

# ESTRATEGIAS CONSTRUCTIVAS EN EL DISEÑO DE LA ENVOLVENTE DE UN HOSPITAL EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA PARA EL AHORRO ENERGÉTICO MEDIANTE ANÁLISIS DETALLADO

RAÚL ERNESTO PABÓN MARTÍNEZ

Asesores

Ing. Iván Tovar Ospino, MSc, PhD  
Ing. Diego Mendoza Muñoz, MSc, PhD



**Universidad  
Autónoma del Caribe**

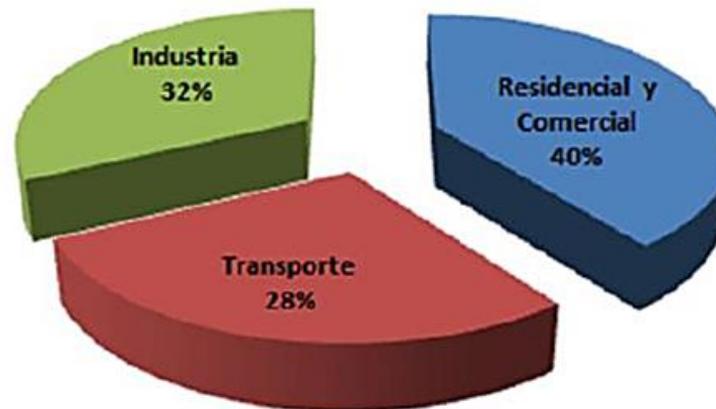
Ciencia para el progreso

# 1. INTRODUCCIÓN

**Problema:** Colombia no cuenta con un código constructivo con valores cuantificados de transmitancia térmica y transferencia de calor OTTV, como medidas de control en el diseño de la envolvente de la edificación en la ciudad de Barranquilla que garantice el uso racional de la energía.

**Justificación:** A través de la resolución 0549 de julio del 2015, el gobierno adopta la Guía para el Ahorro de Agua y Energía en Edificaciones, lo cual obliga a los constructores a establecer, a partir del año 2016, medidas de uso racional y eficiente de la energía en los diseños de edificaciones en municipios y distritos de más de 1.200.000 habitantes en Colombia.

**Figura 1.** Distribución mundial del consumo final de energía.  
Fuente: Agencia internacional de energía, 2013





## 2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Objetivo General

Proponer estrategias constructivas en el diseño de la envolvente de un hospital en la ciudad de Barranquilla para el ahorro energético, mediante análisis detallado.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Determinar y seleccionar los parámetros de mayor impacto en el consumo de energía asociados con la envolvente de edificaciones, a través de consulta y revisión de normas e investigaciones especializadas.
- Analizar el consumo de energía, transmitancia térmica y OTTV obtenidos por la simulación del comportamiento energético de diferentes modelos de un hospital, utilizando los parámetros de mayor impacto en el consumo de energía.
- Establecer medidas de ahorro energético asociadas al diseño constructivo de la envolvente de un hospital, para racionalizar los consumos de energía.

### 3. Metodología

Determinar y seleccionar los parámetros de mayor impacto en el consumo de energía de un hospital

Consulta y revisión de normas e investigaciones especializadas para selección de parámetros

Recolección de datos

Análisis del consumo de energía, transmitancia térmica y OTTV obtenidos por la simulación del comportamiento energético

Modelar un edificio de hospital en Google Sketchup 8

Simular el comportamiento energético de 12 modelos de edificios de hospital en EnergyPlus

Análisis de los resultados de energía consumida, transmitancia térmica y OTTV

Establecer medidas de ahorro energético asociadas al diseño constructivo de la envolvente del hospital

Proponer estrategias de ahorro energético

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados de las actividades para determinar y seleccionar los parámetros de mayor impacto en el consumo de energía asociados con la envolvente de edificaciones

#### 4.1.1. Consulta y revisión de normas e investigaciones

Ítem	Parámetro	Título de Artículo	Autor – País	Valor obtenido por el autor
1	Consumo de energía eléctrica por sistema de climatización en el edificio	Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China	Jinghua Yu China, 2008	Es menor con aislamiento externo en la envolvente que con aislamiento interno
2	Consumo de energía eléctrica por sistema de climatización en el edificio	Study on Daylighting and Energy Conservation Design of Transparent Envelope for office building in Hot Summer and Cold Winter Zone	Jinghua Yu China, 2015	52% del consumo total
3	Ahorro de energía eléctrica por climatización en el edificio	Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China	Jinghua Yu China, 2008	11,55%
4	Transmitancia Térmica en la envolvente para clima cálido húmedo	Materiales Bioclimáticos	Cedeño Valdiviezo México, 2010	1,1 W/m <sup>2</sup> °C
5	OTTV en la envolvente	Overall thermal transfer value (OTTV) : how improve its control in Honk Kong	Sam C.M. Hui Hong Kong, 1997	35 W/m <sup>2</sup> promedio en pared y cubierta
6	Espesor óptimo de aislamiento en la envolvente	Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China	Jinghua Yu China, 2008	25 mm
		Determination of optimum insulation thickness for different building walls in Turkey	Ahmet Fertelli Turkia, 2013	10 mm
7	Relación de Acristalamiento en el edificio donde el consumo de energía es mínimo	Study on Daylighting and Energy Conservation Design of Transparent Envelope for office building in Hot Summer and Cold Winter Zone	Jinghua Yu China, 2015	40%
8	Absortancia Solar en la pared externa de la envolvente	Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China	Jinghua Yu China, 2008	Hacia 0,2 disminuye el consumo de energía eléctrica por climatización
9	Orientación del edificio	Study on Daylighting and Energy Conservation Design of Transparent Envelope for office building in Hot Summer and Cold Winter Zone	Jinghua Yu China, 2015	Consumo de energía más bajo en la fachada suroeste



4.1. Resultados de las actividades para determinar y seleccionar los parámetros de mayor impacto en el consumo de energía asociados con la envolvente de edificaciones

#### 4.1.2. Recolección de datos

Los parámetros de mayor impacto en el consumo de energía asociados con la envolvente de edificaciones valorados en otros proyectos (*B. Ekici & Aksoy, 2011*) y seleccionados y de los cuales se recolectaron datos fueron (IDEAM, código técnico de edificación):

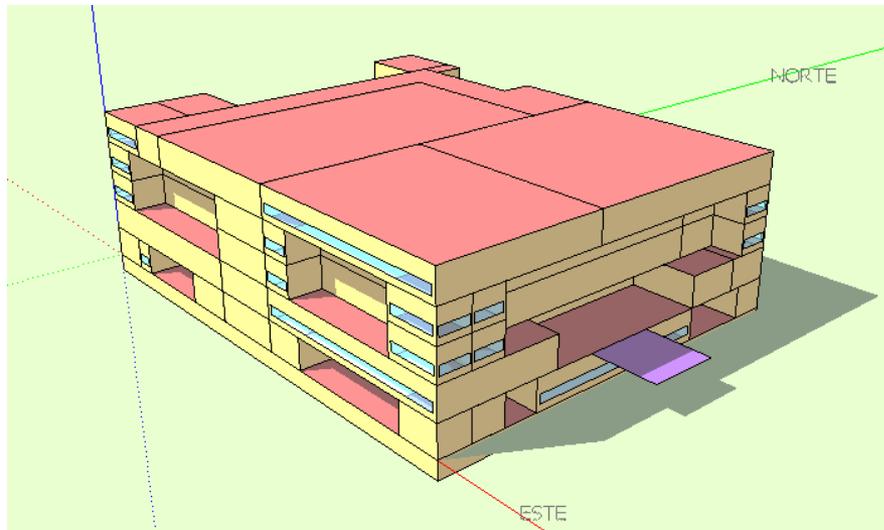
Parámetros Físico-Ambientales	Parámetros de Diseño	
Ubicación del edificio	Propiedades termo-físicas de materiales	Transmitancia Térmica
Temperatura exterior del edificio		Conductividad térmica
Radiación solar		Resistencia térmica
Dirección y velocidad del viento		Densidad
		Calor específico
		Absortancia solar
	Espesor del material	
	Relación de acristalamiento	

4.2. Resultados de las actividades del análisis del consumo de energía, transmitancia térmica y OTTV obtenidos por la simulación del comportamiento energético de diferentes modelos de un hospital.

#### 4.2.1. Modelar un edificio de hospital en Google SketchUp 8

El edificio de hospital de alta intensidad energética para estudio se selecciona de la página web <https://www.energy.gov>, el cual es un edificio de referencia del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE). Mediante el programa *Google SketchUp 8* y el plugin *OpenStudio* se edita y modifica la geometría del edificio utilizando los archivos idf de *EnergyPlus*<sup>®</sup>. En la *Figura 2* se muestra la fachada isométrica del hospital de 5 pisos y un área total de 22408 m<sup>2</sup>

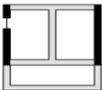
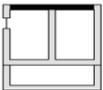
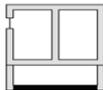
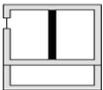
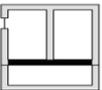
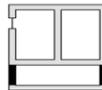
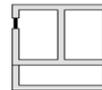
**Figura 2.** Fachada isométrica del hospital. Fuente: [www.energy.gov](http://www.energy.gov)



## 4.2.2. Simular el comportamiento energético de 12 modelos de edificios de hospital en EnergyPlus

Se definieron 12 modelos partiendo del modelo 1 el cual presenta envolvente con hormigón armado, sin aislamiento térmico y ventanas de vidrio simple. Los modelos 2 al 9 presentan envolvente con ladrillo cerámico hueco, aislamiento térmico externo de diferentes espesores y ventanas de vidrio aislante. Los modelos 10 al 12 presentan envolvente con ladrillo cerámico hueco, aislamiento térmico interno de diferentes espesores y ventanas de vidrio aislante. En la *Figura 3* se muestra la distribución de materiales en la envolvente de los modelos.

Figura 3. Distribución de materiales en la envolvente de los modelos. Fuente: El Autor.

							
	FACHADA	CUBIERTA	SUELO CIMIENTO	PARED INTERNA	SUELO INTERNO - TECHO INTERNO	PARED CIMIENTO	VENTANA
<b>MODELO 1</b> Sin aislamiento	HA	HA	HA	HA	HA	HA	VS
<b>MODELOS 2 - 9</b> Con espesores de aislamiento externo $t = 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 150 \text{ mm}$	YL LF LCH EY	MPP S560 LF HA	AC M HA LF	YL LF PA LF YL	AC M LF HA LF YL	YL LF HA	VA
<b>MODELOS 10 - 12</b> Con espesores de aislamiento interno $t = 50, 100, 150 \text{ mm}$	EY LCH LF YL	MPP S560 HA LF	AC M LF HA	YL LF PA LF YL	AC M LF HA LF YL	HA LF YL	VA

#### 4.2.2. Simular el comportamiento energético de 12 modelos de edificios de hospital en EnergyPlus

EnergyPlus® utiliza como motor de cálculo el método de balance de calor, “Heat Balance Method”, lo cual modela: la transferencia de calor por conducción a través de los materiales del edificio, convección del aire, absorción y reflexión de la radiación de onda corta e intercambio radiante de onda larga. Período de simulación: 8760 horas.

Figura 4. Flujo de datos en el simulador EnergyPlus V7-2. Fuente: El Autor

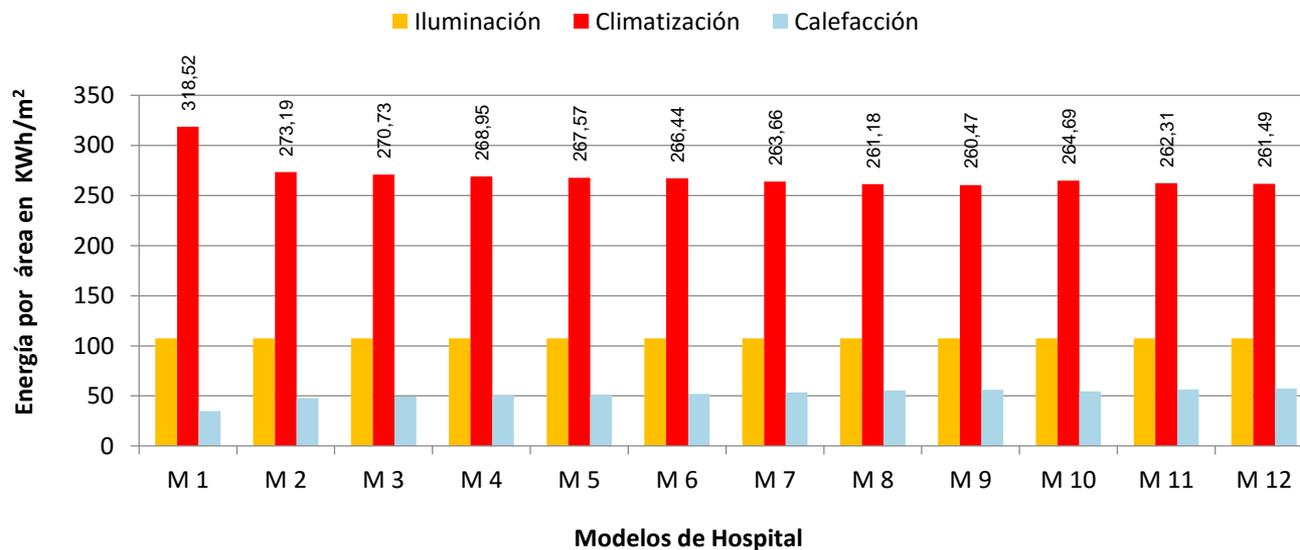


## 4.2.3. Análisis de resultados

### 4.2.3.1. Análisis de resultados de energía final

La *Figura 5* muestra los resultados de energía final anual en 12 modelos de hospital, evidenciando que el consumo de energía eléctrica por sistema de climatización es mayor (55%) que los otros tipos de consumo

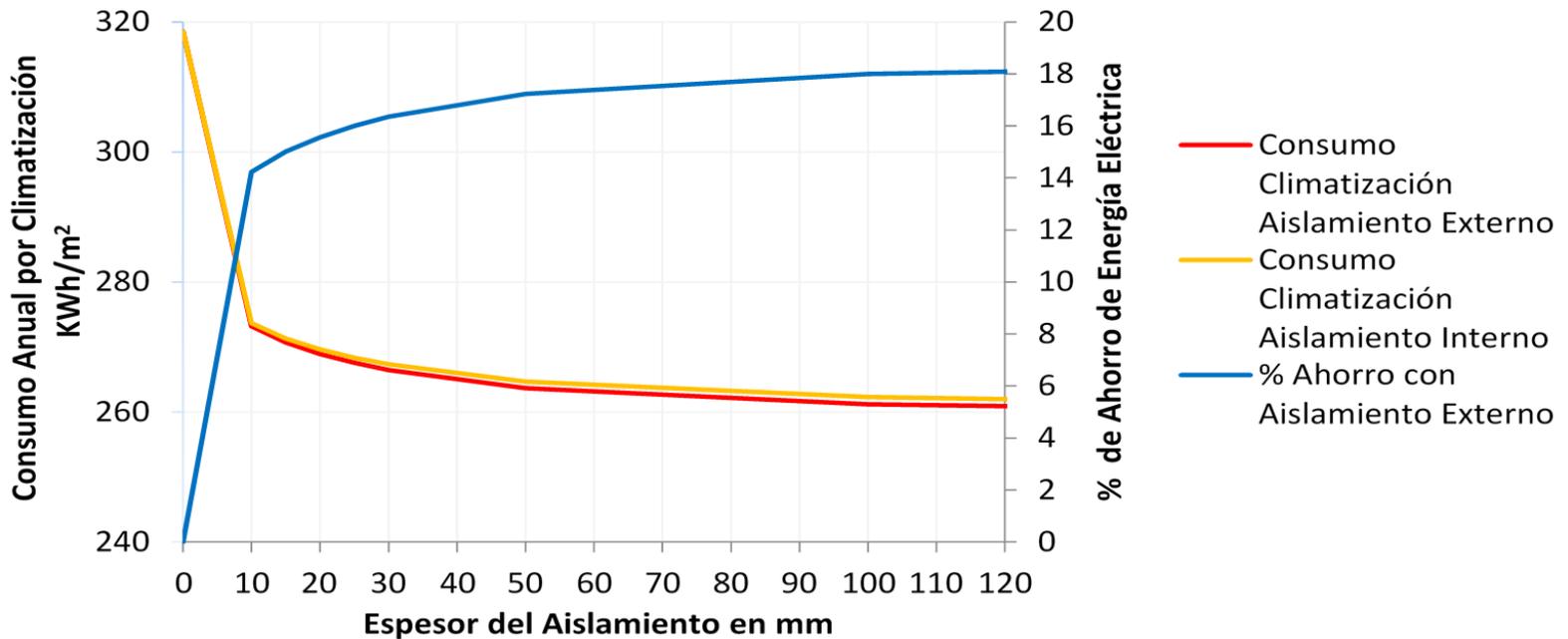
*Figura 5. Energía final anual en 12 modelos de hospital. Fuente: El Autor*



### 4.2.3.1. Análisis de resultados de energía final

La *Figura 6* muestra que el uso de materiales aislantes térmicos en su envolvente, como lana mineral, yeso y ladrillo cerámico hueco, suministran hasta un 18% de ahorro en el consumo de energía eléctrica por sistema de climatización, mientras los consumos por iluminación y calefacción se mantienen constantes, además el aislamiento térmico por el exterior ofrece menor consumo de energía eléctrica que el aislamiento por el interior de la envolvente.

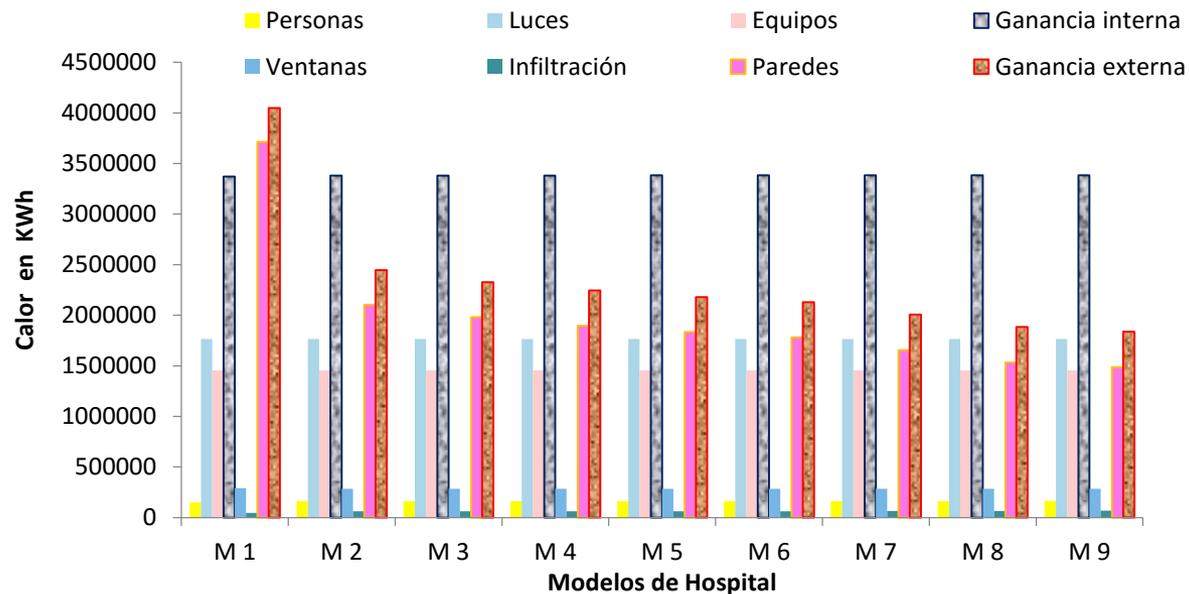
*Figura 6. Consumo anual y porcentaje de ahorro de energía eléctrica por sistema de climatización de acuerdo al espesor del aislamiento térmico interno y externo. Fuente: El autor*



### 4.2.3.1. Análisis de resultados de energía final

La *Figura 7* muestra la ganancia de calor interna y externa para 9 modelos de hospital. Los modelos 2 al 9 presentan aislamiento externo en su envoltente y la ganancia externa es menor que la ganancia interna, mientras el Modelo 1, sin aislamiento, la ganancia externa supera a la ganancia interna debido a la influencia de la transferencia de calor por conducción a través de las paredes de la envoltente. Gracias al uso de materiales aislantes en la envoltente se logra reducir la ganancia externa hasta en un 60 %.

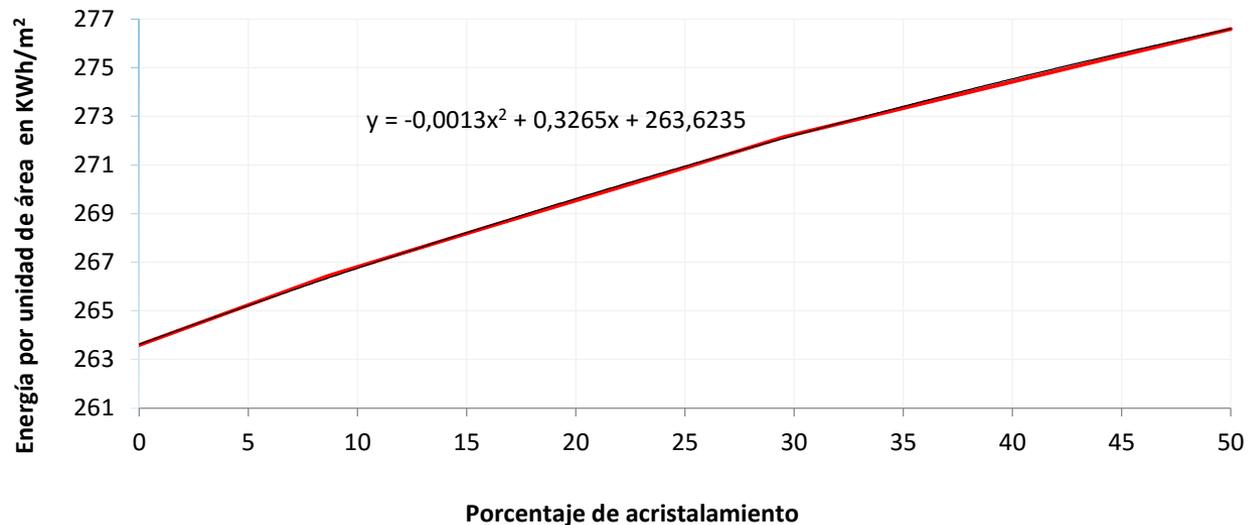
*Figura 7. Ganancia de calor interna y externa anual en 9 modelos de hospital. Fuente: El Autor.*



### 4.2.3.1. Análisis de resultados de energía final

En la *Figura 8* observamos los resultados de energía final por climatización de acuerdo al porcentaje de acristalamiento del edificio. De ella se obtiene la función de relación de acristalamiento mostrada

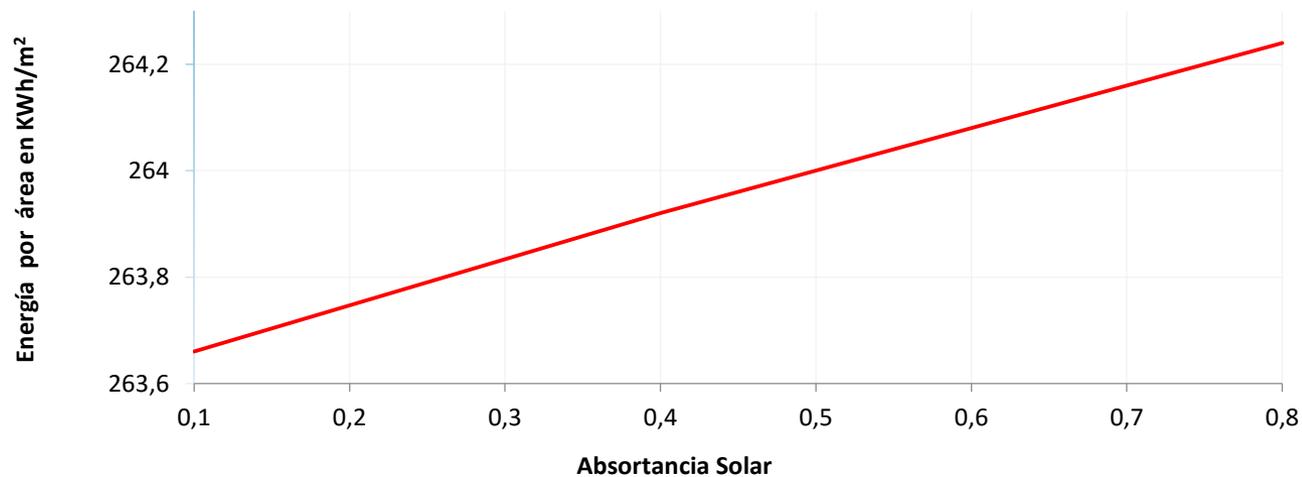
*Figura 8. Resultados de energía final anual por climatización contra porcentaje de acristalamiento del edificio .  
Fuente: El Autor.*



### 4.2.3.1. Análisis de resultados de energía final

En la *Figura 9* observamos los resultados de energía final por climatización de acuerdo a la absorptancia solar de la capa externa de la envolvente. Con absorptancia solar baja para colores claros el consumo e energía por climatización disminuye.

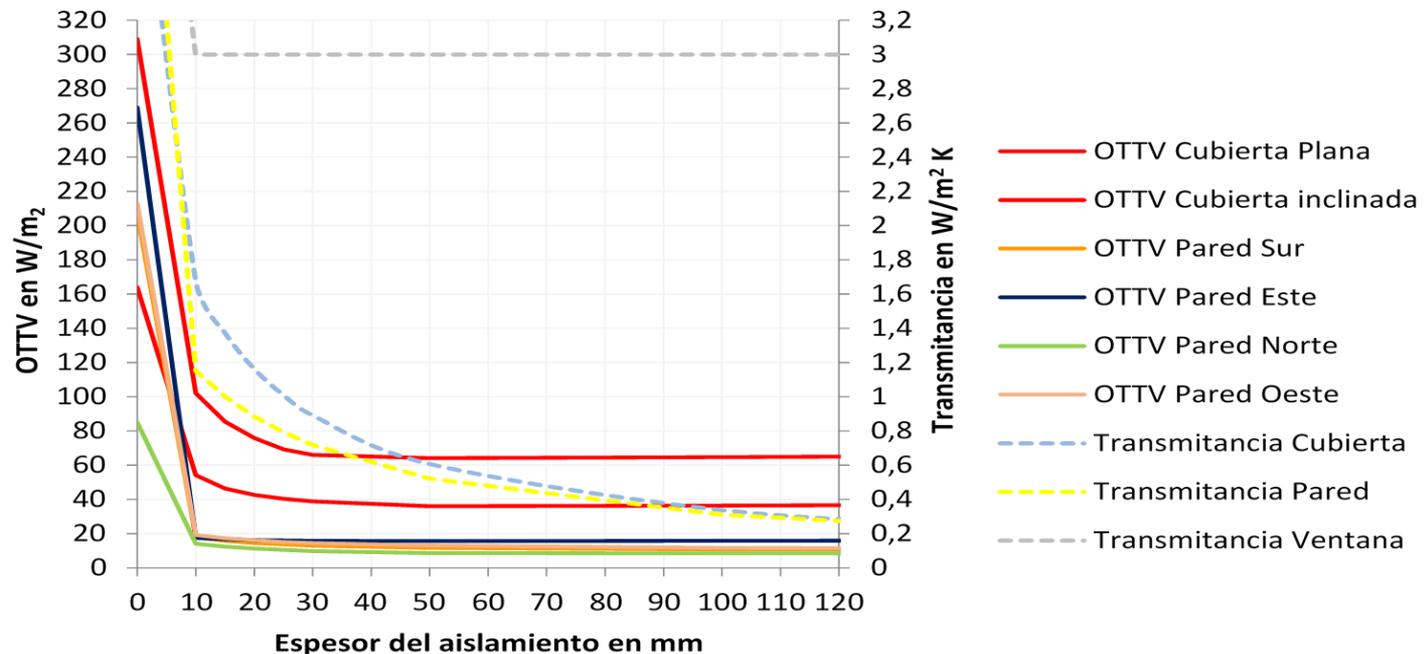
*Figura 9. Resultados de energía final por climatización contra absorptancia solar de la capa externa de la envolvente del edificio. Fuente: El Autor.*



#### 4.2.3.2. Análisis de resultados de transmitancia térmica en la envolvente

La *Figura 10* muestra los resultados de OTTV y Transmitancia térmica de acuerdo al espesor del aislamiento externo para cubierta, pared y ventana del edificio de hospital evidenciando que el espesor de aislamiento térmico mínimo requerido para lograr una transmitancia térmica máxima en la envolvente de  $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  debe ser de 30 mm.

*Figura 10. OTTV y transmitancia térmica para cubierta, paredes y ventana del edificio de hospital de acuerdo al espesor del aislamiento. Fuente: El Autor.*

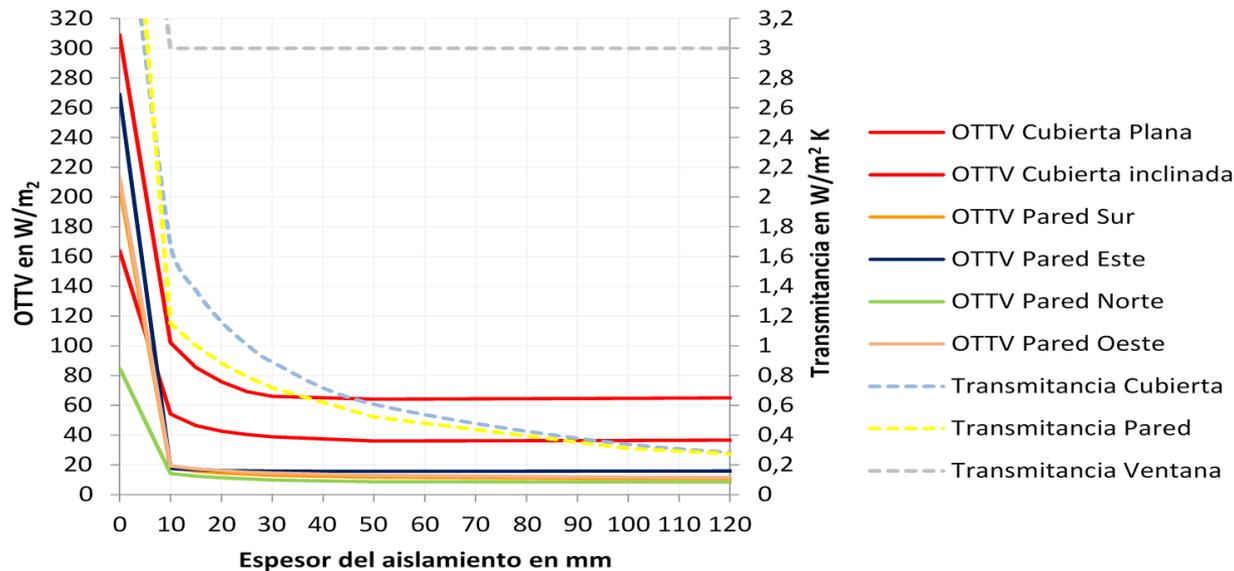


### 4.2.3.3. Análisis de resultados de OTTV en la envolvente

Para fachadas de edificios en clima cálido el valor de la tasa media de transferencia de calor OTTV a través de la envolvente del edificio no debe exceder de 35 W/m<sup>2</sup>.

La *Figura 10* muestra los valores de OTTV obtenidos para cubierta, y paredes en diferentes orientaciones y se evidencia que la fachada norte del edificio presenta anualmente menor transferencia de calor 15,8 W/m<sup>2</sup> y que inclinando la cubierta con aislamiento térmico externo de 30 mm con orientación norte (45°) se logra reducir su OTTV aún más, en 38,8 W/m<sup>2</sup>.

*Figura 10. OTTV y transmitancia térmica para cubierta, paredes y ventana del edificio de hospital de acuerdo al espesor del aislamiento. Fuente: El Autor.*



### 4.3. Estrategias

#### Estrategias de las propiedades termo físicas de los materiales

- Para hospitales el uso de materiales en la envolvente que ofrezcan resistencia al fuego, resistencia a la humedad y aislamiento térmico
- Materiales aislantes térmicos reducen la ganancia de calor externa por conducción hasta en un 60 %
- Aislamiento térmico externo reduce más el consumo que el aislamiento térmico interno
- Aislamiento térmico con lana mineral de 30 mm de espesor
- El aislamiento térmico en la envolvente reduce hasta 18% el consumo de energía por climatización
- Fachadas con colores claros reducen el consumo de energía por climatización

#### Estrategias de acristalamiento en la envolvente

- Vidrios refractantes de baja radiación de 6 mm reducen la transmitancia térmica en 50%
- Reduciendo 50% la relación de acristalamiento en la envolvente del edificio, obtenemos un ahorro de energía por climatización de 5%.
- Acristalamiento preferiblemente por la fachada norte del edificio

#### Estrategias de orientación del edificio

- Fachada de mayor área con orientación norte
- Zonas térmicas que exigen mayor confort hacia la fachada norte
- Orientación de la cubierta hacia el norte reduce en un 40% su OTTV
- Alta compacidad

#### Estrategias de sombreado en la envolvente

- Uso de sistemas pasivos de sombra reducen 0,4% el consumo de energía por climatización

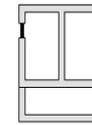
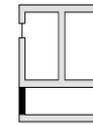
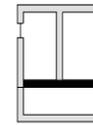
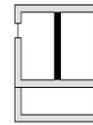
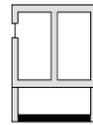
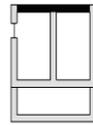
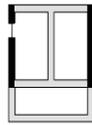
## 5. CONCLUSIONES

- Los parámetros de mayor impacto en el consumo de energía de un edificio de hospital son los mostrados en la *Tabla*, siendo los más relevantes lo de la transmitancia térmica y la conductividad térmica del material de la envolvente y son los tenidos en cuenta en los códigos de construcción de otros países para regular la demanda térmica en edificaciones.

Parámetros Físico-Ambientales	Parámetros de Diseño	
Ubicación del edificio	Propiedades termo-físicas de materiales	Transmitancia Térmica
Temperatura exterior del edificio		Conductividad térmica
		Resistencia térmica
Radiación solar		Densidad
Dirección y velocidad del viento		Calor específico
		Absortancia solar
	Espesor del material	
	Relación de acristalamiento	

## 5. CONCLUSIONES

- En la configuración de envolvente recomendada se establecieron los valores límites de transmitancia térmica y OTTV, para regular la ganancia externa de calor de un edificio de hospital en la ciudad de Barranquilla, y esta debe presentar valores de transmitancia térmica de 0,717 W/m<sup>2</sup>K en la fachada y 0,89 W/m<sup>2</sup>K en la cubierta y valores de OTTV entre 9,8 y 15,7 W/m<sup>2</sup> en la fachada y de 38,8 W/m<sup>2</sup> en la cubierta inclinada hacia el norte.



FACHADA				CUBIERTA			SUELO CIMENTO	PARED INTERNA	SUELO INTERNO _ TECHO INTERNO	PARED CIMENTO	VENTANA	
Configuración (medida en mm)	Transmitancia Térmica w/m <sup>2</sup> k	OTTV w/m <sup>2</sup>		Configuración (medida en mm)	Transmitancia Térmica w/m <sup>2</sup> k	OTTV w/m <sup>2</sup>		Configuración (medida en mm)	Configuración (medida en mm)	Configuración (medida en mm)	Configuración (medida en mm)	
		Pared Norte	Pared Sur			Plana	Inclinada					
	0,717	9,8	13		0,89	66	38,8					



## 5. CONCLUSIONES

Actualmente la envolvente utilizada en los edificios de la ciudad de Barranquilla presenta una transmitancia térmica alta, de aproximadamente  $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , que no cumple con los valores mínimos establecidos para la tipología estudiada en Barranquilla, afectando considerablemente el consumo de energía en la edificación.

- Las medidas de ahorro energético asociadas al diseño constructivo de la envolvente de un hospital están relacionadas con:

Las propiedades termo físicas de los materiales de la envolvente

El acristalamiento del edificio

La orientación del edificio

El sombreado del edificio

Estas medidas recomiendan el uso de materiales aislantes por la parte externa de la envolvente incluyendo lana mineral de 30 mm de espesor, lo cual reducen hasta en un 60% la ganancia externa de calor a través de las paredes y suministran hasta un 18% de ahorro de energía eléctrica por climatización y un 6% de ahorro en el consumo total.



## 6. RECOMENDACIONES

- a. La metodología propuesta puede utilizarse para evaluar la influencia de otros factores que afectan el consumo energético en un edificio como puede ser: la iluminación y los equipos de climatización.
- b. Realizar el estudio desarrollado con la inclusión de edificios de otro uso como puede ser del sector hotelero o comercial.