

Informe Final sobre Investigación de Análisis comparativo de dos técnicas para el transporte vertical de la luz natural

**Documento N° 2
Aspectos Técnicos y Administrativos**

Investigación realizada por:

Mg. Gerardo Ramírez González¹, Ma. Sebastián Orozco Muñoz²

¹Máster Ingeniero, profesor a tiempo indefinido y director de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo.
Investigador principal

²Máster Arquitecto, profesor a tiempo indefinido de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Investigador
secundario

Diciembre, 2015

DOCUMENTO 2

1. Datos generales

1. Código del Proyecto: **5402-1412-0601**
2. Nombre del proyecto: “**Análisis comparativo de dos técnicas para el transporte vertical de la luz natural**”
3. Escuela responsable: Escuela de Arquitectura y Urbanismo
4. Otras escuelas participantes: Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, de Ingeniería Electrónica por medio de la Carrera de Mecatrónica
5. Investigador coordinador: Mg. Ing. Civil Gerardo Ramírez González
6. Investigadores colaboradores: Ma. Arq. Sebastian Orozco Muñoz
7. Período de ejecución: Dos año y medio

2. Cumplimiento de objetivos

CUADRO DE LOGRO DE OBJETIVOS Y ACTIVIDADES: Todos los objetivos se cumplieron lográndose la meta de generar un instrumento que ayude en la práctica cotidiana del arquitecto a diseñar espacios para lograr un aprovechamiento óptimo de la iluminación de edificaciones, sin caer en niveles de discomfort por aspectos térmicos.

Objetivo general: Establecer, mediante el análisis comparativo, las relaciones básicas de dimensionamiento vs efectividad, entre dos técnicas de transporte vertical de la iluminación natural: Los patios de luz; y Los Sistemas de Iluminación Natural a través de Fibra Óptica (SINFOS)					
Objetivo específico	Actividades	Productos esperados	Fecha propuesta de cumplimiento	% avance	Comentarios
OBJETIVO 1: Diseñar e instalar un sistema de monitorización y almacenamiento de datos, para medir la efectividad de las distintas alternativas a analizar dentro del edificio SJ-2 del Centro Académico de San José.	Investigar acerca de proveedores y equipos disponibles a nivel nacional. Cotizar y adquirir los equipos necesarios. Configurar el sistema según los requerimientos del análisis, y afinar la interacción de todos los componentes.	Sistema físico de medición fotométrica compuesto por 1 luxómetro digital, 8 sensores independientes, 1 recopilador de datos (Datalogger), y 1 estación de trabajo computacional.	Finalizado	Porcentaje de Avance: 100%	
OBJETIVO 2: Evaluar el rendimiento lumínico real del actual sistema de patio de luz presente en el edificio SJ-2, a lo largo de 1 periodo semestral.	Descarga y tabulación semanal de las lecturas almacenadas en el Datalogger, Generación de análisis estadístico final de las lecturas obtenidas. Asociación de valores obtenidos con la posición solar específica. Determinación de	182 Tablas de registro de lecturas diarias. Compilación de gráficos diarios de luminancia obtenida por el sistema de medición. Rango de valores promedio, pico, y desviación estándar de las lecturas.	Finalizado	Porcentaje de Avance: 100%	

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA - VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
 San José, Costa Rica

<p>OBJETIVO 3: Extrapolar los resultados obtenidos en el objetivo anterior sobre un modelo de simulación computacional, para predecir el rendimiento del sistema bajo diferentes variaciones de dimensionamiento, y así obtener una relación matemática clara y precisa entre las variables.</p>	<p>patrones y tendencias</p> <p>Modelado en 3D del caso de estudio original, así como múltiples variaciones modulares. Desarrollo de simulaciones fotométricas mediante los programas de Análisis Radiance y Daysim, con base en la interface gráfica de Autodesk Ecotect. Recopilación y análisis matemático de todos los resultados obtenidos</p>	<p>Múltiples modelos virtuales de análisis con variaciones modulares de dimensionamiento. Ilustraciones gráficas de los criterios de análisis específicos (DF, Luminancia, DAF). Tabla de correlación entre dimensiones y efectividad lumínica.</p>	<p>Finalizado</p>	<p>Porcentaje de Avance: 100%</p>	
<p>OBJETIVO 4: Diseñar y construir un SINFO, e instalarlo en el tercer nivel del edificio SJ-2, con conexión directa a la cubierta del mismo.</p>	<p>Diseño del sistema con base en los condicionantes arquitectónicos del edificio SJ-3. Adquisición de todos los componentes auxiliares necesarios para la instalación.</p>	<p>Sistema integrado de Iluminación Natural a través de Fibra Óptica, instalado entre el auditorio del primer nivel, y la cubierta del edificio SJ-3. Equipo diseñado y construido con la ayuda de las Escuelas de Diseño Industrial, Ciencia e Ingeniería en Materiales, Electrónica por medio de la Carrera de Mecatrónica</p>	<p>Finalizado</p>	<p>Porcentaje de Avance: 100%</p>	<p>El proceso de construcción del SINFO sufrió múltiples atrasos, a causa de la espera excesiva de los componentes provenientes del extranjero. La responsabilidad de estas adquisiciones es estrictamente de la oficina de aprovisionamiento.</p>
<p>OBJETIVO 5: Evaluar el rendimiento lumínico real del SINFO mencionado en el objetivo anterior lo largo de 1 periodo semestral.</p>	<p>Descarga y tabulación semanal de las lecturas almacenadas en el Datalogger, Generación de análisis estadístico final de las lecturas obtenidas. Asociación de valores obtenidos con la posición</p>	<p>182 Tablas de registro de lecturas diarias. Compilación de gráficos diarios de luminancia obtenida por el sistema de medición. Rango de valores promedio, pico, y desviación estándar de las</p>	<p>1 de Abril 2015</p>	<p>Porcentaje de Avance: 100%</p>	

		solar específica. Determinación de patrones y tendencias.	lecturas.			
OBJETIVO 6: Comparar el rendimiento obtenido del SINFO, con la extrapolación simulada, mencionada en el objetivo 3, sobre una matriz de análisis cuantitativo, generando las tablas para el dimensionamiento.		Con base a la comparación del rendimiento del SINFO con la extrapolación simulada generar gráficos que permitan el dimensionamiento de los lucernarios.	Instrumento para la aplicación al dimensionamiento arquitectónico de los lucernarios: gráficos según orientación y profundidad del nivel externo hasta el nivel de fondo.	30 de Setiembre 2015	Porcentaje de Avance: 100%	En comparación con los objetivos del Plan de Acción, a este objetivo se le incluyó, por considerarse razonable, los gráficos que servirían para el dimensionamiento de los espacios de iluminación conocidos como lucernarios y por lo tanto se eliminó el objetivo 7. Inclusive en relación el título de la presente investigación que define el alcance, permite dejar para un futuro proyecto de investigación la elaboración de una Guía como tal, pues de momento con los gráficos se considera suficiente.

3. Cumplimiento del plan de difusión

Al concluirse el período de la investigación se contempla divulgarlo entre los profesores de algunos curso como Sistemas Espaciales y Ambientales I y II, los cuales cubren de manera directa la temática de sostenibilidad ambiental y diseño bioclimático y en los cursos de Laboratorio de los niveles superiores VII, IX y X, para su aplicación en los casos pertinentes y recibir la retroalimentación de observaciones que enriquezcan el proceso.

Finalmente, una vez que el Informe de la Investigación, sea aprobado, se tiene pensado compartir este material, con el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), y con la Comisión de Construcción Sostenible del CFIA para su consideración dentro del proceso de redacción del futuro código de gestión energética de la edificación en Costa Rica.

De igual manera, se pretende lograr un alto nivel de exposición a través de múltiples canales como:

- Presentación y exposición de la investigación y la Guía, dentro del ciclo de conferencias de la *Maestría en Arquitectura Tropical* del Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica UCR.
- Gestionar la publicación en la Revista Tecnología en Marcha, de la Editorial Tecnológica de Costa Rica, así como en la RevistArquis revista oficial de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica, que se encuentra indexada en UCRIndex y en LATINDEX.
- Aplicación formal para la publicación del Artículo en la revista ARKHITEKTON de Costa Rica, y llegar de una forma más amplia al gremio de arquitectos.

4. Participación Estudiantil:

Para el periodo 2013, los estudiantes que participaron en el proyecto fueron:

Nombre de obra	Tipo de obra (Tesis o Práctica)	Autores
Diseño del colector solar primario, con base en las características específicas de la cubierta del edificio SJ2	Proyecto final de graduación	Melvin Camacho y Andrés Montero
Diseño del sistema de reflexión y proyección lumínica dentro de las lámparas solares. (Luminarias)	Proyecto final de graduación	Melvin Camacho y Andrés Montero
Diseño de las carcasas y soportes de las lámparas solares, con base en los cielos suspendidos del edificio SJ2	Proyecto final de graduación	Melvin Camacho y Andrés Montero
Cantidad de estudiantes asistentes	2	

Para el periodo 2014, los estudiantes que participaron en el proyecto fueron:

Nombre de obra	Tipo de obra(Tesis o Práctica)	Autores
Diseño del sistema de rastreo de la trayectoria solar para ser acoplado con el colector primario.	Diseño mecatrónico	Pablo Cesar Rodríguez Vargas y Kevin Rodríguez Baltodano
Redacción del código de programación, y la interfaz gráfica	Programación computacional	Pablo Cesar Rodríguez Vargas y Kevin

de usuario (GUI), para el control del movimiento bajo el sistema de rastreo.		Rodríguez Baltodano
Cantidad de estudiantes asistentes	2	

Para el periodo 2015, no hubo participación de ningún estudiante de la institución.

Se deja constancia de la participación de los siguientes profesores: Mario González de la Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial, José Luis León de la Escuela de Ciencias e Ingeniería en Materiales y Arys Carrasquilla de la Escuela de Ingeniería Electrónica, específicamente del Área de la Carrera de Mecatrónica, a lo largo del desarrollo del proyecto.

5. Ejecución Presupuestaria:

El costo fundamental de este proyecto corresponde al concepto de adquisición de equipos y materiales tanto para la labor de monitorización e interpretación de lecturas, así como los componentes para construir el sistema de iluminación natural a través de fibra óptica (SINFO). Una pequeña partida adicional sería destinada a papelería para la producción de recopilaciones parciales e informes.

El monto ejecutado corresponde a 3.600.000 colones, el cual equivale a un 70% de los 5.250.000 colones solicitados inicialmente. En razón de los atrasos en la llegada de equipos y materiales, lo cual a su vez atraso el proceso de mediciones, incidió en el vencimiento de plazos para modificaciones presupuestarias y aplicación de más recursos para la finalización del proyecto.

La implicación directa de esta realidad, es la cobertura de costos adicionales por parte de los investigadores responsables, en aras de una finalización exitosa del proyecto.

6. Limitaciones y problemas encontrados

Como en todo proceso hay situaciones que surgen y que afectan lo programado. En este caso el hecho de aumentar los precios que se habían previsto para el SINFO, obligó a modificar lo planificado y optar por fabricar dicho aparato. Para lograr este fin se tuvo que coordinar con varias escuelas, como la de Diseño Industrial, Ciencia e Ingeniería de los Materiales y Electrónica por medio de la carrera de Mecatrónica, lo cual exigió los trámites correspondientes y el tiempo correspondiente. Una vez superados los problemas de índole administrativa vino el proceso de adquisición de equipos para el ensamblaje del SINFO, lo cual afectó

de nuevo la programación por los trámites administrativos y coordinación presupuestaria para las solicitudes de bienes.

Entre algunos problemas mencionables pero que se subsanaron, se encuentran, errores de diseño de los componentes eléctricos programables (Arduinos y controladores), y algunos inconvenientes durante el montaje del SINFO en la cubierta del edificio SJ-2, así como las erupciones del volcán Turrialba, que afectaron durante la fase final de las mediciones.

7. Observaciones generales y recomendaciones

No hay duda que este tipo de trabajos generan una gran experiencia en el manejo de todas las etapas por la que se debe transitar, una vez que una investigación es aprobada. Para nuestro caso, era la primera vez, por lo que en ciertos momentos fue difícil, pero el entusiasmo y empeño que todo el equipo puso, hizo que se alcanzaran los objetivos y lo que en principio fue una dificultad al tener que fabricar el equipo SINFO, se volvió una oportunidad, no sólo en nuestro caso, sino para que otros equipos de las escuelas involucradas vislumbraran múltiples usos al equipo fabricado.

Este trabajo podría decirse que es una investigación de ciencia aplicada, que para el caso de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo cobra un alto grado de significación, por ser una herramienta muy útil en los cursos de diseño. De tal forma, que la asignación de recursos por parte de la VIE a este tipo de trabajos y para escuelas en situación similar, ayudan a consolidar la cultura de la investigación en ellas y la aplicación en los procesos de la docencia.

Es importante, el acompañamiento por parte de los oficiales de la Dirección de Proyectos, en los casos como el presente, en donde surge la necesidad de conformar equipos, que involucren otras escuelas, por el tiempo de tramitación que ello requiere.