

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 7 • Número 1 • Junio 2025 • Publicación semestral



**ANÁLISIS DE
VIABILIDAD TÉCNICA
PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE
TÚNELES SOLARES:
CASO SUPERMERCADO
SANTA MARÍA EN
SANGOLQUI.**

Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

Análisis de viabilidad técnica para la implementación de túneles solares: caso supermercado Santa María en Sangolquí.

Nayeli Cristina Cajilema Chanchicocha ¹, Dayana Alexandra Tasiguano Imba ², Omar Fernando
Sánchez Olmedo ³[0000-0001-5280-4412]

¹ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: nccalijelamachanchicocha@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: datasiguanoimba@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: osanchez@istct.edu.ec

Recibido: 05/04/2025

Aceptado: 05/06/2025

Publicado: 30/06/2025

RESUMEN

Este trabajo analizó la factibilidad técnica de instalar túneles solares en el Centro Comercial Santa María, ubicado en Sangolquí. El objetivo principal fue estudiar el impacto ambiental de esta tecnología, enfocándose en su capacidad para reducir tanto el consumo de energía eléctrica como las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo, realizando mediciones de iluminación en 20 puntos clave, los cuales se clasificaron en diferentes categorías para calcular promedios de los niveles de luz en distintos momentos del día. Los hallazgos mostraron que la utilización de túneles solares podría disminuir significativamente el uso de energía artificial y las emisiones contaminantes. Esta tecnología se presenta como una alternativa eficiente para optimizar el consumo energético y contribuir al cuidado del medio ambiente al reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables. Sin embargo, a pesar de los beneficios en términos de ahorro energético, se determinó que el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial es demasiado prolongado, lo que hace que el proyecto no sea viable en las condiciones actuales. También se analizaron los beneficios ambientales de esta solución, considerando los costos iniciales y los ahorros a largo plazo.

Palabras clave: Túneles solares, impacto ambiental, consumo de energía, eficiencia energética, viabilidad técnica.

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

ABSTRACT

This study analyzed the technical feasibility of installing solar tunnels at the Santa María Shopping Center, located in Sangolquí. The main objective was to study the environmental impact of this technology, focusing on its ability to reduce both electricity consumption and greenhouse gas emissions. To achieve this, a quantitative approach was adopted, conducting lighting measurements at 20 key points, which were classified into different categories to calculate average light levels at various times of the day. The findings showed that the use of solar tunnels could significantly reduce artificial energy consumption and pollutant emissions. This technology is presented as an efficient alternative to optimize energy consumption and contribute to environmental care by reducing dependence on non-renewable energy sources. However, despite the benefits in terms of energy savings, it was determined that the time required to recover the initial investment is too long, making the project unfeasible under current conditions. The environmental benefits of this solution were also analyzed, considering the initial costs and long-term savings.

Index terms: Solar tunnels, environmental impact, energy consumption, energy efficiency, technical feasibility.

1. INTRODUCCIÓN.

Este estudio tiene como objetivo principal analizar la factibilidad técnica de instalar túneles solares en el Centro Comercial Santa María, ubicado en Sangolquí. Debido al elevado flujo de personas que recibe este centro comercial, se considera una oportunidad ideal para implementar estrategias innovadoras que mejoren tanto la eficiencia energética como el confort de los visitantes.

El uso de túneles solares permite reducir el consumo de energía eléctrica al disminuir el uso de sistemas de iluminación artificial. Además, al apagar las luces eléctricas, se genera menos calor en el interior de los edificios, lo que reduce la necesidad de utilizar sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, optimizando así el gasto energético (Solatube, 2024).

Un túnel solar es un dispositivo diseñado para captar la luz natural del sol y llevarla a espacios interiores, proporcionando iluminación sin necesidad de electricidad. Este sistema está compuesto por un captador que recoge la luz solar, un tubo reflectante que la conduce y un difusor que la distribuye de manera uniforme en el interior, lo que lo convierte en una solución sostenible y eficiente para iluminar áreas oscuras o de difícil acceso para la luz natural (Doinglight, 2024).

Para cumplir con este propósito, se llevará a cabo un análisis detallado de las características técnicas de los túneles solares, su funcionamiento, los requisitos de instalación y los posibles beneficios para el centro comercial. Asimismo, se considerarán factores como el contexto local, las condiciones climáticas y la normativa vigente para evaluar la viabilidad de su implementación.

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

En el ámbito de la agricultura vertical, los túneles solares desempeñan un papel crucial al reducir la dependencia de la iluminación artificial y aumentar la eficiencia en la producción de alimentos. Por ejemplo, empresas como Plantagon en Suecia han liderado iniciativas sostenibles que maximizan el rendimiento agrícola utilizando luz natural, promoviendo un enfoque más respetuoso con el medio ambiente. Además, la luz natural es fundamental para los ciclos reproductivos y el bienestar general de los animales (Doinglight, 2024).

La energía solar, como fuente renovable y limpia, se mide en términos de radiación solar directa, expresada en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Este indicador determina la cantidad de electricidad que puede generarse mediante un sistema fotovoltaico: cuanto mayor sea la radiación solar directa, mayor será la producción de energía eléctrica (Factorenergia, 2023).

El diseño y desarrollo sostenible ha motivado a arquitectos, diseñadores y constructores a crear espacios de alto rendimiento que minimicen el impacto ambiental y mejoren la calidad de vida de las personas. Los sistemas de iluminación natural tubular, como Solatube, son una alternativa rentable, eficiente y ecológica para iluminar espacios interiores sin consumo de energía y con un mantenimiento mínimo. Además, gracias a su excelente eficiencia térmica, las pérdidas de calor durante el invierno son mínimas, lo que ayuda a mantener temperaturas interiores agradables y reduce la necesidad de calefacción (Solatube, 2024).

La implementación de túneles solares no solo mejora la eficiencia energética, sino que también contribuye a reducir las emisiones de carbono asociadas al uso de energía eléctrica generada por combustibles fósiles. Según estudios recientes, los sistemas de iluminación natural pueden disminuir hasta un 30% el consumo eléctrico en edificios comerciales al aprovechar al máximo la luz solar disponible durante el día. Esto no solo representa un ahorro económico significativo, sino que también promueve prácticas más sostenibles en el sector de la construcción y el diseño de interiores (EnergySage, 2023).

Además, los túneles solares tienen un impacto positivo en la salud y el bienestar de las personas. La exposición a la luz natural está vinculada con una mayor productividad, mejor estado de ánimo y una regulación más eficiente del ciclo circadiano. En espacios comerciales, esto se traduce en una experiencia más agradable para los visitantes y un ambiente laboral más saludable para los empleados. Estudios han demostrado que las áreas iluminadas con luz natural generan un entorno más acogedor y atractivo, lo que puede influir en el comportamiento de los consumidores y en el tiempo que permanecen en el lugar (GreenBuildingAdvisor, 2022).

Los resultados de esta investigación proporcionarán una base sólida para desarrollar una propuesta técnica bien fundamentada para la instalación de túneles solares en el Centro Comercial Santa María. De esta manera, se busca impulsar soluciones sostenibles en el sector comercial, promoviendo un uso más eficiente de los recursos energéticos y mejorando la experiencia de los usuarios.

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

2.1. Materiales

Para llevar a cabo este estudio, se utilizaron los materiales especificados en la Tabla 1, los cuales fueron fundamentales tanto para el diseño de los planos de distribución de los túneles solares como para la interpretación y análisis de los datos obtenidos.

Tabla 1

Equipos y materiales empleados en el trabajo investigativo.

Ítems	Descripción	Especificaciones
1	Luxómetro	Rango de medición: 0-200,000 lux; precisión $\pm 5\%$.
2	Software CAD	Funciones de dibujo 2D/3D.
4	Atlas Solar	Datos de irradiación para el año 2024.
5	Planos de arquitectónicos	Planos en formato PDF, escala 1:100.
6	Características túnel solar	330 DC -OS
7	Software de diseño de iluminación	Diseño iluminación

Es importante destacar que la tabla presenta una descripción detallada de los materiales y herramientas necesarios para llevar a cabo el análisis técnico. En ella se incluyen equipos de medición, software especializado para diseño y simulación, así como documentación relevante. Cada uno de estos elementos desempeña un papel esencial para asegurar una evaluación precisa y efectiva, respaldando tanto el desarrollo como la implementación adecuada de las soluciones planteadas.

2.2. MÉTODOS

La investigación se desarrolló siguiendo un enfoque metodológico estructurado en varias fases, diseñado para asegurar un análisis integral y detallado de la viabilidad de los túneles solares.

Datos iniciales

Datos generales de Sangolquí.

En la tabla 2 se resumen las características generales del cantón Rumiñahui-Sangolquí.

Tabla 2

Datos generales de Sangolquí.

Aspecto	Detalle
Ubicación	Provincia de Pichincha, sureste de Quito, Ecuador
Ciudad principal	San Juan Bautista de Sangolquí
Extensión	137.2 km ²
Clima	Cálido y templado
Temperatura promedio anual	15 °C
Temperatura máxima en días soleados	23 °C

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

Estaciones	Verano (junio a septiembre), Invierno (octubre a mayo)
Población total (2022)	102,863 habitantes
Población urbana	96,647 habitantes
Población rural	6,216 habitantes

Nota. Los datos fueron obtenidos del Cantón Rumiñahui (2021) y del censo poblacional del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022).

Datos climáticos de Sangolquí.

La recopilación de datos desempeñará un papel fundamental en la evaluación de la disponibilidad y el aprovechamiento del potencial de los recursos renovables en los sistemas de energía solar, con un enfoque particular en la radiación solar. Cabe destacar que la información utilizada proviene de dos fuentes meteorológicas diferentes: el Atlas Solar y MeteoBlue.

Figura 1

Mapa Radiación solar en Sangolquí.



Nota: El mapa muestra la distribución de la radiación solar en la región de Sangolquí. La información sobre la irradiancia ha sido obtenida del Atlas Solar Mundial de 2024. Las áreas sombreadas representan diferentes niveles de radiación solar, lo cual es clave para analizar la factibilidad de implementar túneles solares en esta localidad.

En la tabla 3 se presentan los datos recopilados sobre la radiación solar, según el Atlas Solar Mundial. Este atlas ha sido elaborado por Solargis bajo un contrato con el Banco Mundial, utilizando una base de datos de recursos solares de su propiedad (Atlas Solar Global, 2024).

Tabla 3

Irradiancia solar anual 2024 en Sangolquí

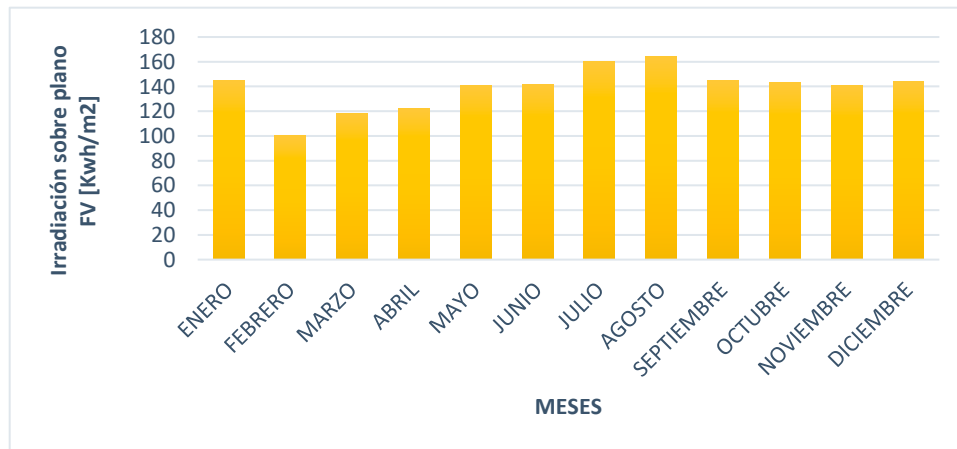
Tipos	Promedios Irradiación solar [kWh/m ²]
Irradiación normal directa	1709.5
Irradiación horizontal global	2012.1
Irradiación horizontal difusa	825.0
Irradiación global inclinada en un ángulo óptimo	2015.0

Nota: Los datos relacionados con la cantidad de luz solar anual en Sangolquí, provienen del Atlas Solar Mundial de 2024.

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

Figura 2

Estimación de radiación en el 2024



Nota: Esta figura representa la exposición directa al sol en el Centro Comercial Santa María, ubicado en Sangolquí, a lo largo del año 2024. Los datos reflejan la cantidad de radiación solar que impacta de manera directa en superficies verticales en esta área específica. Fuente: Atlas Solar Mundial, 2024.

Intensidad lumínica en el Supermercado Santa María

Se llevaron a cabo tres mediciones de la iluminación artificial y natural en 20 puntos estratégicos del supermercado Santa María utilizando un luxómetro a lo largo del área disponible (2.774,12 m²). Estas ubicaciones se clasificaron por categorías. Las mediciones se realizaron en diferentes momentos del día: mañana, mediodía y noche. Los datos recopilados se utilizaron para presentar los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 4.

Niveles de iluminación artificial y natural promedio en diferentes áreas del centro comercial.

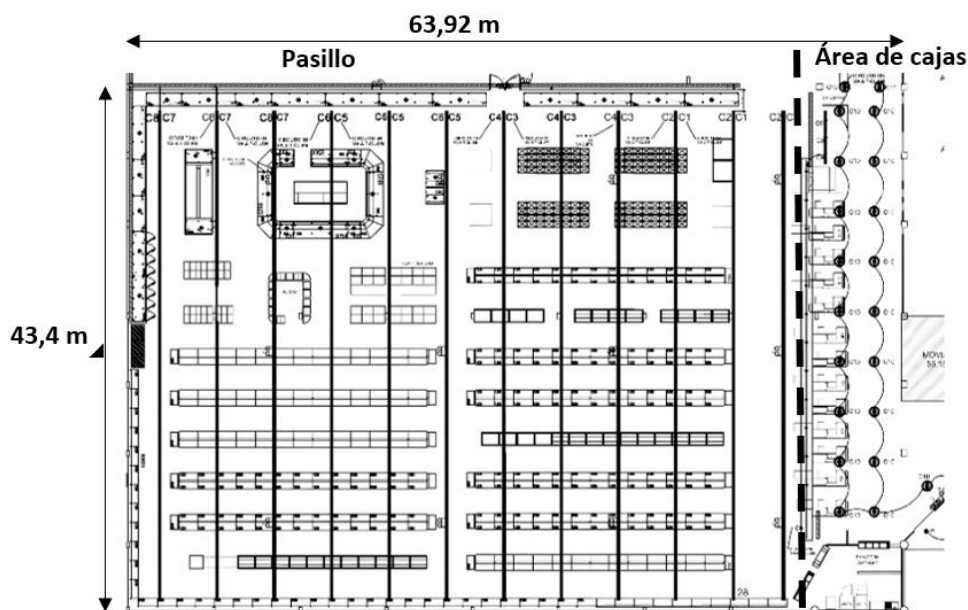
Zona	Mañana (lx)	Mediodía (lx)	Noche (lx)
Zonas de Acceso y Tránsito	616	694	417
Zonas de Atención al Cliente	578	439	393
zonas de Alimentos y Bebidas	578	403	397
Zonas de Productos de Uso Diario	500	410	381

Consumo de energía

El supermercado dispone de luminarias led instaladas en la siguiente distribución:

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

Figura 3.
Plano de Iluminación actual



Nota: Las luminarias tipo tira LED (C1 al C8) se han colocado en áreas como pasillos y zonas de tránsito. Las luminarias tipo campana están ubicadas en las áreas de cajas, donde se necesita una iluminación focalizada y eficiente para asegurar una visibilidad óptima y comodidad tanto para los clientes como para el personal. Todos estos datos se obtuvieron de los planos eléctricos y arquitectónicos disponibles.

Tabla 5

Especificaciones de luminarias existentes.

Tipo de luminaria	Luminaria sobrepuesta abierta 120cm con tubo led	Luminaria tipo campana acrílica
Cantidad de luminarias	336	21
Potencia	50 w	100w
Horas al día / mensual	12 horas/30días	12 horas/30días

Nota: La tabla presenta las especificaciones de las luminarias actualmente en uso en el centro comercial, incluyendo el tipo de luminaria, la cantidad instalada, su potencia en vatios, y el tiempo de funcionamiento diario y mensual.

El costo del mantenimiento trimestral de las 357 luminarias instaladas asciende a \$111,25, considerando un costo de \$1,25 por lámpara y que cada trimestre se realiza el mantenimiento del 25% del total. En este sentido, el costo anual de mantenimiento de las luminarias actuales es de \$445, según los datos proporcionados en el plan financiero de mantenimiento de la empresa.

Energía de consumo del sistema de iluminación actual y costo

Se realizó el cálculo de kilovatios-hora (kWh) y del valor de la factura eléctrica para analizar el costo asociado al consumo de energía destinado a la iluminación. Este análisis es esencial para obtener una estimación precisa del gasto, ya que permitió identificar la proporción de este

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolqui.

consumo en el total de la factura eléctrica mensual y anual.

$$\text{Consumo kwh} = \frac{P \times NL \times T}{1000} \quad (1)$$

Donde:

P: Potencia activa en w.

NL: número de luminaria.

T: Tiempo en horas.

1000: Factor de conversión para convertir de vatios-hora (Wh) a kilovatios-hora (kWh).

$$\text{Calculo 1} = \frac{(100w * 21) * 12h * 30d}{1000} = 756kwh$$

$$\text{Calculo 2} = \frac{(50w * 336) * 12h * 30d}{1000} = 6048kwh$$

$$\text{Consumo mensual total (CM)} = 756 Kwh + 6048Kwh = 6804kwh$$

$$CM = CT (kWh) * \text{Costo por kWh} \quad (2)$$

$$CM = 6804 Kwh * 0,10 \frac{USD}{kwh} = 680,40 USD$$

$$\text{Consumo anual} = 6.804kwh * 12 = 81.648 kwh$$

$$\text{Costal anual} = 81.648kwh * 0,10 = 8.164,80 USD$$

Características de los túneles solares disponibles en Ecuador

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas del túnel solar, incluyendo su capacidad de captación, dimensiones, eficiencia lumínica y materiales, con el objetivo de evaluar su rendimiento y su contribución al ahorro energético.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del túnel solar

Modelo	330 DC OS
Diámetro	21" (53cms)
Intensidad lumínica	De 13,900 a 20,800lm
Área recomendada	+/-50m2
Recorrido máximo recomendado	15m

Además, es importante resaltar el diseño estructural de los túneles solares, presentados en la figura 4. Este sistema utiliza una combinación de domos, tubos reflectantes y difusores para capturar la luz solar desde el exterior y llevarla al interior del edificio (Solatube,2024).

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolqui.

Figura 4

Túnel solar 330 DC OS



2.2.1. Marco regulatorio

En Ecuador, la iluminación de los supermercados debe ajustarse a los estándares establecidos por normativas técnicas, como la NTE INEN 1 154, que regula los requerimientos de iluminación para distintos tipos de espacios. En este contexto, los niveles recomendados de iluminación pueden variar dependiendo de la zona y la actividad realizada en cada área.

A continuación, se especifican los niveles de iluminación sugeridos para diversas áreas en un entorno comercial:

- Iluminación general: entre 300 y 600 lux.
- Escaparates exteriores: de 1000 a 3000 lux.
- Escaparates interiores: aproximadamente 1000 lux.
- Estanterías de productos: entre 200 y 400 lux.
- Vitrinas: de 1000 a 3000 lux.
- Mostradores y zonas de caja: entre 500 y 900 lux (según la NTE INEN 1 154).

2.2.2. Diseño de iluminación por el método lúmenes

Parámetros de diseño de la iluminación

Tabla 7

Parámetros de diseño de la iluminación

Aspecto	Especificación
Dimensiones de la sala	43,4 x 63,92 x 8 metros (ancho x profundidad x alto)
Nivel de iluminancia media	400 luxes según las normas técnicas NTE INEN 1 154
Tipo de luminaria	Túnel solar 330 DC -OS (Flujo ϕ : 17.350 lm, se calculó un promedio entre los rangos de luminosidad para obtener una estimación equilibrada del desempeño del sistema en casos desfavorables y favorables)
Altura recomendada del plano de trabajo	Entre 0,90 y 1,20 m (según la Guía Técnica de Iluminación Eficiente para el Sector Retail de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética). Se estableció un promedio de 1,20 m considerando las estanterías de 2,40 m.
Factor de mantenimiento	0,7 (aplicado por acumulación de suciedad y factores ambientales)

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

	sobre el domo del túnel solar)
Coeficientes de reflexión	Pared blanca: 0,80; Techo gris claro: 0,60; Suelo blanco: 0,70

Cálculo del número de luminarias

Para el cálculo del número de luminarias hay que considerar los siguientes aspectos:

- **Cálculo del índice del local**

El índice del local se calcula en función de las dimensiones físicas del espacio. Para ello, se emplea la fórmula que se aplica a esquemas de iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y difusa general:

$$k = \frac{a \cdot b}{(H-h) \cdot (a+b)} \quad (3)$$

Donde:

- k: Índice del local.
- a: Ancho del área en metros (m).
- b: Largo del área en metros (m).
- H: Altura total del espacio.
- h: Altura del plano o superficie de trabajo.

$$k = \frac{43,4 \cdot 63,92}{(8 - 1,20) \cdot (43,4 + 63,92)} = 3,8$$

Con el índice aproximado del local definido (k=4), se consulta la tabla de correcciones de la Norma UNE 12464-1, junto con los coeficientes de reflexión de las superficies del espacio. A partir de esto, se determina el coeficiente de utilización mediante interpolación, obteniendo un valor de Cu=1,19.

- **Cálculo del flujo luminoso total necesario**

El flujo luminoso total requerido en el espacio se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Phi T = \frac{E \cdot S}{Cu \cdot Fm} \quad (4)$$

Donde:

- ΦT : Flujo luminoso total necesario (en lúmenes).
- E: Nivel de iluminancia requerido sobre el plano de trabajo (en lux).
- S: Área total (en metros cuadrados, m²).
- Cu: Coeficiente de utilización del sistema de iluminación.
- Fm: Factor de mantenimiento o depreciación del sistema.

Sustituyendo los valores:

$$\Phi T = \frac{400 \cdot 2774,12}{1,19 \cdot 0,7} = 1\,332.110,44 \text{ lm}$$

Por lo tanto, el flujo luminoso total necesario para iluminar el centro comercial es de **1.332.110,44 lúmenes**.

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

- **Cálculo del número de luminarias necesarias**

El número de luminarias requeridas se calcula con la siguiente fórmula:

$$NL = \frac{\Phi T}{\Phi L} \quad (5)$$

Donde:

- NL: Número de luminarias necesarias.
- ΦT : Flujo luminoso total del espacio.
- ΦL : Flujo luminoso de cada luminaria.

Sustituyendo los valores:

$$NL = \frac{1332.110,44 \text{ lm}}{17.350 \text{ lm}} = 76 \text{ luminarias}$$

Por lo tanto, se requieren **76 luminarias** para iluminar el espacio.

- **Altura de las luminarias**

Para determinar la altura desde el plano de trabajo hasta las luminarias, se ajusta la altura total considerando las características del entorno. La fórmula empleada es:

$$h = \frac{4}{5} * (h - 0,85) \quad (6)$$

Sustituyendo los valores:

$$h = \frac{4}{5} * (8m - 0,85) = 5,72m$$

La altura desde el piso hasta las luminarias se calcula sumando la altura del plano de trabajo:

$$h = 5,72m + 1,20m = 6,92$$

Finalmente, la distancia entre el techo y el difusor de las luminarias se obtiene restando:

$$h = 8m - 6,92m = 1,08 m$$

Por lo tanto, las luminarias deben instalarse a **1,08 metros** del techo.

Diseño y simulación en Software

Para la simulación se considera luminarias con características similares a los túneles solares modelo 330 DS OC. Las especificaciones consideradas se detallan en la tabla 8:

Tabla 8

Tabla comparativa luminaria Molto Luce y Túnel Solar

Parámetro	Luminaria	Túnel Solar
Tipo de lámpara	LED	Natural
Flujo luminoso	3100lm	De 13,900 a 20,800 lm
Tipo de montaje	Pendular	Inclinado
Diámetro	550mm	21" (53 cm)

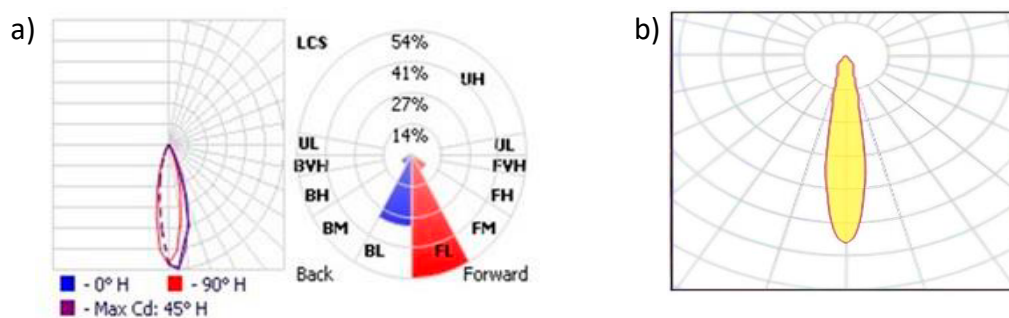
Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolqui.

Dimensiones	Longitud: 550 mm	Recorrido Max: 15 m
	Anchura: 550 mm	Área: +/-50m ²
	Altura ajustable:	
	288 mm	

Se realizó un análisis de las curvas fotométricas de ambos dispositivos, comparando las correspondientes a la lámpara y al túnel solar. Este procedimiento permitió comprender con mayor detalle cómo se distribuye la luz en el área de instalación. A continuación, se incluyen los diagramas que ilustran dichas curvas fotométricas.

Figura 5

Curva fotométrica Túnel solar 330 DC OS vs luminaria Molto Luce - MOVA M BASIC LOFT PD SUSPENSION



Nota: La figura 5 a) representa la curva fotométrica del túnel solar modelo 330 DS OC, ilustrando cómo se distribuye la luz en el área de instalación. La figura 5 b) muestra la curva fotométrica de la luminaria Molto Luce - MOVA M BASIC LOFT PD SUSPENSION, destacando su rendimiento lumínico y su contribución a la iluminación del espacio.

En resumen, los datos ingresados en el software se muestran en la tabla 9:

Tabla 9

Datos ingresados al software

Variable	Valor calculado	Unidad
Luminancia	17.350	lm
Potencia	0	w
Número de lámparas	76	lámparas
Tipo de luminaria	Molto Luce - MOVA M BASIC LOFT PD SUSPENSION	-
Altura desde el plano de trabajo hasta las luminarias	5,72	m

Nota: Los datos anteriores fueron calculados previamente para evaluar la viabilidad de la instalación de túneles solares en el centro comercial Santa María. Estos valores se ingresaron al software para generar la simulación correspondiente.

DISTRIBUCIÓN DE LOS TÚNELES

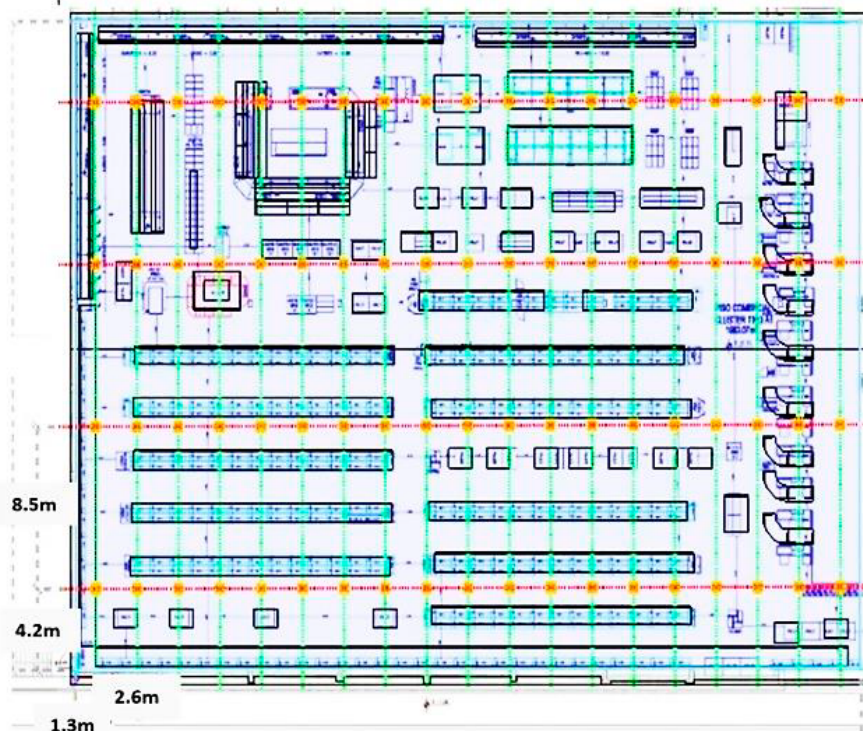
Para la simulación y diseño se realizó la siguiente distribución de las luminarias según los datos

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolqui.

mencionados en la tabla 9.

Figura 6.

Plano de la distribución de túneles solares



Nota: Este plano muestra la distribución propuesta para los túneles solares en el centro comercial. Su ubicación estratégica optimiza la captación de luz natural en el espacio. En total fueron colocadas 76 túneles solares en el simulador.

3. RESULTADOS

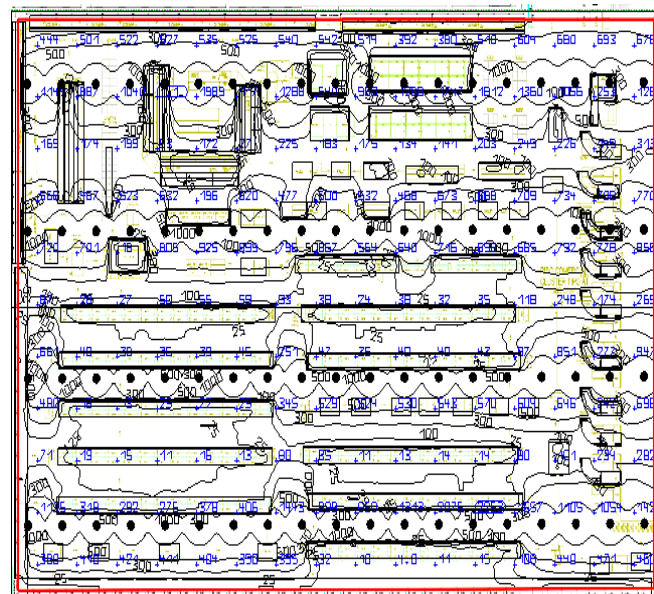
Los resultados generados por la simulación del software, a partir de los datos previamente introducidos, se emplearon para analizar la eficiencia y el rendimiento de la instalación de los túneles solares.

La simulación arroja un promedio de 611 luxes en el área del supermercado descrita, con un consumo de energía eléctrica de 0 Wh.

En el plano de la figura 7, de isolíneas de distribución de luz, se puede observar la distribución de la intensidad lumínica.

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolqui.

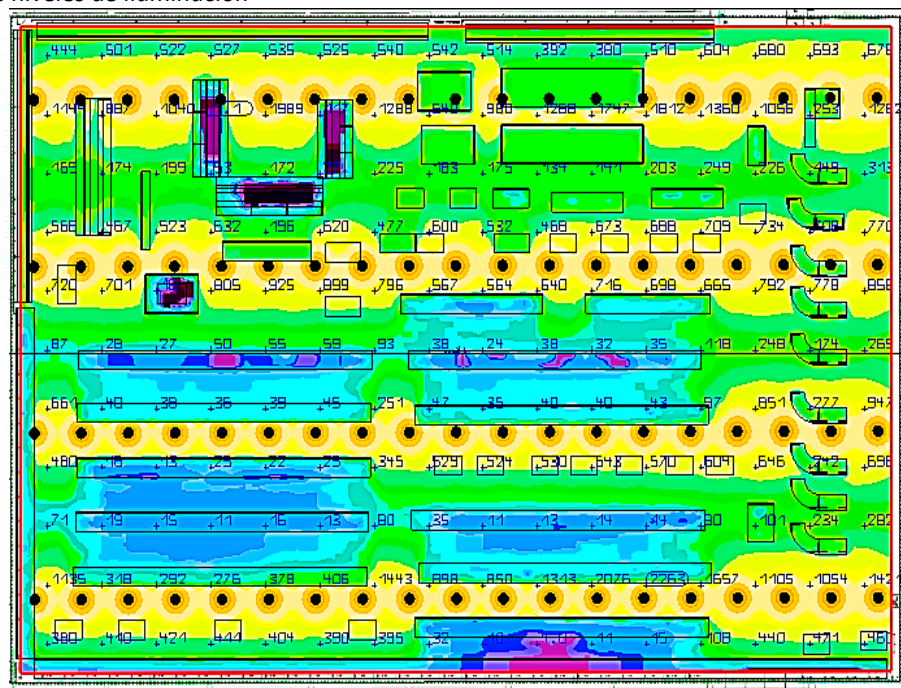
Figura 7.
Islóneas de distribución de la luz en el plano



Nota: Valores numéricos en Luxes

De igual forma se puede observar con detalle de colores en la figura 8, el plano de distribución de niveles de iluminación. Los colores permiten identificar zonas óptimas de iluminación.

Figura 8.
Distribución de niveles de iluminación



Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolqui.

3.1. Análisis financiero

Es importante tener en cuenta que el mantenimiento de los túneles solares se realiza cada seis meses e incluye principalmente la limpieza del domo exterior y del difusor, ya que son las partes más propensas a acumular suciedad.

En este sentido, el ahorro anual (AA) contempla tanto la reducción directa en el consumo de energía como la eliminación de los costos asociados al mantenimiento.

$$AA = 8164,80 \text{ USD} + 445 \text{ USD} = 8609,80 \text{ USD}$$

En la tabla 10 se presenta el desglose del costo total de la inversión para la compra e instalación de los túneles solares. En ella se detallan los precios unitarios, las cantidades y el cálculo del monto total, incluyendo los impuestos correspondientes.

Tabla 3

Costo Total de la Inversión al año 2024

Ítem	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Costo total (USD)
Túnel solar suministro domo tubular 330 DC OS	\$1.206,00	76	\$91.656,00
Instalación de túneles solares SOLATUBE	\$ 340,00	76	\$25.840,00
Subtotal	-	-	\$117.496,00
Descuento 15% Solatube			\$13.748,40
Subtotal			\$103.747,60
IVA 15%	-	-	\$15.562,14
Total	-	-	\$119.309,74

Nota: Esta tabla detalla el costo total de la inversión para la adquisición de los túneles solares. Cabe destacar que el descuento del 15% se aplica únicamente al suministro de los túneles solares, específicamente al ítem "Túnel solar suministro domo tubular 330 DC OS". Estos precios son referenciales al año 2024 del proveedor en Ecuador.

3.1.1. Tiempo de retorno de la inversión

$$PRI = \frac{I_0}{FCA} \quad (7)$$

Donde:

PRI: Período de retorno de inversión

I₀: Inversión inicial

FC: Flujo Caja Anual

El Período de Recuperación es una estimación que indica la cantidad de años necesarios para recuperar la inversión inicial de \$119.309,74. El valor de \$8609,80 corresponde al flujo de caja anual (FCA), que representa el ingreso neto esperado cada año. Este monto se utiliza en el cálculo porque, al multiplicarlo por los años de recuperación, el resultado se aproxima al total de la inversión inicial, verificando que el flujo de caja proyectado es adecuado para recuperar la inversión dentro del plazo previsto. Por lo mencionado el PRI resulta 13 años.

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolqui.

Según la norma NIIF, un proyecto se considera viable cuando su Período de Recuperación de la Inversión (PRI) es menor a 5 años, lo que lo hace atractivo. En contraste, un PRI superior a 10 años podría reflejar un nivel de riesgo más elevado.

4. DISCUSIÓN

La instalación de 76 túneles solares en el Centro Comercial Santa María ha demostrado ser una solución eficiente, alcanzando un nivel de iluminación de 611 luxes y generando un ahorro anual de \$8609,80 en las facturas de electricidad, con un período de recuperación estimado en 13 años, periodo de recuperación elevado y de alto riesgo. Un caso similar es el de la Saudi Industrial Projects Company (SIPCO), donde la instalación de 185 túneles solares modelo M74 DS permitió alcanzar niveles de iluminación de 200 luxes, un ahorro anual de 648,240 kWh y una reducción de SAR 17,011 (aproximadamente \$4,530 USD) en su factura eléctrica. Este ejemplo refuerza la efectividad de los túneles solares en la optimización del consumo energético en instalaciones de gran escala.

La incorporación de túneles solares modelo 330 DC OS demuestra ser una estrategia sostenible, comparable con la implementación realizada en Byerly's, una reconocida cadena de supermercados de lujo en Twin Cities. En este caso, la instalación de 37 túneles solares Serie M74 DS, combinados con iluminación LED, permitió optimizar el consumo energético tanto en horas diurnas como nocturnas. Esto resultó en una reducción significativa de costos a largo plazo, al tiempo que mejoró la experiencia de los clientes mediante la creación de un ambiente más atractivo y funcional. Este enfoque híbrido, que combina luz natural y artificial, resalta la importancia de integrar tecnologías complementarias para maximizar los beneficios.

En el análisis, la instalación de 76 túneles solares en un centro comercial con una superficie de 2,774.12 m² presenta resultados comparables al proyecto de Stater Bros. en Chino Hills, California. En este último, la instalación de 164 túneles solares iluminó una superficie de 43,235 pies cuadrados (aproximadamente 4,016 m²), reduciendo casi por completo la dependencia de la iluminación artificial durante las horas de luz natural. Este caso demuestra cómo los túneles solares pueden contribuir significativamente a la eficiencia energética en instalaciones comerciales de mayor escala.

Un resultado particularmente relevante es la reducción del 100% del consumo energético relacionado con la iluminación, logrado mediante la instalación de 76 túneles solares modelo 330 DC OS a una altura de 8 metros. Este hallazgo supera los resultados obtenidos en otros proyectos, como el caso de Aqua Lung, donde la instalación de 194 túneles solares modelo 330 DS-0 en un área de 60,000 pies cuadrados permitió una reducción del 33% en el consumo eléctrico. Aunque esta reducción es significativa, la experiencia analizada demuestra que, bajo condiciones óptimas, es posible eliminar por completo los costos de iluminación artificial, lo que subraya el potencial de los túneles solares como una solución energética sostenible.

En el ámbito comercial, se logró un ahorro mensual de \$680.40 mediante el uso exclusivo de túneles solares, eliminando la necesidad de iluminación artificial y optimizando el consumo energético. Estos resultados pueden compararse con el proyecto "De algas a omega" en

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolqui.

agricultura interior, donde se instalaron 8 túneles solares modelo 750 DS-O para maximizar la luz natural en tanques de 3,000 galones de profundidad. En dicho proyecto, la integración de iluminación LED específica para el crecimiento de algas permitió una operación modular, escalable, eficiente y de bajo costo. Este caso destaca cómo la combinación de tecnologías puede adaptarse a diferentes sectores, optimizando tanto la producción como el consumo energético.

5. CONCLUSIONES

Las mediciones realizadas en el Centro Comercial Santa María evidenciaron diferencias significativas en la calidad de la iluminación en distintas áreas del establecimiento, lo que refleja una alta dependencia de la luz artificial. Esta situación incrementa tanto el consumo energético como el impacto ambiental asociado al funcionamiento del centro comercial.

El análisis técnico sobre la viabilidad de instalar túneles solares en el recinto demostró una mejora considerable en la eficiencia energética. La incorporación de estos sistemas permite un aprovechamiento óptimo de la luz natural, reduciendo significativamente la necesidad de iluminación artificial y los costos asociados a su mantenimiento, estimados en 8609,80 USD anuales. Esto se traduce en una disminución sustancial de las facturas de electricidad, fortaleciendo la sostenibilidad económica del establecimiento.

La adopción de túneles solares representa un avance importante hacia la integración de energías renovables en entornos comerciales. Este sistema no solo optimiza el uso de la energía solar, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono del centro comercial, en línea con las tendencias globales de sostenibilidad. Además, la implementación de tecnologías basadas en energías renovables mejora la imagen corporativa del establecimiento, reforzando su compromiso con un futuro más sostenible.

La luz natural, además de ser eficiente, desempeña un papel clave en la creación de ambientes comerciales más atractivos y funcionales. Los túneles solares no solo proporcionan iluminación de alta calidad, sino que también mejoran la percepción del espacio por parte de los clientes, generando una experiencia de compra más agradable. Este efecto positivo puede traducirse en un incremento en la afluencia y permanencia de los consumidores, lo que potencialmente favorece el aumento de las ventas y la rentabilidad del centro comercial.

Los túneles solares son una tecnología innovadora que utiliza la luz natural para iluminar espacios interiores, reduciendo el consumo eléctrico y promoviendo la sostenibilidad. No obstante, su implementación implica una inversión inicial considerable, lo que puede limitar su adopción en determinados proyectos. Por esta razón, resulta fundamental llevar a cabo un análisis de costo-beneficio que evalúe si los ahorros energéticos a largo plazo compensan el gasto inicial. En caso de que no sea viable, sería prudente considerar otras alternativas más adecuadas para las necesidades específicas del proyecto.

REFERENCIAS

Alemán, E. I. M. (s. f.). *Cálculo del número de luminarias para un espacio arquitectónico por el*

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolqui.

- método de lúmenes*. Unidades de Apoyo para el Aprendizaje - CUAIEED - UNAM. Recuperado de <https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/099ccabb-1893-46cc-a291-897d9bc59078/contenido/index.html#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20l%C3%BAmenes%20determina,proyecto%20de%20la%20instalaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica>
- Cantón Rumiñahui. (s. f.). *Provincia de Pichincha*. Recuperado de <https://pichinchaesturismo.com/es-ec/pichincha/ruminahui/ciudades/canton-ruminahui-aqm1uegqq>
- Deloitte. (2019). *Normas Internacionales de Información Financiera - NIIF 2019: Completas*. Recuperado de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cr/Documents/audit/documentos/niif-2019/NIIF-2019-Completas.pdf>
- Doinglight. (2024, 27 agosto). *El tubo solar de luz natural | Guía práctica de uso y beneficios*. Doinglight España. Recuperado de <https://www.doinglight.es/tubo-solar/>
- Factorenergia, E. T. E. (2023, 18 mayo). *¿Qué es la radiación solar directa e indirecta? Y su importancia en la fotovoltaica*. Recuperado de <https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo-electrico/que-es-la-radiacion-solar-directa-e-indirecta-y-su-importancia-en-la-fotovoltaica/>
- González, J. (2023). *Método del Lumen* [Artículo]. ResearchGate. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/371986125_Metodo_del_Lumen
- Guerrero, J. (2018). *Estudio de viabilidad de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus de la Universidad Politécnica Salesiana* (Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana). DSpace. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10253/1/UPS-GT001344.pdf>
- Guía Técnica de Iluminación Eficiencie para el Sector Retail. (2016, febrero 16). *Issuu*. Recuperado de https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/guia_tecnica_de_iluminacion_e
- J, H. (2019). *Diez innovaciones de aparcamiento sostenible para un entorno más sostenible*. Intertraffic. Recuperado de <https://www.intertraffic.com/news/parking/ten-sustainable-parking-innovations-for-a-more-sustainable-environment>
- McCasland, M., Stater Bros. Markets, Inc., & Solatube International, Inc. (2007). *Case Study. In Stater Bros*. Recuperado de <https://solatube.com/wp-content/uploads/2019/03/case-study-retail-stater-bros.pdf>
- Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.

- Solargis. (s. f.). *Global Solar Atlas*. The World Bank Group. Recuperado de <https://globalsolaratlas.info/map?s=-0.311736,-78.460922&m=site&c=-0.32929,-78.451338,11>
- Solatube. (2024, 29 marzo). *Sustainability - Solatube*. Recuperado de <https://solatube.com/commercial/sustainability/>
- Solatube International, Inc. (2015). *Byerly's Supermarket Case Study*. Recuperado de <https://solatube.com/wp-content/uploads/2019/03/retail-byerlys-case-study.pdf>
- Solatube International, Inc. (2018). *SIPCO- Jeddah Distribution Center*. In *Solatube M74*. Recuperado de <https://solatube.com/wp-content/uploads/2019/03/Sipco Pepsico Warehouse Jeddah Saudi Arabia1.pdf>
- Solatube International, Inc. (2019). *Aqua Lung Warehouse Case Study*. Recuperado de <https://solatube.com/wp-content/uploads/2019/03/Aqua-Lung-Warehouse-Case-Study.pdf>
- Solatube International, Inc. (2019). *Industrial Case Study: Algae to Omega*. Recuperado de https://solatube.com/wp-content/uploads/2019/03/case-study-industrial-algae-to-omega_1.pdf
- Solatube International, Inc. (2020). *Solatube 330DS: Ficha técnica*. Recuperado de <https://www.solatube.com/330ds-tech-sheet.pdf>
- Túnel-Solar. (s. f.). Recuperado de <https://www.velux.lat/productos/tunel-solar>
- Universidad Técnica del Norte. (s. f.). *UNE 12464: Norma de iluminación en entornos de trabajo*. Recuperado de <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-del-norte/seguridad-industrial/03-une-12464-norma/43060881>

Cajilema, M., Tasiguano, D., & Sánchez, O. (2025). Technical feasibility analysis for the implementation of solar tunnels: case of Santa María supermarket in Sangolquí.