

## Edificaciones Sustentables: Caso Ecuador

Alexandra Alvear Calle<sup>a</sup>, Paulo Peña Toro<sup>b</sup>, Jerko Labus<sup>a1</sup>

<sup>a</sup> Instituto Ecuatoriano de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Av. 6 de Diciembre N33-32 e Ignacio Bossano, Quito, Ecuador  
[alexandra.alvearc@gmail.com](mailto:alexandra.alvearc@gmail.com), [jerko.labus@iner.gob.ec](mailto:jerko.labus@iner.gob.ec)

<sup>b</sup> Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO), Av. Eloy Alfaro y Amazonas, Quito, Ecuador  
[paulo.pena@mipro.gob.ec](mailto:paulo.pena@mipro.gob.ec)

**Resumen.** Las medidas de eficiencia energética en el sector de la construcción, actúan como principales agentes estratégicos en la lucha contra la intensificación energética y la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI). Dentro de este contexto, las Edificaciones de Energía Cero (EEC) son una solución realista para fomentar el desarrollo sustentable de un país. El impacto producido por la toma temprana de decisiones, durante la fase de diseño, influye en la confiabilidad del diseño de EEC. El presente estudio presenta un marco de planificación para EEC, aplicado en el diseño de un edificio prototipo en Ecuador. La metodología detallada, pretende combinar óptimamente estrategias de diseño pasivas y activas, conjuntamente con simulaciones energéticas. Un estudio de mercado, ha sido desarrollado con el objetivo de identificar las mejores prácticas internacionales en materia de eficiencia energética. Tomando en consideración factores significativos que afectan el consumo energético en las edificaciones, se presenta una aplicación práctica de la metodología, utilizando como caso de estudio el nuevo edificio prototipo del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER).

**Palabras Clave:** eficiencia energética, EEC, diseño, estrategias, simulación.

### 1 Introducción

En los años setenta, economías industrializadas fueron fuertemente afectadas por el embargo de petróleo, provocando la primera crisis energética a nivel mundial. La mayoría de países respondieron con diferentes iniciativas, con el objetivo de disminuir la dependencia a combustibles fósiles [1]. Además de la crisis energética, la preocupación paulatina ante el efecto de cambio climático alentó una serie de metas para reducir las emisiones antropogénicas de GEI. A nivel mundial, el sector de la construcción es responsable del 40% del consumo de energía primaria y la producción de carbono [2]; en el Ecuador, esta cifra corresponde al 32% de la matriz energética [3].

Los primeros escenarios de certificación energética en edificaciones comienzan al inicio de los años noventa, como metodología esencial para el perfeccionamiento de eficiencia energética; sin embargo su implementación inicial fue difusa, creando confusión en el mercado accionista [4]. Fuertes reducciones en términos de intensificación energética se dieron en el año 2009 en la mayoría de países de la

Unión Europea, debido a la implementación de medidas de eficiencia energética en el código de la construcción [1]. Un país que utiliza menos energía para conseguir los mismos o mejores resultados reduce costos y contaminación. Al mismo tiempo fortalece la economía del país, haciéndola más competitiva [5]. Desde un punto de vista analítico, el progreso de eficiencia energética en la construcción depende de la concienciación del mismo sector y su deseo de involucrarse directamente en su desarrollo [2].

EEC, definidas así por su bajo consumo de energía sin utilización de fuentes fósiles, son una solución realista a la reducción de uso energético y a la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub> dentro del sector de la construcción [6]. Su objetivo principal es implementar medidas de construcción sostenibles de una manera rentable. Una manera para reducir la demanda de energía y la dependencia a combustibles fósiles. Sin embargo, una de las barreras más considerables dentro del mercado es la resistencia de los consumidores en elevar los costos por inversión [7]. En la literatura científica, las primeras publicaciones acerca de EEC aparecieron en la década de los años setenta [6]. Según Torcelini et al. [8] la conceptualización de EEC puede ser determinada de acuerdo a diferentes criterios como: objetivos del proyecto, cambio climático, emisiones de GEI, costo de energía, e intenciones de los inversores

La investigación presentada en este artículo busca la viabilidad de introducir conceptos de eficiencia energética en edificios ecuatorianos convencionales, a través de la implementación de una metodología de EEC en la fase inicial del diseño de la edificación. El objetivo principal se centra en el diseño y planificación de la construcción de un edificio prototipo de consumo energético cero. De esta manera, los resultados de esta investigación pueden orientar las mejores prácticas en eficiencia energética en edificios convencionales y fomentar el desarrollo sostenible de la economía de Ecuador.

## 2 Metodología

La energía necesaria para la operación de EEC se produce a través de una combinación óptima de técnicas de eficiencia energética y sistemas de energías renovables disponibles [9]. Análisis detallados sobre el consumo energético en edificaciones indican que más de los 4/5 del uso de la energía son utilizados en la fase operacional [2]. Sin embargo, cabe recalcar que el uso final, dentro de la fase operacional, puede variar dependiendo del sector, la región y el clima.

Varias investigaciones sobre la climatología de las edificaciones han contribuido a la comprensión del efecto del diseño arquitectónico en el clima interior y la energía utilizada. No obstante existen también complejas interacciones entre las edificaciones y su entorno exterior. El estudio de las condiciones climatológicas de un lugar específico, debería ser el punto de partida para la formulación de edificaciones y para los principios del diseño urbano, logrando altos niveles de confort con el mínimo de energía utilizada [10].

Basado en este principio, el rendimiento energético de la edificación dependerá fundamentalmente de dos aspectos [11]. El primer aspecto son las decisiones arquitectónicas tomadas con antelación en la fase de diseño (estrategias de diseño

pasivas). El segundo aspecto considera la implementación de dispositivos tecnológicos para la producción de energía (estrategias de diseño activas). Es necesario examinar cuando y como se pueden considerar estas estrategias durante el proceso de diseño. La mayoría de los autores, señalan que las estrategias de diseño pasivas, cumplen un rol importante dentro de la planeación inicial del diseño. Este rol conlleva a la interacción de los recursos naturales disponibles para su aprovechamiento en el sitio de emplazamiento.

A raíz de un análisis de metodologías propuestas por varios autores, la presente investigación propone un proceso metodológico para la concepción de EEC, esquematizado en la Fig. 1. El proceso inicia con la implementación de estrategias de diseño pasivas (Fase 1) que vinculan la configuración arquitectónica de la edificación con la disminución de la demanda energética necesaria para su operatividad. Las estrategias de diseño activas, compuestas por sistemas de energía (Fase 2) complementan la estructura de funcionamiento. Concluida la configuración de la edificación, el proceso culmina con una serie de simulaciones energéticas (Fase 3) hasta conseguir los resultados esperados: una edificación de bajo consumo energético.

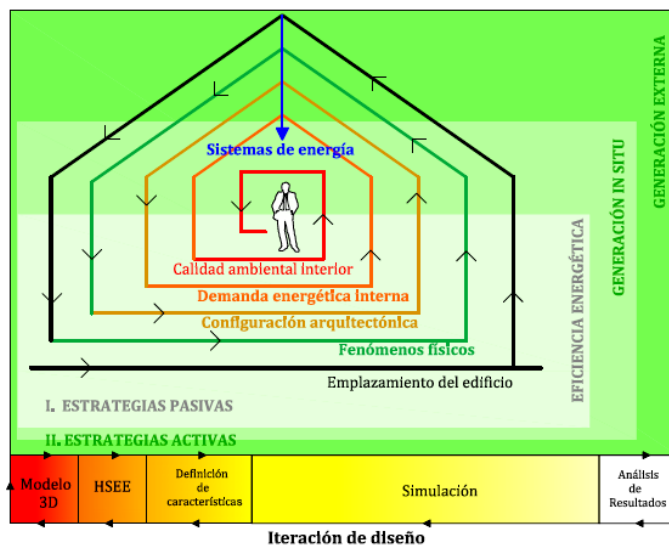


Fig. 1. Proceso Metodológico para la concepción de EEC.

**Fase 1.** La actuación de estrategias de diseño pasivas, busca una calidad ambiental interior adecuada a través de una simbiosis entre: el emplazamiento de la edificación, fenómenos físicos presentes, configuración arquitectónica, y la demanda energética interna. Esta combinación óptima, permite obtener la máxima eficiencia energética durante la fase operativa de la edificación.

**Fase 2.** Las estrategias de diseño activas, implementan sistemas de energía primaria para la generación eléctrica *in-situ*, como por ejemplo instalación de paneles fotovoltaicos. Además, puede considerar conexiones a redes locales de fuente

renovable. Dichos sistemas actúan como un complemento del sistema energético, para la operatividad de la edificación.

**Fase 3.** La simulación energética a través de herramientas de simulación energética en edificaciones (HSEE) pretende evitar futuros problemas originados en la etapa de diseño. Una serie de iteraciones de diseño son requeridas, a fin de conseguir los resultados energéticos deseados.

### 3 Estudio de Mercado

En la etapa inicial de diseño, los índices de rendimiento energético provenientes de diferentes diseños son de gran utilidad al momento de seleccionar tecnologías adecuadas, particularmente si un estudio de mercado con edificaciones similares está disponible [4]. El estudio de mercado de eficiencia energética en edificaciones, puede ser definido como un análisis comparativo, empleado para fomentar el desarrollo sostenible y el uso eficiente de la energía. A modo de ejemplo, un proceso para el estudio de mercado es determinar si el uso de energía en una edificación es más eficiente que en otras edificaciones similares [12].

Debido a que el rendimiento energético de las edificaciones puede verse afectado por varios factores, un estudio de mercado debe considerar: condiciones ambientales, edad, número de pisos, propietarios, uso y equipamiento, entre otros [12]. La metodología para el estudio de mercado consiste en cuatro etapas: I) Generación de una base de datos con un número significativo de edificaciones, II) Levantamiento de información relevante, III) Análisis comparativo en orden de establecer las mejores prácticas, y IV) Selección de medidas factibles de eficiencia energética [4].

Doce casos de estudio a nivel mundial fueron analizados para la generación de la base de datos: *CIRS* (Canadá), *Life Sciences Complex* (Canadá), *San Francisco Public Utilities Commission* (Estados Unidos), *PNC* (Estados Unidos), *Hong Kong ZCB* (China), *NIER* (Corea del Sur), *The Porter School of Environmental Studies* (Israel), *Solar 2* (Estados Unidos), *MIST* (Emiratos Árabes Unidos), *ZCB* (Malasia), *Nestlé* (México) y *Vestas* (Dinamarca).

El análisis comparativo toma como eje regulador la certificación LEED [13]. De esta manera, se establece requisitos mínimos para conseguir un diseño eficiente energéticamente. El análisis comparativo entre los casos de estudio, expone las mejores prácticas en eficiencia energética e integración de energías renovables que pueden ser aplicadas al modelo. Su factibilidad de aplicación se debe a que han sido adoptadas en la mayoría de edificaciones estudiadas, y por ende, conlleva teóricamente a decir que generarán los mejores resultados en términos de demanda energética, sustentabilidad, tecnología y aceptabilidad social.

La información ilustrada en la Fig. 2, reúne las características constructivas analizadas de los doce casos de estudio, resaltando las características compatibles con la certificación LEED. Cerca del 27% de estrategias analizadas, corresponden a características relativas a eficiencia energética; seguidas por técnicas de eficiencia para el uso del agua y selección adecuada de materiales y recursos en un 18% y 16% respectivamente. A partir del análisis comparativo, las estrategias de diseño son extraídas y adaptadas al modelo prototipo. De manera general, como resultado de este

análisis, las medidas de eficiencia energética comprenden: techos y paredes con vegetación, orientación de la edificación, aprovechamiento de sombras potenciales, iluminación natural máxima, ventilación natural, uso de paneles fotovoltaicos y solares térmicos, iluminación con sensores de auto apagado y con tecnología LED, sistema de climatización mínimo y eficiente, equipos con etiqueta de eficiencia energética, cargas mínimas y exceso de energía producida conectada a la red local.

Por otro lado, en términos de materiales y recursos, se toman en consideración: materiales con certificación ambiental, material reciclado y local, uso de concreto ambientalmente amigable, vidrio con características que eviten ganancia de calor y permitan iluminación natural, elementos generadores de sombra y materiales con reflectancia mínima.

Si bien es cierto que las técnicas para el uso eficiente de agua contribuyen a generar modelos más sustentables, no son parte de esta investigación. La sostenibilidad en sitio, infiere a características que permiten minimizar el impacto ambiental producto del emplazamiento de la edificación, como por ejemplo uso de pavimentos permeables y parqueaderos subterráneos. La calidad ambiental interior busca características que permitan obtener altos niveles de confort térmico, visual y acústico del usuario. Finalmente los procesos de innovación y diseño permiten estar a la vanguardia de tecnologías, que permitan alcanzar la reducción de la demanda energética en las edificaciones.

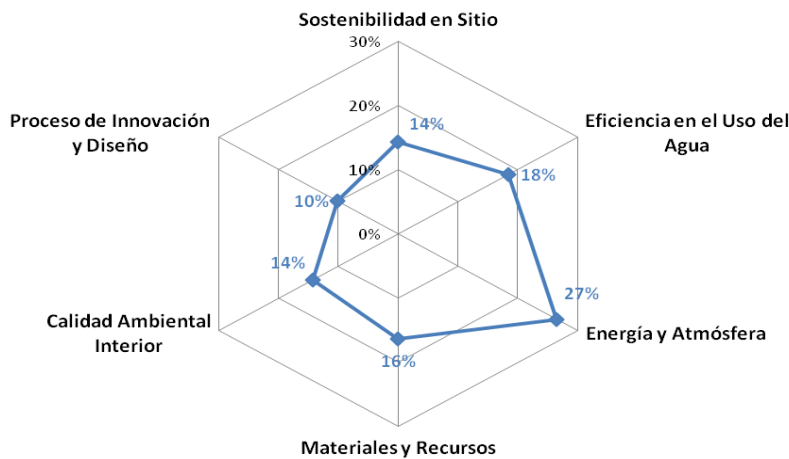


Fig. 2. Análisis comparativo y consolidación de estrategias de diseño.

### 3 Caso de estudio

Emplazar una edificación, conlleva a modelar el inmueble de acuerdo a su entorno y su futura funcionalidad. Su fusión con el ambiente asegura un bajo impacto visual, ambiental y acústico, adicional a su aceptación social. Por lo tanto, es fundamental analizar las características ambientales del lugar de emplazamiento, a fin de

aprovechar de manera sostenible los recursos renovables disponibles. La edificación corresponde al edificio prototipo del INER, a ser ubicado en la Ciudad del Conocimiento-Yachay, entre las parroquias Urcuquí y Tumbabiro, pertenecientes al cantón San Miguel de Urcuquí, provincia de Imbabura [14].

La zona de emplazamiento presenta una topografía poco escabrosa, de relieve ondulado, con pendientes planas entre 0 y 2 %, con un rango de alturas entre 2038 y 2080 msnm, como se indica en la Fig. 3. Su geología regional está conformada por Volcánicos del Yanahurco, depósitos aluviales con arenas finas a medias, gravas y cantos rodados; y depósitos coluvio-aluviales compuestos por grava englobada en una matriz arenolimososa. El uso del suelo está dominado por kikuyo, sin embargo en sus cercanías existen cultivos de alfalfa, maíz suave y fréjol.



Fig. 3. Ubicación y topografía del lugar de emplazamiento del edificio prototipo.

La zona en estudio, se encuentra conectado con el sistema nacional interconectado (SNI), proveniente en un 61% de energías renovables convencionales y no convencionales (incluye centrales hidroeléctricas). La central hidroeléctrica más cercana al sitio es *Ambi*, ubicada a 3km aproximadamente, y con una potencia nominal y efectiva de 8 MW [15]. También existe potencial de energía geotérmica a 14.8km de Urcuquí, en la zona de Chachimbiro. Pese a encontrarse a nivel de pre-factibilidad la inclusión del proyecto Yachay podría generar un desarrollo económico sustentable en la zona promoviendo su ejecución. De igual manera, el proyecto eólico Salinas, podría servir como fuente de energía renovable no convencional una vez puesto en marcha. La provincia de Imbabura, es considerada como una zona de alta insolación. La Tabla 1 presenta datos meteorológicos del lugar de emplazamiento, incluyendo datos de radiación solar en Wh/m<sup>2</sup>/día.

**Tabla 1.** Datos meteorológicos del sitio de emplazamiento [16]

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
Precipitación (mm)	53,3	64,2	89,5	114,8	78,3	40,1	14,8	16,5	35,5	67,8	71,4	68,9	715,33
Heliofanía (horas)	182,5	152,6	137,9	150,0	177,1	209,1	204,6	206,5	182,1	178,3	198,2	201,6	181,71
Humedad Relativa (%)	77	81	80	82	80	76	72	71	74	79	80	80	78
Temp. Máx. (°C)	21,5	21,5	21,7	21,5	21,7	21,8	22,0	22,3	22,3	21,9	21,4	21,5	21,77
Temp. Mín. (°C)	9,2	9,2	9,3	9,7	9,5	8,7	8,2	8,3	8,5	9,3	9,4	9,3	9,04
Radiación Difusa	2355	2656	2563	2411	2220	1993	1996	2189	21,79	2291	2108	2099	2255
Radiación Directa	3854	3309	3410	3445	3594	4130	4259	4100	4457	4169	4607	4649	3999
Radiación Global	5035	5088	5100	4921	4728	4775	4903	5118	5434	5308	5314	5234	5080

El diseño arquitectónico de la edificación se compone por 3 secciones principales: 2 espacios para oficinas y 1 núcleo de circulación donde se encuentran los servicios comunes, como ilustra la Fig. 4. Los servicios comunes corresponden a: salas de reuniones, cafeterías, sala de fotocopias, áreas recreativas que incluyen un jardín en la azotea y servicios higiénicos. Los espacios para oficinas están diseñados para albergar a 287 empleados.



**Fig. 4.** Distribución espacial arquitectónica del edificio prototipo.

La edificación prototipo se orienta hacia el Norte, con el objetivo de evitar ganancia de calor producto del recorrido del sol en sentido Este Oeste. La vulnerabilidad sísmica de Ecuador promueve consideraciones sísmicas en estructuras

civiles. Yachay se encuentra en una zona sísmica [17], por lo tanto su estructura será diseñada como una estructura resistente a terremotos. Los materiales recomendados son perfiles de acero o de hormigón armado. Con el fin de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, se propone el uso de acero reciclado y concreto amigable con el medio ambiente. Las ventanas están compuestas por vidrios doble cámara. Las paredes interiores son modulares, fabricados con madera certificada y vidrio. Las paredes exteriores son no-estructurales y de adobe.

La construcción de ladrillo de adobe es una técnica antigua, que data 8300 antes de Cristo [18], constituido por suelos entre el 20% y el 30% de contenido de arcilla [19]. El adobe presenta varias características atractivas: bajo costo, disponible a nivel local, reciclable, adaptado a una gran variedad de suelos, buenas propiedades térmicas y acústicas [20]. A pesar de aumentar la energía utilizada en el mantenimiento de los edificios, reduce la energía utilizada en el ciclo de vida del edificio [21].

El sistema de iluminación considera tecnología LED con sensores de auto-apagado. Esta tecnología se ha sido seleccionada debido a su vida útil, 60.000 horas antes de necesitar ser reemplazada en comparación con las lámparas fluorescentes de 10.000 horas. Además, las bombillas LED son aproximadamente 5 veces más eficientes que las lámparas fluorescentes. Las bombillas fluorescentes contienen pequeñas cantidades de mercurio que pueden ser tóxicos si la bombilla se rompe. Sin embargo, los LED no contienen mercurio o los gases nocivos.

Según los niveles de confort establecidos en la ley ecuatoriana, y publicada por el Ministerio de Relaciones Laborales del Ecuador (MRL), el rango de confort admisible es el que indica una sensación cómoda en la gráfica de confort [22]. Debido a la inexistencia de períodos estacionales específicos en la región ecuatorial, el verano y el invierno pueden definirse según los períodos lluviosos y secos. Esto es, desde julio hasta noviembre como periodo de verano y la temporada de invierno, de diciembre a junio [23]. Por lo tanto, utilizando el gráfico de confort, el rango estimado puede encontrarse entre 16,5 y 27°C en el verano, y durante el invierno entre 18 y 24°C [24], [25]. Sin embargo, cada zona climática requiere estudios rigurosos para determinar el confort térmico local.

Para la simulación energética a través de HSEE se considera: rango de confort entre 16,5 y 25°C, horario operacional de 7AM a 19PM, uso de equipos electrónicos con características *Energy Star*, 300 luxes para confort lumínico [22] y 85 dB por cada jornada de trabajo de 8 horas para confort acústico [26]. Los sistemas de energía están compuestos por sistemas energéticos *in-situ* como paneles fotovoltaicos, incorporados en el techo de la edificación con un área disponible de aproximadamente 800 m<sup>2</sup>. Con el fin de calcular la energía solar producida en el lugar, se necesita definir un tipo de paneles solares. Se seleccionó el modelo *Kyocera KD315GX-LPB*, de acuerdo con una encuesta en línea [27]. Este modelo posee una eficiencia solar de 16% y una potencia máxima de 315 W. La fórmula (1) se utiliza con el fin de calcular la potencia generada por los sistemas fotovoltaicos [28].

$$E \text{ (kWh/día)} = P_c \text{ (kWp)} \times \text{IRR (kWh/m}^2 \text{ día)} \times \text{PR} \quad (1)$$

Donde, la irradiación en el plano del módulo (IRR) es determinada a partir de datos meteorológicos y el coeficiente de rendimiento (PR) igual a 0.75. De dicha operación



se calcula la energía renovable producida en *in-situ*. La producción anual es 160601 kWh/año. El detalle de producción mensual se ilustra el la Fig. 5.

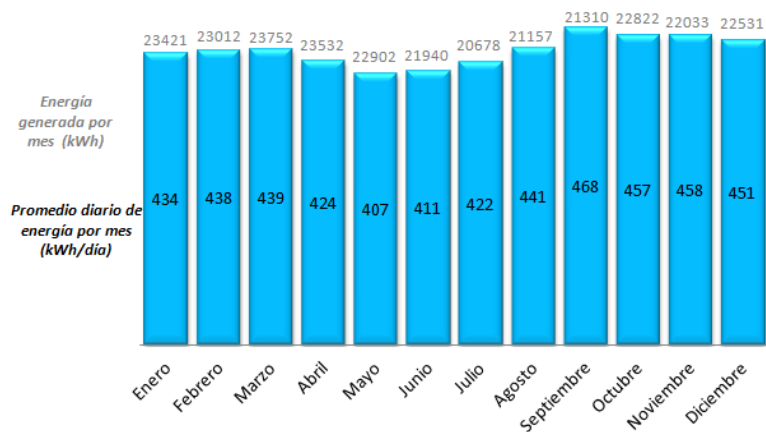


Fig. 5. Energía solar mensual producida *in-situ* a través de paneles fotovoltaicos.

#### 4 Modelado y simulación

El edificio prototipo ha sido modelado en la interfaz gráfica de DesignBuilder, como indica la Fig. 6. Una vez que se introduce el modelo, son configuradas las estrategias de diseño seleccionadas a través del estudio de mercado.

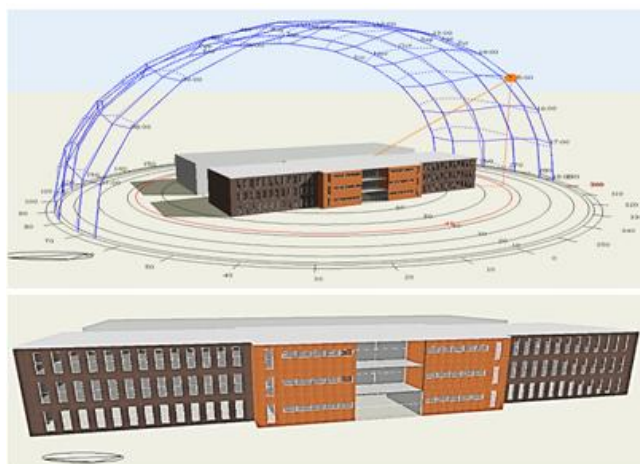


Fig. 6. Modelo de edificación prototipo configurada en DesignBuilder.

La tablas 2 y 3 indican las características definidas para la simulación energética, con la descripción de los materiales valores por carga de servicios.

**Tabla 2.** Especificación técnica de materiales configurados en el modelo prototipo.

Materiales	Capas	Características térmicas
Paredes exteriores	Ladrillo de adobe 600 mm	R (m <sup>2</sup> K/W) 0,80 U (W/m <sup>2</sup> K) 1,25
Cubierta plana	Paneles fotovoltaicos 40mm Air gap 300 mm Losas de concreto 200 mm Zinc 21 mm	R (m <sup>2</sup> K/W) 0,63 U (W/m <sup>2</sup> K) 1,59
Paredes interiores	Gypsum 25 mm Air gap 100 mm Gypsum 25 mm	R (m <sup>2</sup> K/W) 0,61 U (W/m <sup>2</sup> K) 1,64
Piso-Planta baja	Concreto 20 mm Caucho (neumáticos) 20 mm Concreto 200 mm	R (m <sup>2</sup> K/W) 0,58 U (W/m <sup>2</sup> K) 1,72
Ventanaje (20%)	Generic LoE clear 6mm Air gap 13 mm Generic LoE clear 6mm 0,6m x 2,5m cada 1,2m	U (W/m <sup>2</sup> K) 1,77
Fachada de madera	Plywood 150 mm Fibra de vidrio 50mm Cartón 10mm	R (m <sup>2</sup> K/W) 1,873 U (W/m <sup>2</sup> K) 0,544

**Tabla 3.** Descripción de valores por carga de servicios.

Actividad	Trabajos ligero de oficina/de pie/caminando
Densidad	0,216 personas/m <sup>2</sup>
MET	0,9
Días feriados	Por defecto
Control de calidad ambiental interior	Set point para calefacción 18°C Set point para enfriamiento 25°C Set point para ventilación natural 18°C Renovación de aire 10 l/s por persona
Carga por computadores	5 W/m <sup>2</sup>
Carga por equipos	5 W/m <sup>2</sup>
Horario ocupacional	7 AM – 19 PM
Iluminación	Índice de luminosidad 300 lx Energía para iluminación 2,12 W/m <sup>2</sup> 100 lx Sistemas de control lineales

## 5 Resultados

Los resultados de la simulación destacan la electricidad de espacio, como el responsable del principal consumo de energía en la fase de operación del edificio, seguido por la iluminación. Este consumo puede ser controlado con la aplicación de medidas de eficiencia energética como el etiquetado de los equipos, que consigue disminuir la demanda de energía generada por equipos electrónicos. De igual manera, lámparas eficientes reducen la demanda de energía por iluminación. Por otra parte, existe una mínima demanda por climatización en el edificio. Esta demanda se puede cubrir a través de las mejores prácticas en estrategias de diseño pasivas, tales como la orientación norte y selección de materiales. La Fig. 7 ilustra la demanda anual de electricidad del edificio.

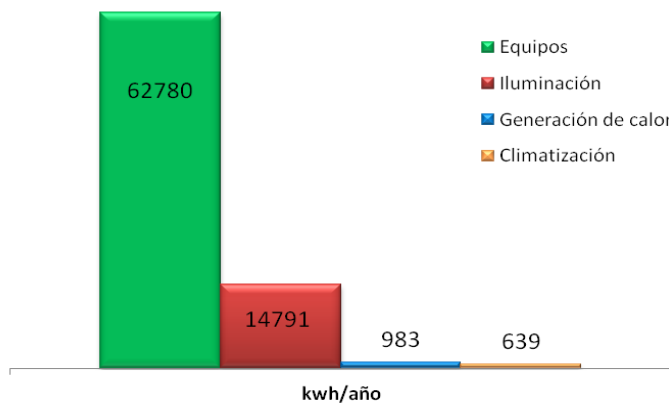
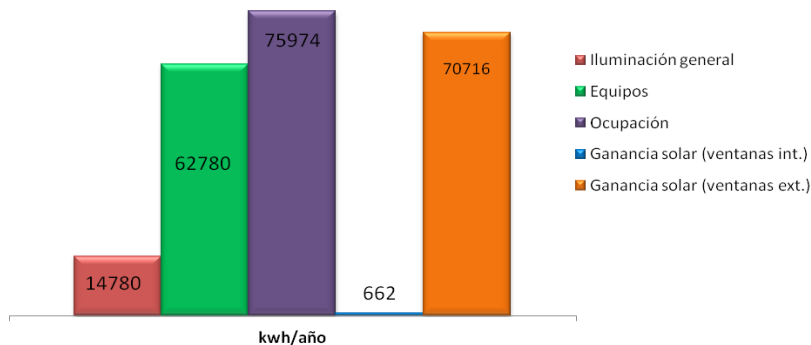


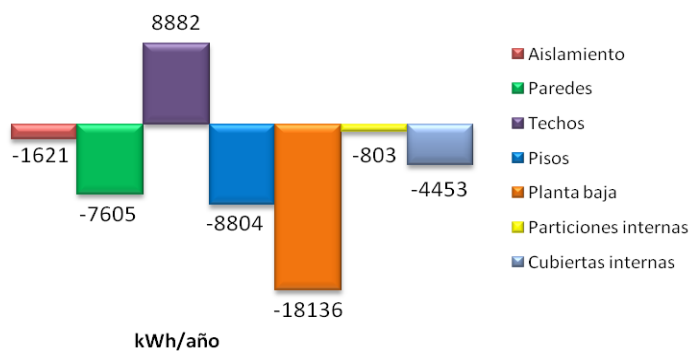
Fig. 7. Demanda anual de electricidad

Centrándonos en los resultados del balance térmico debido a fuentes de calor, la Fig. 8 muestra una descripción detallada. A partir de esta figura, es notable el aumento de calor debido a la ocupación, a la ganancia solar a través de ventanas externas, ordenadores y equipos. En contraste, la Fig. 9, la cual muestra el balance térmico entre los elementos constructivos. Hay importantes pérdidas de calor por la losa en contacto con el suelo de cimentación y los pisos superiores. Esta pérdida se debe al puente térmico, que transfiere el calor al suelo sitio. Con el fin de controlar la pérdida de calor a través de pisos, capas de neumáticos reciclables se utilizan como capas de aislamiento.

La ganancia de calor a través del techo es controlada por el sistema fotovoltaico, que funciona como una estructura de techo ventilado. Además, debido a la inercia térmica de las paredes de adobe y las ventanas doble cámara, las pérdidas de calor a través de la envolvente del edificio no son significativas.



**Fig. 8.** Balance térmico entre fuentes de calor.



**Fig. 9.** Balance térmico entre elementos constructivos.

Como el objetivo principal de esta investigación es una EEC, su consumo anual de energía debe equilibrarse con su auto-producción energética. La Fig. 10 verifica dicho equilibrio. El edificio produce más electricidad que la necesaria para la fase de operación, sin el uso de combustibles fósiles. La producción anual de electricidad en los sistemas fotovoltaicos es de 160,6 MWh/año. Sólo alrededor de 78,5 MWh/año es consumido por el edificio, por lo tanto hay un importante excedente de 82,1 MWh/año que puede ser conectado a la red local en Yachay. Además, el excedente se puede conectar a la red nacional, y promover el desarrollo de redes inteligentes, contribuyendo a aumentar la producción de energía renovable en el país.

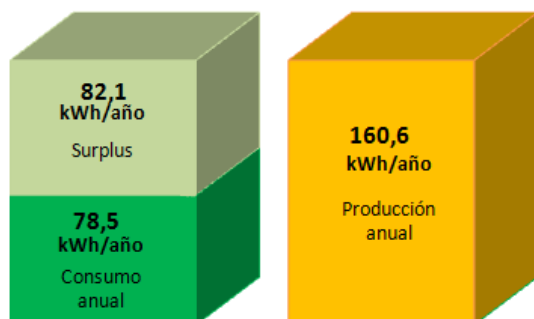


Fig. 10. Balance de producción eléctrica durante un año de operatividad.

La generación de energía renovable *in-situ*, a pesar de la barrera del coste por inversión, es una buena solución para mitigar las emisiones de GEI. Si la generación anual de electricidad que se obtuvo en el prototipo se convierte en ahorro de CO<sub>2</sub>, la emisión de 39 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por año puede ser evitada. La Fig. 11 muestra la reducción de emisiones tanto para la producción anual como para el consumo energético durante un año de operatividad.

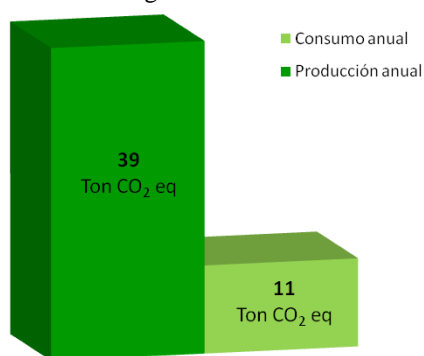


Fig. 11. Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por tipo de tecnología.

## 6 Conclusiones

La ubicación geográfica del Ecuador favorece a una extensa biodiversidad de recursos naturales. La explotación de recursos naturales no renovables para generación de fuentes energéticas, ha dado como resultado un agotamiento indiscriminado de los mismos. La falta de iniciativa del sector gubernamental y privado, ha generado un retraso en la vinculación del desarrollo del país con tecnologías existentes relacionadas al uso de recursos renovables y aplicación de eficiencia energética. El Ecuador muestra un mayor crecimiento en su demanda de energía, entre los países andinos, generando contradicción al promover incentivos a fuentes de energía renovable y eficiencia energética, mientras se subsidian los precios de combustibles fósiles.

Como resultado de esta investigación, se desarrolló un proceso metodológico para el diseño EEC. La metodología inicia con la aplicación de estrategias de diseño pasivas, que enlazan la configuración del edificio con la futura demanda energética. La demanda energética se cubre a través de la integración de sistemas de energía, llamados estrategias de diseño activas. La metodología asegura la eficiencia energética del edificio, y ha sido validada usando una herramienta de simulación de energía.

La ubicación del edificio prototipo tiene acceso al SNI, que proviene de un 61% aproximadamente de energías renovables al año 2012 (incluyendo la energía hidroeléctrica como energía renovable convencional). Debido a que el 39% restante procede de combustibles fósiles, la red nacional no puede ser categorizada como fuente verde. Por lo tanto, se podría recomendar, una conexión directa a la central hidroeléctrica *Ambi*. No es posible implementar una planta de biomasa en el sitio, debido a la falta de suficientes recursos de combustible en el lugar o en las cercanías. En las proximidades del lugar de emplazamiento, existen fuentes de energía geotérmica y eólica. Sin embargo, varios obstáculos, como políticos, económicos o sociales retrasarán su explotación. La fuente de energía limpia más adecuada es la insolación solar; ya que la zona es considerada de alta insolación solar.

Con el fin de estructurar la configuración del prototipo de edificio, se utilizan estrategias de diseño pasivas y activas procedentes de un estudio de mercado. La simulación energética del edificio prototipo ayuda a verificar el equilibrio energético entre la producción anual de energía y su consumo anual. En conclusión, la introducción de estrategias de eficiencia energética y sistemas de energía renovables pueden ser aplicadas con éxito en el diseño de los edificios en Ecuador. Estas estrategias ayudan a lograr una EEC, si la toma de decisiones es efectuada en la fase de diseño, y validada con simulaciones energéticas. La hipótesis de este estudio ha sido demostrada gracias a la validación de los resultados con el software DesignBuilder.

EEC son una buena solución para la intensificación de la energía en el sector de la construcción. Sin embargo, el coste de inversión impide su desarrollo. Las HSEE son herramientas importantes para la toma de decisiones a tiempo. El estudio de mercado de edificaciones eficientes fomenta el desarrollo sostenible dentro del sector de la construcción. A través de la presente investigación se ha comprobado que estrategias internacionales de construcción pueden ser aplicadas en Ecuador con el fin de lograr edificios de bajo consumo energético. Además, la investigación demuestra que las estrategias de diseño pasivas son medidas de alta eficiencia que disminuyen la demanda de energía en la fase de operación de los edificios. La selección de materiales juega un papel importante en el equilibrio térmico de un edificio. El etiquetado de equipos debe ser adoptado con el fin de reducir el consumo de energía durante todo el ciclo de vida de los edificios.

La eficiencia energética tiene una amplia gama de aplicaciones con el fin de mitigar las emisiones de GEI y disminuir la intensificación de la energía. Por lo tanto se recomienda promover medidas de eficiencia energética en las etapas iniciales de diseño de las edificaciones. Los archivos meteorológicos son elementos importantes para la simulación energética en edificaciones, por ello es necesario trabajar en conjunto con el INAMHI e instituciones afines, con el fin de desarrollar archivos apropiados para diferentes lugares del país. El código de construcción es un aspecto

importante para reducir la intensificación de energía. Por ello, es fundamental aplicar medidas de eficiencia energética en el código de construcción ecuatoriana. Ecuador tiene una creciente demanda de energía como resultado de las políticas actuales de subsidios a derivados de petróleo. Las políticas de subsidios pueden ser reestructuradas de acuerdo al uso final, con el fin de disminuir la dependencia al gas licuado de petróleo. Por otro lado, se podrían promover las tecnologías limpias con el fin de definir medidas de eficiencia energética adaptadas a nivel de Ecuador.

Los futuros trabajos que ya se están imponiendo como continuación de presente investigación son análisis de costo-beneficio de EEC en Ecuador, evaluación del ciclo de vida, establecimiento de las mejores prácticas en eficiencia energética de edificios andinos y análisis térmico de materiales locales.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado en su totalidad por el Proyecto de Investigación “Estudio para edificaciones de bajo consumo energético en Yachay” y forma parte de la Tesis de maestría “Diseño y planificación de la construcción de un edificio prototipo de consumo energético cero e integración de energías renovables”.

Los autores desean expresar su agradecimiento por el apoyo económico al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.

### **Referencias**

1. Bosseboeuf, D: A Worldwilde Panorama of Energy Efficiency Policies Characteristics and Evaluation - Class notes of "Energy Efficiency" at Ecole des Mines de Nantes University of France in the Master's program. Nantes (2013).
2. World Business Council for Sustainable Development: Energy Efficiency in Buildings: Bussines realities and opportunities. Summary report. Geneva, Switzerland (2007).
3. MEER: Políticas y Estrategia para el Cambio de la Matriz Energética del Ecuador (2008).
4. Pérez, L, Ortiz, J, González, R, Maestre, IR: A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings* 3, 272-278 (2009).
5. Hayes, S, Young, R, Sciortino, M, Authors, C, Farley, K, Foster, B, Mackres, E, Bin, S: The ACEEE 2012 International Energy Efficiency Scorecard. 202 (2012).
6. Marszal, J, Heiselberg, P, Bourelle, JS, Musall, E, Voss, K, Sartori, I, Napolitano, A: Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings* 4, 971-979 (2011).
7. Baden, S, Fairey, P, Waide, P, Laustsen, J: Hurdling Financial Barriers to Low Energy Buildings: Experiences from the USA and Europe on Financial Incentives and Monetizing Building Energy Savings in Private Investment Decisions. ACEEE summer study on energy efficiency in buildings, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington DC (2006)

8. Torcellini, P, Pless, S, Deru, M, Crawley, D: Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition ACEEE Summer Study, Pacific Grove, California (2006)
9. Iqbal, MT: A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland. *Renewable Energy* 2, 277-289 (2004).
10. Givoni, B: *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Jhon Wiley & Sons, New York, USA (1998)
11. Ochoa, CE, Capeluto, IG: Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate. *Building and Environment* 11, 1829-1839 (2008).
12. Chung, W: Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. *Applied Energy* 5, 1470-1479 (2011).
13. U.S. Green Building Council: *LEED 2009 for New Construction & Major Renovations*. Washington DC (2009).
14. Yachay EP: Ubicación geografica, <http://www.yachay.gob.ec/ubicacion-geografica/>
15. Geoportal, <http://geoportal.conelec.gob.ec/visor/index1.html>
16. CONELEC, CIE: *Atlas Solar del Ecuador*. Quito (2008)
17. Cámara de la Construcción: *Código ecuatoriano de la construcción 2002: Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente*. Quito (2002).
18. Waitakere City Council's Sustainable Home Guidelines: *Earth Building*. Waitakere, New Zealand (2008).
19. Silva, W., San Bartolomé, Á., Ramirez, V.: *Cartilla de Construcción en Adobe Confinado*, <http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20080823-Cartilla%20Adobe%20onfinado.pdf>
20. Silveira, D, Varum, H, Costa, A, Martins, T, Pereira, H, Almeida, J: Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions. *Construction and Building Materials* 1, 36-44 (2012).
21. Zabalza Bribián, I, Valero Capilla, A, Aranda Usón, A: Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment* 5, 1133-1140 (2011).
22. MRL: *Reglamento De Seguridad Y Salud De Los Trabajadores Y Mejoramiento Del Medio Ambiente De Trabajo*. Quito (1998).
23. *Inundaciones y Sequias en el Ecuador*, [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers10-09/010006883.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-09/010006883.pdf)
24. Nguyen, AT, Reiter, S: A climate analysis tool for passive heating and cooling strategies in hot humid climate based on Typical Meteorological Year data sets. *Energy and Buildings*, 1-8 (2012).
25. Dirección de Seguridad e Higiene de ASEPEYO: *Confort Térmico*. Informe técnico. Madrid (2005).
26. *Higiene Industrial y Medio Ambiente: Ruido Laboral y Ocupacional*, <http://www.higieneindustrialyambiente.com/>
27. *2013 Best Solar Panel Reviews and Comparisons*, <http://solar-panels-review.toptenreviews.com/>
28. Louineau, JP: *An introduction to PV technology Stand-alone and Grid-tied systems*. Ecole des Mines de Nantes (2011).