

Aplicación de un aislante térmico compuesto de fibras de abacá a un horno calentado por GLP de la empresa NEGGINCO en la ciudad de La Concordia-Ecuador

Juan Francisco Pardo Narváez

Universidad Internacional SEK

Nota del autor:

Juan Francisco Pardo Narváez, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK. Cualquier inquietud de la aplicación del aislante térmico compuesto de abacá dirigirse a:

jumpi1500@hotmail.com

jaime.molina@uisekedu.ec

Declaración Juramentada

Yo, JUAN FRANCISCO PARDO NARVAZ, con cédula de ciudadanía 171338545-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado profesional; y, que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

JUAN FRANCISCO PARDO NARVAEZ

C.I:1713385456

Dedicatoria

Nunca un hijo tuvo mejor madre como la que yo tengo. María Cecilia es mi heroína mi ejemplo de vida la persona que nunca desmaya y sale delante de todos los problemas por más grande o pequeño que este sea, me enseñó a luchar por mis sueños a no desfallecer, a levantarme con más fuerza de alguna derrota, si hoy erro mañana puedo encontrar la solución, siempre y cuando haga las cosas de corazón con mucha dedicación perseverancia y sobre todo mucha fe y amor a Dios. Sin olvidar a mi hermana Claudia y abuelos Rosario y Francisco por su apoyo incondicional a mi gente de la Concordia que de alguna u otra manera contribuyeron con la elaboración de esta tesis de grado.

“Si una persona no tiene sueños no tiene razón de vivir.”

Ayrton Sena

Agradecimiento

El agradecimiento para mí es un reconocimiento hacia las personas o instituciones que de alguna manera formaron parte del proceso para alcanzar este título.

Debo empezar por mi profesora de escuela la Sra. Amable Pazmiño que gracias a ella las matemáticas nunca fueron problema para mí.

La UISEK por brindarme la oportunidad de ser parte de ellos como alumno, fueron los años de pregrado más tranquilos de mi vida, el trato a cada persona es igualitario no importa que seas costeño, serrano o del oriente todos son iguales ninguno tiene privilegios por ser blanco o de color, rico o pobre.

Al ingeniero Gustavo Moreno, el consejero de Ingeniería Mecánica, que calidad de ingeniero, apasionado por su trabajo y sobre todo de la electrónica, su forma de enseñar practicando, diseñando, conectando circuitos es única porque uno como estudiante puede errar y errar, pero el, siempre está dispuesto a brindar su ayuda sin dejar de sonreír.

Por último, deje a mi tutor de tesis, el Ingeniero Jaime Molina, el único ingeniero que yo conozco que en diseño de elementos de máquinas te diga, defiéndame tu diseño porque cada persona es un mundo y tiene diferentes ideas mientras sea viable y sostenible es válido, eso nunca me voy a olvidar, por eso lo escogí como tutor de tesis, yo sabía que me iba a dejar desarrollar mis ideas y respetar mi diseño en el prototipo, nunca interviene en nada solo cuando se tiene algún error te lo hace ver para que lo arregles, por eso mi reconocimiento y agradecimiento a estos dos ingenieros, su don para llegar a los alumnos es único, ojala no cambien y mantengan sus ideas de enseñar ingeniería.

Índice de contenidos

Índice de contenidos 5

Índice de tablas 9

Índice de figuras..... 11

Resumen..... 14

Abstract..... 15

Introducción 15

 Objetivo general 16

 Objetivos específicos..... 16

 Justificación..... 16

 Reseña histórica de las Fibras vegetales naturales 17

 Clasificación de las fibras naturales 17

 Fibras de origen mineral..... 17

 Fibras hechas por el hombre..... 18

 Fibras químicas artificiales 18

 Fibras químicas sintéticas 18

 Fibras de origen natural..... 18

 Ventajas de las fibras naturales 18

 Origen de las fibras vegetales..... 18

 Usos de las fibras naturales 19

 Estudios realizados con fibras naturales..... 19

Características físicas y químicas	20
Propiedades mecánicas	21
Abacá o Cábano de Manilla	24
Historia	24
Características	25
Composici3n qu4mica.....	25
Variedades	26
Grado de la fibra	26
Macadamia	27
Origen de la nuez de macadamia.....	28
Propiedades de la nuez de macadamia	28
Beneficios de la nuez de macadamia.....	29
Su consumo	29
Horno secador	30
Seca-aireaci3n de granos	31
Estudios relevantes	31
Quemadores.....	32
Quemadores atmosf4ricos.....	32
V3lvula para tanques de GLP dom4sticos.....	33
Fuente: (Keelgas cia.Ltda, 2015)	34

Manguera industrial.....	34
Plancha galvanizada	35
Tubo estructural cuadrado.....	35
Ventajas	36
Malla metálica expandida.....	36
Aislante térmico	37
Sostenibilidad de aislantes térmicos	37
Conductividad térmica.....	38
Método	39
Construcción de horno prototipo.....	39
Estudio del porcentaje de aislante térmico óptimo para el horno prototipo.....	40
Implementación del aislante térmico de abacá.....	43
Consumo de GLP	51
Proyección consumo de GLP	52
Balance energético	52
Resultados	65
Análisis de resultados.....	67
Discusión.....	71
Conclusiones	72
Recomendaciones.....	73

Bibliografía	74
ANEXOS.....	78
Anexo 1. Tenacidad de fibras de abacá de diferentes grados	78
Anexo 2. Planos del horno prototipo	79
Anexo 3. Tablas de datos de secado de macadamia sin aislante térmico.....	79
Anexo 4. Tablas de datos de secado de macadamia con aislante térmico al 40% de su capacidad.	81
Anexo 5. Tablas de tiempo y temperatura que mantiene caliente el aislante de abacá las nueces de macadamia.	82
Anexo 6. Ensayo de 4 horas al 100% de capacidad de aislante para buscar la estabilidad en las temperaturas del horno prototipo	83
Anexo 7. Tabas de temperatura entre paredes internas, aislante térmico de abacá y paredes externas.....	87

Índice de tablas

Tabla 1	21
Tabla 2	22
Tabla 3	22
Tabla 4	23
Tabla 5	23
Tabla 6	26
Tabla 7	34
Tabla 8	37
Tabla 9	43
Tabla 10	46
Tabla 11	47
Tabla 12	48
Tabla 13	50
Tabla 14	51
Tabla 15	52
Tabla 16	52
Tabla 17	56
Tabla 18	59
Tabla 19	62

Tabla 20 66

Índice de figuras

Figura 1. Clasificación de las fibras naturales, (Salas A. , 2009)..... 17

Figura 2. Uso de las fibras vegetales, (Cadena & Leterrier, 1994) 19

Figura 3. Algunas fibras Naturales y Comerciales, (Salas A. , 2009)..... 20

Figura 4. Estructura Cristalina de la celulosa, (Lawther & Lilholt, 1993)..... 20

Figura 5. Fibras de Abacá. 24

Figura 6. Planta de Abacá. 25

Figura 7. Estructura molecular de la celulosa, (Cadena & Leterrier, 1994) 26

Figura 8. Variación del diámetro de la fibra con respecto a la longitud de la fibra, (Narvaéz & Morejón , 2013) 27

Figura 9. Fruta de macadamia en cascara. (Castro, 2014) 27

Figura 10. Proceso de la nueza de macadamia desde el árbol a la industria..... 29

Figura 11. Horno secador de Macadamia empresa Negoinco, (Negoinco Sa, 2015) 30

Figura 12. Nuez de macadamia a 65⁰C 31

Figura 13. Quemador atmosférico para horno prototipo, (Gasolec, 2017) 33

Figura 14. Válvula Reguladora de GLP para el horno prototipo, (Keelgas cia.Ltda, 2015)..... 34

Figura 15. Manguera industrial amarilla. (Ecuamangueras, 2015)..... 35

Figura 16. Láminas de plancha galvanizada para el horno prototipo. (Dipac, 2017) 35

Figura 17. Malla expandida para el horno prototipo. (ArceloMittal, 2016)..... 36

Figura 18. limites inferior y superior de conductividad térmica de las fibras, (Mimbrea, 1997) 38

Figura 19. Termogravimetría de la fibra de abacá, (Salas A., 2009) 41

Figura 20. Pistola de Temperatura Marca TOPG modelo TG8013H, (Delgado, 2017) 42

Figura 21. Secado sin aislante térmico, lote de 3 kg 42

Figura 22. Temperatura óptima para el secado de macadamia 43

Figura 23. horno lleno al 40% de fibras de abacá 44

Figura 24. Consumo de GLP para 40% de aislante térmico 44

Figura 25. Peso del abacá al 40% de capacidad del prototipo 45

Figura 26. Cantidad de macadamia a ser secada..... 45

Figura 27. Macadamia seca a temperatura optima, 40% de aislante en el horno..... 46

Figura 28. Peso de abacá para llenar el 80% de la capacidad del horno 47

Figura 29. Horno al 100% de su capacidad de aislante..... 48

Figura 30. Cantidad de abacá para llenar el 100% de la capacidad del horno 49

Figura 31. Macadamia seca a temperatura optima, 100% de aislante en el horno..... 49

Figura 32. Consumo de GLP para 100% de aislante térmico. 50

Figura 33. Temperatura a 50 min de haber apagado el horno..... 51

Figura 34. Esquema de pared de horno prototipo. 53

Figura 35. Dimensiones del prototipo 65

Figura 36. Tiempo y temperatura que transcurre, para que se estabilice el quemador y placa distribuidora de calor. 67

Figura 37. Tiempos y temperaturas en estabilizarse horno y macadamias. 68

Figura 38. Temperaturas y tiempos de enfriamiento con aislante térmico en las paredes del horno al 100% de su capacidad, de las nueces de macadamia..... 68

Figura 39. Consumo de GLP vs Tiempo..... 69

Figura 40. Proyección consumo de GLP..... 70

Figura 41. Proyección de costos de consumo de GLP 70

Figura 42. Proyección de producción de lotes de macadamia 71

Figura 43. Razón de transferencia de calor 72

Resumen

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo aplicar un aislante térmico compuesto de fibras de abacá aun horno secador de nueces de macadamia calentado por GLP de la empresa Negoinco en la ciudad de la Concordia. Después de algunas investigaciones y aplicaciones del secado de frutos secos, en diferentes empresas y talleres que se dedican al diseño y fabricación de hornos secadores de cacao, café y nueces de distintas especies, se decidió construir un horno en prototipo, con fines de puesta a punto se realizaron prácticas de 3,64 kg con el 40%, 80% y 100% de capacidad en las paredes.

La regulación de salida de gas se la hace con la perilla del quemador para abrir o cerrar el paso de GLP, para este proceso no se necesita mucha salida de gas debido a que horno solo tiene que llegar a una temperatura máxima de 77°C. porque las nueces de macadamia a 65°C se despegan de la cascara en su interior y ese es el objetivo por el cual se construyó el prototipo, dependiendo de la cantidad de aislante en el horno los tiempos de secada mejoran, el mejor tiempo se logró con 100% de capacidad de aislante en el horno usando 3,68kg de abacá con un consumo de 0,06 kg de GLP en 38 minutos.

Logrando realizar prácticas de secado, de manera segura lo cual ayudará a los usuarios que deseen este prototipo como parte de sus proyectos tanto en el plano público y privado en mejorar sus tiempos de secado y consumo de GLP.

Abstract

The objective of the present titration work is to apply a thermal insulation composed of abaca fibers to a macadamia nut kiln heated by GLP, from the Negoingo company in the city of Concordia. After some research and applications of dried nuts, in different companies and workshops that are dedicated to the design and manufacture of drying kilns of cocoa, coffee and nuts of different species, it was decided to build a prototype oven, with the purpose of putting Practical point of 3.64 kg was made with 40%, 80% and 100% capacity on the walls.

The regulation of gas output is made with the burner knob to open or close the GLP, for this process does not need much gas output because the oven only has to reach a maximum temperature of 77 °C. because the macadamia nuts at 65 °C, are detached from the shell inside and that is the objective for which the prototype was built, depending on the amount of insulation in the oven the drying times improve, the best time was achieved with 100% insulation capacity in the oven using 3.68kg of abaca with a consumption of 0.06 kg of GLP in 38 minutes.

Achieving drying practices, safely which will help users who want this prototype as part of their projects both in the public and private plans to improve their drying times and consumption of GLP.

Introducción

Actualmente, la industria promueve la investigación de diferentes tipos de materiales compuestos, que presenten mayores ventajas remplazando las materias primas más utilizada en la producción, tales como: el metal, fibras de carbono y vidrio que son dañinas para el medio ambiente debido al manejo inadecuado de los recursos.

Ecuador es considerado el segundo productor de fibra de abacá del mundo, gracias a sus condiciones climáticas y medio ambiente, siendo esta muy apreciada por su gran resistencia mecánica, flotabilidad y sobre todo resistencia al deterioro por contacto con el agua salada, sin embargo no existe ninguna empresa ecuatoriana que se dedique a la elaboración y desarrollo de nuevas tecnologías con esta fibra, por ello toda la producción nacional es exportada. La falta de conocimiento y sobre todo de propaganda de este producto por las entidades agrícolas

gubernamentales ha sido otro factor que ha impedido el desarrollo y financiamiento de nuevas industrias en esta rama.

En la actualidad el sinnúmero de usos que tiene la fibra y pulpa del abacá hace que a nivel internacional la demanda de este producto cada día sea mayor, la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Internacional SEK Ecuador en su afán de mejorar cada día más, involucra a sus estudiantes a que desarrollen nuevas ideas innovadoras utilizando materias primas o recicladas que estén al alcance para mejorarlas y darles uso industrial. En este caso este proyecto utiliza la fibra de abaca como material principal de un aislante térmico para aislar un horno secador de nueces de macadamia.

Objetivo general

Disminuir el consumo de GLP del horno secador de macadamia de la empresa NEGGINCO, mediante la aplicación de un aislante térmico compuesto de fibras de abacá, para ahorrar combustible y trabajar de formas más eficiente.

Objetivos específicos

- Determinar cuáles son las cualidades, virtuales y defectos de la utilización del abacá como elemento principal del aislante, mediante los resultados obtenidos a través de las probetas de experimentación.
- Verificar la cantidad de aislante térmico más idónea a ser utilizada, para disminuir el consumo de GLP y tiempos de secado de las nueces de macadamia.

Justificación

La Universidad Internacional SEK, especialmente la Facultad de Arquitectura e Ingeniería están a la vanguardia de la excelencia académica, para lo cual desarrollan proyectos innovadores con ayuda de personal capacitado, siendo estos guías y formadores de futuros profesionales, por lo cual el presente proyecto tratara de adherirse a la generación masiva de aislantes térmicos naturales y sintéticos.

La incorporación de nuevas tecnologías que reduzcan el costo, y sobre todo el gravísimo problema medioambiental, es una estrategia para mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales. Para satisfacer eficientemente necesidades de los mercados y su vez, sean sustentables.

Reseña histórica de las Fibras vegetales naturales

Las fibras naturales son sustancias muy alargadas producidas por plantas y animales, que se pueden hilar para obtener hebras, hilos o cordelería, según (Cadena & Leterrier, 1994). Esto permitió buscar mejores materiales para satisfacer las necesidades requeridas.

Clasificación de las fibras naturales

Las fibras pueden ser clasificadas de acuerdo a su origen:

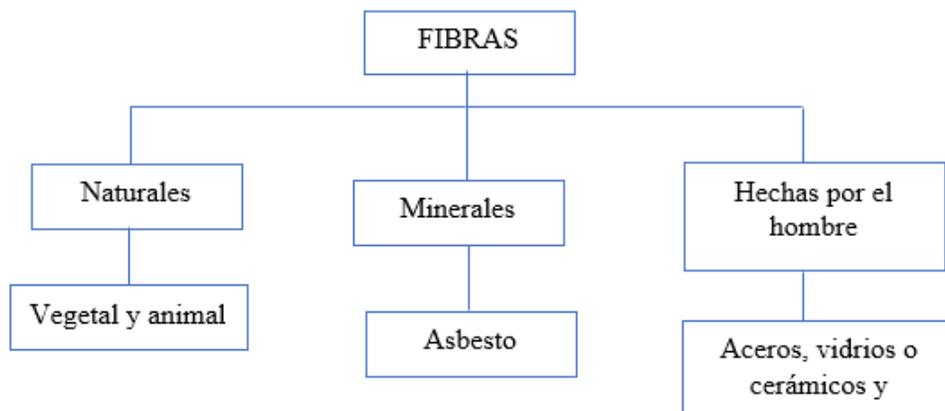


Figura 1. Clasificación de las fibras naturales, (Salas A. , 2009)

Fibras de origen mineral

Se obtiene tras la unión de diversos minerales seguida posteriormente de la fusión de los mismo, se utiliza principalmente para la elaboración de aislantes térmicos y acústicos, la fibra de vidrio es la más famosa fibra de origen mineral que se utiliza a gran escala en tejidos corrientes, (Reyes, 2008).

Fibras hechas por el hombre

Las fibras químicas a su vez se dividen en artificiales y sintéticas o también llamadas fibras no celulósicas, hechas por el hombre. (Nieto, 1975)

Fibras químicas artificiales

Sus materias primas provienen de la naturaleza, principalmente la celulosa, pero han sido procesadas por el hombre para obtenerlas como producto terminado, (Cadena & Leterrier, 1994).

Fibras químicas sintéticas

No dependen de cosechas y su volumen pueden ser modificadas a voluntad. Las propiedades químicas pueden ser modificables; por ejemplo, pueden variar la resistencia, el color o a su vez el brillo, una de sus principales desventajas es la elevada absorción de agua, a pesar de esto son las más utilizadas actualmente por su gran duración y resistencia a los agentes externos, (Cadena & Leterrier, 1994).

Fibras de origen natural

Las fibras vegetales están compuestas principalmente de celulosa, que, a diferencia de las proteínas de las fibras de origen animal, es resistente a los álcalis, así mismo son resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero los ácidos minerales fuertes las destruyen, (Pierre, 2006).

Ventajas de las fibras naturales

Su principal ventaja es la amplia disponibilidad en los países subdesarrollados, este grupo de fibras naturales tiene un bajo costo de producción en comparación con los otros tipos de fibras, según (Pierre, 2006), además las fibras naturales se pueden obtener usando la mano de obra disponible en la localidad y pueden ser procesadas química o mecánicamente para mejorar sus propiedades, también se requiere menos energía en su proceso de extracción.

Origen de las fibras vegetales

Las fibras naturales pueden provenir principalmente del tallo y de las hojas de las plantas, también puede obtenerse fibras de la cáscara superficial de algunas frutas, según (Lawther & Lilholt, 1993), son básicamente celulosa, la celulosa es utilizada en la industria textil por su

buena flexibilidad y gran absorción de la humedad, en tejidos que provienen de fibras de hojas cascaras de frutos la resistencia mecánica es muy alta.

Usos de las fibras naturales

Según (Salas A. , 2009), los usos de la fibra natural son legendarios y de alta aplicabilidad dentro de la agricultura, ambiente cordelería, farmacéutica, decoración, aglomerados, construcción, artesanía, industria automovilística, combustibles, papel y sobre todo para aislantes térmicos, entre otros. En la actualidad ha cobrado una enorme importancia en la investigación sobre el desarrollo de nuevos productos donde se usa fibras vegetales como material base.



Figura 2. Uso de las fibras vegetales, (Cadena & Leterrier, 1994)

Estudios realizados con fibras naturales

En la actualidad, según (Reyes, 2008), los materiales compuestos a base de matrices de cerámicos, plásticos y cemento se les incorpora fibras para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, tales como la resistencia a la tensión, compresión, agrietamiento, abrasión, tenacidad e impacto, por lo que la industria está interesada en la investigación de nuevos materiales reforzados con fibras para su uso en la construcción.



Figura 3. Algunas fibras Naturales y Comerciales, (Salas A. , 2009)

Características físicas y químicas

Las fibras de origen vegetal están compuestas de forma general por tres grupos de sustancias, que conforman la pared celular. Estas sustancias en forma de macromoléculas son: celulosa, poliosas y ligninas.

La celulosa es el horno-polisacárido que se encuentra en mayor proporción en los vegetales. Es una estructura básica de las células de las palmas y la sustancia más importante producida por este organismo vivo, siendo el principal componente de la pared celular, se observa la estructura molecular de la celulosa y su característica cristalina

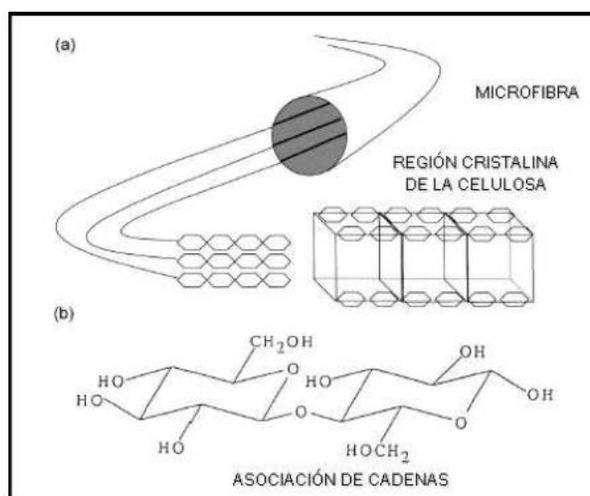


Figura 4. Estructura Cristalina de la celulosa, (Lawther & Lilholt, 1993)

La fibra celulosa es en general una estructura muy firme y poco sensible a la degeneración. La cristalinidad de la celulosa se encuentra en función de la gran cantidad de puentes de hidrogeno, esto explica por la celulosa no es soluble en los sistemas de solventes usuales. Es responsable de determinadas propiedades físicas y mecánicas de las fibras por ser el material sostén del vegetal, dándole resistencia y tenacidad.

Las dimensiones de las fibras vegetales varían entre ellas sin tener patrones comunes para poder relacionar su geometría con su procedencia, como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1

Dimensiones Promedio de Fibras Vegetales.

Fibra Vegetal	Longitud (mm)	Diámetro(um)	Razón
Cáñamo(hebra)	25	25	1000
Yute (hebra)	3	20	150
Caña	1,4	15	90
Algodón	18	20	900
Bambú	2,7	14	200
Suave	3,3	33	100
Dura	1	20	50

Fuente: (Salas A. , 2009)

Propiedades mecánicas

Para obtener buenas propiedades mecánicas en estos materiales se debe partir de fibras fuertes, con buena adherencia con la matriz y con una orientación adecuada con respecto a la dirección de la carga a la que va a ser sometida. En la Tabla 2, se lista los módulos de elasticidad a diferentes condiciones de humedad mientras en la Tabla 3 se presentan la composición y la resistencia a la tracción de algunas fibras conocidas.

Tabla 2

Constante elástica de fibras vegetales

Valores Experimentales de Constante Elástica para fibras Naturales		
Fibra	Condiciones	E exp(GPa)
Cáñamo	Sin humedad	70
	Secado bajo tensión	87
	65% de humedad relativa, cargado	83
	65% de humedad relativa, descargado	93-103
Yute	Sin humedad	66

Fuente: (Salas A. , 2009)

Según (Mazumdar, 2002), la molécula de celulosa es la base sobre la cual radican las propiedades mecánicas de las fibras naturales de origen vegetal.

Tabla 3

Composición química y resistencia a la tracción de algunas fibras vegetales

Propiedades mecánicas y químicas de algunas fibras naturales					
fibra/atado de fibras	contenido de celulosa (%)	contenido de Lignina (%)	Contenido de Pectina (%)	Esfuerzo a la tracción (Mpa)	Rigidez (GPa)
lino	65-85	1-4	5-12	500-900	50-70
Cáñamo	60-77	3-10	5-14	350-800	30-60
yute	45-63	12-25	4-10	200-450	20-55
Abacá	60	12-13	1	-	-
algodón	85-90	-	0-1	-	-
madera suave	40-45	26-34	0-1	98-170	10-50

Fuente: (Salas A. , 2009)

Tabla 4

Densidad de enlaces y esfuerzo ultimo teórico de algunos materiales

materia (Dirección de carga)	Área/Cadena (nm) ²	Fuerza Ultima (20- 19N)	Esfuerzo máximo teórico (GPa)
Diamante (<111>)	0,055	6,1	11
Grafito (en el plano de dirección C-C)	0,071	8,3	116
Polietileno	0,182	6,1	34
(cadenas C-C)	0,182	3,4-3,6	19-20
Celulosa (A lo largo de la cadena)	0,323	3,8-6,1	12-19

Fuente: (Salas A. , 2009)

Según (Cadena & Leterrier, 1994). La resistencia real de las fibras depende de la orientación de su estructura cristalina. La comparación entre esfuerzo ultimo estimado para una orientación cristalina perfecta randónica, es decir de un material isotrópico.

La estructura de la fibra puede contener varias imperfecciones y defectos, mismos que van a convertirse en concentrados de esfuerzos en el momento en que la fibra es sometida a algún tipo de esfuerzo.

En la tabla 5 se presentan los vales del módulo elasticidad experimental y teórico de algunas fibras.

Tabla 5

Constantes elásticas experimentales y teóricas

Material	Área/Cadena [10 ¹⁸ .m ⁻²]	E teórico[GPa]	E experimental[GPa]
Diamante	18,2	900	1100-1200
Grafito	14	-	170-700
Polietileno	5,5	182	240-360
Celulosa	3,1	123	130

Fuente: (Salas A. , 2009)

los factores que afectan a la variedad de resistencia de las fibras de una misma planta son las siguientes:

- Cristalinidad
- Orientación de cadenas moleculares
- Imperfecciones, defectos, roturas.
- Grados de polimerización.

Abacá o Cñamo de Manila

El abacá o el Cñamo de Manila, es una planta de la familia de las Musáceas, propia de Borneo y las Filipinas, crece en lugares cálidos muy lluviosos y es bastante parecida al plátano, pero se diferencia de éste en tener un follaje más derecho y angosto, además de tener usos más variados que el plátano. Es valiosa por sus fibras resistentes que se emplean en la elaboración de cordajes y la fabricación de textiles. (Guerron, 2015)



Figura 5. Fibras de Abacá.

Historia

El abacá es originario de las Filipinas. Se produjo exclusivamente en esta región hasta la Segunda Guerra Mundial, cuando el Ejército Japonés paró la producción y los productores buscaron un nuevo lugar para establecerlo y cultivarlo. Se encontró que Ecuador era un excelente lugar para cultivar abacá.



Figura 6. Planta de Abacá.

Según (Narvaéz & Morejón , 2013), Como la materia prima de este material proviene de una planta, y las mismas contribuyen en la descomposición del CO₂, lo cual favorece en el ciclo de vida del producto final, es decir compensa la producción de CO₂ que se puede llegar a emitir por la producción del aislante térmico.

Características

Es un vegetal de producción perenne, con un ciclo inicial de 18 a 24 meses, luego del cual se realizan las cosechas cada 2 meses según el cuidado y mantenimiento, su periodo de producción es de aproximadamente 20 años.

Según (Salas A. , 2009), las fibras se localizan a lo largo de los tejidos carnosos de las hojas grandes o del peciolo, tienen textura dura y rígida, ligeras en peso, con color crema y resistentes al agua salada. La longitud aproximada de cada hebra oscila entre los 2 y 4 metros, su diámetro fluctúa entre 0,2 y 1,1 mm. Las características mecánicas y químicas de las fibras dependen del desarrollo de la planta y sobre todo de la sección se haya tomado la muestra.

Composición química

La fibra de abacá tiene la siguiente composición: 10% humedad, 63,2% celulosa, 19,6% hemicelulosa, 0,5% pectina, 1,4 extracto aceroso, 0,2 grasa y cera y 5,1% lignina. (Guerron,

2015), la celulosa es el biopolímero más abundante, biodegradable y renovable de los productos macromoleculares naturales.

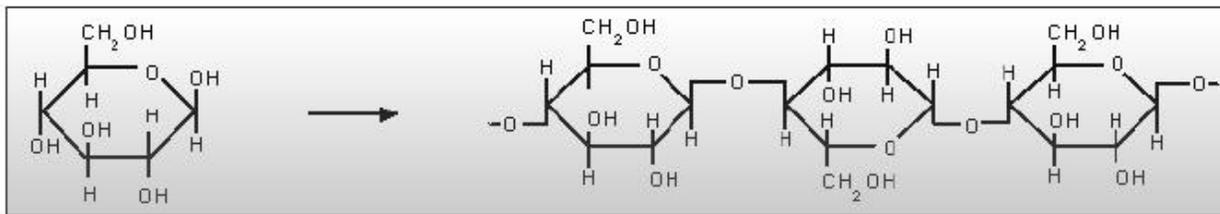


Figura 7. Estructura molecular de la celulosa, (Cadena & Leterrier, 1994)

Variedades

Existen algunas variedades de abacá, (Paez, 2007), pero todas no se utilizan en el comercio, en nuestro país se cultiva en mayor cantidad la Bungalanón y en forma marginal la Tangongón. Las diferencias más notables entre ambas especies se describen en la siguiente tabla.

Tabla 6

Diferencia entre los tipos de abacá que se cultivan en Ecuador.

Bungalanón	Tangongón
variedad precoz, Mayor desarrollo como planta	Producción de hijuelos limitados
Tallos pequeños y delgados, Color café en la base, verde brillante en la parte superior	Tallos de diámetro y longitud mayores, Ligeramente más resistentes al mal de Panamá
Fibras blancas y suaves	Fibra áspera pero fuerte

Fuente: (Paez, 2007)

Grado de la fibra

Un detalle que no se puede pasar por alto en la fibra de abacá es el grado al cual pertenece. Esta diferencia se la hace en el momento de la clasificación de la fibra y depende exclusivamente del color de esta (Gráfico 10). Esta diferencia de colores tiene que ver con la zona del vegetal del cual fue extraída: del interior o exterior del pseudotallo. Se domina a la fibra más clara como de grado uno y al más oscuro grado cinco, que es de menor calidad, (Nieto, 1975)

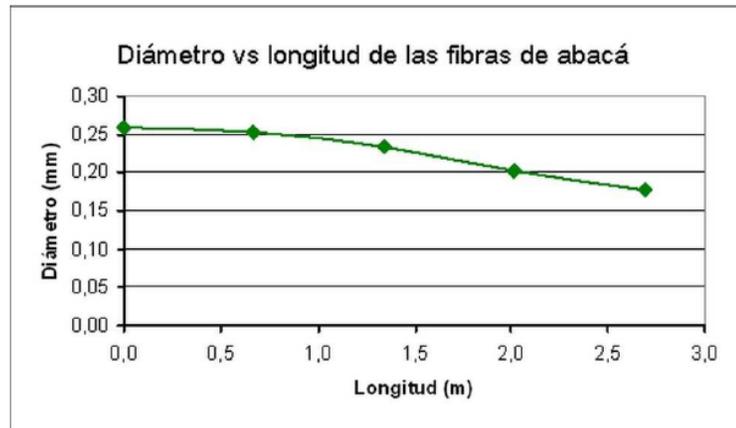


Figura 8. Variación del diámetro de la fibra con respecto a la longitud de la fibra, (Narvaéz & Morejón , 2013)

Es importante señalar que no solo la calidad sino también las propiedades mecánicas de la fibra, dependen de su grado, e incluso comparadas con las otras fibras de la misma planta. El registro de esta variación se amplía en los resultados de las pruebas realizadas para este efecto en laboratorio de textiles de la Escuela Politécnica Nacional (Anexo1).

Macadamia

La nuez de macadamia es un fruto seco, con muchos nutrientes, que aporta gran cantidad de energía. Dota al organismo de grasas monoinsaturadas, que ayudan a regular los niveles de colesterol (Castro, 2014)



Figura 9. Fruta de macadamia en cascara. (Castro, 2014)

El árbol de la nuez de macadamia proviene de Australia. Es pequeño y pertenece a la familia Proteácea. Sus dentadas hojas llegan a medir entre 7 y 17 centímetros de largo. Sus flores son blancas con tonos rosas, en algunos casos.

La cáscara recubre todo el fruto y suele ser dura, con una porción de aceite que va del 79 % al 85%. Durante años, se ha recomendado el consumo de la nuez de macadamia debido a sus múltiples beneficios y rico sabor, semejante al del coco. Es más dulce y menos oleosa que otro tipo de frutos secos.

Origen de la nuez de macadamia

El descubrimiento de la flor de macadamia se remonta al año 1850. Un botánico de nombre Ferdinand Von Mueller fue uno de los grandes impulsores de su cultivo. A él y a un médico alemán, se les adjudica la proeza de su hallazgo. Aunque la mayoría de los árboles de macadamia se encuentran en Australia, su siembra es cada vez mayor en zonas de Indonesia, Nueva Caledonia y, más recientemente, en Hawái.

Diversas investigaciones demuestran que los aborígenes australianos tenían conocimiento de estas nueces, y hacían uso de piedras para abrirlas y aprovechar sus beneficios. Existen solo dos especies que pueden ser consumidas, una es la *Macadamia tetraphylla*, de textura áspera y proveniente de un árbol de cuatro hojas, y la *Integrifolia macadamia*, de estructura suave, y derivada de una planta contentiva de hojas y conchas. Esta última es la más comercializada (Vargas, 1999)

Propiedades de la nuez de macadamia

Según (Castro, 2014). Las nueces de macadamia aportan un poco más de 9 gramos de proteína. Tienen un contenido graso de 78 gramos, y una porción de carbohidratos de 78 gramos. Es bien sabido que cada pieza brinda siete gramos de fibra, y aproximadamente 18 calorías, todo esto ayuda a mejorar el sistema digestivo. Son ricas en minerales como calcio, hierro, fósforo, magnesio, potasio y selenio. Este último es un antioxidante natural que favorece la prevención de diversos tipos de cáncer. De igual modo, la nuez de macadamia se compone de vitaminas A y E, y de algunos nutrientes del Grupo B como B1, B2, B3 y B9. Todo esto hace que muchos expertos la cataloguen como “la mejor nuez de todas”.



Figura 10. Proceso de la nuez de macadamia desde el árbol a la industria

Beneficios de la nuez de macadamia

La nuez de macadamia estimula la pérdida de peso, ayuda a combatir enfermedades como la diabetes, disminuye los riesgos de enfermedades cardíacas, combate los procesos inflamatorios, fortalece el sistema inmunológico, combate el estreñimiento y otros padecimientos estomacales.

Como si fuera poco, fortifica los huesos, mejora el funcionamiento de los sistemas digestivo y nervioso, protege la piel, resguarda la flora intestinal y previene el envejecimiento, por su amplia proporción de antioxidantes, que le han hecho gozar de una gran popularidad.

En personas mayores ayuda a combatir la osteoporosis, y en las mujeres embarazadas interviene en la formación de tejidos conectivos, músculos y plasma sanguíneo.

Muchas personas se preocupan por el aumento del colesterol, pero con la nuez de macadamia no hay de qué preocuparse. El tipo de grasa que proviene de su aceite es bueno, y su acción es clave para reducir las patologías cardiovasculares.

Su consumo

La nuez de macadamia es el ingrediente principal y complemento de muchas recetas, dulces y saladas que se sirven en los restaurantes más exclusivos del mundo. Los especialistas y nutricionistas recomiendan comer una taza de manera inter diaria, especialmente en horas de la tarde, para que pueda digerirse correctamente.

Para los niños, lo aconsejable es media taza como merienda de la tarde. Se les puede acompañar con un vaso de leche. También se puede ingerir la nuez de macadamia en ensaladas,

tortas y variados postres. Atrévase a probar este delicioso y versátil fruto seco para valerse de todas sus bondades para el resguardo de la salud interna y externa.

Horno secador

Son los equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan los materiales y las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. El objeto de este calentamiento puede ser muy variado, por ejemplo:

- Alcanzar la temperatura necesaria para que se produzcan las reacciones químicas necesarias para la obtención de un determinado producto.
- Cambios de estado (Fusión de los metales y vaporización).
- Ablandar para una operación de conformado posterior.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades.

Según (Delgado, 2017). En diferentes procesos industriales se utiliza un horno para dar tratamientos térmicos de diferentes índoles. Los tipos más comunes son hornos de curado, de secado, de cocción, de reflujo, de batch, de transportador o banda, de atmósfera inerte, de alta temperatura, de vacío.



Figura 11. Horno secador de Macadamia empresa Negoingo, (Negoingo Sa, 2015)

Seca-aireación de granos

La seca-aireación de granos es un proceso en el cual el producto se seca, mediante un secador a altas temperaturas, hasta un contenido de humedad superior, en uno a tres puntos porcentuales, al contenido ideal para almacenarlo, sin someterse a enfriamiento mientras pasa por el secador. Luego, el producto pasa a un silo, donde permanece en reposo por un lapso de cuatro a seis horas y posteriormente se enfría, con el sistema de aireación del propio silo, que se debe proyectar para cumplir esa etapa en un período de 12 a 16 horas.

El proceso de seca-aireación presenta tres ventajas en relación al proceso de secado a altas temperaturas, con enfriamiento en el propio secador:

- reducción del consumo de energía
- producto final de mejor calidad



Figura 12. Nuez de macadamia a 65⁰C

Estudios relevantes

La empresa NEGOINCO utiliza el método de sólidos humedecidos por convección para secar las nueces de macadamia, en este caso utiliza secadores de bandeja que consta de un horno de fondo liso con perforaciones, donde se forman costras con los residuos de las frutas secadas, no podemos olvidar que este proceso es lento dura entre 40 y 48 horas con una deshidratación no homogénea y su producción es discontinua (lotes).

El presente proyecto de investigación pretende reducir los tiempos de secado y consumo de GLP, respetando normas de seguridad y medio ambiente, mediante la aplicación de un aislante térmico compuesto de fibras de Abacá, al horno secador de nueces de macadamia para el mejor desempeño y sobre todo eficiencia en los pedidos de su materia prima, los procesos en los que se aplican distintos aislantes térmicos a hornos de secado han mejorado rotundamente su productividad, por ello se construyó un horno de tipo prototipo para analizar cuan rentable es dicha aplicación.

Se cita como ejemplo el Sistema de Aislamiento de Calor para el Proceso de Secado de madera utilizando al sol como emisor de calor, realizado por (Salas, Moya, & Córdoba, 2008), para el Instituto Tecnológico de Costa Rica, donde se diseñó, construyo un prototipo de horno solar secador de madera para garantizar que la diferencia mínima entre las temperaturas externas e internas de al menos 10 °C, utilizando un aislante térmico de fibra de vidrio flexible y aserrín de madera, este último siendo utilizado en las paredes del horno debido a su bajo costo en el mercado.

Quemadores

Los quemadores son aparatos o mecanismos cuya función es preparar la mezcla de combustible + carburante para realizar la combustión, según (UPV, 2014), el combustible y el carburante (aire) entran por separados y en él se regulan las cantidades de cada uno, mezclándose lo más perfectamente posible e iniciándose su propio encendido.

Por la forma en que toman aire de combustión se distinguen dos tipos de quemadores:

- Quemadores atmosféricos
- Quemadores mecánicos

Quemadores atmosféricos

Se emplean, únicamente para combustibles gaseosos. Una parte del aire necesario para la combustión se induce en el propio quemador por el chorro de gas salido de un inyector (efecto Venturi), el aire restante se obtiene por difusión del aire ambiente alrededor de la llama.



Figura 13. Quemador atmosférico para horno prototipo, (Gasolec, 2017)

La principal ventaja de estos quemadores es su simplicidad y bajo costo, la energía de activación se logra mediante llama piloto, que debe estar permanentemente encendida, la regulación del gas se obtiene por variación de presión en el inyector (abriendo y cerrando progresivamente la válvula de gas), esto permite que el quemador pueda ser modulante con relativa facilidad.

Válvula para tanques de GLP domésticos

La función de los reguladores de presión de gas es la de reducir la presión del gas que está disponible para la presión de gas requerida por el calentador y por el controlador de calentamiento. El gas suministrado a un regulador de presión de gas viene en diferentes presiones, a veces fluctuantes. Igual de importante es la necesidad de cambios en el tiempo de calentamiento por lo que la salida de calor debe ser ajustable (Gasolec, 2017).

Lo que se debe tener en cuenta al seleccionar el regulador de presión de gas adecuado:

- Qué Tipo de gas está disponible.
- A qué Presión del gas.
- Qué Tipo de calentador quiere utilizar.
- Cómo queremos controlar la capacidad de calentamiento.
- Manualmente

- Automáticamente
- Alto / Bajo
- Regulación continua
- Qué capacidad de Reguladores de presión de gas se necesita



Figura 14. Válvula Reguladora de GLP para el horno prototipo, (Keelgas cia.Ltda, 2015)

Tabla 7

Ficha técnica de la válvula para el tanque de GLP.

Regulador domestico 2kg/h simples	
Presión	2,8Kpa
Material	aluminio-zamag
Color	azul
Uso	cocinas domesticas

Fuente: (Keelgas cia.Ltda, 2015)

Manguera industrial

Se fabrica en PVC original. Con un refuerzo adicional de Malla de nylon trenzado y tensionado. Color amarillo, resistente y diseñada especialmente para fluido de aire y gas, con una presión de trabajo de hasta 200 Psi, y temperaturas desde un rango de -15⁰C/ 55⁰C.



Figura 15. Manguera industrial amarilla. (Ecuamangueras, 2015)

Plancha galvanizada

El recubrimiento galvanizado posee mayor dureza y resistencia que cualquier otro tipo de recubrimiento, no necesita mantenimiento. Se utiliza para la realización de ductos para aire acondicionado, muebles mobiliario urbanos equipamientos para carrocerías etc. (AcerosCenter, 2017)



Figura 16. Láminas de plancha galvanizada para el horno prototipo. (Dipac, 2017)

Tubo estructural cuadrado

Se utiliza en todo tipo de elementos estructurales como columnas, vigas, cerchas, etc., en general en cualquier otra aplicación en la que sea necesaria la resistencia que ofrecen las secciones tubulares.

Ventajas

Los tubos estructurales soldados ofrecen grandes ventajas sobre los clásicos perfiles estructurales:

- Por su forma cerrada y bajo peso presentan un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo.
- Facilidad de montaje, permitiendo la realización de uniones simples por soldadura.
- Superficies exteriores reducidas, sin ángulos vivos ni rebabas, permitiendo un fácil mantenimiento y protección contra corrosión.
- Posibilidad de configuraciones de gran belleza

Malla metálica expandida

La fabricación de estas mallas parte de un metal rígido, desplegado o expandido que ha sido procesado a partir de un patrón de diseño, mediante el corte y estirado de una lámina en un solo proceso, convirtiéndolo en un material más liviano y resistente que el metal base original. Las mallas expandidas pueden ser producidas en diversos materiales y características técnicas dependiendo del uso final que se quiere dar, con lo cual se pueden lograr aplicaciones ilimitadas, (aceros mapa, 2016)



Figura 17. Malla expandida para el horno prototipo. (ArceloMittal, 2016)

Aislante térmico

Sostenibilidad de aislantes térmicos

Según (Mimbrea, 1997), no es fácil comparar la eficiencia y sostenibilidad de los distintos materiales de aislamiento. Puede que un material nos ayude a ahorrar mucha energía, pero hay muchos factores a tener en cuenta y sólo podemos hacer comparaciones directas entre dos piezas idénticas, con las mismas dimensiones (por ejemplo 1 m²), instaladas de la misma forma, con el mismo uso, y siendo la única diferencia el material del que está fabricado. Para ello han elaborado una tabla con algunos de los aislantes más utilizados.

- El menor valor de conductividad nos permitirá comprobar qué material aísla mejor.
- El ahorro de energía que supone su aplicación nos indica la reducción de demanda para la calefacción y el acondicionamiento ambiental a lo largo de su vida.
- La columna “Residuos” indica la cantidad de residuos generada por cada metro cuadrado de material. Lo deseable es que la generación de residuos tienda a cero.

Tabla 8

Comparativa para el análisis de la sostenibilidad de diferentes materiales aislantes.

Material (1m ²)	Espesor mm	Peso Kg	Conductividad W/m. k	Ahorro energía MJ	Costo energía MJ	Balance ahorro/costo MJ	Residuos Kg
Lana de Vidrio	100(190)	2,55	0,035	14369	96	150	0,09
Aglomerado de Corcho	100	11	0,045	4993	43	116	1,39
Lana de Roca	100(90)	12,05	0,037	14239	149	95	0,06
Perlita expandida	100	15	0,05	4494	68	66	0,16
Fibra de Algodón	100	2,5	0,039	5761	93,5	61,5	0,12
Espuma de Poliuretano	100	10	0,023	21865	384	57	0,09
Lana de	100	3,1	0,042	5350	100	53,5	0,02

Cáñamo(Abacá)

Panel de

Celulosa	100(30)	23	0,039	5761	126	46	0,27
----------	---------	----	-------	------	-----	----	------

Poliestireno

Extruido	100	1	0,046	4885	117	42	0,15
----------	-----	---	-------	------	-----	----	------

Placa de Lino	100	3,1	0,04	5617,5	152	37	0,01
---------------	-----	-----	------	--------	-----	----	------

Fibras de

madera+EPS	100	0,4	0,06	3745	646	10	0,15
------------	-----	-----	------	------	-----	----	------

Fuente: (Mimbrea, 1997)

Conductividad térmica

Según (Mimbrea, 1997). Para comprender el concepto de conductividad térmica, adjuntamos a continuación un gráfico muy aclaratorio para comparar la conductividad de los distintos materiales estudiados. El rango abarcado por cada uno se debe a que, según qué marcas y procesos de fabricación, la conductividad del mismo material puede variar en ese intervalo. Los materiales más aislantes se acercan más al lado izquierdo del gráfico.

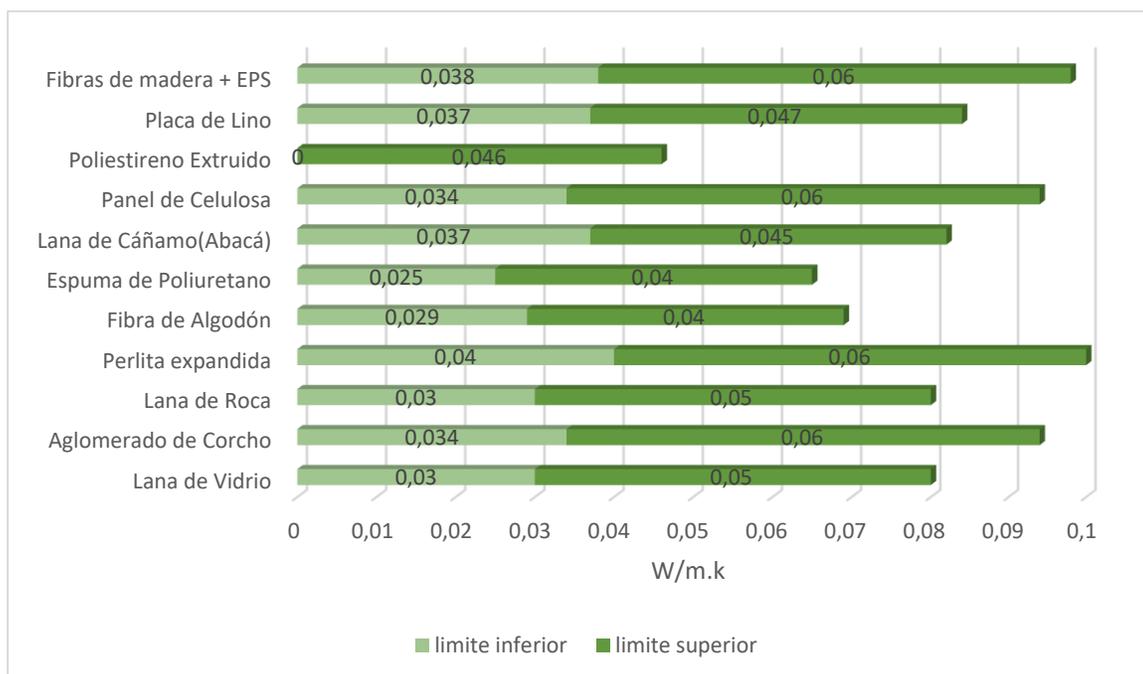


Figura 18. límites inferior y superior de conductividad térmica de las fibras, (Mimbrea, 1997)

Método

A continuación, se presenta la construcción de un horno prototipo secador de nueces de macadamia alimentado por GLP, que servirá de referencia a la empresa Negoinco para mejorar el sistema actual que mantiene en su proceso de secado de nueces.

El diseño del sistema se lo realizó inicialmente con una investigación exploratoria, debido a la necesidad de conocer datos preliminares de condiciones de operación, consumo de combustibles y tiempo de secado en la que llegan las nueces de macadamia en cascara a 65 °C, que es la temperatura óptima para que pasen a la máquina trituradora, al obtener todos estos datos requeridos, se probó todos los sistemas conocidos que se utilizan para el proceso de secado de nueces de macadamia, tales como el método de secadores solares, secadores industriales de GLP y deshidratación de frutas, se utilizó el modelo de transferencia de calor por convección forzada, llevado a cabo por medio de una placa de acero que distribuye calor a todo el horno, con la ayuda de una fuente de alimentación calorífica que en este caso es un quemador industrial conectado a un tanque de GLP de 15kg. Se usó también el método observatorio para verificar cuáles son posibles acciones para mejorar la eficiencia energética del sistema y poder realizar las respectivas correcciones de ser posible, porque al ser un prototipo el margen de mejoras es amplio en comparación con una maquina totalmente terminada.

Construcción de horno prototipo

1. Se utiliza el software Inventor 2016, para diseñar la estructura y componentes del horno prototipo, todas las dimensiones y detalles se encuentran en los planos.
2. Se selecciona los materiales más idóneos que compongan el horno, en base a los requerimientos propuestos en el proyecto.
3. Se busca materiales reciclados, siempre y cuando se encuentren en bus estado.
4. Se selecciona tubo cuadrado de 40 mm (Novacero, 2017), para la base principal del horno.
5. Se selecciona el electrodo AWS E-611, aplicando el criterio que dicta (Indura, 2016), para soldar la estructura
6. Se selecciona la plancha galvanizada ASTM A635 G-60 laminado en frio, (Dipac, 2017), para las paredes internas, externas y tapas del horno prototipo.

7. Se selecciona, broca para metal HSS-R, DIN 338 de 7,5 mm de diámetro para hacer las perforaciones en la estructura y paredes que se van a unir.
8. Se aplica el criterio de la norma para planchas de acero galvanizado, donde no se puede someter este material a altas temperaturas, debido a esto se optó por remachar las uniones.
9. Se selecciona, plancha de acero A36 de 6 mm de espesor, para ser usada como la encargada de expandir el calor entre el quemador y horno.
10. Se selecciona una maya expandida, para soportar el peso de las nueces de macadamia, usando las recomendaciones de las empresas expendedoras de este material.
11. Se suelda en los extremos de la plancha expendedora de calor dos ángulos, con diferencia de altura entre la maya expandida de 50mm.
12. Se suelda los ángulos a la estructura del horno prototipo.
13. Se selecciona un quemador industrial como fuente de alimentación de calor.
14. Se suelda el quemador con la placa expendedora de calor, a una diferencia de altura de 50mm.
15. Se utiliza el mismo material de las paredes del horno para tapas del horno, ya que la diferencia entre pared interna y externa es de 40mm.
16. Se doblan las tapas a 90° en sus extremos, dándoles una forma de canal, evitando así la pérdida de calor entre pared y pared.
17. Se selecciona una manguera de uso industrial de color amarillo, utilizando el criterio y recomendaciones de la empresa expendedora, para la manipulación de GLP.
18. Se realiza pruebas sin aislante térmico para encontrar los datos exactos de tiempo y cantidad de GLP que consume, para que las nueces de macadamia alcancen los 65°C en cascara.

Estudio del porcentaje de aislante térmico óptimo para el horno prototipo

Debido a que este proyecto busca obtener resultados experimentales del proceso de secado de nueces de macadamia en tiempos cortos entre lote y lote. Es necesario definir los parámetros óptimos para la obtención de la cantidad de aislante térmico preciso para recubrir las paredes del horno, de tal manera que este mejore su desempeño.

19. Se utiliza abacá como principal elemento del aislante térmico en este proyecto, es una de las mejores fibras vegetales como se puede observar en las figuras 17 y 18, debe ser colocado en un % adecuado para que rinda de manera más eficiente cuando este en pleno funcionamiento nuestro horno prototipo, ya que, si se coloca en exceso o poca cantidad, su funcionamiento sería ineficiente.
20. Si las fibras están expuestas a la llama del quemador podrían encenderse, ya que, el abacá empieza a evaporar el agua que está contenida en ella a 140 °C como se muestra en la figura 21 pasados 10 minutos, mientras fluya calor hacia la fibra, debido a esto empieza a perder masa.

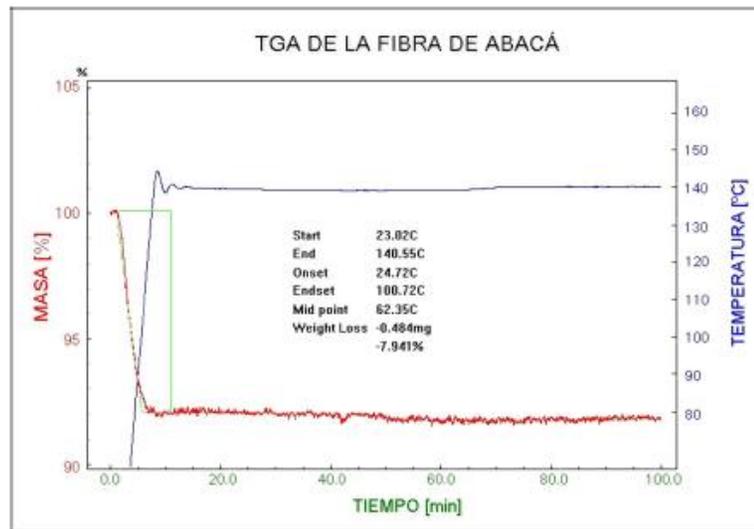


Figura 19. Termogravimetría de la fibra de abacá, (Salas A., 2009)

21. Se realiza pruebas para saber la cantidad de tiempo que el horno mantiene caliente a las nueces de macadamia.
22. Se utiliza los datos de las tablas de resultados de los ensayos con aislante térmico, para calcular la transferencia de calor, temperatura de paredes, coeficiente de transferencia de calor.

Con el horno en funcionamiento se realiza pruebas de temperatura, buscando un área en donde la temperatura de secado tenga similar temperatura en un todo el horno. Se realizó estas pruebas con nueces de macadamia en lotes de 3,2 kg realizando mediciones con una pistola de

temperatura, marca TOPG, modelo TG8013H, con una capacidad de medición de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 20. Pistola de Temperatura Marca TOPG modelo TG8013H, (Delgado, 2017)

Se realizó ensayos sin aislante térmico en el horno, para obtener el tiempo que se tarda en llegar a 65°C como se muestra en la figura 12, y la cantidad de GLP que consume el proceso a lotes de 3kg, se censara la temperatura con la pistola de la figura 21.



Figura 21. Secado sin aislante térmico, lote de 3 kg

Obteniendo como resultado según muestra la tabla 9, la temperatura máxima de secado en un tiempo promedio de 165 minutos, es de $65,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, ya que si esta es superior las nueces se sequen en el interior de la cascara; la temperatura máxima de la placa fue de $76,05\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la temperatura ambiente del horno fue de $76\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un consumo de $0,440\text{ kg}$ de GLP. los para corroborar los podemos observar en el Anexo 3.

Tabla 9

Resultados promedio de secado de macadamia sin aislante térmico.

tiempo (min)	T ambiente ⁰ C	T pared2,4 ⁰ C	T nuez ⁰ C	T pared1,3 ⁰ C
0	18,05	20,4	17,97	18,75
5	18,05	24,75	20,15	20,95
30	18,05	39	32,5	28,5
42,5	18,05	44,05	35,3	30,35
60	18,05	56,65	44,3	32,25
100	18,05	70	51,65	51,35
140	18,05	74,25	61	62,95
165	18,05	76	65,1	76,05

En la figura 25 se muestra el momento de la toma de la temperatura en las nueces de macadamia, la cual es la más óptima para que la nuez se desprege por completo de la cascara



Figura 22. Temperatura óptima para el secado de macadamia

Implementación del aislante térmico de abacá

Con los resultados en los ensayos sin aislante térmico efectuados, se procede a la implantación del aislante dentro del horno, para esto se realiza diferentes prácticas con distinto porcentaje de llenado de aislante primero con 40% luego 80% y al final con el 100% de su

capacidad, todo esto con los debidos cuidados con las fibras de abacá ya que la temperatura de deshidratación de las fibras es 140°C como se muestra en la figura 23.



Figura 23. horno lleno al 40% de fibras de abacá

Obteniendo como resultado según muestra la tabla 10, la temperatura máxima de secado en un tiempo promedio de 57 minutos, es de $65,1^{\circ}\text{C}$, ya que si esta es superior las nueces se quemaran en el interior de la cascara; la temperatura máxima de la placa fue de $76,1^{\circ}\text{C}$, y la temperatura ambiente del horno fue de $75,3^{\circ}\text{C}$ y un consumo de 0,2 kg GLP, la cantidad de 3,68 kg de macadamia. los para corroborar los podemos observar en el Anexo 4.



Figura 24. Consumo de GLP para 40% de aislante térmico

Para poder medir el consumo de GLP, se realiza el pesaje del tanque antes de empezar el proceso y después que las nueces de macadamia lleguen a 65°C , se apaga el horno y se vuelve a pesar el tanque



Figura 25. Peso del abacá al 40% de capacidad del prototipo

Como se puede observar en la figura 25 el abacá no pierde peso debido a que no es sometido a temperaturas mayores a 140°C , para llenar el 40% de la capacidad del horno se necesitó 0,38 kg de fibra.



Figura 26. Cantidad de macadamia a ser secada



Figura 27. Macadamia seca a temperatura optima, 40% de aislante en el horno.

Como podemos observar en las figuras 26 y 27 cuando el horno está a la capacidad del 40% de aislante térmico, se secó 3,68 kg de macadamia llegando a una temperatura optima de 65,1 °C.

Tabla 10

Resultados promedio de secado de macadamia con aislante térmico al 40% de capacidad del horno.

Tiempo(min)	T ambiente °C	T horno °C	T macadamia °C	T Placa °C
0	18,25	18,25	17,25	18,8
6	18,25	22,15	21,2	26,5
10	18,25	32,9	30,6	30,4
31,5	18,25	48,15	50,75	59,35
50	18,25	72,5	62,1	70
54	18,25	73,2	64,2	71,4
57	18,25	75,3	65,1	76,1

Para el 80% de la capacidad de aislante térmico implementado al horno prototipo los resultados según muestra la tabla 11 fueron los siguientes, la temperatura máxima de secado en un tiempo promedio de 45 minutos, es de 65,9 °C, ya que si esta es superior las nueces se quemaran en el interior de la cascara; la temperatura máxima de la placa fue de 73,8 °C, y la temperatura ambiente del horno fue de 63,4,3 °C y un consumo de 0,08 kg de GLP, la cantidad de 3,68 kg de macadamia como se muestra en la figura 28.

Tabla 11

Resultados de secado de macadamia con aislante térmico al 80% de capacidad del horno.

Tiempo(min)	T ambiente °C	T horno °C	T macadamia °C	T placa °C
0	18,6	18,6	17,7	18,7
13	18,6	37,1	24,5	35,8
18	18,6	42	36,1	42,9
26	18,6	44,4	47,6	44,4
33	18,6	50,6	58,6	53,9
41	18,6	54,6	62,9	64,3
45	18,6	63,4	65,9	73,8



Figura 28. Peso de abacá para llenar el 80% de la capacidad del horno

Para el 100% de la capacidad de aislante térmico implementado al horno prototipo los resultados según muestra la tabla 12 fueron los siguientes, la temperatura máxima de secado en un tiempo promedio de 38 minutos, es de 65,3 °C, ya que si esta es superior las nueces se quemaran en el interior de la cascara; la temperatura máxima de la placa fue de 62,7 °C, y la temperatura ambiente del horno fue de 59,9 °C y un consumo de 0,06 kg de GLP, la cantidad de 3,68 kg de macadamia como se muestra en la figura 29.

Tabla 12

Resultados de secado de macadamia con aislante térmico al 100% de capacidad del horno.

Tiempo(min)	T ambiente °C	T horno °C	T macadamia °C	T placa °C
0	19,8	19,8	19,8	19,8
13	19,8	42,9	26,8	27,6
18	19,8	46,7	34,4	37,8
25	19,8	51,3	47,9	44,4
30	19,8	56,5	58,8	53,6
38	19,8	59,9	65,3	62,7



Figura 29. Horno al 100% de su capacidad de aislante

Como se puede observar en la figura 29, el horno se encuentra lleno en su totalidad, para mejorar la observación se decidió sacar las tapas, notándose que se encuentra lleno.



Figura 30. Cantidad de abacá para llenar el 100% de la capacidad del horno

Mientras que en la figura 30 se observa que se utilizó 1,12 kg de abacá, para llenar al horno al 100% de su capacidad.



Figura 31. Macadamia seca a temperatura optima, 100% de aislante en el horno

En la figura 31 se observa que la pistola de calor nos muestra que la temperatura de las nueces de macadamia en cascara es de 65,1^oC, que es la temperatura óptima para que las nueces pasen a la máquina trituradora.



Figura 32. Consumo de GLP para 100% de aislante térmico.

Mientras en la figura 32, se observa la cantidad de GLP que se consumen cuando el horno se encuentra al 100% de capacidad de aislante térmico.

Para encontrar el tiempo máximo que mantiene calientes las nueces de macadamia el aislante térmico de abacá se realizó dos ensayos al 100% de la capacidad de aislante, con una temperatura máxima de 78 ^oC promedio en cada nuez. Arrojándonos la siguiente tabla.

Tabla 13

Promedio de tiempo y temperatura que mantiene caliente el aislante de abacá las nueces de macadamia. Anexo 5.

Tiempo (min)	T macadamia ^o C
0	78
28	55
50	44
69	34
85	23
92	18

En la tabla 13 se muestra el tiempo y la temperatura de las nueces de macadamia en cascara, una vez que llegaron a la temperatura optima de 65 °C, este ensayo se lo realizo apagando el horno tomando los datos a medida que transcurria el tiempo, hasta que lleguen las nueces de macadamia a temperatura ambiente.



Figura 33. Temperatura a 50 min de haber apagado el horno.

Mientras que en la figura 33, se muestra que en 50 minutos la temperatura de las nueces de macadamia es de 44,6°C, utilizando la pistola de calor.

Consumo de GLP

Tabla 14

Consumo de GLP y tiempo promedio para los diferentes ensayos

	Tiempo (min)	Consumo (Kg)
Capacidad del 40%	57	0,2
Capacidad del 80%	45	0,08
Capacidad del 100%	38	0,06
Sin aislante térmico	165	0,44

La tabla 14, muestra el consumo de GLP, con y sin aislante térmico en los diferentes ensayos realizados

Proyección consumo de GLP

Tabla 15

Proyección del consumo de GLP en 5 años

	Día	Mes	Año	5 años
Consumo	kg	Tanques	Tanques	Tanques
Capacidad del 40%	1,7	2,2	26,9	134,7
Capacidad del 80%	0,9	1,1	13,7	68,3
Capacidad del 100%	0,8	1,0	12,1	60,6
Sin aislante térmico	1,3	1,7	20,5	102,4

En la tabla 15, se muestra de forma estadística una proyección a 5 años del consumo de tanques de GLP de 15Kg, se tomó como referencia las 8 horas laborales diarias, así mismo los 20 días laborables que por ley se trabaja en cualquier empresa.

Balance energético

- Se calcula para el 100% de capacidad de Aislante térmico. Transferencia de calor por convección forzada a través de las paredes del horno prototipo.

Tabla 16

promedios 100% de capacidad de aislante térmico.

	Tiempo (min)	T pro ext. °C	T pro ais °C	T pro int°C
Pared 1	22,2	20,52	26,86	46,84
Pared 2	22,2	20,82	23,62	37,22
Pared 3	22,2	28,26	38,12	52,22
Pared 4	22,2	23,06	24,36	45,24

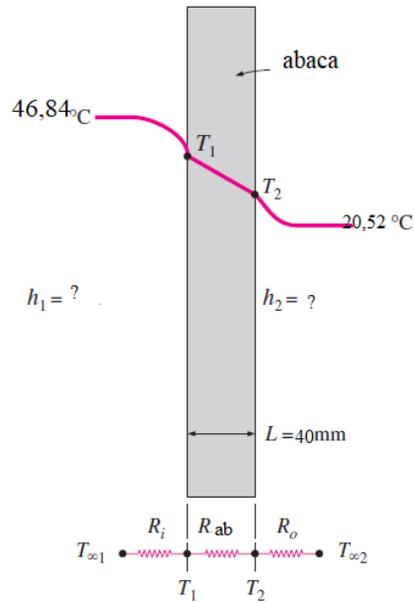


Figura 34. Esquema de pared de horno prototipo.

Datos pared 1:

$$T_1 = 46,84^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 20,52^\circ\text{C}$$

$$T_{abaca} = 26,86^\circ\text{C}$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{k}}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{k}}$$

$$h_1 = ?$$

$$h_2 = ?$$

Con los datos se tiene la ecuación 1 tomada de (Cengel, 2004)

$$\dot{Q} = K \cdot A \frac{(T_f - T_i)}{L} \tag{1}$$

$$\dot{Q}_1 = 47 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{k}} \cdot (0,1)\text{m}^2 \cdot \frac{(319,84 - 299,86)\text{k}}{0,04\text{m}}$$

$$\dot{Q}_1 = 2347,65 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_2 = 47 \frac{\text{W}}{\text{m.k}} \cdot (0,1)\text{m}^2 \cdot \frac{(299,86-293,52) \text{ K}}{0,04 \text{ m}}$$

$$\dot{Q}_2 = 744,95 \text{ W}$$

Con los anteriores datos se determinará el coeficiente de transferencia de calor de la pared 1 como se muestra en la ecuación 2 tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{\text{convección}}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)} \quad (2)$$

$$A_s = 0,203\text{m}^2$$

$$h_1 = \frac{2347,65 \text{ W}}{0,203\text{m}^2 \cdot (46,84 - 26,86)^\circ\text{C}}$$

$$h_1 = 578,82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_2 = \frac{744,95 \text{ W}}{0,203\text{m}^2 \cdot (26,86 - 20,52)^\circ\text{C}}$$

$$h_2 = 578,82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$R_i = R_{\text{convección}} = \frac{1}{h_1 \cdot A}$$

$$R_i = \frac{1}{578,82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (0,1)\text{m}^2}$$

$$R_i = 0,0173 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{abaca} = \frac{L}{K_{abaca} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 \text{ m}}{0,042 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot (0,1) \text{ m}^2}$$

$$R_{abaca} = 9,524 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_0 = \frac{1}{h_2 \cdot A}$$

$$R_{\text{convección2}} = R_i$$

$$R_{total} = R_i + R_{abaca} + R_{\text{convección2}} \quad (3)$$

$$R_{total} = 0,0173 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 9,524 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,0173 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{total} = 9,55 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (4)$$

$$\dot{Q} = \frac{46,84^{\circ}\text{C} - 20,52^{\circ}\text{C}}{9,55 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = 2,75 \text{ W}$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i} \quad (5)$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} R_i$$

$$T_1 = 46,84 \text{ } ^\circ\text{C} - 2,75 \text{ W} \cdot 0,0173 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_1 = 46,78^\circ\text{C}$$

- Se calcula para el 80% de capacidad de Aislante térmico. Transferencia de calor por convección forzada a través de las paredes del horno prototipo.

Tabla 17

Promedios 80% de capacidad de aislante térmico

	Tiempo (min)	T pro ext. ⁰ C	T pro ais ⁰ C	T pro int ⁰ C
Pared 1	24,2	21,2	32,2	45,4
Pared 2	24,2	22,0	25,7	30,1
Pared 3	24,2	31	45	53,4
Pared 4	24,2	22,7	32	38,2

Datos pared 2:

$$T1 = 30,^\circ\text{C}$$

$$T2 = 22^\circ\text{C}$$

$$T_{abaca} = 25,7^\circ\text{C}$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_2 = 0,0486\text{m}^2$$

$$A_{s2} = 0.1\text{m}^2$$

$$\dot{Q} = K \cdot A \frac{(T_f - T_i)}{L}$$

$$\dot{Q}_1 = 47 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(303,1 - 298,7) K}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}_1 = 251,26 W$$

$$\dot{Q}_2 = 47 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(297,36 - 295,2) K}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}_2 = 123,34 W$$

Con los anteriores datos se determinará el coeficiente de transferencia de calor de la pared 2 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)}$$

$$A_s = 0,1m^2$$

$$h_1 = \frac{251,26 W}{0,0486m^2 \cdot (45,24 - 24,36)^\circ C}$$

$$h_1 = 247,60 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h_2 = \frac{123,34 W}{0,0486m^2 \cdot (24,36 - 22,2)^\circ C}$$

$$h_2 = 1174,94 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$R_i = R_{convección} = \frac{1}{h_1 \cdot A}$$

$$R_i = \frac{1}{247,60 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,0486)m^2}$$

$$R_i = 0,083 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{abaca} = \frac{L}{K_{abaca} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 m}{0,042 \frac{W}{m \cdot k} \cdot (0,0486)m^2}$$

$$R_{abaca} = 19,6 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_o = \frac{1}{1174,94 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,0486)m^2}$$

$$R_o = 0,00175 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{total} = R_i + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,083 \frac{^\circ C}{W} + 19,6 \frac{^\circ C}{W} + 0,0175 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{total} = 19,7 \frac{^\circ C}{W}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{45,24^\circ C - 22,2^\circ C}{19,7 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$\dot{Q} = 1,17 W$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{Ri}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q}Ri$$

$$T_1 = 45,24 \text{ } ^\circ\text{C} - 1,17 \text{ W} \cdot 0,0175 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_1 = 45,219^\circ\text{C}$$

- Se calcula para el 40% de capacidad de Aislante térmico. Transferencia de calor por convección forzada a través de las paredes del horno prototipo.

Tabla 18

Promedios 40% de capacidad de aislante térmico.

	Tiempo (min)	T pro ext. ⁰ C	T pro ais ⁰ C	T pro int ⁰ C
Pared 1	30	22,4	34,6	43,6
Pared 2	30	25,0	29,0	35,0
Pared 3	30	32,0	49,0	61,0
Pared 4	30	24,0	33,0	42,0

Datos pared 3:

$$T1 = 61^\circ\text{C}$$

$$T2 = 32^\circ\text{C}$$

$$T_{abaca} = 49^\circ\text{C}$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_3 = 0,1m^2$$

$$A_{s3} = 0.203m^2$$

$$\dot{Q} = K \cdot A \frac{(Tf - Ti)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(334-322)k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}1 = 1410 W$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(322-305)k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}2 = 1997,5W$$

Con los anteriores datos se determinará el coeficiente de transferencia de calor de la pared 3 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)}$$

$$A_s = 0,203m^2$$

$$h1 = \frac{1410 W}{0,203m^2 \cdot (61 - 49)^\circ C}$$

$$h1 = 578,82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h2 = \frac{1997,5W}{0,203m^2 \cdot (49 - 32)^\circ C}$$

$$h2 = 578,82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$R_i = R_{convección} = \frac{1}{h \cdot A}$$

$$R_i = \frac{1}{578,82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,1)m^2}$$

$$R_i = 0,0173 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{abaca} = \frac{L}{K_{abaca} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 m}{0,042 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (0,1)m^2}$$

$$R_{abaca} = 9,524 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_i = R_o$$

$$R_{total} = R_i + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,0173 \frac{^\circ C}{W} + 9,524 \frac{^\circ C}{W} + 0,0173 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{total} = 9,56 \frac{^\circ C}{W}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{61^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}}{9,56 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = 3,033 \text{ W}$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{Ri}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} Ri$$

$$T_1 = 61^{\circ}\text{C} - 3,033 \text{ W} \cdot 0,0173 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_1 = 60,78^{\circ}$$

Tabla 19

Promedios sin aislante térmico.

	Tiempo (min)	T pro ext. °C	T pro int °C
Horno	67,8	40,1	50,1

$$T1 = 50,1^{\circ}\text{C}$$

$$T2 = 40,1^{\circ}\text{C}$$

$$T3 = 18,5^{\circ}\text{C}$$

$$K_{aire} = 0,02 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_3 = 0,1m^2$$

$$A_{s3} = 0.203m^2$$

$$\dot{Q} = K.A \frac{(T_f - T_i)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(323-313,1) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}1 = 1163,25 W$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(313,1-291,5) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}2 = 2538W$$

Con los anteriores datos se determinar el coeficiente de transferencia de calor de la pared 3 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)}$$

$$A_s = 0,203m^2$$

$$h1 = \frac{1163,25 W}{0,203m^2 \cdot (50 - 40,1)^\circ C}$$

$$h1 = 578,82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h2 = \frac{2538W}{0,203m^2 \cdot (40,1 - 18,5)^\circ C}$$

$$h2 = 578,82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$R_i = R_{\text{convección}} = \frac{1}{h_1 \cdot A}$$

$$R_i = \frac{1}{578,82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,1)m^2}$$

$$R_i = 0,0173 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{\text{abaca}} = \frac{L}{K_{\text{abaca}} \cdot A}$$

$$R_{\text{aire}} = \frac{0,04 \text{ m}}{0,02 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (0,1)m^2}$$

$$R_{\text{aire}} = 20 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_i = R_0$$

$$R_{\text{total}} = R_i + R_{\text{abaca}} + R_{\text{convección}2}$$

$$R_{\text{total}} = 0,0173 \frac{^\circ C}{W} + 20 \frac{^\circ C}{W} + 0,0173 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{\text{total}} = 20,0346 \frac{^\circ C}{W}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{total}}}$$

$$\dot{Q} = \frac{50^\circ C - 40,1^\circ C}{20,0346 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$\dot{Q} = 0,4991 \text{ W}$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{Ri}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q}Ri$$

$$T_1 = 50^{\circ}\text{C} - 0,4991 \text{ W} \cdot 0,0173 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_1 = 49,991^{\circ}\text{C}$$

Solo se tomó como referencia una pared para cada porcentaje de capacidad de aislante térmico el resto de cálculos están en el Anexo 7.

Resultados

Para mejorar el sistema de secado de nueces de macadamia se decidió, utilizar un aislante térmico compuesto de fibras de abacá, diseñando un horno prototipo. Se dejó una separación entre paredes internas y externas de 40mm, para poder colocar el aislante y las siguientes dimensiones para las paredes:

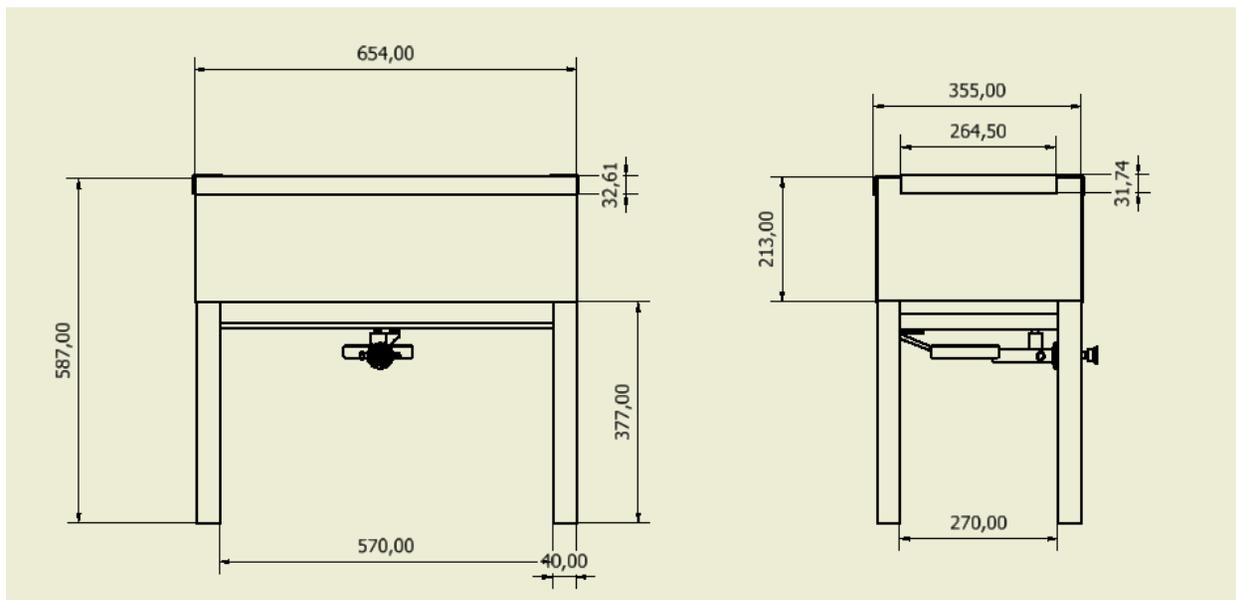


Figura 35. Dimensiones del prototipo

Como se puede observar en la figura 35, las vistas frontal e izquierda del horno donde se muestran las dimensiones más relevantes del prototipo.

Paredes externas pequeñas: (355x213) mm.

Paredes externas grandes: (654x213) mm.

Paredes internas pequeñas: (264,5x 202) mm.

Paredes internas grandes: (576x 202) mm.

La tabla 19 muestra los resultados de las variables calculadas mediante las ecuaciones de análisis termodinámico, con y sin aislante térmico, que posteriormente servirán de referencia para la aplicación o no del prototipo a la industria

Tabla 20

Resultados de análisis térmico del horno prototipo

	\dot{Q}_1	\dot{Q}_2	R_{total}	\dot{Q}_{final}	$T_{anterior}$
	W	W	$\frac{^{\circ}C}{W}$	W	$^{\circ}C$
100% capacidad					
Pared 1	2437,65	744,95	9,55	2,75	46,78
Pared 2	776,628	159,894	19,64	0,835	37,205
Pared 3	1647,35	1167,95	9,56	2,51	52,176
Pared 4	1192,352	123,347	19,63	1,173	45,15
80% capacidad					
Pared 1	846	705	9,59	2,523	45,3
Pared 2	251,26	123,34	19,7	1,17	45,219
Pared 3	987	1645	9,56	2,34	53,35
Pared 4	411,156	473,97	19,63	0,79	45,22
40% capacidad					
Pared 1	1057,5	1433,5	9,56	2,22	43,56
Pared 2	342,63	228,42	19,64	0,51	34,94
Pared 3	1410	1997,5	9,56	3,033	60,78
Pared 4	513,95	513,95	19,63	0,916	41,98

Sin aislante

Horno	1123,25	2538	20,0346	0,4991	49,99
-------	---------	------	---------	--------	-------

Análisis de resultados

Para encontrar la temperatura máxima a la que llega el horno prototipo, tiempo en que logra estabilizarse, se sometió al prototipo a pruebas más largas y extremas de 4 horas, con una capacidad del 100% lleno de aislante térmico en sus paredes, a estas también se les tomo la temperatura para saber cuál es temperatura máxima a la que llegan, la placa distribuidora de calor se dividió en 5 puntos para encontrar el lugar donde más expande calor al horno, y un punto extra al quemador para saber cuál es la temperatura máxima que alcanza. lleno con 12 kg de nueces de macadamia. Revisar Anexo 6

Como se observa en la figura 36 el tiempo que debe transcurrir para que se establezca la placa distribuidora de calor es de 85 minutos a una temperatura de 113,6 °C promedio, pero alcanza una temperatura máxima de 119 °C en 34 minutos. El quemador se estabiliza a los 148 minutos a una temperatura de 165,4 °C promedio, alcanzando una temperatura máxima promedio de 183 °C en 34 minutos.

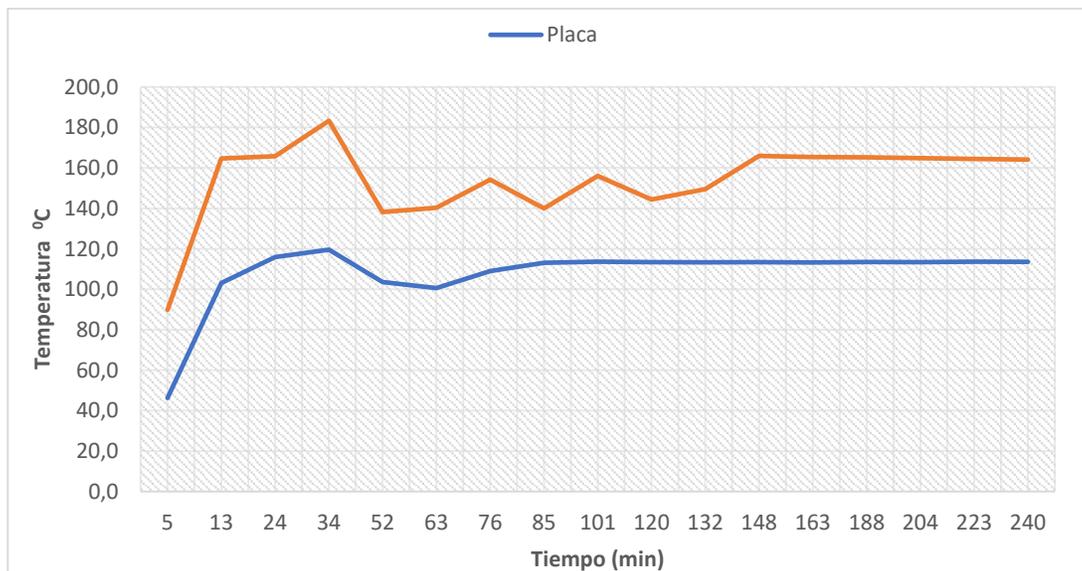


Figura 36. Tiempo y temperatura que transcurre, para que se establezca el quemador y placa distribuidora de calor.

Como se observa en la figura 37 el tiempo que debe transcurrir para que se estabilicen las nueces de macadamia es de 200 minutos a una temperatura de 78,1 °C promedio, pero alcanza una temperatura máxima de 78,9°C en 240 minutos. El horno se estabiliza a los 63 minutos a una temperatura de 55 °C promedio, alcanzando una temperatura máxima promedio de 56 °C en 101 minutos.

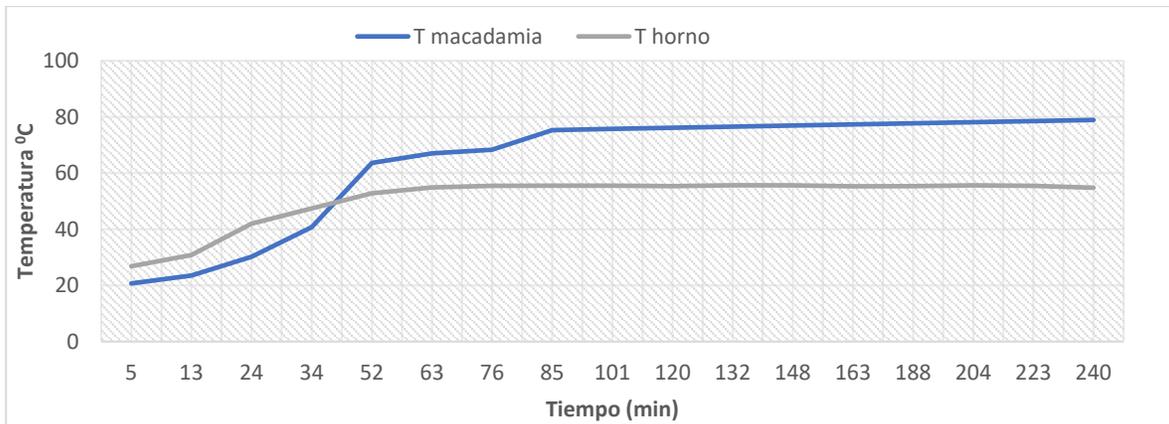


Figura 37. Tiempos y temperaturas en estabilizarse horno y macadamias.

Como se observa en la figura 38 el tiempo que transcurra para que disminuya la temperatura de las nueces de macadamia de 78°C a 18°C es de 92 minutos

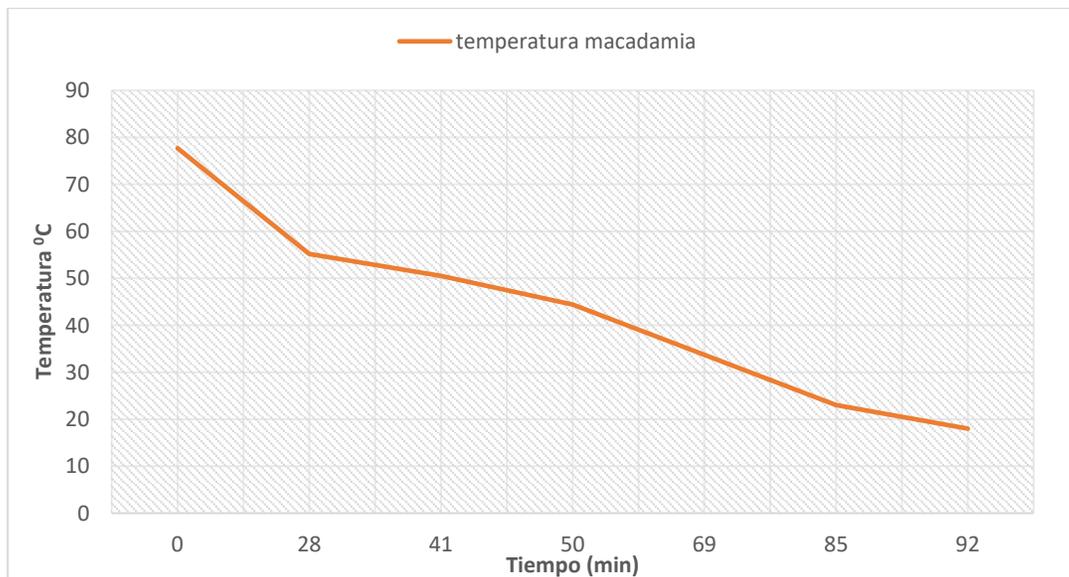


Figura 38. Temperaturas y tiempos de enfriamiento con aislante térmico en las paredes del horno al 100% de su capacidad, de las nueces de macadamia.

Como se puede observar en la figura 39, mientras más aumenta el volumen de aislante térmico de abacá en las paredes del horno prototipo, disminuye el tiempo de secado y el consumo de GLP, dejando notar que se procedió de manera correcta en el escogimiento del aislante térmico y en el diseño del prototipo, ya que a largo plazo el costo de inversión en la construcción será solventado con el ahorro de combustible.

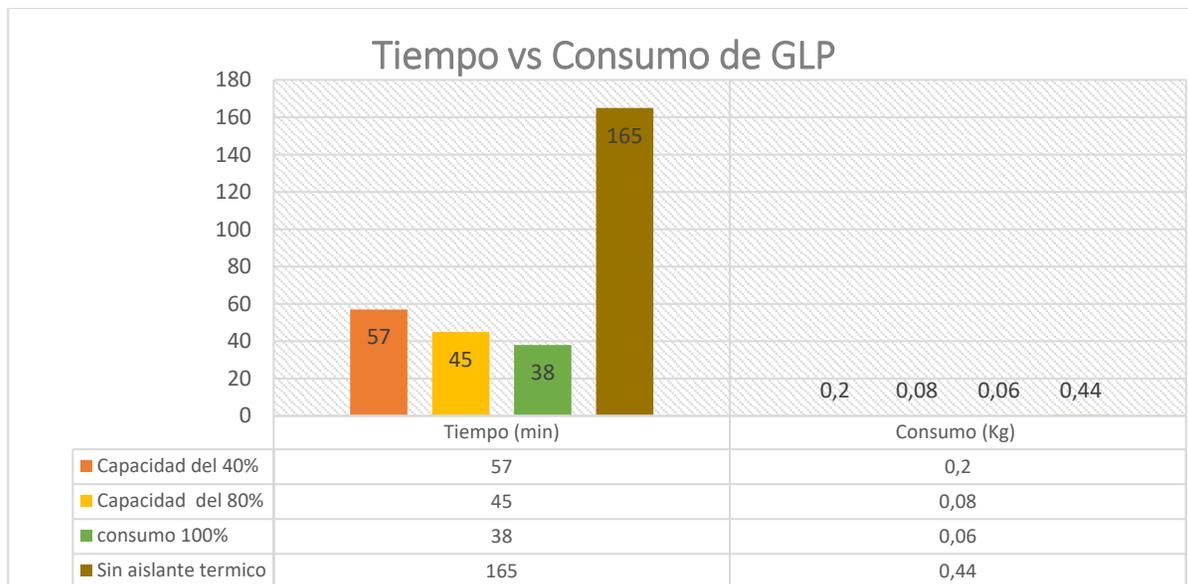


Figura 39. Consumo de GLP vs Tiempo

Como se observa en la figura 40, una proyección detallada del consumo de tanques de 15kg de GLP en 5 años, donde el menor consumo se logra cuando se aplica aislante térmico al 100% de la capacidad del horno prototipo, mientras que sin aislante térmico el consumo de tanques es cuatro veces mayor al 100% de la capacidad de aislante.

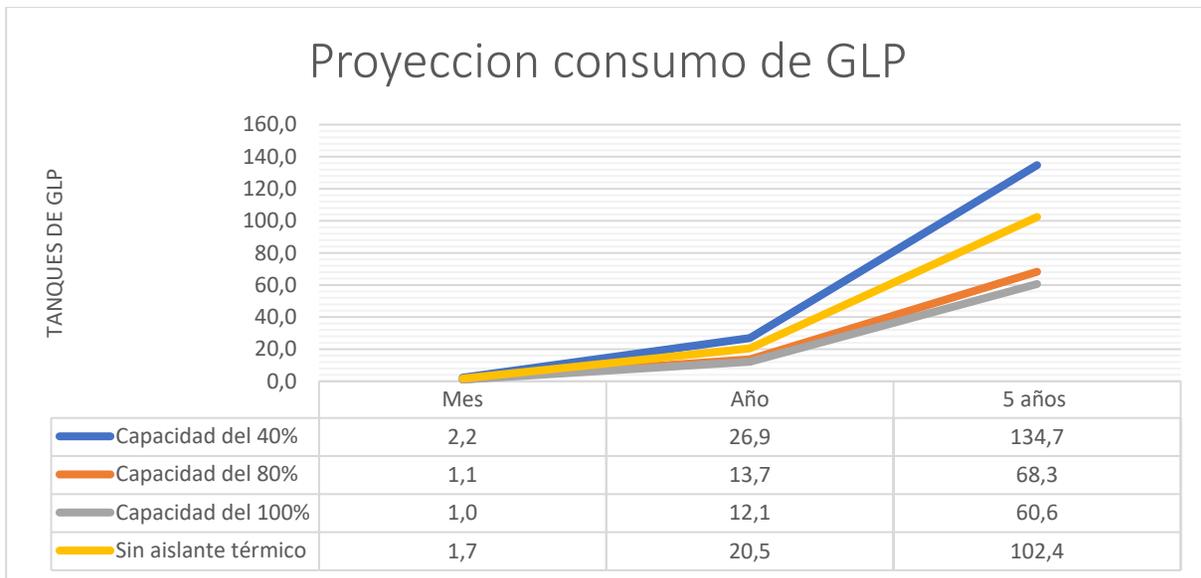


Figura 40. Proyección consumo de GLP

Como se observa en la figura 41, una proyección detallada de los costos de consumo de tanques de 15kg de GLP en 5 años, donde el menor costo de inversión se logra cuando se aplica aislante térmico al 100% de la capacidad del horno prototipo.

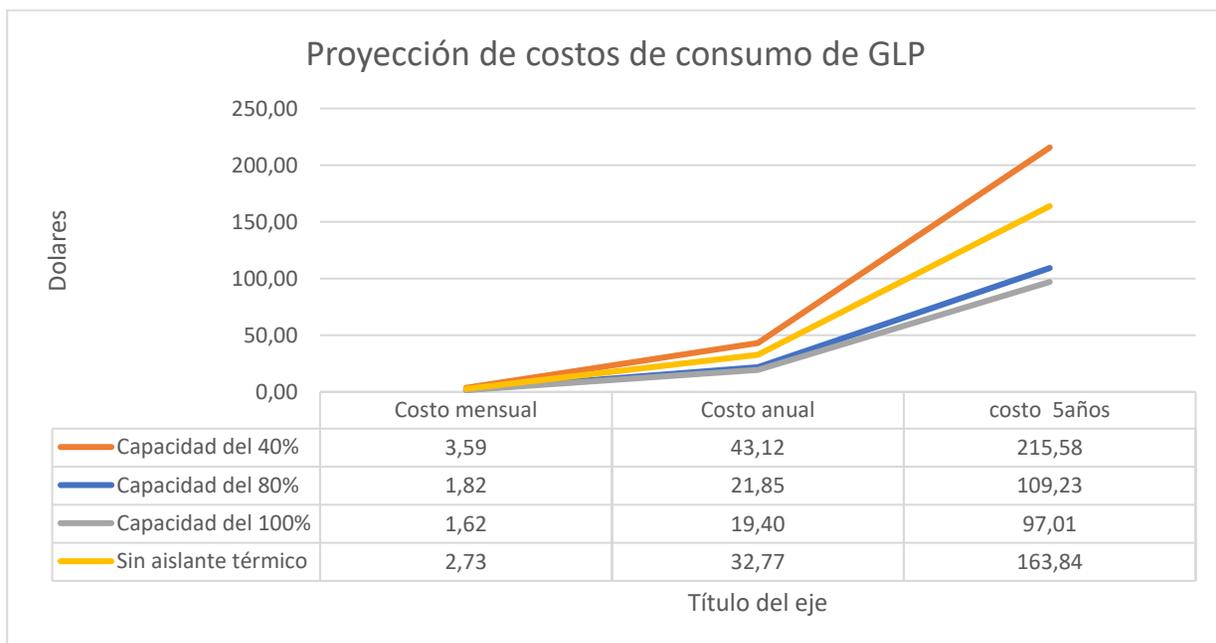


Figura 41. Proyección de costos de consumo de GLP

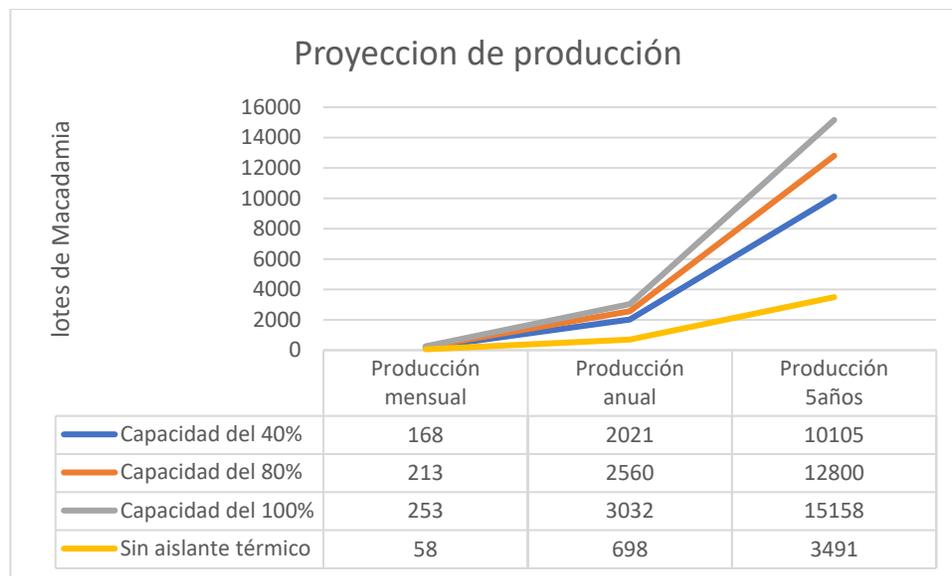


Figura 42. Proyección de producción de lotes de macadamia

Como se observa en la figura 42, una proyección detallada de la producción mensual, anual y 5 años, de lotes de macadamia trabajando 8 horas diarias en 20 días que demanda la ley para los operadores que manejen el horno prototipo.

Discusión

En este proyecto se vio la necesidad de diseñar y construir un horno prototipo secador de nueces de macadamia, que sirva como referencia a la empresa NEGOINCO para mejorar su proceso de secado de nueces, mediante la aplicación de un aislante térmico compuesto de fibras de abacá. Ya que el que se encuentra en pleno funcionamiento carece de elementos que permitan mejorar el sistema de combustión y ahorro de GLP.

Mediante la instalación del elemento que aislé las paredes internas y externas del prototipo, el sistema se vuelve más eficiente evitando perdidas de calor y aumentando la eficiencia y consumo de GLP por lote de nueces secadas, como se puede observar en la siguiente figura 42, la razón de transferencia de calor es baja en relación a la temperatura a la que tienen que llegar las nueces, justificando así la aplicación del aislante

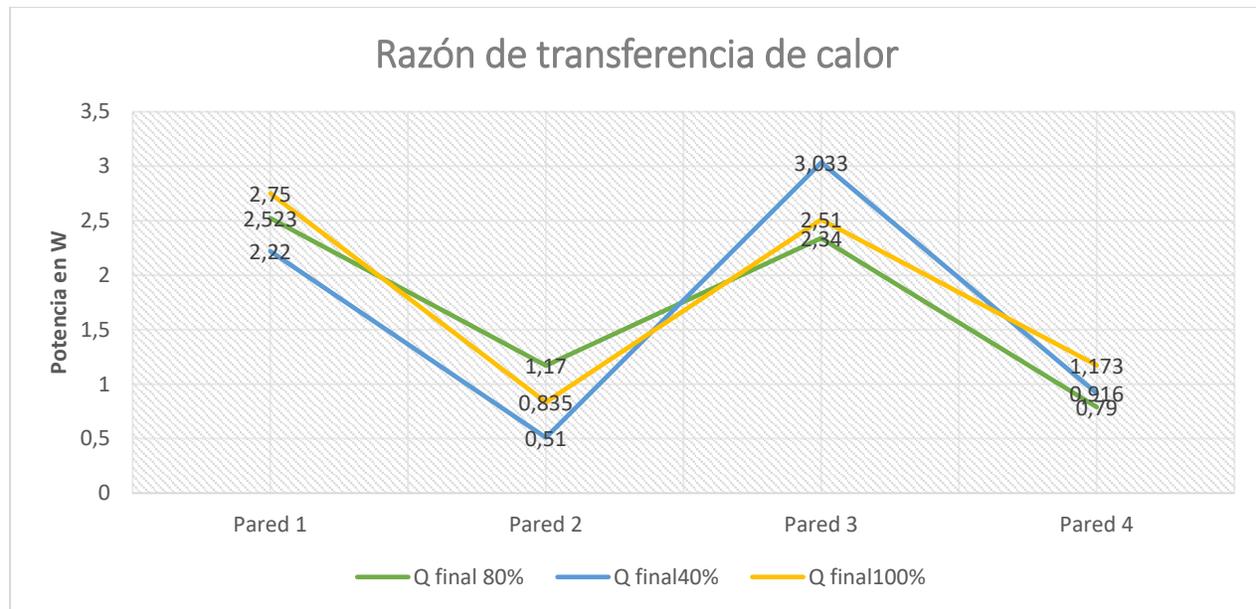


Figura 43. Razón de transferencia de calor

No fue necesario tratar o mezclar con algún polímero, o elemento para mejorar las propiedades mecánicas del abacá, ya que la temperatura máxima a la que tiene que llegar es 140⁰C y la temperatura ambiente del horno es menor a 100⁰C, dejando un margen considerable para ser utilizado en hornos secadores de nueces de macadamia en cascara, sobre todo porque las nueces de macadamia en su primer proceso de secado en cascara solo tienen que alcanzar una temperatura máxima de 65⁰C, para que pasen al siguiente proceso que es el descaramiento.

Conclusiones

Se revisó todos los sistemas utilizados para el proceso de secado de nueces de macadamia llegando a la conclusión que el método más idóneo, sobre todo apropiado para disminuir el consumo de GLP en el menor tiempo posible a bajo costo es el modelo de transferencia de calor por convección forzada.

Se logró alcanzar una disminución de 0,65⁰C por minuto al 100% de volumen ocupado por aislante térmico, cuando se apaga el sistema de combustión y las nueces de macadamia en cascara se mantienen dentro del horno.

Se llegó a determinar que con el 100% de volumen ocupado por el aislante térmico se logra disminuir el tiempo de secado un 43,95% en comparación a l horno sin aislante.

Con la ayuda de la proyección de consumo de GLP, se logró determinar que el consumo de GLP sin aislante térmico en un día es tres veces mayor al consumo del 100% de capacidad de aislante térmico, demostrando así que se procedió bien en la elección del abacá como principal elemento del aislante.

Se concluyó que utilizando cualquier volumen de aislante térmico que se utilice disminuirá el consumo de GLP, en comparación con los lotes secados, esto brindará ahorros económicos a cualquier empresa o entidad que desee utilizar este sistema.

Recomendaciones

Realizar la instalación del sistema de llama con un quemador industrial que no tenga defectos, o este sucio, de preferencia que sea nuevo, al igual que la válvula para la fuente de alimentación y la manguera con que se conecte.

Utilizar materiales para la construcción del horno acordes al volumen de producción que tengan los cultivos donde se vaya a implementar el sistema.

Implementar un motor que haga circular a las nueces de macadamia para que el proceso de secado sea uniforme en todo el horno, dejando así sin puntos ciegos, y sobre todo evitando que las nueces que estén más cerca del quemador se quemem

Controlar la velocidad de salida de gas ya que el sistema no demanda altas temperaturas, ya que esto aceleraría el proceso de secado y podría quemar las frutas dentro de la cascara.

Bibliografía

- aceros mapa. (2016). *Catalogo de productos* . Obtenido de <http://www.acerosmapa.com.co/index.php/productos/no-ferrosos/malla-expandida>
- AcerosCenter. (2017). *PRODUCTOS para la construcción y metalmecánica*. Obtenido de <http://www.aceroscenter.com.ec/pdf/LAMINAS.pdf>
- ArceloMittal. (2016). *Tubos estructurales rectangulares, cuadrados y redondo*. Obtenido de http://www.constructalia.com/espanol/productos/estructuras/tubos/tubo_estructural_rectangular_cuadrado_y_redondo#.Wh2NjUribIU
- Autor. (2017). *Aplicación de un aislante termico compuesto de abaca a un horno secador de macadamia*. La Concordia.
- AZCARATE, F. M. (2016). *FIBRAS VEGETALES Y MINERALES* . Obtenido de <https://programadetextilizacion.blogspot.com/2015/01/capitulo-4-fibras-vegetales-y-minerales.html>
- Benítez C., R. J. (2014). Automatización de horno de fundición. *wordpress*. Obtenido de <https://hornodefundicionn.wordpress.com/2014/05/08/horno-de-fundicion-automatizado/>
- Bosch. (2017). *Herramientas eléctricas para aficionados al bricolaje*. Obtenido de https://www.bosch-do-it.com/es/es/aficionado-al-bricolaje/accesorios/broca-para-metal-hss-r-din-338-201453-57711.jsp#tab_1
- Cadena, F., & Leterrier, y. M. (1994). *Les composites a fibres naturelles*. Lausanne.
- Castro, L. (2014). *Nuez de Macadamia* . Obtenido de <https://www.flores.ninja/nuez-de-macadamia/>
- Cengel, Y. (2004). *Transferencia de calor y mas*.
- Delgado, R. (2017). *Automatizacion de un crisol de fundicion calentado por GLP*. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2536/1/Automatizaci%C3%B3n%20de%20crisol%20calefaccionado%20con%20GLP.pdf>

- Dipac. (2017). *Catalogo de productos*. Obtenido de Planchas galvanizadas:
<http://www.dipacmanta.com/planchas-de-acero/planchas-especiales/planchas-galvanizadas>
- Dipac Sa. (2017). *Catalogo de productos*. Obtenido de Planchas laminado en caliente:
<http://www.dipacmanta.com/planchas-de-acero/planchas-acero-negro/planchas-laminadas-en-caliente>
- Ecuamangueras. (2015). *Manguera para gas industrial*. Obtenido de
<http://ecuamangueras.com/productos/acoples/80-productos/mangueras/15-manguera-para-gas-industrial>
- EXA. (2017). *AGENCIA ESPACIAL CIVIL ECUATORIANA*. Obtenido de ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA QUITO: EXA-ISS-2: <http://quito.exa.ec/>
- Gasolec. (2017). *Catalogo de Productos* . Obtenido de <https://www.gasolec.com/es/calefaccion-por-infrarrojos/regulacion-de-la-presion-de-gas>
- Guerron, A. (2015). *Caracterización y Modificación Alcalina de la fibra de Abaca* . Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/>
- Indura. (2016). *Catalogo de productos*. Obtenido de Electroodos para acero al carbono:
<http://www.indura.com.ec/Descargar/Cat%C3%A1logo%20de%20Procesos%20de%20Productos?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F4e4aa7f687694565bb3b902988d2a15e.pdf>
- Jiménez, C. A. (2010). *Sistema de Automatización para el Proceso de Fundición de Acero en un horno industrial*. Cartago: Escuela de Ingeniería Electrónica. Obtenido de <http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/660/Informe%20Final%20Carlos%20Bolanos%20J.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Juarez, C. (Junio de 2002). *Concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales agave lechugilla, como materiales para construcción en mexico*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2014, de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020150648/1020150648.PDF>
- Keelgas cia.Ltda. (2015). *Catalogo de Productos para gas*. Obtenido de <http://keelgas.com/web/productos-indice/linea-gas-glp/galeria-de-productos/>

Knits, A. (2009).

Lawther, & Lilholt. (Abril de 1993). *Natural Organic Fibers*.

Mazumdar, S. (2002). *Composites manufacturing Materials, and Process Engineering*. La Florida.

Mimbrea. (1997). *Sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu casa* . Obtenido de <http://www.mimbrea.com/politica-de-cookies/>

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Dayton: Pearson educación.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Dayton: Pearson educación.

Narvaéz, I., & Morejón, S. (2013). *Materiales compuestos de matrices Polietilénicas con fibras de abacay cabuya*. Obtenido de www.epn.edu.ec

Nieto, M. (1975). *Procedimiento de Abaca para diferentes tejido*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/>

Novacero. (2017). *Catalogo de productos*. Obtenido de Tubos estructurales: <http://www.novacero.com/catalogo-productos/cptuberia-estructural/tubo.html#tubos-cuadrados>

Paez, J. C. (2007). *Obtención de compuesto de propileno reforzados con fibras de abaca mediante molde de compresión*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/>

Pierre, D. (2006). *Fibers and Composities*. Srpinger.

Reyes, U. (2008). *Concreto Reforzado con Fibra de Bagazo de Caña*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2014, de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32835/1/reyesbanuelos.pdf>

Salas, A. (Febrero de 2009). *Obtención de compuestos de polietileno reforzado con fibras de abaca mediante moldeo por compresión*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1134>

Salas, C., Moya, R. R., & Córdoba, R. (2008). *Diseño y Construcción de un Secador Solar para Madera*. Obtenido de Instituto Tecnológico de Costa Rica:

https://scholar.google.es/scholar?start=10&q=dise%C3%B1o+y+construcci%C3%B3n+de+un+horno+el%C3%A9ctrico&hl=es&as_sdt=0,5

UPV, U. P. (24 de Noviembre de 2014). *La Combustión, Quemadores*. Obtenido de

<http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0675363.pdf>

Vargas, G. (1999). *Análisis poscosecha y procesamiento de la nuez en concha de macadamia*.

Junio.

ANEXOS

Anexo 1. Tenacidad de fibras de abacá de diferentes grados

Tenacidades[CN/TEX] de fibras de abacá de diferentes grados y mismo origen

Grado 2				
Denominación			Desviación	
Bodega	No Datos	Media	Estándar	“+/-”
C1	84	44,24	15,97	4,49
C2	19	35,29	14,39	8,74
C3	38	37,28	16,62	6,95
F1	15	41,83	15,74	10,84
F2	91	37,55	17,61	4,75

Grado 3				
Denominación			Desviación	
Bodega	No Datos	Media	Estándar	“+/-”
C1	115	42,77	17,40	4,18
C2	50	51,71	15,99	5,82
C3	62	37,59	16,84	5,51
F1	24	43,14	14,29	7,68
F2	88	42,63	16,38	4,50

Grado 4				
Denominación			Desviación	
Bodega	No Datos	Media	Estándar	“+/-”
C1	81	48,98	17,78	5,09
C2	55	55,34	15,69	5,45
C3	61	42,98	15,91	5,25
F1	23	39,77	12,10	6,64
F2	153	51,11	17,65	3,68

Grado 5				
Denominación			Desviación	
Bodega	No Datos	Media	Estándar	“+/-”
C1	47	44,63	14,75	5,54
C2	79	38,46	16,30	4,72
C3	40	34,03	11,48	4,67
F1	57	55,05	14,33	4,89
F2	73	45,91	18,89	5,70

*Elaborado por: Centro Textil Politécnico, proyecto “DESARROLLO DE NUEVAS ALTERNATIVAS DE USO DEL ABACA EN EL ECUADOR”. Mayo 2007

Anexo 2. Planos del horno prototipo

Anexo 3. Tablas de datos de secado de macadamia sin aislante térmico.

Primer ensayo

Peso inicial GLP

20,88kg

Peso final GLP

20,44kg

Peso Macadamia

3,06kg

Tiempo(mm)	T ambiente °C	T pared 2,4 °C	T nuez °C	T Pared 2,4 °C
0	18,2	18,2	18,04	18,3
5	18,2	23,7	22,3	21,6
10	18,2	31,9	24,2	23,3
15	18,2	34,3	27,7	25,9
20	18,2	38,1	31,6	28,6
30	18,2	41,9	36,7	29,7
40	18,2	44,7	41,1	31,3
60	18,2	56,5	52,4	33,4
80	18,2	59,8	55,9	44,5
100	18,2	68,2	57,1	55,1
120	18,2	70,6	60,9	68,4
140	18,2	74,7	62,3	71,9
170	18,2	77,8	65,1	75,3

Segundo ensayo

Peso inicial GLP

Peso final GLP

20,44kg

20kg

Peso macadamia

3,06kg

Tiempo(mm)	T ambiente °C	T pared 2,4 °C	T nuez °C	T Pared1,3 °C
0	17,9	22,6	17,9	19,2
5	17,9	25,8	18	20,3
10	17,9	28,4	18,1	21,7
15	17,9	30,7	25,2	22,9
20	17,9	33,7	27,8	24,8
30	17,9	36,1	28,3	27,3
45	17,9	43,4	29,5	29,4
60	17,9	56,8	36,2	31,1
80	17,9	67,4	40,6	42,6
100	17,9	71,8	46,2	47,6
120	17,9	73,7	55,1	57,9
140	17,9	73,8	59,7	54
160	17,9	74,2	65,1	76,8

Tercer ensayo 40%

Peso abacá=0,38kg

Peso final=0,38kg

Peso inicial GLP

Peso final GLP

19,61kg

19,50kg

Peso macadamia

5kg

tiempo(mm)	T ambiente °C	T horno °C	T macadamia °C	T placa °C
59	18,3	70	65,1	76,4

Anexo 5. Tablas de tiempo y temperatura que mantiene caliente el aislante de abacá las nueces de macadamia.

Ensayo 1

Tiempo (min)	T macadamia °C
0	78
30	53
40	51
50	46
66	35
82,8	25
91	18

Ensayo 2

Tiempo (min)	T macadamia °C
0	78
25	57
42	50
50	43
71	32
87,7	21
93	18

Anexo 6. Ensayo de 4 horas al 100% de capacidad de aislante para buscar la estabilidad en las temperaturas del horno prototipo

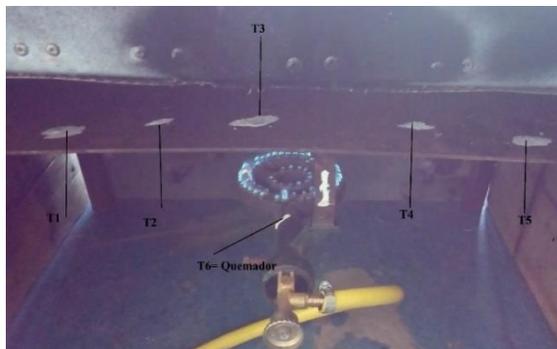


Figura. Placa y quemador con los puntos para ser evaluados

Tabla

Datos de las diferentes temperaturas en la placa distribuidora de calor y quemador

Tiempo(mm)	T 1 ⁰ C	T2 ⁰ C	T3 ⁰ C	T4 ⁰ C	T5 ⁰ C	T6 ⁰ C
5	41,0	46,5	70,8	41	31,9	89,8
13	72,7	110,3	159,7	105,3	67,6	164,7
24	93,1	126,2	166,2	117,7	76,3	165,8
34	99,5	127,8	166,9	116,4	87,2	183,3
52	89,4	116,2	150,1	90,9	71,3	138,2
63	91,3	110,5	131,9	92,6	76,5	140,3
76	98,0	116,6	145,8	106,4	78,1	154,2
85	107,1	133,1	142,2	111,3	71,7	140
101	106,2	137,9	141,7	106,1	76,3	156
120	104,6	137,6	141,3	106,6	76,7	144,4
132	104,2	137,5	141,5	107,1	76,4	149,5
148	104,1	137,26	141,3	107,6	76,5	165,9
163	104,3	137,07	141,2	107,1	76,6	165,4
188	104,1	137,8	141,1	107,6	76,6	165,2
204	104,5	137,6	141	107,1	76,7	164,8
223	104,9	137,4	141,9	107,6	76,3	164,45
240	104,8	137,2	141,8	107,3	76,5	164,1

Donde T (1,2,3,4,5) son las temperaturas de los puntos en la placa distribuidora de calor del horno, T6 es la temperatura del quemador, M es la temperatura de las nueces de macadamia.

Tabla

Promedios de temperatura para placa distribuidora y quemador

Tiempo(min)	T placa °C	T quemador °C
5	46,2	89,8
13	103,1	164,7
24	115,9	165,8
34	119,6	183,3
52	103,6	138,2
63	100,6	140,3
76	109,0	154,2
85	113,1	140
101	113,6	156
120	113,4	144,4
132	113,3	149,5
148	113,4	165,9
163	113,3	165,4
188	113,4	165,2
204	113,4	164,8
223	113,6	164,5
240	113,5	164,1

Tabla

Temperaturas de las paredes internas y macadamia en ensayo de 4 horas.

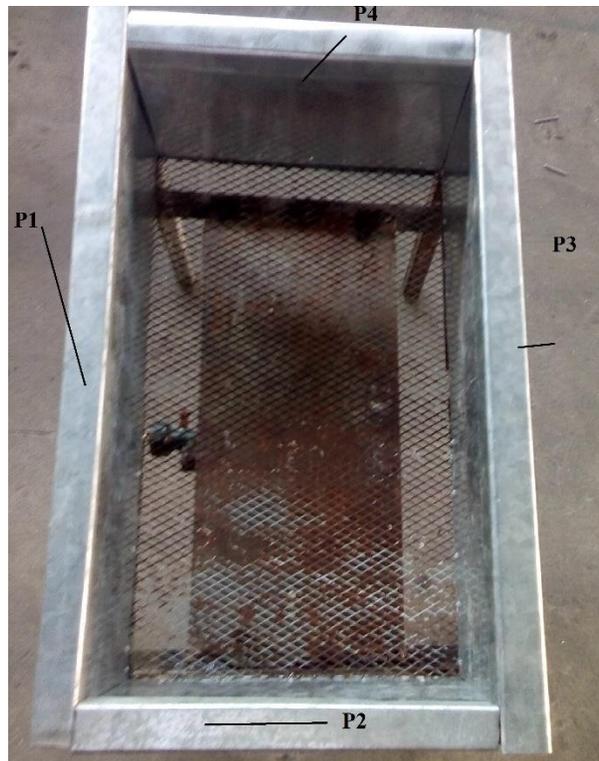
Tiempo(mm)	P1 ⁰ C	P2 ⁰ C	P3 ⁰ C	P4 ⁰ C	M ⁰ C
5	24,3	28,7	26,5	27,7	20,7
13	33	30,8	28,1	31,3	23,5
24	43,3	40,7	38,4	45,4	30,2
34	51,2	43,7	44	50,7	40,7
52	55,3	46,3	47,1	62,5	63,6
63	59	49	47,9	63,6	67
76	58,2	47,8	52	63,7	68,3
85	58,4	47,9	52,3	63,5	75,3
101	58,5	47,3	52,8	63,5	75,7
120	58,7	47,1	52,1	63,45	76,1
132	58,8	47,9	52,5	63,4	76,5
148	58,7	47,6	52,9	63,35	76,9
163	58,1	47,4	52,3	63,3	77,3
188	58,3	47,1	52,7	63,25	77,7
204	58,6	47,9	52,7	63,2	78,1
223	58,5	47,6	52,5	63,15	78,5
240	58,7	44,4	52,9	63,1	78,9

Tabla

Promedio temperaturas de las paredes internas y macadamia en ensayo de 4 horas.

Tiempo(min)	T macadamia °C	T horno°C
5	20,7	27
13	23,5	31
24	30,2	42
34	40,7	47
52	63,6	53
63	67	55
76	68,3	55
85	75,3	56
101	75,7	56
120	76,1	55
132	76,5	56
148	76,9	56
163	77,3	55
188	77,7	55
204	78,1	56
223	78,5	55
240	78,9	55

Anexo 7. Tabas de temperatura entre paredes internas, aislante térmico de abacá y paredes externas.



Donde P1, P2, P3, P4 son las paredes del horno prototipo.

Ensayo al 100% de capacidad de aislante térmico de abacá.

Pared 1.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	19,8	19,8	19,8
18	20,3	24,8	46,7
25	20,4	27,7	51,3
30	20,8	28,3	56,5
38	21,3	33,7	59,9

Pared 2.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	19,8	19,8	19,8
18	20,3	22,7	31,3
25	20,7	25	37,9
30	21,4	25,3	45,6
38	21,9	25,3	51,5

Pared 3.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	19,8	19,8	19,8
18	21,7	32,6	48,3
25	28,8	38,6	58,1
30	33,2	45,7	64,5
38	37,8	53,9	70,4

Pared 4.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	19,8	19,8	19,8
18	22,2	23	34,4
25	22,3	24,5	47,9
30	25,3	26,8	58,8
38	25,7	27,7	65,3

Tabla promedios 100% de capacidad de aislante térmico.

	Tiempo (min)	T pro ext. °C	T pro ais °C	T pro int°C
Pared 1	22,2	20,52	26,86	46,84
Pared 2	22,2	20,82	23,62	37,22
Pared 3	22,2	28,26	38,12	52,22
Pared 4	22,2	23,06	24,36	45,24

Datos pared 2:

$$T1 = 37,22^{\circ}C$$

$$T2 = 20,82^{\circ}C$$

$$T_{abaca} = 23,62^{\circ}C$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{w}{m.k}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{w}{m.k}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_2 = 0,0486m^2$$

$$A_{s2} = 0.1m^2$$

$$\dot{Q} = K.A \frac{(Tf - Ti)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{w}{m.k} . (0,0486)m^2 . \frac{(310,22-296,62) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}1 = 776,628 W$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{w}{m.k} . (0,0486)m^2 . \frac{(296,62-293,82) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}_2 = 159,894 \text{ W}$$

Con los anteriores datos se determinará el coeficiente de transferencia de calor de la pared 2 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{\text{convección}}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)}$$

$$A_s = 0,1 \text{ m}^2$$

$$h_1 = \frac{776,628 \text{ W}}{0,0486 \text{ m}^2 \cdot (37,22 - 23,62)^\circ\text{C}}$$

$$h_1 = 1175,079 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_2 = \frac{159,894 \text{ W}}{0,0486 \text{ m}^2 \cdot (23,62 - 20,82)^\circ\text{C}}$$

$$h_2 = 1175 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$R_i = R_{\text{convección}} = \frac{1}{h_1 \cdot A}$$

$$R_i = \frac{1}{1175,079 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (0,0486) \text{ m}^2}$$

$$R_i = 0,0175 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{abaca}} = \frac{L}{K_{\text{abaca}} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 \text{ m}}{0,042 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot (0,0486) \text{m}^2}$$

$$R_{abaca} = 19,6 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_0 = \frac{1}{1175 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot (0,0486) \text{m}^2}$$

$$R_0 = 0,0175 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{total} = R_i + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,0175 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 19,6 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,0175 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{total} = 19,64 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{37,22^{\circ}\text{C} - 20,82^{\circ}\text{C}}{19,64 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = 0,835 \text{ W}$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} R_i$$

$$T_1 = 37,22^{\circ}\text{C} - 0,835 \text{ W} \cdot 0,0175 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_1 = 37,205^{\circ}\text{C}$$

Datos pared 3:

$$T1 = 52,22^{\circ}\text{C}$$

$$T2 = 28,26^{\circ}\text{C}$$

$$T_{abaca} = 38,12^{\circ}\text{C}$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{\text{W}}{\text{m.k}}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{\text{W}}{\text{m.k}}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_3 = 0,1\text{m}^2$$

$$A_{s3} = 0.203\text{m}^2$$

$$\dot{Q} = K \cdot A \frac{(Tf - Ti)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{\text{W}}{\text{m.k}} \cdot (0,1)\text{m}^2 \cdot \frac{(325,22 - 311,2) \text{ k}}{0,04 \text{ m}}$$

$$\dot{Q}1 = 1647,35 \text{ W}$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{\text{W}}{\text{m.k}} \cdot (0,1)\text{m}^2 \cdot \frac{(311,2 - 301,26) \text{ k}}{0,04 \text{ m}}$$

$$\dot{Q}2 = 1167,95 \text{ W}$$

Con los anteriores datos se determinar el coeficiente de transferencia de calor de la pared 3 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_{\infty})}$$

$$A_s = 0,203m^2$$

$$h1 = \frac{1647,35 W}{0,203m^2 \cdot (52,22 - 38,12)^\circ C}$$

$$h1 = 575,58 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h2 = \frac{1167,95 W}{0,203m^2 \cdot (38,12 - 28,26)^\circ C}$$

$$h2 = 583,514 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$Ri = R_{convección} = \frac{1}{h1 \cdot A}$$

$$Ri = \frac{1}{575,58 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,1)m^2}$$

$$Ri = 0,0174 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{abaca} = \frac{L}{K_{abaca} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 m}{0,042 \frac{W}{m \cdot k} \cdot (0,1)m^2}$$

$$R_{abaca} = 9,524 \frac{^\circ C}{W}$$

$$Ri = \frac{1}{583,514 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,1)m^2}$$

$$Ri = 0,0185 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{total} = Ri + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,0174 \frac{^\circ C}{W} + 9,524 \frac{^\circ C}{W} + 0,0185 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{total} = 9,56 \frac{^\circ C}{W}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{52,22^\circ C - 28,26^\circ C}{9,56 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$\dot{Q} = 2,51 W$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{Ri}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} Ri$$

$$T_1 = 52,22^\circ C - 2,51 W \cdot 0,0174 \frac{^\circ C}{W}$$

$$T_1 = 52,176^\circ C$$

Datos pared 4:

$$T1 = 45,24^\circ C$$

$$T_2 = 24,36C$$

$$T_{abaca} = 22,2^{\circ}C$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{W}{m \cdot k}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{W}{m \cdot k}$$

$$h_1 = ?$$

$$h_2 = ?$$

$$A_2 = 0,0486m^2$$

$$A_{s2} = 0.1m^2$$

$$\dot{Q} = K \cdot A \frac{(T_f - T_i)}{L}$$

$$\dot{Q}_1 = 47 \frac{W}{m \cdot k} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(318,24 - 297,36) K}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}_1 = 1192,3524 W$$

$$\dot{Q}_2 = 47 \frac{W}{m \cdot k} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(297,36 - 295,2) K}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}_2 = 123,347 W$$

Con los anteriores datos se determinan el coeficiente de transferencia de calor de la pared 4 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_{\infty})}$$

$$A_s = 0,1m^2$$

$$h_1 = \frac{1192,3524 W}{0,0486m^2 \cdot (45,24 - 24,36)^{\circ}C}$$

$$h1 = 1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h2 = \frac{123,347 W}{0,0486 m^2 \cdot (24,36 - 22,2) ^\circ C}$$

$$h2 = 1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$Ri = R_{convección} = \frac{1}{h1 \cdot A}$$

$$Ri = \frac{1}{1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,0486) m^2}$$

$$Ri = 0,0175 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{abaca} = \frac{L}{K_{abaca} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 m}{0,042 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (0,0486) m^2}$$

$$R_{abaca} = 19,59 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_0 = \frac{1}{1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,0486) m^2}$$

$$R_0 = 0,0175 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{total} = R_i + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,0175 \frac{^{\circ}C}{W} + 19,59 \frac{^{\circ}C}{W} + 0,0175 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$R_{total} = 19,63 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{45,24^{\circ}C - 22,2^{\circ}C}{19,63 \frac{^{\circ}C}{W}}$$

$$\dot{Q} = 1,173 W$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} R_i$$

$$T_1 = 45,24^{\circ}C - 1,173 W \cdot 0,0175 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$T_1 = 45,15^{\circ}C$$

Ensayo al 80% de capacidad de aislante térmico de abacá.

Pared 1.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	19,4	24	23,9
10	20,2	25,5	34,7
20	20,5	29,5	45,6
30	22,2	35,3	50,1
40	22,3	37,3	56,6
45	22,7	41,3	61,6

Pared 2.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	20	22,6	20
10	22,3	23,6	23,8
20	22,6	24,3	27,6
30	22	27,8	30,9
40	22,5	27,2	35,8
45	22,3	28,9	42,2

Pared 3.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	22	22,5	25,3
10	25,9	39,2	42
20	29,6	43,1	49,7
30	33,2	51,9	62,3
40	37,4	56,4	68,9
45	38,1	56,7	72,1

Pared 4.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	21,7	22,2	22,4
10	22,1	25,8	28,5
20	22,3	35,5	34,1
30	22,5	35,7	42,4
40	23,7	36,1	50,3
45	24,1	36,6	51,3

Tabla promedios 80% de capacidad de aislante térmico.

	Tiempo (min)	T pro ext. ⁰ C	T pro ais ⁰ C	T pro int ⁰ C
Pared 1	24,2	21,2	32,2	45,4
Pared 2	24,2	22,0	25,7	30,1
Pared 3	24,2	31	45	53,4
Pared 4	24,2	22,7	32	38,2

Datos pared 1:

$$T1 = 45,4^{\circ}C$$

$$T2 = 21,2^{\circ}C$$

$$T_{abaca} = 32,2^{\circ}C$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{w}{m.k}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{w}{m.k}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_3 = 0,1m^2$$

$$A_{s3} = 0.203m^2$$

$$\dot{Q} = K \cdot A \frac{(T_f - T_i)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(318,4-311,2) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}1 = 846 W$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(311,2-305,2) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}2 = 705 W$$

Con los anteriores datos se determinan el coeficiente de transferencia de calor de la pared 1 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)}$$

$$A_s = 0,203m^2$$

$$h1 = \frac{846 W}{0,203m^2 \cdot (45,4 - 32,2)^\circ C}$$

$$h1 = 315,718 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h2 = \frac{705 W}{0,203m^2 \cdot (32,2 - 21,2)^\circ C}$$

$$h2 = 315,718 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$Ri = R_{convección} = \frac{1}{h1 \cdot A}$$

$$Ri = \frac{1}{315,718 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,1)m^2}$$

$$Ri = 0,0317 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{abaca} = \frac{L}{K_{abaca} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 m}{0,042 \frac{W}{m \cdot k} \cdot (0,1)m^2}$$

$$R_{abaca} = 9,524 \frac{^\circ C}{W}$$

$$Ri = R_0$$

$$R_{total} = Ri + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,0317 \frac{^\circ C}{W} + 9,524 \frac{^\circ C}{W} + 0,0317 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{total} = 9,59 \frac{^\circ C}{W}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{45,4^\circ C - 21,2^\circ C}{9,59 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$\dot{Q} = 2,523 W$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{Ri}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} Ri$$

$$T_1 = 45,4^{\circ}C - 2,523 W \cdot 0,0317 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$T_1 = 45,3^{\circ}C$$

Datos pared 3:

$$T1 = 53,4^{\circ}C$$

$$T2 = 31^{\circ}C$$

$$T_{abaca} = 45^{\circ}C$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{w}{m.k}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{w}{m.k}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_3 = 0,1m^2$$

$$A_{s3} = 0.203m^2$$

$$\dot{Q} = K \cdot A \frac{(Tf - Ti)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(326,4-318) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}1 = 987 W$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(318-304) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}2 = 1645W$$

Con los anteriores datos se determinar el coeficiente de transferencia de calor de la pared 3 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)}$$

$$A_s = 0,203m^2$$

$$h1 = \frac{987 W}{0,203m^2 \cdot (53,4 - 45)^\circ C}$$

$$h1 = 578,82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h2 = \frac{1645W}{0,203m^2 \cdot (45 - 31)^\circ C}$$

$$h2 = 578,82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$Ri = R_{convección} = \frac{1}{h1 \cdot A}$$

$$Ri = \frac{1}{578,82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,1)m^2}$$

$$Ri = 0,0173 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{abaca} = \frac{L}{K_{abaca} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 \text{ m}}{0,042 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{k}} \cdot (0,1)\text{m}^2}$$

$$R_{abaca} = 9,524 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_i = R_0$$

$$R_{total} = R_i + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,0173 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 9,524 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,0173 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{total} = 9,56 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{53,4^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}{9,56 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = 2,34 \text{ W}$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} R_i$$

$$T_1 = 53,4^{\circ}\text{C} - 2,34 \text{ W} \cdot 0,0173 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_1 = 53,35^{\circ}\text{C}$$

Datos pared 4:

$$T1 = 38,2^{\circ}C$$

$$T2 = 22,7^{\circ}C$$

$$T_{abaca} = 32^{\circ}C$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{w}{m.k}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{w}{m.k}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_2 = 0,0486m^2$$

$$A_{s2} = 0.1m^2$$

$$\dot{Q} = K.A \frac{(Tf - Ti)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(311,2-304) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}1 = 411,156 W$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(304-295,7) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}2 = 473,97 W$$

Con los anteriores datos se determinan el coeficiente de transferencia de calor de la pared 4 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_{\infty})}$$

$$A_s = 0,1m^2$$

$$h1 = \frac{411,156 \text{ W}}{0,0486 \text{ m}^2 \cdot (38,2 - 32)^\circ\text{C}}$$

$$h1 = 1364,52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h2 = \frac{473,97 \text{ W}}{0,0486 \text{ m}^2 \cdot (32 - 22,7)^\circ\text{C}}$$

$$h2 = 1048,65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$Ri = R_{\text{convección}} = \frac{1}{h1 \cdot A}$$

$$Ri = \frac{1}{1364,52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (0,0486) \text{ m}^2}$$

$$Ri = 0,0151 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{abaca}} = \frac{L}{K_{\text{abaca}} \cdot A}$$

$$R_{\text{abaca}} = \frac{0,04 \text{ m}}{0,042 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}} \cdot (0,0486) \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{abaca}} = 19,6 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_0 = \frac{1}{1174,94 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (0,0486) \text{ m}^2}$$

$$R_0 = 0,0175 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{total} = R_i + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,0151 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 19,6 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,0175 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{total} = 19,63 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{38,2^{\circ}\text{C} - 22,7^{\circ}\text{C}}{19,63 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = 0,79 \text{ W}$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} R_i$$

$$T_1 = 45,24^{\circ}\text{C} - 0,79 \text{ W} \cdot 0,0175 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_1 = 45,22^{\circ}\text{C}$$

Ensayo al 40% de capacidad de aislante térmico de abacá.

Pared 1.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	20,4	21,1	22,7
10	21,7	26,1	33,8
20	22,3	33,3	41,1
30	22,4	37,6	44
40	22,7	37,8	47,1
50	23,4	41,7	54,6
60	23,9	44,6	62,1

Pared 2.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	20,4	21,3	22,9
10	24,1	24,3	31,9
20	25,7	26,5	30,1
30	26,3	27,5	34,2
40	26,8	29,7	35,4
50	27,2	33,9	43,3
60	27,6	36,3	46

Pared 3.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	20,4	20,9	22,9
10	25,2	40,3	36,3
20	29,8	51,5	53,3
30	30,1	52	62,9
40	39,5	59,2	76,4
50	39,8	59,2	83,9
60	40,1	60,7	91,4

Pared 4.

Tiempo(min)	T pared externa ⁰ C	T aislante ⁰ C	T pared interna ⁰ C
0	20,4	20,9	22,9
10	21,8	26,1	32,5
20	22,9	30,8	36
30	24,5	33,3	43,1
40	25,2	34,8	43,2
50	27,1	40,2	53
60	27,6	47,3	63,1

Tabla de promedios 40% de capacidad de aislante térmico.

	Tiempo (min)	T pro ext. ⁰ C	T pro ais ⁰ C	T pro int ⁰ C
Pared 1	30	22,4	34,6	43,6
Pared 2	30	25,0	29,0	35,0
Pared 3	30	32,0	49,0	61,0
Pared 4	30	24,0	33,0	42,0

Datos pared 1:

$$T1 = 43,6^{\circ}C$$

$$T2 = 22,4^{\circ}C$$

$$T_{abaca} = 34,6^{\circ}C$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{w}{m.k}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{w}{m.k}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_3 = 0,1m^2$$

$$A_{s3} = 0.203m^2$$

$$\dot{Q} = K.A \frac{(Tf - Ti)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(316,6-307,6) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}1 = 1057,5 W$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,1)m^2 \cdot \frac{(307,6-295,4) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}2 = 1433,5 W$$

Con los anteriores datos se determinar el coeficiente de transferencia de calor de la pared 1 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_{\infty})}$$

$$A_s = 0,203m^2$$

$$h1 = \frac{1057,5 \text{ W}}{0,203\text{m}^2 \cdot (43,6 - 34,6)^\circ\text{C}}$$

$$h1 = 578,82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h2 = \frac{1433,5 \text{ W}}{0,203\text{m}^2 \cdot (34,6 - 22,4)^\circ\text{C}}$$

$$h2 = 578,82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$Ri = R_{\text{convección}} = \frac{1}{h1 \cdot A}$$

$$Ri = \frac{1}{578,82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (0,1)\text{m}^2}$$

$$Ri = 0,0173 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{abaca}} = \frac{L}{K_{\text{abaca}} \cdot A}$$

$$R_{\text{abaca}} = \frac{0,04 \text{ m}}{0,042 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}} \cdot (0,1)\text{m}^2}$$

$$R_{\text{abaca}} = 9,524 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$Ri = R_0$$

$$R_{\text{total}} = Ri + R_{\text{abaca}} + R_{\text{convección}2}$$

$$R_{total} = 0,0173 \frac{^{\circ}C}{W} + 9,524 \frac{^{\circ}C}{W} + 0,0173 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$R_{total} = 9,56 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{43,6^{\circ}C - 22,4^{\circ}C}{9,56 \frac{^{\circ}C}{W}}$$

$$\dot{Q} = 2,22 W$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{Ri}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} Ri$$

$$T_1 = 43,6^{\circ}C - 2,22 W \cdot 0,0173 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$T_1 = 43,56^{\circ}C$$

Datos pared 2:

$$T1 = 35,^{\circ}C$$

$$T2 = 25^{\circ}C$$

$$T_{abaca} = 29^{\circ}C$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{W}{m \cdot k}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{W}{m \cdot k}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_2 = 0,0486m^2$$

$$A_{s2} = 0.1m^2$$

$$\dot{Q} = K \cdot A \frac{(Tf - Ti)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(308-302) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}1 = 342,63 W$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{w}{m.k} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(302-298) k}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}2 = 228,42 W$$

Con los anteriores datos se determinará el coeficiente de transferencia de calor de la pared 2 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)}$$

$$A_s = 0,1m^2$$

$$h1 = \frac{342,63 W}{0,0486m^2 \cdot (35 - 29)^\circ C}$$

$$h1 = 1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h2 = \frac{228,42 W}{0,0486m^2 \cdot (29 - 25)^\circ C}$$

$$h2 = 1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$R_i = R_{convección} = \frac{1}{h1.A}$$

$$R_i = \frac{1}{1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,0486)m^2}$$

$$R_i = 0,0175 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{abaca} = \frac{L}{K_{abaca} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 m}{0,042 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (0,0486)m^2}$$

$$R_{abaca} = 19,6 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_0 = R_i$$

$$R_{total} = R_i + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,0175 \frac{^\circ C}{W} + 19,6 \frac{^\circ C}{W} + 0,0175 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{total} = 19,64 \frac{^\circ C}{W}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{35^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{19,64 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = 0,51 \text{ W}$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{Ri}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} Ri$$

$$T_1 = 35^{\circ}\text{C} - 0,51 \text{ W} \cdot 0,0175 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_1 = 34,99^{\circ}\text{C}$$

Datos pared 4:

$$T1 = 42^{\circ}\text{C}$$

$$T2 = 24^{\circ}\text{C}$$

$$T_{abaca} = 33^{\circ}\text{C}$$

$$K_{abaca} = 0,042 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}}$$

$$K_{galvanizago} = 47 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}}$$

$$h1 = ?$$

$$h2 = ?$$

$$A_2 = 0,0486 \text{m}^2$$

$$A_{s2} = 0.1 \text{m}^2$$

$$\dot{Q} = K \cdot A \frac{(Tf - Ti)}{L}$$

$$\dot{Q}1 = 47 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(315-306) K}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}1 = 513,95 W$$

$$\dot{Q}2 = 47 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (0,0486)m^2 \cdot \frac{(306-297) K}{0,04 m}$$

$$\dot{Q}2 = 513,95 W$$

Con los anteriores datos se determinan el coeficiente de transferencia de calor de la pared 4 como se muestra en la ecuación tomada de (Cengel, 2004)

$$h = \frac{\dot{Q}_{convección}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)}$$

$$A_s = 0,1m^2$$

$$h1 = \frac{513,95 W}{0,0486m^2 \cdot (42 - 33)^\circ C}$$

$$h1 = 1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h2 = \frac{513,95 W}{0,0486m^2 \cdot (33 - 24)^\circ C}$$

$$h2 = 1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con el dato obtenido del coeficiente de transferencia de calor de la pared interna y externa que está en el rango para materiales de acero galvanizado tabla 3-2 del libro de (Cengel, 2004), ahora si podemos resolver el sistema de pérdidas de calor en paredes planas por medio de resistencias. Tal como se muestra en la figura 38.

$$Ri = R_{convección} = \frac{1}{h1 \cdot A}$$

$$R_i = \frac{1}{1175 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (0,0486)m^2}$$

$$R_i = 0,0175 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{abaca} = \frac{L}{K_{abaca} \cdot A}$$

$$R_{abaca} = \frac{0,04 m}{0,042 \frac{W}{m \cdot k} \cdot (0,0486)m^2}$$

$$R_{abaca} = 19,6 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_0 = R_i$$

$$R_{total} = R_i + R_{abaca} + R_{convección2}$$

$$R_{total} = 0,0175 \frac{^\circ C}{W} + 19,6 \frac{^\circ C}{W} + 0,0175 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{total} = 19,635 \frac{^\circ C}{W}$$

Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{42^\circ C - 24^\circ C}{19,635 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$\dot{Q} = 0,916 W$$

Si se conoce la razón de la transferencia de calor se puede determinar la temperatura de la superficie interior a partir de

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i}$$

$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q}Ri$$

$$T_1 = 42 \text{ } ^\circ\text{C} - 0,916 \text{ W} \cdot 0,0175 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_1 = 41,98^\circ\text{C}$$