es un instrumento de política ambiental que contiene especificaciones técnicas más estrictas a las establecidas por la norma oficial mexicana (NOM) y que puede ser utilizada en el diseño, construcción, operación, mantenimiento y demolición de edificaciones. El documento establece que los objetivos principales de la norma son (SE, 2013: 3):

1. Establecer criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación a fin de contribuir a la mitigación de impactos ambientales
2. Propiciar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, sin descuidar los aspectos socioeconómicos que aseguren su viabilidad, habitabilidad e integración al entorno urbano y natural.

Puede ser aplicada en edificaciones ubicadas dentro del territorio nacional, públicas o privadas, destinadas en su totalidad o en uso mixto a diferentes actividades de índole

habitacional, comercial, de servicios o industrial. Aplica a edificaciones y sus obras exteriores, ya sea individuales o en conjuntos de edificios, nuevas o existentes, sobre uno o varios predios, en arrendamiento o propias. El documento lista una serie de requisitos generales y específicos ordenados de la siguiente manera.

Requisitos generales: **1)** Cumplir las disposiciones legales y normativas federales y locales; **2)** Generar información estadística de consumo de agua y energía; y **3)** Ofrecer información y orientación a los usuarios de la edificación a través de un manual de operación (SE, 2013: 19).

Requisitos específicos: Para permitir que la norma sea un instrumento flexible que pueda ser adaptada a las distintas condiciones del contexto mexicano, se definieron una serie de requisitos obligatorios y otros opcionales (Ortiz, 2016: 66).

Es así como, para el cumplimiento de esta, es necesario llevar a cabo una serie de requisitos obligatorios y un mínimo de requisitos opcionales por cada punto.

5. Requisitos
5.1. Requisitos generales
5.2. Requisitos particulares
5.2.1. Suelo
5.2.2. Energía
5.2.3. Agua
5.2.4. Materiales y residuos
5.2.5. Biodiversidad, calidad ambiental y responsabilidad social

Figura 3. Requerimientos generales y particulares de la NMX-AA-SCFI-2013. Elaborado por el autor.

2.3.3 Energía y agua

Los puntos 5.2.2. y 5.2.3. del apartado “Requisitos” del documento oficial hacen referencia a los objetivos específicos y regulatorios que deben ser cumplidos en cuestiones energéticas e hídricas. La revisión y clasificación de toda la información encontrada en ambos puntos pudiera ayudar a dilucidar las características específicas de una instalación MEP de alto rendimiento. El objetivo principal de la norma en el apartado energético es garantizar el uso eficiente a través de la adopción de prácticas que contribuyan a reducir su consumo y la introducción de fuentes renovables de energía (SE, 2013: 2). Enfatiza la importancia de la envolvente de una edificación, los elementos que la conforman y los métodos para maximizar la EE de dichos elementos.

Por su parte, en el apartado hídrico, establece el uso eficiente y aprovechamiento del agua, así como la preservación de su calidad y cantidad, buscando fuentes alternativas de suministro y disminuyendo la descarga de aguas residuales. Los objetivos del apartado energético se centran en la:

- Reducción del consumo energético por diseño y selección de equipo.
- Reducción del consumo energético en la operación de las edificaciones por la eficiencia de los equipos y luminarias utilizadas
- Utilización obligatoria de productos certificados
- Utilización de energías renovables

Por su parte, los objetivos del apartado hídrico consideran lo siguiente:

- Eficiencia en consumo y racionalización de agua
- Minimizar presión en sistemas hidráulicos
- Preservación de procesos hidrológicos
- Paisajismo de bajo impacto.
- Evitar utilizar agua potable para el riego de áreas verdes o de la vegetación.

2.3.4. Evaluación

Los estándares para la edificación sustentable, como la NMX-AA-164-SCFI-2016, son considerados modelos a seguir para establecer la “buena práctica” en la industria AEC. Sin embargo, a diferencia de los sistemas de evaluación, *e.g.*, LEED o BREEAM, estos establecen requisitos mínimos de comportamiento y no realizan una clasificación, ni evaluación entre diferentes edificaciones; solo evalúan la conformidad del edificio en cuestión. El procedimiento de evaluación de conformidad de la norma mexicana de edificación sustentable debería de establecer los medios para acreditar el cumplimiento de los requisitos anteriormente mencionados.

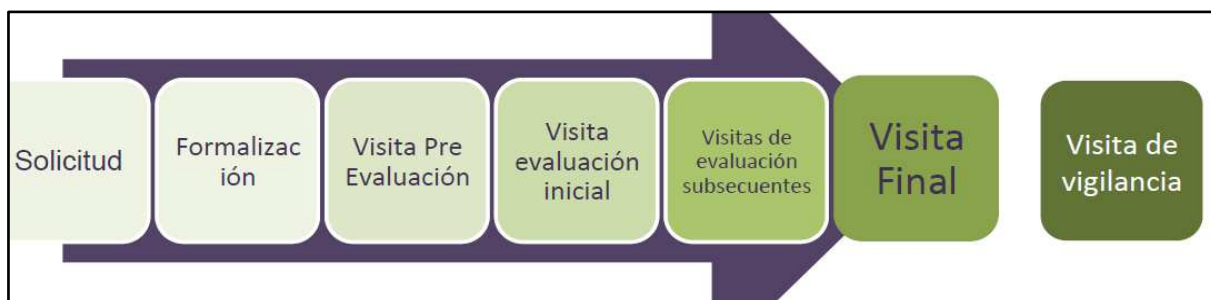


Figura 4. Propuesta para la evaluación de conformidad de la NMX-AA-164-SCFI-2013 (Niño y Avendaño, 2012).

Lamentablemente, esta normatividad carece de información específica sobre la presentación de resultados, las etapas y el proceso de evaluación. Sin embargo, Ortiz (2016) afirma que actualmente se están construyendo los medios para que pueda ser evaluada mediante la inclusión de la norma ante la Entidad Mexicana de Acreditación (2016: 67).

2.4. Building Information Modeling (BIM)

2.4.1. Análisis del concepto

El BIM es percibido como un nuevo paradigma de diseño en el desarrollo de edificaciones debido a que se centra en el desarrollo 3D de proyectos. La utilización del término puede referirse a la representación digital de una edificación que sirve como un recurso de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación (NBIMS, 2007). Sin embargo, existen varias definiciones del concepto. La Administración de Servicios Generales de los Estados Unidos (GSA) lo describe como “una representación digital inteligente, paramétrica y centrada en objetos de una instalación, desde la cual se pueden extraer y analizar vistas apropiadas a las necesidades de varios usuarios” (GSA, 2007: 3). Krygiel y Nies (2008), por su parte, sostienen que el BIM permite la creación de información coordinada, consistente y computable de una edificación; misma que facilita la toma de decisiones de un equipo de diseño (Krygiel y Nies, 2008: 27). En 2009, Succar estableció que “es un conjunto de políticas, procesos y tecnologías que interactúan, generando una metodología para gestionar el diseño esencial de un edificio y los datos del proyecto en formato digital” (2009: 357).

Debido a la cantidad de definiciones alrededor del concepto, han sido identificadas 3 diferentes perspectivas (NBIMS, 2007: 20): **1) BIM como un producto:** El conjunto de datos estructurado que describe un modelo 3D de una edificación; **2) BIM como un proceso:** El acto de crear un modelo BIM; y **3) BIM como un sistema:** Enfocado en establecer metodologías de diseño integrado (IPD). Por último, en el año 2015 Jalaei concluyó en su investigación titulada “Integración de BIM y el diseño sustentable en la etapa conceptual de proyectos de construcción”, que: **1)** El BIM es una tecnología basada en un modelo y vinculada con una base de datos de información; **2)** Tiene la capacidad de coordinar automáticamente los cambios realizados en cualquier lugar en el modelo de vistas o hojas de dibujo; y **3)** Aumenta la capacidad de controlar datos e información en un formato interoperable (2015: 19).

De acuerdo con la información encontrada en la literatura se establece que el BIM es una representación digital de un edificio a través de un modelo virtual, que permite gestionar procesos y métodos con la finalidad de facilitar la toma de decisiones durante la elaboración de un proyecto. Esta plataforma de diseño es percibida como un cambio de paradigma con respecto al diseño convencional de edificaciones debido a que su utilización, en conjunto con estrategias sustentables, posee las características esenciales para producir instalaciones de alto rendimiento. Sin embargo, diferentes investigaciones sostienen que existe la necesidad de elaborar y estandarizar procedimientos de diseño estructurados para la aplicación de la sustentabilidad con el BIM (Schlueter & Thesseling, 2008; Moakher & Pimplikar, 2012; Wong & Fan, 2013; Zanni et al., 2014; Jalaei & Jrade, 2015).



Figura 5. Vista 3D de modelo BIM Arquitectónico de tienda departamental en Culiacán, Sinaloa.

2.4.2. Beneficios de la implementación del BIM

De acuerdo con Campbell (2007) y Jalaei (2015) el BIM es utilizado durante: **1)** las fases de pre-construcción de una edificación; **2)** la visualización del diseño; **3)** las revisiones de constructibilidad; **4)** la coordinación del diseño; **5)** la planificación y simulación del proceso de construcción; **6)** la estimación de cantidades y costos; y **7)** el modelado de instalaciones, su operación y mantenimiento (Campbell, 2007; Jalaei, 2015).

Por todas las características anterior mencionadas, la adopción del BIM en un equipo de trabajo facilita la integración de los diseños, su coordinación y permite la utilización de métodos de diseño integrados (IPD). Por medio de la información consultada en distintas

investigaciones se han encontrado los siguientes beneficios de la utilización de BIM (GSA, 2007; Azhar et al., 2011; Masood et al., 2013):

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Coordinación 3D	Reducción de interferencias entre el diseño arquitectónico y de instalaciones
Diseño y constructibilidad	Análisis de los diseños para la practicidad y la identificación de errores y omisiones.
Coordinación (4D)	Secuenciación de actividades con visualización. Simulación para actualizar el horario y el calendario de recursos.
Estimación de Costos (5D)	Las cantidades de material se extraen automáticamente y se cambian cuando se introducen cambios en el modelo.
Gestión (6D)	Integración de proveedores y proveedores de subcontratistas en modelos aislados.
Análisis de iluminación	Creación de sistemas de iluminación eficientes, ambientales y construibles con mejoras en calidad, tiempo de ciclo y costo.
Análisis mecánico (HVAC)	Análisis y detección de colisiones de instalaciones mecánicas.
Análisis de instalaciones	Análisis de energía, análisis de orientación, análisis solar, construcción, análisis de masa y análisis de sitios.

Tabla 2. Beneficios de BIM en el diseño de instalaciones MEP (GSA, 2007; Azhar et al., 2011; Masood et al., 2013)

2.4.3. Elementos BIM en Autodesk Revit

La herramienta BIM seleccionada para el desarrollo de este proyecto de investigación fue Autodesk Revit 2017. De entre las características que nos ofrece este software tenemos (Ver anexo 4) (Jalaei, 2015: 21-22): **1) Viabilidad:** La mayor parte de la industria de la construcción en Norteamérica utiliza los productos desarrollados por Autodesk; **2) Interoperabilidad:** Autodesk Revit soporta una gran cantidad de formatos y la opción de establecer una conectividad abierta para el desarrollo de bases de datos entre diferentes aplicaciones (ODBC); **3) Extensibilidad:** Revit posee la capacidad de incorporar *plug-ins* y extensiones que pueden ser utilizadas para mejorar las capacidades del software.

Cuando se diseña por medio de esta herramienta BIM se crea un modelo 3D utilizando varios tipos de elementos. A estos componentes se les denomina “familias” u “objetos BIM” y son los encargados de conformar al modelo BIM. Los cuatro tipos de familias o elementos BIM que existen son (Ver anexo 5): **1) Elementos modelo (3D):** Paredes, vigas, ductos, tuberías, equipos mecánicos; **2) Elementos de datos (2D):** Niveles, rejillas, planos de referencia; **3) Vistas (2D):** Planos, secciones, tablas; y **4) Elementos de anotación (2D):** Marcadores, texto, dimensiones. Estos “objetos BIM” *default*, en Autodesk Revit, se encuentran alojados en una carpeta predeterminada por el software y cuando se

requiere hacer uso de algún tipo de elemento, *e.g.*, equipo mecánico o elemento arquitectónico, dicha familia debe ser cargada desde la carpeta *default* hacia el programa (Ver anexo 6).

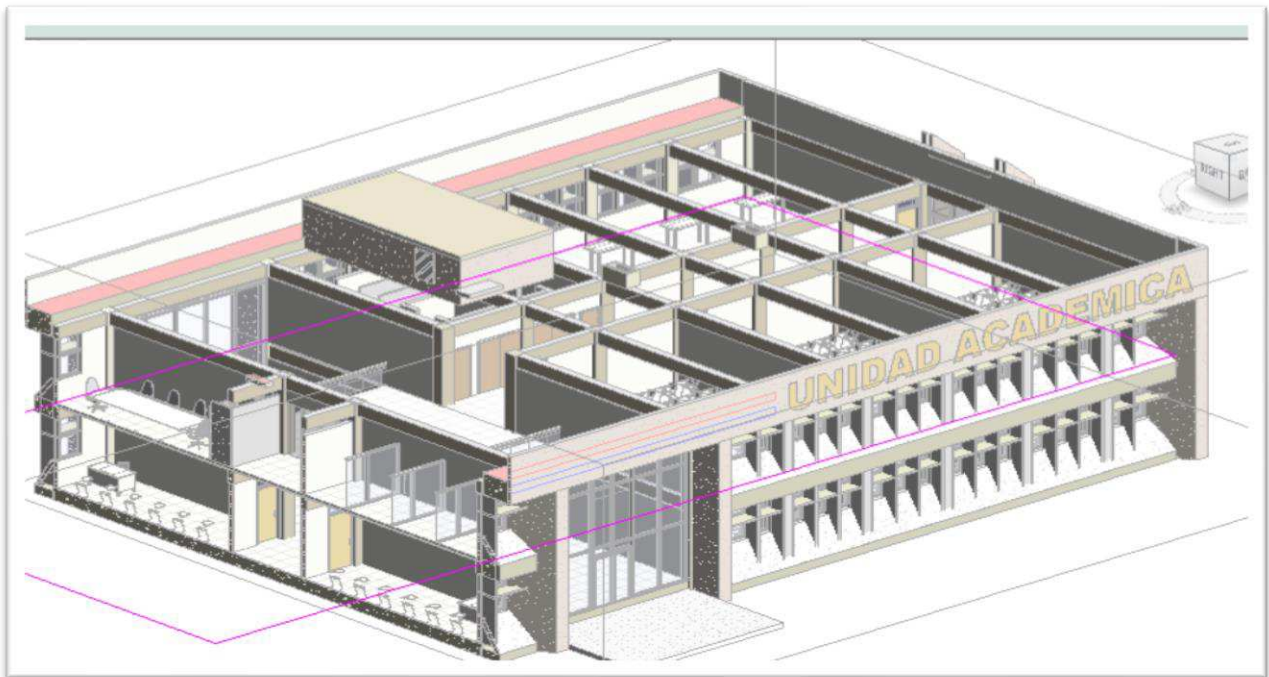


Figura 6. Elementos modelo (3D) de la Unidad Académica del Instituto Tecnológico de Culiacán. Elaborado por el autor.

Al modelar con Autodesk Revit se generan 3 tipos de archivos: **1) Archivos de proyecto**, en donde se almacena el modelo BIM y los cuales poseen una extensión. RVT; **2) Archivos de familia** (objetos BIM), que pueden ser identificados por su extensión. RFA; y **3) Archivos de plantilla**, o *templates*, en donde se almacena toda la información referente al proyecto que se va realizar y los cuales poseen una extensión .RTE.



Figura 7. Tipos de archivos generados en Autodesk Revit

2.4.4. Diseño sustentable con BIM

El BIM y DS provienen de dos contextos diferentes, pero coinciden en que el éxito de ambos emprendimientos depende en gran medida de una filosofía de diseño integrada que incluya a todos los miembros de un equipo desde el inicio de un proyecto (Cidik y Hill, 2014). Actualmente, se llevan a cabo investigaciones enfocadas en identificar de qué manera el

BIM puede propiciar y mejorar el diseño sustentable en la industria AEC. Los investigadores intentan desarrollar y mejorar los métodos de sustentabilidad a través de programas, modelos, análisis de energía y selección de materiales (Jalaei, 2015). Durante la práctica actual de estos diseños “sustentables” se involucran resultados de evaluaciones interdisciplinarias (Wang y Adeli, 2014). Estas evaluaciones son necesarias para el desarrollo del diseño y generan una gran cantidad de información. Sin embargo, estas evaluaciones son puestas en práctica cuando ya han sido realizadas la obras arquitectónicas y mecánicas (Jalaei y Jrade, 2014). Por lo que se puede deducir que las metodologías de diseño tradicionales -generalmente- carecen de la capacidad de realizar análisis de sustentabilidad dentro de las primeras etapas de diseño de un proyecto (Azhar *et al.*, 2010). Krygiel y Nies (2008), en su libro titulado “*Green BIM: Successful Sustainable Design*”, establecen y llevan a la práctica 7 estrategias para implementar el diseño sustentable con BIM. Dichas estrategias son (Krygiel & Nies, 2008: 131-164):

1) Orientación del edificio: La mayoría de las herramientas BIM tienen la capacidad de establecer una ubicación de proyecto e identificar una orientación verdadera. Además, estas herramientas suelen tener la capacidad de realizar evaluaciones de iluminación en la geometría del edificio, por lo que los equipos de diseño pueden optimizar la iluminación, la ventilación, la calefacción y el enfriamiento.

2) Building Massing: El tipo de edificio y el clima local poseen una gran influencia en la iluminación, la ventilación, la calefacción y el enfriamiento del proyecto. A través de la utilización de la herramienta BIM y *softwares* de análisis de energía pueden definirse procesos eficientes para el análisis y comparación de múltiples configuraciones de masa de un edificio.

3) Optimización de luz natural. La demanda de iluminación artificial que contribuye a la ganancia de calor interno y, por consiguiente, el acondicionamiento del espacio debería reducirse si los edificios están diseñados para maximizar el uso de la iluminación natural de día. La iluminación diurna adecuada se basa en la orientación del edificio, la masa y la configuración de la envolvente.

4) Captación de agua: Implica la recolección de agua de lluvia. Al igual que la optimización de la forma de construcción, depende de la comprensión del impacto del clima local. Mediante el uso de un modelo BIM, se puede acceder rápidamente a componentes, como techos, desde la base de datos del modelo y exportarlos / importarlos a una hoja de cálculo para calcular el potencial total de recolección de agua.

5) Modelado y análisis de energía: La optimización del rendimiento energético consiste en identificar los requisitos del proyecto con respecto a las necesidades de iluminación, calefacción, refrigeración y energía. La utilización de un modelo BIM puede reducir el tiempo de análisis, lo que permite al equipo de diseño realizar más iteraciones y estudios de optimización en profundidad.

6) Utilización de energía renovable: Optimizar el uso de las energías renovables significa reducir el consumo total de energía de un edificio. Un ejemplo común con BIM es la energía fotovoltaica (PV). Una vez seleccionada el tipo de energía PV a utilizar, se puede determinar el área fotovoltaica de captación a utilizar y la longitud/latitud de proyecto para calcular la posible producción de energía consultándola desde el modelo BIM.

7) Uso de materiales sustentables, es necesario que el equipo de diseño determine los materiales de construcción, en este caso de instalaciones, que se clasifiquen como sustentables (Krygiel & Nies, 2008: 131-164).

2.4.5. Desarrollo y organización de una base de datos de elementos BIM

Se ha establecido que es posible cargar y utilizar los elementos BIM *default* que se encuentran alojados en la carpeta original de Autodesk Revit (Ver anexo 6). Sin embargo, también es posible descargar elementos personalizados y crear rutas específicas que alberguen los objetos BIM descargados. En otras palabras, se pueden incorporar a conveniencia diferentes elementos BIM para desarrollar bases de datos personalizadas. Para el caso específico de este proyecto de investigación la revisión de la NMX-AA-164-SCFI-2013 determinará las características que deberán poseer los elementos BIM que conformarán la base de datos para instalaciones MEP normadas. El acceso y la descarga a estos elementos se dará a través de la utilización de librerías BIM certificadas disponibles en la web; abordadas en el capítulo 3. Posteriormente, al conjunto de objetos BIM descargados se les dará una organización jerárquica a través de la implementación de una Estructura de Descomposición de Trabajo (EDT); comúnmente conocida en la industria AEC como sistemas WBS (*Work Breakdown Structure*).

¿Pero, qué es exactamente un sistema WBS? Un sistema WBS es un método organizado para dividir un proyecto en subdivisiones o subproyectos lógicos en niveles de detalles cada vez más bajos (DAU, 2009). Actualmente no existe un sistema estandarizado a nivel mundial. Sin embargo, de acuerdo con el Instituto de Especificaciones de Construcción (CSI, 2016: 1) el sistema MasterFormat “se ha convertido en el estándar para

la mayoría de los proyectos de construcción y diseño de edificios comerciales en América del Norte” Debido a esto, se optará por la implementación del MasterFormat 2016 y así lograr un ordenamiento jerárquico de los elementos BIM descargados que conformarán dicha base de datos. El sistema MasterFormat se encuentra organizado a través de una lista maestra de divisiones y números de sección. Cada sección corresponde a la información sobre los requisitos de diseño y construcción de una instalación específica y sus actividades asociadas (Charette y Marshall, 1999). La versión 2016 de este WBS se encuentra organizada en 48 divisiones, sin embargo, solo se considerarán las divisiones relacionadas directamente con instalaciones MEP. Las cuales son:

1. **División 22:** Plomería
2. **División 23:** HVAC (aire acondicionado)
3. **División 26:** Instalaciones eléctricas y de iluminación
4. **División 48:** Generación de energía

23 80 00	Decentralized HVAC Equipment
23 81 00	Decentralized Unitary HVAC Equipment
23 81 13	Packaged Terminal Air-Conditioners
23 81 16	Room Air-Conditioners
23 81 19	Self-Contained Air-Conditioners
23 81 19.13	Small-Capacity Self-Contained Air-Conditioners
23 81 19.16	Large-Capacity Self-Contained Air-Conditioners
23 81 23	Computer-Room Air-Conditioners
23 81 26	Split-System Air-Conditioners
23 81 26.13	Small-Capacity Split-System Air-Conditioners
23 81 26.16	Large-Capacity Split-System Air-Conditioners
23 81 43	Air-Source Unitary Heat Pumps
23 81 46	Water-Source Unitary Heat Pumps
23 82 00	Convection Heating and Cooling Units

Fig. 8. Ejemplo de jerarquización para equipos de aire acondicionado descentralizado en MasterFormat. (CSI, 2016).

2.5. Resumen de capítulo

Este capítulo ha revisado y discutido a través de la literatura existente los conceptos de Desarrollo Sustentable (DS), Edificación sustentable (ES), *Building Information Modeling* (BIM), las relaciones existentes entre el BIM y el DS de instalaciones y los requerimientos generales establecidos por la norma mexicana de edificación sustentable para el diseño de instalaciones MEP. De acuerdo con lo anterior, las nuevas herramientas de diseño disponibles en la industria AEC han permitido que dichas prácticas sustentables puedan ser aplicadas durante distintas etapas de un proyecto. El análisis de los principios, estrategias y métodos utilizados en el diseño de instalaciones MEP sustentables, la revisión de la NMX-AA-SCFI-2013 y el desarrollo y organización de una base de datos de elementos BIM para el diseño de instalaciones MEP pudiera dilucidar las características específicas de una instalación MEP de alto rendimiento bajo el estándar mexicano.

CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.1. Introducción

A continuación, se describen los procedimientos y las herramientas utilizadas para el desarrollo de una metodología que integre: **1)** el diseño sustentable de instalaciones MEP con base en los lineamientos establecidos por la norma NMX-AA-164-SCFI-2013; y **2)** la utilización de una herramienta BIM. La metodología propuesta pudiera permitir a los diseñadores mejorar el proceso de diseño de instalaciones MEP y la toma de decisiones en las fases iniciales de un proyecto. Para lograr el objetivo propuesto, se desarrollará una base de datos de objetos BIM certificados. Los elementos que conformarán esta base de datos serán seleccionados de acuerdo con los lineamientos de la NMX-AA-164-SCFI-2013 y organizados bajo el WBS MasterFormat en su versión más reciente. Una vez hecho esto, se integrará con BIM por medio de la creación de archivos *templates*. De esta manera, Autodesk Revit 2017 será capaz de identificar su ubicación y hacer uso de los elementos BIM ahí alojados. La metodología aplicada tomó consideraciones utilizadas por Jalaei (2015) en su investigación titulada “Integración de BIM y el diseño sustentable en la etapa conceptual de proyectos de construcción”; aspectos que fueron adaptados de acuerdo con las necesidades específicas de este trabajo (Ver anexo 7).

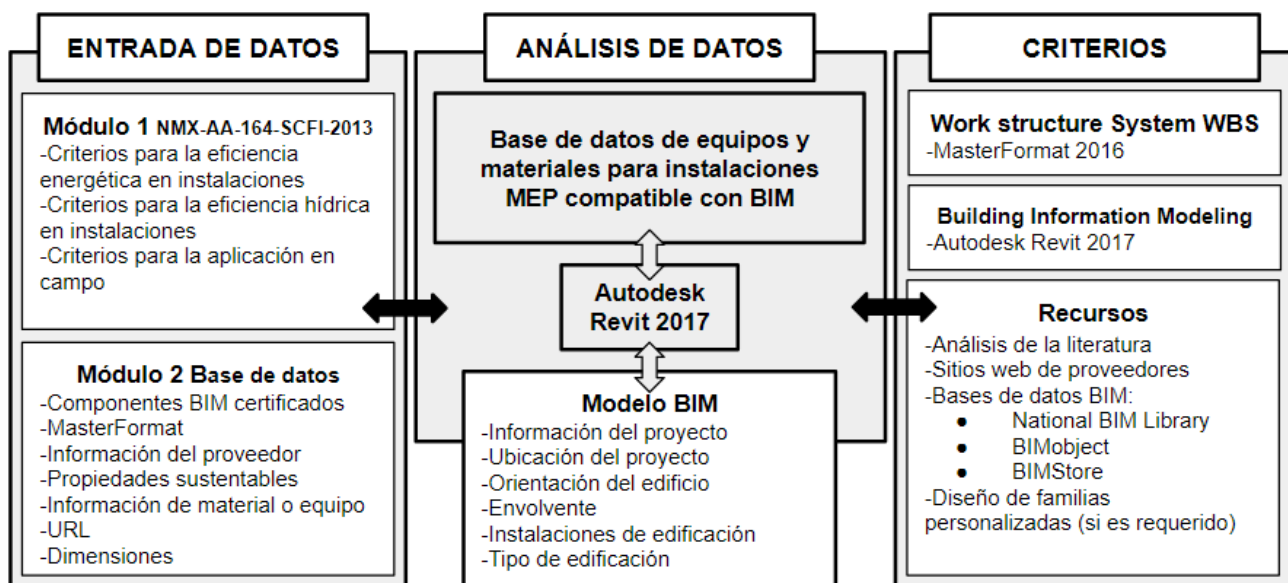


Figura 9. Procedimiento metodológico para el desarrollo de instalaciones MEP con base en los lineamientos de la NMX-AA-164-SCFI-2013. Elaborado por el autor.

3.2. Componentes del modelo

El procedimiento propuesto presenta componentes diseñados de forma modular para facilitar posteriormente su integración con la herramienta BIM. Estos módulos se encuentran divididos de la siguiente manera: **1)** Módulo NMX-AA-164-SCFI-2013, el cual

establece los criterios de diseño para el desarrollo de instalaciones MEP con base en el estándar mexicano; y **2)** Módulo para la creación de la base de datos externa de materiales y equipos MEP. Mientras la utilización de este enfoque sistemático aportará información sobre los componentes de un proyecto en específico, *i.e.*, el tipo de elementos BIM a utilizar, los criterios de diseño como la forma de trabajo en Autodesk Revit, el tipo de sistema WBS utilizado y los procedimientos para la selección de equipos, sugerirán las pautas a considerar durante la recopilación de información. Esta base de datos de objetos BIM se encontrará organizada bajo el sistema WBS más popular en Norteamérica; MasterFormat 2016. Esto con el objetivo de establecer una categorización jerárquica de los componentes BIM que la conformarán.

3.3. *Módulo 1: NMX-AA-164-SCFI-2013*

Se ha establecido que las etapas conceptuales son consideradas las más críticas al momento de implementar prácticas sustentables (Schlueter & Thesseling, 2009; Jalaei & Jrade, 2014). De acuerdo con la postura de Kubba (2017) -anteriormente revisada- los aspectos más importantes en una ES son: **1)** La eficiencia energética; **2)** La eficiencia y disponibilidad hídrica; y **3)** La eficiencia de los diseños propuestos (2017: 121). Por tal motivo, la revisión del apartado energético e hídrico de la NMX-AA-164-SCFI-2013, aunado a la revisión de estrategias sustentables aplicadas en la industria AEC, permitirán definir las características de una instalación MEP de alto rendimiento y ayudar en la selección y descarga de elementos BIM certificados. De acuerdo con la norma mexicana de edificación sustentable las medidas que deben ser consideradas e implementadas para el establecimiento de una práctica sustentable en el diseño de instalaciones MEP son: (Ver tabla 3).

3.4. *Módulo 2: Desarrollo de una base de datos de elementos BIM*

Una vez establecidos los criterios y medidas para el diseño de instalaciones MEP se procederá al desarrollo del módulo 2. Por medio de este se recabará información específica sobre los elementos que componen a una instalación MEP diseñada con base en los lineamientos de la NMX-AA-164-SCFI-2013. Las características e información relevante que se ha considerado para los objetos BIM seleccionados son las siguientes:

1. Dimensiones
2. Código WBS (MasterFormat)
3. Información del proveedor
4. Propiedades del elemento

5. Información adicional del material o equipo
6. Dirección web (URL) del proveedor.

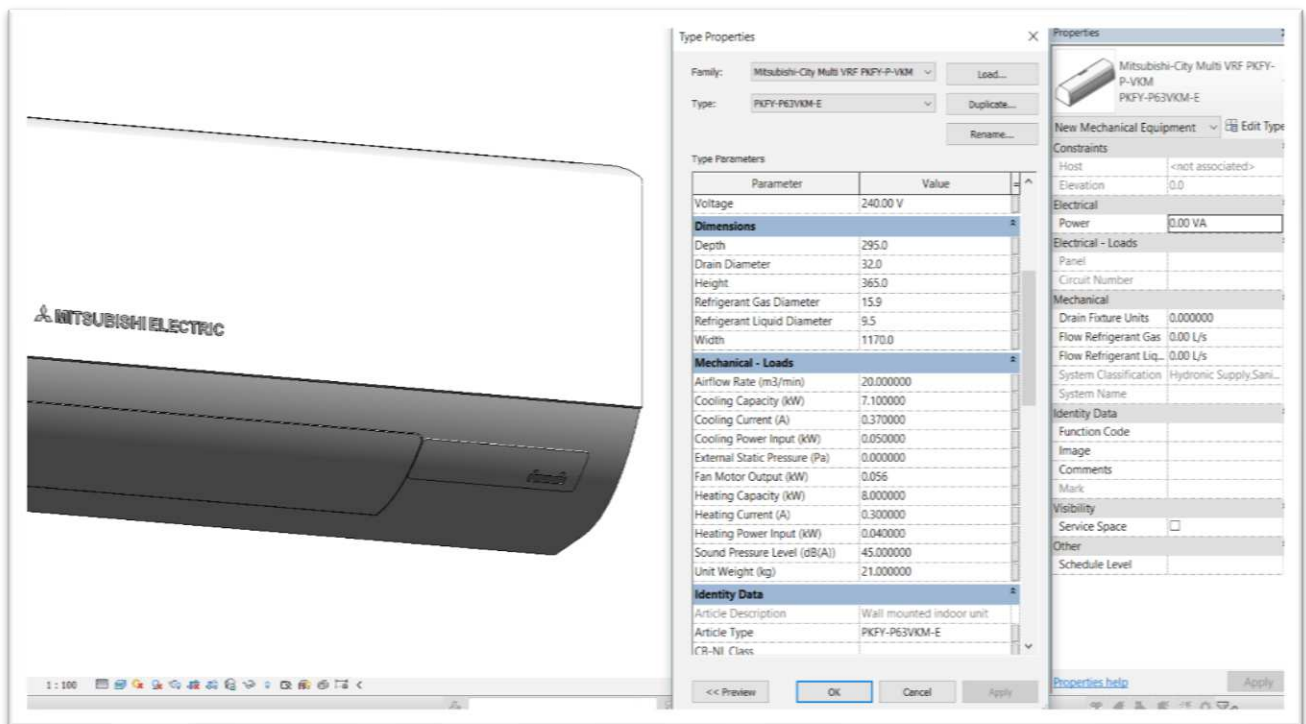


Figura 10. Características de un objeto BIM que representa a un A/C Mitsubishi de alta eficiencia. Elaborado por autor.

Criterios	Medidas
Eficiencia energética	→ Ganancia de calor a través de la envolvente → Equipos e instalaciones → Densidad máxima de potencia de alumbrado (DPEA) → Rendimiento energético → Medición de energía → Diseño bioclimático
Eficiencia hídrica	→ Materiales y productos normados → Reducción del consumo de agua → Medición del consumo → Agua pluvial → Agua residual → Agua de riego
Aplicación en campo	→ Estrategias de eficiencia energética en campo → Estrategias para la conservación y eficiencia hídrica

Tabla 3. Medidas de la NMX-AA-164-SCFI-2013 para el diseño de instalaciones MEP. Elaborado por el autor.

3.4.1. Selección y descarga de objetos BIM certificados

Actualmente, la estandarización de elementos BIM certificados y confiables es un desafío al cual se enfrentan los profesionistas que comienzan a utilizar el BIM. Países como Reino Unido y los Estados Unidos han identificado que se requieren familias BIM que puedan ser utilizadas libremente, que sean seguras y que contengan la mayor información posible acerca del elemento que representan. De acuerdo con Norma Nacional de Construcción (NBS) del Reino Unido, un elemento BIM confiable debe poseer los siguientes atributos (NBS, 2017):

- Contener toda la información posible que define al objeto BIM.
- Poseer características geométricas y físicas idénticas al producto real.
- Definir el comportamiento del elemento que permita que el objeto BIM funcione de la misma manera que el elemento real.
- Datos de visualización que otorguen al objeto una apariencia reconocible.

Existen sistemas de gestión de contenido digital para BIM en internet. Estas librerías BIM permiten tener acceso y descargar una gran cantidad de objetos BIM, *i.e.*, contienen componentes arquitectónicos, estructurales o de instalaciones MEP. Sin embargo, no todos proporcionan elementos certificados y confiables. Por lo que otra de las metas de este proyecto de investigación es seleccionar y hacer uso de elementos BIM certificados que puedan ser utilizados con fines sustentables. Se han establecido 3 parámetros para determinar si un objeto BIM se encuentra estandarizado o no: **1)** Posee un número de certificación otorgado por la NBS; **2)** Se encuentra registrado bajo algún estándar de intercambio de información, *e.g.*, COBie (*Construction Operations Building Information Exchange*); o **3)** El elemento BIM fue modelado por el fabricante y posee una certificación que lo avale.

De acuerdo con una revisión de distintos sistemas de gestión de contenido digital para BIM en línea (Ver anexo 8), los sitios elegidos capaces de proporcionar elementos BIM certificados y acorde a los parámetros anteriormente establecidos son:

- **Biblioteca Nacional BIM** (www.nationalbimlibrary.com) / Reino Unido
- **BIMobject** (<https://bimobject.com>) / Estados Unidos y Suecia
- **Bimstore** (<https://www.bimstore.co.uk>) / Reino Unido

3.4.2. Recolección y organización de información disponible

Las familias que conforman un modelo virtual poseen grandes cantidades de información y es posible acceder y modificar toda esta información a través de las propiedades del elemento BIM. En Autodesk Revit los objetos BIM poseen 2 tipos de propiedades, **1)** las propiedades específicas de la familia que se esté manipulando y **2)** las propiedades del tipo de familia a la que pertenece dicho elemento. En el caso de elementos BIM MEP estas propiedades proporcionan información relacionada con el desempeño mecánico, eléctrico, o hidráulico del elemento en cuestión. En cambio, las propiedades “tipo” de un objeto BIM permiten modificar esta información específica, así como las, dimensiones, códigos WBS, tipo de materiales, acabados, etc. Cada uno de los elementos BIM que conformarán la base de datos será retroalimentado con la mayor cantidad de información disponible. Caracterizar en profundidad cada elemento permitirá definir los aspectos predominantes y específicos de una instalación MEP sustentable en México a través de casos de estudio futuros. De esta manera, los diseñadores podrán identificar, categorizar o referirse a estos elementos eficientemente cuando se realicen cuantificaciones y estimaciones de costos.

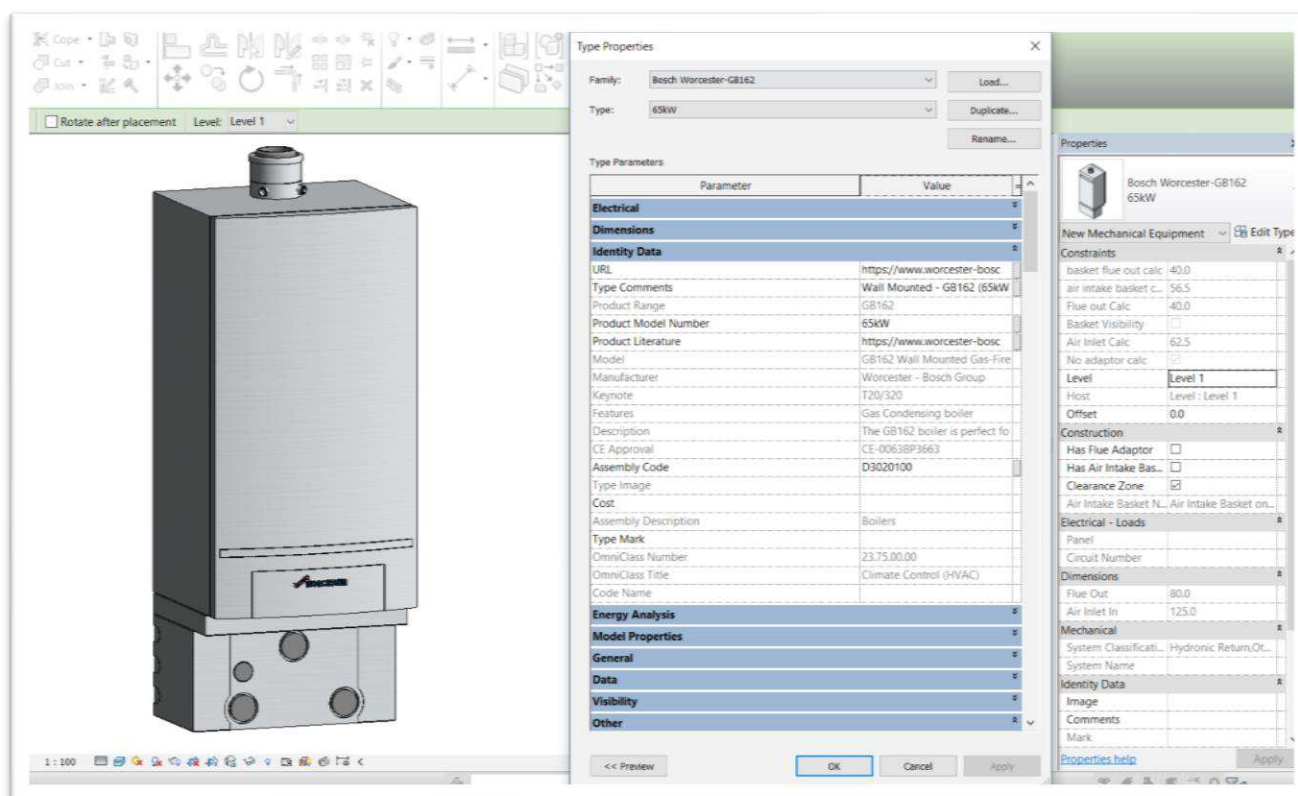


Figura 11. Propiedades de un calentador de agua instantáneo de alta eficiencia BOSCH. Elaborado por Autor.

Una vez descargados los elementos BIM y de la correcta retroalimentación de información a cada uno de ellos, se procederá a la organización jerárquica de dichos elementos. Como fue mencionado en el capítulo anterior, la aplicación de un sistema WBS organizará la

información almacenada en subdivisiones lógicas y a niveles de detalles cada vez más bajos. El sistema WBS elegido fue MasterFormat 2016 y su aplicación a la base de datos facilitará la consulta de información y de objetos BIM una vez integrada con Autodesk Revit 2017.

3.4.3. Desarrollo de plantillas de trabajo en Autodesk Revit

El archivo *template* en Autodesk Revit es una plantilla de trabajo que permite establecer las características del proyecto que se desea modelar. Este tipo de archivo posee una extensión .RTE y debe proporcionar información detallada como el lugar específico de la obra, latitud y altitud, las características climatológicas de la zona, el tipo de edificio, su información energética, los participantes del proyecto, etc. Posterior a la organización de los elementos BIM, el desarrollo de un estudio de caso evaluará la capacidad del procedimiento propuesto para integrar los requerimientos de diseño de instalaciones con el BIM y conforme al estándar mexicano. Para lograr esto se desarrollarán 2 archivos *template* (.RTE) en Autodesk Revit que recabarán e identificarán la información real de una edificación existente ubicada en la Ciudad de México.

Para la elaboración del modelo propuesto fueron desarrollados 2 archivos con extensión .RTE; el primero para un modelado arquitectónico y el segundo para un modelado de instalaciones MEP. Ambos *templates* contendrán la misma información, sin embargo, el *template* mecánico será el que identificará la base de datos desarrollada. El inmueble seleccionado fue el edificio “S” de la carrera de Diseño Industrial el cual se encuentra ubicado en la UAM unidad Xochimilco.



Figura 12. Edificio “S” de la carrera de Diseño Industrial. Imagen facilitada por departamento de proyectos de la UAM-X.

Project Information

Family: System Family: Project Information
Type:

Instance Parameters - Control selected or to-be-created instance

Parameter	Value
Identity Data	
Organization Name	Universidad Autonoma Metropol...
Organization Description	Universidad Publica Mexicana
Building Name	Edificio "S" Diseño Industrial
Author	José Ramón Castaños Quintero
Energy Analysis	
Energy Settings	Edit...
General	
NBSSpecificationPath	
Other	
Project Issue Date	Febrero 2018
Project Status	Proyecto existente
Client Name	UAM - Unidad Xochimilco
Project Address	Calzada del Hueso 1100, Col. V...
Project Name	Final
Project Number	0001

OK

Location Weather and Site

Location Weather Site

Define Location by:

Internet Mapping Service

Project Address:

19.3013553619385,-99.1030960083008

Weather Stations:

1012723 (0.00 kilometres away)
1012478 (9.01 kilometres away)
1012722 (9.01 kilometres away)
1012477 (12.71 kilometres away)
1012724 (15.61 kilometres away)
1012968 (15.61 kilometres away)
1012479 (18.02 kilometres away)
1012967 (18.02 kilometres away)

☐ Use Daylight Saving time

Figura 13. Información específica y localización del Edificio "S" establecida por medio de templates.

3.5. Resumen de capítulo

Este capítulo ha revisado el procedimiento que integrará los requerimientos de la NMX-AA-164-SCFI-2013 en materia de instalaciones MEP con la utilización de una herramienta BIM. El modelo desarrollado puede ser aplicado por ingenieros mecánicos para valorar instalaciones MEP existentes y/o realizar mejoras en los diseños bajo el estándar mexicano desde etapas conceptuales en un proyecto.

CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL MODELO PROPUESTO

4.1. Introducción

A continuación, se describe la realización física del modelo a través del procedimiento metodológico propuesto en el capítulo anterior. En primera instancia, los criterios de diseño aplicables al desarrollo de instalaciones MEP de la norma mexicana de edificación sustentable fueron establecidos. Sin embargo, existieron algunas limitaciones para definir las características latentes en la NMX-AA-164-SCFI-2013 y su aplicación en el diseño de instalaciones MEP. Una de ellas fue el nivel de complejidad inherente del documento oficial; el cual es alto debido a los conocimientos específicos y técnicos necesarios para poder ser aplicado en el desarrollo de un proyecto.

A pesar de estas limitaciones, la elaboración y análisis del modelo propuesto permitió definir las características que rigieron la conformación de la base de datos de objetos BIM desarrollada. Posteriormente, se realizó el proceso de recolección de objetos BIM certificados a través de tres librerías BIM que cumplieran con las características previamente establecidas. Estos elementos fueron organizados bajo el estándar MasterFormat 2016 en su versión más reciente. Una vez concluida y retroalimentada dicha base de datos, se comenzó con el procedimiento de integración. Esto se llevó a cabo a través de la creación de dos *templates* en Autodesk Revit 2017. Ambos *templates* identificaron las características particulares del edificio “S” de la carrera de Diseño Industrial en la UAM Unidad Xochimilco. Mientras el primer *template* será utilizado para el modelado arquitectónico en un estudio de caso futuro, el segundo archivo fue el encargado de identificar y hacer uso de los elementos alojados en la base de datos de objetos BIM.

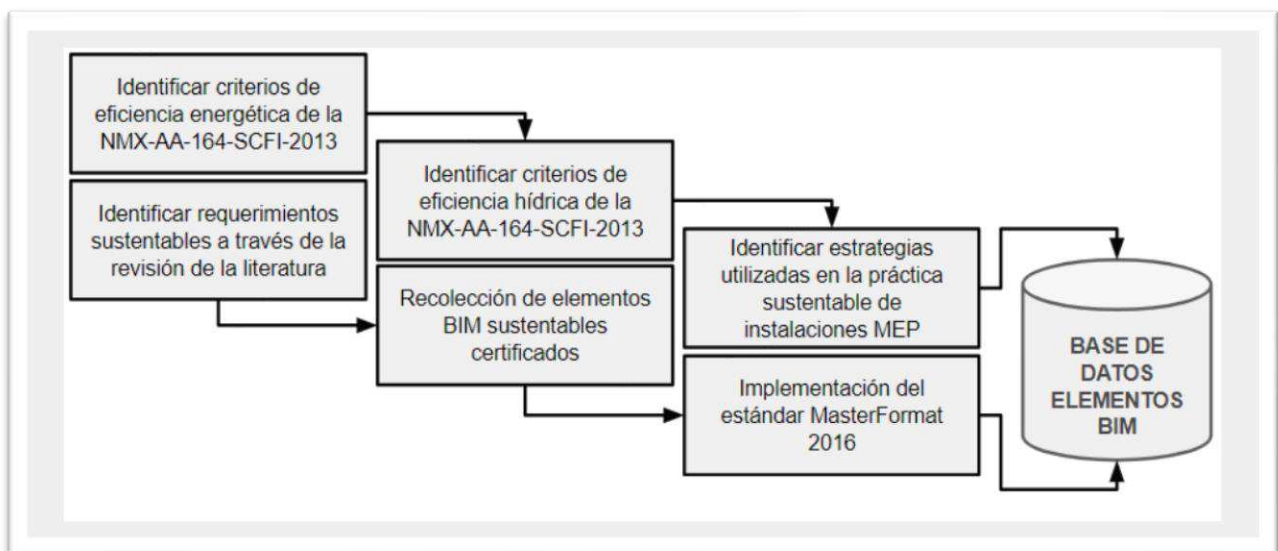


Figura 14. Actividades realizadas durante el desarrollo del procedimiento metodológico. Elaborado por autor.

4.2. Criterios de diseño para la aplicación de la NMX-AA-164-SCFI-2013

Los criterios de diseño para la aplicación de estrategias sustentables en el documento oficial son considerados tanto para el desarrollo de obras nuevas como para el de obras existentes. En ambos casos, los aspectos energéticos e hídricos sobresalen como las características predominantes en la aplicación de estrategias sustentables. El documento oficial se encuentra estructurado en seis campos de aplicación: **1) Suelo; 2) Energía; 3) Agua; 4) Materiales y Residuos; 5) Calidad Ambiental; y 6) Responsabilidad Social;** misma que se subdivide en Biodiversidad, Paisaje, Calidad del Ambiente Interior y Responsabilidad Social. Dicha organización se encuentra planteada con base en otros sistemas de evaluación sustentable existentes como el BREEAM o el LEED. A continuación, se revisarán los criterios establecidos por la NMX-AA-164-SCFI-2013 en materia energética e hídrica que puedan ser aplicados en el diseño y desarrollo de instalaciones MEP de alto rendimiento.

Suelo	Energía	Agua	Materiales y Residuos	Biodiversidad	Calidad de ambiente interior	Responsabilidad Social
5.2.1.1	5.2.2.1	5.2.3.1	5.2.4.1	5.2.5.1.1	5.2.5.3.4	5.2.5.4.1
5.2.1.2	5.2.2.2	5.2.3.2	5.2.4.2	5.2.5.1.2	5.2.5.3.12	5.2.5.4.3
5.2.1.5	5.2.2.3	5.2.3.3	5.2.4.11	5.2.5.1.4		5.2.5.4.7
5.2.1.8	5.2.2.5	5.2.3.4	5.2.4.13	5.2.5.1.7		
5.2.1.15	5.2.2.6	5.2.3.6	5.2.4.15	5.2.5.1.10		
5.2.1.16	5.2.2.9	5.2.3.9	5.2.4.18	5.2.5.1.11		
5.2.1.18	5.2.2.10	5.2.3.10				
	5.2.2.11	5.2.3.12				
	5.2.2.12	5.2.3.13				
	5.2.2.13	5.2.3.15				
	5.2.2.14	5.2.3.16				
	5.2.2.15	5.2.3.17				
	5.2.2.16	5.2.3.18				

Tabla 4. Requisitos obligatorios para el desarrollo de edificaciones nuevas (SE, 2013: 71).

4.2.1. Criterios para la eficiencia energética (EE) en instalaciones MEP

1) Ganancia de calor a través de la envolvente: La envolvente se conforma por las paredes, techos, cimentaciones, aislamientos térmicos, instalaciones de sombreado y todos los componentes que dan forma a un edificio (Sadineni et al., 2011). La EE puede mejorarse mediante la aplicación de estrategias sustentables activas o pasivas. Mejorar los sistemas MEP, por ejemplo, es considerada una estrategia activa, mientras que las mejoras en los elementos de la envolvente, como la orientación o el tipo de cristales de un edificio, pueden

clasificarse como estrategias pasivas. Debido a los alcances de este proyecto de investigación, para reducir esta ganancia de calor únicamente fueron considerados los aislantes térmicos y las alternativas pasivas que pudieron ser implementadas con la utilización de Autodesk Revit 2017.

2) Equipos: Toda edificación sustentable debe satisfacer al menos un 10 % de la demanda energética total del edificio con energías renovables y el consumo energético de los equipos e instalaciones debe reducirse en un 20%. Es decir, que las instalaciones deben cumplir con las especificaciones energéticas, térmicas y límites establecidos. Procedimientos y tablas disponibles en la sección de apéndices informativos.

El tipo de equipos e instalaciones que fueron considerados por la creación de la base de datos de elementos BIM fueron:

→ **Calentadores de agua:** (Ver apéndice informativo 1).

- ◆ De almacenamiento
- ◆ De rápida recuperación
- ◆ Instantáneos.

→ **Lámparas de uso general:** (Ver apéndice informativo 2)

- ◆ De descarga en alta intensidad
- ◆ Fluorescentes lineales
- ◆ Incandescentes
- ◆ Incandescentes con halógenos
- ◆ Luz mixta.

→ **Refrigeradores y congeladores electrodomésticos.** (Ver apéndice informativo 3)

→ **Aire acondicionado:** (Ver apéndice informativo 4)

- ◆ Tipo ventana
- ◆ Tipo dividido Mini Split
- ◆ Tipo dividido Multi Split

→ **Tipo de cableado de los circuitos eléctricos.**

3) Densidad máxima de potencia de alumbrado (DPEA): La norma considera la correcta iluminación de los edificios y establece los requerimientos por medio de criterios de iluminación del alumbrado. La DPEA se mide en Watts/metro cuadrado (W/m^2) y la NMX-AA-164-SCFI-2013 establece tres tablas con diferentes valores. Una para el tipo de

edificación, otra para el tipo de espacio a iluminar y la tercera para el tipo de espacio a iluminar en una vivienda. Consultar tablas en apéndice informativo 5.

4) Rendimiento energético: Los parámetros mínimos aceptables para el rendimiento energético de los edificios se establecen mediante el consumo máximo de energía expresado en W/m^2 . Estos valores deben ser considerados en el diseño, construcción y operación del edificio sin restringir las funciones del inmueble, el confort, ni la productividad de sus ocupantes y a partir de la cual se mide el desempeño (SE, 2013: 39). Por tal motivo, el documento oficial establece que todo edificio debe mantener consumos de energía iguales o inferiores a los valores establecidos en la tabla del apéndice 3. Los aspectos considerados para la medición del rendimiento energético son: **1) Tipo/uso del edificio** y **2) Zona climática**, *i.e.*, el tipo de clima en donde se ubique el inmueble. Procedimientos e información en apéndice informativo 6.

5) Medición de energía: Para llevar un control del consumo energético, toda edificación sustentable debe contar con un sistema de medición de energía eléctrica, de tipo electrónico y con capacidad de telemetría, adicional a los medidores de CFE, el cual debe ser instalado de manera permanente en la alimentación principal de la edificación con capacidad para almacenar información periódica. La información debe registrarse en kWh asentándolas semanalmente en la bitácora del edificio, incluyendo todas las fuentes de energía y monitoreo periódico (SE, 2013: 40).

6) Diseño bioclimático: La edificación puede estar diseñada con criterios bioclimáticos que favorezcan la iluminación natural dentro del edificio, logrando una buena distribución y organización de los espacios. Que genere una iluminación de 250 o más luxes (lx) medidos con un luxómetro a 0.78 m de altura sobre el nivel de piso a cada 1.5 m a partir de una distancia de 4 m con respecto a los muros de fachada (SE, 2013: 41).

4.2.2. Criterios para la eficiencia hídrica (EH) en instalaciones MEP

Una vez identificados los requerimientos energéticos de la NMX-AA-164-SCFI-2013 para el diseño y desarrollo de instalaciones MEP se procedió al análisis de los criterios para el aprovechamiento hídrico. El documento oficial establece los siguientes 6 puntos (SE, 2013):

1) Materiales y productos normados: Todos los materiales y productos que se empleen en las instalaciones hidráulicas deben estar certificados con base en las Normas Oficiales enlistadas en las referencias de la NMX-AA-164-SCFI-2013.

2) Reducción del consumo: El diseño del sistema hidráulico de la edificación debe lograr una reducción en el consumo de agua de al menos 20 % con respecto al consumo de una edificación equivalente. Procedimientos en apéndice informativo 4.

3) Medición del consumo: Las edificaciones deben contar con un medidor de agua por cada unidad de edificación, con el fin de cuantificar su consumo y aprovechamiento.

4) Agua pluvial: La edificación puede contar con una instalación para la captación, almacenamiento y aprovechamiento del agua de lluvia y los escurrimientos pluviales que le permita reducir al menos un 25 % la descarga pluvial de la edificación y abastecer al menos un 5 % del consumo anual de agua potable de la edificación. Procedimientos en apéndice informativo 5.

5) Agua residual: En materia de aguas residuales, la norma establece que cualquier edificación mayor a los 2500 m² debe de contar con una planta de tratamiento de agua y solo podrá enviar al alcantarillado público hasta el 30% de las aguas residuales que produzca. El resto debe ser enviada a la planta de tratamiento para su reutilización en riego, uso en excusados y otros fines.

6) Agua de riego: El riego de las áreas verdes se puede realizar a través de un sistema de riego eficiente, en un horario que evite la evapotranspiración de la vegetación y sin utilizar agua potable, solo con agua residual tratada y/o agua de lluvia que haya sido captada en el entorno del edificio.

4.2.3. Estrategias sustentables y su aplicación en campo

La aplicación de estrategias que mejoren la EE de las instalaciones de un edificio es el tema más importante y recurrente que rodea al concepto de ES (Kubba, 2017: 121). Sin embargo, es común que a los diseñadores a cargo de un proyecto se les pida explicar este proceso en pasos simples y fáciles de seguir. Por tal motivo, con base en la revisión de la literatura, se ha establecido la siguiente categorización enfocada en la aplicación en campo de prácticas sustentable de instalaciones:

<i>Eficiencia energética</i>
1. Sistemas de refrigeración de bajo consumo energético 2. Incorporación de fuentes de energía renovables (energía solar, eólica u otra energía alternativa en el sistema HVAC) 3. Minimizar cargas eléctricas creadas por la iluminación, los aparatos, y otros sistemas 4. Utilizar estrategias de diseño pasivo, incluyendo la forma y la orientación del edificio, el diseño solar pasivo y el uso de la iluminación natural, pueden afectar de manera dramática el rendimiento energético del edificio 5. Instalar sistemas de iluminación de alta eficiencia con sistemas avanzados de control de iluminación e incorporar sensores de movimiento vinculados a controles de iluminación regulables
<i>Conservación y eficiencia hídrica</i>
1. Utilización de inodoros de baja descarga, cabezales de ducha de bajo flujo y dispositivos de conservación de agua para minimizar aguas residuales 2. Incorporar sistemas de plomería dual que usan agua reciclada para limpiar el inodoro o un sistema de agua gris que recupera el agua de lluvia u otra agua no potable para el riego del sitio 3. Sistemas de recirculación que se utilicen para la distribución centralizada de agua caliente y sistemas de calentamiento de agua caliente de punto de uso para lugares más distantes 4. Incorporar boquillas de cierre automático en mangueras y controladores de riego de vanguardia

Tabla 5. Aplicación de estrategias sustentables para el desarrollo de instalaciones MEP. Elaborado por el autor.

4.2.4. Evaluación de criterios, medidas y estrategias sustentables

Desde la postura de Kim y Rigdon (1998) y de la teoría de Kubba (2017), la evaluación de los lineamientos establecidos por la norma mexicana puede llevarse a cabo por medio de la categorización de los aspectos: **1)** Económicos; de **2)** Ciclo de vida; y de **3)** Diseño humano.

ECONOMÍA, CICLO DE VIDA Y DISEÑO	CATEGORÍA	TEMA	SUB-TEMA	PROPÓSITO
	Conservación y eficiencia energética	Acondicionamiento pasivo y utilización de fuentes alternativas de energía	-Forma del inmueble -Orientación del edificio -Diseño solar pasivo -Uso de la iluminación natural	Considera opciones de diseño pasivo y energías renovables que permitan la conservación de la energía y eficiencia de las instalaciones MEP
		Insulación para evitar el aumento o la pérdida de calor.	-Materiales térmicos - Aislantes térmicos	Propone la consideración de materiales y aislantes térmicos en la envolvente de un inmueble
		Uso de equipos de alto rendimiento y diseño de instalaciones eficientes.	-Sistemas de refrigeración de bajo consumo energético -Minimizar cargas eléctricas creadas por la iluminación, los aparatos, y otros sistemas -Sistemas de iluminación de alta eficiencia con sistemas avanzados de control -Sensores de movimiento vinculados a controles de iluminación regulables	Impulsa la utilización de equipos de alto rendimiento que beneficien la conservación de la energía y el diseño de instalaciones eficientes La conservación y eficiencia energética puede darse a través del control y evaluación del consumo energético de los sistemas y aparatos utilizados por el edificio.
	Conservación y eficiencia hídrica	Implementación de equipos y aparatos de bajo caudal.	-Utilización de inodoros de baja descarga -Cabezales de ducha de bajo flujo -Incorporar boquillas de cierre automático en mangueras y controladores de riego de vanguardia	Considera la implementación de equipos y aparatos de bajo consumo hídrico con el objetivo de mejorar el aprovechamiento del recurso. Su correcta aplicación reduciría considerablemente el consumo hídrico.
		Recolección de aguas de lluvia.	-Incorporación de sistemas de plomería dual que usen agua reciclada para limpiar el inodoro -Sistema de agua gris que recupere el agua de lluvia.	Sugiere la incorporación de sistemas captadores con el objetivo de aprovechar al máximo recursos externos al consumo hídrico específico de una edificación.
		Recolección de aguas grises.	-Dispositivos de conservación de agua para minimizar aguas residuales	Considera la implementación de dispositivos recolectores

Tabla 6. Evaluación de la NMX-AA-164-SCFI-2013 desde la teoría de Kim y Rigdon (1998) y Kubba (2017). Elaborado por el autor.

4.3. Desarrollo de una base de datos de elementos BIM

De acuerdo con lo establecido por investigadores como Moakher y Pimplikar (2012) o Jalaei (2015), el BIM y el diseño sustentable pueden converger por medio del desarrollo de una base de datos de elementos BIM que referencie los requerimientos específicos -materiales, equipos y sistemas- que demanda el diseño sustentable en edificaciones. Debido a esto, se puede deducir que la estandarización de procedimientos de diseño basados en normatividades sustentables, como guías de trabajo, presentan características que pudieran facilitar y agilizar dicha integración. El proceso de diseño y desarrollo de una base de datos de elementos BIM en este trabajo fue dividido en dos fases. La primera parte consistió en la identificación y categorización de los elementos BIM que la conformaron y la segunda en el ordenamiento jerárquico de dichos elementos a través de un sistema WBS. Una vez hecho esto se procedió a su integración con la herramienta BIM seleccionada (Autodesk Revit 2017) y a su análisis.

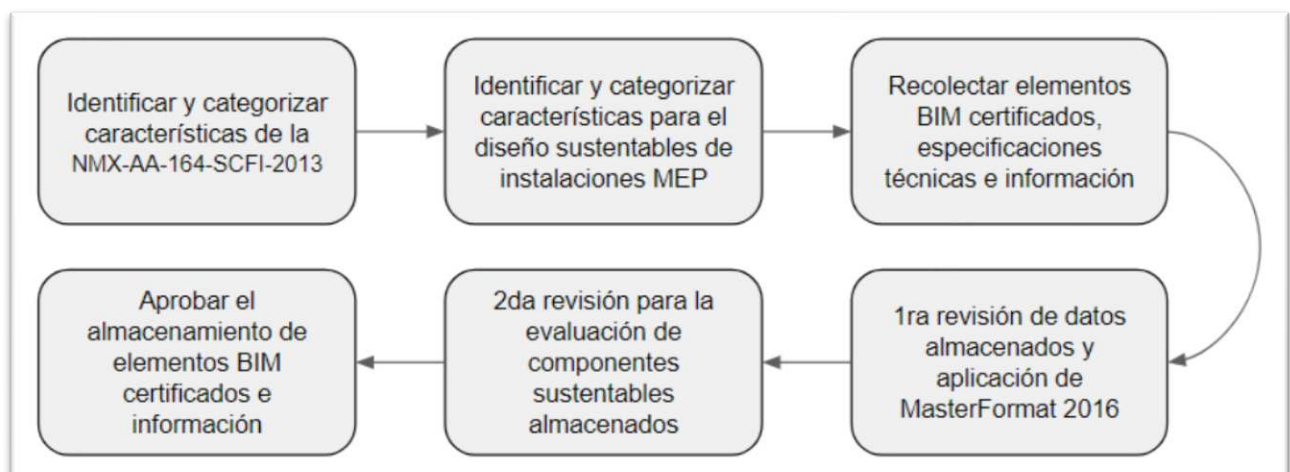


Figura 15. Procedimiento para el desarrollo de una base de datos de elementos BIM certificados. Elaborado por el autor.

4.3.1. Recolección de elementos BIM e información

Como se mencionó anteriormente, un modelo BIM se encuentra conformado por objetos BIM. Estas familias BIM requieren ser funcionales, paramétricas y avaladas por algún organismo de la industria AEC o del BIM debido a que son las portadoras de toda la información física de un proyecto. Estos elementos fueron descargados de bibliotecas online BIM. Los sitios web de este tipo permiten el acceso y la descarga directa de cientos de miles de objetos BIM de entre los cuales se encuentran elementos que poseen las características específicas que demanda el análisis previo de la NMX-AA-164-SCFI-2013.

Por tal motivo se eligieron las tres librerías más importantes en la actualidad especializadas en la generación y distribución de familias BIM certificadas (Ver anexo 8). Las librerías seleccionadas fueron: **1)** Librería Nacional BIM (Reino Unido), **2)** BIMobject (Estados Unidos/Suecia) y **3)** Bimstore (Reino Unido).



Figura 16. Buscador de elementos BIM en el sitio de BIMobject.



ANS Living Wall Water Tank

Every ANS LivingWall includes a built-in irrigation system, part of which is the A Living Wall Water Tank.

The supply of water to the wall is essential to healthy plant development, and t ANS Living Wall Water Tank can be used to harvest rainwater from the building for the wall.

[View object guide](#) | [Embed </>](#) | [Get technical help](#)

Tags: [+](#)

Platform	Compatible	Version	Certified to
IFC	2X3	1	1.3
Revit	2015 +	1	1.3

[Download](#)

Figura 17. Búsqueda y recolección de objetos BIM certificados a través Librería Nacional BIM de Reino Unido.

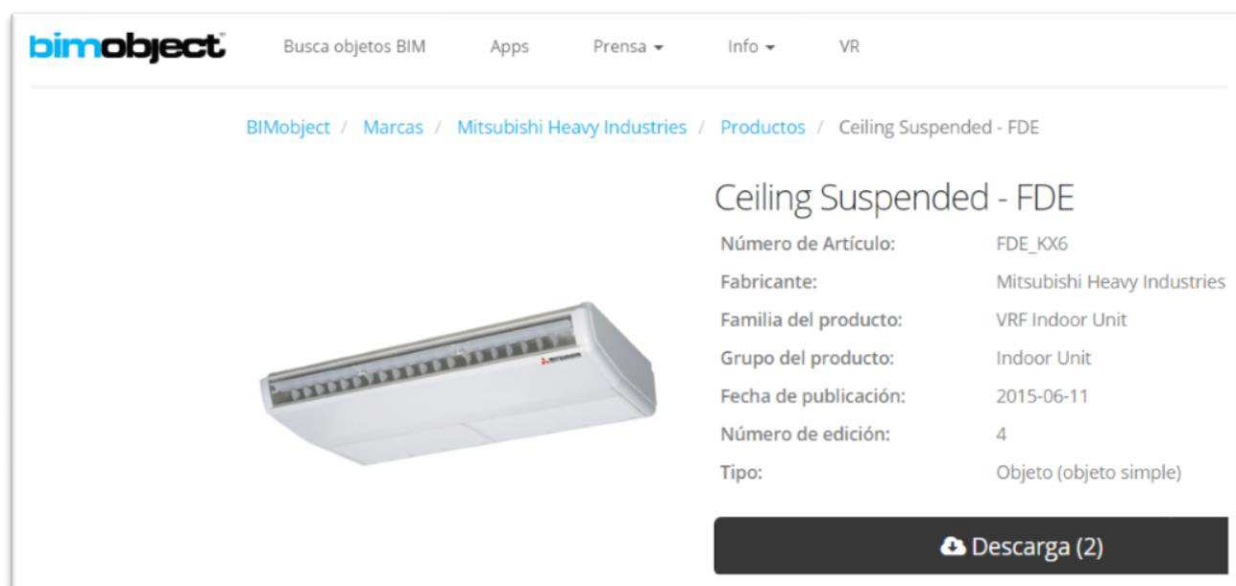


Figura 18. Búsqueda y recolección de objetos BIM certificados a través del sitio de BIMobject de E.U.A y Suecia.

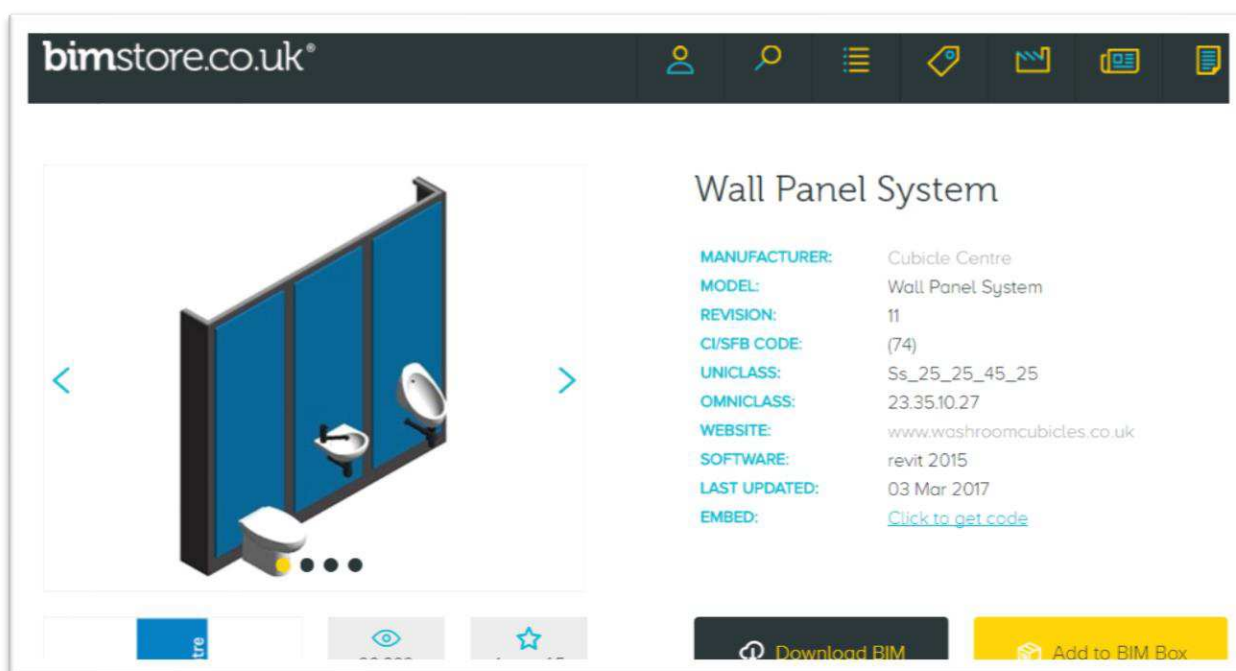
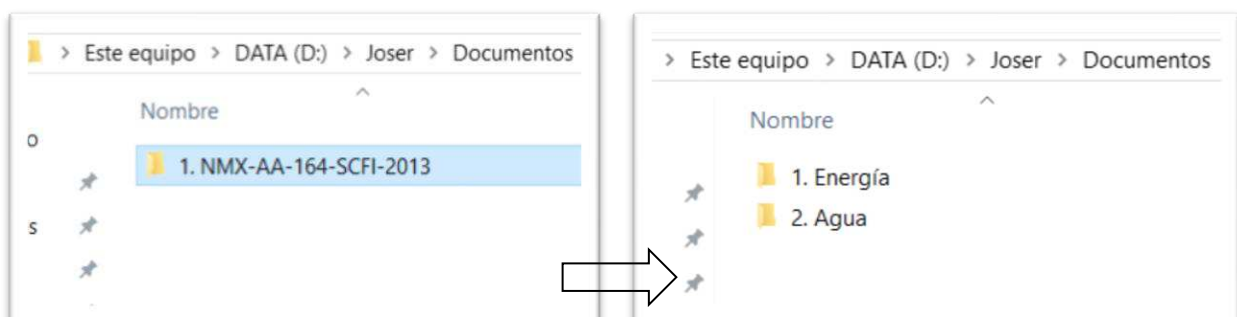


Figura 19. Búsqueda y recolección de objetos BIM certificados a través del sitio de bimstore del Reino Unido.

La búsqueda y selección de los elementos que formaron parte de la base de datos BIM desarrollada en este trabajo se llevó a cabo a través de la aplicación del análisis de la NMX-AA-164-SCFI-2013 realizado (Ver tabla 6). Es decir, se seleccionaron y descendieron los objetos BIM que cumplieron con los requerimientos para la conservación y eficiencia energética e hídrica de una instalación MEP.

Cada elemento BIM descendido fue almacenado en una carpeta personalizada ubicada con la siguiente información:

- **Familia BIM:** Usualmente representada por un archivo con extensión RFA. Estos objetos BIM fueron nombrados con la marca y el modelo del elemento que representan.
- **Archivo IFC:** La Librería Nacional BIM permite descargar archivos IFC. Este tipo de archivos permite el intercambio de información entre Autodesk Revit y herramientas de análisis de energía como *Autodesk Green Building Studio* (GBS) o Ecotec.
- **Guía de usuario BIM:** Una de las opciones para corroborar que la familia BIM descargada se encuentra certificada es por medio de su guía de usuario. Estas guías son elaboradas por las mismas librerías BIM o por los proveedores. Proporcionar información valiosa sobre el elemento descargado y sobre cómo utilizarlo.
- **Especificaciones técnicas:** Se decidió agregar la información técnica de cada familia BIM a utilizar. Esta información es obtenida directamente de las páginas de internet de los proveedores y puede resultar útil para verificar y comparar las características físicas y el desempeño de los elementos que conforman esta base de datos de elementos BIM.
- **Manual de instalación y operación:** La inclusión de estos manuales pueden ser de gran ayuda durante la realización de un estudio de caso, ya que ofrecen información referente al correcto funcionamiento e instalación de los equipos a implementar.
- **Imagen de referencia:** Se agregaron de igual forma archivos de imagen .PNG que representan de manera sencilla y rápida los elementos seleccionados fuera de un ambiente de trabajo en BIM.



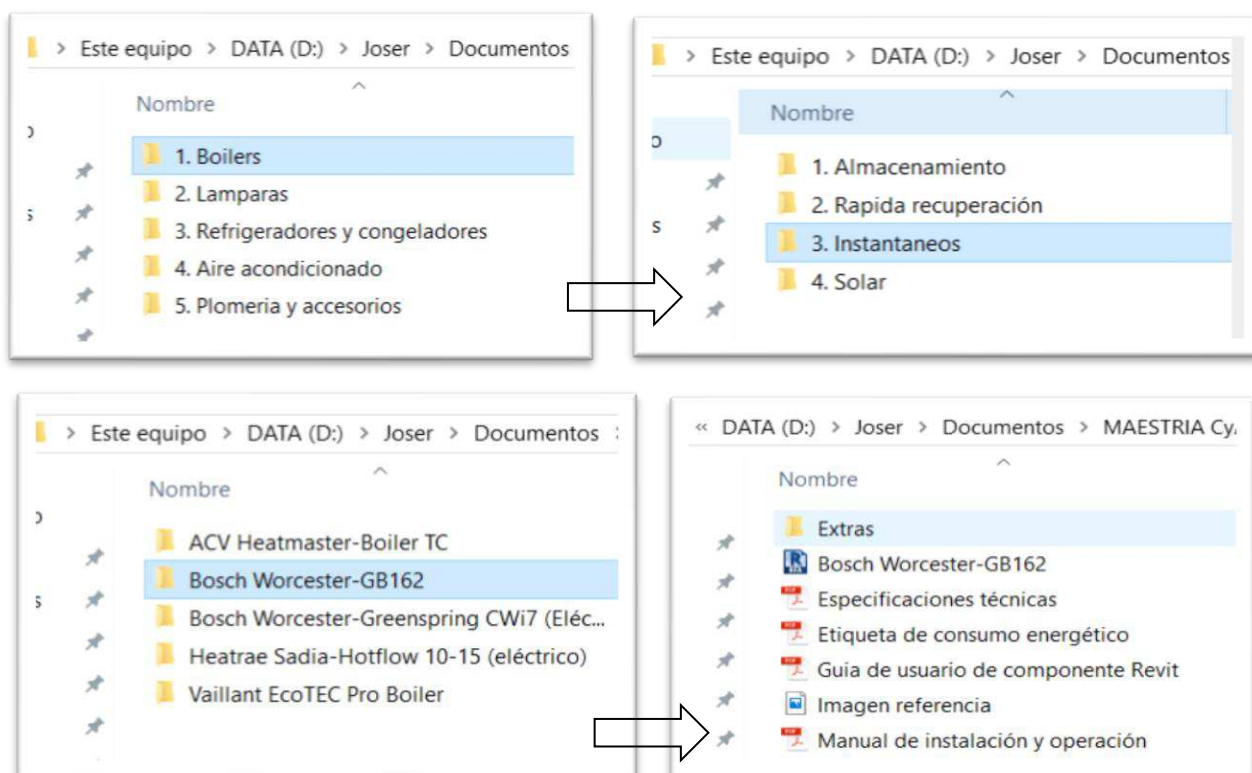


Figura 20. Recolección de objetos BIM e información relacionada al elemento de acuerdo a la NMX-AA-164-SCFI-2013.

4.3.2. Revisión y organización de elementos BIM

Una vez descargados los elementos que conformaron la primera versión de la base de datos BIM se procedió a una revisión de sus elementos y a su organización. Dentro de la retroalimentación recibida a través del análisis de la literatura se rescató la importancia de investigaciones que clarifiquen la manera en la que son abordadas las normas de construcción sustentable en la industria AEC, así como los procedimientos requeridos para lograr la integración de tecnologías como el BIM y la sustentabilidad. En consecuencia, el siguiente paso en el desarrollo de la base de datos BIM propuesta fue la correcta organización de sus elementos bajo el estándar MasterFormat 2016 en su versión más reciente. Realizar esta estandarización durante el diseño de edificaciones mejora la comunicación entre todas las partes involucradas en un proyecto. El sistema WBS MasterFormat cuenta con 48 divisiones. De entre las cuales, solo se utilizaron las relacionadas directamente con las instalaciones MEP. Las divisiones seleccionadas fueron:

- **División 22:** Plomería
- **División 23:** HVAC (aire acondicionado)
- **División 26:** Instalaciones eléctricas y de iluminación
- **División 48:** Generación de energía

Al implementar el estándar MasterFormat, se lograron sistematizar los objetos BIM descargados de las librerías BIM certificadas. Situación que mejoró la organización de los elementos BIM ahí almacenados.

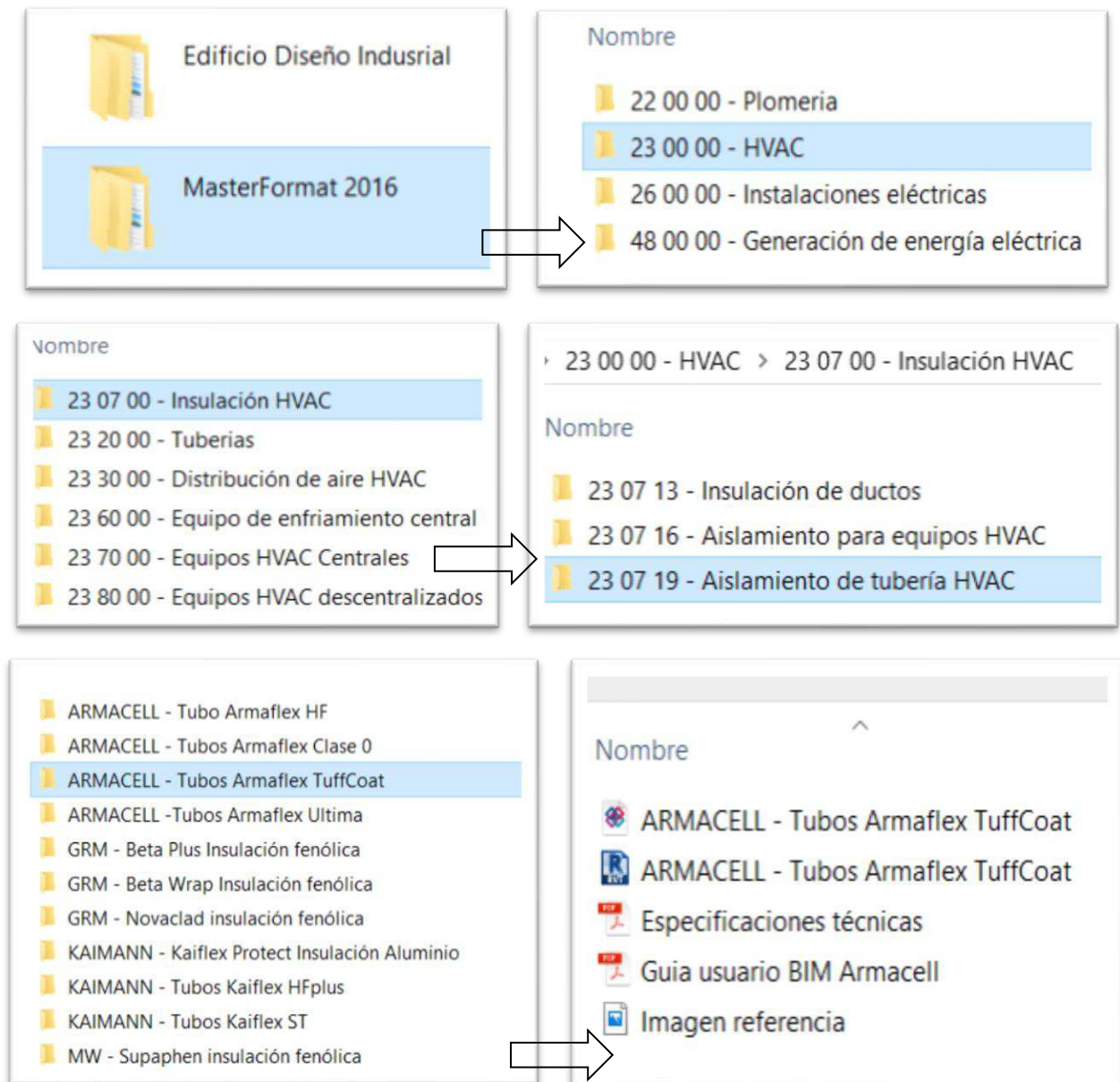


Figura 21. Organización de base de datos de elementos BIM de acuerdo con el estándar WBS MasterFormat 2016.

Una vez organizada la base de datos de elementos BIM por medio del sistema WBS MasterFormat se llevó a cabo una segunda revisión de la estructura del modelo y de su capacidad para considerar aspectos relacionado con el diseño de instalaciones MEP de alto rendimiento. La extensión de los elementos BIM almacenados es RFA, el cual es un formato que puede ser cargado y reconocido fácilmente por Autodesk Revit 2017. Cuando estas familias son cargadas a Autodesk Revit las propiedades inherentes de cada elemento son transferidas al proyecto en cuestión (Li, 2016).

Algunas familias, por ejemplo, poseen información específica sobre propiedades de edificación sustentable. Dicha información puede resultar valiosa durante una evaluación sustentable posterior de un proyecto.

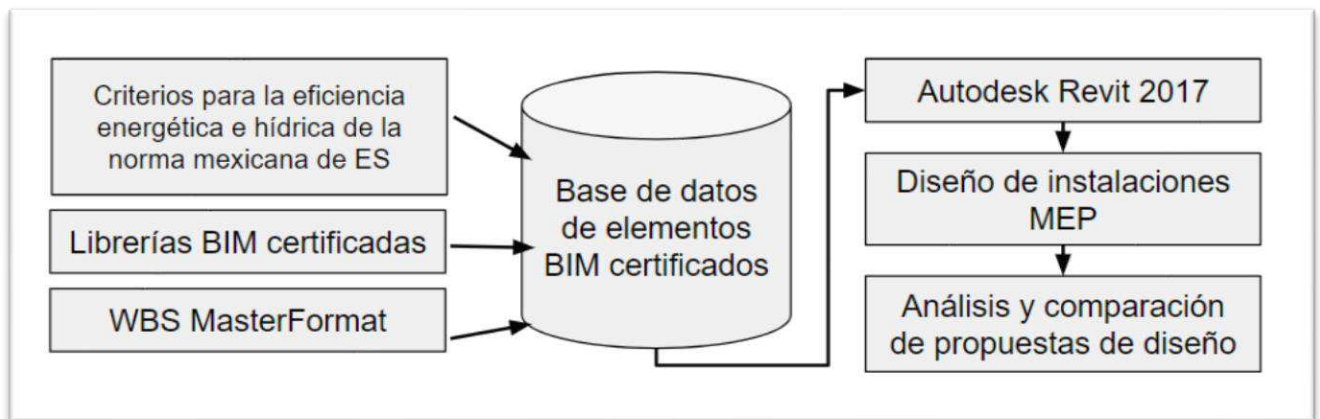


Figura 22. Estructura del modelo desarrollado. Elaborado por el autor.

4.3.3. Integración de la base de datos con Autodesk Revit 2017

Para la integración de la base de datos BIM con Autodesk Revit 2017 fue necesario configurar 2 *templates*: **1)** Un *template* arquitectónico, el cual contendrá los elementos arquitectónicos que representarán a un proyecto ubicado en la Ciudad de México (edificio “S” de diseño industrial); y **2)** un *template* mecánico, el cual albergará las instalaciones MEP existentes e instalaciones propuestas y se encontrará alimentado de la base de datos BIM desarrollada en este trabajo. La palabra “*template*” traducida al español significa plantilla. Dado que en este caso estamos hablando de un proyecto de obra, lo que requerimos es una plantilla de trabajo. Este *template* se encuentra prediseñado para nuestro modelo BIM y contiene toda la información necesaria del inmueble, como, por ejemplo, su dirección, la ubicación exacta de la edificación, el nombre de la persona encargada de la elaboración del modelo en Autodesk Revit, las unidades a utilizar y los materiales con los que se constituirá la edificación, etc. Para la creación de del *template* arquitectónico se realizó lo siguiente:

1. Se accedió al acceso directo del programa.
2. Se seleccionó la opción “nuevo”.
3. Nos aparecerá dos opciones, nuevo proyecto o nueva plantilla.
4. Una vez seleccionado la casilla de *template* arquitectónico y de haber seleccionado las unidades de medida deseadas, damos click en aceptar.

5. Una vez dentro del archivo de plantilla (.RTE), nos vamos a la casilla de **Manage > Project Information**, y comenzamos a llenar toda la información que tengamos sobre la edificación que se modelara en BIM.

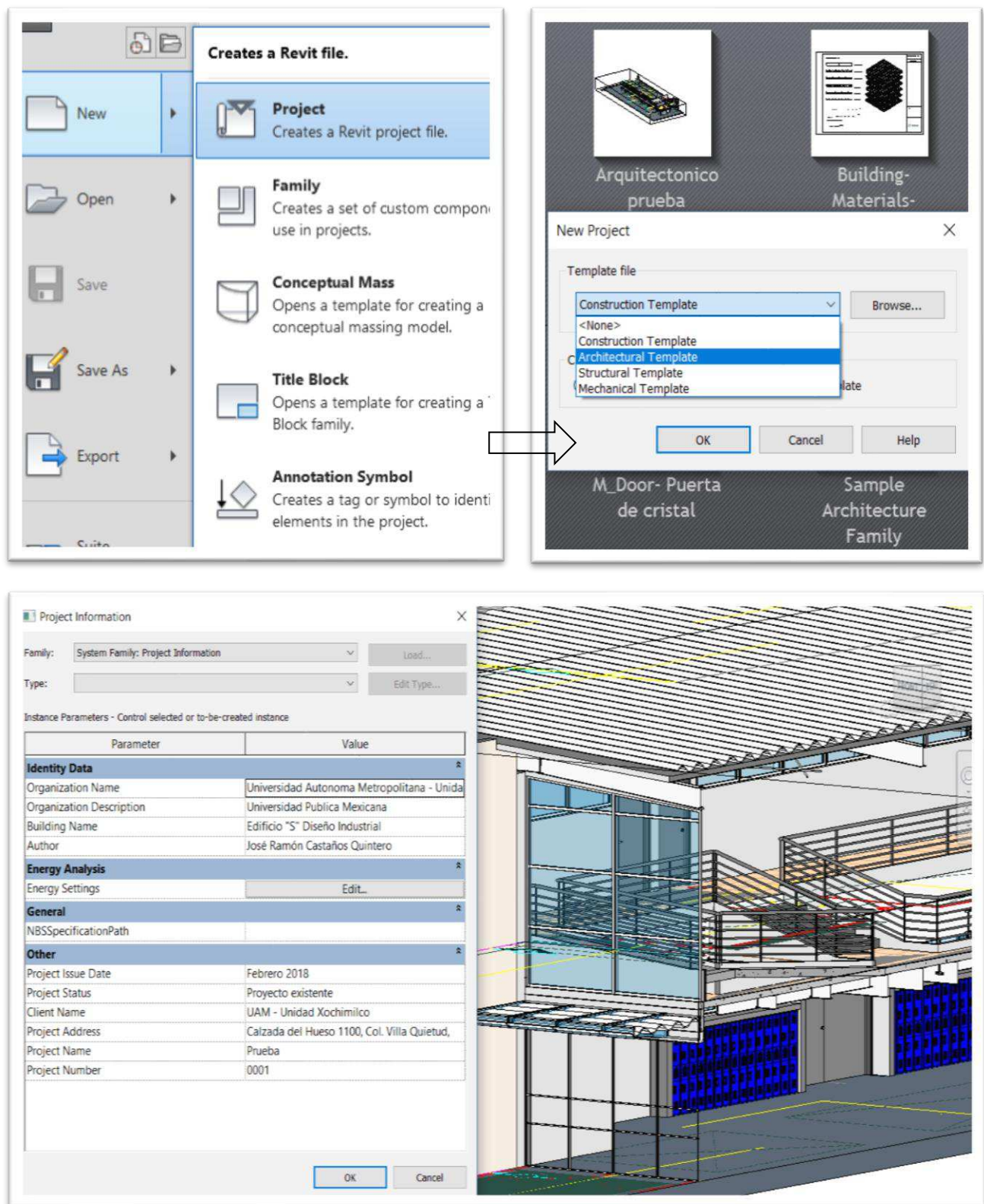


Figura 23. Información del modelo BIM del Edificio "S" de Diseño Industrial.

Para la creación de del *template* mecánico se realizó lo siguiente:

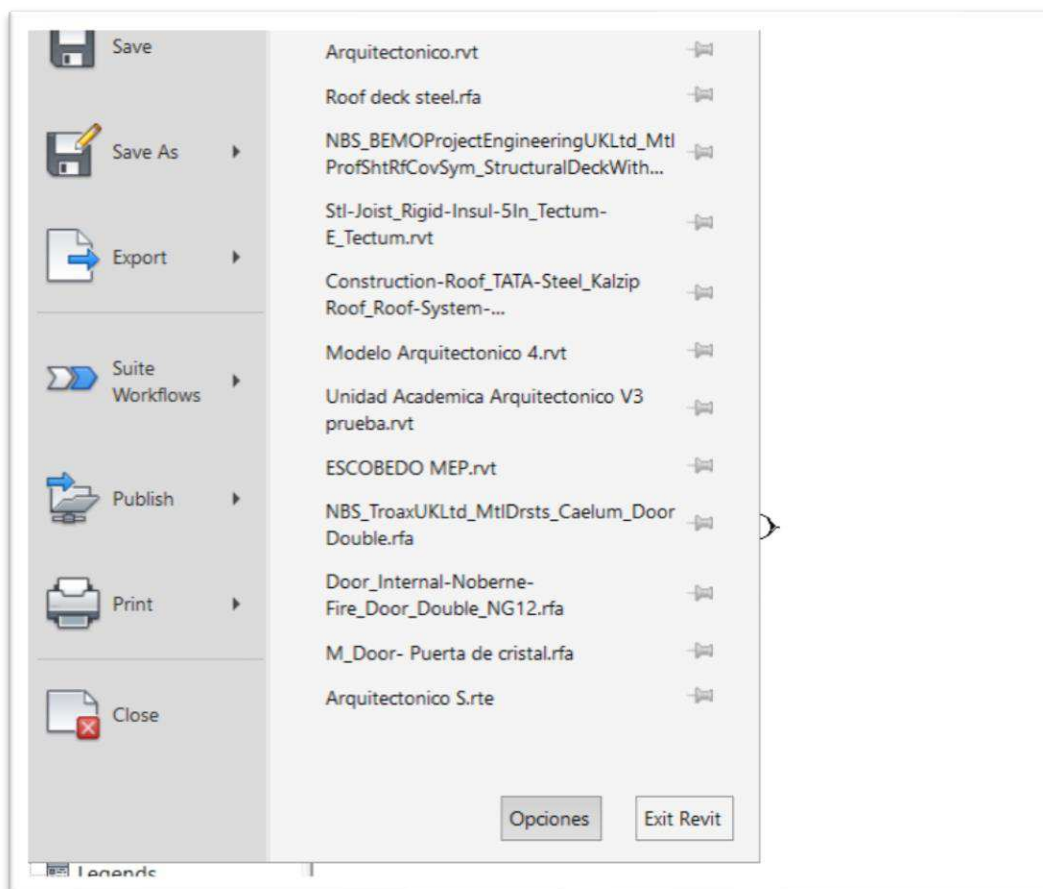
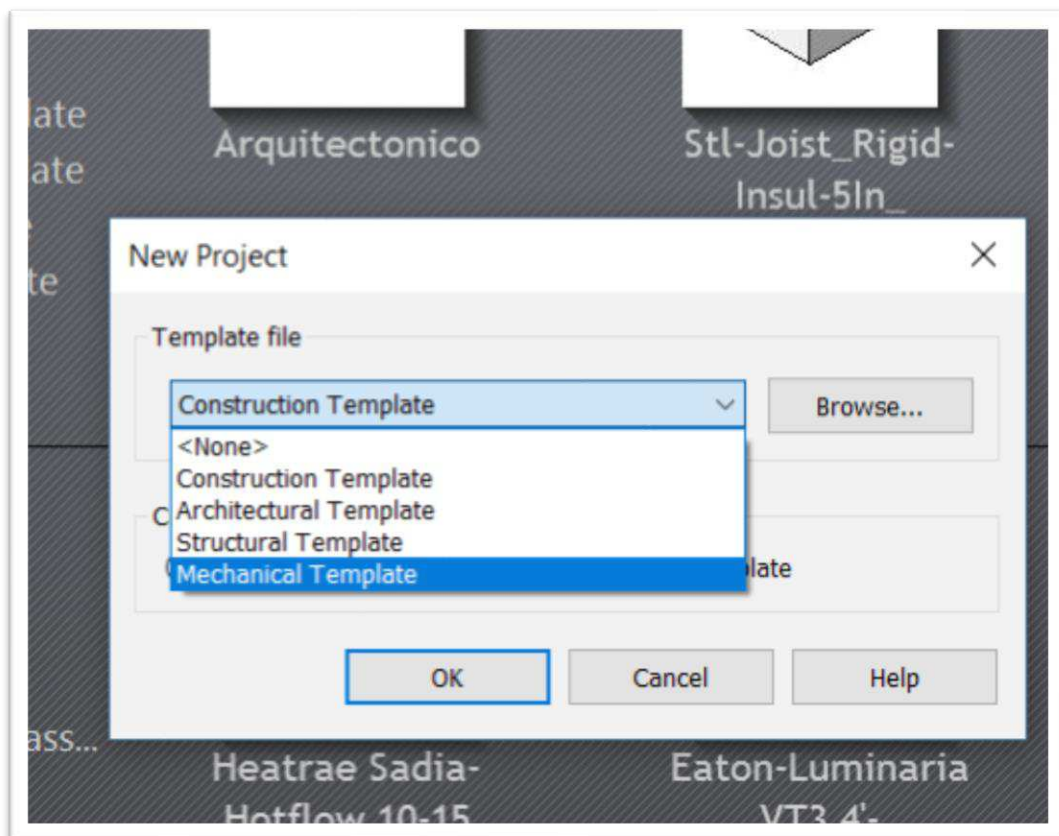


Figura 24. Acceso a las preferencias de Autodesk Revit.

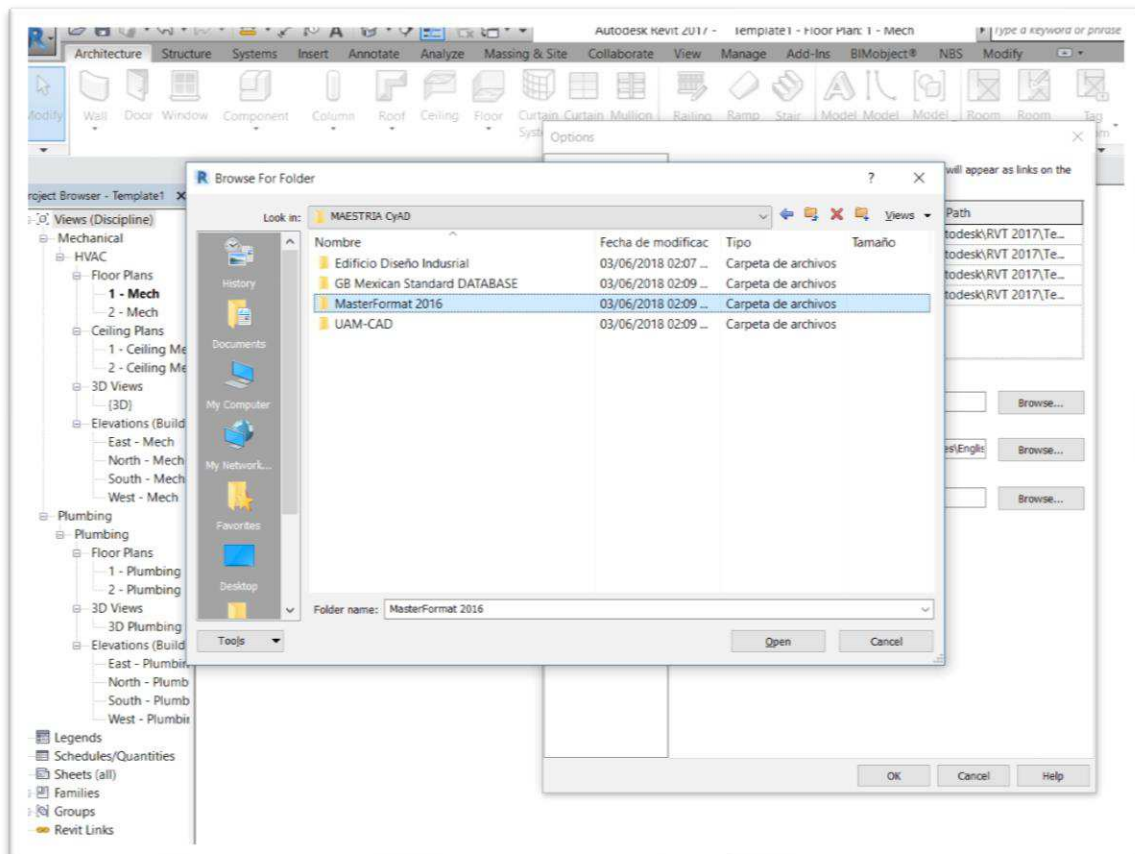
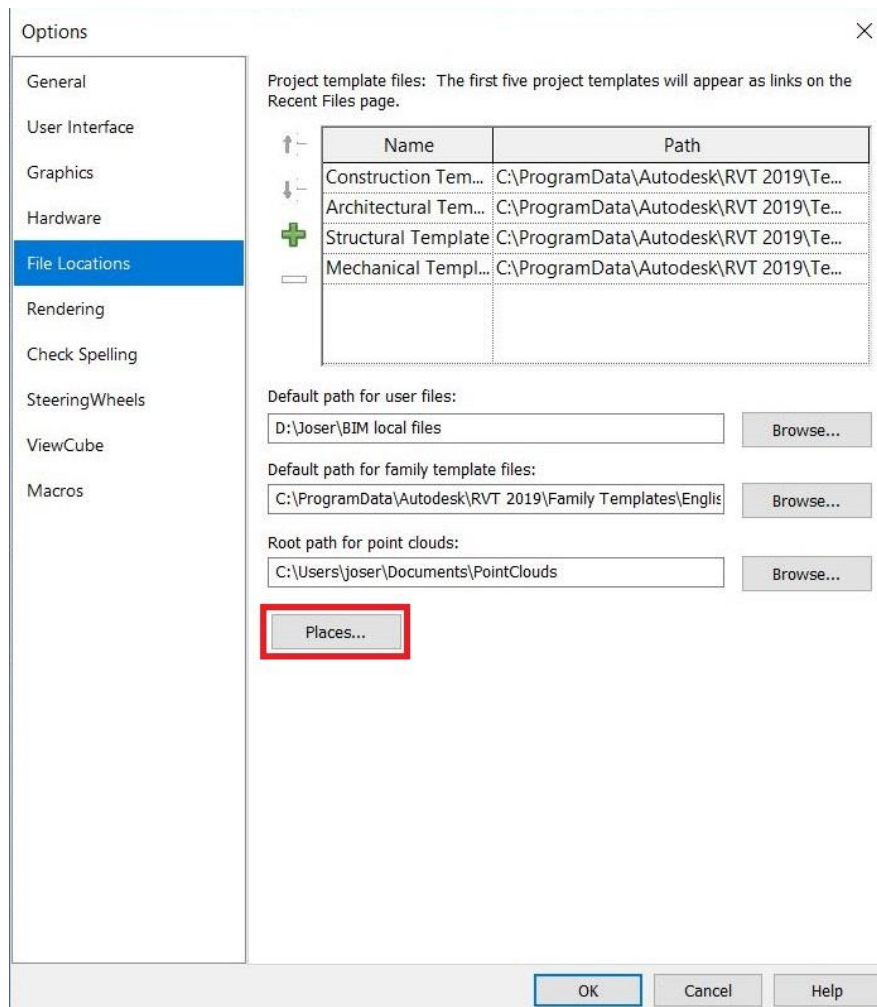


Figura 25. Identificación de la base de datos de elementos BIM desarrollada.

4.3.4. Aplicación del modelo

La aplicación del modelo propuesto se realizará por medio de una prueba posterior en donde se aplique la base de datos de equipos y materiales desarrollada en este proyecto de investigación. Sin embargo, esto será considerado solamente como un complemento a este proyecto de investigación. Por lo tanto, de acuerdo con los objetivos planteados en este documento, el análisis de la NMX-AA-164-SCFI-2013 y el desarrollo de la base de datos BIM fueron considerados como las aportaciones principales de este proyecto de investigación. Como se mencionó con anterioridad, el edificio “S” de la carrera de Diseño Industrial en la UAM-X fue el elegido para aplicar esta prueba.



Figura 26. Modelado BIM del edificio “S” de la carrera de Diseño Industrial en la UAM-X. Elaborado por el autor.

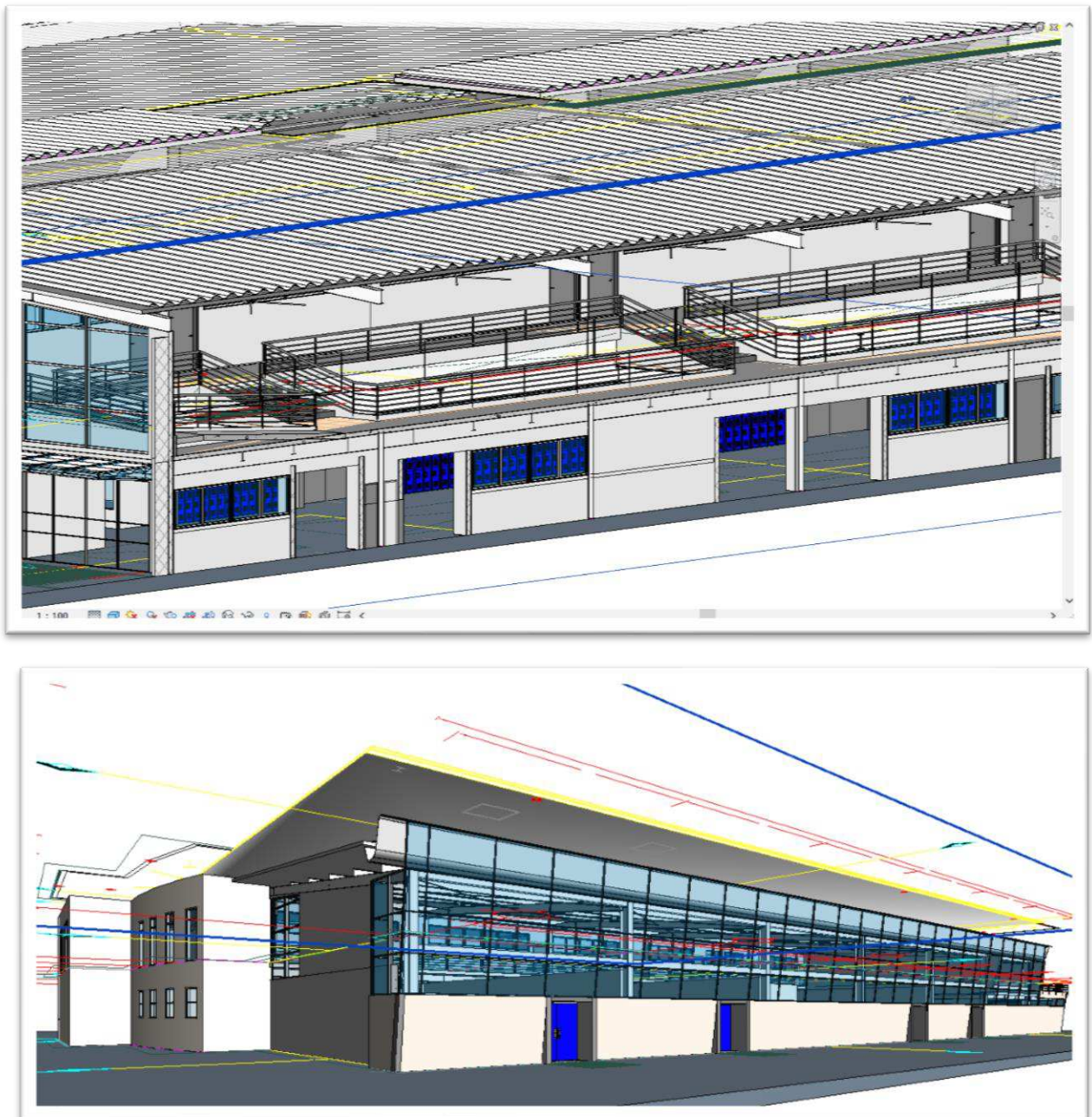


Figura 27. Modelado BIM del edificio “S” de la carrera de Diseño Industrial en la UAM-X. Elaborado por el autor.

4.4. Resumen

Este capítulo ha descrito el desarrollo del modelo propuesto que integra los lineamientos de la norma mexicana de edificación sustentable con el BIM. El modelo de trabajo presentado en este proyecto de investigación puede ser aplicado para comparar instalaciones existentes con instalaciones diseñadas bajo los requerimientos de la NMX-AA-164-SCFI-2013. La revisión de dicha normatividad permitió concluir preliminarmente que los objetivos principales de la edificación sustentable sobre los cuales se enfoca el gobierno de nuestro país son: **1)** La optimización de los diseños; **2)** La reducción del impacto ambiental; y **3)** La minimización de costos.

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

5.1. Conclusiones

Este trabajo de investigación presentó una revisión y un análisis de los requerimientos de la Norma Mexicana de Edificación Sustentable en materia de instalaciones MEP para posteriormente integrar dichos requerimientos con una herramienta BIM a través de una base de datos de elementos BIM certificados. El análisis de las consideraciones de la Norma Mexicana de Edificación Sustentable permitió esclarecer la estructura del documento en cuestión y las características principales de los diseños que esté demanda. La normativa se encuentra dividida en seis apartados de aplicación: Suelo, Energía, Agua, Materiales y Residuos, Calidad Ambiental y Responsabilidad Social. Su diseño y elaboración forma parte de una evolución paulatina en las políticas para la gestión ambiental de nuestro país. Sin embargo, esta normativa no ha sido aplicada correctamente desde su aparición en el año de 2013. Uno de los impedimentos principales de esta situación es que la aplicación de este tipo de normas en nuestro país no es de carácter obligatorio y, en consecuencia, son pobremente aplicadas y mínimamente analizadas.

El documento oficial se encuentra constituido por 111 requisitos específicos. Para su aplicación en el desarrollo de obras nuevas deben ser considerados 73 requisitos, mientras que para su aplicación en el desarrollo de obras existentes se consideran solamente 64. Es importante resaltar que, de los seis apartados, anteriormente mencionados, los aspectos hídricos y energéticos son los que poseen el mayor número de requisitos en el documento y por lo tanto pudieran ser consideradas las dos áreas con el mayor impacto durante la aplicación de estrategias sustentables. En las áreas de oportunidad para el diseño de instalaciones MEP de alto rendimiento, específicamente, los aspectos de mayor relevancia en cuanto a propuestas de diseño sustentable son:

1. La utilización de la energía.
2. La envolvente.
3. El tipo de materiales utilizados.
4. La administración eficiente del agua.

Estos puntos pueden ser aplicados y analizados con mayor facilidad en etapas conceptuales dentro de ambientes de trabajo BIM. Actualmente, la norma mexicana de edificación sustentable carece de información específica sobre la presentación de resultados, las

etapas y su proceso de evaluación. Sin embargo, después de aplicada, puede ser analizada y comparada bajo los objetivos y alcances anteriormente mencionados. La revisión y análisis del documento oficial permitió establecer conclusiones preliminares y posibles nuevas directrices para posteriores investigaciones.

El desarrollo de este proyecto de investigación se llevó a cabo a través de los siguientes puntos:

1. Revisión y análisis de principios, estrategias y métodos utilizados para el diseño sustentable de instalaciones MEP con base en los principios establecidos por teóricos investigadores y profesionales de la industria AEC.
2. Revisión y análisis de la Norma Mexicana de Edificación Sustentable y los requerimientos específicos para el desarrollo de instalaciones MEP de alto rendimiento.
3. Selección y almacenamiento de objetos BIM certificados a través de librerías BIM online para el desarrollo de instalaciones MEP de alto rendimiento.
4. Organización jerárquica de elementos descargados a través de la utilización de un sistema WBS; MasterFormat 2016.
5. Integración de la base de datos de elementos BIM desarrollada por medio de la creación de templates en Autodesk Revit 2017.

5.2. Contribuciones de la investigación

El desarrollo de este proyecto de investigación ayudó a: **1)** Definir los requerimientos de diseño de instalaciones MEP con base en la norma de edificación sustentable de México; **2)** Analizar y comparar propuestas de diseño; y **3)** Establecer alternativas de diseño en menor tiempo y acorde al estándar mexicano. Sin embargo, las contribuciones de este trabajo pueden ser analizadas si son directamente contrastadas con proyectos de investigación similares al realizado en esta tesis; como lo hecho por Azhar en 2010, Cidik en 2014 o Jalaei en 2015.

En 2010, Azhar analizó la utilización del BIM para el diseño sustentable utilizando como marco de trabajo los requerimientos y necesidades de la certificación LEED. A través del desarrollo de su marco conceptual logró establecer una relación entre los procesos de diseño con BIM y los requerimientos de dicha certificación. Muy parecido a lo realizado por

Azhar, el análisis del documento oficial de la NMX-AA-164-SCFI-2013 permitió el esclarecimiento de los requerimientos del estándar mexicano para el desarrollo de instalaciones MEP. Es decir, las necesidades de diseño fueron establecidas a través del marco conceptual desarrollado, el análisis de la teoría y la revisión del documento oficial. Por su parte, Cidik (2014) desarrolló un marco de trabajo para la categorización de los requisitos en el desarrollo de proyectos sustentables utilizando la normativa existente del Reino Unido. A través de su investigación logró la identificación de los aspectos necesarios para la optimización de los diseños en etapas conceptuales de diseño. Con la utilización del marco conceptual desarrollado en este trabajo (Ver tabla 6) es posible identificar de una forma similar los aspectos de diseño más críticos durante el diseño conceptual de una instalación MEP. Por último, Jalaei en 2015, elaboró un modelo BIM integrado a través de la creación de una base de datos de elementos BIM que respetará los requerimientos de la certificación LEED de Canadá. El modelo desarrollado en este trabajo respeta lo analizado por Jalaei y adopta consideraciones de su trabajo.

A continuación, se enlistan las características y aportaciones del modelo desarrollado en este trabajo de investigación:

1. La revisión y análisis de la NMX-AA-164-SCFI-2013 desde la teoría de investigadores como Kim y Rigdon (1999) y Kubba (2017), contrastada con las estrategias aplicadas en campo en la actualidad, permitió esclarecer las consideraciones críticas en el diseño y desarrollo de instalaciones MEP sustentables.
2. Las propuestas de diseño de instalaciones MEP, posteriormente desarrolladas por medio de la base de datos BIM diseñada en este trabajo de investigación, utilizan objetos BIM que poseen características que promueven el diseño sustentable de instalaciones y se encuentran certificados y avalados por organismos internacionales.
3. A comparación de los métodos tradicionales de diseño, la utilización del BIM y la aplicación de consideraciones sustentables promueven el trabajo colaborativo e interdisciplinario entre los participantes de un proyecto.
4. A través de la implementación de este modelo los ingenieros mecánicos pueden identificar áreas de oportunidad en la mejora de instalaciones MEP existentes en edificaciones o durante el diseño conceptual de las mismas.

5.3. Líneas futuras de investigación

El trabajo realizado en este proyecto de investigación analiza y escribe la integración de la NMX-AA-164-SCFI-2013 con la aplicación de una herramienta BIM. Sin embargo, existen una serie de consideraciones que pudieran ser tomadas en cuenta en futuros trabajos relacionados para mejorar el modelo propuesto.

Estas son:

1. El incremento del número de familias alojadas en la base de datos con características sustentables.
2. La utilización de herramientas externas de Autodesk Revit que mejoren el procedimiento de recolección de familias de las librerías BIM, *e.g.*, *Plugin* de BIMobject que permite buscar y descargar familias directamente desde Revit.
3. Incorporar el análisis de eficiencia a los diseños realizados por medio de las herramientas de análisis de Autodesk Revit
4. Incorporar elementos BIM arquitectónicos certificados que mejoren la envolvente de modelos BIM.

Referencias

- AHN**, Y.H. y Kim T., 2014. "Sustainability in modular design and construction: a case study of 'The Stack'". *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 5(4), pp.250-259. Universidad de Hanyang, República de Corea.
- ANASTAS**, Paul T. y Julie Zimmerman, 2003. "Through the 12 Principles GREEN Engineering", *Environmental Science and Technology*, Marzo 2003, 94-101, Universidad de Nottingham, Reino Unido.
- AZHAR**, Salma, Wade Carlton, Darrel Olsen y Irishad Ahmad, 2011. "Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis", *Automation in Construction*, 20, 217-224, Auburn Universidad de Auburn, Auburn, Alabama, Estados Unidos.
- BISWAS**, T., Wang, T., H. y Krishnamurti R., 2008. "Integrating sustainable building rating systems with building information models" *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*, Chiang Mai, Tailandia, 9 – 12 Abril 2008, pp. 193–200.
- BRENNAN**, Michelle C. y Alison J. Cotgrave, 2014. "Sustainable development: A qualitative inquiry into the current state of the UK construction industry", *Structural Survey*, Vol. 32 Issue: 4, pp.315-330.
- CAMPBELL**, D.A., 2007. "Building Information Modeling: The Web 3D application for AEC". *Proceedings of the twelfth international conference on 3D web technology*, ACM, Nueva York, Estados Unidos, pp. 173-176.
- COMISIÓN MUNDIAL SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO (CMMAD)**, 1987. Nuestro futuro en común, Naciones Unidas. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos.
- COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL (CCA)**, 2008. Oportunidades y retos, Informe del secretariado al consejo conforme al artículo 13 del acuerdo de cooperación ambiental de América del Norte. Montreal, Quebec, Canadá.
- CONSEJO DE EDIFICACIÓN SUSTENTABLE DE LOS ESTADOS UNIDOS (USGBC)**, 2009. *Guía de Estudio de LEED Green Associate del USGBC*. Washington, DC.
- CHARETTE**, Robert P. y Harold E. Marshall, 1999. "UNIFORMAT II, elemental classification for Building Specifications, Cost Estimating and Cost Analysis". Instituto Nacional de estándares y tecnologías. Departamento de comercio de los Estados Unidos.
- CIDIK S**, Mustafa, David Boyd, Niraj Thurairajah y Siobhan Hill, 2014. "BIM and Conceptual Design Sustainability Analysis: An Information Categorization Framework", *50th ASC Annual International Conference Proceedings, the Associated Schools of Construction, Virginia Tech*, Washington D.C., Estados Unidos.
- DEFENSE ACQUISITION UNIVERSITY (DAU)**, 2009. "Glossary", Fort Belvoir, Florida, Estados Unidos.
- DEPARTMENT OF ENERGY (DOE)**, 2008. "Energy Efficiency Trends in Residential and Commercial Buildings" Departamento de Energía de los Estados Unidos de América.
- ELKINGTON**, John, 2004. "Enter the Triple Bottom Line", *The Triple Bottom Line: Does It All Add Up?* Ensayo, Earthscan, 1-16, Reino Unido.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y AGRICULTURA (FAO), 2016. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>

GENERAL SERVICES ADMINISTRATION (GSA), 2007. "BIM Guide Overview", *GSA BIM Guide Series*, 1, Mayo 2007, 1-32, Washington, D.C., Estados Unidos.

GIDDINGS, Bob, Bill Hopwood y Geoff O'Brien, 2002. "Environment, economy and society: Fitting them together into sustainable development", *Sustainable Development*, 10, 187–196, Instituto de Investigación de Ciudades Sustentables, Newcastle, Reino Unido.

GUZMÁN, L., S. Moreno y J. Martínez, 2014. "Psychrometric chart for Ecatepec, State of México, as a tool for housing sustainable design". *Management Research & Practice*, 6(1), pp. 32-45.

HARRIS, Jonathan, M. 2003. "Sustainability and Sustainable Development" *International Society for Ecological Economics Internet Encyclopaedia of Ecological Economics*.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2013. "Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050". Informe, París, Francia.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2010. "Energy Performance Certification of Buildings: A policy tool to improve energy efficiency". Informe, París, Francia.

INSTITUTO DE ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN (CSI), 2016. "MasterFormat: Lista Maestra". Estados Unidos. <http://www.csinet.org/>

JALAEI, Farzad y Ahmad Jade, 2014. "Integrating BIM and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings" *Journal of Information Technology in Construction. ITcon* Vol. 19 (2014), pp. 494

JALAEI, Farzad y Ahmad Jade, 2015. "Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings", *Sustainable Cities and Society*, 18 Junio 2015, 95–107, Universidad de Ottawa, Ottawa, Canada.

KIBERT, Charles J., 2005, "Sustainable construction: Green Building Design and delivery", John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Estados Unidos.

KIM, J.J y B. Rigdon, 1998. "Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design" Ann Arbor, Michigan: National Pollution Prevention Center for Higher Education.

KRYGIEL, Eddy y Bradley Nies, 2008. "Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling", Wiley Publishing, Inc, Indiana, Estados Unidos.

KUBBA, Sam, 2017. "Handbook of Green Building Design and Construction LEED, BREEAM and Green Globes" "Segunda Edición. Elsevier. Kidlington, Oxford OX5 1GB, Reino Unido.

LARSSON, Nils., 2004. "An Overview of Green Building Rating and Labelling Systems". *International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE)*.

MANTECA, Florencio. 2012 Arquitectura y Energía. Director Departamento Arquitectura Bioclimática Centro Nacional de Energías Renovables - CENER

MAZRIA, Edward, 2010. "Architecture 2030". Architecture 2030 607 Cerrillos Road, Suite G Santa Fe, NM 87505 p. 505.988.5309 f. 505.983.9526 www.architecture2030.org.

- MIDDLEBROOKS**, Robert E, 2008. "Sustainable Design through BIM and Analysis", *HPAC Engineering*, Octubre 2008, 30-34.
- MOAKHER**, Parisa Esmaeili y S.S. Pimplikar, 2012. "Building Information Modeling (BIM) and Sustainability – Using Design Technology in Energy Efficient Modeling", *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* (IOSR JMCE), 1, 2 (2012), 2278-1684, Sari, Iran.
- MYERS**, Danny, 2005. "A review of construction companies' attitudes to sustainability", *Construction Management and Economics*, 23, octubre 2005, 781–785, Universidad del Oeste de Inglaterra (UWE), Bristol, Reino Unido.
- MASOOD**, R., M. Kharal y A.R. Nasir, 2014. "Is BIM Adoption Advantageous for Construction Industry of Pakistan?" *Procedia Engineering*, 77, pp. 229-238.
- NATIONAL BUILDING INFORMATION MODELING STANDARD**, 2007. "Part: 1, Overview, principles and methodologies", *National Institute of Building Sciences*, Diciembre 2007, Washington, D.C., Estados Unidos.
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION**, 2000. "Towards a comprehensive geographical perspective on urban perspective", *National Science Foundation Workshop on Urban Sustainability*, enero 2000, 1-25, Virginia, Estados Unidos.
- NATIONAL BUILDING STANDARD (NBS)**, 2017. "National BIM Report 2017" RIBA. <https://www.thenbs.com/knowledge/nbs-national-bim-report-2017>
- BOURGUETT** Ortiz, Víctor, J., Jorge A. Casados Prior, Víctor H. Mireles Vázquez, Elizabeth González Soberanis, M. Patricia Hansen Rodríguez, Mario O. Buenfil Rodríguez, Ma. Teresa Cervantes Quintana (2003). Manual para el uso eficiente y racional del agua. ¡Utiliza sólo la necesaria! México: IMTA.
- PARK**, Jaehyun, J. Park y J. Kim, 2012. "Building Information Modeling based energy performance assessment system", *Construction Innovation*, 12, 2012, 335-354.
- SANCHEZ**, Luis Darío y Arlex Sánchez Torres, 2004. Uso Eficiente Del Agua, Ponencias sobre una perspectiva general temática, CINARA Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico, 1-72. Delft, Países Bajos.
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA**, 2013. NMX-AA-164-SCFI-2013 - Edificación Sustentable-Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos, Ciudad de México: secretaría de Economía.
- SCHLUETER**, Arno y Frank Thesseling, 2009. "Building information model-based energy/exergy performance assessment in early design stages", *Automation in Construction*, 18, 153–163, Instituto de Tecnología para edificaciones, *Building Systems Group*, Zurich, Suiza.
- SUCCAR**, Bilal, 2009. "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders", *Automation in Construction*, 18, 357–375, Universidad de Newcastle, Australia.
- UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA Y DE LOS RECURSOS NATURALES (UICN)**, 1980. "Estrategia mundial para la conservación: La conservación de los recursos vivo para el logro de un desarrollo sostenido". Link: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/WCS-004-Es.pdf>

WANG, jun, Xiangyu Wang, Wenchi Shou A, Heap-Yih Chong y Jun Guo, 2015. "Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability", *Automation in Construction*, 61, 134–146, Universidad Curtin, Australia.

WANG, Nengmou y Hojjat Adeli, 2014. "Sustainable Building Design", *Journal of Civil Engineering and Management*, 20, 1, 1-10, The Ohio State University, Columbus, Ohio.

WASSIM, Jabi, 2013. "Parametric design for architecture", Laurence King Publishing, Londres, Reino Unido.

WONG, Kam-din y Qing Fan, 2013. "Building information modelling (BIM) for sustainable building design", *Facilities*, 31, 3/4, 138-157, Universidad Politécnica de Hong Kong, Hong Kong, China.

WOODRUFF, Allison y Mankoff, Jennifer, 2009, "Environmental Sustainability" *IEEE Pervasive Computing*, Enero-Marzo de 2009, 18-21, Nueva York, Estados Unidos.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD), 2007. "Energy Efficiency in Buildings", *Business realities and opportunities. Summary Report 1-38*, Ginebra, Suiza.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD), 2009. "Energy Efficiency in Buildings: Transforming the Market". *Summary Report 1-70*, Ginebra, Suiza.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD), 2016. Website: <http://www.wbcsd.org/>

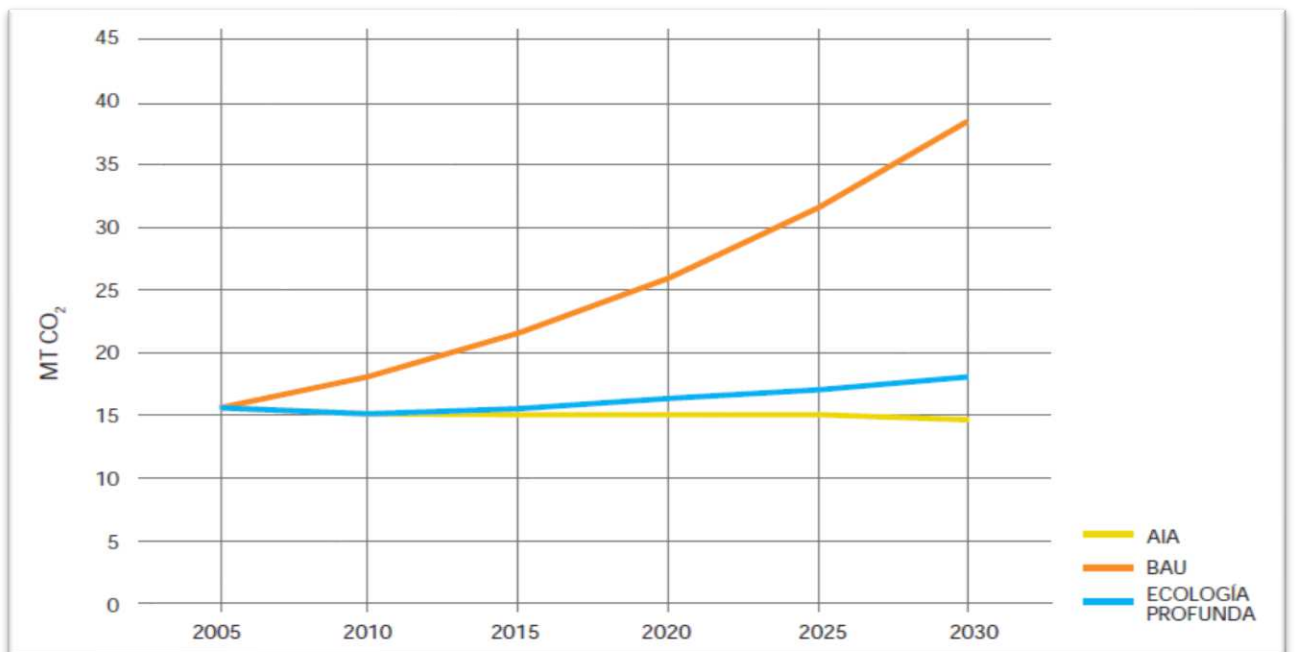
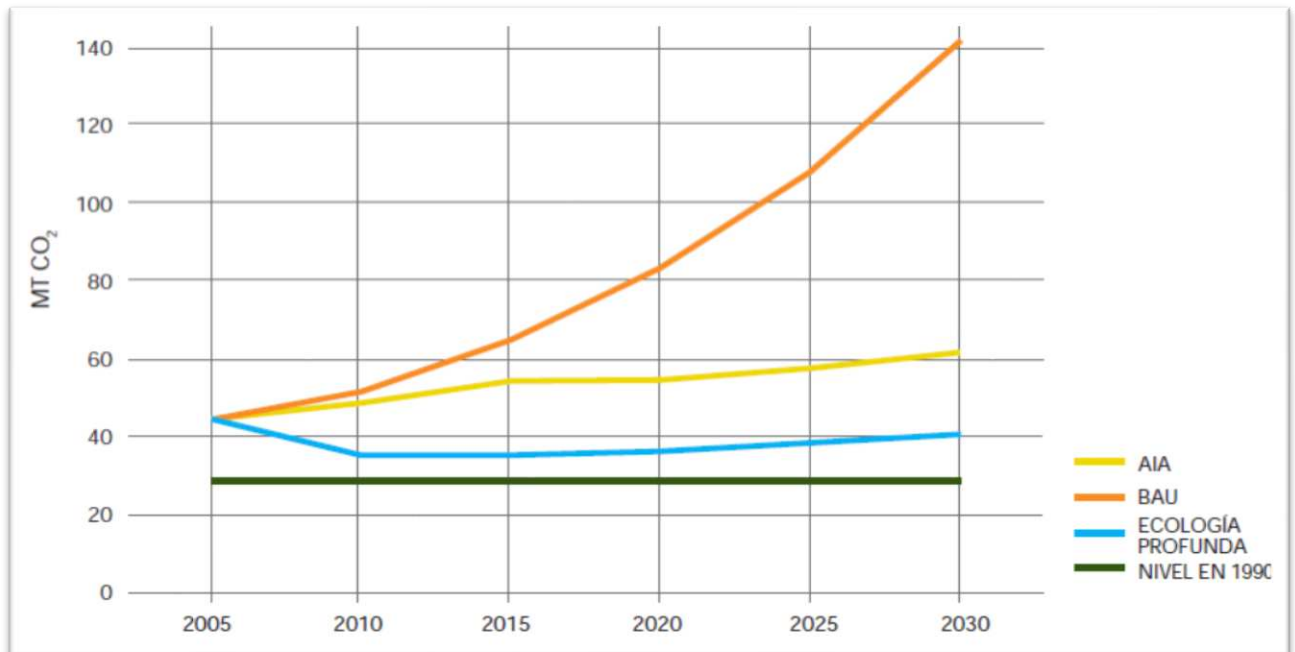
WORLD ENERGY COUNCIL (WEC), 2016. "World Energy Perspectives" Políticas para la eficiencia energética. Summary report 1-152. Londres, Reino Unido.

ZANNI, María-Angeliki, Robby Soetanto y Kirti Ruikar, 2014. "Defining the sustainable building design process: methods for BIM", *International Journal of Energy Sector Management*, 8, 4, 562-587, Universidad de Loughborough, Loughborough, Reino Unido.

Anexos.

Anexo 1.

Proyección de emisiones de CO² causada por edificaciones en México; sector residencial y comercial (CCA, 2008: 44)



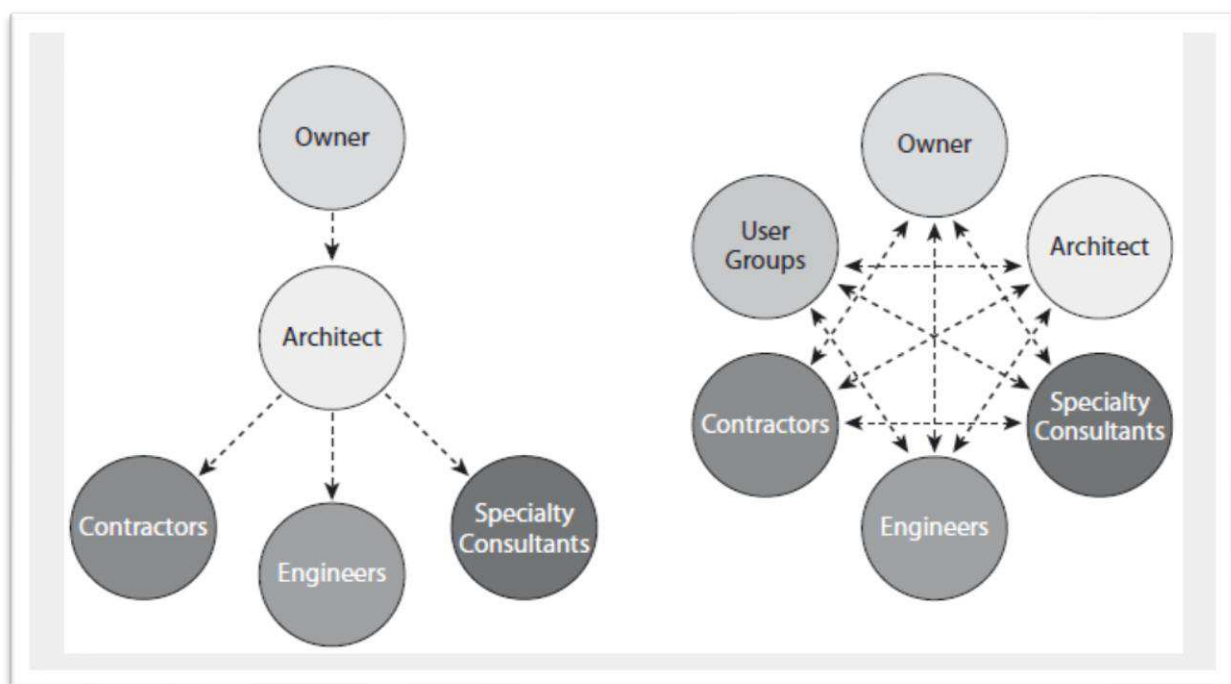
Anexo 2.

Beneficios en la implementación prácticas sustentables en la industria AEC (Ahn et al., 2014).

Beneficios Ambientales	Beneficios Sociales	Beneficios económicos
Protección de ecosistemas, aire, agua, tierra.	Mejoramiento de calidad de vida	Crecimiento económico
Conservación de recursos naturales (combustibles fósiles)	Reducción de pobreza	Reducción de consumo de energía y costos
Utilización de recursos renovables	Satisfacción de las necesidades humanas	Mejoramiento de la productividad
Reducción de desperdicios	Incorporación de información cultural en el desarrollo	Reducción de costos en infraestructura
Reducción de GEI	Optimización de beneficios sociales	Reducción de consumo de agua y costos
Prevención del calentamiento global	Mejoramiento de confort y bienestar	Reducción de costos en salud
Reciclaje activo	Entendimiento de la importancia del capital social y cultural	Regreso de la inversión inicial
Preservación de especies animales y diversidad genética	Entendimiento de comunidades multidisciplinarias	Reducción de abstencionismo

Anexo 3.

Equipo tradicional de diseño vs método integrado (IPD) (BNIM Architects, 2008).



Anexo 4.

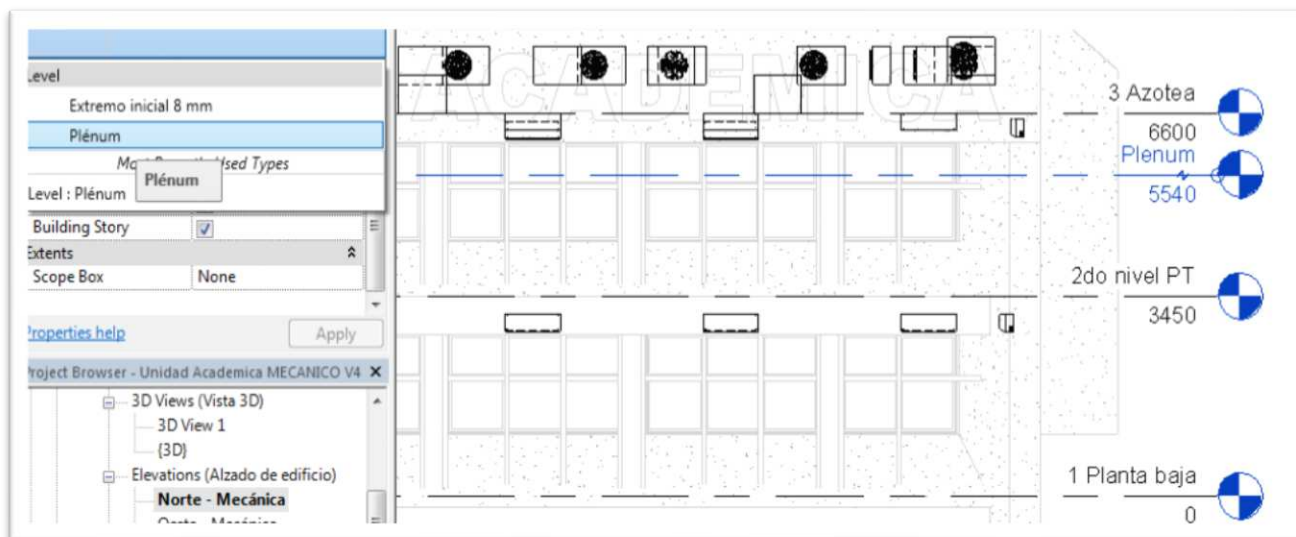
Información general de los softwares BIM más populares en el mercado actual (Smith & Tardif, 2009).



Features	Revit®	Bentley®	Vico®	ArchiCAD®
BIM tool	Authoring; partial auditing and analysis	Authoring; partial auditing and analysis	Authoring; partial auditing and analysis	Authoring
IFC Certified	Yes	Yes	Yes	Yes
Operating System	Windows	Windows	Windows	Windows and Mac OS X
ODBC Support	Yes	Yes	Unknown	Yes
Supported Interfaces	DGN, DWG, DWF, DXF, SAT, SKP, gbXML, AVI, BMP, JPG, TGA, TIF and API	Primavera, STTAD, RAM, DGN, DWG, DXF, PDF, STEP, IGES and STL	Primavera®, MS Project, Revit, Tekla, ArchiCAD, DXF, DWG, PDF, VRML and JPG	CIS/2, SDNF, STEP DWG, DXF, VRML, STL, HOOPS, SAT, 3DXML and IGES
Strengths	Market leader, user-friendly, direct link interfaces, excellent object library, multi-user interface and bidirectional drawing support	Almost full AEC modeling tools, support complex curved surfaces, support developing Parametric objects, provide scalable support	Best contractor oriented tool, first real 5-D support, Direct support for Revit, Tekla, Primavera and ArchiCAD®. Complete project management.	Oldest tool, intuitive interface, easy to use, large object libraries, rich supporting application, only strong BIM tools for MACs
Weakness	Limitations on parametric rules dealing with angles and does not support complex curved surfaces	Large and non-integrated interface, heterogeneous functional modules include different object behaviors	Complex package of highly Specialized modules, expensive, sharp learning curve.	Limitations on parametric modeling, not supporting update rules between objects and scalability issue

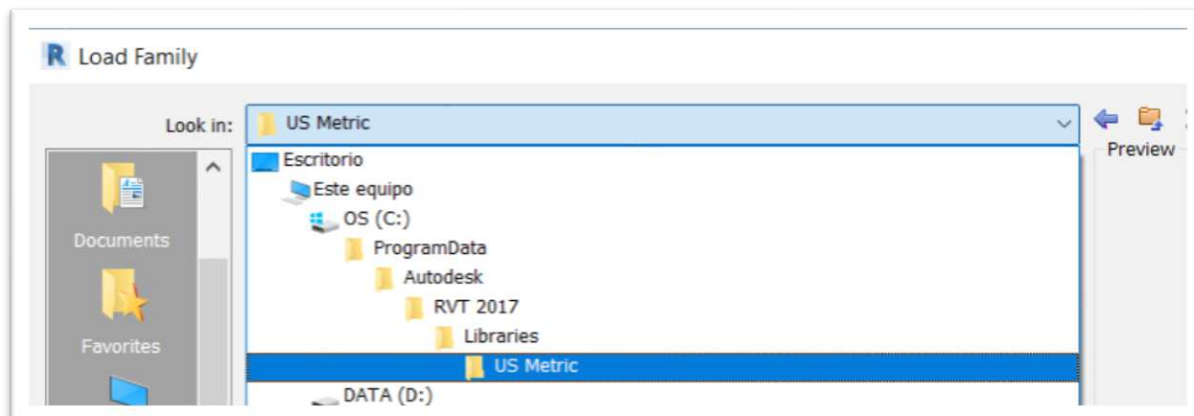
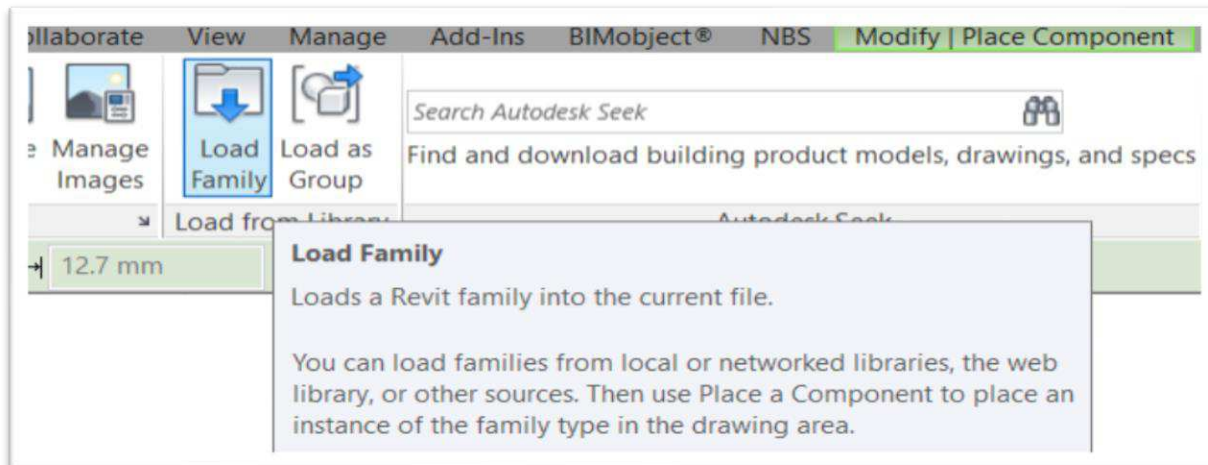
Anexo 5.

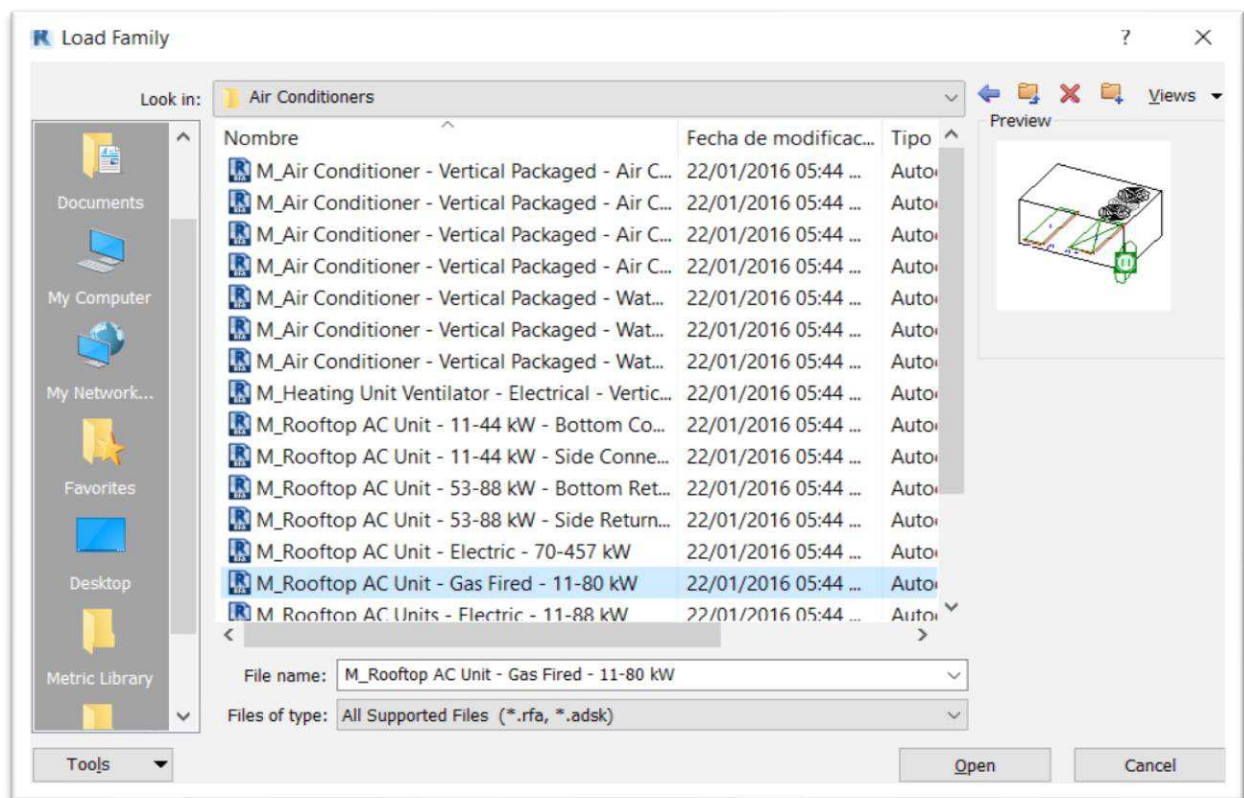
Vista sección permite apreciar Elementos de datos (Niveles-2D) en modelo BIM.



Anexo 6.

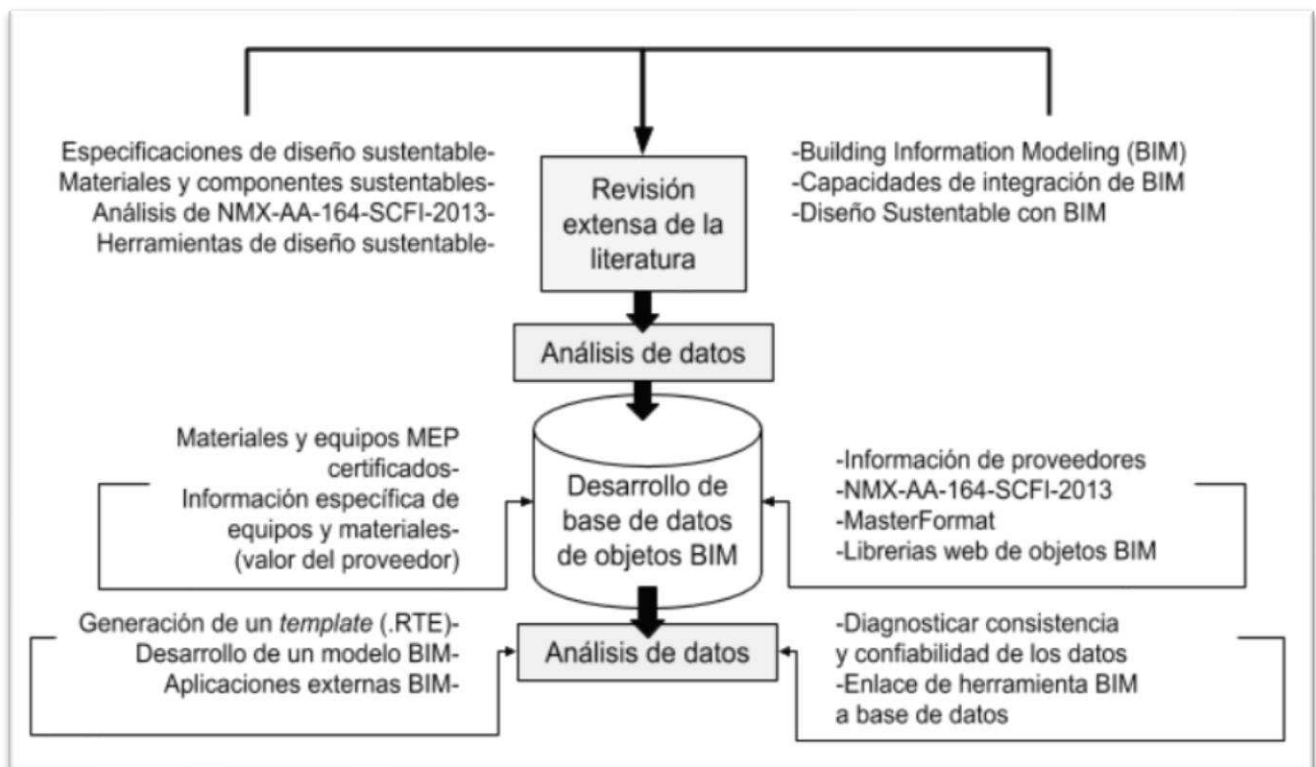
Selección de equipo de aire acondicionado en Autodesk Revit desde la base de datos *default* de Revit





Anexo 7.

Procedimiento metodológico para el desarrollo de una base de datos de objetos BIM. Elaborado por el autor.



Anexo 8.

Biblioteca Nacional BIM del NBS (www.nationalbimlibrary.com) / UK:

Es uno de los sistemas de gestión de contenido BIM predominantes en el Reino Unido y en el mundo. Fue creada por el gobierno británico para facilitar el desarrollo e intercambio de elementos BIM confiables y certificados; lo que garantiza que todos los componentes BIM disponibles en su sitio web son creados bajo los estándares de la Norma Nacional de Construcción (NBS) de Reino Unido. Esto permite al usuario seleccionar y hacer uso de componentes BIM que contengan toda la información necesaria; información que es almacenada dentro del elemento BIM y se vincula de forma inteligente a su especificación y datos geométricos (DBW, 2018).

BIMobject (<https://bimobject.com>) / Estados Unidos y Suecia:

Sitio pionero en el desarrollo de elementos BIM personalizados. De origen sueco, BIMobject es una base de datos central basada en Internet que contiene información de objetos BIM y archivos BIM. El sitio solo contiene productos de fabricantes reales y trabaja en estrecha cooperación con todos los fabricantes además de ofrecer servicios altamente calificados como modelado 3D, programación y *scripting* para construir objetos BIM de alta calidad inteligentes y confiables (BO, 2018). En el año 2017 la empresa fusionó operaciones con Autodesk; situación que le da renombre y

Apéndice informativo.

Apéndice 1.

TABLA 2. Especificaciones de eficiencia térmica mínima para calentadores domésticos y comerciales.

Tipo de Calentador	Volumen (L)	Eficiencia Térmica, mínima (%)
Almacenamiento	1 - 40	78
	+ 40 - 62	79
	+ 62 - 106	81
	+ 106 - 400	85
Rápida recuperación		85
Instantáneo	Hasta a 8 L/min	85
	Mayor a 8 L/min	87

Los calentadores deben presentar una garantía que cubra la reposición del mismo, mínimo de 6 años para calentadores de almacenamiento, de ocho años para los calentadores de rápida recuperación y de diez años para los calentadores instantáneos.

Para asegurar la eficiencia térmica efectiva del producto se debe realizar la instalación y el mantenimiento requerido por el fabricante o el prestador del servicio en su manual.

Apéndice 2.

Tabla 4. Límites de eficacia para las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastadas LFCA sin envoltente

Intervalos de Potencia	Eficacia mínima (lm/W)
Menor o igual que 7 W	50
Mayor que 7 W y menor o igual que 10 W	50
Mayor que 10 W y menor o igual que 14 W	55
Mayor que 14 W y menor o igual que 18 W	55
Mayor que 18 W y menor o igual que 22 W	65
Mayor que 22 W	65

Tabla 5. Límites de eficacia para las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastadas LFCA con envoltente

Intervalos de Potencia	Eficacia mínima (lm/W)
Menor o igual que 7 W	40
Mayor que 7 W y menor o igual que 10 W	45
Mayor que 10 W y menor o igual que 14 W	45
Mayor que 14 W y menor o igual que 18 W	50
Mayor que 18 W y menor o igual que 22 W	50
Mayor que 22 W	60

Tabla 6.-Límites de eficacia para las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastadas LFCA con reflector

Intervalos de Potencia	Eficacia mínima (lm/W)
Menor o igual que 7 W	38
Mayor que 7 W y menor o igual que 14 W	38
Mayor que 14 W y menor o igual que 18 W	38
Mayor que 18 W	45

Todas las lámparas fluorescentes compactas autobalastadas, deben presentar una garantía mínima de tres años, que cubra la reposición del mismo.

Apéndice 3.

Tabla 3. Límites de consumo de energía máximos para refrigeradores y congeladores

Descripción del aparato electrodoméstico	Consumo Máximo NOM-015-ENER-2002 Emax	Porcentaje de reducción en el consumo máximo (%)
Refrigerador solo, convencional y refrigerador-congelador(R/C) con de hielo manual o semiautomático.	0,31VA+248,4	20
Refrigerador-congelador con de hielo parcialmente automático.	0,31VA+248,4	20
Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte superior, sin despachador de hielo, y refrigeradores solos con deshielo automático.	0,35VA+276,0	20
Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado lateralmente, sin despachador de hielo.	0,17VA+507,5	20
Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte inferior, sin despachador de hielo.	0,16VA+459,0	20
Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte superior, con despachador de hielo.	0,36VA+356,0	20
Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado lateralmente, con despachador de hielo.	0,36VA+406,0	20
Congelador vertical con deshielo manual.	0,27VA+258,3	20

(Continúa...)

(Concluye)

Congelador vertical con deshielo automático.	$0,44VA+326,1$	20
Congelador horizontal y todos los demás congeladores, excepto congelador compacto.	$0,35VA+143,7$	20
Refrigerador y refrigerador-congelador compacto con deshielo manual.	$0,38VA+299,0$	20
Refrigerador-congelador compacto con deshielo parcialmente automático.	$0,25VA+398,0$	20
Refrigerador-congelador compacto con deshielo automático y congelador montado en la parte superior y refrigerador solo compacto con deshielo automático.	$0,45VA+355,0$	20
Refrigerador-congelador compacto con deshielo automático y congelador montado lateralmente.	$0,27VA+501,0$	20
Refrigerador-congelador compacto con deshielo automático y congelador montado en la parte inferior.	$0,46VA+367,0$	20
Congelador vertical compacto con deshielo manual.	$0,35VA+250,8$	20
Congelador vertical compacto con deshielo automático.	$0,40VA+391,0$	20
Congelador horizontal compacto.	$0,37VA+152,0$	20

Dónde:

EMAX = Consumo de energía máximo por año, en kWh/año.

VA = Volumen Ajustado, en dm³.

Para la correcta aplicación de los límites de consumo de energía establecidos en la Tabla 3, es necesario realizar el cálculo del volumen ajustado del aparato electrodoméstico como se indica a continuación:

Volumen Ajustado: El volumen ajustado de un aparato debe ser tomado como:

$$\mathbf{VA = Va + (Vc \times FA)}$$

Dónde:

VA = Volumen Ajustado, en dm³

Va = Volumen del compartimiento de alimentos, determinado como se indica en el Apéndice Informativo 1 de la norma NOM-015-ENER-2002, en dm³ (véase 3 Referencias).

Vc = Volumen del compartimiento congelador en un refrigerador electrodoméstico, determinado como se indica en el Apéndice Informativo 1 de esta norma ó volumen de un congelador electrodoméstico, determinado como se indica en el Apéndice Informativo 2, de la misma norma en dm³

FA = Factor de Ajuste, determinado como se indica en esta norma.

Todos los refrigeradores y congeladores, deberán presentar una garantía mínima de cinco años, que cubra la reposición del mismo.

Apéndice 4.

- 5.2.2.10** Los acondicionadores de aire tipo cuarto deben contar con una eficiencia mayor, a lo especificado en la norma NOM-021-ENER/SCFI (véase 3 Referencias), especificado por su valor de la Relación de Eficiencia Energética (REE). Los aparatos sujetos al cumplimiento de esta norma mexicana, deben tener un valor de REE mayor o igual que los valores especificados en la siguiente Tabla 7 correspondiente a la clase del aparato.

Tabla 7. Valores de la relación de eficiencia energética

Clase	REE	
	Wt/We	BTU/h
1	3,12	10.7
2	3,12	10.7
3	3,16	10.8
4	3,12	10.7
5	2,74	9.4
6	2,90	9.9
7	2,90	9.9
8	2,74	9.4
9	2,74	9.4
10	2,74	9.4
11	2,90	9.9
12	2,74	9.4
13	2,74	9.9
14	2,57	9.4

Tabla 8. Nivel mínimo de Relación de Eficiencia Energética (REE)

Capacidad de Enfriamiento		REE	
Watts	BTU/h	Wt/We	BTU/Wh
Menor o igual a 19050	De 3 413 hasta 65001	3,52	12

Dónde:

We= Watt eléctrico

Wt= Watt térmico

Todos los acondicionadores de aire de tipo dividido deben presentar una garantía mínima de ocho años, que cubra la reposición del mismo.

Apéndice 5.

TABLA 9. Densidad máxima de potencia para iluminación por tipo de edificio

Tipo de Edificio	DPEA [W/m²]
Centro comercial	15
Oficinas	10
Restaurante-bar	11
Centro de convenciones	12
Museo	11
Clínica	9
Hospital	13
Teatro	15
Escuela, Universidad	11
Transporte (pasajeros)	8
Taller	13
Hotel	11
Motel	9
Cine	9
Cafetería, restaurante comida rápida	10
Centro deportivo	9
Restaurante familiar	10
Gimnasio	11
Servicio automotriz	9
Edificios religiosos	11
Almacén	7
Otros	11

TABLA 10. Densidad máxima de potencia para iluminación por tipo de espacio

Tipo de Edificio	Tipo de espacio	DPEA [W/m²]
Centro comercial, tienda de autoservicio	Probador	9
	Áreas comunes entre tiendas, pasillos	12
	Área de ventas	18
Oficinas	Área con actividad bancaria	14
Centro de convenciones	Zona audiencia (asientos)	9
	Espacio de exhibición	16
Museo	Exhibición general	11
	Restauración	11
Hospital	Pasillos, corredores, transición	10
	Urgencias	24
	Pruebas, tratamiento	18
	Lavandería	6
	Estancias, recreación	12
	Suministros médicos	14
	Sala de neonatos	9
	Estación de enfermeras	9
	Sala de operaciones	20
	Habitación del paciente	7
	Farmacia	12
	Fisioterapia	10
	Radiología e imagenología	14
	Recuperación	12
Transporte	Área de equipaje (estación de tren, aeropuerto, estación de autobuses)	8
	Áreas comunes. Aeropuerto	4
	Sala de espera	6
	Mostradores	12
Hotel	Comedor	9
	Habitaciones	12
	Lobby	11
Gimnasio	Área fitness	8
Edificios religiosos	Audiencia (asientos)	16
	Área coro	16
Almacén	Almacenamiento de material fino	10
	Almacenamiento de materiales medios y voluminosos	6

Espacios comunes en diferentes edificios	Tipo de edificio	DPEA [W/m²]
Audiencia (asientos)	Auditorio	9
	Teatro	26
	Cine	12
Salón de clases, sala de lectura	Todos	13
Salón de conferencias, sala de juntas, salón de usos múltiples	Todos	13
Pasillos, corredores	Todos excepto cuando se especifica por tipo de edificio	7
Área de comedor	Restaurante bar	14
	Restaurante familiar	10
Cocina	Todos	11
Laboratorio	Escuelas, universidades	14
	Edificios médicos	19
Lobby	Teatro	22
	Cine	6
Áreas de venta		18
Escaleras	Todos excepto cuando se especifica por tipo de edificio	7
Almacenaje		7
Talleres		17

Tabla 11. Densidad máxima de potencia de iluminación para vivienda

Espacio de la vivienda	DPEA (W/m²)
Sala	14
Comedor	14
Cocina	14
Recámara	13
Estudio	16
Pasillos	10
Escaleras	12
Patio interior	6
Alacena	12
Clóset	12
Estacionamientos cerrados	3
Áreas exteriores	1.8

Apéndice 6.

5.2.2.14 Los parámetros mínimos aceptables para el rendimiento energético de los edificios se establecen mediante la línea permitida para el consumo máximo de energía expresado en W/m^2 valores que deben ser considerados en el diseño, construcción y operación del edificio, modificación y ampliaciones, así como remodelaciones y reparaciones de edificios existentes, sin restringir las funciones de edificio el confort, ni la productividad de sus ocupantes y a partir de la cual se mide el desempeño.

Todo edificio debe mantener consumos de energía iguales o inferiores a los valores establecidos en la siguiente tabla, considerando para ello la clasificación de usos señalada en la tabla referida así como la regionalización del Apéndice Informativo 6, conforme a las definiciones establecidas y a los criterios que se añaden a continuación:

Por $kWh/m^2 \cdot \text{año}$ se entiende el consumo total de energía del edificio facturado en un año, medido en $(kWh \cdot \text{año})$ y dividido entre la superficie total edificada medida en metros cuadrados.

Cada uno de los valores indicados en la tabla está referido a las áreas del edificio destinadas a cada uno de los usos indicados, así como a cada una de las cuatro zonas climáticas indicadas en el Apéndice Informativo 6.

En el caso de utilizar la clasificación de zonas climáticas de la NMX-C-460-ONNCCE (véase 3 Referencias), se deberá establecer su comparabilidad.

TABLA 12. Consumo energético de referencia $kWh/m^2 \cdot \text{año}$

Uso del edificio	Zona bioclimática			
	Cálido seco	Cálido Húmedo	Cálido Subhúmedo	Templado
Hoteles	170	200	190	120
Oficinas	120	200	105	70
Escuelas	60	70	55	40
Hospitales	260	350	240	220
Restaurantes	325	350	225	240
Centros comerciales	190	265	250	155
Tiendas de autoservicio	200	290	280	170
Otros	190	265	225	155

NOTA 1: Tomado de: Estrategias regionales y sectoriales para lograr un desarrollo sustentable y de baja intensidad de carbono en México. CMM