

CGS Grimmia

Estudio de las condiciones medioambientales en las zonas más urbanizadas del país

**Indicación del tipo de proyecto Listo
para 2026**

Categoría STEAM

**Eje temático
Plantea un problema y solución**

**Giancarlo Bonilla Vindas
Chelsea Obando Fernández
Sebastián Aguilar Mejía**

**Nombre del tutor:
Fabio Fernando Morales Fernández**

Colegio Técnico Profesional Dos Cercas

CORVEC Unidos por excelencia

Correos electrónicos:

Giancarlo Bonilla Vindas = 120520896@est.mep.go.cr
Chelsea Obando Fernández = 120500010@est.mep.go.cr
Sebastián Aguilar Mejía = 120500073@est.mep.go.cr

CGS Grimmia: Estudio de las condiciones medioambientales en las zonas más urbanizadas del país

I Resumen

El proyecto aborda el problema del estrés térmico y el alto consumo energético en casas con techos de zinc/hierro en climas tropicales. El objetivo principal es desarrollar un sistema de biopaneles modulares que utilicen el musgo *Grimmia* como aislante térmico natural y sostenible. La metodología consiste en el diseño de estructuras adaptables de resina y fibra de vidrio que albergan sustratos específicos para el crecimiento de musgo u otras especies vegetales que resisten el sol directo, aprovechando su resistencia y capacidad de absorción de agua. Las pruebas de medición de temperatura se realizan en prototipos a escala para comparar la transferencia de calor entre una lámina convencional y una equipada con el biopanel. Los resultados muestran una reducción significativa en la temperatura interna de las superficies y una mejora en la producción de oxígeno gracias a las plantas o al musgo. Se concluye que Bio-Panel es una alternativa viable y ecológica para la mitigación del calor, que promueve la eficiencia energética y la integración de soluciones biotecnológicas en la construcción civil moderna.

II Introducción

2.1 Antecedentes y delimitación del problema

El fenómeno de las Islas de Calor Urbanas (UHIs) representa uno de los desafíos medioambientales más críticos de la urbanización contemporánea. La sustitución de la cobertura vegetal natural por materiales antropogénicos de alta capacidad térmica y baja reflectancia (como el asfalto y el hormigón) altera drásticamente el balance energético superficial. Esto provoca aumentos de temperatura en los centros urbanos que superan entre 3°C y 10°C en las zonas rurales circundantes, intensificando el consumo energético para el aire acondicionado y deteriorando la salud pública.

En vista de ello, la infraestructura verde surge como una estrategia viable de mitigación; Sin embargo, los tejados y muros verdes convencionales se enfrentan a serias limitaciones mecánicas, peso estructural y altos niveles de agua que limitan su implementación masiva en edificios existentes.

2.2 Criterios técnicos de la solución (bio-paneles)

Para resolver este problema, este proyecto propone el diseño de **Biopaneles** aislantes basados en la integración sinérgica de componentes biológicos y compuestos de ingeniería:

- **Matriz estructural:** Se utiliza una matriz de resina poliéstera reforzada con fibra de vidrio (RPFV) debido a su excelente relación resistencia-peso, baja conductividad térmica inherente y resistencia a la degradación por meteorización mecánica y rayos UV.
- **Núcleo de aislamiento térmico:** La fibra de coco se incorpora debido a sus excepcionales propiedades físicas: una porosidad interna que le otorga una baja conductividad térmica ($\approx 0,048 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), actuando como barrera disipadora de calor antes de penetrar en la estructura del edificio.
- **Componente biótico superficial:** Se selecciona musgo del género *Grimmia*. A diferencia de las plantas de mayor vascular, las briófitas son **organismos poiquilohídricos**, lo que significa que carecen de mecanismos para regular activamente su contenido de agua y entran en estado de latencia (deshidratación) durante los periodos secos sin morir. Al recibir humedad, se rehidratan metabólicamente en minutos, ofreciendo enfriamiento por evaporación y capacidad de captura de carbono sin necesidad de sistemas de riego complejos ni sustratos agrícolas pesados.
- **Plantas complementarias:** Además del musgo *Grimmia*, se incorporan suculentas y otras especies vegetales con propiedades similares, debido a su capacidad para resistir condiciones de sol directo y periodos de poca humedad. Estas plantas permiten complementar el funcionamiento del musgo dentro del Bio-Panel, aportando una mayor diversidad vegetal y haciendo que el diseño sea visualmente más atractivo. Su incorporación también permite aprovechar diferentes características de las plantas para mejorar la funcionalidad y apariencia general del sistema.

2.3 Viabilidad del proyecto

El proyecto demuestra una alta **viabilidad operativa y económica** en el entorno costarricense. La fibra de coco y el musgo de *Grimmia* son recursos orgánicos de alta disponibilidad local y bajo coste de adquisición; el uso de fibra de coco valora una abundante cantidad de residuos agroindustriales en las zonas costeras del país. El proceso de fabricación seleccionado (moldeo manual por contacto o *montaje manual*) es técnicamente sencillo, reproducible y no requiere maquinaria industrial pesada ni consumo energético a gran

escala, asegurando que el coste de producción por metro cuadrado sea altamente competitivo y escalable para el mercado local de construcción sostenible.

III. Marco teórico

Para comenzar el proceso de investigación, es esencial desarrollar la definición de **confort térmico** y su relación crítica con la física de los materiales. El confort térmico, según los modelos de balance energético, es el estado en el que el cuerpo humano no necesita mecanismos de termorregulación (como la sudoración) para mantener su temperatura interna. En las regiones tropicales de Costa Rica, este equilibrio se rompe debido a la **transmitancia térmica** de los recubrimientos metálicos de zinc y hierro. Estos materiales poseen un coeficiente de conductividad térmica extremadamente alto, lo que significa que actúan como un puente directo hacia la radiación infrarroja del sol.

Una vez desarrollado este concepto, se entiende que el zinc no solo transfiere calor por conducción, sino que también se convierte en un radiador hacia el espacio habitable. Actualmente, este fenómeno se agrava por el efecto isla de calor urbana, donde el hormigón y el metal retienen energía térmica durante el día y la liberan lentamente, impidiendo el enfriamiento nocturno. Esto genera un ambiente de aire cálido e incómodo, saturado de energía térmica, lo que reduce la productividad, altera los ciclos de sueño y obliga al uso intensivo de aire acondicionado artificial, aumentando el coste de la vida y la presión sobre la red eléctrica nacional.

3.1 Biotecnología aplicada: La resiliencia del musgo *Grimmia*

Ante la ineficiencia de los materiales convencionales, la investigación adopta la teoría de **las Soluciones Basadas en la Naturaleza (NBS)**. El eje central de esta propuesta es el uso de briófitas, específicamente musgo del género *Grimmia*. A diferencia de las plantas vasculares, las briófitas carecen de xilema y floema, lo que les permite interactuar directamente con el agua y la atmósfera. La importancia científica de *Grimmia* en este proyecto se basa en tres pilares biológicos:

- **Poiquilohidria y latencia:** Es la capacidad de ajustar su contenido de agua según la humedad del entorno. En el calor extremo de un tejado de zinc, *Grimmia* entra en un estado de **criptobiosis**, suspendiendo su metabolismo hasta que vuelven las condiciones húmedas. Esto elimina la necesidad de sustratos profundos y sistemas de riego pesados.
- **Enfriamiento por evaporación (evapotranspiración):** El musgo funciona como refrigerante natural. Al retener agua en sus filidias (pequeñas hojas), utiliza el calor del entorno para evaporar ese líquido, lo que produce una caída térmica inmediata en la superficie del panel.
- **Secuestro y purificación de carbono:** Al ser una superficie fotosintéticamente activa, el biopanel no solo regula el calor, sino que también actúa como filtro de aire, capturando partículas

contaminantes y fijando CO₂, mitigando así la pesadez del aire en zonas urbanas densas.

3.2 Ingeniería de materiales compuestos: resina y fibra de vidrio

El caso de estudio de este proyecto implica la fabricación de láminas modulares utilizando un compuesto de **resina y fibra de vidrio**. En ingeniería de materiales, este polímero reforzado se selecciona por su baja conductividad térmica en comparación con los metales. Mientras que el zinc transfiere calor, la fibra de vidrio actúa como aislante dieléctrico y térmico, protegiendo el musgo del calor extremo del metal y, a su vez, impidiendo que el calor restante penetre en la vivienda.

La integración de estos componentes crea un **sistema en capas**: la capa biológica (musgo) gestiona la radiación y la humedad, mientras que la capa diseñada (resina/fibra) proporciona estructura y aislamiento conductor. Esta sinergia permite que el bio-panel sea ligero (esencial para no comprometer la estructura de los techos) y resistente a la humedad y a la radiación UV.

IV. Objetivos del proyecto

Objetivo general:

- Diseñar un prototipo de biopanel aislante térmico integrando musgo *Grimmia* y sustratos orgánicos reciclados para reducir el impacto de las islas de calor urbanas bajo parámetros de construcción sostenible.

Objetivos específicos:

1. Determinar la dosis y proporciones óptimas de resina de poliéster, fibra de vidrio y fibra de coco mediante pruebas manuales de moldeo para asegurar la resistencia estructural del panel.
2. Evalúa la eficiencia de transferencia de calor del biopanel vegetal mediante mediciones comparativas de temperatura en tiempo real para comprobar su capacidad de aislamiento frente a materiales convencionales.

V. Metodología

El proyecto CGS *Grimmia* nació de la preocupación por resolver el problema del calor extremo en aulas y hogares con techos de zinc, un factor que afecta directamente al bienestar en nuestro país. Inicialmente, pensamos en soluciones convencionales de aislamiento, pero al investigar opciones más sostenibles, descubrimos el potencial de la biotecnología.

Así fue como centramos nuestro interés en el musgo del género *Grimmia*, una planta capaz de resistir condiciones extremas de sol y sequía, lo que la convertía en la candidata ideal para un sistema de refrigeración pasiva. En el proceso de diseño, exploramos diferentes materiales para crear una estructura ligera y resistente.

Aunque consideramos usar estructuras de madera o metal, nos dimos cuenta de que la humedad necesaria para el musgo podía deteriorar la madera o corroer el metal. Por esta razón, decidimos trabajar con resina de poliéster y fibra de vidrio. Este material compuesto nos permitió moldear paneles que pueden montarse sobre láminas de zinc o reemplazar las propias láminas, asegurando durabilidad y un aislamiento térmico superior. También desarrollamos un sistema de modulación que permite que los Bio-Paneles puedan encajarse entre sí y colocarse uno encima de otro de manera organizada. Este sistema facilita la instalación del proyecto, ya que permite ampliar la superficie cubierta sin necesidad de utilizar una estructura completamente diferente para cada panel. La modulación fue diseñada tomando en cuenta las dimensiones y la forma de las piezas, permitiendo que estas puedan unirse de manera práctica y mantener una estructura estable. Con esto buscamos que el Bio-Panel sea adaptable a diferentes espacios y que su instalación pueda realizarse de forma progresiva según las necesidades del usuario.

Para la fabricación de los Bio-Paneles a escala real (1,00x1,90 cm), se calculó analíticamente que la cantidad total de matriz polimérica necesaria para la correcta impregnación de las capas de soporte y el núcleo aislante es de 3200 g de resina poliéster. La dosis del catalizador (Peróxido de metil-etil cetona - MEKP) se fijó técnicamente en un 1,5% en peso para asegurar un curado uniforme, regido por la siguiente relación matemática:

$$\text{Masa catalizadora (g)} = \text{Masa de resina (g)} \times (\% \text{ catalizador}/100)$$

Aplicando los valores netos del proyecto, el cálculo analítico determina que, para los 3200 g de resina, se requiere la adición exacta de 48 g de componente catalítico:

$$\text{Masa del catalizador} = 3200 \text{ (g)} \times (1,5/100)$$

$$\text{Masa del catalizador} = 3200 \text{ (g)} \times 0,015 = 48 \text{ (g)}$$

Este cálculo confirma que la reacción exotérmica ocurrirá de manera controlada, evitando grietas estructurales en el área total de 1,9 m² del panel y garantizando la estabilidad del prototipo. Una vez definida la estructura y sus medidas, trabajamos en la creación de los primeros prototipos. Durante esta etapa, nos enfrentamos a un gran desafío: la toxicidad de la resina líquida para los organismos vivos. Al principio, intentamos colocar el musgo poco después de hacer el panel, pero notamos que los vapores químicos afectaban su vitalidad. Gracias a esto, ajustamos el procedimiento para incluir un periodo de curado y ventilación de 48 horas, asegurándonos de que el soporte estuviera completamente inerte antes de entrar en contacto con el musgo. Para validar la eficacia de nuestra idea, implementamos una fase de experimentación utilizando un grupo de control (lámina simple de zinc) y un grupo experimental (hoja de biopanel). Durante este proceso, realizamos mediciones sistemáticas de temperatura en momentos de máxima transparencia. También aplicamos una fase de observación directa para ver cómo

reaccionaba el musgo a la transferencia de calor del metal, descubriendo que la capa de fibra de vidrio actuaba como una barrera térmica esencial que protegía a la planta del calor excesivo del zinc. Como parte de las mejoras realizadas al prototipo, desarrollamos un sistema de canasta y filtrado para controlar el recorrido del agua dentro del Bio-Panel. Este sistema consiste en una estructura similar a una pequeña canasta o recipiente, diseñada con aberturas en sus extremos para permitir que el agua pueda filtrarse y dirigirse hacia los canales correspondientes. De esta manera, se busca distribuir mejor la humedad sobre el panel, evitando la acumulación de agua en un solo punto y permitiendo que el sistema aproveche de una mejor manera el recurso hídrico. Esta modificación también facilita el mantenimiento y mejora el funcionamiento general del prototipo.

Finalmente, el proceso culminó en la validación experimental del sistema. Los resultados obtenidos mediante datos comparativos confirmaron que la combinación de la estructura de fibra de vidrio y la capa biológica del musgo *Grimmia* reduce significativamente la transferencia de calor al interior. El proyecto se completó con éxito, demostrando que es posible integrar la ingeniería con la resiliencia botánica para crear un prototipo funcional, ligero y de bajo mantenimiento. Con esto, logramos cumplir los objetivos establecidos al inicio de la investigación, proporcionando una alternativa real y ecológica para mitigar el calor en las comunidades costarricenses y mejorar la calidad de vida de manera sostenible.

5.1. Visión general de ventas y costes

CGS Grimmia	
Bio Panels 1.00x1.90 cm cost	€ 5 000
Square meters per panel	1,90
Panels needed to cover the roof 80 m2	42
Total roof price	€ 210 000

Epa	
Zinc/Iron sheets 81x 1,83 cm cost	€ 6 675
Square meters per panel	1,48
Panels needed to cover the roof 80 m2	54
Total roof price	€ 360 811
Thermal insulation Prodex 1,22x10 m	€ 26 450
Square meters per insulation	12,2
Insulations needed to cover the roof 80m2	7
Total insulation price	€ 173 443
Total roof price with insulation	€ 534 253

En este escenario presentamos un ejemplo del tejado de una casa costarricense promedio de 80 m² construido desde cero, en el que mostramos la diferencia económica y la rentabilidad entre el precio de los biopaneles y las láminas convencionales de hierro/zinc.

Scenario 2: Built house that requires insulation

CGS Grimmia	
Bio Panels 1.00x1.90 cm cost	€ 5 000
Square meters per panel	1,90
Panels needed to cover the roof 80 m2	42
Total roof price	€ 210 000

Epa	
Thermal insulation Prodex 1,22x10 m	€ 26 450
Square meters per insulation	12,2
Insulations needed to cover the roof 80m2	7
Total insulation price	€ 173 443

En este escenario, a primera vista, hay una diferencia económica notable, ya que el aislamiento es más rentable que los paneles bio, aunque el aislamiento presenta varios puntos negativos como:

- Pérdida de eficiencia debido a la suciedad: El aluminio funciona reflejando el calor como un espejo. Si el polvo o la suciedad se acumulan en la superficie brillante a lo largo de los años, su capacidad para rechazar el calor disminuye drásticamente.
- Aislamiento acústico limitado: A diferencia de la fibra de vidrio o la lana mineral, que son excelentes para absorber el ruido, este aislamiento de burbujas es muy fino y no reduce significativamente el ruido de la lluvia intensa.
- Aislamiento acústico limitado: A diferencia de la fibra de vidrio o la lana mineral, que son excelentes para absorber el ruido, este aislamiento de burbujas es muy fino y no reduce significativamente el ruido de la lluvia intensa.

Aislamiento acústico limitado: A diferencia de la fibra de vidrio o la lana mineral, que son excelentes para absorber el ruido, este aislamiento de burbujas es muy fino y no reduce significativamente el ruido de la lluvia intensa.

En resumen, los biopaneles resultan ser más eficaces, rentables y rentables a largo plazo gracias a su durabilidad y rendimiento a largo plazo.

Scenario 3: House that requires air conditioning/fans

CGS Grimmia	
Bio Panels 1.00 x 1.90 m cost	€ 5,000
Square meters per panel	1.90
Panels needed to cover an 80 m ² roof	42
Total roof cost	€ 210,000

EPA	
60 W tower fan	€ 29,950
Industrial ceiling fan	€ 39,950
Pedestal fan	€ 27,950
24,000 BTU air conditioner	€ 449,990
Total insulation cost	€ 547,840
Annual electricity cost	€ 155,820

En este escenario, a primera vista se puede ver una diferencia entre aire acondicionado y ventiladores. Algunos de sus puntos negativos son:

- Alto coste inicial: La principal desventaja es el golpe al presupuesto. En Costa Rica, restaurar todo este equipo puede ser costoso: un aire acondicionado eficiente (inversor) cuesta entre ₡300.000 y ₡500.000. Un ventilador industrial de buena calidad cuesta entre ₡45.000 y ₡70.000. Si sumas los ventiladores de torre y pedestal, la renovación total puede fácilmente superar los ₡450.000.
- Generación de residuos (impacto medioambiental)
Residuos electrónicos: Los ventiladores y pedestales de torre suelen estar hechos de plástico difícil de reciclar. Gases refrigerantes: Si el aire acondicionado se elimina de forma incorrecta, puede liberar gases que dañan la capa de ozono. En Costa Rica, debes pagar o contratar a un técnico certificado para recuperar correctamente el gas refrigerante.

- La "trampa" de la obsolescencia:
Calidad decreciente: A menudo, los ventiladores modernos (especialmente los de plástico) no están diseñados para durar tanto como los metálicos de hace 20 años. Podrías reemplazar un equipo viejo pero resistente por uno nuevo que falle en menos de 3 años.
Reparabilidad: Los ventiladores modernos de torre son casi imposibles de reparar; Si falla una pequeña pieza, normalmente hay que tirar todo el aparato.

Bio panel manufacturing cost

Item	Industrial purchase	Unit cost
Base resin 4cm	Purchase by station/container	€ 1 100
Mixed layer 3cm	Substrate/fiber purchased by the ton	€ 750
Reinforcement mesh	Industrial roll price per meter	€ 450
Hydrogel and additives	Purchase by 25kg bag	€ 300
Screws and anchors	Purchase by box of 1000 units	€ 200
Musgo Grimmia	Propagated in our own nursery	€ 0
Total		€ 2 800

Nuestro modelo de negocio se basa en la integración vertical. No compramos a menudo; Negociamos directamente con plantas de procesamiento de fibra de coco y fabricantes de resina orgánica. Eliminando intermediarios y aprovechando los residuos agroindustriales, hacemos que la sostenibilidad sea más barata que la construcción tradicional de zinc por primera vez.

Horario de actividades

Fase 1	Fase 2
Abril/Mayo	Junio/julio
Asignación de trabajo y lluvia de ideas	Corrección final de la obra escrita
Investigación de Estándares STEAM	Análisis de los resultados de la encuesta
Investigación sobre la idea del proyecto	Mejoras y ajustes en el prototipo
Formalización de la idea del proyecto	Elaboración de gráficos y conclusiones
Metodología de investigación y materiales	Organización de anexos y sus pruebas
Investigación de costes	Preparación de la presentación
Preparación de la obra escrita	Configuración final del proyecto
Desarrollo de un formulario para recopilar información	Análisis del formato de Steam
Desarrollo del primer prototipo	Entrega final del proyecto

VI Discusiones de los resultados y conclusiones

Para probar la eficiencia del sistema pasivo de los Bio-Paneles y el primer prototipo como tal, se realizaron pruebas experimentales sistemáticas bajo condiciones de máxima insolación local, comparando un grupo control (una sola lámina de zinc expuesta) con el grupo experimental equipado con el Bio-Panel modular. Los datos netos obtenidos mediante termometría digital arrojaron los siguientes resultados:

Componente evaluado	Temperatura registrada en °C	Diferencial térmico	Eficiencia en la mitigación
Grupo de control (Simple Zinc Sheet)	34,6 °C	Árbitro.	Estándar de calor radiado
Grupo Experimental (Hoja con biopanel)	28,5 °C	- 6,1 °C	Reducción térmica del 17,63%

El análisis de estos datos muestra que la transferencia de calor disminuyó estadísticamente de forma significativa gracias al módulo biotecnológico. Mientras que la lámina de zinc sin protección alcanzó los 34,6°C —convirtiéndose en un radiador térmico hacia el interior de la estructura—, el Bio-Panel estabilizó la temperatura a unos cómodos 28,5°C.

Este fenómeno físico se basa en la sinergia de las capas técnicas diseñadas: la baja conductividad térmica de la fibra de coco (≈0,048 W/m·K) y las propiedades dieléctricas de la resina reforzada con fibra de vidrio ralentizan el calor por conducción. A su vez, la capa biótica superior del musgo *Grimmia* aprovecha la radiación solar incidente para activar su metabolismo y disipar la energía restante mediante enfriamiento evaporativo (evapotranspiración), impidiendo que el calor se transfiera al tejado metálico del edificio.

Bio-Panel



Chapa convencional de zinc/hierro



Temperatura del prototipo numero2:

Durante la realización de la prueba, las condiciones climáticas fueron diferentes a las anteriores, ya que el día estuvo bastante frío, con lluvia y poca presencia de sol. A pesar de estas condiciones, el segundo prototipo, al tener un tamaño mayor, presentó una diferencia de 4.2 °C en comparación con el zinc.

El zinc alcanzó una temperatura de 33.5 °C, mientras que el prototipo registró 29.3 °C, lo que representa una reducción aproximada del 12.54 % de la temperatura.

Estos resultados permiten observar que el prototipo mantiene una menor temperatura que el zinc, incluso bajo condiciones climáticas poco favorables para realizar una prueba de calor.



Ahora, en este proceso de investigación aplicamos una encuesta a un total de 100 personas de todas las edades, en la que explicamos el funcionamiento de nuestro proyecto y su viabilidad, como se puede ver en los siguientes gráficos:

Gráfico 1: Este gráfico muestra los géneros cubiertos por nuestra encuesta

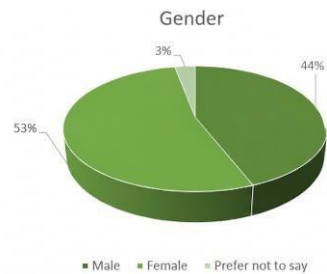


Gráfico 2: Este gráfico muestra que casi el 100% de las personas encuestadas son de San José.

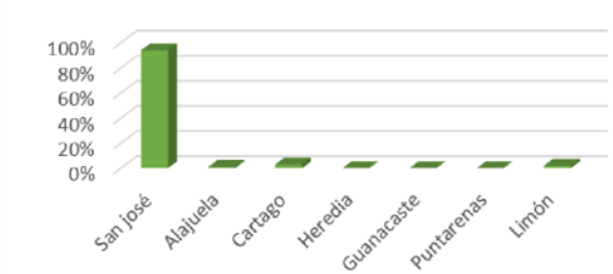


Gráfico 3: En este gráfico podemos ver que el 80% de las personas usan ventiladores para reducir el calor.

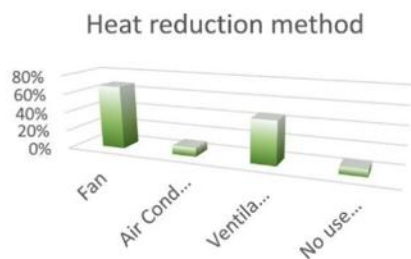


Gráfico 4: Como podemos ver en este gráfico, más del 20% de las personas (probablemente mayores de edad) pagan más de 8000 colones al mes en electricidad.

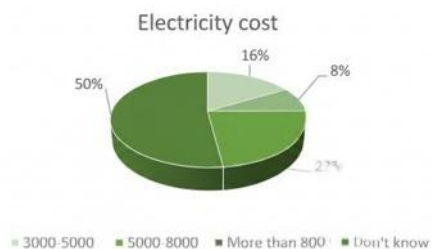


Gráfico 5: Como puedes ver en este gráfico, se preguntó a la gente si los tejados de las casas siguen generando calor incluso después de que la temperatura exterior baja. El 33% de los encuestados indicó que no podía asegurarlo, lo que demuestra falta de conocimiento o percepción sobre el comportamiento térmico de los tejados. Esto representa una oportunidad para la implementación de nuestro panel, ya que nos permitiría evaluar y reducir la acumulación de calor en los hogares, mejorando el confort térmico y la eficiencia del hogar.

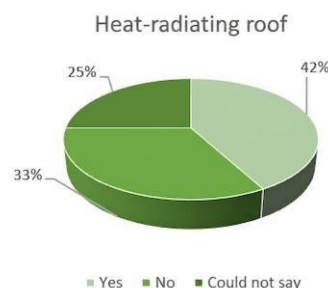


Gráfico 6: Como puedes ver en este gráfico, el 40% de la gente tiene tejados de madera. Esto nos permite identificar que la estructura sostiene las láminas de zinc/hierro; Nuestro panel podría instalarse de forma segura y eficiente en los tejados, facilitando su implementación y contribuyendo a mejorar las condiciones térmicas de las viviendas.

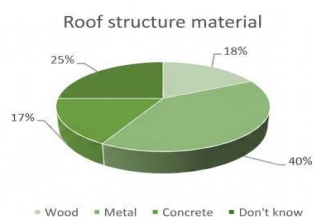


Gráfico 7: Como puedes ver en esta encuesta tan importante, se preguntó a la gente si la estructura de sus casas podía soportar paneles ligeramente más pesados que una lámina tradicional. El 46% de los encuestados respondió que sí, mostrando que existe una posibilidad viable de implementar nuestro panel en una parte significativa de los hogares. Por otro lado, el 43% indicó que sus estructuras no podrían soportarlo, lo que representa un aspecto importante a considerar dentro del proyecto. Estos resultados nos permiten analizar posibles mejoras o alternativas en el diseño del panel, como el uso de materiales más ligeros o sistemas de refuerzo, para adaptar el producto a diferentes tipos de estructuras y ampliar su implementación de forma segura y eficiente.

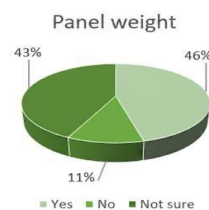


Gráfico 8: Este gráfico muestra que se preguntó a la gente si estaría dispuesta a pagar una cantidad similar a la de una lámina tradicional de zinc térmicamente aislada, que puede costar entre ₡8.000 y ₡11.000 dependiendo del tamaño y la calidad, por un panel capaz de reducir el calor dentro de las viviendas.

El 69% de los encuestados respondió positivamente, lo que representa un resultado favorable y demuestra una alta aceptación del producto. Estos datos muestran que nuestro panel es viable en el mercado, ya que gran parte de la gente reconoce el beneficio térmico que ofrece y estaría dispuesta a invertir en una alternativa con características similares en precio, pero con una mejora en la comodidad del hogar.



Gráfico 9: Este gráfico muestra que el 57% de las personas considera importante la implementación de este panel debido a su contribución a la producción de oxígeno. Este resultado refleja que más de la mitad de los encuestados reconocen el impacto positivo que el proyecto podría generar en el medio ambiente y la calidad del aire. Además, estos datos muestran que existe una importante conciencia ambiental por parte de la población, lo que favorece la aceptación de nuestro panel como una alternativa innovadora que no solo busca reducir el calor en los hogares, sino que también aporta beneficios ecológicos y sostenibles.

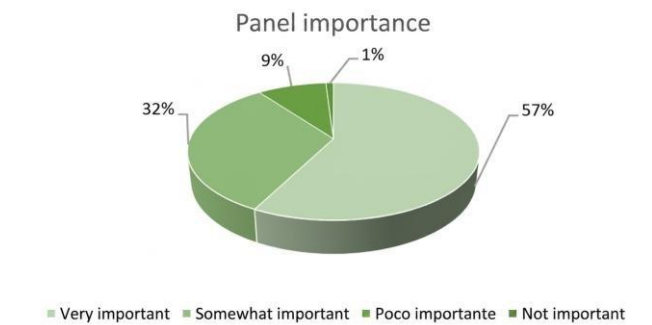


Gráfico 10: En este gráfico, se preguntó a las personas cómo preferirían implementar esta tecnología en sus hogares. El 38% de los encuestados eligió la opción de realizar la implementación por etapas, lo que les permite identificar una preferencia por un proceso gradual y más accesible.

Estos resultados son importantes para el desarrollo del proyecto, ya que nos ayudan a entender cómo se podría introducir el panel en los hogares de forma más organizada y adaptable a las posibilidades económicas y estructurales de cada familia.

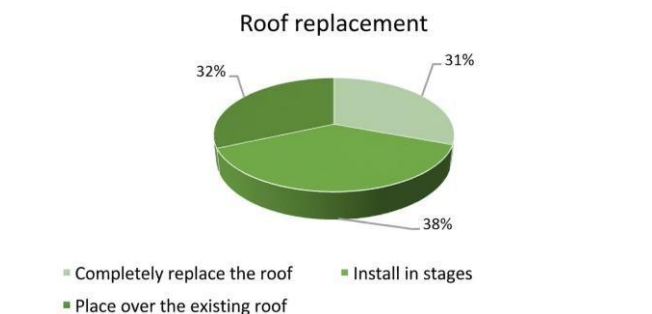


Gráfico 11: Como podemos ver en este gráfico, el 34% de las personas encuestadas consideran en una escala del uno al diez que es MUY importante que el tejado mantenga un aspecto verde y natural durante todo el año; el resto no está muy lejos, la mayoría de los encuestados considera que tener este tipo de tejado es beneficioso. Esto demuestra claramente que la estética de los paneles es agradable a la vista y que la mayoría de la gente está satisfecha con lo que ofrece en esta parte

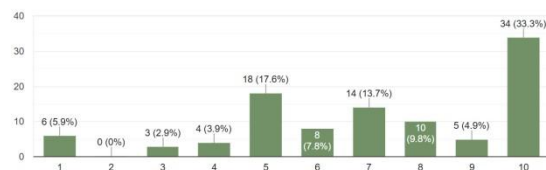
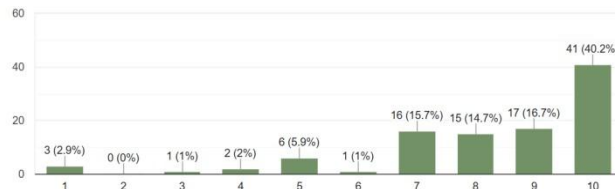


Gráfico 12: Como podemos ver, en este gráfico el 41% de las personas encuestadas consideran en una escala del uno al diez que nuestra propuesta de biopanel es una gran solución para reducir el calor y mejorar el entorno urbano



VII Referencias

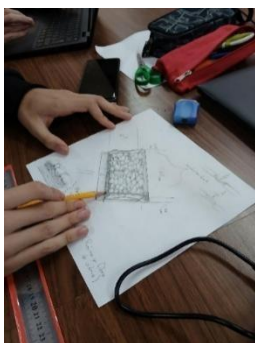
- Frahm, J. P. (2003). Manual de Briología. Britología tropical. base para entender briófitos como Grimmia
- Givoni, B. (1998). Consideraciones climáticas en la construcción y el diseño urbano. John Wiley & Sons. Referencia para explicar cómo los tejados de zinc afectan a la calefacción interior
- Instituto Nacional de Meteorología (IMN). (2024). Informes sobre la variabilidad climática en Costa Rica
- [4] Olgyay, V. (1998). Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Gustavo Gili
- [5] Proctor, M. C. (2000). La paradoja de las briófitas: tolerancia a la desecación, al cloro y a otros esfuerzos. Revista de Briología.
- [6] Aprendiz de Tecnólogo. (2021). Cómo trabajar fibra de vidrio con resina de poliéster paso a paso [Video]. YouTube.
- [7] Aprendiz de tecnólogo. (2021). Cómo trabajar fibra de vidrio con resina de poliéster paso a paso [Video]. YouTube.

VIII Anexos

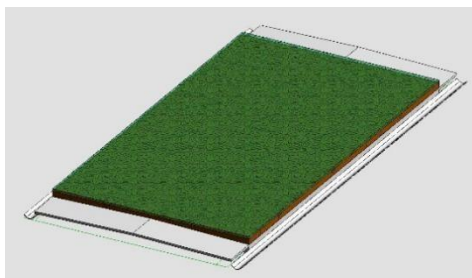
Anexo 1. Logotipo de la empresa



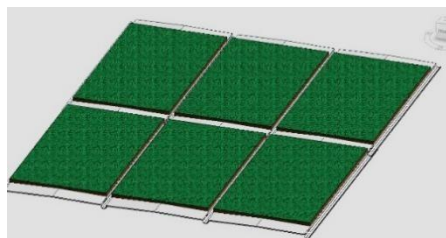
Anexo 2. Primer diseño de paneles



Anexo 3. Primer diseño de paneles digitales 3D



Anexo 4. Diseño de modulación digital de paneles



Anexo 5. Creando el molde para el primer prototipo físico



Anexo 6. Creación de la estructura de paneles con resina y fibra de vidrio



Anexo 7. Pulido de piezas



Anexo 8. Ensamblaje de piezas



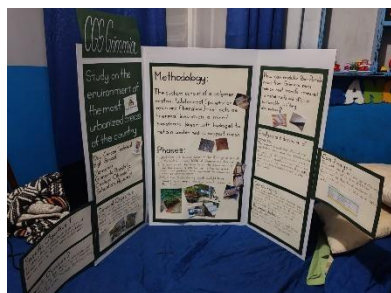
Anexo 9. Tierra sobre panel



Anexo 10. Primer prototipo que demuestra que el musgo puede crecer sobre un panel de resina



Anexo 11. Creación de carteles



Anexo 12. Molde de la modulación del panel



Anexo 13. Molde del panel



Anexo 14. Implementación de las platas al prototipo



Anexo 15. Desarrollo final del segundo prototipo

