

**HORNO PIROLÍTICO MÓVIL DE LABORATORIO  
PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCHAR  
A PARTIR DE RESIDUOS DE BIOMASA VEGETAL COLOMBIANA**

**HENRY FABIÁN ORTEGA GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2018**

**HORNO PIROLÍTICO MÓVIL DE LABORATORIO  
PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCHAR  
A PARTIR DE RESIDUOS DE BIOMASA VEGETAL COLOMBIANA**

**HENRY FABIÁN ORTEGA GONZÁLEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Diseñador Industrial**

**Director**

**ASDRÚBAL FAJARDO VÁSQUEZ**

**Especialista en Docencia Universitaria,  
Master en Historia, Teoría del arte y la arquitectura**

**Codirector**

**BJORN REU**

**B.Sc en Geoecología,  
Ph. D en Ciencias Naturales**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2018**

## **AGRADACIMIENTOS**

A Dios, por permitirme alcanzar este logro al regalarme todas las herramientas necesarias para finalizar este proceso; y una familia que me ha permitido crecer y me ha brindado todo su apoyo.

A mi familia, por estar a mi lado y enseñarme la importancia del hogar y las cosas que de verdad importan.

A Julieth Andrea Ramírez, que ha sido un apoyo incondicional en todos los momentos que lo he necesitado, y a su hermana Diana Katherine Ramírez, por estar dispuesta siempre a ayudar.

A todos mis docentes, porque gracias a ellos he crecido personal y profesionalmente.

A mis compañeros y amigos, por brindarme herramientas y alegrías, cuando las necesitaba.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Diseño Industrial, que me permitieron vivir una experiencia universitaria, que estará grabada en mi mente por siempre.

***HENRY F. ORTEGA GONZÁLEZ***

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	15
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.1 TÍTULO .....	17
1.2 OBJETIVO GENERAL .....	17
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	20
1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	21
1.7 ALCANCE DEL PROYECTO .....	22
2. MARCO TEÓRICO .....	23
2.1 ¿QUÉ ES LA PIRÓLISIS? .....	23
2.1.1 Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual 25	
2.1.2 La carbonización de residuos .....	25
2.2 MATERIALES DE HORNOS .....	26
2.3 HORNO ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER .....	28
2.4 MODOS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR .....	30
2.4.1 Conducción .....	30
2.4.2 Convección .....	30
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS .....	30

2.6	COLCHAS DE FIBRA CERÁMICA .....	31
2.7	CEMENTOS REFRACTARIOS Y LADRILLOS REFRACTARIOS.....	33
2.7.1	Ladrillo refractario .....	34
2.7.2	Mezcla para pegar ladrillos refractarios .....	35
2.8	CONTROLADORES DE TIEMPO EN EQUIPOS INDUSTRIALES.....	35
2.8.1	Cómo medir y controlar la temperatura en hornos.....	36
2.8.2	Termocuplas .....	36
2.9	ERGONOMÍA.....	37
2.9.1	Rango de visión a tableros .....	37
2.9.1.1	Aspectos relativos a la colocación de las PVD (pantallas de visualización de datos).....	38
2.9.1.2	Características de símbolos alfanuméricos .....	40
2.9.1.3	Características técnicas de la pantalla .....	40
2.10	CONTROL .....	40
2.10.1	Logos electrónicos y PLC.....	41
2.10.2	Arduino .....	42
2.11	QUEMADORES INDUSTRIALES PARA HORNOS .....	43
2.11.1	Quemadores en el mercado .....	45
3.	METODOLOGÍA.....	50
3.1	METODOLOGÍA: FASES Y ACTIVIDADES .....	50
3.1.1	Fase 1 Estructuración.....	50
3.1.2	Fase 2 Conceptualización del modelo .....	51
3.1.3	Evaluación del horno propuesto .....	51
4.	IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DEL CLIENTE .....	54
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS .....	58
4.2	CONCLUSIONES ENCUESTAS.....	60

4.3	ENCENDIDO DEL HORNO A DISEÑAR .....	61
4.4	ANÁLISIS DEL CONTEXTO .....	62
4.5	ANÁLISIS DE LA POBLACIÓN.....	63
5.	PROPUESTAS DE EQUIPOS DE LABORATORIO PARA PRODUCCION DE CARBON VEGETAL .....	64
5.1	CONCEPTUALIZACION DEL ARTEFACTO .....	64
5.2	ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	66
5.2.1	Horno cilíndrico .....	66
5.2.2	Horno Horizontal, doble inclinación. ....	66
5.2.3	Horno con inclinación frontal estructura móvil exterior .....	67
5.2.4	Horno con inclinación frontal estructura móvil interior .....	68
6.	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	69
6.1	REQUERIMIENTOS EVALUACIÓN DE PROTOTIPOS .....	69
6.2	METODOLOGÍA PARA ESCOGER EL QUEMADOR A GAS .....	70
7.	AJUSTES Y PROPUESTA FINAL DEL PROTOTIPO DE HORNO PIROLÍTICO (DISEÑO DE DATALLE).....	73
7.1	METODOLIGÍA PARA REALIZAR QUEMAS EN EL HORNO.....	73
7.2	HORNO FINAL.....	73
7.3	PROCESO DE FABRICACIÓN DEL HORNO.....	76
7.4	LOGOTIPO Y SEÑALIZACIÓN.....	76
8.	CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO.....	78
9.	RECOMENDACIONES.....	80
10.	CONCLUSIONES .....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	82

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. De izquierda a derecha, Preparación de horno y horno transportable completamente cerrado .....	27
Figura 2. Horno pirolítico Escuela de ingeniería Química Universidad Industrial de Santander .....	28
Figura 3. Partes del equipo de pirolisis. De izquierda a derecha: chimenea, quemador.....	29
Figura 4. Partes equipo de pirolisis. De izquierda a derecha: vista general, recámara interna.....	29
Figura 5. Fibra cerámica .....	32
Figura 6. Ladrillos refractarios encontrados en el mercado. De izquierda a derecha, tabletas, ladrillo tradicional.....	34
Figura 7 Posiciones de entrada y salida de la biomasa De izquierda a derecha, altura para verter la biomasa, compuerta de salida para retirar la biomasa .....	37
Figura 8 Distancia de visión d.....	38
Figura 9 Altura de caracteres.....	39
Figura 10 Ángulos comprendidos entre la línea de visión horizontal y un trazo a 60° .....	40
Figura 11. Logo Siemens .....	41
Figura 12. Arduino y sus partes .....	43
Figura 13. Modelo Riello RS .....	45
Figura 14. Quemador ACPM.....	47
Figura 15. Quemador bicomcombustible de gas natural .....	48
Figura 16. Baltur de gas natural.....	49
Figura 17. Algunos tipos de biomasa De izquierda a derecha, biomasa hojas de árbol de arrayán, biomasa bagazo de caña.....	54
Figura 18. Masa algunos tipos de biomasa. De izquierda a derecha, biomasa Hojas de árbol de arrayán en una balanza, biomasa bagazo de caña .....	55

Figura 19. Dimensiones biomasa, de izquierda a derecha, caña de azúcar, bagazo de caña de azúcar.....	55
Figura 20 Porcentaje sugerencias desarrollo horno.....	58
Figura 21 Porcentajes de sugerencias que debe tener un horno que trabaja a alta temperatura.....	59
Figura 22. Secuencia de uso en un quemador de gas propano con encendido manual.....	61
Figura 23. Visualización esquemática del Horno cilíndrico.....	66
Figura 24. Horno con doble inclinación y estructura móvil.....	66
Figura 25. Horno con inclinación frontal vista posterior.....	67
Figura 26. Horno con inclinación frontal vista frontal.....	67
Figura 27. Horno con doble inclinación y estructura interna.....	68
Figura 28. Electro válvula quemador Riello 40 GS 20.....	74
Figura 29. Vista general quemador Riello 40 GS 20.....	74
Figura 30. Medición de temperatura chimenea, primera prueba realizada con el quemador riello.....	75
Figura 31 Logotipo Horno Pirolítico móvil.....	76
Figura 32. Señal de superficie caliente, ubicada en las caras del horno.....	77
Figura 33 Instrucciones de uso del Horno Pirolítico móvil.....	77
Figura 34 Construcción recamara interna con lámina laminada en frio de calibre de 3mm.....	78
Figura 35 Estructura Interna del equipo soldada en ángulo de 1.1/2”.....	78
Figura 36 Preparación de tapas laterales para taladrar y roscar.....	79
Figura 37 Horno completamente atornillado. De izquierda a derecha, vista frontal , vista posterior.....	79

## LISTA DE TABLAS

**Pág.**

Tabla 1. Reacciones químicas, de acuerdo a la temperatura a que es sometida la biomasa vegetal .....	23
Tabla 2. Especificaciones técnicas fibra cerámica calorcol .....	33
Tabla 3. Ficha técnica quemador Riello modelo RS .....	45
Tabla 4. Ficha técnica quemador ACPM .....	47
Tabla 5. Ficha técnica quemador gas natural. ....	48
Tabla 6. Ficha técnica quemador Baltur .....	49
Tabla 7 Sugerencias personas encuestadas equipos de laboratorio.....	58
Tabla 8 Sugerencias personas encuestadas con conocimiento de pirolisis .....	59
Tabla 9 Percentiles de hombres y mujeres en edad de 19 a 24 años. ....	64
Tabla 10. Descomposición de los problemas en sub-problemas.....	64
Tabla 11. Soluciones a problemas de energía, capacidad, movilidad, soporte	65
Tabla 12. Soluciones de problemas de encendido, control, apagado.....	65
Tabla 13 Secuencia de uso de un quemador Riello 40 GS 20 .....	71

## **LISTA DE ANEXOS**

**(Ver anexos adjuntos en el CD)**

Anexo A. Lista de materiales de Horno pirolítico móvil.

Anexo B. Piezas y ensamblaje Solidworks de Horno pirolítico móvil.

Anexo C. Ficha técnica de Horno pirolítico móvil.

Anexo D. Programación Arduino tiempo de trabajo del equipo y control de temperatura.

Anexo E. Planos PDF de Horno pirolítico móvil.

Anexo F. Señalización del Horno pirolítico móvil.

Anexo G. Videos pruebas de quemador industrial Riello.

Anexo H. Cálculos de temperatura de la recámara interna del horno EES.

## RESUMEN

**TÍTULO:** HORNO PIROLÍTICO MÓVIL DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS DE BIOMASA VEGETAL COLOMBIANA\*

**AUTOR:** HENRY FABIÀN ORTEGA GONZÁLEZ\*\*

**PALABRAS CLAVE:** SECUESTRO DE CARBONO, TIERRA NEGRA, PIRÓLISIS, CARBÓN VEGETAL.

### **DESCRIPCIÓN:**

El presente trabajo de grado tiene como propósito, desarrollar un horno pirolítico para obtener Biochar a partir de biomasa vegetal colombiana, como solicitud de la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander. Para lograr dicho objetivo se implementó una metodología basada en la revisión y análisis de productos encontrados en el mercado, con características semejantes a las del equipo a diseñar, posterior a esto, se desarrolló la conceptualización y propuesta del prototipo para su verificación técnica, teniendo en cuenta factores como materiales, sistemas de control y termodinámica básica, a fin de realizar una prueba de usabilidad con diferentes personas que manejen equipos industriales para observar el comportamiento del usuario frente a dicho equipo.

Como resultado se obtuvo un horno pirolítico móvil, que cuenta con una tarjeta programada de Arduino UNO, para controlar la temperatura y el tiempo del horno, cuyo peso aproximado es de 430 Kg, capaz de soportar temperaturas superiores a 400° C. Con ladrillos refractarios en el revestimiento del horno, láminas de acero en las recámaras interna y externa para tener una mayor conducción de calor y para protección de los componentes internos, respectivamente, además del ángulo estructural para generar puntos de apoyo, todo esto con el fin de garantizar una mayor vida útil del equipo.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Asdrúbal Fajardo Vásquez. Codirector: Bjorn Reu.

## ABSTRACT

**TITLE:** MOBILE LABORATORY PYROLITIC OVEN FOR THE OBTAINING OF BIOCHAR FROM COLOMBIAN VEGETABLE BIOMASS RESIDUES

OVEN PYROLYTIC MOBILE LABORATORY FOR OBTAINING BIOCHAR FROM BIOMASS PLANT WASTE COLOMBIAN \*

**AUTHOR:** HENRY FABIAN ORTEGA GONZÁLEZ\*\*

**KEYWORDS:** CARBON CAPTURE, BLACK SOIL, PYROLYSIS, CHARCOAL

### **DESCRIPTION:**

The present Bachelor Thesis has as its purpose the development of a pyrolytic oven able to obtain Biochar from Colombian plant biomass as requested by the School of Biology of the Universidad Industrial de Santander. To achieve this objective, a methodology was implemented based on the review and analysis of products found in the market with similar characteristics to those of the equipment that will be designed. Subsequently, the conceptualization and proposal of the prototype was developed for its technical verification, taking into account factors such as materials, control systems and basic thermodynamics, in order to perform a usability test with different people who handle industrial equipment to observe the user's behavior regarding the equipment previously mentioned.

As a result, a mobile pyrolytic oven was obtained, which has a programmed Arduino UNO board, to control the temperature and time of the oven, which approximate weight is 430 Kg, capable of withstanding temperatures above 400 ° C. With refractory bricks in the furnace lining, steel sheets in the internal and external wall cavities to have a greater heat conduction and to protect the internal components respectively, additionally the structural angle to generate support points, all this in order to guarantee a longer life of the equipment.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Physical-Mechanical Engineering Faculty. School of Industrial Design. Director: Asdrúbal Fajardo Vásquez. Codirector: Bjorn Reu.

## INTRODUCCIÓN

El planeta produce de manera natural diferentes tipos de biomasa, las cuales están empezando a tratarse para beneficio de las diferentes sociedades. Un ejemplo de esto son los biocombustibles y el carbón vegetal que actualmente se producen como fertilizantes naturales, para mejorar los cultivos y atrapar el carbono en la tierra. En Colombia ya son muchas las empresas que se han sumado al aprovechamiento de biomasa. “La región del valle geográfico del Río Cauca aporta más del 90% del bioetanol producido en Colombia y más del 90% de la cogeneración de energía eléctrica nacional a partir de biomasa”<sup>1</sup>.

En la actualidad, los cultivos de caña de azúcar en sitios aledaños a Bucaramanga y la poda de árboles en sectores urbanos de esta ciudad, son considerados desperdicio y a partir de este, se puede obtener un producto que influya directamente en el incremento del mercado local, mediante un proceso planificado de fertilización de suelos.

Bucaramanga produce gran variedad de biomasa y todo este material es apilado, para que por medios naturales se descomponga sin obtener un subproducto de éste y sin aprovecharlo. Según un informe transmitido por la empresa de aseo de Bucaramanga, 16.000 toneladas promedio de residuos sólidos, son apilados cada mes en el Relleno Sanitario El Carrasco<sup>2</sup>. Esta situación podría ocasionar

---

<sup>1</sup> BIOENERGÍA. Cluster empresarial. Bioenergía. *Acción camara de comercio de cali*. 2014, Vol. 164. P. 16-17.

<sup>2</sup> LEON NIEVES, Abigail. Nuevas alternativas tecnológicas para el tratamiento disposición y aprovechamiento de los residuos sólidos del municipio de Bucaramanga. 2016. [En línea]. Recuperado el 20 de marzo de 2017. Disponible en: [http://www.concejodebucaramanga.gov.co/descargas/CONTROL\\_POLITICO\\_2\\_EMAB\\_2016.pdf](http://www.concejodebucaramanga.gov.co/descargas/CONTROL_POLITICO_2_EMAB_2016.pdf)

incluso un problema de salud a los habitantes del sector o a quienes transiten por él.

Queriendo buscar una utilización de este volumen de biomasa vegetal, se ha visto la necesidad de diseñar un horno pirolítico, del cual se obtendría un producto de valor agregado que ayude a la fertilización de suelos en sectores del agro colombiano.

En el presente proyecto se diseñará y se construirá un horno pirolítico, para biomasa vegetal propia de Santander, considerando la cantidad que se puede aprovechar por medio del proceso de pirólisis.

Es importante destacar que Santander es un importante productor de caña de azúcar, teniendo en cuenta esto, si se realiza el proceso de pirólisis se obtendría carbón vegetal con la ventaja de que éste, también se puede transportar con relativa comodidad debido a su disminución de volumen y facilidad para compactarse. “El motivo principal de carbonizar una biomasa con propósitos energéticos es el de reducir los costos de manejo y transporte. Se pierde energía en el proceso, pero se hace más factible la utilización de la que queda. La carbonización tiene un beneficio adicional, que es evitar la emisión de humo, dado que el carbón produce esencialmente CO<sub>2</sub> y CO al quemarse.”<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> QUESADA KYMZEY, Jaime. La carbonización de residuos biomásicos: una exploración con perspectivas emocionantes. Tecnología en marcha. 2012, Vol. 25, N° 5. P. 14-21.

## **1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 TÍTULO**

HORNO PIROLÍTICO MÓVIL DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS DE BIOMASA VEGETAL COLOMBIANA.

### **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Proponer un horno pirolítico móvil de tipo experimental, con tecnología de la región, para obtención de Biochar a partir de biomasa vegetal propia de Santander.

### **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Determinar las características del horno a diseñar, así como la capacidad del horno, teniendo en cuenta su volumen y peso para un fácil transporte y movilidad. Igualmente sistemas de sujeción en caso de requerir un traslado que implique largas distancias.
- ✓ Proponer un mecanismo que permita controlar la capacidad de llenado dependiendo del volumen de la biomasa (densidad, forma, estructura). Asimismo, los atributos del horno, que permitan realizar la quema controlada de la biomasa y verificar temperatura interna y tiempo.
- ✓ Determinar el sistema de suministro de energía que permita realizar la quema total de la biomasa. Así como un material que garantice una vida útil para el equipo, protegiéndolo contra agentes externos.
- ✓ Verificar las variables del prototipo propuesto como lo es la temperatura y tiempo y realizar validaciones del equipo con los usuarios.

#### 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el paso del tiempo el deterioro de los suelos y los cambios climáticos son mayores, lo cual ha llevado a los agricultores a utilizar en sus cultivos productos químicos, así como material transgénico para continuar manteniendo los niveles de producción. “El área cultivada no ha experimentado fuertes aumentos en el último cuarto del Siglo XX. El área de siembra de trigo se estabilizó desde la década del 70 y la del maíz desde principios de la década del 80”<sup>4</sup>. Los suelos de los cultivos han perdido propiedades debido al abuso de éstos, llevando a la población de agricultores a tomar las medidas mencionadas inicialmente.

En la actualidad, el aumento de áreas de cultivo se da en tierras poco o escasamente productivas. Gran parte de estas tierras presentan procesos de erosión, por tanto, éstas requieren la utilización de fertilizantes y tecnologías apropiadas, para evitar este problema y su degradación, según Andrade, 1988, aunque algunos consideran a estas tecnologías inapropiadas para la alimentación saludable de las personas. Problema que ha llevado a investigadores a la búsqueda de los conocimientos que poseían los indígenas en el pasado y se han hallado propiedades y características de la tierra negra o terra preta, denominada así por los indígenas de La Amazonía, que es obtenida por medio de la mezcla del carbón vegetal con tierra<sup>5</sup>.

Artículos publicados en revistas como la Sociedade Brasileira de Química, por autores como Mangric, y otros, demuestran que este procedimiento podría no sólo solucionar el problema de la producción en suelos áridos, sino que disminuiría el metano y el óxido nitroso. Los sistemas de producción de las poblaciones indígenas antiguas, pueden proporcionar ideas que sirven como

---

<sup>4</sup> ANDRADE, F.H. Posibilidades de expansión de la producción agrícola. Inverciencia.1998, Vol. 23. P. 218-226.

<sup>5</sup> NOVOTNY, Etelvino H, et al. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the Utilisation of Charcoal for Soil Amendment. Revista Sociedade Brasileira de Química. 2009, Vol. 20, Nº 6. P. 1003-1010.

base para el desarrollo de la gestión sostenible de la agricultura, y la tierra negra o terra preta, es un excelente modelo sustentable para la agricultura y era usado especialmente en ecosistemas tropicales, según Mangric y otros, 2009, lo cual sería de mucha ayuda para los suelos y la agricultura Colombiana, considerando que se cuenta con este tipo de ambientes y adicionalmente “Colombia se caracteriza por tener un gran potencial de biomasa a partir de residuos vegetales y se tiene un estimado de residuo de poda mayor a 44815 Ton/año correspondientes al 27% de los Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos”<sup>6</sup>. Un ejemplo de esto podría ser el dato del fique en Colombia, que genera 15.000 toneladas de residuo (bagazo)/ha sembrada.

Con base en estudios que ha adelantado la Escuela de Biología, se busca otorgar unas propiedades al Biochar que se desea obtener, para realizar una fertilización en suelos áridos colombianos, por medio del secuestro de carbono debido a las características que obtiene la biomasa al momento de alcanzar temperaturas altas.

El proceso antes mencionado, podría estar resolviendo un aspecto importante de salud pública al disminuir la cantidad de biomasa apilada en diferentes sectores del territorio colombiano y mejorar la productividad de alimentos.

Teniendo en cuenta los argumentos anteriores, se propondrá el diseño de un horno pirolítico, para para un posible desarrollo de pruebas en los laboratorios de la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander.

---

<sup>6</sup> PATIÑO MARTÍNEZ, Pedro Elías. Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. Revista Innovaciencia. 2014, Vol. 20, N° 6. P.45-52.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, los índices de aumento de biomasa vegetal, van creciendo con celeridad; en los cultivos generalmente se buscan otros usos pero estos no son muy rentables. En Colombia la incursión de nuevas tecnologías para el desarrollo de nuevos productos es, en muchas ocasiones, poco explorada, lo cual hace que se deje a un lado productos que pueden ayudar al desarrollo del país. “La producción de energía primaria procedente de biomasa en los 25 países de la Unión Europea en 2006, fue de 62,4 millones de toneladas equivalentes de petróleo”<sup>7</sup>.

Cada año que pasa el aumento de la Biomasa vegetal es mayor y los países desarrollados producen energía a partir de ésta. "En Finlandia se favorece la producción de calor y electricidad procedente de la biomasa con la exención total del impuesto sobre la energía pagado por los consumidores finales. Además hay subvenciones, que pueden llegar hasta el 30%, a las inversiones en plantas de generación eléctrica con biomasa. Para financiar la producción de electricidad procedente de fuentes renovables se utiliza la recaudación que se obtiene con un impuesto sobre el CO<sub>2</sub> aplicable a combustibles fósiles”<sup>8</sup>.

La Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander, actualmente estudia las características del carbón vegetal (Biochar) y cómo es aprovechado en los cultivos, para que los residuos de las podas y el material orgánico vegetal ya no sea una fuente de energía desperdiciada, y se les pueda dar otros usos, por lo que el proyecto de diseño y construcción de un horno que permita el aprovechamiento de este material que se malgasta en Colombia, resulta pertinente. “En los últimos años, la producción de carbón vegetal ha venido ganando relevancia más allá de su tradicional utilización como combustible para cocción de alimentos, especialmente en lo que tiene que ver con la producción de Biochar. En términos generales, el Biochar puede ser entendido como:

---

<sup>7</sup>PATÍÑO MARTÍNEZ, Pedro Elías. Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. Revista Innovaciencia. 2014, Vol. 20, N° 6. P.45-52.

<sup>8</sup> Ibíd., p.48

fertilizante orgánico, producto para remediación de suelos y secuestro de carbono, siendo probado que su aplicación controlada en suelos, incrementa el rendimiento de las cosechas y reduce el stress hídrico del suelo causado por sequías. Por lo tanto, el Biochar puede ser una importante alternativa para la valorización de la biomasa industrial, especialmente si se considera toda la cadena agroindustrial”<sup>9</sup>.

¿Cómo producir de manera controlada en laboratorio, carbón vegetal (Biochar), a partir de residuos vegetales de especies colombianas, para realizar estudios de investigación en la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander?

## **1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

La Escuela de Biología busca contar con un equipo de laboratorio que permita desarrollar pruebas para obtener carbón vegetal, a partir de la biomasa propia de Colombia, permitiendo así desarrollar estudios y caracterización de ésta. Del mismo modo, incentivar al uso de la mezcla de tierra y carbón vegetal, para analizar la tierra negra en el proceso del secuestro de carbono y fertilización de suelos en Colombia. Teniendo como soporte estudios realizados en la escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander, se opta por el desarrollo de un prototipo que permita definir los materiales, así como los procesos, tipo de energía necesaria y una forma práctica de producir carbón vegetal con un equipo que se pueda trasladar para desarrollar trabajos de campo y realizar la producción de carbón vegetal.

---

<sup>9</sup> HEREDIA, M; TARELHO, L; MATOS, A. Valoración del Calor Residual de Reactores de Pirólisis para la Producción Combinada de Carbón Vegetal y Combustible Torreficado. Revista Técnica “energía”. No 12. P. 396-404.

## **1.7 ALCANCE DEL PROYECTO**

Este proyecto llega hasta el desarrollo de un prototipo para la quema de biomasa vegetal para producir Biochar, y validar los materiales de las partes que son sometidas a altas temperaturas. En consecuencia, el diseño 3D, y la construcción del horno, se constituyen como el entregable principal, siendo el equipo indispensable para realizar los experimentos y de este modo dar cumplimiento al objetivo general del proyecto.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ¿QUÉ ES LA PIRÓLISIS?

Según el autor Martínez quien publicó en la revista *Innovaciencia*, “la pirólisis es la descomposición de la materia prima de biomasa por la transferencia de calor en ausencia de oxígeno; también se conoce como desvolatilización, es un proceso endotérmico y transforma de 75% a 90% de materiales volátiles en la forma de hidrocarburos líquidos, gaseosos, y carbón”<sup>10</sup>. Esto permite la reducción de volumen y genera propiedades como es el secuestro de carbono y la captura de nutrientes para fertilización de suelos, lo cual se aprovecha de diferentes formas.

Algunas de las reacciones más importantes que intervienen en esta etapa son las siguientes:

**Tabla 1. Reacciones químicas, de acuerdo a la temperatura a que es sometida la biomasa vegetal**

T° Rango en °C	Reacción Química
<b>100 - 120</b>	Deshidratación
<b>250</b>	Desoxigenación y desulfuración: liberación de Sulfuro de Hidrógeno
<b>340</b>	Rotura de enlaces en compuestos alifáticos: liberación de metano y otros compuestos alifáticos ligeros
<b>380</b>	Fase de Carbonización
<b>400</b>	Rotura de enlaces C-O y C-N
<b>400-600</b>	Descomposición de los materiales bituminosos: generación de aceites y alquitranes

<sup>10</sup> PATIÑO MARTÍNEZ, Pedro Elías. Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. *Revista Innovaciencia*. 2014, Vol. 20, N° 6. P.45-52.

<b>600</b>	Cracking de los materiales bituminosos: generación de hidrocarburos gaseosos de la cadena corta e hidrocarburos aromáticos (derivados del benceno)
<b>&gt; 600</b>	Dimerización de las olefinas (etileno) $\alpha$ -butileno; reacción del etileno a ciclohexano; generación de compuestos aromáticos volátiles

Fuente: RODRÍGUEZ PERDIGÓN, Luis Alejandro. Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Bogotá, 2014, 19p. Trabajo de investigación (Especialización en Gestión de Residuos Sólidos). Universidad EAN. Facultad de Postgrados.

En los hornos pirolíticos que presentan temperaturas superiores a 500 grados centígrados, generados por una fuente de calor externa (electricidad, gasolina, gas, carbón, leña), es necesario que quienes los diseñan y construyen, utilicen materiales según sea el caso. Hay procesos de pirólisis, desde excavaciones en la tierra hasta los que se elaboran en metales, con propiedades que les brindan una gran resistencia en los trabajos a altas temperaturas, por ejemplo: “La aleación HP40, la cual tiene una microestructura formada por una matriz austenítica, compuesta básicamente por una solución aproximada de 25% Cr, 35% Ni, 0.4 %C, con una vida de diseño de unos 11,4 años (100000h), a una temperatura de servicio de 1173K (900°C). El cromo en la aleación, mejora su resistencia a la corrosión y al daño por termo-fluencia”<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> SAAVEDRA RUEDA, Jaqueline, et al. Evaluación del daño por carburización de un tubo retirado de servicio de un horno de pirólisis. Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 2010, Vol.20, N° 2. P. 19-30.

**2.1.1 Biomasa residual vegetal (tecnologías de transformación y estado actual).** Cuando se habla de biomasa se refiere a “todo material de origen biológico, excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización”<sup>12</sup>. También el término biomasa se refiere a la energía solar convertida por la vegetación en nueva vegetación o materia orgánica que se convierte en diferentes tipos de energía, de acuerdo al uso que se vaya a dar. Con el término biomasa se denomina a una fuente de energía renovable, basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica o de productos derivados de ésta. La biomasa es una energía renovable, ya que su contenido energético es el resultado de la fotosíntesis, nombre dado al proceso de conversión de la energía lumínica del sol en energía química (ATP) utilizada posteriormente para la transformación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el agua (H<sub>2</sub>O) en carbohidratos y oxígeno (O<sub>2</sub>).

**2.1.2 La carbonización de residuos:** El carbón vegetal puede ser obtenido de casi cualquier biomasa, siendo particularmente apropiada la de origen vegetal, sobre todo la constituida por materiales lignocelulósicos, que son el constituyente predominante de la vegetación terrestre, después del agua. La biomasa se puede extraer de una variedad de fuentes, como por ejemplo, bosques primarios y secundarios, cultivos destinados a generar biomasa, o residuos de cultivos agrícolas y forestales.<sup>13</sup>

Actualmente se da preferencia al manejo y aprovechamiento de residuos a nivel mundial, pero esto representa un costo adicional para las empresas. En los países en que hay regulaciones efectivas, este manejo puede ser bastante costoso para las empresas que generan los desechos, mientras que en países

---

<sup>12</sup> INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. Resumen del plan de energías renovables 2011-2020. [En línea]. Recuperado 20 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>

<sup>13</sup> QUESADA KYMZEY, Jaime. La carbonización de residuos biomásicos: una exploración con perspectivas emocionantes. Tecnología en marcha. 2012, Vol. 25, Nº 5. P. 14-21.

con regulaciones más flexibles, las empresas pueden evadir sus responsabilidades y trasladar esos costos, multiplicados, a la sociedad civil en forma de daño ambiental. Entonces el menor costo de producción, con el subsecuente menor precio del producto, se traduce en un costo ambiental que afecta a toda la población en su salud y calidad de vida. Se socializa la decisión de dónde se paga, si en el producto con dinero, o en el ambiente con baja calidad de vida y salud<sup>14</sup>.

## **2.2 MATERIALES DE HORNOS**

El Tropical Products Institute, es una unidad científica de la Overseas Development Administration, ha adquirido considerable experiencia en el funcionamiento de diversos modelos de hornos transportables de metal.

Las principales características del horno modelo Tropical Products Institute son:

---

<sup>14</sup> QUESADA KYMZEY, Jaime. La carbonización de residuos biomásicos: una exploración con perspectivas emocionantes. Tecnología en marcha. 2012, Vol. 25, N° 5. P. 14-21.

**Figura 1. De izquierda a derecha, Preparación de horno y horno transportable completamente cerrado**



Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. [Sitio web].FAO. Recuperado el 10 de agosto de 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y5013s/y5013s07.htm>

- ✓ Chapa de acero de 3 mm de espesor para fabricar la sección del fondo del horno; para la sección superior y para la tapa se usa chapa de acero de 2 mm de espesor.
- ✓ Las dos secciones principales del horno son cilíndricas.
- ✓ Se usan repisas con perfiles de hierro ángulo de 50 mm, para soportar la sección superior y la tapa. Estos soportes están soldados en la parte interna del borde más alto de las dos principales secciones cilíndricas.
- ✓ Los ocho tubos de entrada/salida, ubicados debajo de la sección inferior del horno, se abren en la base. Alrededor del hueco en la cara superior de cada canal, se ha previsto un collar para sostener la chimenea durante el funcionamiento del horno.
- ✓ En la tapa del horno hay cuatro bocas a igual distancia, para la liberación del vapor.

Un aumento de la durabilidad se obtendrá empleando en la fabricación del horno, acero Corten "A1" en lugar de acero dulce. Esta aleación especial tiene la

propiedad de resistir al calor y la herrumbre. Su costo básico es alrededor del 10% mayor que el del acero dulce.

Puede fabricarse carbón vegetal en hornos hechos con tambores standard de 45 galones de aceite (aprox. 180 l). Este método ha funcionado bien, usando materia prima que quema rápido, como madera de palma de coco, cáscaras de coco y basura de madera. Sin embargo, cuando se hacen funcionar con latifoliadas densas, es difícil obtener una completa carbonización y el carbón resultante posiblemente tiene un elevado contenido de materia volátil.

### **2.3 HORNO ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

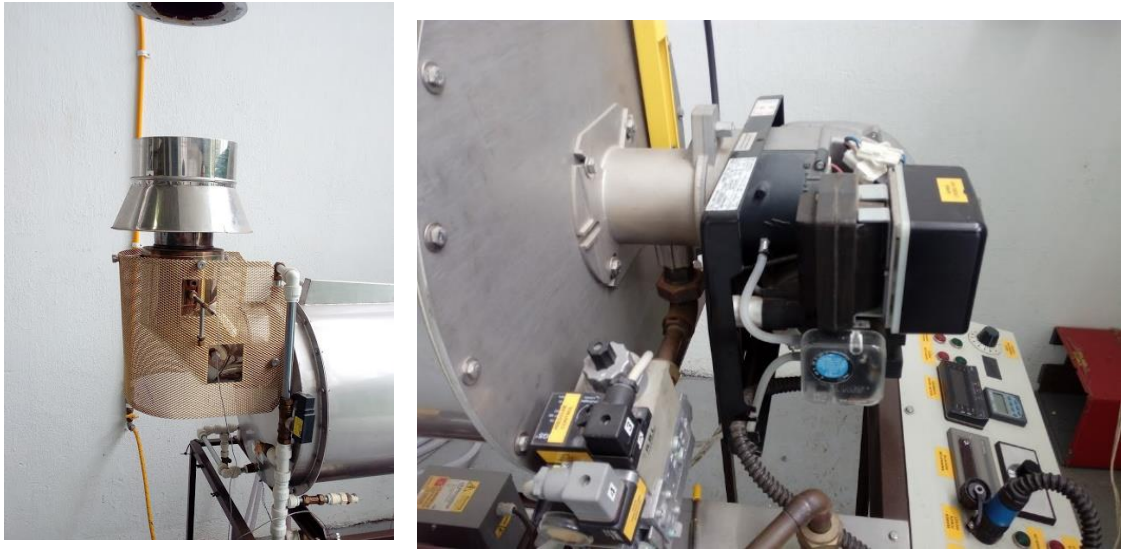
Realizando un recorrido por las instalaciones de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, nos encontramos con un equipo que realiza el proceso de pirólisis (Figuras 2-4). Aunque su recámara interna sólo permite un volumen no mayor de los 6000 centímetros cúbicos, con una recámara interna de aproximadamente 10x10x50 (cm) (Figura 4).

**Figura 2. Horno pirolítico Escuela de ingeniería Química Universidad Industrial de Santander**



Vista general equipo de pirolisis de la Escuela de Ingeniería Química UIS con sus respectivos componentes: entrada de gases, salida de aceite, control, quemador, chimenea.

**Figura 3. Partes del equipo de pirolisis. De izquierda a derecha: chimenea, quemador**



Vista de detalle de la chimenea con su respectiva protección (Figura 3) y el quemador, con el tablero de control (Figura 3).

**Figura 4. Partes equipo de pirolisis. De izquierda a derecha: vista general, recámara interna**



## **2.4 MODOS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR**

El calor puede transferirse por conducción, por convección, por radiación, o por una combinación de los tres modos. El calor siempre se mueve de las zonas más calientes a las más frías; buscando un equilibrio y siendo la parte superior del área a calentar la primera en llegar a una temperatura mayor. Si el interior de una bodega termo aislada está más frío que el aire exterior, la bodega atrae calor del exterior. Cuanto mayor es la diferencia de temperatura, más rápidamente fluye el calor hacia la zona más fría.

**2.4.1 Conducción:** Es la transmisión de energía calorífica, de molécula a molécula, a través de un material ya sea sólido, líquido o gaseoso. Para que el calor se transmita por conducción, deberá haber contacto físico entre partículas y cierta diferencia de temperatura. De este modo la conductividad térmica es la medida de la velocidad a la que el flujo de calor pasa de una partícula a otra, y la tasa de flujo de calor a través de un material específico, estará determinada por la diferencia de temperatura y la conductividad térmica del material.

**2.4.2 Convección:** Es la transmisión de calor debida al movimiento del aire (o un gas) o un líquido calentado de un lugar a otro, llevando consigo el calor que contiene. La tasa de flujo de calor varía en función de la temperatura del gas o líquido en movimiento y de su caudal.<sup>15</sup>

## **2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS**

Según la empresa Recubrimientos y Aislantes Térmicos, S.A. de C.V. (RATSA), empresa Mexicana creada desde 1965, un material termoaislante es aquel que posee baja conductividad térmica y evita la pérdida o ganancia de calor de un equipo determinado (horno, caldera, refrigerador, entre otros), porque está compuesto de materiales básicos con un coeficiente de transmisión de calor

---

<sup>15</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. [Sitio web].FAO. [Consulta: 10 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y5013s/y5013s07.htm>

bajo, conformado de tal forma, que quedan atrapadas celdillas de aire en reposo, rodeadas de paredes sólidas.

Escoger un buen aislante térmico, cuando es necesario en un equipo, trae ventajas, como lo es, la economía, porque al evitar la transmisión de calor se evita el paso de energía de un cuerpo a otro. Asimismo, un aislamiento térmico representa una mejor eficiencia y funcionamiento de los equipos y del mismo modo, evita pérdidas o ganancias de calor.

Del mismo modo, un aislamiento térmico va a representar una protección para el personal que pudiera estar en contacto accidentalmente con las superficies calientes.

Clasificación de los aislamientos térmicos.

Los aislantes térmicos se pueden clasificar, de acuerdo a su forma y composición, de la siguiente manera:

- ✓ Fibras minerales
- ✓ Aislantes térmicos granulares
- ✓ Aislantes térmicos celulares

## **2.6 COLCHAS DE FIBRA CERÁMICA**

Las Colchas de Fibra Cerámica están hechas a base de fibras cerámicas largas, entretejidas, formando una colcha flexible y de peso ligero. Este tipo de colcha combina la resistencia al calor de un ladrillo refractario con bajo peso y la flexibilidad de una fibra refractaria. Tiene mayor capacidad aislante que un refractario duro, además de las siguientes ventajas:

- ✓ Baja conductividad térmica
- ✓ Bajo almacenamiento de calor
- ✓ Resistencia al choque térmico
- ✓ No requiere de secado ni curado

✓ No contiene asbesto<sup>16</sup>

La empresa Calorcol en Colombia, ofrece una gran variedad en productos de aislamiento térmico con hasta 750 grados centígrados, El Rolloflex (imagen 8) es uno de estos productos, el cual consiste en finas fibras de lana mineral de roca elástica, esponjosa y aglutinada con resinas termoestables en forma de rollos, disponibles con o sin revestimiento en foil de aluminio.<sup>17</sup>

**Figura 5. Fibra cerámica**



Fuente: CALORCOL, Expertos en Ingeniería de Aislamientos. (17 de 08 de 2017). *CALORCOL, Expertos en Ingeniería de Aislamientos*. Recuperado el 6 de 12 de 2017, de CALORCOL, Expertos en Ingeniería de

---

<sup>16</sup> RECUBRIMIENTOS Y AISLANTES TÉRMICOS. Los aislamientos térmicos en la industria. [En línea]. Recuperado el 05 de diciembre de 2017. Disponible en: [https://www.ratsa.mx/biblioteca/post/blog/801-Los\\_aislamientos\\_t%C3%A9rmicos\\_en\\_la\\_industria](https://www.ratsa.mx/biblioteca/post/blog/801-Los_aislamientos_t%C3%A9rmicos_en_la_industria)

<sup>17</sup> CALORCOL. Ficha técnica afelpado. 2017. [En línea]. Recuperado el 17 de agosto de 2017. Disponible en : <http://calorcol.com/calorcol/calorcbsite/wp-content/uploads/2014/01/productos-termica/afelpado.pdf>

Aislamientos: <http://calorcol.com/calorcol/calorcbsite/wp-content/uploads/2014/01/productos-termica/afelpado.pdf>

Tabla 2. Especificaciones técnicas fibra cerámica calorcol

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
<b>Densidad</b>	40 y 64 kg/m <sup>3</sup>
<b>Dimensiones</b>	0,61 m x 2,44 m
<b>Espesor</b>	2" a 4" con incrementos de 1/2"
<b>Resistencia térmica</b>	R = 13 a 3" de espesor
<b>Temperatura de operación</b>	Hasta 454°C
<b>Conductividad térmica</b>	0,25 BTU. in/ft <sup>2</sup> .h.°F a 100 °F
<b>Norma</b>	ASTM C 665-01 Type III
<b>NCR</b>	85%, 500 a 100 cliclos/s a 1" de espesor

Fuente: CALORCOL. Ficha técnica afelpado. 2017. [En línea]. Recuperado el 17 de agosto de 2017. Disponible en: <http://calorcol.com/calorcol/calorcbsite/wp-content/uploads/2014/01/productos-termica/afelpado.pdf>

## 2.7 CEMENTOS REFRACTARIOS Y LADRILLOS REFRACTARIOS

Son mezclas de materiales refractarios molidos y aditivos ligantes. Es fundamental el control de la cantidad y calidad del agua a adicionar, la forma de aplicación, el tiempo de fraguado, curado y su calentamiento inicial. Se utilizan en la construcción rápida de revestimientos en hornos y calderas, construcción de puertas y tapas de hornos, reparaciones de revestimientos desgastados, enfriadores de hornos rotatorios, entre otros.

Dentro de los concretos refractarios, se diferencian los convencionales y los de bajo cemento. Los de bajo cemento o LCC (Low Cement Castables) requieren menor cantidad de agua para su preparación. Comparados con los convencionales, los de bajo cemento tienen mayor densidad, menor porosidad y mejor resistencia a choques térmicos, abrasión y erosión.

La línea de concretos densos ha sido comprobada como ideal para muchas aplicaciones que requieren resistencia a la corrosión, al desgaste y atmósfera reductoras.<sup>18</sup>

### 2.7.1 Ladrillo refractario

**Figura 6. Ladrillos refractarios encontrados en el mercado. De izquierda a derecha, tabletas, ladrillo tradicional**



Recorriendo el Municipio de Bucaramanga se encontraron variedades en las formas de los ladrillos refractarios para hornos industriales dentro de los cuales se encuentran ladrillos circulares, ladrillos curvos, cuñas y cuadrados de la forma tradicional, así como tabletas vistas en la figura 6.

Las siguientes son las medidas de algunos de los ladrillos que se encuentran en el mercado:

- ✓ Tabletillas grandes: 20 x 33 x 4 (cm)
- ✓ Tabletillas pequeñas: 25 x 12,5 x 4,5 (cm)
- ✓ Ladrillo tradicional prensado: 23 x 11,5 x 7 (cm)

---

<sup>18</sup> THERMAL CERAMICS COLOMBIA. Cementos refractarios. [En línea]. Recuperado el 06 de diciembre de 2017. Disponible en: <http://www.thermalceramicscolombia.com/index.php/productos-servicios/cementos-densos>

**2.7.2 Mezcla para pegar ladrillos refractarios:** La mezcla para pegar 100 ladrillos en hornos de altas temperaturas, es de: un bulto de caolín, un bulto de arena refractaria, cal o ceniza para mejorar las propiedades, y melaza como elemento aglutinante.

Si se desea un mayor desempeño de esta mezcla, se recomienda agregar un litro de silicato de sodio, debido a que éste, se utiliza en la fabricación de impermeabilizantes de paredes, además como aditivo en la fabricación de cementos, ya que acelera su curado. El silicato de sodio resiste altas temperaturas, conservando dureza, resistencia mecánica y química, también se utiliza en la fabricación de puertas cortafuegos y divisorias de paredes.<sup>19</sup>

## **2.8 CONTROLADORES DE TIEMPO EN EQUIPOS INDUSTRIALES**

Josep Balcells y José Luis Romeral definen el control, como la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema denominado planta, a través de otro sistema llamado sistema de control<sup>20</sup>.

Teniendo en cuenta esta definición, se optará por manejar un controlador digital, debido a que es usado en la actualidad, en diversos equipos que cuenta con las características del prototipo que se desarrollara.

Los controladores digitales son pequeñas instalaciones inteligentes que se componen de una entrada de un sensor, un indicador digital y una salida de regulación.

---

<sup>19</sup>ANONIMO. Silicato de sodio. 2017. [En línea]. Recuperado 05 de abril de 2018. Disponible en: <http://silicatodesodio.com/>

<sup>20</sup> BALCELLS, Josep; ROMERAL, José Luis. Automatas programables. Barcelona: Marcombo Ediciones Técnicas; 1997. ISBN 10: 8426710891

**2.8.1 Cómo medir y controlar la temperatura en hornos:** Al realizar una búsqueda para obtener información de la regulación de temperatura, y mirando páginas de elementos eléctricos, se encuentra la definición del termostato que es el encargado de regular la temperatura y mantenerla calibrada y constante. Éste debe funcionar correctamente, debido a que si no se encuentra en buen estado, el horno presentará diferentes fallas: como realizar cambios imprevistos de temperatura, quema de resistencias o no calentará.

Otras formas de medir la temperatura de los hornos, es por medio de sondas, que son usadas en hornos a nivel industrial, un ejemplo de esta tecnología de medición es el caso de los productos de Tapping-Measuring-technology.

**2.8.2 Termocuplas:** Las termocuplas son sensores de temperatura utilizados industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material, generalmente unidos por soldadura en un extremo; este lado es denominado como la unión, y el otro terminal eléctrico de los cables es protegido dentro de una caja redonda de aluminio, llamada cabezal. Al aplicar temperatura en la unión de los metales, se genera un voltaje muy pequeño del orden de los milivolts, el cual aumenta con la temperatura. Usualmente las termocuplas industriales, se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable, o en otro material denominado vaina<sup>21</sup>.

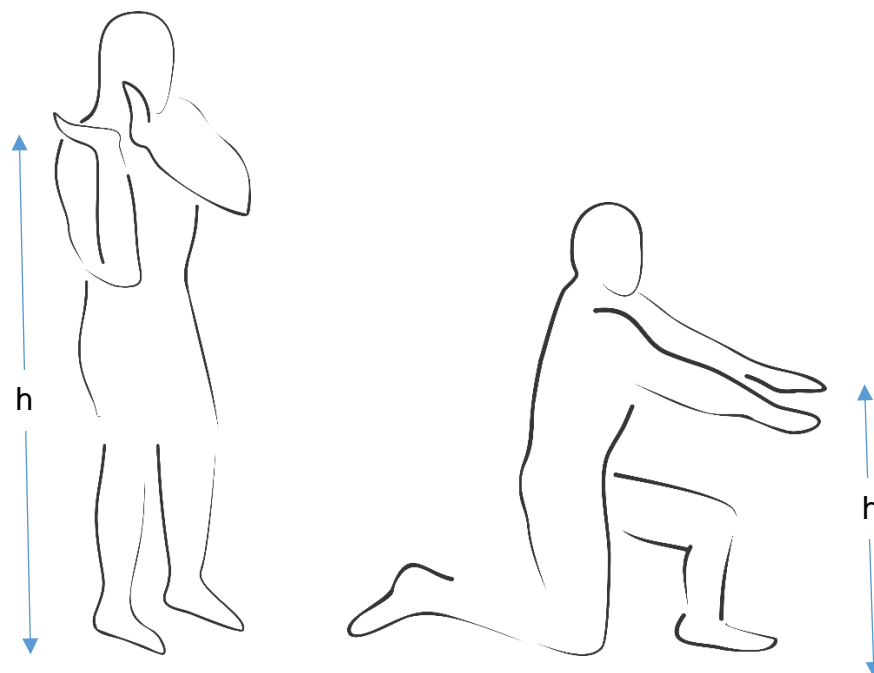
---

<sup>21</sup> ARIAN. Control & instrumentación. ¿Que son y cómo funcionan las termocuplas? 2016. [En línea]. Recuperado el 14 de febrero de 2018. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>

## 2.9 ERGONOMÍA

### Altura para verter la biomasa dentro del horno

Figura 7 Posiciones de entrada y salida de la biomasa De izquierda a derecha, altura para verter la biomasa, compuerta de salida para retirar la biomasa



**2.9.1 Rango de visión a tableros** (Requerimientos de diseño para las pantallas de visualización de datos). Si se desea realizar control dentro del horno pirolítico, los factores que determinan la legibilidad y el uso confortable de las pantallas de visualización de datos (PVD), son un factor que vale la pena resaltar, y tener en cuenta al momento de instalar el modo de control del equipo, éstas se pueden clasificar del modo siguiente<sup>22</sup>:

---

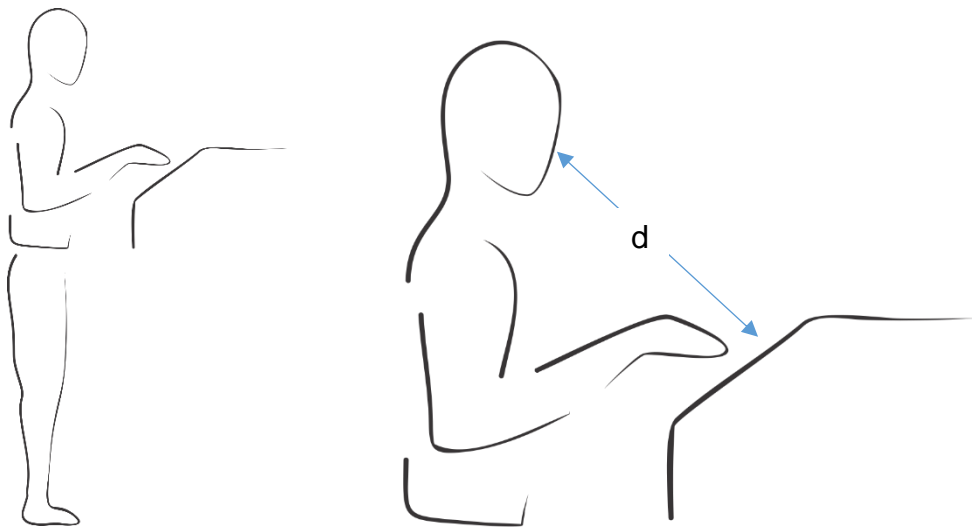
<sup>22</sup> INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico de puestos con pantallas de visualización (2ª Edición). ESPAÑA: (2001). MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES. Pág.: 9-19

### 2.9.1.1 Aspectos relativos a la colocación de las PVD (pantallas de visualización de datos)

Distancia de visión: Para las tareas habituales, la distancia de visión  $d$ , no debe ser inferior a 400 mm.

En ciertas aplicaciones especiales (como, por ejemplo, en pantallas táctiles) esa distancia de visión no debe ser inferior a 300 mm.

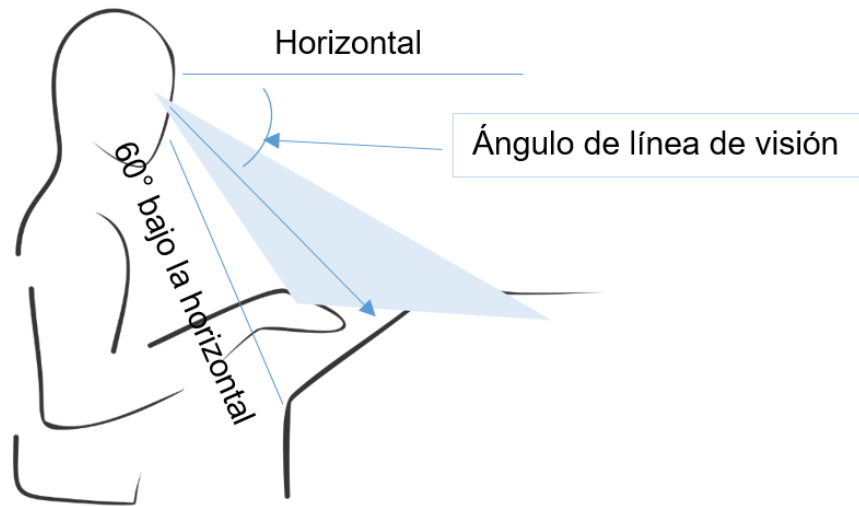
Figura 8 Distancia de visión  $d$



En cualquier caso, si la tarea requiere una lectura frecuente de la pantalla, el diseño del puesto debe permitir la colocación de ésta a una distancia tal, que la altura de los caracteres subtienda un ángulo de 20 a 22 minutos de arco.

## Ángulo de la línea de visión

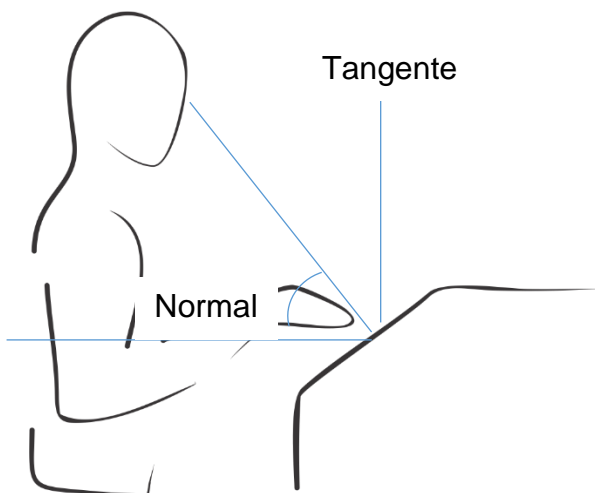
**Figura 9** Altura de caracteres



Debe ser factible orientar la pantalla de manera que las áreas vistas habitualmente, puedan serlo bajo ángulos comprendidos entre la línea de visión horizontal, y la trazada a  $60^\circ$  bajo la horizontal.<sup>23</sup>

<sup>23</sup> INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico de puestos con pantallas de visualización (2ª Edición). ESPAÑA: (2001). MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES. Pág.: 9-19

Figura 10 Ángulos comprendidos entre la línea de visión horizontal y un trazo a 60°



**2.9.1.2 Características de símbolos alfanuméricos:** Estos aspectos han de ser examinados a la hora de adquirir los monitores de visualización, considerando al mismo tiempo la posibilidad de cambiar las características y tamaño de los caracteres a través del software utilizado.

### 2.9.1.3 Características técnicas de la pantalla

✓ Luminancia de la pantalla: La pantalla debe ser capaz de proporcionar una luminancia de al menos 35 Cd/m<sup>2</sup> para los caracteres.

Si se utiliza codificación por luminancia (caracteres con diferente nivel de luminancia), ese será el nivel mínimo para la luminancia más baja.

No obstante, el nivel preferido de luminancia se sitúa en torno a 100 Cd/m<sup>2</sup>, sobre todo en entornos de alta luminancia.

✓ Contraste de luminancia: El contraste de luminancia entre los caracteres y el fondo de pantalla es un aspecto que el usuario ha de poder ajustar con arreglo a sus necesidades, actuando sobre los controles de luminancia y brillo.

## 2.10 CONTROL

La implementación del control de temperatura para el horno pirolítico, requerirá de la instalación, conexión y configuración de dispositivos de control, instrumentación y visualización entre otros. Esto con la finalidad de integrar un

sistema de lazo cerrado, que sea capaz de controlar el proceso de producción de carbón vegetal.

**2.10.1 Logos electrónicos y PLC:** Para dicho propósito se podría utilizar un PLC, que recibiría información analógica de la variable del proceso proveniente de un sensor de temperatura, para que procese la información de acuerdo al modo de control configurado y envíe señales de control a un driver de accionamiento. Además, con este dispositivo sería posible visualizar las variables de proceso, y monitorear el sistema de temperatura en pantalla, que proporcionará de forma permanente información del proceso, con una interfaz intuitiva y amigable, ofreciendo la mayor facilidad al ser manipulada por el operador o usuario.

**Figura 11. Logo Siemens**



Fuente: 958-8504-24-7 SIEMENS INDUSTRY. Manual logo siemens. 2003. [En línea]. Recuperado el 04 de diciembre de 2017. Disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf)

1. Alimentación de tensión
2. Entradas
3. Salidas
4. Receptáculo de módulo con revestimiento

5. Panel de manejo (no en RCo)
6. Pantalla LCD (no en RCo)
7. Indicación del estado RUN/STOP
8. Interfaz de ampliación
9. Codificación mecánica - pernos
10. Codificación mecánica - conectores
11. Guía deslizante.

Según la ficha técnica, el logo se encarga de tareas de control básicas, por ejemplo, alumbrado de escaleras, luz exterior, así como en armarios eléctricos o jardines de invierno, para el pre procesamiento de señales en controles y, mediante la conexión de un módulo de comunicaciones para el control descentralizado de máquinas y procesos.<sup>24</sup>

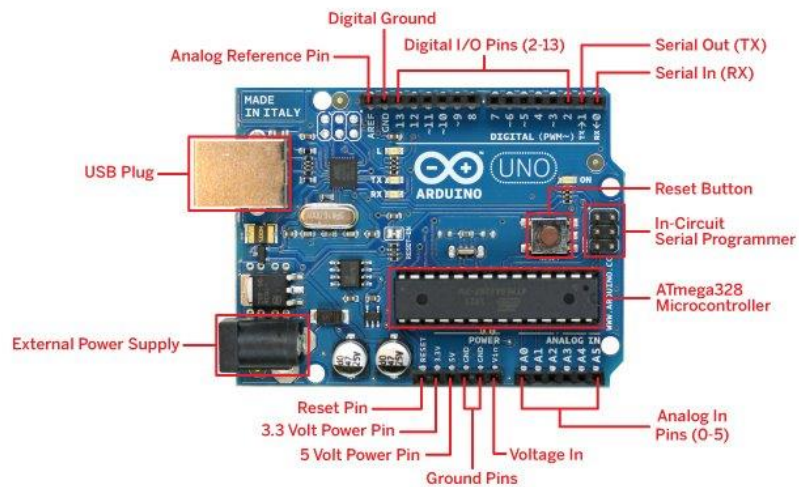
**2.10.2 Arduino:** El entorno de desarrollo integrado Arduino, o el software Arduino (IDE), contiene un editor de texto para escribir código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para funciones comunes, y una serie de menús. Un ejemplo de la placa Arduino Uno, se puede observar en la imagen 12: el computador se conecta al hardware Arduino para cargar programas y comunicarse con ellos.<sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> 958-8504-24-7 SIEMENS INDUSTRY. Manual logo siemens. 2003. [En línea]. Recuperado el 04 de diciembre de 2017. Disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf)

<sup>25</sup> ARDUINO. Aprendiendo Arduino. 2016. [En línea]. Recuperado el 04 de diciembre de 2017. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/27/arduino-uno-a-fondo-mapa-de-pines-2/>

Figura 12. Arduino y sus partes

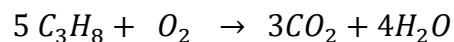


Fuente: ARDUINO. Aprendiendo Arduino. 2016. [En línea]. Recuperado el 04 de diciembre de 2017. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/27/arduino-uno-a-fondo-mapa-de-pines-2/>

## 2.11 QUEMADORES INDUSTRIALES PARA HORNOS

Los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión. Éstos consiguen la mezcla óptima de combustible con aire, y proporcionan la suficiente energía para la continuidad de la combustión.

Balance estequiométrico, que indica, la cantidad de propano para alcanzar los 1000 °C



### Clasificación de los quemadores

Según la pulverización, los quemadores se pueden clasificar en tres grupos:

- ✓ **Quemador de gasificación:** el combustible se vaporiza por la acción del calentamiento de las paredes de un recipiente.

✓ **Quemador de emulsión:** la emulsión del combustible y el agua, se produce con un aparato llamado emulsificador, que tiene la ventaja de realizar una combustión rápida, y la longitud de la llama es muy corta. El inconveniente que puede presentar, es el alto consumo de calor que se necesita para evaporar el agua inyectada, y por ello baja el rendimiento.

✓ **Quemador de pulverización:** los de este tipo, son los usados actualmente en instalaciones de confort. La vaporización del combustible se consigue, a través de la pulverización que se realiza por efecto de la presión que lo arrastra al pasar por una boquilla, con un orificio muy pequeño.

La combustión puede ajustarse actuando sobre el gasto de combustible, sobre la cantidad de aire a expulsar y sobre los elementos que producen la mezcla, por lo que es posible obtener rendimientos de combustión muy altos.

Teniendo en cuenta esto, se pueden distinguir dos tipos de quemadores:

✓ **Quemador de etapas:** este quemador es capaz de hacer llama de varios tamaños, dejando pasar más o menos combustible. El más sencillo es de tres etapas: todo-medio-nada, es decir, que produce una llama que es aproximadamente la mitad de la que es capaz de producir en condiciones de plena potencia; y otros quemadores de más etapas, aunque no suelen tener más de cuatro: todo-dos tercios-un tercio-nada.

✓ **Quemador modulante:** en este quemador, tanto para combustibles líquidos como gaseosos, puede modularse la potencia (el tamaño) de la llama por un sistema electrónico, que regula en función de las necesidades de calor, necesidades que conoce por una sonda de temperatura, situada en la conducción de retorno del sistema de calefacción; a menos temperatura, mayor potencia habrá que dar a la llama.

### 2.11.1 Quemadores en el mercado

Figura 13. Modelo Riello RS



Fuente: THERMALCOMBUSTION. Quemadores industriales Riello. [En línea]. Recuperado el 16 de agosto de 2017. Disponible en: <http://www.thermalcombustion.com/quemadores-industriales/quemadores-gas-html/>

Tabla 3. Ficha técnica quemador Riello modelo RS

<b>KW</b>	<b>192-2290</b>
<b>BTU´S/ Hora x 1000</b>	655.000-7´821.000
<b>Caballos caldera</b>	20-233
<b>Etapas</b>	2 etapas

Fuente: THERMALCOMBUSTION. Quemadores industriales Riello. [En línea]. Recuperado el 16 de agosto de 2017. Disponible en: <http://www.thermalcombustion.com/quemadores-industriales/quemadores-gas-html/>

Los anteriores valores, varían según la referencia.

La cabeza de combustión de los quemadores Riello 40 GS, permite la combustión con baja contaminación y bajas emisiones; son fáciles de adaptar a los diversos tipos de calderas y cámaras de combustión. Los quemadores están

equipados con una mariposa válvula que regula la entrega de combustible en las dos etapas, y controlada por una variable Profi le cam servomotor. El combustible puede ser suministrado desde la derecha o la izquierda. El tren de gas se puede seleccionar, para que se ajuste mejor a los requisitos del sistema, dependiendo de la salida de combustible y presión en el suministro línea. (Ver imagen 13)

La serie de quemadores RS, cubre un rango de disparo de 70 a 90 KW, y se ha diseñado para usarse en temperaturas bajas o medias. La operación es "progresiva de dos etapas"; los quemadores están equipados con un panel de control de microprocesador, que proporciona indicación de operación y diagnóstico de la causa de la falla. El rendimiento elevado de los ventiladores y el cabezal de combustión, garantiza la flexibilidad de uso y un excelente funcionamiento en todas las velocidades de disparo.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> t Fuente: THERMALCOMBUSTION. Quemadores industriales Riello. [En línea]. Recuperado el 16 de agosto de 2017. Disponible en: <http://www.thermalcombustion.com/quemadores-industriales/quemadores-gas-html/>

Figura 14. Quemador ACPM



Fuente: ESSEN. Quemador ACPM. 2016. [En línea]. Recuperado 20 de noviembre de 2017. Disponible en: [https://www.essen.com.co/index.php/productos/linea-panaderi%CC%81as-essen/quemador-acpm-modelo-af-detail?gclid=EAIaIQobChMI0Ob6r8i\\_1wIV1DqBCh2p6wf-EAAYASAAEgJbgPD\\_BwE](https://www.essen.com.co/index.php/productos/linea-panaderi%CC%81as-essen/quemador-acpm-modelo-af-detail?gclid=EAIaIQobChMI0Ob6r8i_1wIV1DqBCh2p6wf-EAAYASAAEgJbgPD_BwE)

Tabla 4. Ficha técnica quemador ACPM

TIPO DE ALIMENTACIÓN	ACUMULACIÓN DE ACPM EN EL CAÑÓN DEL QUEMADOR
POTENCIA	MOTOR TRIFÁSICO DE 1/3
CAPACIDAD	0.5-2.5 Gls/Hora
POTENCIA MÍN	70.000 BTU
POTENCIA MÁX	350.000 BTU
CONBUSTIBLE	ACPM
DESCRIPCIÓN	MARCA BECKETT

Fuente: ESSEN. Quemador ACPM. 2016. [En línea]. Recuperado 20 de noviembre de 2017. Disponible en: [https://www.essen.com.co/index.php/productos/linea-panaderi%CC%81as-](https://www.essen.com.co/index.php/productos/linea-panaderi%CC%81as-essen/quemador-acpm-modelo-af-detail?gclid=EAIaIQobChMI0Ob6r8i_1wIV1DqBCh2p6wf-EAAYASAAEgJbgPD_BwE)

essen/quemador-acpm-modelo-af-detail?gclid=EAlalQob  
ChMI0Ob6r8i\_1wIV1DqBCh2p6wf-EAAYASAAEgJbgPD\_BwE

**Figura 15. Quemador bicombustible de gas natural**



Fuente: DIRECT INDUSTRI. Quemador bicombustible. 2016. [En línea].  
Recuperado el 20 de noviembre de 2017. Disponible en:  
<http://www.directindustry.es/prod/weishaupt/product-21258-580122.html>

**Tabla 5. Ficha técnica quemador gas natural.**

<b>TIPO DE ALIMENTACIÓN</b>	<b>BIOCOMBUSTIBLE, DE GAS NATURAL</b>
<b>POTENCIA</b>	CRED: 675000 W
<b>APLICACIÓN</b>	APLICACIÓN INDUSTRIAL
<b>DESCRIPCIÓN</b>	PARA CALDERA

Fuente: DIRECT INDUSTRI. Quemador bicombustible. 2016. [En línea].  
Recuperado el 20 de noviembre de 2017. Disponible en:  
<http://www.directindustry.es/prod/weishaupt/product-21258-580122.html>

**Figura 16. Baltur de gas natural**



Fuente: ALIBABA. Quemador baltur, quemador de gas natural. 2017. [En línea]. Recuperado 10 de diciembre de 2017. Disponible en: [https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/baltur-burner-burner-natural-gas-1494124785.html#show\\_specifications](https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/baltur-burner-burner-natural-gas-1494124785.html#show_specifications)

**Tabla 6. Ficha técnica quemador Baltur**

<b>TIPO DE ALIMENTACIÓN</b>	<b>BIOCOMBUSTIBLE, DE GAS NATURAL</b>
<b>POTENCIA</b>	24-59 KW
<b>OPERACIÓN</b>	SOLA ETAPA DE FUEGO, DOS INCENDIOS Y DOS ETAPAS PROGRESIVAS

Fuente: ALIBABA. Quemador baltur, quemador de gas natural. 2017. [En línea]. Recuperado 10 de diciembre de 2017. Disponible en: [https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/baltur-burner-burner-natural-gas-1494124785.html#show\\_specifications](https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/baltur-burner-burner-natural-gas-1494124785.html#show_specifications)

### **3. METODOLOGÍA**

Para el desarrollo del prototipo, se utilizará una parte de la metodología propuesta en el libro: Diseño y desarrollo de productos de los autores Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, donde se trabaja desde las especificaciones de necesidades del cliente, hasta el desarrollo del producto a diseñar y su diseño de detalle.

#### **3.1 METODOLOGÍA: FASES Y ACTIVIDADES**

##### **3.1.1 Fase 1 Estructuración**

1. Revisión y análisis de información para fabricación del horno, parte mecánica y estudios de la termodinámica, para analizar el comportamiento del horno, así como análisis de controladores y tipos de control para el desarrollo del horno.

Recopilación de información sobre funcionamiento de hornos, así como el manejo electrónico que se desea tener en su interior.

Clasificación de materiales, fichas técnicas y características de éstos, para el desarrollo adecuado del horno.

Selección preliminar de los materiales y controladores, para el desarrollo del prototipo.

2. análisis de las estrategias de manipulación en equipos industriales, para el desarrollo de comandos, así como el modo de operación.

Revisión de productos del mercado y recopilación de información de procesos, para el desarrollo de hornos que alcanzan los 700°C

Realización de síntesis de modelos de equipos que se encuentran con automatización y que generan las características deseadas en el prototipo que se quiere desarrollar.

**3.1.2 Fase 2 Conceptualización del modelo:** Realización de encuestas a docentes y estudiantes, que manejen equipos de laboratorio, para visualizar y analizar cuáles características consideran que deben estar presentes en equipos que produzcan carbón vegetal.

1. Análisis de bocetos, teniendo en cuenta un volumen virtual definido. Para mostrar a los interesados (Escuela de Biología Universidad Industrial de Santander), y posteriormente desarrollarlo en un software CAD, donde se visualicen cómo quedarían las alternativas del prototipo con medidas reales.
2. Recopilación de información y análisis de propuestas desarrolladas, para un posterior diagnóstico de expertos, garantizando así la eficiencia en el desarrollo, la construcción y el proceso de pirólisis.
3. Valoración de propuestas con los interesados, teniendo en cuenta un proceso de selección, de la alternativa más apropiada para su fabricación y ejecución de pruebas preliminares.
4. Desarrollo del prototipo propuesto, después de una reunión con expertos en las áreas metalmecánicas y termodinámica, para validación de las propuestas, así como sugerencias en la fabricación para ahorro de materia prima, disminución de procesos de fabricación y obtención de eficiencia en el proceso de pirólisis.

**3.1.3 Evaluación del horno propuesto:** Evaluar el prototipo propuesto por medio de la validación de pruebas, para visualizar el comportamiento de los usuarios frente a: cargue, descargue y modo de operación del equipo.

Análisis de aislantes térmicos, teniendo en cuenta la cantidad de calor que irradia el equipo hacia el exterior. Así como el tiempo que tarda el horno en alcanzar la temperatura deseada con los respectivos ajustes.

## **Tipo de estudio**

El presente estudio es de carácter prospectivo pues se desea comprobar los efectos de un producto, que se realiza de manera longitudinal en el tiempo que se diseña y se construye, teniendo en cuenta los posibles factores y requerimientos para el diseño de un equipo de laboratorio. Posteriormente la Escuela de Biología valorará, si es posible realizar otro tipo de comprobaciones, para las cuales necesita el prototipo realizado, etapa en la cual, se realizaría un cultivo utilizando Biochar obtenido del Horno pirolítico, para observar el proceso de crecimiento que obtendría ese cultivo experimental plantas, desarrollando así un producto de impacto social.

## **Sujetos**

En el ámbito del proyecto se cuenta con el apoyo de docentes de la Escuela de Biología, quienes facilitan la información pertinente sobre las características del Biochar propuesto, orientado a la fertilización de suelos del agro colombiano.

Se requiere de la colaboración de profesionales en biología y agronomía, para enfocar de manera correcta el marco teórico, así como personal agricultores, ya que se encuentran en el ambiente donde se pretende intervenir.

## **Instrumentos o técnicas de recopilación de datos**

Se realizará una entrevista al grupo de trabajo de la Escuela de Biología, conocedor del tema. Se hará una búsqueda en bases de datos científicas, sintetizando y organizando los estudios realizados. De igual manera se propondrán sistemas para control de las características en el horno, así como mediciones realizadas antes y después de las quemas.

## **Procedimiento de la prueba**

El método utilizado para evaluar las variables, consiste en visitar un espacio donde se encuentre biomasa vegetal apilada, y analizar el volumen y peso de ésta. Una vez definidas las características de la biomasa, se entrará a desarrollar

propuestas que cumplan los requerimientos para el horno pirólítico, y se procederá a evaluar las propuestas con los interesados en el desarrollo del equipo. A continuación se requerirá el desarrollo de experimentos de diseño, que permitan realizar estudios relacionales para validar los comandos con respecto a la interpretación de los usuarios y las características del sistema de control, junto a la forma de mantener control de las variables internas del horno como temperatura y tiempo. Por último, se procederá a la construcción del horno con las características deseadas, para realizar el proceso de pirólisis y obtener Biochar.

Para las diferentes validaciones y verificaciones, se tendrán en cuenta pruebas ergonómicas y antropométricas. Se evaluará la ubicación de los controladores del horno y sus características. También se validarán las pruebas del horno por métodos de usabilidad tanto de indagación, inspección de test o adicionales, como las votaciones secretas o la evaluación de usabilidad formativa para la validación con usuarios.

#### 4. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DEL CLIENTE

¿Cómo controlar el volumen que ocupará el equipo para procesar biomasa vegetal?

En un inicio se pensó, en medir la capacidad del equipo por medio del peso de la materia prima que ingresaría; pero teniendo en cuenta el cambio de las densidades de la biomasa, se agrupó biomasa de diferentes fuentes, se pesó y se tomó una aproximación del volumen que ocupaban.

**Figura 17. Algunos tipos de biomasa De izquierda a derecha, biomasa hojas de árbol de arrayán, biomasa bagazo de caña**



En las imágenes anteriores se puede evidenciar, el cambio en la densidad en dos tipos de biomasa encontradas en una misma zona, así como las características superficiales de cada una.

**Figura 18. Masa algunos tipos de biomasa. De izquierda a derecha, biomasa Hojas de árbol de arrayán en una balanza, biomasa bagazo de caña**



**Figura 19. Dimensiones biomasa, de izquierda a derecha, caña de azúcar, bagazo de caña de azúcar**



Biomasa bagazo de caña  
Diámetro externo: 30 cm



Biomasa bagazo de caña de  
azúcar  
Altura: 60 cm

Teniendo en cuenta los datos que se tomaron de acuerdo al volúmen de la biomasa, se procede a realizar el diseño de un equipo que almacene como mínimo 0.5 metros cúbicos.

Formato de entrevistas y encuestas

Entrevistas a estudiantes que cuenten, con materias de laboratorio en el transcurso de su carrera y docentes de laboratorios, que usen equipos para realizar diferentes pruebas en laboratorios.

**Entrevistas a estudiantes que cuenten con asignaturas, las cuales se realicen en laboratorios.**

¿Qué características debe tener un equipo de laboratorio?

¿Cuáles son los pasos a seguir para usar los equipos de laboratorio?

¿Qué características considera que debe tener un equipo para realizar pruebas de laboratorio?

**Entrevistas a docentes de laboratorios**

¿Qué características importantes considera que debe tener un equipo de laboratorio?

Si conoce el proceso de pirolisis, ¿cómo cree usted que se puede llevar a cabo este proceso, en un equipo de laboratorio móvil?

**Entrevistas a personas que conozcan qué es un horno pirolítico.**

¿Según usted, que debería tener un equipo de laboratorio para realizar la actividad de la pirolisis en laboratorios?

¿Qué sabe del funcionamiento de estos hornos?

¿Cómo alcanzar la temperatura idónea para la quema en estos hornos?

¿Sabe de alguna forma de controlar la quema en hornos pirolíticos?

## **Entrevista a estudiantes de biología de la Universidad Industrial de Santander**

¿Sabe qué es Biochar, charcoal o carbón vegetal?

¿Sabe usted cómo preparar el carbón vegetal?

Si la escuela de biología contara con un equipo de laboratorio, ¿cómo se lo imagina?

Si conoce el proceso de pirólisis, que debe tener un horno para realizar carbón vegetal, en la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander

¿Podría hacer sugerencias, para la elaboración de un equipo de este tipo?

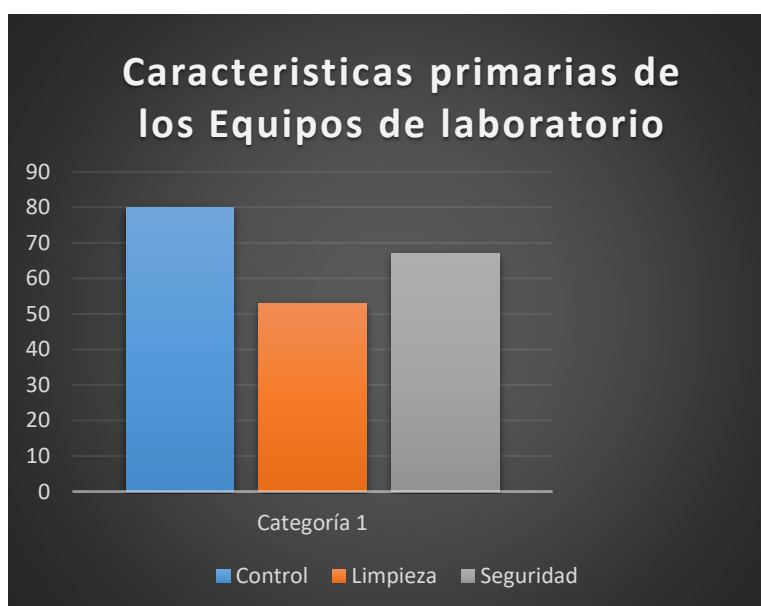
## 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

### Equipos de laboratorio

Tabla 7 Sugerencias personas encuestadas equipos de laboratorio

Sugerencias recibidas	Numero de encuestados	Porcentaje
control	12	80%
Fácil de limpiar	8	53%
Seguridad en el equipo	10	67%

Figura 20 Porcentaje sugerencias desarrollo horno.

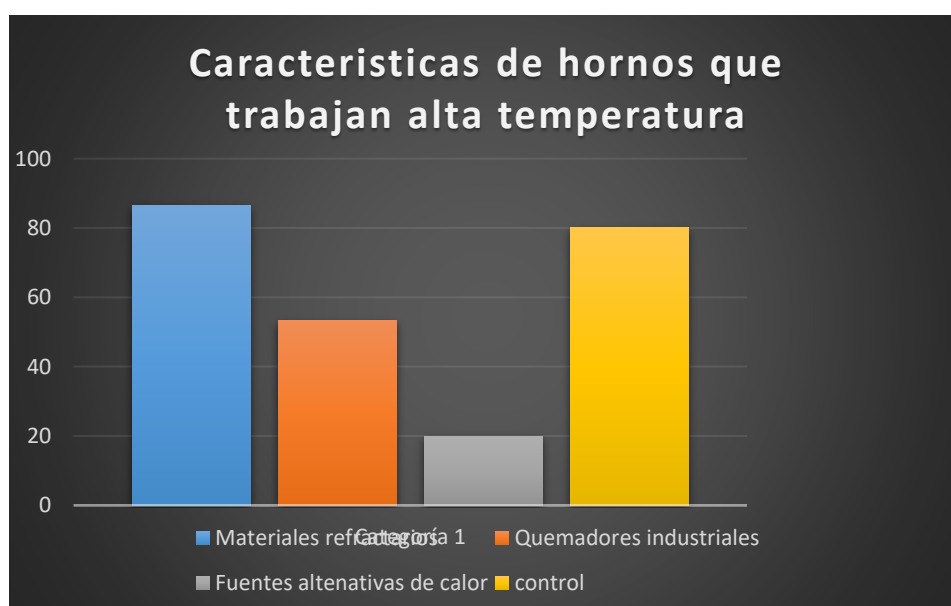


## Hornos pirolíticos

Tabla 8 Sugerencias personas encuestadas con conocimiento de pirolisis

Sugerencias recibidas	Numero de encuestados	Porcentaje
<b>Materiales refractarios</b>	13	86.66%
<b>Quemador Industrial</b>	8	53.33%
<b>Fuentes alternativas</b>	3	20%
<b>Control</b>	12	80 %

Figura 21 Porcentajes de sugerencias que debe tener un horno que trabaja a alta temperatura



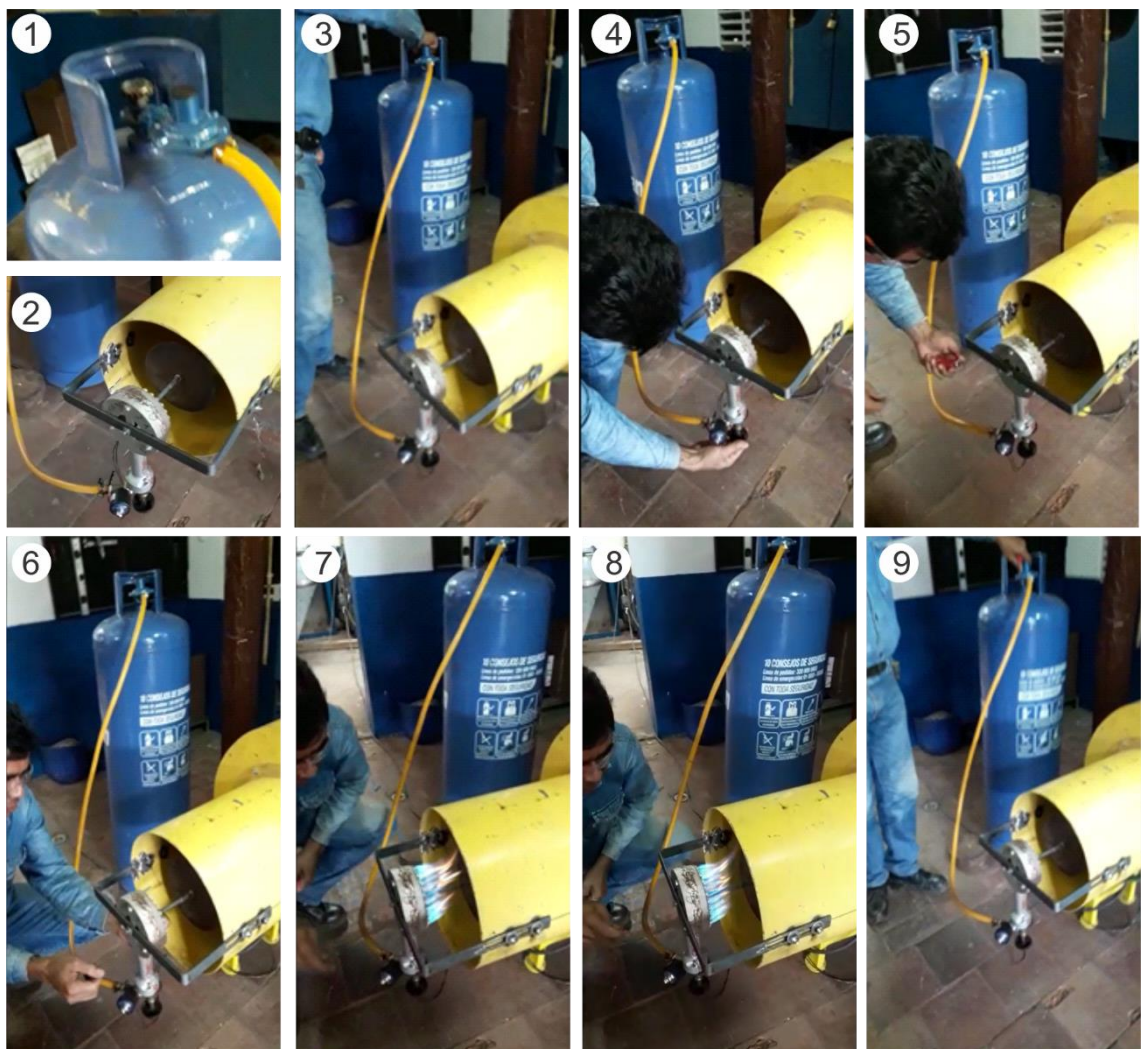
## **4.2 CONCLUSIONES ENCUESTAS**

- ✓ Todas las personas encuestadas, manifestaron su interés por la seguridad en los equipos de laboratorio, y mostraron poco interés por la facilidad de uso; debido a que en los laboratorios se va a aprender, y muchos de los procesos de las diferentes asignaturas, son vistos por primera vez.
- ✓ Los profesores manifestaron el interés, en el producto final que se desea obtener con cualquier equipo, debido a que los buenos resultados se obtienen gracias a un producto bien calibrado y en lo posible con todas las variables de las pruebas bajo control.
- ✓ Hubo muchas personas que no tenían conocimiento del proceso de pirolisis, pero una vez manifestado en que consiste el proceso, fueron enfáticos en la seguridad, debido a que el proceso donde se trabaja con alta temperatura y en la mayoría de los casos un cilindro de gas.

### 4.3 ENCENDIDO DEL HORNO A DISEÑAR

Una pregunta que ha surgido durante el desarrollo del proyecto, es: ¿cómo se va encender el horno? mediante una llama o una chispa, automático o manual. Para resolver esta pregunta, se optó por revisar los actuales hornos que se encuentran en el mercado, y las diferentes características con las que ellos cuentan. A continuación se visualiza la secuencia de uso de un equipo que es alimentado por un cilindro de gas propano y es encendido manualmente.

Figura 22. Secuencia de uso en un quemador de gas propano con encendido manual



Paso 1 y 2: Verificar las conexiones, por las cuales pasa el gas al equipo.

Paso 3 y 4: Abrir la llave del cilindro de gas, y la llave del quemador de gas.

Paso 5 y 6: Encender el quemador con una llama o chispa.

Paso 7 y 8: Verificar el estado en el que se encuentra la llama y calibrarlo, abriendo o cerrando la llave del quemador de gas.

Paso 9: Una vez terminada la tarea cerrar las llaves para cortar el flujo de gas, de este modo la llama se ahogara por la ausencia del combustible.

Teniendo en cuenta la secuencia de uso anterior, y analizando el comportamiento de los quemadores manuales. Se plantea y se analiza el contexto, para el horno que se diseñara.

#### **4.4 ANÁLISIS DEL CONTEXTO**

Modo de uso del horno

1. Ubicar el horno donde se desea realizar la quema
2. Nivelarlo
3. Preparar la biomasa
4. Estabilizar el equipo
5. Verter la biomasa dentro del horno
6. Cerrar la compuerta de alimentación
7. Acoplar la alimentación de gas al horno
8. Ajustar los parámetros de quema del horno (tiempo y temperatura)
9. Encender el horno (manual o automáticamente, según se plantee en el diseño)
10. Supervisar la quema de la biomasa
11. Cuando termine el tiempo programado, se apaga el horno
12. Cerrar la llave de gas del cilindro
13. Dejar enfriar

14. Una vez frío el equipo, abrir la compuerta de salida del material
15. Con los elementos necesarios, retirar toda la biomasa que se encuentre dentro del horno y verterla en los recipientes adecuados
16. Realizar la limpieza del equipo y retirar los accesorios que impidan su movilización
17. Movilizar el equipo, hasta la ubicación en donde se desee guardar

El tamaño de población a encuestar, se tendrá en cuenta con base en los estudiantes de pregrado de la escuela de biología, quienes serían los que manejarían el equipo, siempre y cuando éste cumpla, con todos los requisitos de seguridad para el laboratorio.

Pasos de la programación que debe seguir la persona que opere el horno, con el quemador industrial propuesto.

1. Abrir llave de gas
2. Programar el tiempo
3. Encender el equipo (botón on/off)
4. Una vez alcanzada la temperatura deseada, se maneja en los rangos propuestos.
5. Una vez cumplido el tiempo planteado, se apaga automáticamente

Teniendo en cuenta los pasos para el desarrollo de actividades, se procede a realizar el orden de las actividades a programar, para el control de temperatura en el sistema de lazo cerrado.

#### **4.5 ANÁLISIS DE LA POBLACIÓN**

Los percentiles que se van a tomar para definir la altura del usuario, están en el rango de 18 a 24 años, teniendo en cuenta el entorno en el que se va a mover el horno, que es en la Universidad Industrial de Santander. Teniendo en cuenta esto, se procede a definir los rangos de las medidas.

**Tabla 9 Percentiles de hombres y mujeres en edad de 19 a 24 años.**

<b>Altura de ojos</b>	<b>154.4 cm</b>
<b>Altura de codo flexionado</b>	103.5 cm
<b>Longitud codo dedo medio</b>	44.8 cm

Fuente: MARADEÍ GARCÍA, María Fernanda; ESPINEL CORREAL, Francisco Mario; PEÑA LEAL, Astrid Andrea. Datos Antropométricos para el diseño. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander; 2008. ISBN 978-958-8504-24-7

## 5. PROPUESTAS DE EQUIPOS DE LABORATORIO PARA PRODUCCION DE CARBON VEGETAL

### 5.1 CONCEPTUALIZACION DEL ARTEFACTO

**Tabla 10. Descomposición de los problemas en sub-problemas**

<b>Entrada</b>		<b>Salida</b>
horno pirolítico para producción de carbón vegetal		Carbón vegetal
<b>Energía</b>	<b>Convertir la energía en energía térmica</b>	<b>enviar la suficiente energía para realizar la quema del producto</b>
Capacidad	realizar la quema de 25 kilogramos de biomasa vegetal	Almacenamiento de la biomasa para realizar la quema.
Movilidad	Traslado del equipo, por medio de un acople a un auto.	Acople de llantas a la estructura.
Soporte equipo	Estructura para el equipo	Mantener armado el equipo
Encendido del equipo	Iniciar la quema de la biomasa vegetal	Convertir la acción principal en una quema constante.

**Carbón vegetal**

control del equipo	Manejo del equipo de pirólisis	Controlar las características del equipo
Apagado del equipo	Detener el funcionamiento del equipo	Desactivar el funcionamiento

## SOLUCIÓN DE PROBLEMAS CRÍTICOS

**Tabla 11. Soluciones a problemas de energía, capacidad, movilidad, soporte**

Soluciones de problemas Energía	Capacidad	Movilidad	Soporte equipo
Eléctrica	Forma del equipo	Rieles	Perfiles (soldados, atornillados, mixto)
Gas Natural	Alimentación continua.	Llantas	Estructura laminar
Gas propano	Picar el material.	Fricción con el suelo	Estructura modular
Leña	Compactar el material.	Carretillas de carga.	
ACPM		Equipo modular.	

**Tabla 12. Soluciones de problemas de encendido, control, apagado**

Encendido del equipo	Control del equipo	Apagado del equipo
Electrónico: botón ON/OFF Calibrar la cantidad de flujo que entra para garantizar la temperatura.	PLC	Electrónico
Mecánico	Arduino	Mecánico
Manual	Logo	Manual
Llama	Panel electrónico	
Chispa	Manual	

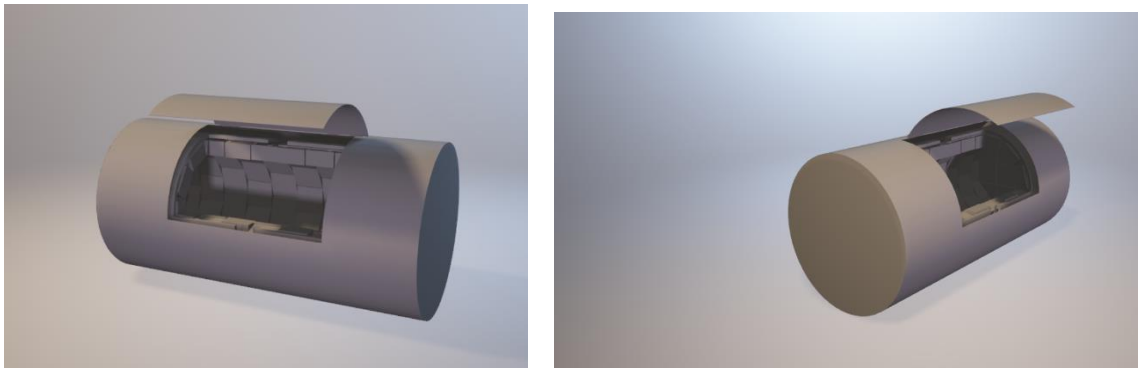
Se ha consultado con expertos sobre la temperatura adecuada en la quema de pirólisis, y se han buscado diferentes medios para realizar una quema adecuada en el horno, así como materiales que permitan realizar la quema y garantizar la

vida útil del horno pirolítico. Entre los materiales se encuentran los cerámicos, que permiten alcanzar temperatura elevadas, aunque presentan un problema y es su fragilidad al momento de ser trasladados, por lo que se tendrá que mirar cómo se soluciona dicho inconveniente, sin comprometer la estructura del equipo.

## 5.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

### 5.2.1 Horno cilíndrico

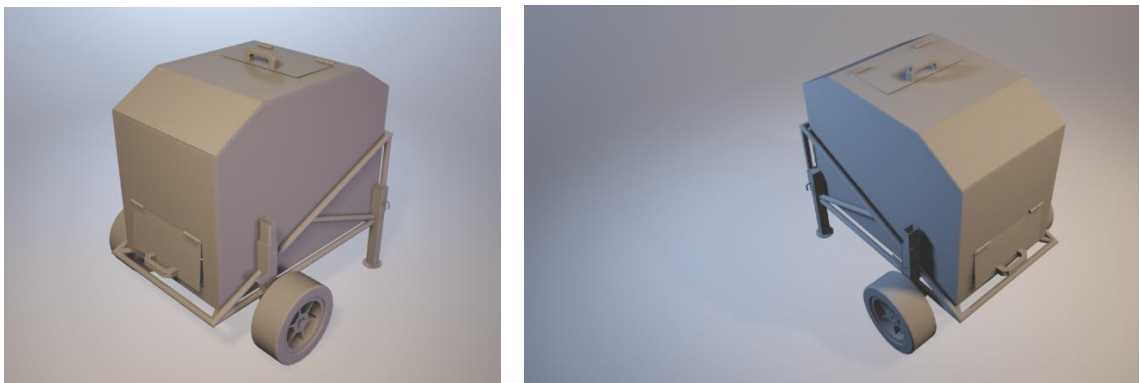
Figura 23. Visualización esquemática del Horno cilíndrico



Horno cilíndrico con ladrillo refractario interno.

### 5.2.2 Horno Horizontal, doble inclinación.

Figura 24. Horno con doble inclinación y estructura móvil



### 5.2.3 Horno con inclinación frontal estructura móvil exterior

Figura 25. Horno con inclinación frontal vista posterior

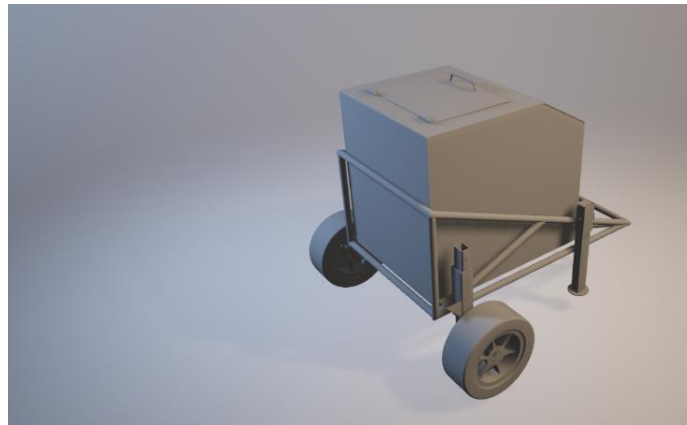
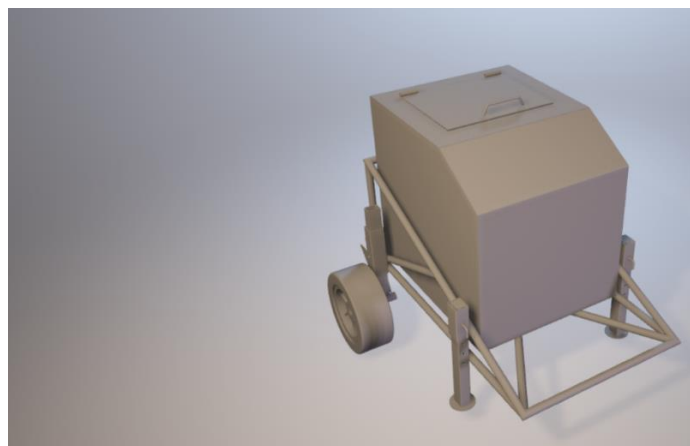
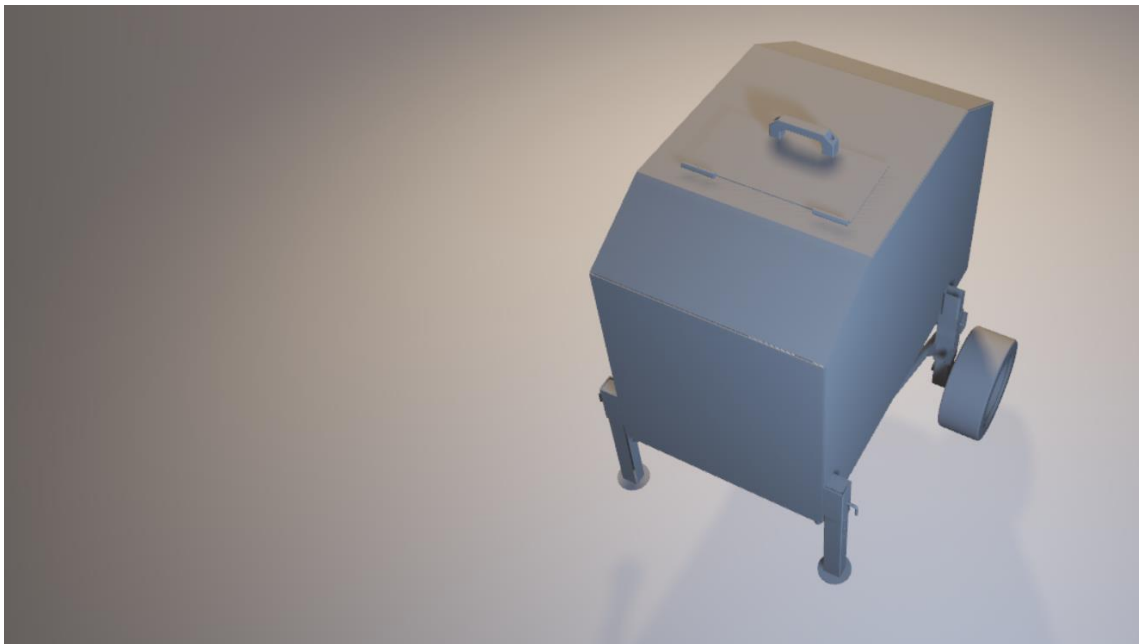
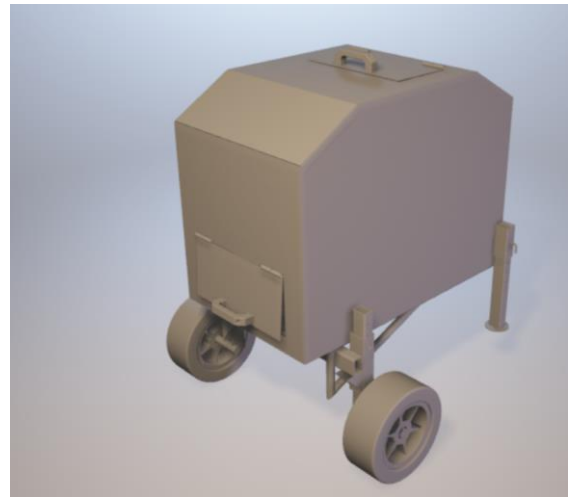
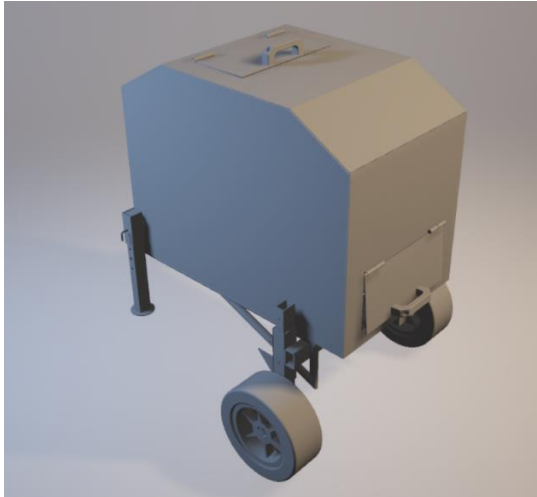


Figura 26. Horno con inclinación frontal vista frontal



## 5.2.4 Horno con inclinación frontal estructura móvil interior

Figura 27.Horno con doble inclinación y estructura interna



## 6. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

### 6.1 REQUERIMIENTOS EVALUACIÓN DE PROTOTIPOS

- ✓ Facilidad de carga
- ✓ Facilidad de descarga
- ✓ Movilidad
- ✓ Seguridad
- ✓ Ergonomía
- ✓ Diseño
- ✓ Capacidad
- ✓ Tamaño
- ✓ Facilidad de manejo
- ✓ Facilidad de uso
- ✓ Facilidad de lectura de los componentes del equipo
- ✓ Manufactura

Se realizaron tres reuniones con los profesores de la Escuela de Biología, quienes son los interesados en la propuesta del horno de carbón vegetal, ellos dieron sus opiniones con respecto a las características más factibles, así como las temperaturas y características que requerían en el horno. Se evaluaron las diferentes propuestas y se concluyó que el volumen de biomasa vegetal, que es capaz de almacenar el horno, es una variable de mucho valor, por lo cual se descartaron las propuestas de hornos que contaban con un menor volumen.

Las partes interesadas sugirieron que la recámara interna, donde se almacena la biomasa, debe ser metálica para una mayor conducción del calor; se tuvo en cuenta esta sugerencia y se desarrolla en las diferentes propuestas una recámara móvil, debido al desgaste que pueda llegar a tener ésta por la temperatura que alcanza y el daño por corrosión que se produce.

## 6.2 METODOLOGÍA PARA ESCOGER EL QUEMADOR A GAS

- ✓ Se trabaja bajo la suposición de que los gases de combustión van a estar a la temperatura de llama adiabática (máxima temperatura que alcanza un quemador).
- ✓ La temperatura de llama se trabaja con un exceso de aire y un flujo de gas (el que va a combustionar (propano)). El flujo de gas es independiente, porque el flujo de llama es el mismo, el cual es modificado por el flujo de aire.
- ✓ Se realizan los balances respectivos, teniendo en cuenta la combustión completa (aire requerido), y con esto se halla la temperatura de llama con cálculos matemáticos.
- ✓ Con la temperatura de llama se define el material que resista las condiciones del horno, en caso de ser un metal, será un metal que soporte estas temperaturas, teniendo en cuenta un factor de seguridad.

Con todo lo anterior, se definió el material y el flujo de aire con el factor de seguridad, junto con el oxígeno que requiere el equipo.

Una vez definido lo anterior, se hace un balance de energía y los gases se manejan con estado estacionario para conocer los BTU que requiere el equipo. Teniendo en cuenta el calor que se transfiere por conducción, el cual depende de la longitud del tubo, del espesor del material y del coeficiente de conducción.

Luego, en la parte externa, se tiene convección libre y radiación, los cuales dependen de las propiedades del aire, de la temperatura exterior del tubo, del coeficiente de emisividad del material y del coeficiente de convección. Para los cálculos se tienen en cuenta constantes, números adimensionales y suposiciones, hasta que la temperatura de el mismo resultado.



Para el proyecto del equipo no se tuvo en cuenta la temperatura ambiente, y se tomó la de la recámara interna. Haciendo los cálculos se obtuvo, un calor de 1500°C.

Suponiendo que el calor que entra es igual al que sale, el calor de conducción es igual al calor de convección más el de radiación. Esto resulta en términos de temperatura y posteriormente se despeja la temperatura que se supuso. Y cuando la temperatura supuesta sea igual, se asegura que esos valores son los deseados.

Habiendo calculado ya todos estos calores, se debe tener en cuenta que el calor requerido es igual al calor requerido por convección más conducción y radiación. Con lo anterior se tendría el calor total, el cual está dado en los términos de la potencia que se requiere, para que el quemador mantenga la temperatura que se necesita.

Todos los cálculos se pueden observar en los anexos, así como los videos de las pruebas.

**Tabla 13 Secuencia de uso de un quemador Riello 40 GS 20**

<p align="center"><b>Secuencias de uso Quemador Riello</b></p>	<p align="center"><b>Descripción</b></p>
	<p>Abrir llave de del cilindro de gas propano.</p>
	<p>La electroválvula censa la cantidad de gas y enciende la llama del quemador.</p>



Se puede controlar la entrada de aire al ventilador para mejorar la combustión.



Realizar una revisión periódica del quemador.

---

Se calculó el valor de la temperatura de llama adiabática, para gases de combustión de propano, es decir, que los cálculos están basados para un quemador de propano. El valor de esta temperatura que es de 1515 K, sirve para definir el material a utilizar en la tubería por la cual circulan los gases de combustión, ya que esta temperatura sería la máxima posible y el material debe resistirla sin llegar a fundirse.

Los cálculos de la temperatura de llama adiabática, se hicieron teniendo en cuenta un exceso de aire del 100%. Para los cálculos en los cuales se sacó el requerimiento energético, se asumió que la temperatura dentro del conducto de gases de combustión es la temperatura de llama adiabática, cosa que es buena porque esta temperatura es la máxima que se puede alcanzar, por lo cual no se va a quedar corto de energía el sistema.

Los quemadores riello cuentan, con la programación necesaria para encenderse, tienen un sistema de encendido y apagado, el cual se gradúa por medio de una electroválvula según la temperatura a que se programe, por medio del comando requerido.

## **7. AJUSTES Y PROPUESTA FINAL DEL PROTOTIPO DE HORNO PIROLÍTICO (DISEÑO DE DATALLE)**

Todos los planos con los diferentes detalles, pueden ser observados en los anexos; estos se encuentran en formato PDF.

### **7.1 METODOLIGÍA PARA REALIZAR QUEMAS EN EL HORNO SECUENCIA DE USO DEL HORNO**

Lo primero que se debe hacer, es programar el tiempo que durará el horno encendido, junto con la temperatura que se desea que tenga la recamara interna. Una vez programado tiempo y temperatura de la quema, se abre la llave de gas y se pulsa el botón de inicio. El quemador será encendido por medio de una chispa, lo cual llevará al equipo a encender la llama del quemador, una vez esté encendida la llama, el equipo estará encendido por el tiempo que se programó, y la temperatura será controlada por un comando de encendido y apagado. Terminada la quema del equipo, se detendrá el quemador industrial y manualmente se cerrará la llave de gas del cilindro, para evitar posibles fugas.

### **7.2 HORNO FINAL**

Al acoplar al equipo un quemador industrial, se puede usar gas natural, gas propano, ACPM, o leña si no se enciende el quemador. Los cálculos se para un quemador con propano, y el material fue probado con leña, para mirar el comportamiento del material y el aislamiento térmico.

**Figura 28. Electro válvula quemador Riello 40 GS 20**



**Prueba con quemador Riello 40 GS 20**

**Figura 29. Vista general quemador Riello 40 GS 20**



El quemador riello que se recomienda para el uso del equipo es un quemador industrial riello 40 gs

**Figura 30. Medición de temperatura chimenea, primera prueba realizada con el quemador riello.**



El sistema de quemadores de calderas, cuenta con un dispositivo de protección, que incluye una serie de pasos para garantizar la seguridad de los usuarios, así como el buen funcionamiento de los equipos, manteniendo eficiencia en el combustible que consume.

Para protección de los usuarios, lo primero es el encendido del ventilador que libera los gases de combustión y evita una ignición fuerte en el quemador, que puede llevar al deterioro del quemador, así como a una explosión no deseada. Una vez evacuados los gases de combustión, el quemador envía una señal a los electrodos de encendido, y con la correcta mezcla de gases y aire, se genera una llama que empieza a elevar la temperatura de la recámara interna del horno.

### 7.3 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL HORNO

Para la fabricación industrial del prototipo, se recomienda el uso de equipos de corte, manejados por computadora, ya sea por láser, plasma o chorro de agua. Los equipos que sean utilizados, no necesitan una precisión mayor a 2 milímetros, debido a que se necesita un espacio para que pueda penetrar la soldadura y quede sellado completamente, por lo que no es necesaria una precisión. Los formatos usados habitualmente para el proceso de corte, con una herramienta asistida por computador, están .dwg ó .dxf.

Una vez sean corteadas las partes se procede al proceso de ensamblaje

### 7.4 LOGOTIPO Y SEÑALIZACIÓN

El equipo contara con el logotipo del producto, y la respectiva señalización, que muestra las zonas donde hay superficies con altas temperaturas y adicional a esto, una calcomanía de instrucciones de uso; para que sea usado de la mejor forma posible.

Figura 31 Logotipo Horno Pirolítico móvil



El diseño está pensado en la reforestación de los campos, de este modo se optó por realizar un diseño que evoque la parte ambiental, de forma que muestra el nacimiento de una planta gracias al equipo diseñado.

**Figura 32. Señal de superficie caliente, ubicada en las caras del horno.**



**Figura 33 Instrucciones de uso del Horno Pirolítico móvil**

1. Ubicar el horno donde se desea realizar la quema
2. Nivelarlo
3. Preparar la biomasa
4. Estabilizar el equipo
5. Verter la biomasa dentro del horno
6. Cerrar la compuerta de alimentación
7. Acoplar la alimentación de gas al horno
8. Ajustar los parámetros de quema del horno (tiempo y temperatura)
9. Encender el horno (manual o automáticamente, según se plantee en el diseño)
10. Supervisar la quema de la biomasa
11. Cuando termine el tiempo programado, se apaga el horno
12. Cerrar la llave de gas del cilindro
13. Dejar enfriar
14. Una vez frío el equipo, abrir la compuerta de salida del material
15. Con los elementos necesarios (guantes para altas temperaturas, tapabocas), retirar toda la biomasa que se encuentre dentro del horno y verterla en los recipientes adecuados
16. Realizar la limpieza del equipo y retirar los accesorios que impidan su movilización

## 8. CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

Figura 34 Construcción recamara interna con lámina laminada en frio de calibre de 3mm



Figura 35 Estructura Interna del equipo soldada en ángulo de 1.1/2"



Base y paredes laterales construidas en ladrillo refractario para aislar la temperatura de los usuarios y conservar el calor interno.

**Figura 36 Preparación de tapas laterales para taladrar y roscar**



Tapas laterales taladradas y atornilladas a la estructura en ángulo, permitiendo que se le pueda realizar mantenimiento a la estructura interna y en el caso que se requiera disminuir el peso para su traslado.

**Figura 37 Horno completamente atornillado. De izquierda a derecha, vista frontal , vista posterior.**



## 9. RECOMENDACIONES

Para tener el equipo bajo control, se pueden realizar macros en Excel, las cuales grafican en tiempo real el comportamiento del equipo, solo basta con realizar la programación que conecte el arduino con la macro, para lograr ejecutar y correr la lectura de la programación.

Para la movilidad se propone una estructura que se acople de manera fácil a los autos y no haya problema a la hora de ser remolcada, ésta debe realizarse antes de empezar a colocar el ladrillo refractario dentro del horno, si no se cuenta con equipos de montacargas industriales, para que de esta manera una vez armado el equipo sobre la estructura, no haya problemas al ser subida.

A continuación se proporciona, el número de contacto de una empresa autorizada, comercializadora de quemadores Riello; para que los interesados adquieran este componente que es importante para completar los requerimientos, para los que fue diseñado el equipo.

(574)4446169

mercadeo@equisol.com.co

Diagonal 43 No.28-41 Bodega 104. Unidad Industrial Marandúa<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> EQUIPOS Y SOLUCIONES S.A.S. Quemador a Gas y ACPM dos etapas, dos etapas progresivo y modulado. [En línea]. Recuperado el 20 de 11 de 2017. Disponible en: <http://equisol.com.co/noticias/portfolio/quemador-gas-y-acpm-dos-etapas-dos-etapas-progresivo-y-modulado/>

## 10. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la respectiva construcción del horno pirolítico, y el material con el que se usó, se obtuvo como resultado un equipo con un peso elevado, aproximadamente 430 Kg, debido a que será sometido a temperaturas superiores a 400° C; necesita materia prima que garantice una estabilidad en la estructura, porque los ladrillos refractarios, el acero de la recámara interna y el ángulo estructural, garantizan una mayor vida útil para el equipo.

Entre los factores que se tuvieron en cuenta para la elaboración del prototipo, los equipos de control de temperatura juegan un papel muy importante, debido a que la temperatura es difícil de controlar. Cuando la curva de calor aumenta rápidamente, el equipo seguirá subiendo de temperatura, por lo tanto, cuando se le suspende la fuente de calor, aumenta unos grados de temperatura extra y hay que analizar cuál es el rango que maneja, para que éste sea calibrado por el medio de control que se planea realizar.

La fuente recomendada que suministra el calor, alcance la temperatura que se desea con un quemador Riello 40 gs 20, el cual sólo necesita que la llave de gas sea abierta, y el gas al pasar por la electroválvula es censado, y con la cantidad graduada del combustible, el quemador se enciende automáticamente, aumentando la temperatura de acuerdo a los valores dados. Para apagar el equipo, sólo se debe cerrar la llave de gas. Además, si el quemador se encuentra en uso y se detecta una interferencia o una falla en la programación, éste se apaga automáticamente, y con posterioridad el usuario debe pulsar un botón que vuelve a su estado inicial la programación del quemador.

## BIBLIOGRAFÍA

ALIBABA. Quemador baltur, quemador de gas natural. 2017. [En línea]. Recuperado 10 de diciembre de 2017. Disponible en: [https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/baltur-burner-burner-natural-gas-1494124785.html#show\\_specifications](https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/baltur-burner-burner-natural-gas-1494124785.html#show_specifications)

ANDRADE, F.H. Posibilidades de expansión de la producción agrícola. *Revista Inverciencia*.1998, Vol. 23. P. 218-226. ISSN 0378-1844

ANONIMO. Silicato de sodio. 2017. [En línea]. Recuperado 05 de abril de 2018. Disponible en: <http://silicatodesodio.com/>

ARDUINO. Aprendiendo Arduino. 2016. [En línea]. Recuperado el 04 de diciembre de 2017. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/27/arduino-uno-a-fondo-mapa-de-pines-2/>

ARIAN. Control & instrumentación. ¿Que son y cómo funcionan las termocuplas? 2016. [En línea]. Recuperado el 14 de febrero de 2018. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>

BALCELLS, Josep; ROMERAL, José Luis. Automatas programables. Barcelona: Marcombo Ediciones Técnicas; 1997. ISBN 10: 8426710891

BIOENERGÍA. Cluster empresarial. Bioenergía. *Revista Acción camara de comercio de cali*. 2014, Vol. 164. P. 16-17. ISSN 1657-8511

CALORCOL. Ficha técnica afelpado. 2017. [En línea]. Recuperado el 17 de agosto de 2017. Disponible en : <http://calorcol.com/calorcol/calorcbsite/wp-content/uploads/2014/01/productos-termica/afelpado.pdf>

DIRECT INDUSTRI. Quemador bicomcombustible. 2016. [En línea]. Recuperado el 20 de noviembre de 2017. Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/weishaupt/product-21258-580122.html>

EQUIPOS Y SOLUCIONES S.A.S. Quemador a Gas y ACPM dos etapas, dos etapas progresivo y modulado. [En línea]. Recuperado el 20 de 11 de 2017. Disponible en: <http://equisol.com.co/noticias/portfolio/quemador-gas-y-acpm-dos-etapas-dos-etapas-progresivo-y-modulado/>

ESSEN. Quemador ACPM. 2016. [En línea]. Recuperado 20 de noviembre de 2017. Disponible en: [https://www.essen.com.co/index.php/productos/linea-panaderi%CC%81as-essen/quemador-acpm-modelo-af-detail?gclid=EAlaIQobChMI0Ob6r8i\\_1wIV1DqBCh2p6wf-EAAYASAAEgJbgPD\\_BwE](https://www.essen.com.co/index.php/productos/linea-panaderi%CC%81as-essen/quemador-acpm-modelo-af-detail?gclid=EAlaIQobChMI0Ob6r8i_1wIV1DqBCh2p6wf-EAAYASAAEgJbgPD_BwE)

FORMISANO, Bob. Soluciones a los problemas de un horno de encendido electrónico. 3 de noviembre de 2016. [En línea]. Recuperado el 10 de 12 de 2017. Disponible en: <https://www.aboutespanol.com/soluciones-a-los-problemas-de-un-horno-de-encendido-electronico-2886332>

HEREDIA, M; TARELHO, L; MATOS, A. Valoración del Calor Residual de Reactores de Pirólisis para la Producción Combinada de Carbón Vegetal y Combustible Torrificado. *Revista Técnica "energía"*. No 12. P. 396-404. ISSN 1390-5074

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico de puestos con pantallas de visualización (2ª Edición). ESPAÑA: (2001). MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES. Pág.: 9-19

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. Resumen del plan de energías renovables 2011-2020. [En línea]. Recuperado 20 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>

LEON NIEVES, Abigail. Nuevas alternativas tecnológicas para el tratamiento disposición y aprovechamiento de los residuos sólidos del municipio de Bucaramanga. 2016. [En línea]. Recuperado el 20 de marzo de 2017. Disponible en: [http://www.concejodebucaramanga.gov.co/descargas/CONTROL\\_POLITICO\\_2\\_EMAB\\_2016.pdf](http://www.concejodebucaramanga.gov.co/descargas/CONTROL_POLITICO_2_EMAB_2016.pdf)

MARADEÍ GARCÍA, María Fernanda; ESPINEL CORREAL, Francisco Mario. Ergonomía para el diseño. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander; 2009. ISBN 978-958-8504-05-6

MARADEÍ GARCÍA, María Fernanda; ESPINEL CORREAL, Francisco Mario; PEÑA LEAL, Astrid Andrea. Datos Antropométricos para el diseño. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander; 2008. ISBN 978-958-8504-24-7

NOVOTNY, Etelvino H, et al. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the Utilisation of Charcoal for Soil Amendment. *Revista Sociedade Brasileira de Química*. 2009, Vol.20, Nº 6. P. 1003-1010. ISSN 0103-5053

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. [Sitio web].FAO. Recuperado el 10 de agosto de 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y5013s/y5013s07.htm>

PATÍÑO MARTÍNEZ, Pedro Elías. Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. *Revista Innovaciencia*. 2014, Vol.20, N° 6. P.45-52. ISSN 2346-075X

QUESADA KYMZEY, Jaime. La carbonización de residuos biomásicos: una exploración con perspectivas emocionantes. *Revista Tecnología en marcha*. 2012, Vol. 25, N° 5. P. 14-21. ISSN 0579-3952

RECUBRIMIENTOS Y AISLANTES TÉRMICOS. Los aislamientos térmicos en la industria. [En línea]. Recuperado el 05 de diciembre de 2017. Disponible en: [https://www.ratsa.mx/biblioteca/post/blog/801-Los\\_aislamientos\\_t%C3%A9rmicos\\_en\\_la\\_industria](https://www.ratsa.mx/biblioteca/post/blog/801-Los_aislamientos_t%C3%A9rmicos_en_la_industria)

RODRÍGUEZ PERDIGÓN, Luis Alejandro. Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Bogotá, 2014, 19p. Trabajo de investigación (Especialización en Gestión de Residuos Sólidos). Universidad EAN. Facultad de Postgrados.

SAAVEDRA RUEDA, Jaqueline, et al. Evaluación del daño por carburización de un tubo retirado de servicio de un horno de pirólisis. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 2010, Vol.20, N° 2. P. 19-30. ISSN 0124-8170

SIEMENS INDUSTRY. Manual logo siemens. 2003. [En línea]. Recuperado el 04 de diciembre de 2017. Disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf)

THERMAL CERAMICS COLOMBIA. Cementos refractarios. [En línea]. Recuperado el 06 de diciembre de 2017. Disponible en:

<http://www.thermalceramicscolombia.com/index.php/productos-servicios/cementos-densos>

THERMALCOMBUSTION. Quemadores industriales Riello. [En línea]. Recuperado el 16 de agosto de 2017. Disponible en: <http://www.thermalcombustion.com/quemadores-industriales/quemadores-gas-html/>

ULRICH, Karl T; EPPINGER, Esteven D. Diseño y desarrollo de productos. México. Mc Graw Hill; 2009. ISBN 978-607-15-0944-4