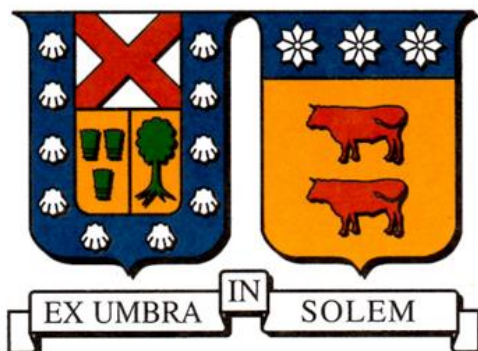




UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA

CONCEPCION

**ANALISIS DE MODELO DE ACONDICIONAMIENTO TERMICO
PARA ESPACIOS SEMI-CERRADOS ENFOCADO EN TÉCNICAS
SOSTENIBLES MEDIANTE LA INTEGRACION DE LAS
PROPIEDADES DEL AGUA, AIRE Y ALFARERIA PARA LA
EFICIENCIA ENERGETICA**

DANIEL BARRA DIAZ

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCION

“REY BALDUINO DE BELGICA”

**ANALISIS DE MODELO DE ACONDICIONAMIENTO TERMICO PARA
ESPACIOS SEMI-CERRADOS ENFOCADO EN TÉCNICAS SOSTENIBLES
MEDIANTE LA INTEGRACION DE LAS PROPIEDADES DEL AGUA, AIRE Y
ALFARERIA PARA LA EFICIENCIA ENERGETICA**

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CONSTRUCTOR

Alumno: Daniel Emilio Barra Díaz

Profesor Guía: Cristopher Pérez M.

2024

RESUMEN DEL PROYECTO

El consumo energético a nivel mundial ya es un hecho que dispara las alarmas en cualquier índole en que este esté involucrado, ya sea en el ámbito industrial como en el domiciliario, tanto es así que múltiples proyectos energéticos toman las agendas nacionales y las disposiciones políticas se centran en ello. El IPCC (grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático) ya nos advierte del avanzado deterioro de la calidad de vida humana producto de la contaminación a causa de acciones humanas, donde los principales síntomas se reflejan en el aumento sostenido de las temperaturas a nivel global.

En Chile, el panorama es similar al resto del mundo, ha habido un notorio aumento en las temperaturas máximas y mínimas registradas. EL ministerio del medio ambiente de Chile, a través del SINIA (Sistema nacional de información ambiental) nos informa, en sus informes anuales, un aumento sostenido de las temperaturas en territorios chilenos, reflejándose un aumento de 1,1 grados Celsius en la zona central durante los últimos 60 años.

Es por lo anterior mencionado, que la industria de la construcción debe ser parte del recambio en las utilidades energéticas tanto en la etapa de ejecución de cualquier proyecto, como también durante la vida útil de las mismas, facilitando que los usuarios de cualquier área se reintegren al cambio necesario en cuanto al uso energético a nivel global.

En el presente informe se expone la problemática que registra el consumo de aire acondicionado en el ámbito domiciliario chileno, donde la búsqueda de comodidad de un ambiente calefaccionado/acondicionado a dado paso a un consumo alarmante de energía eléctrica dado a la poca oferta que el mercado ofrece para satisfacer esta necesidad. A partir de esto, se analizará un sistema de aire acondicionado utilizado por antiguas civilizaciones en base a agua y arcilla, perfeccionado por ingenieros contemporáneos. El análisis se centrará en la eficiencia energética del producto y a la viabilidad para el uso domiciliario, dando enfoque a cuanto es la efectividad que tiene el elemento de acondicionar la temperatura de un espacio semicerrado para llegar a una zona de confort.

INDICE DE CONTENIDOS

TITULOS	PAGINA
- SIMBOLOGIA	1
- INTRODUCCION	2
- PRINCIPALES INTERROGANTES DEL PROYECTO	4
- PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO	5
- JUSTIFICACION DEL PROYECTO	7
- METODOLOGIA	7
- OBJETIVOS	8
- MARCO NORMATIVO	8
- MARCO TEORICO	8
- CAPITULO 1	9
- GRED Y AGUA COMO UNIDAD REFRIGERANTE	10
- USO DE LAS PROPIEDADES DEL AGUA Y GRED Y	10
- CAPITULO 2	12
- PROCESO DE DISEÑO DE ELEMENTOS DE GRED Y	13
- PROCESO DE DISEÑO MARCO RIGIDO A/C	14
- CAPITULO 3	16
- PROCESO DE FABRICACIÓN ELEMENTOS DE GRED Y	17
- PROCESO DE FABRICACION MARCO RIGIDO	21
- PRUEBA DE RECIRCULACION DE AGUA	25
- EJECUCION DEL SISTEMA A/C	27
- TOMA DE DATOS	28
- CAPITULO 4	30
- APU	31
- CONSUMO KILOWATTS Y AGUA	32
- COMPARACION ECONOMICA	33
- VENTAJAS Y DESVENTAJAS	34
- MEJORAS A PROTOTIPO	35
- CONCLUSIONES POR CAPITULO	36
- CONCLUSIONES GENERALES	37

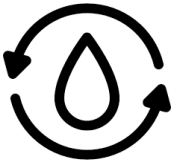
Simbología



Símbolo de sustentabilidad



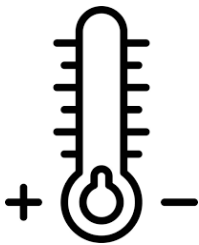
Símbolo de A/C (aire acondicionado)



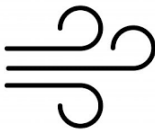
Símbolo de recirculación de agua



Símbolo de materiales naturales



Símbolo de temperatura



Símbolo de aire

Introducción

La deficiente calidad de los procesos productivos industriales, junto con la escasa atención al cuidado del medio ambiente, ha sido la principal causa del cambio climático que impacta nuestro entorno, esto sumado a los sostenido que ha sido esta situación durante el tiempo pese a lo alarmante de las cifras de contaminación ha hecho que se tenga que ver la ingeniería desde perspectivas sostenibles y no meramente mercantil, sino que la ingeniería tiene que estar a disposición de la población y generar los cambios sostenibles para mejorar la calidad humana en su conjunto. El área de la climatización del hogar es un tema latente en Chile, ya que en Chile durante los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo es donde la temperatura alcanza los niveles mas altos del año, con un promedio de 27°C. El ministerio del medio ambiente, a través del SINIA nos advierte un alza sostenida de la temperatura en territorio nacional, con un aumento de 1.1 grados Celsius en un total de 60 años.



Evolución de las temperaturas máximas promedio mensual, por zona geográfica 2022, Ministerio del medio ambiente.

Esta situación obliga a las personas a climatizar sus hogares con sistemas tradicionales, que comprenden la compra y utilización sostenida de aire acondicionado clásicos. Esto trae consigo una problemática recurrente, el consumo energético. El ministerio de energía publicó el 2019 un informe sobre el consumo energético de una vivienda, llamado “Informe final de usos de energía en los hogares de Chile 2018”, donde nos indica: “El sector residencial consumió en el año 2018, 50.763 GWh y el consumo promedio nacional de una vivienda equivale a 8.083 kWh/año de energía final (considerando un total de 6,28 millones de viviendas e incluyendo todos los energéticos). Un 39,6% del consumo se asigna al uso de Leña como energético, seguido con un 31,4% de consumo de Gas (GLP 3 +GN), mientras que el 25,7% corresponde a Electricidad, un 2,6% a Parafina y un 0,8% a Pellets. (Ministerio de Energía. (2019). Informe final de usos de energía en los hogares de Chile 2018. Ministerio de Energía.)

Estos datos son de suma relevancia, ya que se puede calcular que el consumo promedio de energía de una vivienda es de 2077 kWh en una vivienda al año en conceptos de

energía. Este año en particular (2024) ha habido un aumento significativo en el precio de la energía, debido a los congelamientos de precios a causa de la pandemia COVID 19 como también a la dependencia de producción energética mediante procesos costosos. Si analizamos el consumo de aires acondicionados tradicionales, podemos dimensionar que, dependiendo del modelo, el consumo promedio es de 2,5 kWh para una unidad de 12000 BTU. Por lo tanto, en el transcurso de este trabajo investigativo se analizará sistemas de aire acondicionado utilizado por civilizaciones antiguas, perfeccionadas por ingenieros contemporáneos basadas en la termodinámica del aire, agua y características dinámicas de la greda para bajar niveles de temperaturas en espacios semicerrados de forma menos costosa.

Principales interrogantes del proyecto

¿Qué elementos hay que considerar para un proyecto de aire acondicionado?
¿Cómo afecta el actual estado del medio ambiente en el comportamiento cotidiano de las personas?

¿Los análisis obtenidos serán de ayuda para el conocimiento sobre aire acondicionados sustentables?

Problemática del proyecto

La problemática se centra en la necesidad que tiene cada individuo de regular la temperatura de sus viviendas dependiendo la estación del año en que se encuentra, donde existen múltiples alternativas tanto para periodos fríos como cálidos. El presente trabajo investigativo se centrará en el análisis de un sistema de aire acondicionado que regula la temperatura de mayor a menor en espacios semi-cerrados de forma pasiva, utilizando recursos del aire, agua y dinanismos de la greda para lograr dicho objetivo.

Para la climatización del aire nos encontramos con múltiples alternativas en el mercado, donde el principal es el uso del aire acondicionado que varían dependiendo la capacidad y el uso que se quiera dar. Para el caso investigativo presente, nos centraremos en un aire acondicionado de 1200 btu. Si bien el consumo kilowatt x hora varia dependiendo la tecnología que este tenga, los rangos son entre 1,5 kilowatt x hora y 3,5 kilowatt por hora. El promedio del mercado es **2,5 kilowatt** x hora y es el cual se comparará.

Durante el mes de Septiembre del 2024, en Chile se realizó una fuerte alza al precio del kilowatt, alcanzado los **361 CLP**, Esto genera cierta preocupación en cuanto al uso diario de este elemento en las viviendas chilenas, ya que haciendo una ecuación simple se puede concluir que:

- (Consumo kWh de aire acondicionado) x (precio kilowatt) x (horas de uso promedio) x (días al mes)
- $2,5 \times 361 \times 5 \times 30 = 135.375$ CLP mensual x unidad.

Si observamos los datos obtenidos del ministerio de energía en expuestos anteriormente en la sección “introducción” del presente informe, se puede concluir que el promedio de consumo de energía eléctrica del sector residencial es de **2077 kW/año**, y analizando los datos obtenidos del aire acondicionado tradicional, se puede obtener que:

- Consumo promedio de aire acondicionado: (consumo AC) x (horas/días) x (días/mes) x (meses utilizado) = $1875 \text{ kW} \cdot 2,5 \times 5 \times 30 \times 5 = 1875 \text{ Kw/año}$.

Se concluye que el consumo energético (electricidad) del aire acondicionado tradicional en 5 meses equivale al 90,2% del consumo anual de una vivienda.

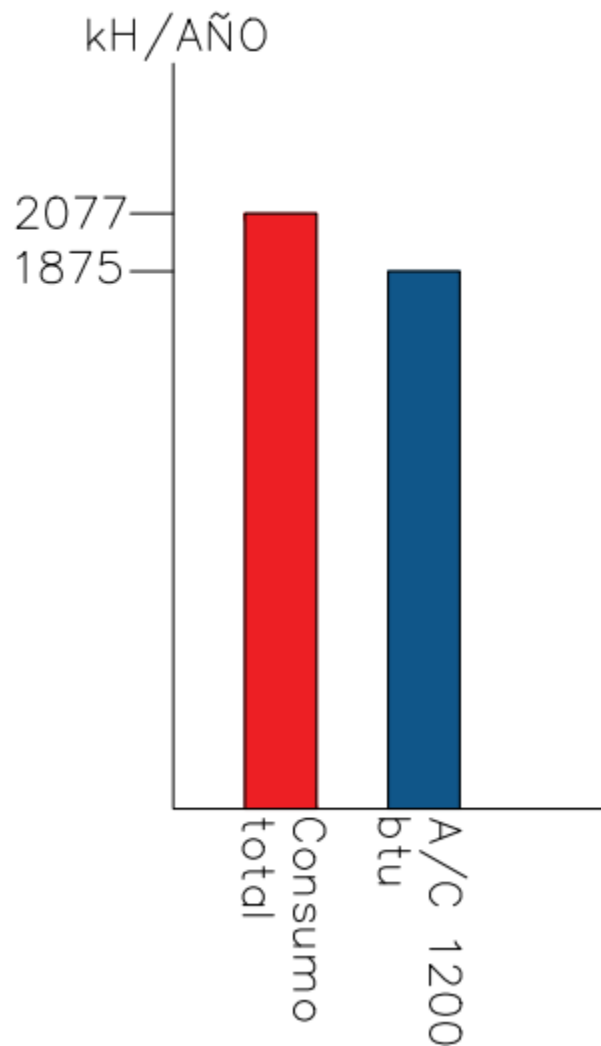


Imagen propia, 2024.

Con el fin de dar un análisis acabado en cuanto a la eficiencia, se estudiará un sistema de aire acondicionado enfocado en las propiedades termodinámicas del aire, agua y greda como alternativa real para llegar a confort térmico en un espacio semicerrado con el fin de aportar a la disminución del gasto energético comparado a lo utilizado en técnicas tradicionales para este mismo fin.

JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Desde la condición de estudiante y futuro ingeniero constructor es imprescindible tener conocimiento y prácticas en todas las áreas que la malla curricular abarca, es por eso que hay que hacerse parte de la nueva filosofía en cuanto al uso de la energía para que sea eficiente y equitativa, es por ello que aplicar los conocimientos adquiridos en la universidad en cuanto al diseño, calculo, ingeniería y ejecución de un proyecto es imprescindible. También es necesario aportar a la profundización de conocimientos en cuanto a nuevos sistemas de acondicionamientos térmicos de espacios semicerrados y junto con ello, aportar al análisis para una retroalimentación continuas de mejoras energéticas en procesos y utilidades constructivas.

Se estudiará un sistema de aire acondicionado eficiente y ecológico en base a las propiedades dinámicas del aire y agua, en combinación con las propiedades de higroscopia de la greda para que, en su conjunto, se obtenga un proceso de enfriamiento térmico del aire a medida que pase a través del aire acondicionado a estudiar.

Como primera parte del proyecto, se realizará un marco de madera seca, de escuadría 1x4" seca, de 490mm x 595mm que en su parte inferior tendrá un receptáculo de agua. En dicha sección irá una bomba de 12v que impulsará el agua hacia la parte superior del marco a través de una manguera hidráulica de ½", donde estará perforada de forma tal que caiga a través de los elementos de greda diseñados específicamente para que el aire pase a través de ellas, con este fin, se estudiará si el aire efectivamente cambia su temperatura cuando pase a través de ellos.

METODOLOGIA PROPUESTA PARA REALIZAR EL PROYECTO

La metodología usada para la realización de este proyecto se describe paso a paso de la siguiente forma.

1. Estudio de la termodinámica, propiedades y transmitancia térmica de los elementos a través de la metodología de calculo de la ley de Bernoulli "principio de la conservación de la energía" y análisis de la higroscopia de los materiales, específicamente de la greda.
2. Diseño del sistema de aire acondicionado. Como primer paso diseño experimental de elementos de greda, luego diseño experimental de marco rígido para aire acondicionado y el diseño de recirculación del agua.
3. Fabricación de sistema de aire acondicionado en base a propuesta de estudio de ingeniería: Confeccionar uniendo elementos del aire acondicionado fabricado en forma física de marco rígido de 1x1m, fabricación de 2 modulos tipo cubículo de 1x1 acondicionados térmicamente, 1 modulo fabricado con el sistema de aire acondicionado integrado y el otro sin él.
4. Análisis de los resultados a partir de los datos obtenidos.

Objetivos del proyecto

Analizar el impacto de la implementación de un sistema de aire acondicionado sostenible en viviendas unifamiliares de espacios semicerrados en Concepción

Objetivo General.

Evaluar el desempeño de un sistema de aire acondicionado sostenible en viviendas unifamiliares en espacios semicerrados en Concepción.

Objetivos Específicos

- Estudiar sistema de aire acondicionado utilizando greda y agua.
- Diseñar sistema de aire acondicionado en base a materiales sustentables como la greda en combinación con energías renovables.
- Fabricar, ejecutar y registrar de datos de eficiencia de sistemas de aire acondicionado.
- Evaluar económica de la fabricación e implementación del sistema.

MARCO NORMATIVO

Ley 195300 artículo 32: *“Ley sobre bases generales del medio ambiente”.*

Resolución exenta número 4: *Estándar mínimo de eficiencia energética para los equipos de aire acondicionado.*

COOLANTS: *Estudios privados de empresa COOLANTS sobre aires acondicionados enfocado en greda y agua.*

MARCO TEORICO

TRANSMITANCIA TERMICA: *“Capacidad de los materiales para permitir el paso de energía” (RAE)*

PRINCIPIO DE BERNOULLI: *“Describe la conservación de energía en un fluido en movimiento” (Khanacademy)*

ALFARERIA: *“Arte u oficio de hacer vasijas u otros objetos de barro cocido”.*(RAE)

AIRE ACONDICIONADO: *“Sistema artificial de regulación de temperaturas en un espacio cerrado”. (RAE)*

Capítulo 1

Estudiar sistemas de aire acondicionado ocupando greda y agua

Greda y agua como unidad refrigerante

Dentro de los muchos materiales que existen para poder confeccionar unidades cilíndricas que sirvan como medio por donde circule el aire, la greda tiene condiciones que las hacen óptimo para este fin, ya que, a diferencia de otros materiales, la greda tiene una capacidad **higroscópica e inercia térmica** importante. Se entiende como inercia térmica al comportamiento de la greda en cuanto a su buena función para regular la temperatura, debido a su capacidad de absorber, almacenar y liberar calor de forma gradual. En cuanto a la higroscopia es la capacidad que tiene la greda de absorber y liberar humedad al ambiente.

Estas 2 condiciones hacen de la greda un muy buen material para crear un ambiente “refrigerante” donde el aire que pasa a través de él cambie su temperatura debido al medio menos cálido que genera la greda cuando está saturada en agua. Ya que se ha comprobado que un elemento de barro cocido saturado en agua alcanza entre un 3% y un 6% de su propio peso, lo que quiere decir que acumula una gran cantidad de agua. Esta agua, al verse expuesta a la temperatura ambiente o a un escenario mas caluroso (Ejemplo al sol) ocurre un proceso que se llama “Enfriamiento por evaporación”, esto quiere decir que pasa por un proceso físico natural en el que el agua contenida en la greda se evapora, lo cual extrae calor del material y de su entorno, produciendo un efecto de enfriamiento.

Esta sucesión de comportamientos físicos naturales hace que el medio por el cual traspasará el aire de un sector a otro, sea mas frio que el medio que lo rodea, lo cual hará que el aire baje su temperatura cuando pase a través de la red de greda.

Todo el escenario comentado anteriormente se puede ver reflejado en distintas propuestas técnicas para la conservación o enfriamiento de temperatura en diferentes indoles.

Usos de las propiedades termodinámicas del agua y la greda.

Debido a las capacidades termodinámicas mencionadas de la greda y el agua juntas, existen numerosos casos donde la civilización ha hecho uso de estas propiedades para diferentes areás, tanto en el ámbito de la construcción como en lo utilitario, a continuación, se detallarán algunos:

- **Refrigerador de greda:** El refrigerador de greda es un elemento clásico de refrigeración del medio mediante el uso del agua y la greda, utilizado comúnmente en zonas donde la luz eléctrica no es pareja y donde abunde el sol y el barro, como en zonas del oriente medio como Irak, Líbano, Siria, entre otros. El proceso de refrigeración ocurre debido a que se fabrican 2 “fuentes” de greda, uno diametralmente mas grande que el otro, donde entre estos 2 elementos se introduce arena, la cual se satura con agua. A su vez esta se tapa con una manta, una vez que se ingresen los elementos (comida, remedios frutas, etc..) a refrigerar. Posterior a esto, se expone al exterior donde el calor del ambiente hará evaporar el agua, este al evaporarse extraerá calor del entorno cercano, lo que generará una disminución de temperatura al interior del recipiente.

- **Muros de barro compactado:** Los muros de barro compactado estabilizan el ambiente térmico gracias a 2 propiedades clave mencionadas en esta investigación: la inercia térmica del barro y la higroscopicidad del agua presentes en el material. La inercia térmica del barro, derivada de su alta densidad y baja conductividad térmica, le permite absorber t almacenar grandes cantidades de calor durante el día, liberando lentamente cuando la temperatura exterior desciende, creando un efecto de amortiguación térmica. Por otro lado, la capacidad higroscópica del barro permite que absorba y libere humedad del aire según las condiciones ambientales. Esto es muy común verlo en países cálidos y con baja probabilidad de terremotos.
- **“Estudios empresa COOLANTS”:** Fundada por el arquitecto Monish Siripurapu, la compañía se dedica a combinar métodos tradicionales con tecnología moderna para crear sistemas de enfriamiento sostenibles y artísticos. Uno de sus logros mas destacados es el desarrollo de la instalación “Beehive”, un sistema modular que utiliza la evaporación del agua a través de conos de barro cocido (greda) para enfriar espacios sin necesidad de electricidad, reduciendo significativamente las temperaturas interiores y mejorando el confort térmico. Si bien la utilización de greda y agua para efectos de refrigeración ha sido sabido y ocupada hace cientos de años, COOLANTS han sido los pioneros en masificar y aplicar ingeniería a este concepto.
Bajo esta lógica se enmarca el diseño de aire acondicionado propuesto y se estudiará sus efectos



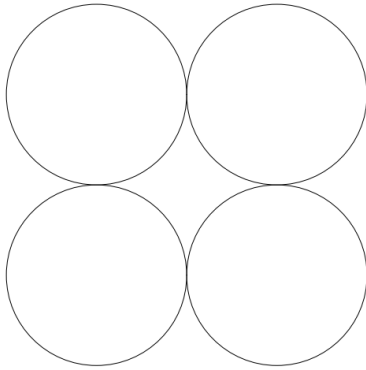
Instituto Internacional de Estadística de Lucknow, India. (2018). Coolant. Recuperado de <https://www.coolant.co>

Capítulo 2

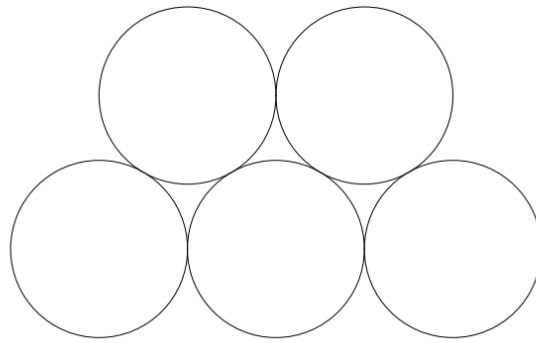
Diseñar sistema de aire acondicionado en base a materiales sustentables como la greda en combinación con el agua

Proceso de diseño de elementos de greda

Como eje principal del diseño se distribuirá los elementos de greda tipo celda no de forma lineal (uno al lado del otro consecutivamente) sino como disposición de **patrón de teselado hexagonal**, donde se buscará la optimización de los espacios junto con el buen comportamiento mecánico de cada una de estas, junto con eso, se pretende obtener un correcto escurrimiento del agua a través de cada elemento de greda.



Patrón lineal



Patrón de teselado hexagonal

Imagen propia, 2024.

Cada uno de los elementos de greda irá unidos entre si mediante pernos de 1" con golillas de gomas para evitar el quiebre por presión entre metal y greda, a su vez, el entramado formado irá unidos al marco de madera mediante pernos de 3".

El diseño es importante, se buscará involucrar el efecto de la ley de Bernoulli en esta materia, de forma que el diseño será tipo "Embudo" con un diámetro inicial de 10cm, largo de 13 cm y diámetro final de 5cm. Con la disminución de las secciones se buscará que el aire que atraviese cada una de estas áreas, disminuya su presión y por consecuencia, su velocidad aumente.

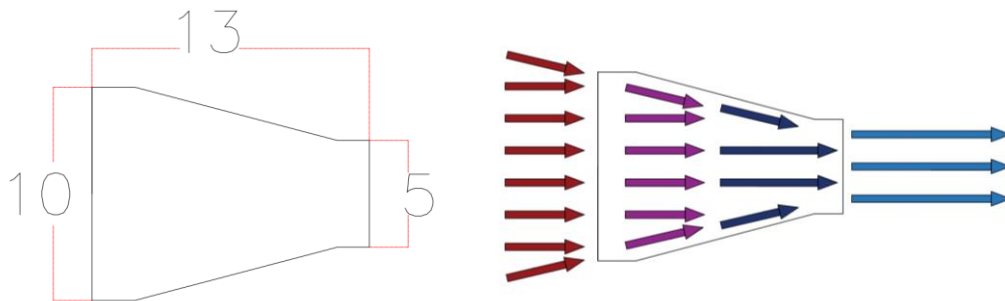


Imagen propia, 2024.

Proceso de diseño de marco A/C de greda.

El marco rígido que albergará los elementos de greda será tipo rígido, con un marco de medidas interior de 595mm x 490mm: Este cálculo es en base a que el A/C diseñado se probará en unos módulos ya fabricados por los estudiantes de “EDIFICACION” del ramo técnico en construcción, es por eso por lo que se adaptará.

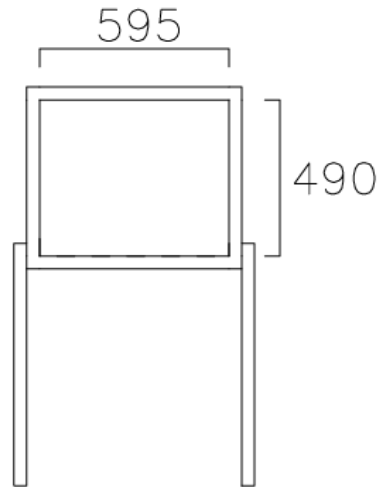


Imagen propia, 2024.

Paralelamente se diseña un receptáculo el cual irá en la parte inferior del marco, con el fin de retener el agua que se recirculará a través del sistema de aire acondicionado pasando por todos los elementos de greda. Esta además de retener el agua, tendrá una bomba recirculadora la cual impulsará el agua a la parte superior del marco rígido a través de una manguera transparente de ½” que estará perforada en partes estratégicas de forma tal que libere el agua en forma de cascada para saturar todos los elementos de greda, esta luego llegará nuevamente al receptáculo y la bomba nuevamente la impulsará, dando con esto un ciclo continuo de recirculación.

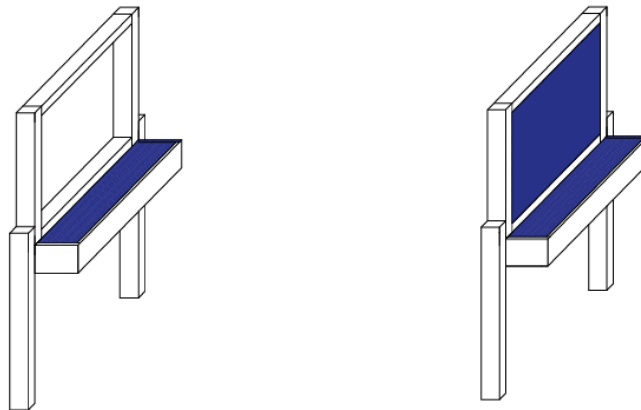


Imagen propia, 2024.

El fin del diseño es que se forme un sistema sólido de aire acondicionado, donde los elementos de greda irán sujetos entre ellos y entre el marco, formando así una red continua saturándose continuamente con agua debido a la recirculación de esta a través de la bomba. Todo esto con el fin de que, ya teniendo los elementos de greda saturados en agua, el aire que pase a través de ellos baje su temperatura cuando sale con respecto a cómo entran.

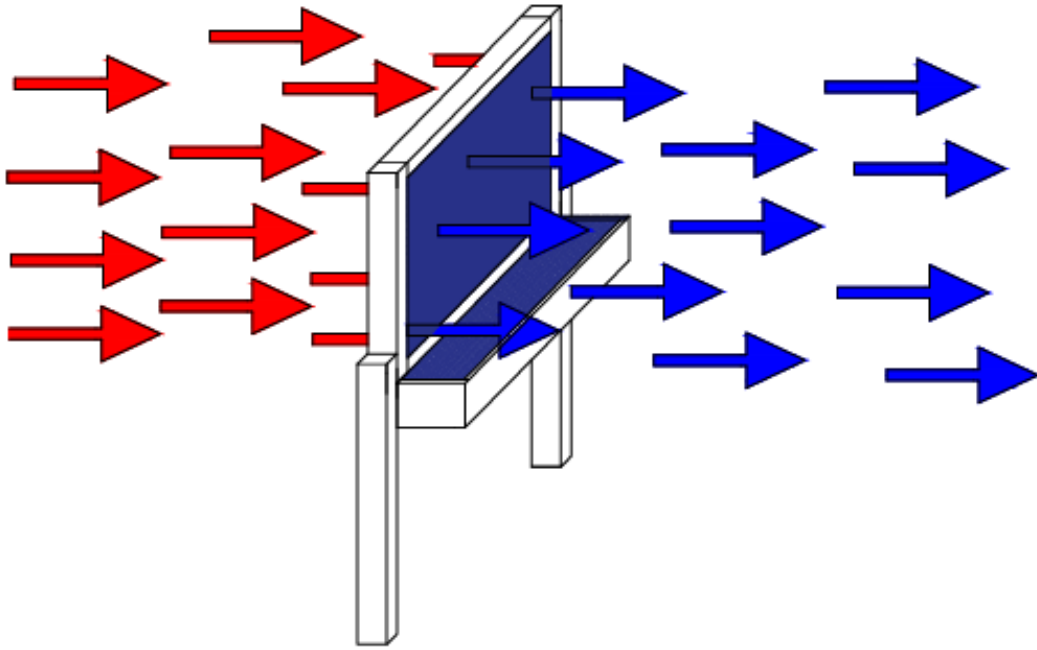


Imagen propia, 2024.

Capítulo 3

Fabricar, ejecutar y registrar datos de eficiencia de sistema de aire acondicionado

Proceso de fabricación de elementos de greda: Torneado

El proceso constructivo de cada uno será mediante torno eléctrico y sin tratamiento de pulido final, esto con el fin de evitar el sellado de los poros del cuerpo de greda y así lograr una higroscopia más rápida. Esta tarea estará a cargo de don Moisés Barra Garcés, un reconocido alfarero de la comuna de Nacimiento. Para el inicio del proceso de fabricación de los elementos de greda, el alfarero amasará enérgicamente 60 kilogramos de greda (aprox) con el fin de eliminar impurezas en la materia prima y romper los vacíos de aire existentes en ella, luego dividirá la masa en porciones de 550 gramos aproximadamente para iniciar el proceso de torneado.



Imagen propia, 2024.

Posterior a esto, se procederá al modelado inicial y final de la celda de greda con técnicas básicas de torno alfarero que no involucra mas que las manos y accesorios menores de modelado.



Imagen propia, 2024.

Proceso de fabricación de elementos de greda: Perforación

Se necesita perforar las piezas de greda aun estando “crudas”, ya que es el tiempo idóneo dada la dinámica del material en estado semi-seco. Esto con el fin de poder unir las piezas mediante pernos a través de estos orificios. El proceso de perforación exige condiciones estrictas, ya que se necesita de un rango de tiempo preciso para llevar a cabo esta tarea. Esto porque después de fabricada la pieza en el torno hay que dejar que se “plastifique” el material, esto se consigue dejando secar la pieza a temperatura ambiente para que pierda humedad homogéneamente. El desafío esta en realizar las perforaciones en el momento ideal, ni tan cruda y ni tan seco. Para este caso, se necesitó aproximadamente 10 días para realizar esta tarea.

Mediante AutoCad se diseñó la distribución geométrica de cada perforación en cada elemento de greda (para esto se dividió 360 grados en 6) luego se procede a escalar a medida, imprimir y plastificar, todo esto con el fin de tener una planilla tipo. Luego llevar a cabo las perforaciones en cada uno de los elementos de greda.

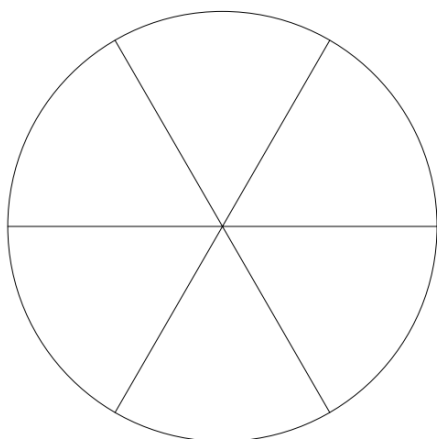


Imagen propia, 2024.

Disposición de perforaciones



Imagen propia, 2024.

Elemento de greda semi-seco

Proceso de fabricación de elementos de greda: Secado

En tiempos de escasa humedad ambiental y altas temperaturas, un elemento de greda promedio tarda aproximadamente de 3 a 5 días en secarse completamente. En tiempos donde se llevó a cabo esta tarea existía mucha lluvia y bajas temperaturas (octubre), esto llevó a que el secado se llevara a cabo en aproximadamente 20 días.

Este proceso es crucial dentro del proceso, ya que la humedad en cada artefacto de greda tiene que irse completamente, esto es porque si el elemento pasa directamente al horno y trae consigo un alto grado de humedad en su interior, este explota dentro del horno a causa de la rápida evaporación de las partículas de agua presentes en la greda húmeda.



Imagen propia, 2024.

Proceso de fabricación de elementos de greda: horneado

Ya teniendo cada elemento de greda seca en su totalidad (entre 5% y 0% de humedad) este pasa a un horno convencional de barro alfarero de bajas temperaturas (en términos alfareros, un horno de barro de baja temperatura alcanza entre 900°C y 1000°C). Se procede primeramente a llenar el horno a tope, luego se cierra y se sella con ladrillos y barro. Luego se inicia el proceso de precalentamiento (tratamiento que dura 2 horas aproximadamente) donde se busca subir la temperatura lentamente para sacar el resto de humedad que quede en los elementos de greda cruda y para que alcance el calor homogéneamente a cada unidad. Durante esta etapa el horno alcanza entre 300°C y 500°C. Terminado este proceso, se pasa a elevar la temperatura a 900°C para alcanzar “El rojo vivo”, este término hace referencia al proceso donde cada unidad alfarera atraviesa por el fenómeno de incandescencia, señal que el material entró en una etapa de vitrificación. El término de este proceso da como resultado el endurecimiento del elemento y resistencia estructural tras el enfriamiento posterior.



Imagen propia, 2024.

Culminado esta última etapa, se da como resultado un elemento de greda cocido funcional, listo para usarse para los fines que se estime conveniente.

Proceso de fabricación de marco rígido.

Como se mencionó en capítulos anteriores, estructuralmente se necesita un marco que resistencia estructural al prototipo de aire acondicionado diseñado, es por esto que se estudia y se fabrica un marco de madera de escuadría 2"x4" cepillada, de área útil de 0,3m². (imagen con medidas expresadas en mm).

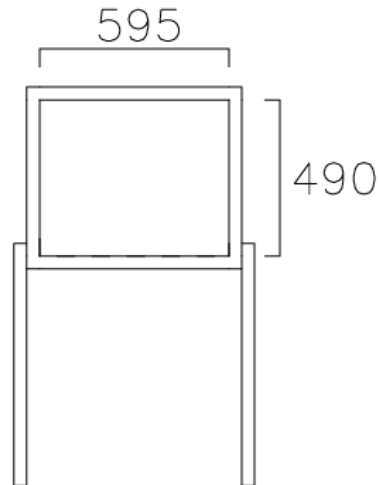


Imagen propia, 2024.

En el laboratorio de construcción de la universidad, se procede a fabricar a medida el marco diseñado.



Imagen propia, 2024.

Luego se inicia el proceso de diseño y fabricación del receptáculo de agua, que estará a cargo de retener y recibir el agua recirculada en el proceso de circulación de esta. Tendrá de medidas 120mm de alto, 240mm de ancho por 595mm de largo y será de OSB de 1cm. (imagen con medidas expresadas en mm). Con espacio útil de 235mm x 11mm x 570mm ya que estará forrado al interior con fibrocemento de 5mm.

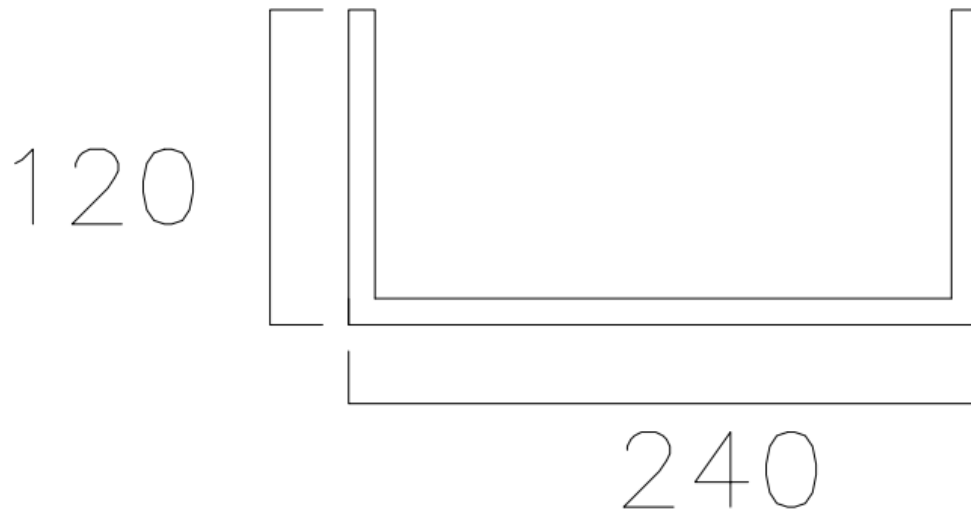


Imagen propia, 2024.

En el laboratorio de construcción de la universidad, se procede a fabricar a medida el receptáculo diseñado.



Imagen propia, 2024.

Proceso de unión de elementos de greda y prueba de hermeticidad

Ya fabricado el marco rígido junto con el receptáculo de agua, se procede a unir los elementos de greda fabricado uno por uno mediante pernos y tuerca, con golillas fabricadas de goma, esto con el fin de evitar que se rompa al momento de apretar la tuerca, ya que la goma actúa como “amortiguación” y no hay contacto directo entre acero (tuerca-perno) y greda. En los elementos de greda que se ubican al borde del marco, se unen mediante pernos de 3” y en la misma tónica, mediante golillas de goma.



Imagen propia, 2024.

Paralelamente a esto se procede a forrar internamente el receptáculo de agua con fibrocemento de 5mm ya que, al ser un material resistente al agua, genera una película que evita que el agua entre en contacto directo con el OSB, haciendo que este artículo técnicamente sea viable. Luego se da paso a sellar con silicona para sellar las áreas de riesgos de fuga de agua, ya sean los bordes y también la sección donde se encuentran los tornillos que unen fibrocemento y osb. Ya secada la silicona, se procede a llenar con agua el receptáculo con el fin de probar la hermeticidad de esta. Cabe destacar que no hubo que hacer rectificación, ya que al primer intento se dio cuenta que no hubo fuga de agua.



Imagen propia, 2024.

Prueba de recirculación de agua.

Teniendo el sistema de aire acondicionado ecológico armado, se procede a probar la bomba recirculadora. Para este experimento se compró una bomba de 40v, a la cual se le unió una manguera de jardín transparente de $\frac{1}{2}$ " para poder trasladar agua desde la parte inferior (receptáculo con agua + bomba) hacia la parte superior del marco rígido, la cual en ciertas áreas se perforó de tal forma que el agua se caiga y se deslice a través de los elementos de greda en forma de cascada, para llegar al receptáculo y seguir así el proceso cíclico. Como primera parte las perforaciones no fueron prolijas, por lo cual la caída de agua fue dispareja haciendo que la fuga de agua fuera constante teniendo que llenar 400cc de agua cada 4 minutos de funcionamiento (imagen 1).



Imagen 1

Imagen propia, 2024.

Para mejorar esta condición, la parte de la manguera con perforaciones disparejas se introdujo a un tubo de pvc hidráulico de 25mm, la cual esta si tenia perforaciones parejas. Teniendo esta mejora lista, se procede a probar la bomba y efectivamente la caída de agua fue controlada y pareja, teniendo un mínimo de fuga producto del rebote del agua, pero no por mala ejecución de perforación. Para los rangos que compete a esta investigación, esa una fuga que esta en el rango de aceptación. (imagen 2).



Imagen 2
Imagen propia, 2024.

Para la ejecución se necesita tener un ambiente que permita comparar los resultados, y para esto se utilizó 2 módulos a escala fabricados por estudiantes del ramo “edificación” del tec universitario en construcción. Las medidas eran de 1mx1mx1,5m. 1 modulo tendría el sistema de aire acondicionado funcionando y el otro no, esto con el fin de compararlos y evaluar los resultados. A ambos módulos se les taparon sus vanos (puertas y ventanas) Excepto 1 vano de ventana, en esta entrará el aire a medir.



Imagen propia, 2024.

Ejecución del sistema de aire acondicionado

Como se mencionó el capítulo anterior, a una unidad se le incorporó el sistema de aire acondicionado fabricado y el otro no, con el fin de evaluar técnicamente los grados Celsius que existe en cada modulo durante el proceso de prueba del aire acondicionado. Para este experimento se juntaron una al lado de la otra los 2 módulos, luego se instaló un ventilador común a 3 metros de distancia de ellas a mitad de distancia de los 2, con el fin de que las condiciones del aire que recibe cada modulo sean en iguales condiciones. Dentro de cada módulo se instaló un higroscopio de laboratorio con el fin de registrar los datos de temperatura.



Imagen propia, 2024.

El proceso del experimento tuvo una duración de 2 horas, empezando a las 13:40 hrs y terminando a las 15:40 hrs del viernes 22 de noviembre del 2024.

Toma de datos

A través de las 2 horas del experimento, se iba registrando la temperatura cada 5 minutos, con el fin de tener un recorrido histórico detallado del movimiento de la curva de la temperatura durante el proceso de funcionamiento del aire acondicionado sustentable, lo cual se detalla a continuación:

Resultados medición de temperatura		
Hora	Temperatura Unidad con A/C (°C)	Temperatura Unidad sin A/C (°C)
13:35	21,32	21,4
13:40	20,6	21,8
13:45	19,17	21,8
13:50	18,53	21,7
14:00	18,08	21,89
14:10	17,65	21,94
14:20	17,7	21,99
14:30	17,44	22,03
14:40	17,15	22,08
14:50	16,72	22,15
15:00	17,22	22,18
15:10	17,2	22,2
15:20	17,51	22,2
15:30	17,7	22,2
15:40	17,9	22,32

Imagen propia, 2024.

Existe un promedio de 18,1°C en el módulo donde se dejó funcionando el aire acondicionado diseñado, y un promedio de 21,9°C en el módulo donde no estaba el aire acondicionado. Los registros obtenidos dan cuenta de como en el módulo con A/C va reduciendo significativamente su temperatura con respecto al módulo sin A/C.

El punto con mas diferencia registrado se dio en la hora 14:50, donde existe una diferencia de 5,43°C entre el modulo con el A/C funcionando y el modulo sin A/C. dando cuenta que existió una rebaja de temperatura del 21% con respecto a su temperatura inicial.

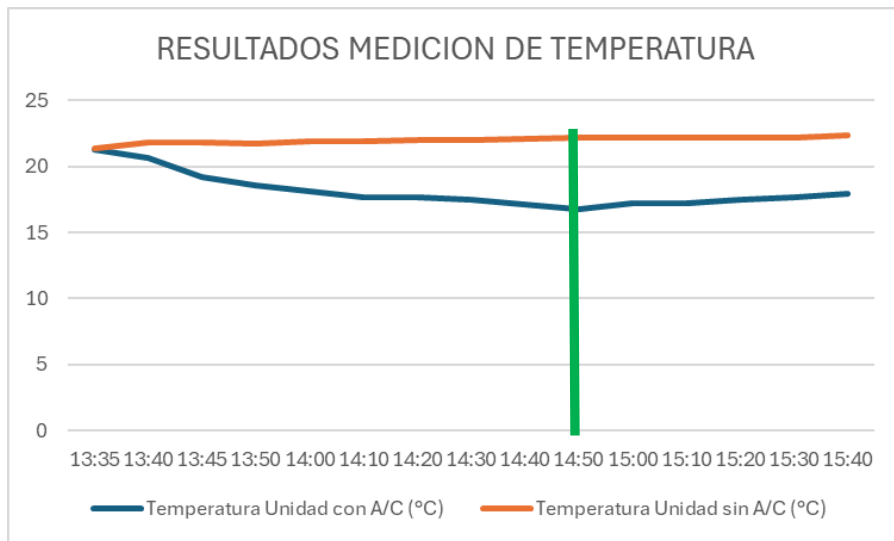


Imagen propia, 2024.

Los resultados fueron concluyentes, el aire acondicionado diseñado y fabricado funciona. Baja considerablemente la temperatura que pasa a través de el usando el dinamismo del aire, agua y alfareria.

Capítulo 4

Evaluar económicamente la fabricación e implementación del sistema

Análisis de precio unitario.

Materiales					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Madera 2" x 4" cepillada	pza	1,5	\$ 4.940	\$ 7.410
2	Madera 1" x 2" cepillada	pza	0,5	\$ 1.390	\$ 695
3	Tornillo para madera 3"	uni	12	\$ 60	\$ 720
4	OSB 9mm	placa	0,34	\$ 11.990	\$ 4.077
5	Fibrocemento 5mm	placa	0,34	\$ 8.150	\$ 2.771
6	perno con tuerca 3mmx2"	uni	250	\$ 40	\$ 10.000
7	Silicona	uni	1	\$ 2.500	\$ 2.500
8	Elementos de greda	uni	100	\$ 1.000	\$ 100.000
9	Perdidas		0,05		
	Subtotal				\$ 134.581

Mano de Obra					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Maestro carpintero	H.H	0,8	\$ 2.083	\$ 1.666
	Leyes sociales	%	0,3	\$ 1.666	\$ 500
	Subtotal				\$ 2.166

Herramientas					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Desgaste de Herramienta	%	0,05		\$ 108
	Subtotal				\$ 108

Bomba					
item	Descripción	unidad	cantidad	precio unitario	precio total
1	Bomba recirculadora 40 v	gl	1	\$30.000	\$30.000
2	pvc hidraulico 25mm	pza	0,16	2490	398,4
3	Manguera jardin transparente	metros	4	1000	4000
4	abrazaderas	unidad	8	280	2240
	Subtotal				\$36.638

PRESUPUESTO AIRE ACONDICIONADO					
Nombre Proyecto		MODELO DE PROTOTIPO DE AIRE ACONDICIONADO ECOLOGICO			
Dirección		ARTEAGA ALEMPARTE 943			
Comuna		HUALPEN			
ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO EN \$	TOTAL
1	Marco rígido A/C	M2	0,29	\$ 136.856	39.688
2	Bomba recirculadora	gl		\$ 36.638	76.326

COSTO DIRECTO		\$	116.014
GG Y UTILIDADES		\$	29.004
SUBTOTAL		\$	145.018
19% IVA		\$	27.553
TOTAL		\$	172.571

Dando un costo total de 172.571 CLP en materiales de fabricación a precios comerciales de Noviembre 2024, Chile

Consumo Kilowatts

Es necesario cuantificar los tanto de fabricación como también del consumo eléctrico del funcionamiento del sistema de aire acondicionado fabricado, ya que si bien el consumo es mínimo, es importante considerarlo.

El consumo eléctrico más significativo del sistema es el uso de la bomba recirculadora. En esta ocasión se usó una bomba sumergible de 40 watts. Simplificando la ecuación, el consumo promedio parcial de un elemento de 40 watts es de 0,04Kw la hora. En el contexto de nuestro experimento que tuvo una duración total de 2 horas, podemos concluir que:

$$- 0,04 (\text{Consumo Kw}) \times 2 (\text{horas}) = 0,08 \text{ Kwh}$$

Teniendo en consideración el precio de la energía eléctrica en Chile, región del Biobío (promedio): 361 CLP. Por lo tanto

$$- 361 (\text{precio Kw}) \times 0,08 (\text{kwh}) = 28,8 \text{ CLP (por 2 horas)}$$

Si ese resultado lo dividimos entre 2, nos da un total de 14,4 CLP x hora. Esto quiere decir que 1 hora de funcionamiento de la bomba sumergible recirculadora de 40 watts nos da un consumo de **0,04 kilowatts** y un precio de consumo de **14,4 pesos chilenos**.

Consumo Litros (agua).

Para cuantificar el consumo de agua que nos demanda la implementación del sistema de aire acondicionado sostenible, aplicamos las siguientes fórmulas a partir de los siguientes datos:

$$- 640\text{mm} \times 235\text{mm} \times 110\text{mm} = 16,544,000\text{mm}^3 (\text{capacidad de agua del receptáculo})$$

Para mejor entendimientos, estos datos se transforman de mm^3 a m^3 , haciendo la siguiente operación:

$$- 16544000 (\text{mm}^3) / 1000000000 = 0,016544 \text{ m}^3$$

Teniendo los m^3 que puede retener el receptáculo, hay que cuantificarlo en litros, por lo tanto:

$$- 0,016544 (\text{m}^3) \times 1000 = 16,54 \text{ litros.}$$

El precio del litro de agua establecida en la región del Biobío es de 1,4 CLP, Por lo tanto:

$$- 1,4 (\text{peso chileno}) \times 16,54 (\text{litros}) = \mathbf{23,15 \text{ CLP}}$$

Cabe destacar que el agua no requiere una renovación constante ya que teniendo un correcto control en cuanto a la fuga, no debiese existir recambio. Teniendo esto considerado, solo hay que rellenar con agua 1 sola vez.

Se puede concluir que el consumo en cuanto a dinero sumando el precio del agua y Kilowatts ocupado en el funcionamiento del sistema de aire acondicionado es de **51,95 CLP**.

Comparación económica entre sistema de aire acondicionado diseñado V/S sistema de aire acondicionado tradicional.

Es importante dar conocimiento acerca de la diferencia económica que existe entre el sistema de aire acondicionado tradicional vs el aire acondicionado ecológico diseñado, es por eso que se comparará el costo inicial, costo de funcionamiento y costo de mantención.

Costo inicial:

Para este ITEM se considerará el costo inicial del aire acondicionado ecológico diseñado como el costo de fabricación de este, y para el caso del A/C tradicional se enfocará en el precio de mercado.

Costo inicial	
Aire acondicionado ecologico	Aire acondicionado tradicional 1200 btu
\$172.571	\$359.990
Diferencia	\$187.419

Costo funcionamiento:

Para este ITEM se considerará el costo de funcionamiento como el costo económico que implica el funcionamiento por hora del sistema de ambos sistemas de aire acondicionado.

Costo funcionamiento por hora	
Aire acondicionado ecologico	Aire acondicionado tradicional 1200 btu
\$55	\$905
Diferencia	\$850

Costo mantención:

Para este ITEM se considerará el costo de mantención al sistema de aire tradicional a las mantenciones anuales que se hacen a la limpieza de filtros, unidades interiores, revisión o cambio de gas refrigerantes y componentes eléctricos 1 vez al año, los precios varían en el mercado entre \$40.000 y \$70.000, para efectos de investigación se promediará en \$55.000 y para efectos del mantenimiento del A/C, se considerará recambio de 5 unidades de greda mas 1 capa de barniz marino a la madera expuesta al agua.

Costo mantención	
Aire acondicionado ecologico	Aire acondicionado tradicional 1200 btu
\$10.990	\$55.000
Diferencia	\$44.010

Por lo tantos en todos los ítems mencionados, el A/C ecológico es más barato.

Ventajas y desventajas

Dentro del proceso de evaluación del sistema de aire acondicionado es importante recalcar y las ventajas tanto de la fabricación como del funcionamiento del sistema de aire acondicionado tradicional como del aire acondicionado eficiente diseñado en este proceso investigativo.

Ventajas:

- **Poco consumo energetico:** El proceso de fabricación requiere poca energía eléctrica ya que no se requiere más que herramientas clásicas de construcción como lo son sierra circular y taladro, así también el proceso de funcionamiento del aire acondicionado ecológico diseñado no requiere más que 0,04kw por hora y solo 16 litros (no renovables). En síntesis el consumo energético es bajo comparado con un AC tradicional que consume 2,5 kh por hora (en promedio).
- **Poco costo de mantención:** El costo de mantención también es considerablemente bajo, ya que el sistema de aire acondicionado según el prototipo de esta investigación no requiere mayor mantención que una capa de barniz marino sobre las superficies de madera 1 vez al año.
- **Materiales de fácil acceso:** El acceso a los materiales para la fabricación del sistema del aire acondicionado como también para la mantención de este, son de fácil acceso, ya que no requiere más que madera seca de escuadría 2x4” que se encuentra en ferreterías clásicas e industriales, tornillos, pernos, tuercas y jarrones de greda.
- **No requiere mano de obra calificada para la fabricación e implementación:** Como ha sido el ritmo de las explicaciones de este trabajo investigativo, la fabricación no requiere mayores conocimientos técnicos en cuanto a la construcción ya que la mayor parte del trabajo es corte y unión de maderas y unión de elementos de greda, en comparación con otros elementos de acondicionamiento térmico.

Desventajas:

- **Necesita flujo de aire constante para su funcionamiento:** Este sistema de aire acondicionado depende exclusivamente de las corrientes de aire que circulan a través de ella, por lo que si este se encuentra en un sector donde no exista flujo de aire, este A/C no tendrá resultados óptimos.
- **Los elementos de greda pueden ser frágiles:** Si bien los elementos de greda son de dureza considerable, estos son frágiles y tienen poca resistencia a la tracción, por lo tanto al aplicar una fuerza no controlada estas se pueden romper fácilmente, haciendo que se pierda ese elemento completamente.

- **No regula a disposición la temperatura requerida:** Esto se explica a que este sistema de A/C solo regula temperatura a través de las propiedades termodinámicas presentes en el momento donde se está aplicando, dependiendo de la temperatura de la greda, agua, calor, humedad ambiental, etc... No tiene autonomía para decidir ni solicitar temperaturas específicas requeridas.

Mejoras a prototipo A/C.

Al prototipo de A/C diseñado es importante también mencionar las mejoras que se le podrían aplicar para futuras aplicaciones:

- **Impermeabilizar elementos estructurales como madera y OSB:** Primeramente, se puede impermeabilizar a través pinturas, esmaltes o barniz, pero dada la tecnología actual se pueden implementar nuevos revestimientos como también reemplazar este material por unos más impermeables.
- **Mejorar diseño a solicitud del entorno:** El entorno es clave para el diseño de fabricación y eventualmente utilización del A/C, por lo tanto, es importante estandarizar medidas de diseño adaptables a cualquier espacio donde se requiera instalar.
- **Necesidad de homogenizar medidas de elementos de greda:** Los elementos cónicos de greda fabricados para este experimentos son hechos completamente a mano con torno eléctrico, esto si bien es artesanal, barato y cultural, también tiene contraindicaciones como por ejemplo que no todos quedan a la misma medida ni grosor. Por lo tanto si se requiere industrializar este modelo, este proceso tiene que ser más estandarizado.
- **Mejorar caída de goteo:** Si bien es cierto se necesita que haya una caída de agua constante, pareja y controlada, esto requiere de estudios mas técnicos para evaluar condiciones como evaporación, cantidad de agua que se pierde por salpicadura, etc... por lo tanto teniendo estas evaluaciones se podría mejorar considerablemente el control sobre la caída del agua a través de los elementos de greda.
- **Evaluar técnicamente velocidad y presión de salida de aire:** Lo que indica Bernoulli es que cuando un fluido, en este caso el aire, pasa por un canal donde su sección de salida es inferior a su sección de entrada, ocurre un efecto donde aumenta su velocidad. Los elementos de greda fabricados fueron tipo cónico para aprovechar esta condición, pero no se evaluó la velocidad de salida del aire a través de A/C. Es importante evaluar esta condición para futuras mejoras y rendimientos.

Conclusiones por capítulo

Capítulo 1: estudiar sistemas de aire acondicionado utilizando greda y agua

Sin duda alguna los conocimientos primitivos han estado latente durante la evolución humana como así también en su progreso, ya que estas propiedades termodinámicas de los elementos estudiados han sido utilizadas en diferentes formas y en diferentes áreas. La empresa privada COOLANTS lleva la delantera en cuanto a los sistemas de A/C de este tipo.

Capítulo 2: Diseñar sistema de aire acondicionado en base a materiales sustentables como la greda en combinación con el agua.

Durante el transcurso y finalización de este estudio se pudo comprobar que existen numerosos diseños para lograr los resultados obtenidos, ya que teniendo como prioridad el uso correcto de las propiedades termodinámicas del agua y la greda, un diseño puede ser más eficiente o no, pero el resultado se enmarcará dentro de los márgenes esperados.

Capítulo 3: Fabricar, ejecutar y registrar datos de eficiencia de sistema de aire acondicionado.

Uno de los ejes de este programa fue enfocar el conocimiento, tanto la explicación como la ejecución, a la población en general, teniendo un mínimo de conocimiento en cuanto a construcción. Y eso se logró, ya que las técnicas utilizadas para la fabricación y puesta en marcha del aire acondicionado diseñado fue básico tanto en sus materiales como en su realización.

Capítulo 4: Evaluar económicamente la fabricación e implementación del sistema:

Si se compara este sistema de aire acondicionado pasivo y ecológico v/s un sistema de aire acondicionado tradicional, hay mucha diferencia. Ya que en solo su costo inicial (de fabricación en caso del A/C ecológico y compra en caso del A/C tradicional) hay mucho margen de diferencia. Siguiendo la diferencia que existe en el consumo diario de esta.

Conclusiones generales.

- El sistema de aire acondicionado estudiado y ejecutado cumplió con el propósito para el cual fue diseñado, bajar la temperatura (°C) del aire que pasa a través de él.
- Este desarrollo investigativo da partidas para seguir ahondando en cuanto a las mejoras prácticas y eficientes que nos pueden ofrecer los comportamientos termodinámicos de materiales nobles como el barro y el agua para la eficiencia energética en la búsqueda de confort térmico en la construcción.