Implementación de tecnologías ecológicas y tecnología BIM, en edificios de viviendas para la ciudad de Loja-Ecuador

EÍDOS Nº15.
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo,
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

[1]Arq. Oswaldo Patricio Prieto Jiménez

[1]Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador, oswaldo.prieto@ucuenca.edu.ec

Resumen:

La presente investigación se basa en un estudio realizado en la ciudad de Loja-Ecuador, y que implementó en su diseño arquitectónico, varios criterios de tecnologías ecológicas. También, se utilizó un programa de tecnología BIM (Building Information Modeling) llamado "Revit Architecture". Esto para realizar un modelo 3d del anteproyecto; y que luego permitió obtener un formato IFC (Industry Foundation Classes); formato que se añadió posterior a varios simuladores computarizados, que permitieron realizar varias pruebas hasta encontrar un diseño arquitectónico que cumpla con los parámetros de: confort térmico interno, buena iluminación, buena ventilación; y finalmente pronosticar la eficiencia energética del edificio durante toda su vida útil. Una vez obtenidos todos estos datos, se desarrolló el cálculo de la recolección y posterior reutilización de las aguas pluviales; así como de la utilización de paneles fotovoltaicos. Todo esto concluyó con un prototipo de vivienda en altura para la ciudad de Loja, que contiene criterios sustentables, bioclimáticos y tecnologías ecológicas; que están destinados a crear un edificio que disminuya la contaminación durante toda su vida útil. Además, con base en el estudio de temperatura realizado en el mes de marzo de 2015; se dio a conocer los materiales óptimos en climas templados, y que pueden ser utilizados en los diferentes proyectos de arquitectura sustentable; tanto en viviendas unifamiliares como en edificios en altura.

Palabras clave: Confort térmico, Simulaciones energéticas, BIM, Bioclimática.

Abstract:

The present research is based on a study carried out in the City of Loja-Ecuador, and that implemented in its architectural design, several criteria of ecological technologies. A BIM (Building Information Modeling) technology program called Revit Architecture was also used. This was to make a 3d model of the preliminary draft, and then it allowed to obtain an IFC (Industry Foundation Classes) format; a format that was added after several computerized simulators, which allowed to perform several tests until an architectural design was found that meets the parameters of: internal thermal comfort, good lighting, good ventilation; and finally forecast the energy efficiency of the building throughout its lifetime. Once all these data have been obtained, a calculation of the collection and subsequent reuse of rainwater was also developed, as was the use of photovoltaic panels. All this was concluded with a prototype high-rise housing for the city of Loja, which contains sustainable criteria, bioclimatic and ecological technologies; which are intended to create a building that reduces pollution throughout its useful life. In addition, based on the temperature study carried out in March 2015; the optimum materials are released in temperate climates, and can be used in the different projects of sustainable architecture; both in single-family homes and in high-rise buildings.

Keywords: Thermal comfort, Energy simulations, BIM, Bioclimatic.

Recepción: 20, 03, 2020 - Aceptación: 14, 05, 2020 - Publicado: 01, 06, 2020

I. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es responsable de una importante demanda de energía en el mundo entero, que da lugar a emisiones de gases de efecto invernadero y al agotamiento de los recursos no renovables (Quispe, 2015). Además, los edificios son responsables de alrededor del 40 % del consumo de energía final en la mayoría de países desarrollados. En Europa, solo los edificios residenciales representan el 27 % del consumo de energía mundial, registrando así un aporte negativo a la contaminación ambiental mundial (European Union, 2015).

La equivocada idea sobre la correlación entre; mayor crecimiento poblacional y mayor expansión territorial, ha traído consigo que se sature el territorio de cada urbe, llegando a crear con esto ciudades difusas, donde existe mayor cantidad de uso de suelo por habitante, y cuya demanda de servicios básicos va en ascenso a diario (IPCC, 2007). En Ecuador, se estima que para el año 2050, el 83.6 % de la población total se concentre en las ciudades, utilizando más recursos naturales, y posiblemente generando mayor cantidad de contaminación por los futuros edificios residenciales (Daza, 2010).

Con el afán de obtener cada día más construcciones amigables con el medio ambiente, se busca cada vez más el desarrollo sostenible de proyectos habitacionales; primando los de bajo consumo energético, pero manteniendo como premisa el confort y la habitabilidad. Para esto, se opta por diferentes sistemas o criterios en sus diseños arquitectónicos, que permitan evitar el derroche de recursos, pero logrando obtener una edificación que conserve su valor en el tiempo y garantice la calidad de vida de sus habitantes (Bustamante y Morales, 2015).

El presente trabajo aborda criterios de tecnologías ecológicas y diferentes herramientas computarizadas, que permiten planificar proyectos de arquitectura sustentable en edificios de viviendas para la ciudad de Loja; pero que pueden servir como referencia en el desarrollo de proyectos habitacionales en otros puntos geográficos del planeta. Esto con el afán de obtener cada día más proyectos que en su etapa de planificación busquen involucrar criterios sustentables en el diseño básico, y que estos a su vez ayuden al medio ambiente. Para esto es importante tener claro las problemáticas ambientales, tanto globales como locales que tiene nuestro entorno; para saber de qué manera el aporte de la arquitectura puede disminuir en un futuro estos problemas ambientales. Por tal motivo se busca establecer un equilibrio entre el medio ambiente y la edificación, creando diseños arquitectónicos que aprovechen los recursos naturales, y el adecuado uso de los diferentes materiales de la construcción; buscando así, evitar el consumo excesivo y la mala utilización de nuestros espacios urbanos, que puedan en un futuro aumentar más los problemas ambientales en nuestro planeta.

Tras el análisis anterior, se presentará una solución habitacional que buscará la optimización de recursos naturales, y diversificar los sistemas de construcción; obteniendo los más adecuados para ser implementados dentro del diseño básico. Para esto, se utilizará algunos simuladores computarizados, pero que contienen varios criterios bioclimáticos y ecológicos; esto buscando concluir con resultados con mayor veracidad y realidad del proyecto.

II. METODOLOGÍA

La metodología de análisis utilizada para realizar la presente investigación fue principalmente el desarrollo de un modelo 3d de tecnología BIM (Building Information Modeling), que contiene un formato IFC (Industry Foundation Classes). Este modelo 3d se lo diseñó para un solar de 627 m2, ubicado en Ecuador, al noreste de la ciudad de Loja, con coordenadas UTM/WGS84: Zona 17S, 699844.25 m E y 9560245.53 m S. Ciudad que se caracteriza por un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, con una temperatura promedio de 15°C, y siendo marzo uno de sus meses con los más bajos índices de temperatura de todo el año (Municipio de Loja, 2014). Esta investigación tomó como referencia algunos pasos realizados en el análisis de “El apartamento-estudio, de

Le Corbusier", investigación realizada por (Bruez, Gandine y Groux, 2019).

Investigación bibliográfica. Se analizaron las características microclimáticas del sector, su topografía, emplazamiento, orientación, las condicionantes y determinantes del predio; así como las Normativas Ecuatorianas de la Construcción (NEC, 2011) y Normativas de Construcción Local (PDOUL, 2008). Todos estos datos ayudaron a desarrollar el anteproyecto en modelo 3d del edificio.

Trabajo en campo. Se realizaron mediciones microclimáticas durante todo el mes de marzo de 2015; estos registros se ejecutaron en cuatro viviendas que se encuentran en un radio de 200 m alrededor del predio (figura 1). Para la elección de estas tipologías de viviendas se buscó, principalmente, que cada tipología elegida contenga en su envolvente un material diferente; esta decisión fue tomada para saber luego de la recopilación de todos los datos, que material tiene mayor y menor ganancia térmica. Este dato fue importante obtenerlo para conocer, que material era el más adecuado para incluirlo en el modelo 3d del anteproyecto.

El registro de estos datos microclimáticos internos se lo realizó tomando en consideración el tiempo de los usuarios de las diferentes viviendas; buscando no causar un malestar y que puedan brindar el acceso a sus domicilios. Es así que, se realizaron los registros de los datos durante tres veces al día y en diferentes horarios. Estos horarios fueron: de 9:00 am-10:00 am; de 15:00 pm-16:00 pm; y de 19:00 pm-20:00 pm.

Procesamiento de datos. En esta etapa, se desarrollaron dos modelos 3d mediante el *software* BIM de "Revit Architecture"; posterior a esto, se generó el formato IFC, que permitió realizar las diferentes simulaciones digitales a través de un *software* de iluminación llamado "Lighting Analysis for Revit Architecture"; un *software* de temperatura llamado "BuildingDesing", y un *software* de eficiencia energética llamado "Green Building Studio". Este proceso brindó la posibilidad de analizar y modificar el diseño del proyecto hasta obtener los resultados deseados; estos modelos permitieron revisar el comportamiento en factores como: vientos, iluminación externa, iluminación interna y la eficiencia energética de los espacios analizados. Todas estas simulaciones computarizadas se realizaron tomando en consideración su ubicación y orientación original, es decir su "norte real". Para esto se ingresó manualmente coordenadas georeferenciales del predio; así también, se incluyeron datos como propiedades térmicas de los materiales, altura del solar sobre el nivel del mar y finalmente los datos microclimáticos externos registrados durante todo el mes de marzo. "Todos estos datos se deben ingresar manualmente en los diferentes simuladores".

III. ANÁLISIS

Es importante indicar que para la realización de un edificio con características ecológicas hay que tener en cuenta las condicionantes microclimáticas existentes en cada lugar; pues no es lo mismo realizar una arquitectura sustentable en climas cálidos que en climas templados. Es por esta razón que se tomó datos de viviendas que se encuentran más cercanas al solar donde se va a desarrollar el proyecto; para así tener datos más exactos de la edificación que se piensa proponer.

Los datos microclimáticos que se presentan en esta investigación son un promedio de todos los datos obtenidos durante todo el mes de marzo de 2015 y de los registros de los datos obtenidos en los diferentes horarios.

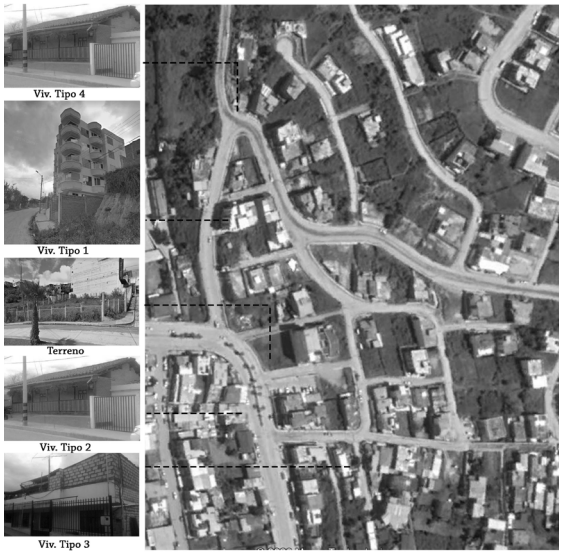

Figura 1. Ubicación espacial de las viviendas analizadas en Loja, Ecuador. Fuente: Elaboración propia

Características de la vivienda					
	n.° de pisos	Material de cubierta y entrepiso	Material de paredes	Material de piso	Altura de Suelo a techo
	1	Hormigón	Ladrillo común	Cerámica	3.50 m
	2	Hormigón	Ladrillo común	Cerámica	3.20 m
	3	Hormigón	Ladrillo común	Cerámica	3.20 m
	4	Hormigón	Ladrillo común	Cerámica	3.20 m
	5	Hormigón	Ladrillo común	Cerámica	3.20 m

Tabla 1. Características de la vivienda tipo 1
Fuente: Elaboración propia

Promedio de temperatura y humedad de edificio de ladrillo				
	Temperatura exterior °C	Temperatura interior °C	Humedad exterior %	Humedad interior %
Primer piso	15.28	15.83	62.95	60.18
Segundo piso		15.95		60.18
Tercer piso		16.12		59.24
Cuarto piso		16.20		59.24
Quinto piso		16.35		59.41

Tabla 2. Promedio de temperatura y humedad de edificio de ladrillo. Fuente: Elaboración propia

Características de la vivienda					
	n.° de pisos	Material de cubierta	Material de paredes	Material de piso	Altura de Suelo a techo
	1	Teja	Tapial	Madera	4.50 m

Tabla 3. Características de la vivienda tipo 2
Fuente: Elaboración propia

Promedio de temperatura y humedad de vivienda de tapial				
	Temperatura exterior °C	Temperatura interior °C	Humedad exterior %	Humedad interior %
Primer piso	15.28	18.16	62.95	48.54

Tabla 4. Promedio de temperatura y humedad de vivienda de tapial. Fuente: Elaboración propia

Características de la vivienda					
	n.° de pisos	Material de cubierta	Material de paredes	Material de piso	Altura de Suelo a techo
	1	Hormigón	Bloque	Cerámica	2.80 m

Tabla 5. Características de la vivienda tipo 3
Fuente: Elaboración propia

Análisis de temperatura Vivienda n.° 1. El primer análisis se lo realizó sobre un edificio de 5 niveles; que está conformado en su mampostería exterior por ladrillo común (0.27 cm x 0.12 cm x 0.08 cm), más un revestimiento de arena y cemento de 0.025 cm; y un empastado externo e interno; además el revestimiento de pisos es de cerámica antideslizante y piso flotante; y su estructura está conformada por columnas, vigas y losas de hormigón armado (tabla 1). Todos estos materiales permitieron tener los siguientes resultados (tabla 2).

Análisis de temperatura Vivienda n.°2. La segunda vivienda analizada se encuentra compuesta por mampostería externa elaborada con tapial, siendo un material tradicional de la arquitectura lojana, con un espesor de pared de 0.60 cm, el revestimiento de piso son tablones de madera, con techo de teja de arcilla y estructura compuesta entre columnas y vigas de madera (tabla 3 y tabla 4).

Análisis de temperatura Vivienda n.°3. El tercer análisis se lo realizó en una vivienda en proceso de construcción cuya mampostería está compuesta por bloques de hormigón (0.40 cm x 0.20 cm x 0.10 cm), con empastado externo de 0.02 cm y piso de cemento (tabla 5 y tabla 6).

Análisis de temperatura Vivienda n.°4. El cuarto análisis se lo desarrolló en una vivienda de un nivel, compuesta de paredes de madera, pisos de tablones de pino, techo de zinc y estructura metálica (tabla 7 y tabla 8).

Conclusiones de estudio de temperatura. El promedio global de temperatura externa obtenido en todo el mes de marzo de 2015 fue de 15.28 °C, considerando este dato como un clima

Promedio de temperatura y humedad de vivienda de bloque				
	Temperatura exterior °C	Temperatura interior °C	Humedad exterior %	Humedad interior %
Primer piso	15.28	16.40	62.95	60.06

Tabla 6 . Promedio de temperatura y humedad de vivienda de bloque. Fuente: Elaboración propia

ecuatorial mesotérmico; conjuntamente se realizó el cálculo y análisis general de la temperatura interna y humedad en las 4 viviendas, arrojando los siguientes resultados:

Del estudio realizado en la vivienda n.o1, las ganancias de temperatura no fueron significativas, por los materiales utilizados en su construcción. Siendo el ladrillo el material predominante en su envolvente, y este al ser un material poroso no ayudó a la ganancia térmica. Adicionalmente, esta edificación está constituida con un revestimiento de cemento exterior e interior de 0.025 cm de espesor; además de un empastado externo e interno; estos elementos ayudaron a que el clima externo ingresara fácilmente, y evitaron que los niveles de temperatura sean adecuados dentro del edificio, asimismo la edificación se encuentra ubicada de tal manera que recepta directamente los vientos predominantes provenientes del norte de la provincia de Zamora Chinchipe, siendo afectados los últimos niveles y, por consiguiente, disminuyendo la temperatura interna conforme aumentaban los niveles en altura.

En los datos recopilados en la casa de tapial, la variación de temperatura es considerable; aumentando en 3 °C su temperatura interior y llegando a 18.16 °C esto se debe al espesor de la mampostería utilizado en esta vivienda, ya que al ser el tapial de 0.60 cm de espesor, el clima externo no ingresa fácilmente, guardando el clima interno de la vivienda y evitando la progresiva pérdida del mismo.

El análisis realizado en la casa elaborada de bloque de hormigón permitió evidenciar el aumento de solo 1 °C en su interior; debido a la porosidad del material, por lo tanto, el clima externo ingresa fácilmente al interior, perjudicando en la ganancia térmica interna.

En los datos recopilados en la casa fabricada de madera, se tuvo una ganancia térmica de 2 °C a diferencia del clima externo, llegando a 17,58 °C. Esta temperatura se podría considerar como adecuada ya que se aproxima a los índices de confort en la región que oscilan entre los 18 °C a 22 °C.

Luego de realizar el análisis de todas las viviendas elaboradas con diferentes materiales, se pudo concluir de manera general en lo siguiente: la casa de tapial es la mejor opción como un material térmico en climas templados, ya que el aumento en la temperatura fue de 3 °C y la humedad baja, por lo tanto el tapial como la madera se podrían considerar como buenos materiales para una vivienda bioclimática; a diferencia de las viviendas construidas con ladrillo o bloque de hormigón los cuales tienen un bajo nivel de ganancia térmica, aumentando solo en 1 °C la temperatura en su interior (figura 2).

Características de la vivienda

n.° de pisos	Material de cubierta	Material de paredes	Material de piso	Altura de Suelo a techo
1	Zinc	Madera	Tablones de pino	2.50 m

Tabla 7. Características de la vivienda tipo 4
Fuente: Elaboración propia

Promedio de temperatura y humedad de vivienda de madera

	Temperatura exterior °C	Temperatura interior °C	Humedad exterior %	Humedad interior %
Primer piso	15.28	17.58	62.95	53.88

Tabla 8. Promedio de temperatura y humedad de vivienda de madera. Fuente: Elaboración propia

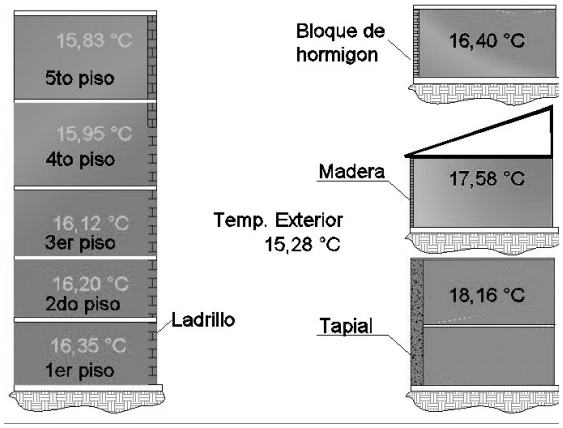

Figura 2. Esquema gráfico de la diferencia de temperatura en las viviendas analizadas. Fuente: Elaboración propia

	Nivel	Área	Materialidad en la envolvente	Material de piso
Planta garaje	-2.85	526 m²	- Muro de hormigón de contención de 0.40 cm - Ladrillo común (Panelón)	Hormigón *in situ*
Planta baja	+0.10	282 m²	- Vidrios tipo muro cortina de 3 mm de espesor - Ladrillo común (Panelón)	Cerámica antideslizante
Planta alta 1	+3.00	309 m²	- Ladrillo común (Panelón)	- Cerámica antideslizante - Piso flotante
Planta alta 2	+6.00	331 m²	- Ladrillo común (Panelón)	- Cerámica antideslizante - Piso flotante
Planta alta 3	+9.00	331 m²	- Ladrillo común (Panelón)	- Cerámica antideslizante - Piso flotante
Planta alta 4	+12.00	331 m²	- Ladrillo común (Panelón)	- Cerámica antideslizante - Piso flotante
Planta Cubierta	+15.00	--------	- Ladrillo común (Panelón)- hasta 0.90 m de altura	Hormigón *in situ*
Área total de construcción				2.110 m²
Área del predio				627 m²
Altura sobre el nivel del mar				2.060 msnm
Orientación noreste con ángulo del norte real				8 ° 23´02`
Coordenadas georreferénciales del solar				UTM/WGS84: Zona 17S, 699844.25 m E y 9560245.53 m S

Tabla 9. Características del edificio
Fuente: Elaboración propia

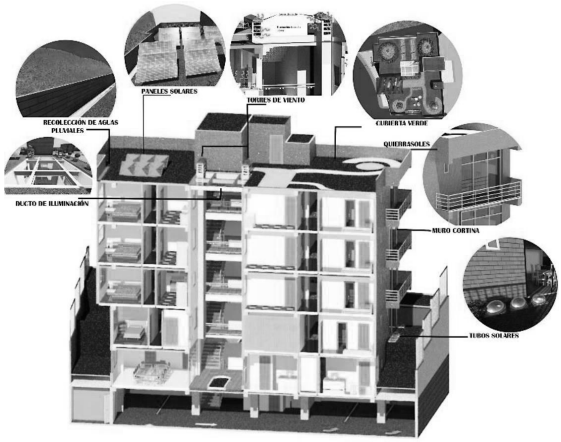

Figura 3. Implementación de tecnologías ecológicas y criterios sustentables dentro del edificio de viviendas. Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Edificio sustentable para la ciudad de Loja-Ecuador. Fuente: Elaboración propia

IV. TECNOLOGÍAS ECOLÓGICAS Y CRITERIOS DE DISEÑO SUSTENTABLE

Las tecnologías ecológicas son tecnologías que protegen al medio ambiente son menos contaminantes, utilizan todos los recursos en forma más sostenible, reciclan una mayor proporción de sus desechos y productos y tratan los desechos residuales en forma más aceptable que las tecnologías convencionales.

Algunas tecnologías ecológicas que mantienen el desarrollo sostenible son: el reciclaje, la purificación del agua, el tratamiento de aguas residuales, las mejoras ambientales, el tratamiento de gases, el manejo de desechos sólidos y de energía renovable. Algunas tecnologías ayudan directamente a la conservación de energía, mientras que otras ayudan al ambiente, reduciendo así la cantidad de desechos producidos por actividades humanas, que están emergiendo. Las fuentes de energía tales como la energía solar crean menos problemas para el ambiente que las fuentes tradicionales, tales como carbón y petróleo (Carulla, 2003).

Entre las diferentes tecnologías ecológicas eficientes tenemos:

- Paneles fotovoltaicos
- Aero generadores
- Calentadores solares
- Tubos solares
- Recolección y posterior reutilización de aguas pluviales

En la presente investigación se ha realizado un anteproyecto de vivienda en altura, cumpliendo tantos la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), así como las Normativas de la Construcción local (PDOUL, 2008). Con esta se desarrolló un edificio con las siguientes características (tabla 9); además, se implementó en el diseño criterios de tecnologías ecológicas y criterios sustentables (figura 3 y figura 4).

Ducto de iluminación. Se pensó en la utilización de un ducto de iluminación natural que iría ubicado en el centro de la edificación, el cual tendría como función principal garantizar la iluminación natural

a todas las zonas internas del edificio (figura 5).

Material. En lo que respecta al material utilizado en la envolvente, se utilizó en el proyecto el ladrillo panelón (0.27 cm x 0.12 cm x 0.08 cm), más una lámina de poliestireno expandido de 0.05 cm, que funciona como un aislante térmico, incluido a esto se propone ubicar otro muro de ladrillo común ubicado de tipo filete (figura 5).

Recolección de aguas pluviales. Se incluiría un sistema de recogida y reutilización de aguas pluviales mediante drenajes ubicados en la cubierta y en las terrazas de cada departamento, estas se conducirían hacia una cisterna de almacenamiento de aguas lluvias que sería ubicado paralelo a la cisterna de agua potable; pudiendo ser reutilizadas para riego y para los aparatos sanitarios del edificio (figura 6).

Cubierta verde. Se implementó una cubierta ajardinada en la última planta, la cual funciona receptando y absorbiendo toda la radiación producida en el día para ser utilizada en la noche sobre el último nivel. También funcionará como un material de confort térmico para el edificio y así poder aumentar la vida útil de la edificación (figura 6).

Muro cortina. Se utilizaron muros cortina en cada una de las fachadas; pensado para que exista una ganancia térmica y además garantice la iluminación adecuada a cada una de las zonas principales del edificio (figura 6).

Lamas de madera movibles. El diseño del edificio va enfocado a la utilización de lamas que pueden ser movidas manualmente, como electrónicamente; esto se ubica en lugares donde el soleamiento involucre zonas que no necesiten de una gran intensidad solar (figura 7).

Paneles solares. Con respecto a la producción de energía eléctrica se realizó una combinación del sistema pasivo, contando con la red eléctrica de la ciudad y el sistema activo mediante la utilización de paneles fotovoltaicos (figura 8).

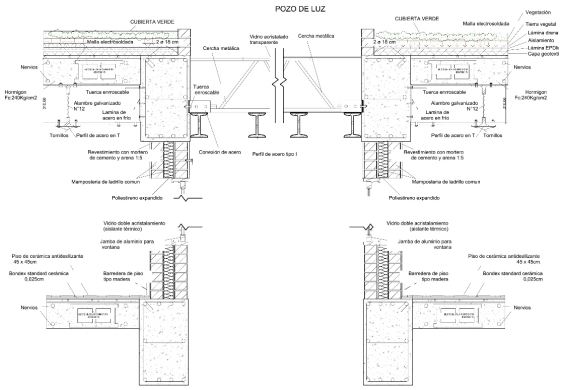

Figura 5. Detalle constructivo del ducto de iluminación y material térmico. Fuente: Elaboración propia.

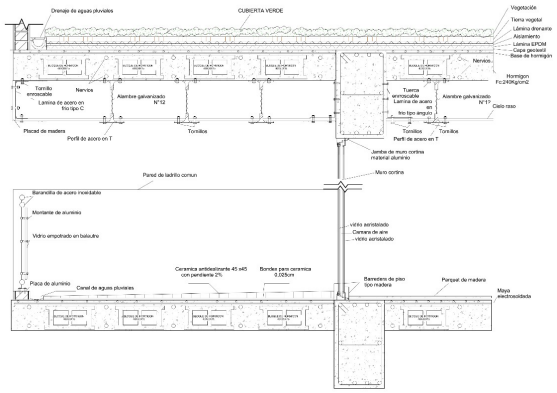

Figura 6. Detalle constructivo del muro cortina, cubierta verde y recolección de aguas pluviales. Fuente: Elaboración propia.

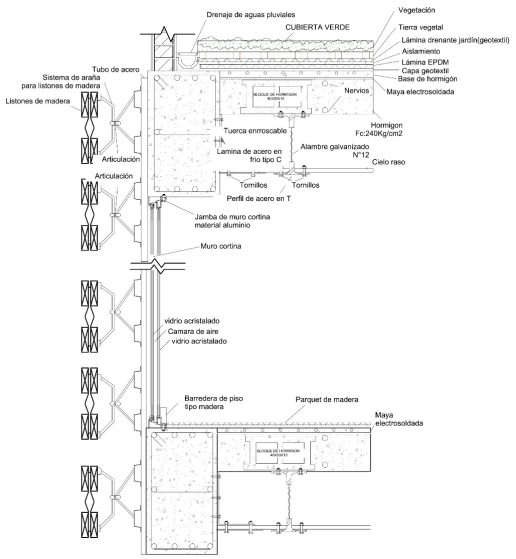

Figura 7. Detalle constructivo de lamas de madera movibles. Fuente: Elaboración propia

Torres de viento. Se utilizaron ductos independientes que se encuentran conectados con cada una de las cocinas del edificio, estos elementos servirán para evacuar los olores producidos por las cocinas, y que serán conducidos hacia una torre de viento que permitirá que dichos olores salgan del edificio y no se puedan concentrar en el interior (figura 9).

Tubos solares. Es un sistema que se utiliza para garantizar la iluminación sobre aquellas zonas del edificio donde el acceso con ventanas sea difícil; por lo que estos artefactos funcionan para iluminar zonas naturalmente con la utilización de la reflexión solar (figura 9).

Materiales y elementos de detalle. Tomando en consideración el análisis realizado en las viviendas con los diferentes materiales, se obtuvo que

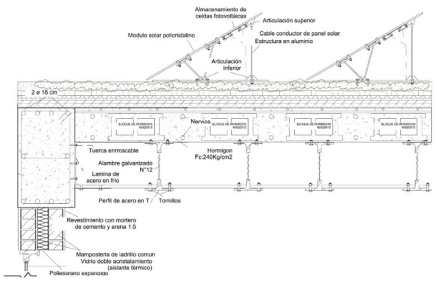

Figura 8. Detalle constructivo de paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia

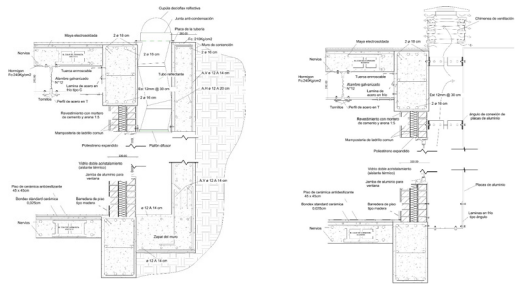

Figura 9. Detalle constructivo de tubos solares y torres de viento. Fuente: Elaboración propia

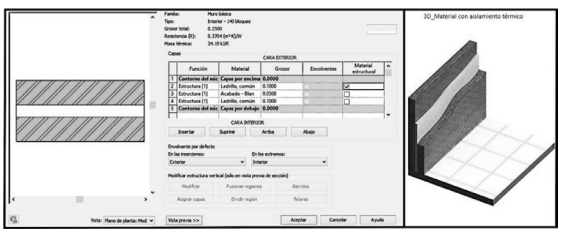

Figura 10. Propiedades térmicas de la mampostería utilizada en la edificación. Fuente: Elaboración propia

el tapial era el material más óptimo al momento de pensar en una arquitectura sustentable, ya que nos permite tener una importante ganancia térmica en climas templados y, al mismo tiempo, funciona como un aislante térmico en climas cálidos; por lo tanto, evita la utilización de artefactos de calefacción y de enfriamiento.

Cabe señalar que este material puede ser factible en viviendas de uno o dos niveles, porque no necesita soportar en gran medida, las diferentes fuerzas que actúan en una construcción (fuerza de tracción, compresión, gravitatoria, y cortante). Pero al momento de hablar de un edificio hay que tener en cuenta que el material que se va a utilizar, sobre todo, en la mampostería, debe tener las propiedades físicas necesarias para resistir todas las fuerzas mencionadas anteriormente, debido a que la suma de niveles, trae consigo el aumento de peso en el edificio. Por lo tanto, se optó por un material accesible y el cual cumpla con los requerimientos físicos, como lo es el ladrillo común, el cual se le brindó un tratamiento especial con una plancha de poliestireno expandido de 0.05 cm, más una nueva capa de mampostería de ladrillo; siendo necesario evitar la utilización de un revestimiento exterior y empastado externo e interno (figura 9).

También se ubicó algunos elementos en la fachada frontal como lo son: lamas de madera, planchas de aluminio, muros cortina, puertas de madera y marcos de ventanas de aluminio (figura 10); siendo necesaria la utilización de varillas de poliamida entre la capa interna y externa del aluminio para romper el puente térmico; esto debido a que el aluminio es considerado como un alto conductor de temperatura, pudiendo el clima exterior ingresar fácilmente; por lo tanto se debe romper la conducción que tiene el material, siendo necesario la utilización de las varillas antes mencionadas.

V. RESULTADOS DE SIMULACIONES COMPUTARIZADAS

Una vez realizados los modelos 3d del anteproyecto en el programa “Revit Architecture”, se obtuvo un archivo “IFC (Industry Foundation Classes)”. Este

ISSN:1390-5007

archivo contiene datos generales del proyecto que fueron intercambiados entre diferentes aplicaciones de *software*. Este archivo contiene datos físicos y térmicos de los materiales, ubicación del proyecto, y además guarda en su información todos los criterios bioclimáticos y sustentables ubicados en el diseño básico. Estos modelos tuvieron varias modificaciones en sus elementos, que fueron incluidas y algunas excluidas durante todo el proceso; todo esto hasta conseguir un modelo que cumpliera con todos los objetivos planteados en esta investigación.

Simulación de iluminación. En el estudio de iluminación se generaron ductos para la zona de servicio que se encuentra en la planta baja, también se evitó ubicar cualquier elemento que obstaculice el ingreso de la iluminación a las zonas húmedas de los departamentos, además de ubicar en las fachadas muros cortinas, los mismos que sirven para receptar desde cualquier fachada la radiación solar, así se pudo concluir con un diseño que asegurará una buena iluminación natural a todas las zonas del edificio (figura 11).

Simulación de temperatura. Los resultados de la evaluación evidencian un buen comportamiento térmico para el proyecto, emplazado en un sitio de predominante clima templado. Esto conseguido gracias a la utilización de un material térmico en las paredes exteriores del edificio, además de los muros cortina que ayudaron a receptar de una mejor manera la radiación solar; debido a que todos estos factores aportaron a aumentar el grado de confort interno hasta en 4.20°C a diferencia del exterior.

La variación en la temperatura entre un piso y otro no resultó significativa, a diferencia de la planta de garaje en la cual se obtuvo una temperatura interna de 16.52 °C, debido a que es un nivel que se encuentra por debajo del nivel +- 0.00 m, por lo que la luz solar no incide en la ganancia térmica; siendo el suelo la única forma en que el interior tenga cierta ganancia térmica. En el piso superior la temperatura tiende a bajar, debido a la utilización de una cubierta vegetal que funciona como un retardante térmico en el día y lo libera en la noche (figura 12).

Figura 11. Elementos externos y componentes en fachada frontal del edificio. Fuente: Elaboración propia

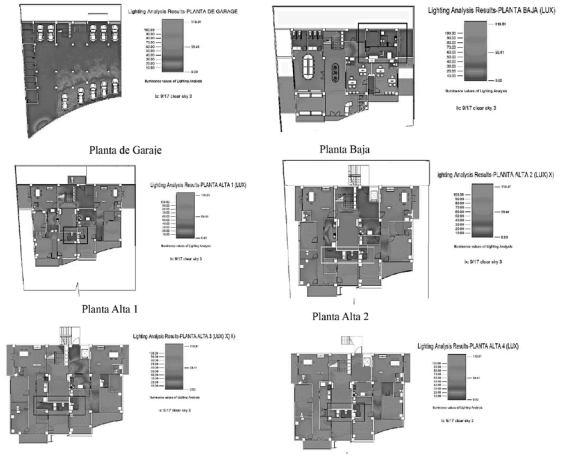

Figura 12. Simulación computarizada de iluminación del edificio propuesto para Loja, Ecuador. Fuente: “Lighting analysis extension for Autodesk Revit”

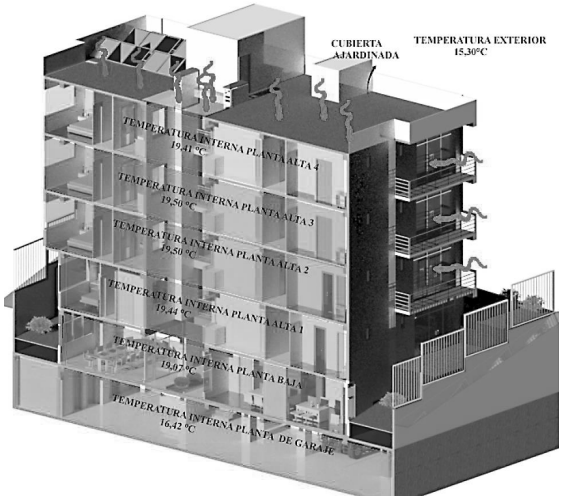

Figura 11. Elementos externos y componentes en fachada frontal del edificio. Fuente: Elaboración propia

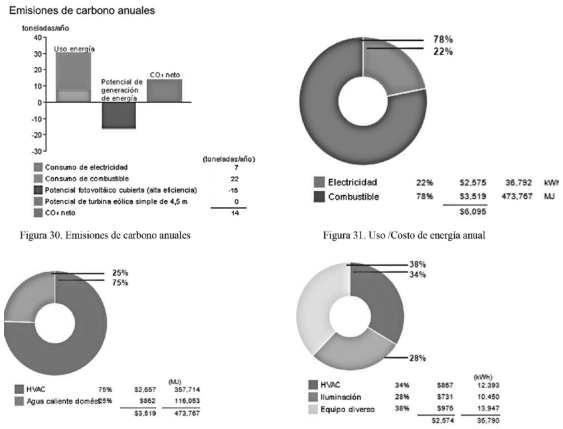

Figura 30. Emisiones de carbono anuales

Figura 31. Uso /Costo de energía anual

Figura 14. Análisis energético del edificio propuesto para Loja, Ecuador. Fuente: Green Building studio

Recolección de aguas pluviales			
Nivel	**Zona**	**Tipo de piso**	**m²**
Planta baja	Contorno de la planta	Adoquín peatonal	300 m²
Planta alta 1, 2, 3 y 4	Terrazas	Cerámica	138 m²
Planta de cubierta	Toda la cubierta	Vegetal	306 m²
Total			744 m²

Tabla 10. Área de recolección de aguas pluviales y tipo de material del piso. Fuente: Elaboración propia

Ahorro de aguas pluviales y ahorro económico anual					
(Litros de recolección x m2)	**m² de recolección**	**Litros**	**m3**	**Costo m³ en Loja**	**Ahorro Económico anual (USD)**
956	300	286 800	286.8	USD 0.42	120.46
	138	131 928	131.9		55.40
	306 (-50% cubierta vegetal)	146 268	146.3		61.45
Total		**546 996**	**565**		**237.31**

Tabla 11.Ahorro de aguas pluviales y ahorro económico anua. Fuente: Elaboración propia

Oficina 1			
	n.° de descargas diarias	**Litros por descarga**	**Total de descarga diarias (litros)**
1 persona	3	6	18
1 persona	3	6	18
Total			36

Tabla 12. Reutilización de aguas pluviales en la oficina 1 del edificio. Fuente: Elaboración propia

Análisis energético. Se realizó un estudio energético del proyecto mediante un *software* de Autodesk llamado "Green Building studio", este nos ayudó a simular el comportamiento que tendrá el edificio durante una vida útil de 30 años; tomando en cuenta factores como la electricidad, CO2 que emitirá, la utilización de instrumentos de calefacción o de refrigeración (figura 13).

VI. CÁLCULO DE AGUAS PLUVIALES, REUTILIZACIÓN Y AHORRO ECONÓMICO

Cálculo de recolección de aguas pluviales. Para el cálculo de la recolección de aguas pluviales se debe analizar el área de recolección y el material del piso; siendo diferente la recolección en un piso de cerámica, que en un piso de hormigón, o en un piso con cubierta vegetal, disminuyendo la recolección de aguas lluvias hasta en un 50 %, debido a las diferentes capas que contiene una cubierta vegetal.

A continuación se calcula el área a recolectar y se identifica el tipo de piso existente en cada nivel (tabla 9); además de calcular el ahorro en m2 de aguas lluvias y el ahorro económico anual (tabla 10).

- Precipitación pluvial anual en la ciudad de Loja = 956 mm (según el PDOT de Loja 2014)
- Costo por metro cúbico de agua en la ciudad de Loja = USD 0.42 / m3

Reutilización de las aguas pluviales en inodoros. Este cálculo se lo realiza tomando en cuenta el consumo total diario (tomando como consideración que todos los aparatos están funcionando al mismo tiempo) Para este cálculo se toman

Oficina 2			
	n.° de descargas diarias	**Litros por descarga**	**Total de descarga diarias (litros)**
1 persona	3	6	18
1 persona	3	6	18
Total			36

Tabla 13. Reutilización de aguas pluviales en la oficina 1 del edificio. Fuente: Elaboración propia

ISSN:1390-5007

como referencia los criterios obtenidos en (Pérez, 2012). Se debe considerar que las aguas pluviales recolectadas y reutilizadas, únicamente serán destinadas a los inodoros del edificio (tabla 11, 12, 13 y 14).

Consumo total = 902 litros

- Consumo mensual = 902 x 30 días = 27 060 litros
- Consumo anual = 28140 litros x 12 meses = 324 720 litros

Total de ahorro anual en m2 = 324,72 m3
Ahorro económico = USD 0.42/m3 x 324.72 m3
Ahorro económico = USD 136.38 anuales

Para este caso en particular se realizó la investigación del valor por m 3 de agua potable en el cantón Loja, datos que pueden variar tomando en consideración las diferentes fórmulas que tienen los diferentes Gobiernos Autónomos Descentralizados del Ecuador, para cobrar el m3 de agua potable.

VII. CÁLCULO DE AHORRO ECONÓMICO EN UN SISTEMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS

El sistema de paneles fotovoltaicos se implementará para el funcionamiento de las zonas comunales del edificio y del departamento del conserje (tabla 15 y 16).

El sistema de paneles fotovoltaicos consiste en: Panel fotovoltaico con una capacidad de producción de 1000 W/m2 y con una temperatura de 25 °C, regulador de carga, convertidor de corriente, y baterías. El costo de un sistema con características fotovoltaicas de 6 paneles solares de 120 W, 12 vasos de baterías de 560 Amp, 1 inversor de 1500 W y un regulador de 24 V/ 25 Amp es de USD 5000, contando con una producción de hasta 3600 W77 (Merino, 2015).

- Costo de kilowatt/hora en la ciudad de Loja = USD 0.14
- Costo de sistema fotovoltaico de 6 paneles para la elaboración de hasta 3600 W = USD 5000

Consumo total = 1301 W
- P (kW) = 1301 W / 1000 = 1.30 kW
- Ahorro económico diario = 1.30 kW x USD 0.14= USD 0.182
- Ahorro económico mensual= USD 0.14 x 30 días = USD 4.2
- Ahorro económico anual= USD 12.18 x 12 meses= USD 50.40

Ahorro económico anual total: USD 50.40

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es importante la utilización de *softwear* de simulación que nos permitan tener una idea real y precisa de lo que ocurrirá en cada proyecto durante toda su vida útil.

El empleo de energías renovables como paneles fotovoltaicos pueden ser empleados para ahorrar energía en una vivienda; pero al momento de pensar

Zona comunal del edificio			
	n.° de descargas diarias	Litros por descarga	Total de descarga diarias (litros)
2 inodoros	3	6	36
1 urinario	3	6	18
2 piletas decorativas			200

Tabla 14. Reutilización de aguas pluviales en la zona comunal. Fuente: Elaboración propia

Departamento tipo			
	n.° de descargas diarias	Litros por descarga	Total de descarga diarias (litros)
Papá	3	6	18
Mamá	3	6	18
Hijo	3	6	18
Hija	3	6	18
Total			72
Total 8 Departamentos			576

Tabla 15 Reutilización de aguas pluviales en los departamentos tipo. Fuente: Elaboración propia

Consumo eléctrico en las zonas comunales				
Aparatos	**Zona**	**Cantidad**	**Watts**	**Total Watts**
Focos halógenos/ LED	Fachada cerramiento	13	9 W	117 W
Focos estándar/LED	Planta de garaje	10	12 W	120 W
	Planta baja	21	12 W	252 W
	Planta alta 1	3	12 W	36 W
	Planta alta 2	3	12 W	36 W
	Planta alta 3	3	12 W	36 W
	Planta alta 4	3	12 W	36 W
	Planta alta 5	4	12 W	48 W
Extractor de olores	Planta Baja (Baños)	2	130 W	260 W
Bomba presurizada	Planta baja	2	120 W	240 W
Ascensor	Para (8) personas	1	120 W	120 W
Total watts				1301 W

Tabla 16. Consumo eléctrico en zonas comunales del edificio. Fuente: Elaboración propia

en este sistema para edificaciones se lo debe acoplar al sistema de la red pública, debido al alto costo que representaría la adaptación de paneles fotovoltaicos para toda la demanda del edificio, necesitando además mayor espacio para su ubicación; razón por la cual en el proyecto ha sido destinado para ciertas zonas del edificio.

Recolectar aguas pluviales se presenta como una alternativa viable en la ciudad de Loja debido a su buena precipitación pluvial, recomendando el uso de elementos en las viviendas que nos permitan la recolección de estas aguas y su posterior reutilización.

El tapial al igual que la madera, funcionan como materiales de construcción con alto aislamiento térmico; pero sus propiedades físicas no permiten que sean utilizados en edificaciones, pero si para viviendas unifamiliares.

Es primordial que, tanto las instituciones públicas, mediante los diferentes GAD muincipales, como las empresas privadas, enfocadas al campo de la construcción, presenten ideas tomando en cuenta conceptos sustentables, para que de esta forma exista una mayor creación de proyectos saludables; y en un futuro convertirnos en un país referente en lo que respecta a la realización de proyectos con tecnologías amigables con el medio ambiente.

Se debería pensar en el desarrollo de politicas públicas en las ordenanzas municipales de contrucción de los diferentes GAD municipales; la implementación en los diseños arquitectónicos, de la recoleción y reutilización de las aguas pluviales; puesto que es un recurso que puede ser aprovechado, tomando en cosideración la alta precipitación pluvial que tiene la mayoría de provincias del Ecuador, evitando así que todas estas aguas pluviales vayan a parar a los ríos y así puedan ser aprovechados en los aparatos sanitarios de las diferentes viviendas.

IX. Referencias

Bruez, M., Gandine, B., y Groux, D. (2019). Le corbusier Apartment-studio: 3D Model Data of Preliminary research for the restoration. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W11, 285-291.

Bustamante, M., y Morales, Á. (2015). *Los créditos documentarios: en el comercio internacional.* México: Trillas.

Carulla, C. P. (2003). *Arquitectura y medio ambiente*. Barcelona, España: UPC.

Daza, P. (febrero de 2010). Construcción sostenible de edificios: Una alternativa responsable para el desarrollo urbano de quito. Quito, Ecuador.

European Union. (20 de febrero de 2015). *EU energy in figures*. Obtenido de http://doi.org/10.2833/77358

IPCC. (2007). *Cambio climático : Informe de síntesis*, 12-15. Ginebra, Suiza.: Baconnière (La).

Merino, V. (25 de julio de 2015). *Tecnologías ecológicas para viviendas en la parroquia de Vilcabamba en la ciudad de Loja.* Obtenido de dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/732/3/Vaca%20Merino%20Lore na.pdf

Municipio de Loja. (2014). *Plan de Desarollo y Ordenamiento territorial de Loja. Loja,* Loja, Ecuador: Municipio de Loja.

NEC. (2011). CAPÍTULO 13. *Eficiencia energética en la cnstrucción en Ecuador.* Quito, Ecuador: MIDUVI Y Camara de la construccion de Quito.

PDOUL. (2008). *Ordenanza municipal de urbanismo, construcciones y ornato del cantón Loja. Loja:* Municipio de Loja .

Perez, C. (2012). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones.* Bogota: Coinascotplo.

Quispe, C. (Septiembre de 2015). Análisis de la Energía Incorporada y Emisiones de CO2, Aplicado a Viviendas Unifamiliares de Eficiencia Energética. Barcelona, España.