

**DISEÑO EN DETALLE DE UN PROTOTIPO DE ANALIZADOR
TERMOGRAVIMETRICO (T.G.) EN ESCALA MACRO PARA ANÁLISIS DE
COMBUSTIBLES SOLIDOS Y LIQUIDOS Y CONSTRUCCIÓN DEL
MECANISMO PARA LA OBTENCIÓN DE CURVAS DE DESCOMPOSICIÓN
TÉRMICA DE LOS COMBUSTIBLES.**

OLDRIN FERNEY MENDEZ ZAMBRANO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

INGENIERIA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2020

**DISEÑO EN DETALLE DE UN PROTOTIPO DE ANALIZADOR
TERMOGRAVIMETRICO (T.G.) EN ESCALA MACRO PARA ANALISIS DE
COMBUSTIBLES SOLIDOS Y LIQUIDOS Y CONSTRUCCION DEL
MECANISMO PARA LA OBTENCION DE CURVAS DE LOS COMBUSTIBLES.**

Oldrin Ferney Méndez Zambrano

Director:

Yesid Javier Rueda Ordoñez

PhD en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2020

CONTENIDO

RESUMEN	12
INTRODUCCION.....	14
1.OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2.1 CONTEXTUALIZACIÓN.....	18
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	20
2.3 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	21
3.MARCO TEÓRICO	23
3.1 Analizador termogravimétrico	23
3.1.1 Analizador en escala micro	24
3.1.2 Analizador en escala macro	25
3.2 Análisis termo gravimétrico.	26
3.3 Aplicaciones de la termo gravimetría.....	29
3.3.1 sector energético.....	29
3.3.2 Identificación de materiales	30
3.3.3 Análisis cuantitativo de elementos inorgánicos.....	32
4.PROCESO DE DISEÑO	33
4.1.1 Requerimientos mínimos.....	33
4.1.2 Requerimientos del diseñador.	34
4.1.2.1 Estandarización de los materiales.	34
4.1.2.2 Mantenimiento.....	34
4.1.2.3 Seguridad.....	35
4.1.2.4 Transporte.....	35
4.1.3 Matriz de calidad (QFD).	35
4.2 DISEÑO EN DETALLE.....	37
4.2.1 sistema estructural.	39
4.2.1.1 cámara del analizador	40
4.2.1.1.1 Transferencia de calor de la cámara.....	42
4.2.1.1.2 selección de parámetros estándar.....	43

4.2.1.2 Bastidor.....	44
4.2.1.3 Tapa superior.....	45
4.2.1.4 tablero de regulación y control.....	46
4.2.2 sistema de control y medición.....	47
4.2.2.1 unidad de control lógico.....	48
4.2.2.2 Temperatura.....	49
4.2.2.3 control PID.....	50
4.2.2.4 sistema de control de peso.....	51
4.2.2.5 Sistema de accionamiento.....	53
4.2.2.6 control de caudal del gas halógeno.....	56
4.2.2.7 bomba de succión de aire.....	59
4.2.3 interfaz de datos.....	60
4.3 procesos de manufactura.....	63
4.3.1 proceso de corte.....	63
4.3.1.1 corte de tubería metálica y perfiles del bastidor.....	63
4.3.1.2 corte de lámina.....	63
4.3.2 limado y pulido.....	65
4.3.3 soldadura.....	66
4.3.4 perforado y elementos de apriete.....	67
4.4 Materiales y especificaciones.....	71
4.5 DATOS ECONOMICOS DEL ANALIZADOR.....	76
5.Modificación de la mufla del laboratorio de combustión.....	77
5.1 Mecanismo de censado de peso(balanza).....	77
5.1.1 diseño de la balanza.....	77
5.1.2 construcción de la balanza.....	79
5.2 Sistema electrónico.....	81
5.2.1 Hardware.....	82
5.2.2 CIRCUITO ELECTRONICO.....	86
5.2.3 software.....	87
5.3 interfaz gráfica.....	87
5.4 instalación del mecanismo en la mufla.....	88
5.5 pasos para el funcionamiento del mecanismo.....	91
5.5.1 calibración de la celda de carga.....	91

6.Verificación de sensores.....	96
6.1 celda de carga.....	96
6.2 Termocupla.	97
7.RESULTADOS ESPERADOS.	100
8.PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS DE RESULTADOS.	102
8.1 primera prueba para el mecanismo.	103
8.2 segunda prueba del mecanismo.....	105
8.3 tercera prueba del mecanismo.	107
8.4 cuarta prueba del mecanismo.	108
8.5 quinta y sexta prueba del mecanismo.	109
9.ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	112
9.1 calculo porcentual.	112
9.2 análisis del comportamiento de pérdida de masa con una prueba de laboratorio.	115
9.3 Análisis gráfico y numérico de resultados.....	118
9.4 Segunda referencia gráfica.	124
10.CONCLUSIONES	127
11.RECOMENDACIONES.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	130
ANEXOS	132

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Generación de bioenergía en 2018 en Chile.....	18
FIGURA 2. Matriz energética colombiana.....	19
FIGURA 3. Esquema de termo-gravimetría.....	21
FIGURA 4. Analizador termogravimétrico.....	24
FIGURA 5. Analizador T.G en escala micro.....	25
FIGURA 6. Esquema macro T.G.A.....	26
FIGURA 7. Esquema de sistemas del analizador.....	38
FIGURA 8. Diagrama de flujo del analizador.....	39
FIGURA 9. Diagrama de resistencias de la cámara del analizador.....	42
FIGURA 10. Bastidor.....	45
FIGURA 11. Tapa superior.....	46
FIGURA 12. Tablero para elementos de control.....	47
FIGURA 13. PLC Siemens Logo V8.....	48
FIGURA 14. Diagrama de variables de control para el PLC.....	49
FIGURA 15. Termopar tipo J modelo JMI-107.....	50
FIGURA 16. Comportamiento control PID ideal.....	50
FIGURA 17. Bloque de control PI.....	51
FIGURA 18. Celda de carga LP 7166.....	52
FIGURA 19. Funcionamiento de la celda de carga.....	52
FIGURA 20. Posicionamiento celda de carga en la tapa superior.....	53
FIGURA 21. Portamuestras.....	53
FIGURA 22. Motorreductor.....	54
FIGURA 23. Módulo HX711.....	54
FIGURA 24. Varilla roscada.....	55
FIGURA 25. Sistema de accionamiento en el analizador.....	56
FIGURA 26. Válvula reguladora de caudal FESTO VFOC.....	57
FIGURA 27. Tubería flexible FESTO.....	58
FIGURA 28. Conectores racores FESTO.....	58
FIGURA 29. Bomba de succión Go plus 1/3 hp.....	59
FIGURA 30. Primer paso para realizar la conexión PLC- computador.....	60
FIGURA 31. Segundo paso.....	61
FIGURA 32. Tercer paso.....	62
FIGURA 33. Último paso para la interfaz de datos.....	62
FIGURA 34. Tronzadora.....	64
FIGURA 35. Cizalla eléctrica Chicago.....	64
FIGURA 36. Lima de media caña.....	65
FIGURA 37. Pulidora de acero.....	66
FIGURA 38. Soldadura TIG.....	67
FIGURA 39. Tornillo cabeza hexagonal con tuerca.....	67

FIGURA 40.Agujeros para tornillos.....	68
FIGURA 41.Vista del analizador termogravimetrico.....	69
FIGURA 42.Vista detallada.....	70
FIGURA 43.Mufla D8 con su tubería de ventilación.....	78
FIGURA 44.Diseño del mecanismo de balanza.....	79
FIGURA 45.Armadura de la balanza.	80
FIGURA 46.Porta muestras.....	81
FIGURA 47.Celda de carga de 1kg.	83
FIGURA 48.Puente de wheatstone.....	83
FIGURA 49.Termocupla tipo K	85
FIGURA 50.Arduino mega 2560.	85
FIGURA 51.NI MYDAQ.....	86
FIGURA 52.Circuito eléctrico.....	86
FIGURA 53.INTERFAZ GRAFICA DEL ANALIZADOR.....	88
FIGURA 54.MOTAJE DEL ARMADURA DE LA CELDA DE CARGA.....	89
FIGURA 55.POSICIONAMIENTO DE LA TERMOCUPLA EN LA MUFLA.....	90
FIGURA 56.MONTAJE DEL PORTAMUESTRAS EN EL INTERIOR DE LA MUFLA.....	91
FIGURA 57.PANTALLA INICIAL PARA CALIBRAR LA CELDA DE CARGA.....	92
FIGURA 58.NUMERO DE CALIBRACION.....	93
FIGURA 59.CARGA DEL CODIGO DE SINCRONIZACION ENTRE ARDUINO Y LABVIEW.....	94
FIGURA 60.PRUEBA DE SINCRONIZACION DE ENTRE LOS CONTROLADORES.....	95
FIGURA 61.INTERFAZ GRAFICA DEL ANALIZADOR.....	96
FIGURA 62.MEDICION DE MUESTRAS EN LA BALANZA.....	97
FIGURA 63.MEDICION DE LA MASA EN LA CELDA DE CARGA.....	97
FIGURA 64.Temperatura mostrada por el display de la mufla.....	98
FIGURA 65.Indicaron de la temperatura en la interfaz.....	99
FIGURA 66.Tamo de arroz.....	100
FIGURA 67.Primer prueba sin control de las condiciones exteriores.....	103
FIGURA 68.Peso del portamuestras.....	104
FIGURA 69.Muestra de 20 gramos, sin control de las condiciones exteriores.....	104
FIGURA 70.Censado de la temperatura en el proceso.....	105
FIGURA 71.Muestra de 20 gramos, con control de las condiciones exteriores.....	106
FIGURA 72.Censado de temperatura en la segunda prueba.....	106
FIGURA 73.Prueba de censado de peso para masa de 25 gramos.....	107
FIGURA 74.Prueba de censado de temperatura para masa de 25 gramos.....	108
FIGURA 75.Prueba de censado de masa de 15 gramos.....	109
FIGURA 76.Prueba de censado de masa de 10 gramos.....	110
FIGURA 77.Prueba de censado de masa de 5 gramos.....	110

FIGURA 78. Curvas porcentuales.....	114
FIGURA 79. Evolución de temperatura de la prueba de referencia.	116
FIGURA 80. Rampa de calentamiento 1.....	116
FIGURA 81. Oscilación de la temperatura en la fase de secado.....	117
FIGURA 82. Rampa de calentamiento 2.....	117
FIGURA 83. Curva de laboratorio.	119
FIGURA 84. Curva obtenida por el mecanismo.	120
FIGURA 85. Masa normalizada vs Temperatura.	121
FIGURA 86. Masa normalizada vs temperatura en laboratorio.	121
FIGURA 87. Descomposición térmica de varias biomásas.....	125

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Requerimientos mínimos.	33
Tabla 2.Requerimientos del diseñador.	35
Tabla 3.Matriz de relación.....	36
Tabla 4.Matriz de resultados.....	36
Tabla 5.Materiales y especificación del analizador.	71
Tabla 6. Inversión para el analizador.	76
Tabla 7.Parametros de celda de carga.	82
Tabla 8.Condiciones de muestreo.	102
Tabla 9.Porcentajes de masa de las pruebas anteriores.	113
Tabla 10. Parámetros importantes de las pruebas.	118
Tabla 11.ERRORES DE DATOS.....	122

RESUMEN

TITULO: DISEÑO EN DETALLE DE UN PROTOTIPO DE ANALIZADOR TERMOGRAVIMETRICO (T.G.) EN ESCALA MACRO PARA ANÁLISIS DE COMBUSTIBLES SOLIDOS Y LIQUIDOS Y CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO PARA LA OBTENCIÓN DE CURVAS DE DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DE LOS COMBUSTIBLES*

AUTOR: OLDRIN FERNEY MENDEZ ZAMBRANO**.

PALABRAS CLAVE: DISEÑO, CONSTRUCCION, ANALIZADOR, TERMOGRAVIMETRIA, DESCOMPOSICION Y CURVAS.

DESCRIPCIÓN:

En este proyecto de grado se presentan un diseño en detalle de un analizador termo gravimétrico de análisis de biomasa en escala macro (T.G.A MACRO). Este analizador esta caracterizado por una cámara de análisis en forma cilíndrica de 30 centímetros de longitud y un diámetro de 2.5" con un suministro de aire sintético de 1.5 litros/minuto, soportado sobre láminas de acero de material ASTM A36 calibre 11, debidamente soldado mediante soldadura TIG (tugsten inert gas) y alojado dentro un bastidor realizado mediante perfiles estructurales en forma de L, los cuales brindan al analizador una altura de operatividad de 150 centímetros sobre el nivel del suelo; cinéticamente el sistema dispone de un motor paso a paso operado por medio de un módulo HX711 el cual nos brinda una velocidad constante de 80 revoluciones por segundo encargándose de esta manera de abrir y cerrar la cámara de análisis; energéticamente el sistema requiere de una potencia de 500 Watts generada por medio de una resistencia de banda cerámica la cual eleva la temperatura desde Temperatura ambiente @28 °C hasta los 700 °C. El analizador esta operado por medio de un PLC siemens logo V8 con display incluido en el módulo y localizado en el mismo bastidor. El sistema de Censado de la muestra dispone de una celda de carga de punto simple de alta precisión, en donde todas las cuantificaciones anteriormente nombradas, son calculadas o seleccionadas mediante los respectivos procesos de diseño

Como segunda parte del proyecto se diseñó e implemento el sistema de censado de masa nombrado anteriormente, pero con elementos más económicos para comprobar y verificar la operatividad del mismo, mediante la construcción de las curvas de descomposición térmica de la biomasa de muestra (cascarilla de arroz) y comparándola con curvas obtenidas con equipos de laboratorio; Obteniendo de esta manera los respectivos errores y conclusiones sobre la funcionalidad del sistema implementado.

* Trabajo de grado.

** Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. . Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez. PhD en ingeniera mecánica.

SUMMARY

TITLE: DETAILED DESIGN OF A THERMOGRAVIMETRICAL (T.G.) ANALYZER PROTOTYPE ON MACRO SCALE FOR SOLID AND LIQUID FUEL ANALYSIS AND CONSTRUCTION OF THE MECHANISM FOR THE OBTAINING OF THERMAL DECOMPOSITION FUEL CURVES.*

AUTHOR: OLDRIN FERNEY MENDEZ ZAMBRANO**.

KEY WORDS: DESIGN, CONSTRUCTION, ANALYZER, THERMOGRAVIMETRIC, DECOMPOSITION AND CURVES.

DESCRIPTION: In this degree project a detailed design of a thermo gravimetric analyzer of biomass analysis in macro scale (T.G.A MACRO) is presented. This analyzer is characterized by a cylindrical analysis chamber 30 centimeters long and 2.5 "in diameter with a supply of synthetic air of 1.5 liters / minute, supported on steel sheets of material ASTM A36 caliber 11, duly welded by TIG welding (tugsten inert gas) and housed inside a frame made using L-shaped structural profiles, which give the analyzer an operational height of 150 centimeters above ground level; Kinetically the system has a stepper motor operated by means of an HX711 module which gives us a constant speed of 80 revolutions per second, thus taking charge of opening and closing the analysis chamber; energetically the system requires a power of 500 Watts generated by means of a resistance of ceramic band which raises the temperature from Ambient temperature @ 28 ° C to 700 ° C. The analyzer is operated by means of a Siemens PLC V8 PLC with display included in the module and located in the same rack. The Censing system of the sample has a high precision single point load cell, where all the above-mentioned quantifications are calculated or selected by the respective design processes

As a second part of the project, the previously described mass censorship system was designed and implemented, but with cheaper elements to verify and verify its operability, by constructing the thermal decomposition curves of the sample biomass (rice husk) and comparing it with curves obtained with laboratory equipment; Obtaining in this way the respective errors and conclusions about the functionality of the implemented system.

* Degree Project.

** Faculty of physical-mechanical engineering. School of mechanical engineering. . Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez. PhD mechanical engineering.

INTRODUCCION

Desde la revolución industrial comprendida entre 1760 y 1840, los requerimientos energéticos de la humanidad han venido aumentando exponencialmente, dado que desde esta fecha el sector industrial empezó a tomar un papel muy importante en el desarrollo social y económico de la humanidad. Fue aquí, en donde el descubrimiento del petróleo empezó a jugar un papel muy importante en estos requerimientos energéticos, tomando solo como prioridad la adquisición de dicha energía sin tener más factores en cuenta.

Al pasar los años, factores tales como la afección a condiciones ambientales tomaron el auge en el sector energético, generando como resultado el desarrollo de energías más limpias con el medio ambiente, denominadas, bioenergía o energías renovables. Una de estas energías es la energía de biomasa, la cual es la obtención de biocombustibles a partir de elementos provenientes de la naturaleza, tales como residuos derivados de la industria agrícola. Para este proceso de conversión, se deben realizar procesos de descomposición química tales como la pirolisis, mediante los cuales se pueden obtener las respectivas curvas de descomposición térmica de la muestra de biomasa. Estos procesos se desarrollan comúnmente mediante análisis como la termo gravimetría, ya sea en su escala micro o macro de la misma.

Estos analizadores nos brindan las curvas térmicas que se requieren para determinar el comportamiento de una muestra bajo condiciones de calentamiento o enfriamiento, tomando como variables la masa y el tiempo.

Mediante este proyecto se presentará el diseño en detalle de un analizador termo gravimétrico en escala macro para el rango de 1-100 gramos de muestra de biomasa, con el cual mediante la pirolisis obtendremos las curvas de descomposición térmicas necesarias para la caracterización de la biomasa.

En el desarrollo de este libro se verá en el capítulo 1 los objetivos o metas de este proyecto. En el capítulo 2 se mostrará la problemática que se está abordando. En el capítulo 3 se

encuentran los referentes teóricos que fueron usados como base para dar solución a la problemática planteada anteriormente. En el capítulo 4 se mostrará el desarrollo del diseño del analizador con todas las especificaciones pertinentes tales como análisis económico, diseño mecánico, lógica de funcionamiento, lógica electrónica, parámetros programación, manual de uso y mantenimiento, entre otros. En el capítulo 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos (curvas) y las respectivas conclusiones de las mismas sobre la operatividad del equipo diseñado.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar en detalle un prototipo de analizador termogravimétrico (T.G.) en escala macro para laboratorio y construcción el mecanismo para la obtención de curvas de descomposición térmica con el fin de investigar la descomposición térmica de combustibles sólidos en el rango de 1 a 100 gramos.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar en detalle un analizador termogravimetrico con las siguientes características técnicas de operación:
 1. Capacidad de censo de muestra de hasta 100 gramos.
 2. Dimensiones de la cámara de 5" por 300 milímetros de largo.
 3. Sistema de operación semi-automatico.
 4. Capacidad de controlar y medir temperaturas entre los 35 °C y los 850 °C en la cámara de análisis.
 5. Capacidad de controlar el flujo de gas inerte a la cámara de análisis.
 6. Almacenar y mostrar en tiempo real la descomposición másica de la biomasa.
 7. Establecer un manual de uso y mantenimiento para el analizador.
 8. Realizar una tabla económica donde se especifique la inversión requerida para construir el analizador.
- Modificar, diseñar y construir el mecanismo de balanza con el fin de adecuar la mufla del laboratorio de combustión para realizar análisis termogravimetricos mediante las siguientes características:
 1. Capacidad de medir temperaturas de entre 40 y 800 grados Celsius.
 2. Capacidad de censo de masa de 1 a 100 gramos.
 3. Obtener en tiempo real la curva de descomposición térmica de la muestra.

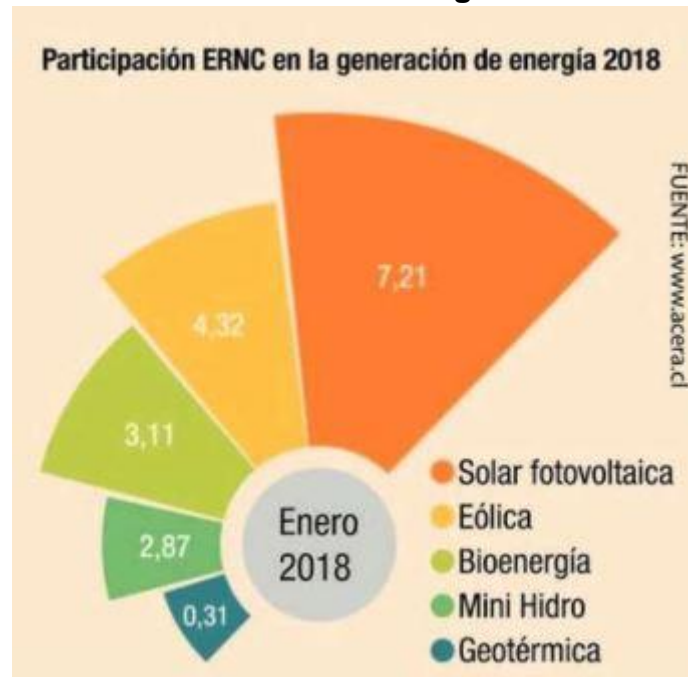
4. Lograr almacenar los datos en un ordenador para poder realizar posteriores análisis.
- Realizar las pruebas de caracterización para algunos biocombustibles para verificar la operatividad del mecanismo.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

El desarrollo de procesos para alcanzar energías más amigables con el medio ambiente, han tomado un punto clave en el desarrollo de la población, en donde, obligados por factores como el cambio climático debido al mal uso de los combustibles fósiles, se ha tenido que buscar estas soluciones, las cuales traten de mitigar un poco los efectos ocasionados sobre el planeta. Con base a esto mismo, se desarrollaron posibilidades energéticas en donde la implementación de factores renovables como los potenciales naturales tales como el sol, el aire, las corrientes acuíferas, los potenciales geotérmicos y hasta el uso de los mismos residuos ya sean industriales o agrícolas, fueron considerados como una posible fuente de energía existente, la cual no se había tenido en cuenta anteriormente.

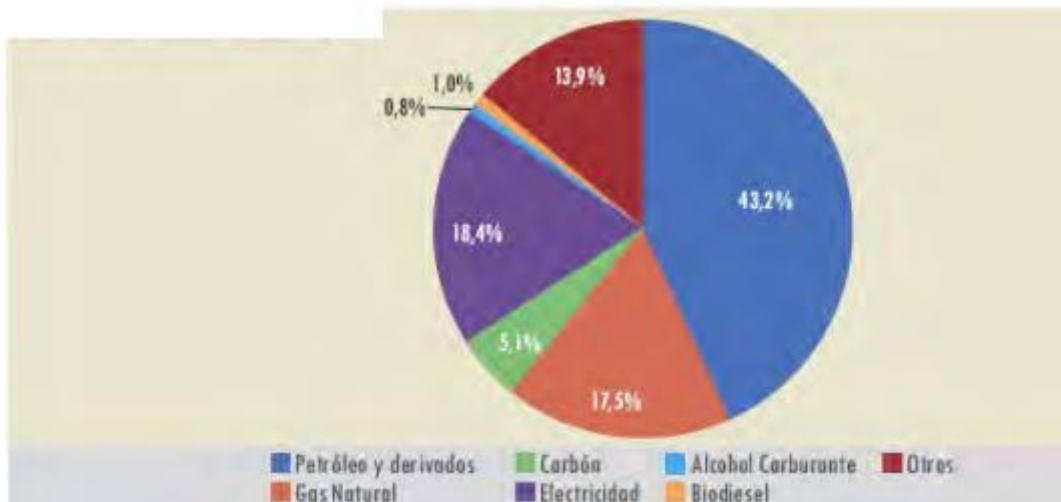
FIGURA 1. Generación de bioenergía en 2018 en Chile.



Fuente: acera (asociación chilena de energías renovables) [en línea] disponible en: <http://www.acera.cl/el-protagonismo-de-las-energias-renovables-no-convencionales/>.

Colombia, siendo un país tropical que dispone de desiertos, mares, cordilleras y un amplio sector agrícola. Posee un gran potencial en lo que se refiere a energías renovables, dado que, cuenta con todos los escenarios posibles para disponer de toda la gama energética existente. Pero, aun así, el desarrollo de esta posibilidad no se ve reflejada en el uso de la misma. Por ejemplo, según un artículo publicado por el “EL ESPECTADOR¹” el día 07 de abril del 2018, (véase online en: <https://www.elespectador.com/economia/el-rezago-de-colombia-en-energias-renovables-articulo-748703>) el desarrollo de proyectos para obtener energías de fuentes no convencionales es de apenas el 1%, lo cual hace notar lo rezagada que se encuentran las alternativas renovables en nuestro país. Sin embargo, en este mismo artículo resalta la inmensa disponibilidad energética del mismo, dadas sus condiciones agrícolas en aspectos como la biomasa y la generación de energía subyacente de la misma, en donde, al ser un territorio cuya economía base son las materias primas tales como el café, cacao, maíz, trigo, papa, caña, banano, arroz, entre otros; los residuos subyacentes de estas mismas son abundantes.

FIGURA 2. Matriz energética colombiana.



Fuente: FAO, organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura [en línea] disponible en: www.fao.org

¹ EL ESPECADOR: periódico colombiano de circulación nacional. Fundado el 22 de marzo de 1887 en Medellín, Antioquia.

Según un segmento de Semana Sostenible² “la biomasa proveniente de residuos forestales, agrícolas, desechos urbanos y animales, representa alrededor del 17% de la matriz energética nacional.” Expresando a su vez, que estas alternativas podrían suplir fácilmente los requerimientos energéticos existentes en las zonas marginadas del territorio. Sin embargo, el mayor campo de desfondo se presenta en la caracterización de la biomasa, siendo esta, la que indica el potencial energético de la misma. Es aquí en donde se presenta la necesidad del desarrollo de tecnologías, para fructificar esta disposición energética existente y con ello, dar una pequeña solución a la necesidad existente.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

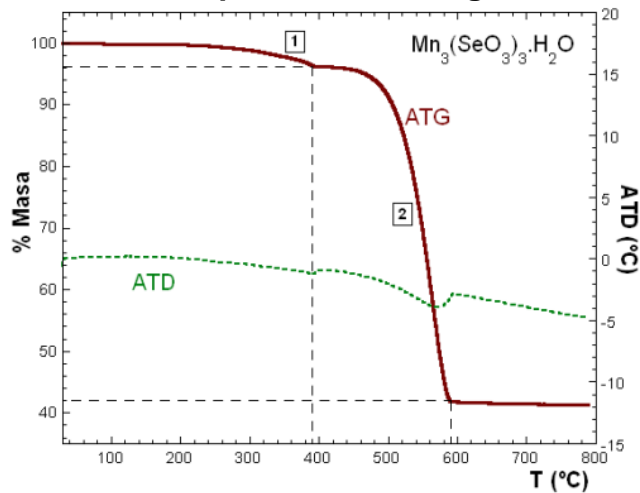
La caracterización de la biomasa, es quizá, el proceso más importante y por ende funesto en la trayectoria de la misma. Esto debido a que, en este procedimiento se obtiene el comportamiento térmico que va a presentar la biomasa en los procesos de convertir la misma en energía aprovechable.

Para realizar esta caracterización se cuenta con diferentes métodos, los cuales varían desde el agente de reacción, hasta el tamaño de la muestra.

En los procesos industriales, el método más usado es la termo-gravimetría, la cual consta de tomar una pequeña muestra y dejarla, bajo el efecto de la gravedad en un porta-muestra, el cual se encuentra conectado con un sensor que muestra la variación de la masa al aplicarse un flujo de calor constante bajo unas condiciones específicas. En la figura 3, se muestra un esquema de lo dicho anteriormente.

² Semana Sostenible es un blog de la revista semana, donde se postulan artículos informativos referentes a medio ambiente e impacto ambiental bajo el slogan: “Ideas que se vuelven acciones”.

FIGURA 3. Esquema de termo-gravimetría



Fuente: Linseis [en línea] disponible en: www.Linseis.com

Es aquí donde el tamaño de la muestra juega el papel importante en este proceso, pues, a muestras menores al gramo, se le conoce como termo-gravimetría convencional o en escala micro y a las mayores a un gramo, se le denomina como termo-gravimetría en escala macro. Siendo esta última a que arroja los resultados con mayor similitud a los que se encuentran en los procesos industriales. Dando así, un punto de partida del tipo de análisis que se debe implementar.

2.3 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Los equipos necesarios para realizar este proceso de caracterización se denominan analizadores. Estos equipos aun al ser de suma importancia, no poseen normativas ni códigos, los cuales brinden una guía al momento de diseñar, lo cual a su vez genera escases al momento de brindar ejemplos de los mismos, debido a que, la mayoría de equipos diseñados poseen la peculiaridad de ser clandestinos, por ende, no poseen un procedimiento detallado de la realización del mismo y mucho menos manuales dotados con información acerca de mantenimiento.

Es aquí, por medio de este proyecto que se busca brindar una guía para diseñar un analizador termo-gravimétrico para la caracterización de biomásas en un rango de muestra

macro, es decir, mayor a 1 gramo, en donde a su vez, se muestren aspectos tales como el gasto económico, manual de uso guía de mantenimiento.

3. MARCO TEÓRICO

Al momento de diseñar cualquier elemento, se debe disponer de información la cual llegue a suplir con los objetivos establecidos con anterioridad. Es aquí, donde la división de los distintos procesos se debe efectuar. En el caso particular del analizador deseado, se debe tener en cuenta factores tales como, tipo de proceso, fuente de energía, elementos de la cámara, condiciones de seguridad, entre otros. Es por esto, que se debe dar a conocer a plenitud las técnicas que se van realizar en la creación del elemento.

3.1 Analizador termogravimétrico

Es un equipo cerrado, con disposiciones mecánicas, térmicas y en algunos casos con presencia de fluidos. El cual, es el encargado de brindar las curvas de descomposición térmica de la muestra en su interior mediante el uso de la termogravimetría, ofreciendo de esta manera el comportamiento de dicha muestra al exponerse a una fuente de calor.

Estos equipos disponen de estufas de secado u hornos de alta temperatura tipo mufla, los cuales son usados como un flujo de energía del tipo calor, hacia la muestra dispuesta a analizar. A su vez, cuentan con dispositivos de calibración tipo balanza, encargados de mostrar el valor de masa de la muestra, así como distintos puntos de entrada y salida de gases que sean partícipes o no, al momento de realizar el análisis.

FIGURA 4. Analizador termogravimetrico



Fuente: control técnicas instrument. [en línea] disponible en: <http://cic-controltecnica.com>

El rango de masa al cual fue diseñado el analizador termogravimetrico, crea ciertas diferencias entre unos y otros. Esta diferencia categoriza el analizador como:

- Analizador T.G en escala micro.
- Analizador T.G en escala macro.

3.1.1 Analizador en escala micro

Este análisis posee tamaños de muestra de hasta de 1 gramo, por ende, consta de elementos de censo de masa más precisos y con una sensibilidad superior al otro tipo de analizador. Esto debido a que las variaciones de masa serán más bajas y es aquí donde contar con un sensor adecuado cobra suma importancia para lograr obtener una curva acorde con las características térmicas de elemento. Las curvas obtenidas de este análisis se toman como el comportamiento teórico o ideal del elemento.

FIGURA 5.analizador T.G en escala micro

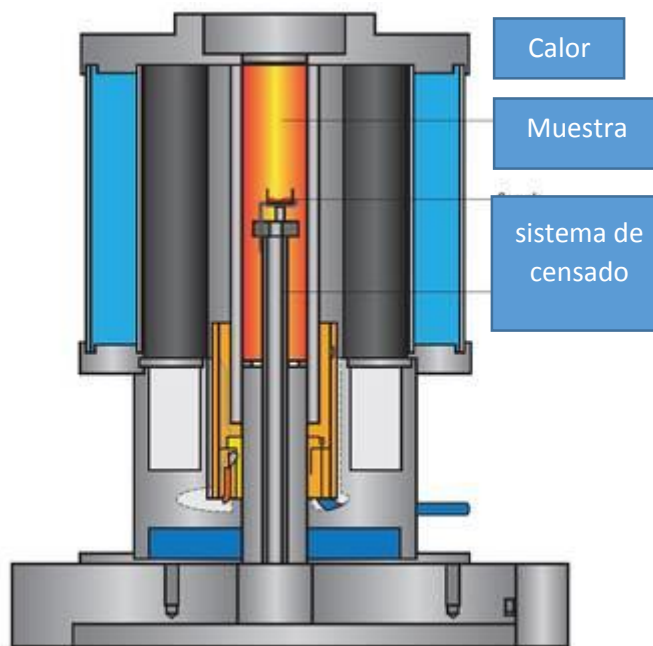


Fuente: Tecno escala. [en línea] disponible en línea: tecnoescala.com.ec

3.1.2 Analizador en escala macro

Posee tamaños de muestra que van desde el gramo de muestra hasta inclusive los 500 gramos de muestra. Aunque no requiere equipos de medición tan precisos, si debe poseer fuentes de calor de suficiente potencia, esto debido a que se debe descomponer toda la muestra de manera uniforme para obtener curvas acertadas. Este análisis, arroja curvas con mayor parentesco al comportamiento térmico de los elementos bajo operaciones industriales.

FIGURA 6. Esquema macro T.G.A.

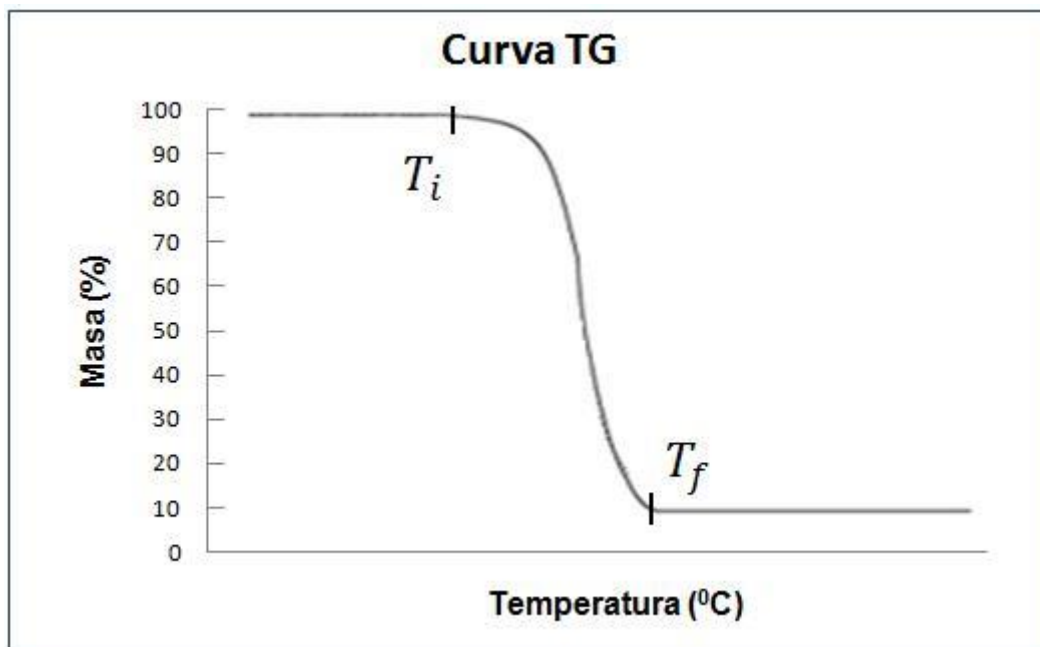


Fuente: Linseis. [en línea] disponible en: www.linseis.com.

3.2 Análisis termo gravimétrico.

Más conocido como termo gravimetría o por sus siglas (T.G), es la medición de la variación de la masa de un modelo sometido a un ambiente controlado, el cual se encuentra bajo la influencia de un flujo de calor que puede ser constante o variable, en donde, la alteración de la masa puede ser por ganancia o por pérdida. Esta variación se presenta normalmente como una curva, denominada curva T.G o curva de descomposición térmica.

Ilustración 1. Curva T.G



Fuente: Solidos conductores y Análisis térmico. [en línea] disponible en línea: <http://solidosconductores.blogspot.com>

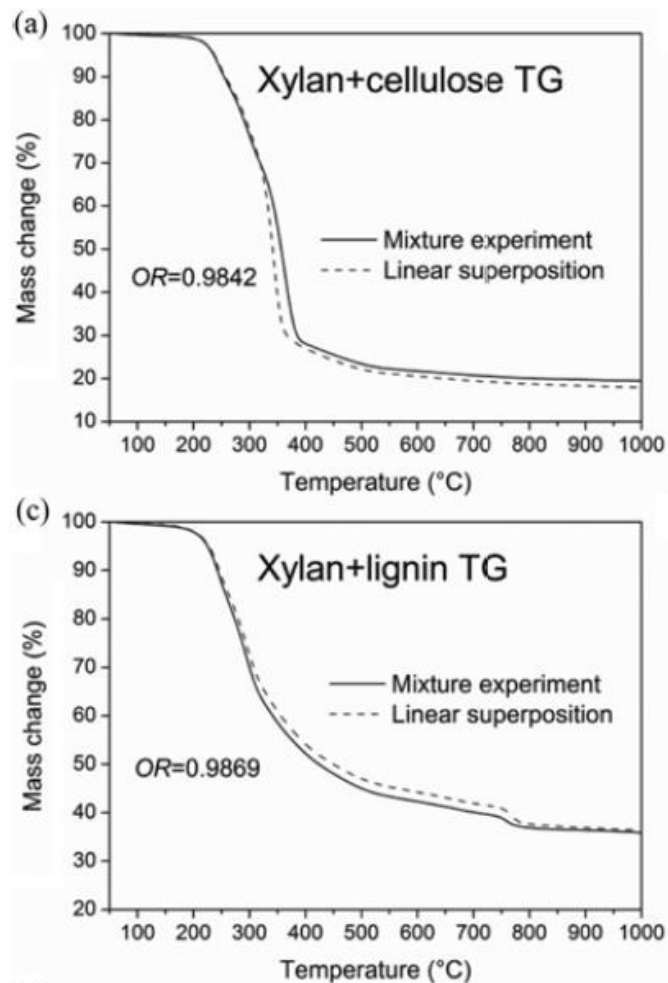
Esta técnica es usada principalmente para caracterizar la descomposición y estabilidad térmica de materiales, ofreciendo un panorama general del potencial proveniente del espécimen bajo condiciones de calefacción controlada. Esta calefacción presentar los siguientes casos:

- Temperatura constante: se presenta en operaciones de secado las cuales requieren temperaturas constantes de operación. En estos casos la curva de registro de masa se da contra el tiempo de exposición.
- Temperatura variable: la variación de la masa se da en función del tiempo o de la temperatura.

En complemento con lo dicho anteriormente acerca de los tamaños de muestra. Según LONG, Yanqui, et al. En su investigación llamada "Interactions among biomass components during co-pyrolysis in (macro) thermogravimetric analyzers" nos permiten observar la poca

diferencia que existe entre si hacemos cualquiera de los dos análisis. Al observar la gráfica 2 obtenida del estudio nombrado anteriormente, se aprecia el pequeño margen de diferencia obtenida por los autores en una reacción mediante termo gravimetría de muestra macro y micro. Es de aclarar que la línea continua nos brinda la curva experimental (en escala macro de muestra) y la línea punteada nos brinda la curva teórica (escala micro de muestra).

Ilustración 2. Diferencia entre análisis macro y micro.



Fuente: Interactions among biomass components during co-pyrolysis in (macro) thermogravimetric analyzers. [en línea] disponible en: google academic.

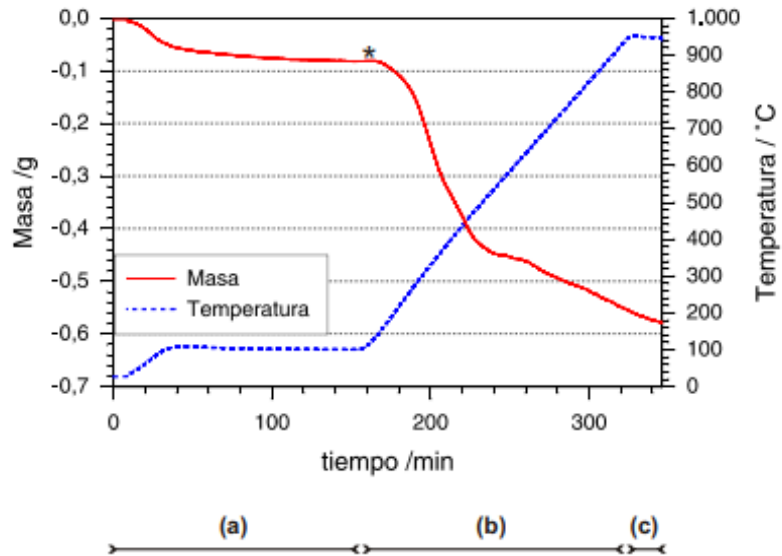
3.3 Aplicaciones de la termo gravimetría

La termo gravimetría es una técnica usada comúnmente en la industria química, energética, alimentaria y farmacéutica. El análisis T.G es aplicados en operaciones de solvatación, detección de impurezas, composición química, entre otros. A continuación, se presentan los usos más comunes del análisis termo gravimétrico en algunos sectores.

3.3.1 sector energético

El uso de los desechos industriales y urbanos para la generación de energía por medio de las biomásas, es una forma de obtener bioenergía que se está desarrollando actualmente. La necesidad de conocer el comportamiento de las diferentes sustancias al momento después de ser empleadas en procesos como la combustión o la pirolisis, es necesario para evaluar la eficiencia de la posible fuente de bio-combustible. Esto debido a que después de procesos pirolíticos se generan biocarbon, bioaceites o biodiesel, dependiendo del espécimen puesto en condiciones de pirolisis, y es necesario identificar la composición del mismo, así como también su comportamiento térmico. Como ejemplo de lo dicho anteriormente, en la tesis de maestría desarrollada por ARAGONEZ GONZALES, Martha Patricia. Denominada “Análisis termo gravimétrico de la pirolisis de biosólidos de la planta de tratamiento de agua residual el salitre”, se puede observar que seguidamente de la aplicación del proceso de pirolisis a una muestra, se procede a realizarle una prueba termo gravimétrica para obtener la curva de descomposición térmica de la muestra (ver figura 3) y de esta manera particularizar los rangos de temperatura en los que se generan los mayores impactos másicos y generar una comparativa entre las temperaturas del análisis termo gravimétrico y el proceso de pirolisis.

Ilustración 3. Análisis T.G. a biosólido proveniente de la planta de tratamiento de agua residual el salitre.

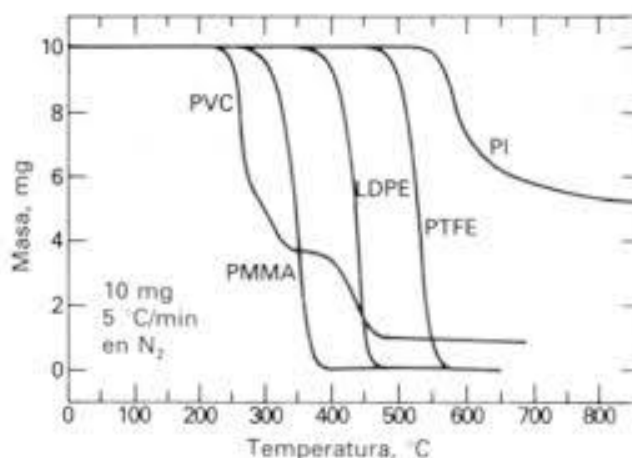


Fuente: “Análisis termogravimétrico de la pirólisis de biosólidos de la planta de tratamiento de agua residual el salitre”

3.3.2 Identificación de materiales

La ciencia de los materiales es una rama de la ingeniería con una amplia aplicación actual; la necesidad de crear, implementar y caracterizar nuevos materiales se desarrolla según la necesidad de características específicas e idóneas necesarias para una aplicación. Es aquí, donde conocer el comportamiento o respuesta del material bajo cargas térmicas y físicas, genera un factor de viabilidad para usarlo bajo condiciones de trabajo específicas. Por ejemplo, en la tubería industrial, se puede observar en la gráfica N.4 que dependiendo del tipo de polímero usado se presentan diferentes comportamientos bajo la aplicación de calor a la misma, generando debilitamiento de la tubería por pérdida de masa e inclusive su desintegración completa.

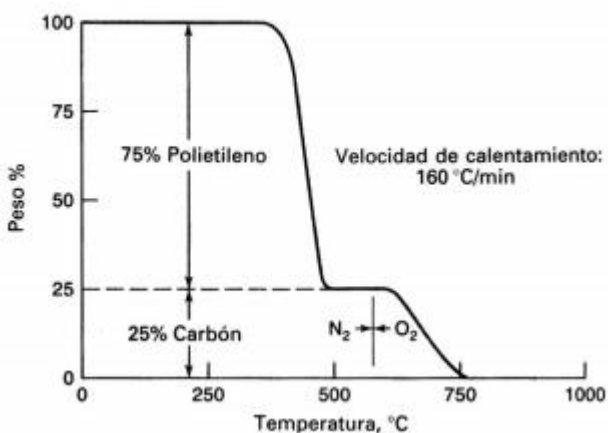
Ilustración 4. Curvas de polímeros.



Fuente: métodos de análisis térmicos. [en línea] disponible: <http://ocw.uc3m.es>

En este mismo campo de caracterización es a su vez de uso común el determinar la cantidad de un elemento presente en el polímero, esto se logra cambiando el ambiente o atmosfera presente en el interior del analizador. En la gráfica N.5 se presenta la curva termo gravimétrica en donde se determina el porcentaje de carbono presente en una muestra de polietileno (PE) en condiciones de calentamiento constante y con cambio de atmosfera de inerte a oxidante.

Ilustración 5. Obtención de porcentaje de carbono en una muestra de PE.

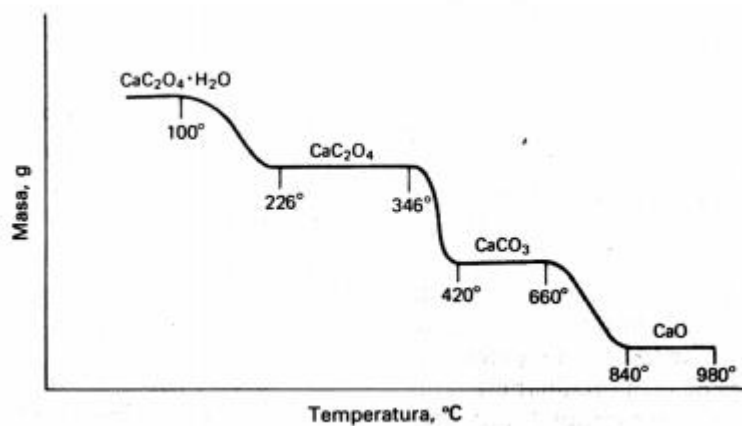


Fuente: métodos de análisis térmicos. [en línea] disponible: <http://ocw.uc3m.es>

3.3.3 Análisis cuantitativo de elementos inorgánicos.

Es posible observar y comprobar la secuencia de descomposición de los elementos inorgánicos con sus distintas etapas, es decir, cuando por medio de una fuente exotérmica se presenta la degradación del compuesto y posterior liberación de moléculas. Estas secuencias se les conoce como escalas de reacción e inician en la degradación de la molécula más volátil y culminan con el producto más simple.

Ilustración 6. Secuencia de reacción de un componente inorgánico.



Fuente: métodos de análisis térmicos. [en línea] disponible: <http://ocw.uc3m.es>

En esta curva se puede observar la secuencia del oxalato de potasio mono hidrato el cual en su primera fase se presenta una fase de secado liberando la molécula de agua, en la segunda fase se observa la liberación de una molécula de dióxido de carbono y en la fase final se presenta la liberación de una molécula de dióxido de carbono dejando como resultado el óxido de calcio. La ventaja que presenta realizar un análisis térmico tipo gravimétrico a esta molécula es que se obtienen los rangos de temperatura de reacción a los cuales se efectúa la liberación química de elementos.

4. PROCESO DE DISEÑO

Al iniciar con el diseño del analizador, se planteó previamente unos requerimientos mínimos que debe cumplir el equipo, esto debido a que su implementación se desarrollara en un laboratorio, lo cual incorpora el factor humano como un ítem importante a cuidar, logrando así una posible solución.

4.1.1 Requerimientos mínimos.

Dado que el equipo a diseñar es para realizar pruebas que se desarrollaran en un laboratorio y al necesitar interacción humana para su operación; factores tales como la seguridad, visualización de datos, compactibilidad del equipo, operatividad, fácil mantenimiento, versatilidad, transporte y colección de datos se pueden considerar como los ítems mínimos para verificar que un equipo sea confiable al momento de ser usado y que los resultados que se obtengan de él puedan tener un fácil manejo, brindando factibilidad y diversidad en ellos.

Sabiendo estos parámetros, se procede a implementar la función de calidad QFD (Quality Function Deployment) para convertir estos requerimientos en parámetros cuantificables que brinden la importancia que posee cada condición al momento de ser considerada en el proceso de diseño. En la Tabla 1 se presentan estos requerimientos con su respectiva ponderación del uno (1) al cinco (5), en el que cinco (5) es para el criterio más importante y uno (1) para el menos importante.

Tabla 1. Requerimientos mínimos.

Requerimientos mínimos	Ponderación
seguridad	5

Visualización de datos	4
compactibilidad	3
operatividad	4
mantenimiento	3
versatilidad	2
transporte	3
Colección de datos	4

4.1.2 Requerimientos del diseñador.

Es necesario presentar parámetros técnicos que conjunto con los acordados en la parte anterior brinden una mejor guía al momento de realizar el diseño del equipo.

4.1.2.1 Estandarización de los materiales.

Contar con la fácil adquisición de los materiales para poder construir el analizador es un factor importante, debido a que reduce los costos de construcción ya que no se ve la necesidad de tener gastos en importación o encomienda.

4.1.2.2 Mantenimiento.

Todo equipo que implemente elementos de cualquier tipo ya sean mecánicos, eléctricos, neumáticos, hidráulicos o combinaciones entre estos mismos, requiere una verificación o cambio cada cierto tiempo, esto debido al desgaste que genera el uso del equipo, por ello se requiere que el analizador tenga un mantenimiento que sea rápido y versátil al momento de realizar reparaciones correctivas o preventivas, dado que al ser un dispositivo de laboratorio debe tener disponibilidad total para realizar su función.

4.1.2.3 Seguridad.

La seguridad del operario u operarios, como a su vez la de todos los presentes en el laboratorio a la hora del análisis es la condición que más se debe salvaguardar, por ello, realizar un diseño confiable, que no presente eventos catastróficos es de suma importancia.

4.1.2.4 Transporte.

Un equipo que sea ligero, fácil de ensamblar y de fácil desplazamiento es un factor a considerar, esto con base a que la posibilidad de moverlo dentro del recinto es existente.

A continuación, se muestra la ponderación de los ítems anteriormente nombrados, estos valores van del uno (1) al cinco (5), donde cinco (5) es la ponderación de mayor importancia y uno (1) la más baja, tal como se puede ver en la tabla 2.

Tabla 2. Requerimientos del diseñador.

Requerimiento	Ponderado
Seguridad	5
mantenimiento	4
Materiales estándar	4
transporte	3

4.1.3 Matriz de calidad (QFD).

Teniendo tanto los requerimientos mínimos como los requerimientos del diseñador, el siguiente paso a proceder es construir la tabla con las ponderaciones correspondientes. La tabla 3 brinda la matriz de relación de criterios y la tabla 4 muestra la matriz de calidad (QFD) con la denotación se dan por bueno (9), regular (3) y deficientes (1) según corresponda.

Tabla 3. Matriz de relación.

Requerimientos		DISEÑADOR			
MINIMOS		MATERIALES ESTANDAR	MANTENIMIENTO	SEGURIDAD	TRANSPORTE
seguridad	5	3	9	9	3
Visualización de datos	4	0	0	0	1
compactibilidad	3	3	9	9	9
operatividad	4	3	0	3	3
mantenimiento	3	9	9	9	9
versatilidad	2	3	9	3	3
transporte	3	3	3	9	9
Colección de datos	4	0	3	0	1

Tabla 4. Matriz de resultados.

Requerimientos		DISEÑADOR			
MINIMOS		MATERIALES ESTANDAR	MANTENIMIENTO	SEGURIDAD	TRANSPORTE
seguridad	5	15	45	45	15

Visualización de datos	4	0	0	0	4
compactibilidad	3	9	27	27	27
operatividad	4	12	0	12	12
mantenimiento	3	27	27	27	27
versatilidad	2	6	18	6	6
transporte	3	9	9	27	27
Colección de datos	4	0	12	0	4
	total	78	138	144	122

Con base a la matriz de resultado se obtiene que el orden de importancia de diseño es seguridad, mantenimiento, transporte y por ultimo materiales estándar, este es basado en la ponderación asignada a la matriz. Con base a estos valores se procede a realizar el diseño del analizador priorizando que el dispositivo debe primar en la seguridad que brinda a los operarios.

4.2 DISEÑO EN DETALLE

Para iniciar con el diseño del analizador se presenta la lógica de funcionamiento y la división en sistemas que se emplearan en el diseño del analizador, que se exhibirá posteriormente, véase las figuras 7 y 8, respectivamente.

En la figura 7, se presenta un esquema de la estructura que presentara el analizador, mostrando el sistema de refrigeración, sistema de control, válvulas, sistema de calefacción, sistema de balanza, actuadores mecánicos, eléctricos y electromecánicos, placa de adquisición de datos y elemento para la visualización de datos en tiempo real del comportamiento térmico que presenta la muestra.

En la figura 8, se presenta la lógica del funcionamiento que desempeña el analizador ,en caso se utiliza un diagrama de flujo.

FIGURA 7. Esquema de sistemas del analizador.

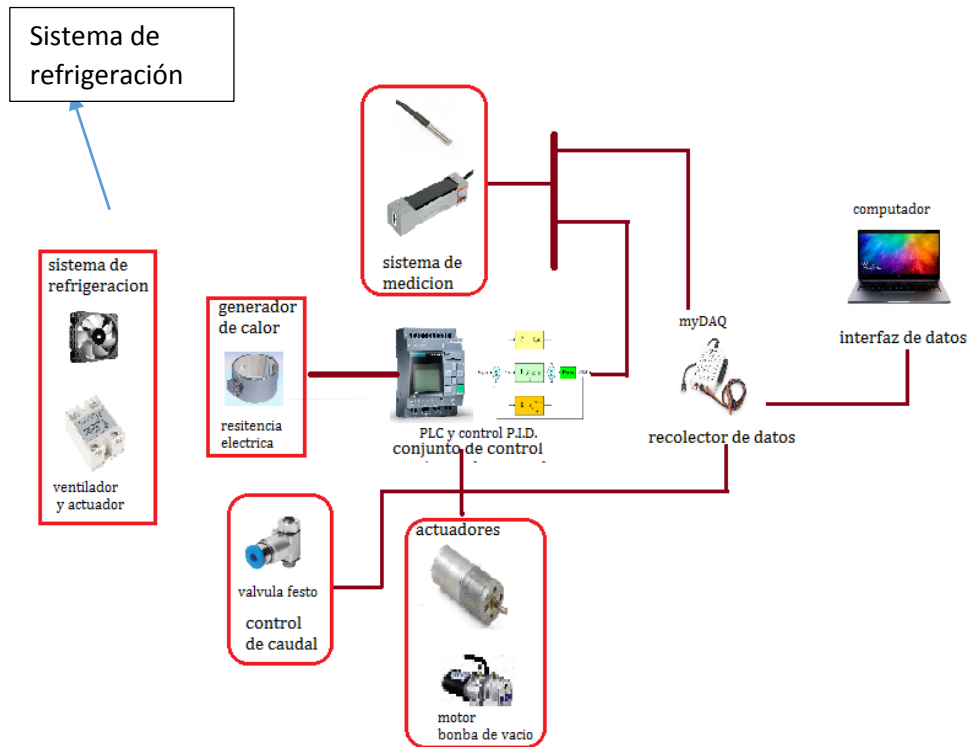
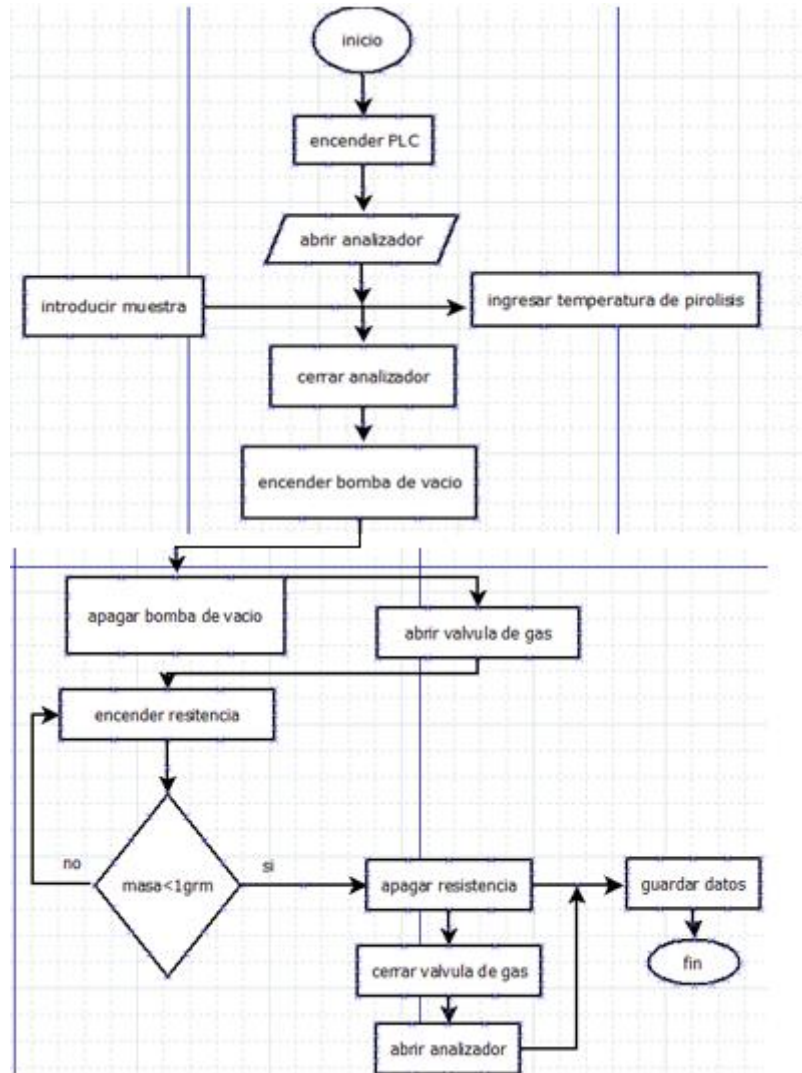


FIGURA 8. Diagrama de flujo del analizador.



Los subsistemas presentes en el analizador son:

- sistema estructural.
- sistema de actuación.
- Sistema de control y regulación.
- Sistema de interfaz de datos.

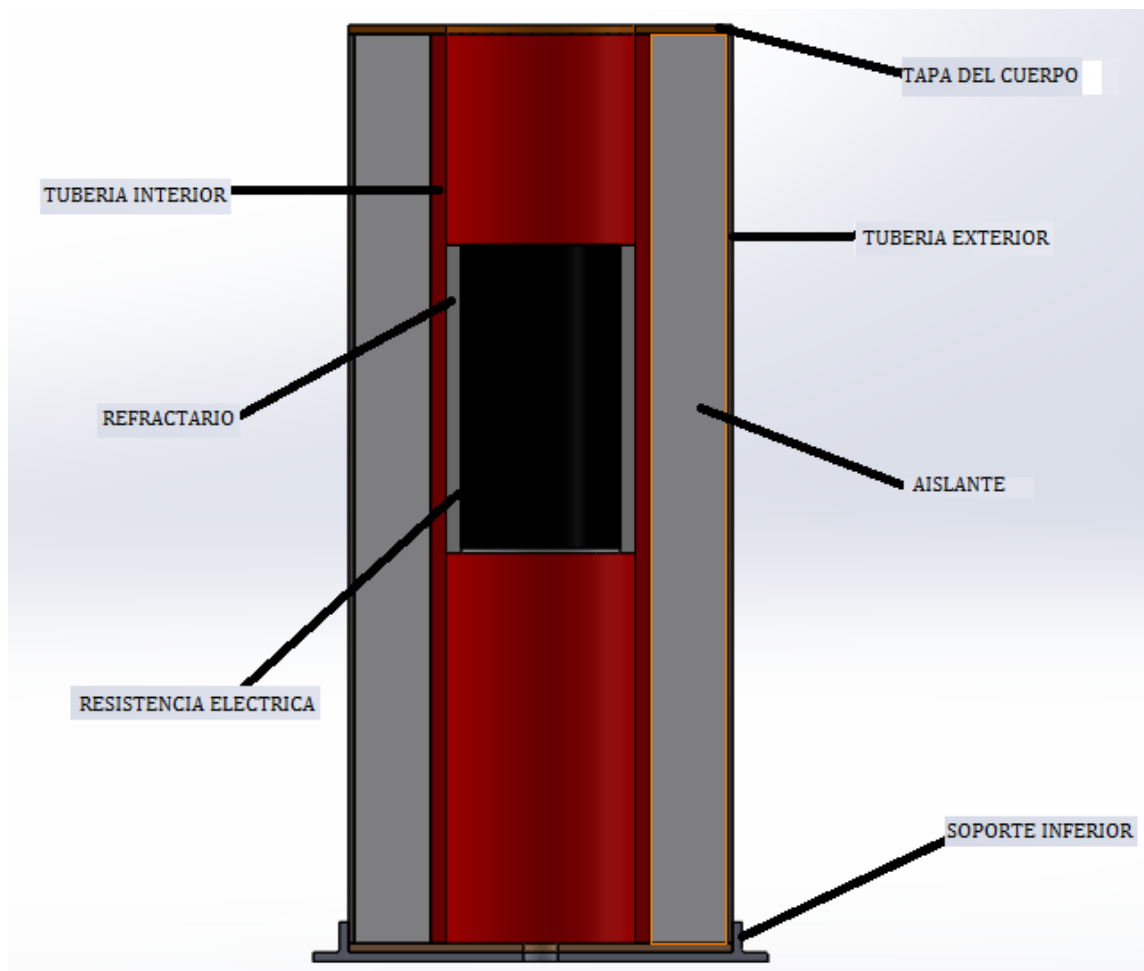
4.2.1 sistema estructural.

Consta de todos los elementos mecánicos del tipo armadura o piezas sin generación de movimiento, es decir, soportes o conectores.

4.2.1.1 cámara del analizador

Recinto o espacio en el cual se deposita la muestra a analizar. En este recinto se alberga la fuente de calor, las conexiones de elementos los cuales soportan o se injertan a la misma, como es el caso de la balanza, los ductos de entrada y salida para el gas halógeno, el mecanismo para abrir y cerrar la tapa del analizador, entre otros. Se debe tener en cuenta la alta temperatura presente para los análisis termo gravimétricos, los cuales, presentan temperaturas que rondan los -100 °C y 1300 °C ³ en gran parte de los casos. La figura 9, muestra el diseño desarrollado para el cuerpo del analizador.

³ INTERACCIONES AMONG BIOMASS COMPONENTS DURING CO-PYROLYSIS IN (MACRO) THERMOGRAVIMETRIC ANALYZER. Key Laboratory for Thermal Science and Power Engineering of Ministry of Education, Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China.14TH APRIL 2016.



Para iniciar con el diseño del cuerpo se fijaron ciertos parámetros para poder iniciar con el proceso de cálculo de transferencia de calor; los parámetros fijados fueron:

- $T_{pared} = 40^{\circ}$. Es la temperatura en la pared exterior del cuerpo o en la superficie final del tubo exterior. Dicha temperatura se elige debido a que esta cara presenta la posibilidad de ser tocada y con ello un potencial peligro.
- $T_{Ambiente} = 28^{\circ}$. Es un punto por encima de la temperatura media, medida en la ciudad de Bucaramanga en el año 2018⁴.
- Longitud del cuerpo= 30 centímetros.
- $T_{muestra} = 800^{\circ}$ Celsius.

⁴ WEATHER PARK. SITIO WEB DE CLIMA [EN LINEA] DISPONIBLE EN:

<https://es.weatherspark.com/y/24381/Clima-promedio-en-Bucaramanga-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

4.2.1.1.1 Transferencia de calor de la cámara.

Una vez fijados los datos anteriores, se construye el diagrama de resistencias térmicas en el cual se puede observar el comportamiento del flujo de calor en la cámara.

FIGURA 9. Diagrama de resistencias de la cámara del analizador.

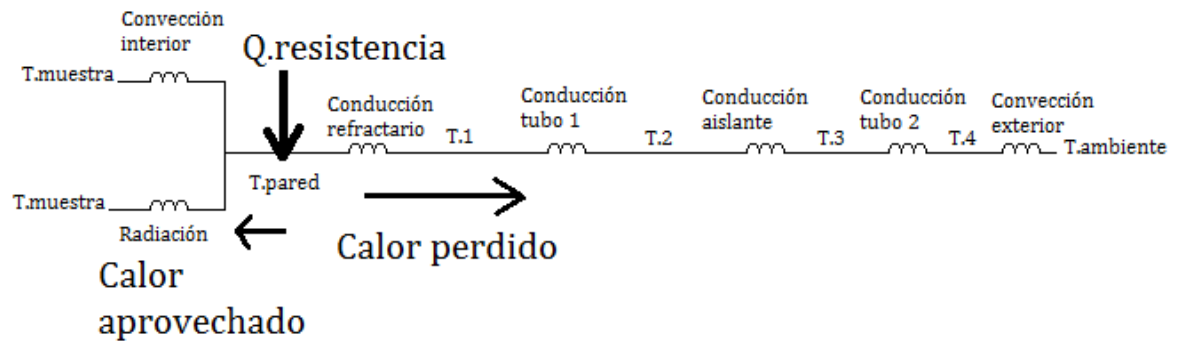
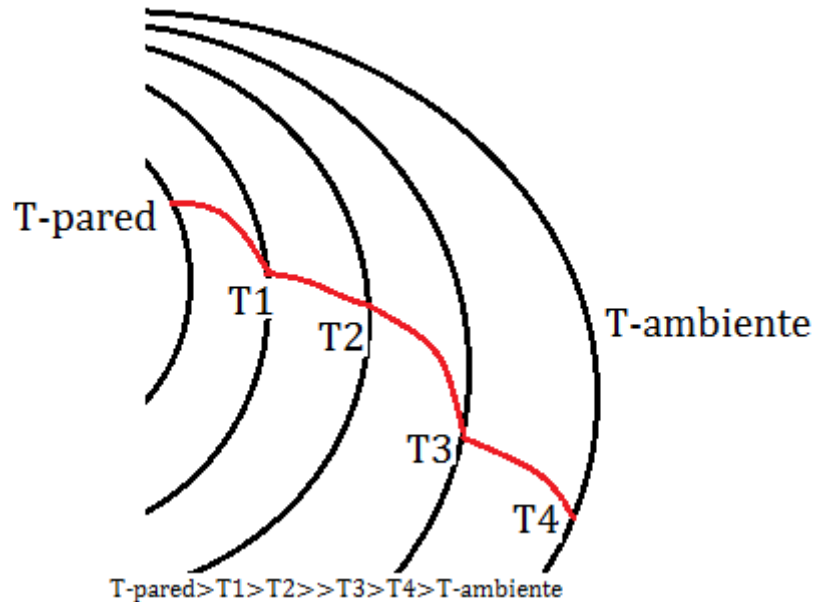


FIGURA 1. Evolución de la temperatura a través de la cámara.



Como se puede observar en la figura 9, solo una parte del calor generado por la resistencia es realmente aprovechada en desarrollo del análisis, por ende, es de procurar que el calor que si es usado sea lo más cercano al producido por la resistencia. La resistencia debe alcanzar temperaturas de pared superiores a los 800° Celsius para lograr cumplir con la dirección de flujo de calor hacia la muestra a analizar. Con base a esto se procede a

seleccionar una RESISTENCIA DE BANDA AISLADA CON CERAMICA del catálogo de la empresa Polimex (ver anexo D), la cual nos brinda una temperatura de pared de hasta 875° Celsius y una generación de calor de 45 W/cm^2 , las cuales suplen con el requerimiento anterior. A su vez, es de prever, que no todos los análisis se desarrollaran a esta temperatura, es solo que se fija este valor en los cálculos debido a que es la condición de mayor exigencia energética en este diseño. Para valores de temperatura menores, se empleará un controlador programable o PLC, cuya función es la de variar los anchos de pulso o PWM de la resistencia y con ello la potencia entregada por la resistencia.

4.2.1.1.2 selección de parámetros estándar.

Al continuar con el proceso de cálculo de transferencia de calor, se debe seleccionar parámetros estandarizados tales como tipo de tubería, espesor de tubería, conductividad térmica, tipo de aislante, conductividad del aislante, tipo de refractario, conductividad del refractario y geometría del refractario. Para ello, se seleccionan los siguientes elementos:

- Espesor de tubo interior= 5.16 milímetros o calibre 40 en tubería de acero. elegir elementos estandarizados facilita el mantenimiento del equipo como a su vez su fácil disposición y adquisición. Ver anexo A, catálogo de tubería Schedule 40.
- Espesor de tubo exterior: 2 milímetros. Espesor estándar para tubería comercia de acero inoxidable. Ver anexo B, catálogo de tubería inoxidable.
- Conductividad térmica del tubo interior= $26.63 \text{ W/m}^{\circ}\text{k}$. extrapolación de la conductividad térmica de la tubería de acero Schedule 40, a temperatura media de 800°.
- Conductividad térmica del tubo exterior= $15.08 \text{ W/m}^{\circ}\text{k}$. extrapolación de la conductividad térmica de la tubería AISI 304, a temperatura media de 40°.
- Conductividad térmica del aislante= $0.144 \text{ W/m}^{\circ}\text{k}$. conductividad térmica del papel cerámico. Este aislante fue elegido por ser flexible y con la posibilidad de amoldarse

a la forma de la tubería usada, además de presentar varios valores de espesores. Ver anexo C, catálogo del papel cerámico.

- Conductividad de la Alúmina: $25 W/mk$. Valor promedio de la conductividad de la alúmina a 800° Celsius.

Para finalizar, se realiza un proceso iterativo (ver anexo E) con el fin de obtener los diámetros que mejor se adapten a las condiciones fijadas pasos atrás, este proceso culmina cuando se posean dimensiones estandarizadas de los materiales y se logre asegurar sus propiedades mecánicas y térmicas a las condiciones de operación. Las dimensiones derivadas para la cámara de un analizador termogravimetrico con las condiciones nombradas anteriormente son:

- Una sección refractaria elaborada con alúmina en forma cilíndrica con las siguientes dimensiones, diámetro exterior $\varnothing = 2.5$ pulgadas, espesor de 5 milímetros y longitud de 100 milímetros.
- Tubería interior de acero Schedule 40 (norma ASTM A 312) de $\varnothing 2\frac{1}{2}$ ", grosor 5.16 milímetros y 300 milímetros de longitud.
- Capa de aislante de espesor 26 milímetros de fibra cerámica, ver anexo C de catálogo de la fibra cerámica.
- Capa exterior de tubería inoxidable AISI A36 de diámetro $\varnothing = 5$ " pulgadas, calibre 14 y longitud 300 milímetros.
- Tapa superior e inferior elaborada con lámina hot rolled calibre 18, norma ASTM A36

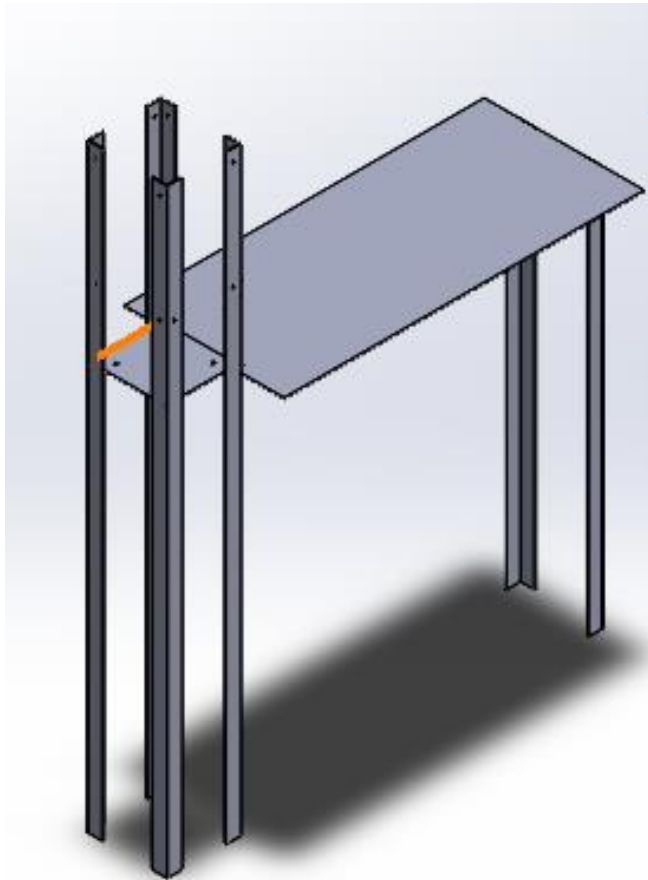
4.2.1.2 Bastidor.

Es la armadura que soporta el analizador. En esta armadura se encuentra contenido la cámara de análisis, sistema de control electrónicos, sistemas de control hidráulico, sistemas móviles de acople y desacople, bomba, motores y la placa de soporte para incorporar el equipo de muestra de datos.

Este bastidor presenta una forma estándar con 6 pilares de perfil de acero ASTM A36 unidos mediante soldadura con otras piezas de perfil del mismo tipo, (ver anexo F para catálogo de

los perfiles y anexo G planos mecánicos del analizador). Aspectos de manufactura al momento de realizar la construcción se especificarán como mayor detalle en ítems posteriores. La figura 11 brinda el diseño del bastidor.

FIGURA 10. Bastidor.

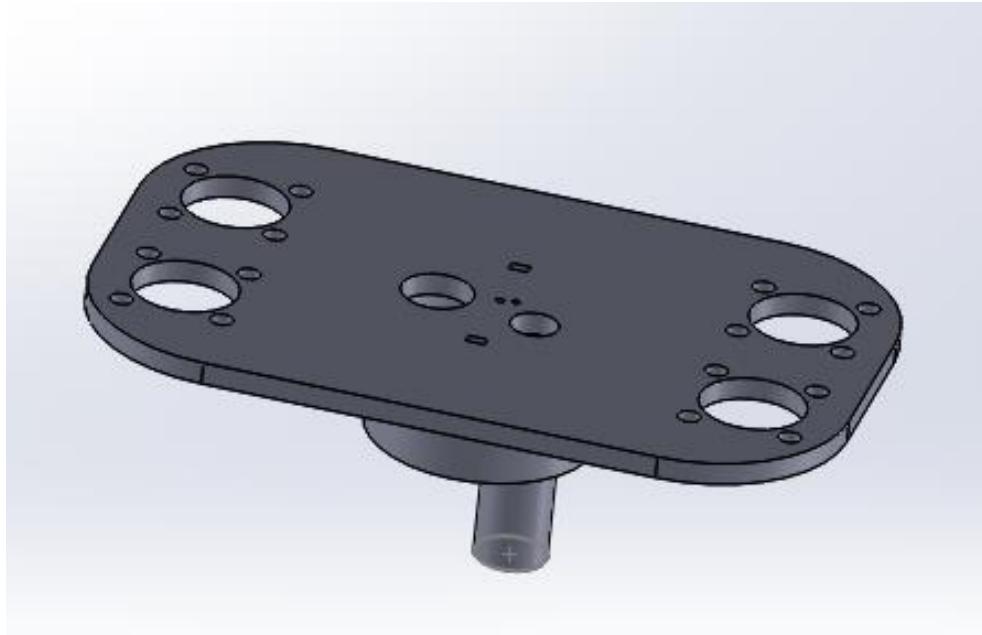


4.2.1.3 Tapa superior.

En el proceso de análisis termogravimétrico se debe garantizar una atmósfera que sea inerte en el interior de la cámara, a su vez, se debe tener acceso a ésta, para posicionar la muestra o remover los residuos de la misma. Para ello se ve necesario, poseer un objeto móvil que brinde la posibilidad de realizar las actividades nombradas anteriormente. La tapa superior o de apertura y cierre de la cámara es la designada a realizar esta función. Esta pieza consta de una lámina hot rolled calibre 18 con una inserción de tubería de acero Schedule 40 de

$\varnothing 2\frac{1}{2}$ " unida mediante soldadura y un con un sello hermético de sugru⁵ ubicado en el diámetro exterior del analizador. La figura 12, brinda una imagen de la tapa superior.

FIGURA 11. Tapa superior.



4.2.1.4 Tablero de regulación y control.

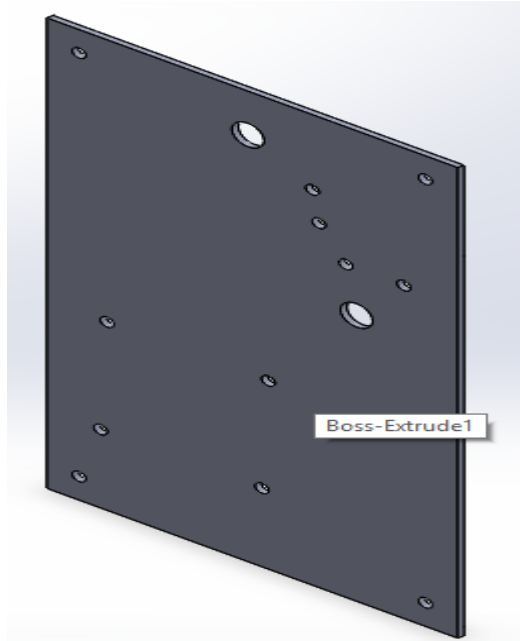
El tablero de regulación y control contiene la unidad de control lógico programable (P.L.C) y la válvula reguladora de caudal encargada del suministro controlado del gas halógeno desde el contenedor a la cámara de análisis. El tablero posee perforaciones para lograr unir los elementos necesarios al mismo mediante sujetadores, a su vez, cumplen la función de brindar caminos para el posicionamiento de la línea de gas halógeno⁶. Este tablero a su vez

⁵ SUGRU: también conocido como formerol, es una clase de silicona multiusos con cierta familiaridad con la arcilla de moldear. Entre los usos más frecuentes de esta silicona se encuentran sellar y hermetizar recintos, siendo usada inclusive bajo condiciones de vacío.

⁶ Gas halógeno: gas utilizado para generar atmosferas inertes con ausencia de oxígeno para evitar la ignición de combustión. Como ejemplo de gas halógeno se encuentra el aire sintético, hidrogeno, helio, entre otros.

se encuentra unido a la al bastidor del analizador por medio de otros sujetadores del tipo tornillo con sus respectivas tuercas.

FIGURA 12. Tablero para elementos de control



4.2.2 sistema de control y medición.

El análisis termogravimétrico debe cumplir con ciertas condiciones y secuencias para lograr unos resultados confiables en las curvas de descomposición térmica. Condiciones de atmósfera inerte mediante suministro de gas halógeno, control del flujo volumétrico a la cámara de análisis (convección interior natural⁷), purga de la cámara antes del ingreso del gas, censado de la temperatura, control de temperatura, control de peso de la muestra, unidad central de control, cierre y apertura de la cámara y procesamiento de datos, son factores que necesitan una intervención y vigilancia constante antes, durante y después de

⁷ Convección natural: tipo de transferencia de calor en el cual el movimiento del fluido se realiza por medio de diferencia de densidades presentes en un espacio que puede ser abierto o cerrado.

la ejecución del estudio, por ello, es necesario el uso de sensores y actuadores que nos permitan inspeccionar, conocer y actuar en dichos ítems según sea necesario.

4.2.2.1 unidad de control lógico.

Esta unidad es la encargada de controlar todas las operaciones y elementos del analizador, a su vez, debe poseer un panel didáctico de interfaz entre el usuario y la máquina, esto para lograr una fácil operatividad.

Este analizador cuenta con un PLC SIEMENS logo V8 12/24 RC. Este PLC es un controlador básico que cuenta con 8 entradas y 4 salidas con relevadores de hasta 10 amperios y un rango de tensión de 12 a 24 voltios DC, compatible con sistemas operativos tipo Windows, Mac o Linux, display incorporado dentro del panel central y un lenguaje de programación gráfico, todo esto sin perder funciones propias de un PLC de mayor capacidad.

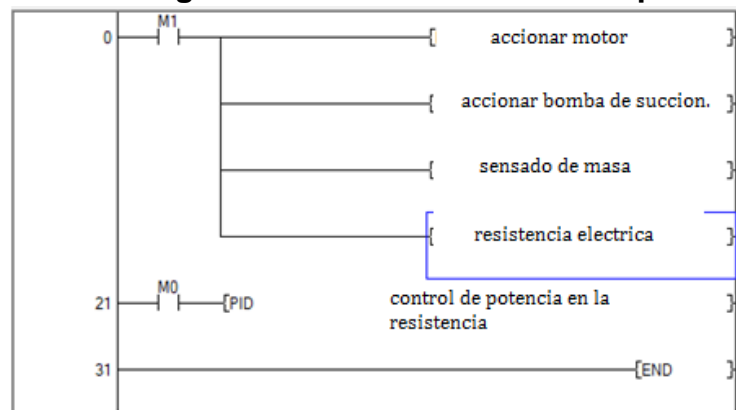
FIGURA 13. PLC siemens logo V8.



Fuente: W5. SIEMENS, PLC LOGO V8. [en línea] disponible en: https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/logo/pages/default.aspx

Los elementos de control a cargo de este PLC serán el motorreductor, la resistencia eléctrica, el mecanismo de censado de peso, y la bomba de succión de oxígeno de la cámara. Estas variables vistas desde un modelo de programación escalonado se verían como en la imagen 15.

FIGURA 14. Diagrama de variables de control para el PLC.



4.2.2.2 Temperatura.

La temperatura es un parámetro de crucial importancia en un analizador termo gravimétrico, esto debido a que, con él, se debe determinar el comportamiento másico de una muestra a una determinada temperatura o a una tasa de calor predeterminada, por ello, se debe mantener un censo y control de la misma. Con base a el censo de la esta cuantificación se realiza por medio de un termopar tipo J modelo JMI-107 de diámetro de tubería de 3/16" y aislante de fibra de vidrio con malla (ver anexo H sobre el catalogo del termopar), la cual tiene un alcance hasta 1030° Celsius.

FIGURA 15. Termopar tipo j modelo JMI-107.



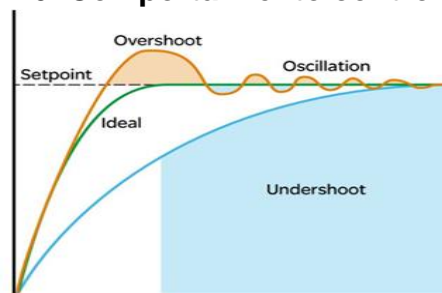
Fuente: Jm industrial technology, termopar tipo J. [en línea] disponible en: https://www.jmi.com.mx/catalogo_sensores/JMI-100-proposito-gral.pdf

Como es necesario, alcanzan y mantener una temperatura, se ve la necesidad de incorporar un tipo de controlador que logre mantener una temperatura fija sin una gran margen de oscilación para obtener resultados óptimos y correctos.

4.2.2.3 Control PID.

El diseño del analizador cuenta con un controlador proporcional integral y diferencial encargado de regular la temperatura interior de la cámara, por medio la variación de los anchos de pulso o PWM de la resistencia mencionada en la descripción de la cámara. En la figura 16, se observa el comportamiento de un control PID.

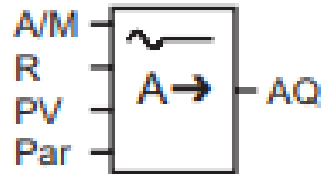
FIGURA 16. Comportamiento control PID ideal.



Fuente: EURO THERM Auto tuning pid control in a PLC EPLC [en línea] disponible en: <https://www.eurotherm.co.uk/lp/auto-tuning-pid-control-in-a-plc-eplc/>

Las constantes correspondientes al control PID son calculadas mediante los bloques de programación del PLC logo V8. Esto se logra implementando el bloque de controlador PI en el LOGO!Soft Comfort (software de programación para el PLC logo), en la figura 18 se puede observar el bloque de controlador PI.

FIGURA 17. Bloque de control PI.



Este bloque realiza autoajustes a las constantes del controlador mediante un proceso iterativo con respecto a la referencia indicada, a este proceso iterativo se denomina prueba piloto y es particular de esta clase de PLC. Para obtener información más detallada sobre el funcionamiento de los bloques del control ver anexo I del manual del PLC logo V8.

4.2.2.4 sistema de control de peso.

La base principal de un analizador termogravimétrico es el control minucioso de la variación de la masa de la muestra, para suplir esta necesidad, el censado de la masa de la muestra se realiza mediante una celda de carga de punto simple de alta precisión. LP 7166 es la referencia de este instrumento y en la figura 18 se observa la celda de carga directamente del catálogo de la empresa LOCOSC.

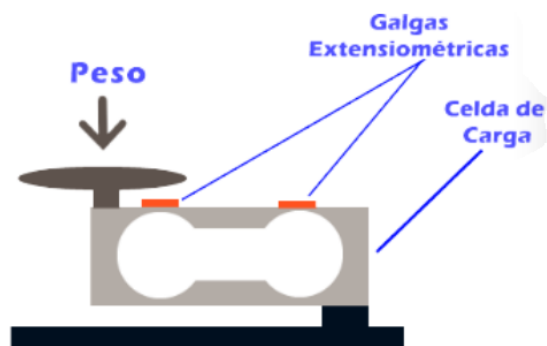
FIGURA 18. Celda de carga LP 7166.



Fuente: LOCOSC, single point load cell [en línea] disponible en: <https://www.locosc.com/LP7166-Single-point-Load-Cell-pd6878119.html>

Esta celda posee un rango de censo de 0 a 2.5 kg, con una alta sensibilidad de 0.2 mV/V, la cual es idónea para lograr detectar las más mínimas variaciones de masas en la muestra. El funcionamiento de la celda de carga se debe a la deformación de la barra debido al peso ejercido por la muestra, esta deformación es detectada por una galga extensométrica la cual transforma la tensión de salida en las fluctuaciones másicas de la muestra analizada. En la figura 19, se observa más detalladamente la posición y funcionamiento de la celda de carga.

FIGURA 19. Funcionamiento de la celda de carga.



Fuente: LOGICBUS Celdas de carga [en línea] disponible en: http://www.logicbus.com.mx/celdas_de_carga.php

Este elemento se encuentra instalado en la tapa superior (ver figura 20) y se conecta mediante una extensión de acero del tipo varilla a el portamuestras que está hecho de tubería de acero ASTM A312 de \varnothing 2". En la figura 21 se observa el ejemplo nombrado anteriormente.

FIGURA 20. Posicionamiento celda de carga en la tapa superior.



FIGURA 21. Portamuestras.



4.2.2.5 Sistema de accionamiento.

Al requerir un cierre y apertura de la cámara de análisis del tipo automático, se implementa un motorreductor eléctrico de 24 Voltios con una velocidad angular de 80 revoluciones por minuto (rpm) y un par de 7 kg-cm. Este motor es controlado mediante el PLC logo y mediante

El eje de salida del motor está conectado mediante un acople flexible 724.06.0d6.14 (ver catálogo de acople en el anexo J) el cual posee un acople con relación de diámetros de 6/14 con un diámetro de entrada de máximo 6 milímetros y de salida de 14 milímetros. Este acople une al motorreductor con una varilla roscada de $\varnothing \frac{1}{2}$ " de rosca métrica y 7" de largo, la cual va unida a la tapa superior y es la responsable de abrir y cerrar este elemento de manera automática mediante la orden del PLC logo. Este movimiento es necesario para incorporar la muestra a analizar y retirar el residuo al finalizar el análisis. La figura 24 muestra la varilla roscada mencionada anteriormente.

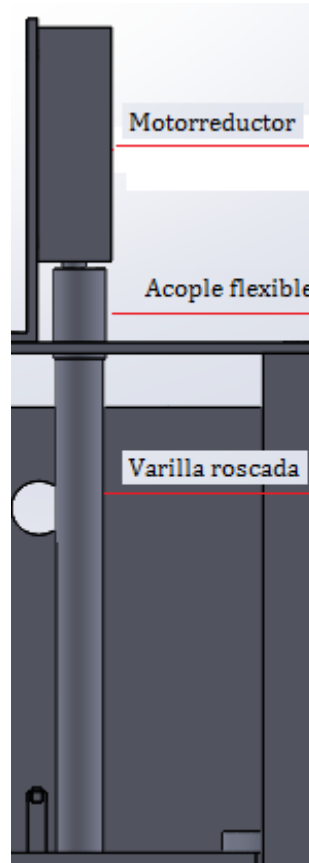
FIGURA 24. Varilla roscada.



Fuente: tejonindustrial, tornillería-varilla roscada-rosca métrica [en línea] disponible en: <http://tejonindustrial.com/default/productos/tornilleria/varilla-roscada/varilla-roscada->

Esta varilla se introduce a la abertura roscada de la tapa superior, generando un sello mecánico el cual impide el escape masivo del gas inerte usado durante el análisis. En la figura 25 se puede observar el sistema de accionamiento nombrado anteriormente.

FIGURA 25. Sistema de accionamiento en el analizador.



4.2.2.6 control de caudal del gas halógeno.

Poseer un caudal controlado de entrada a la cámara es de vital importancia para evitar la flotabilidad del porta muestras y a su vez para aprovechar en su mayoría el calor generado por la resistencia eléctrica. Al realizar el diseño el prototipo de este analizador se eligió un flujo volumétrico de *1litro/min*, este flujo fue usado en “Interactions among biomass components during co-pyrolysis in (macro) thermogravimetric analyzers” referenciado anteriormente, en el cual se define este valor como como un valor óptimo para evitar la flotabilidad y obtener comportamientos térmicos de la muestra acordes con los procesos industriales. El control de este caudal se realiza mediante una válvula neumática FESTO, esta válvula es del tipo estrangulación y antiretorno, subtipo VFOC estándar la cual presenta

una restricción de caudal de $0 - 270 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}$. En la figura 23 se puede observar esta válvula, para cualquier información adicional sobre este elemento ver anexo K.

FIGURA 26. Válvula reguladora de caudal FESTO VFOC.



Fuente: FESTO, válvulas reguladoras de caudal. Página 20. VFOC estándar [en línea] disponible en: www.festo.com

Las conexiones flexibles necesarias para unir la fuente de gas con la válvula y la cámara se cumplen mediante tubería flexible de $\varnothing 6mm$ por un longitud de 3 metros contenida en dos parte una de 50 cm utilizada para el tramo de la salida de la válvula a la cámara y la otra de 2.5 metros para el tramo de la fuente de gas a la entrada de la válvula de regulación. A su vez, es necesario una tubería flexible de $\varnothing 1/2"$ de 2 metros de longitud implementada en la salida de la cámara.

FIGURA 27.Tubería flexible FESTO.



Fuente: FESTO, tuberías flexibles pun, pun duo, tubería neumática y vacío. [en línea] disponible en: www.festo.com

Conectar la tubería flexible a la cámara se realiza mediante dos conectores racores rápidos roscados de la serie QS estándar roscada de radio 1/2. En la figura 27 y 28 se pueden observar las tuberías flexibles y los conectores racores respectivamente.

FIGURA 28.Conectores racores FESTO



Fuente: FESTO, conectores Racores tipo T, rosca métrica. [en línea] disponible en: www.festo.com

4.2.2.7 bomba de succión de aire.

Eliminar la mayor cantidad de aire en el interior de la cámara de análisis es de vital importancia. Esto es debido a que la mayoría de pruebas o análisis de termogravimetría se deben realizar bajo condiciones de atmosferas inertes, este factor es para eliminar la posibilidad de combustión en la muestra a analizar y por ende generar una alteración en el comportamiento térmico de la misma.

Para ello es necesario implementar una bomba de succión. Como el volumen de la cámara es aproximadamente 900 cm^3 el cual es un volumen bastante bajo, no es necesario seleccionar una bomba muy grande. Para esta tarea se usará la bomba de vacío Goplus 4CFM de 1/3 HP. Esta bomba es pequeña, pero de potencia suficiente para lograr un vaciado de la cámara en solo 3 minutos.

FIGURA 29. Bomba de succión Go plus 1/3 hp.



Fuente: Mercado libre Colombia. Bomba de vacío de baja potencia [en línea] disponible en:

<https://www.mercadolibre.com.co/>

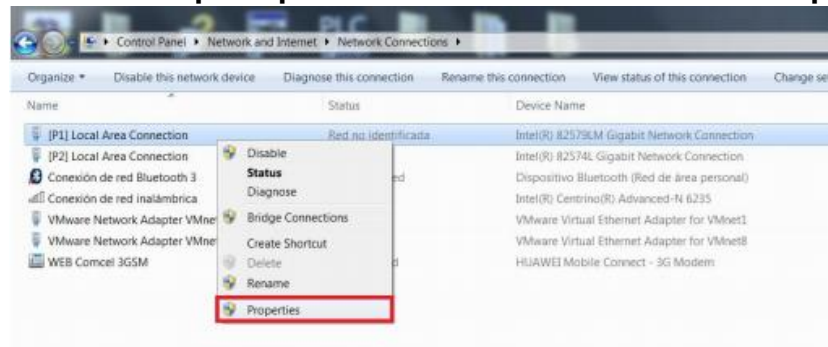
4.2.3 interfaz de datos.

La visualización y manipulación de los datos obtenidos durante y al finalizar el análisis, es un factor de abrupta importancia, dado que la manipulación de los mismos para determinar la veracidad y buena praxis del análisis es el objetivo final del diseño de este proyecto.

Para ello, se realiza una interfaz entre el PLC logo V8 y una unidad del tipo ordenador (computador personal) mediante el LOGO! Soft confort.

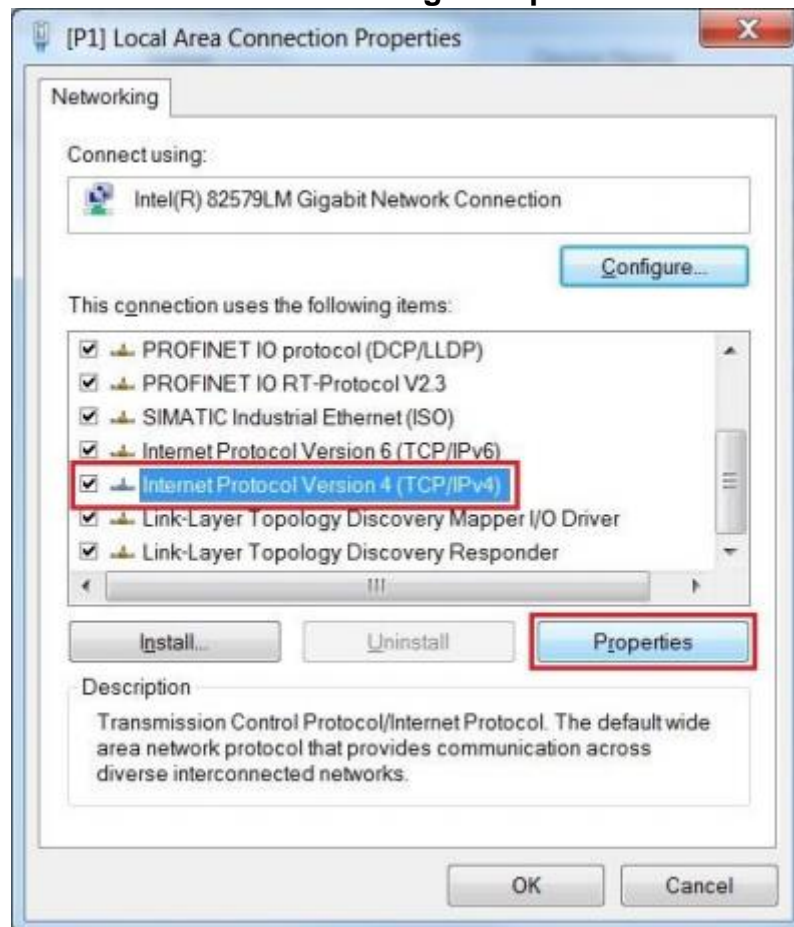
- En los ordenadores tipo Windows se ingresa a panel de control- network and internet- internet connections y finalizamos en propiedades. Ver figura 24.

FIGURA 30. Primer paso para realizar la conexión PLC- computador.



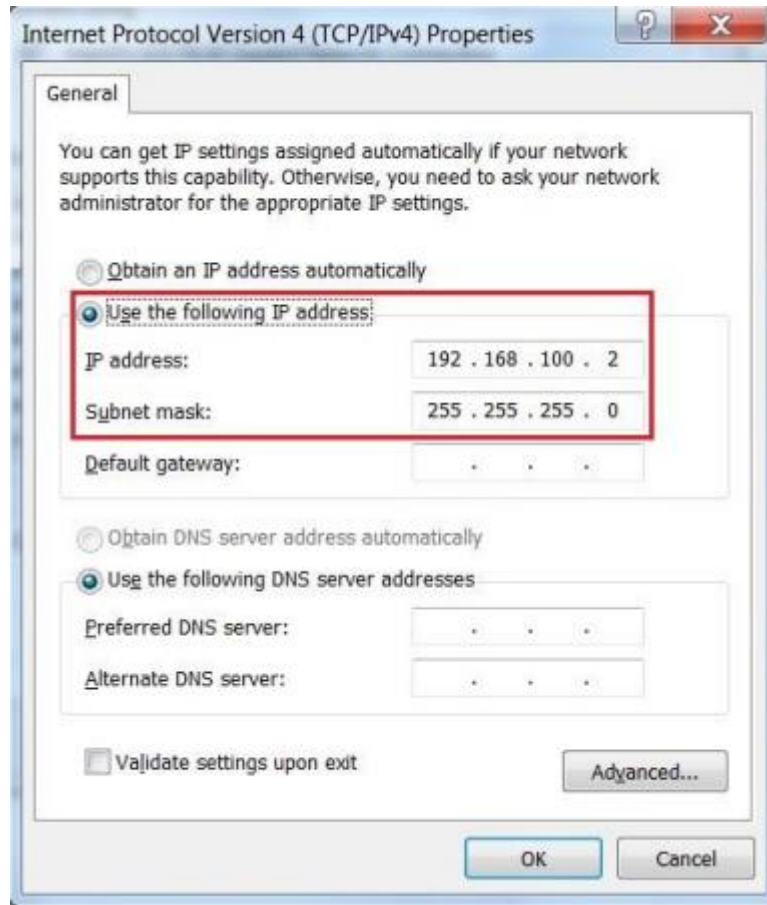
- Selecciona en la ventana desplegada el ítem internet protocol versión 4 (TCP/IP) y click en propiedades. Ver figura 25.

FIGURA 31. Segundo paso.



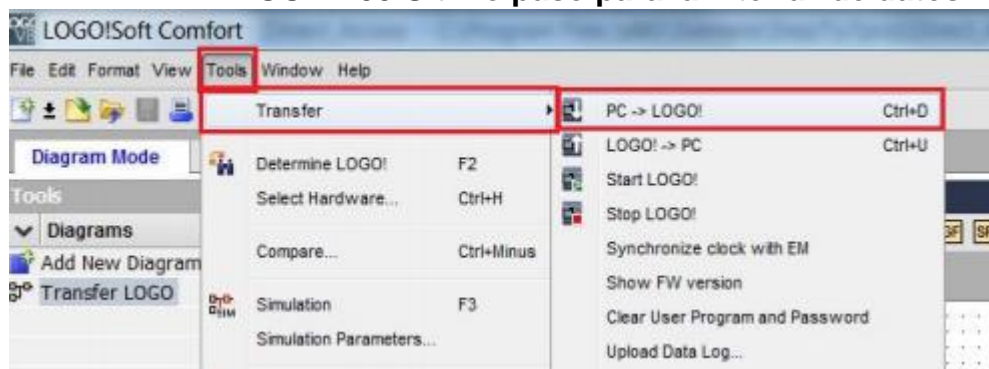
- Se selecciona use the following IP address se especifica la dirección IP 192.168.100.2 con máscara de subred 255.255.255.0, por último, se hace click en aceptar. Ver figura 26.

FIGURA 32.Tercer paso.



- Para finalizar se conecta el PLC logo al computador mediante el cable o conector ethernet, posteriormente se ingresa al logo confort y se procede a presionar los siguientes comandos para entrelazar estos dos equipos. Tools -> Transfer -> PC->LOGO. Ver figura 27.

FIGURA 33.Ultimo paso para la interfaz de datos.



4.3 procesos de manufactura.

Al realizar la construcción de este analizador se requieren de procesos de corte, soldadura, sujeción, pulido y desgaste, con el fin de lograr las dimensiones requeridas previamente estipuladas. En esta sección se especifican los tipos de procesos de manufacturas empleados para la construcción de este analizador termogravimétrico, a su vez, se indican en que partes fueron necesarias dichos procesos.

4.3.1 proceso de corte.

El analizador requiere dimensiones específicas obtenidas del cálculo y elección del diseñador. En esta parte se puede dividir el proceso de corte dependiendo del elemento al que se le realiza la respectiva operación, dado que se requieren diferentes equipos para realizar la operación.

4.3.1.1 corte de tubería metálica y perfiles del bastidor.

Para la cámara del analizador se implementa tubería de acero Schedule 40 y tubería de acero inoxidable AISI 304, estas tuberías son cortadas al largo determinado por los planos del analizador (ver anexo G), a su vez, el bastidor conformado por perfiles estructurales en L según el anexo nombrado anteriormente; El proceso de corte se realiza por medio de una tronadora de 14" de disco y espesor de 1/8", con una potencia de 1800 watts que gira a 3600 RPM. En la figura 28 se puede observar una tronadora.

4.3.1.2 corte de lámina.

Para realizar el corte de las piezas de lámina hot rolled de calibre 18 empleadas en el analizador se implementa una cizalla eléctrica, la cual genera cortes de alta precisión, respetando las tolerancias indicadas en los planos. Para este corte se emplea una cizalla de

tres navajas de corte con cabezal rotatorio de 360 grados y velocidad límite de 2450 RPM. Esta cizalla utilizada genera una alta precisión y entra el material con un corte limpio. La figura 29 muestra la cizalla nombrada.

FIGURA 34. Tronzadora.



Fuente: DeWalt, tronzadora eléctrica 14" 2200 W [en línea] disponible en: <https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/1559699/Tronzadora-14-2200-W/1559699>

FIGURA 35. Cizalla eléctrica Chicago.



Fuente: Chicago Power tools, cizalla eléctrica. [en línea] disponible en: <https://mundoherramientas.cl/marca/chicago-tools/>

4.3.2 limado y pulido.

Limar los cortes en las tuberías para lograr construir la cámara de análisis, a su vez, obtener bordes romos o curvados para brindar seguridad y buenos acabado a las piezas cortadas provenientes de la lámina, es un proceso necesario a realizar para alcanzar un diseño de un buen analizador.

El proceso de limado de estas asperezas se realiza con un limatón de media caña, el cual logra redondear y eliminar los restos de material dejados después del proceso de corte. En la figura 30 se puede observar esta herramienta.

FIGURA 36.Lima de media caña.



Fuente: Tools diloy, lima de media caña 160 mm longitud. [en línea] disponible en:

<https://diloytools.com/es/limas-y-limatones/lic123>

El pulido o satinación de la superficie de las piezas como tubería y piezas de lámina les brinda un aspecto más estético y ayuda a mantener las propiedades del acero. Este proceso se realiza utilizando una pulidora con disco de óxido de aluminio de grano 400, para realizar inicialmente un desbaste de la superficie, posteriormente se usa un rodillo de fibra con lija de grano 80 para finalmente satinar la superficie y pulirla.

Estas herramientas también permiten realizar un desbaste de la tubería, el cual es necesario en la tapa superior del analizador, debido a que se introducen dos elementos por medio de la tolerancia entre ellos.

FIGURA 37. Pulidora de acero.



Fuente: DeWalt, pulidora para acero. [en línea] disponible en: <https://belltec.com.co/pulidoras-de-41-2-y-5-/>

4.3.3 soldadura.

El soldar piezas es necesario principalmente para lograr armar el bastidor y la cámara de análisis, a su vez, piezas como la tapa superior requiere de la unión de dos elementos para lograr su elaboración.

Todas las soldaduras de este equipo se realizan mediante la soldadura TIG (de sus siglas en inglés Tungsten inert gas) la cual brinda un acabado más limpio, presentando un cordón más dúctil, con mayor resistencia y una menor sensibilidad a la corrosión. Esta clase de soldadura posee como única desventaja que es su elevado costo, relativo a las otras alternativas como lo es la soldadura por arco eléctrico y la soldadura MIG. En la figura 32 se puede observar la soldadura TIG.

FIGURA 38. Soldadura TIG.



4.3.4 perforado y elementos de apriete.

Muchos elementos no requieren una adhesión permanente por medio de soldadura, dado que su fácil desensamble para realizar el respectivo procedimiento de mantenimiento es importante. A estas piezas se le realizaron perforaciones por medio de un taladro y brocas de $\frac{1}{2}$ "para acero. Estas perforaciones son requeridas para el juego de tornillo de cabeza hexagonal de $\frac{1}{2}$ "de diámetro y $1 \frac{1}{2}$ de largo. La figura 33 muestra el tornillo cabeza hexagonal con tuerca y en la figura 34 se observan los orificios en los cuales se posicionarían en el analizador.

FIGURA 39. Tornillo cabeza hexagonal con tuerca.



Fuente: tornillería, rosca métrica, tornillo con rosca. [en línea] disponible en: www.mercadolibre.com/tornillería-1/2-tuerca

FIGURA 40. Agujeros para tornillos.



Con todos los procesos descritos anteriormente y con los materiales y parámetro descritos en los ítems anteriores, en la figura 35 se presenta una vista general del prototipo de analizador termogravimetrico, diseñado bajo la herramienta de diseño (software CAD) Solidwork 2018 bajo la licencia adscrita a la escuela de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander.

FIGURA 41. Vista del analizador termogravimetrico.

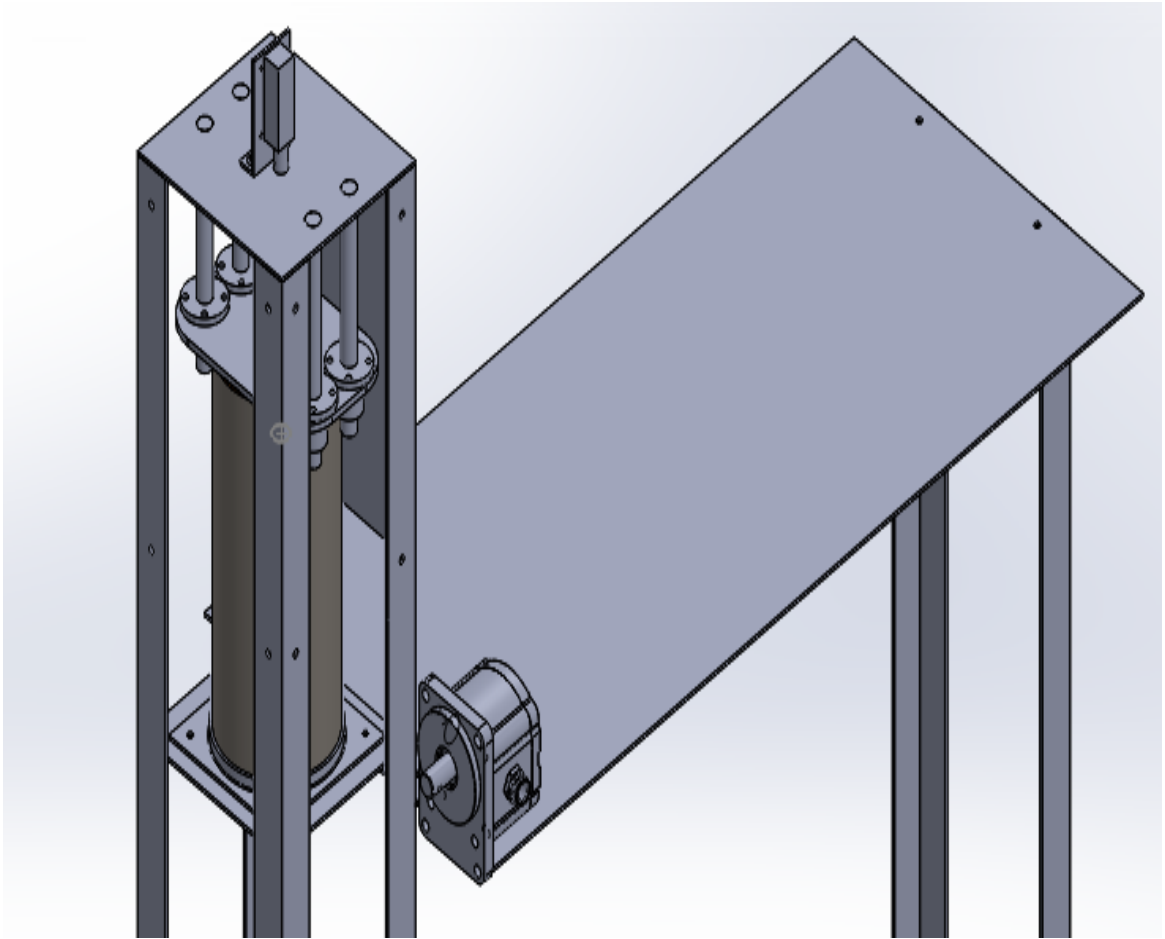
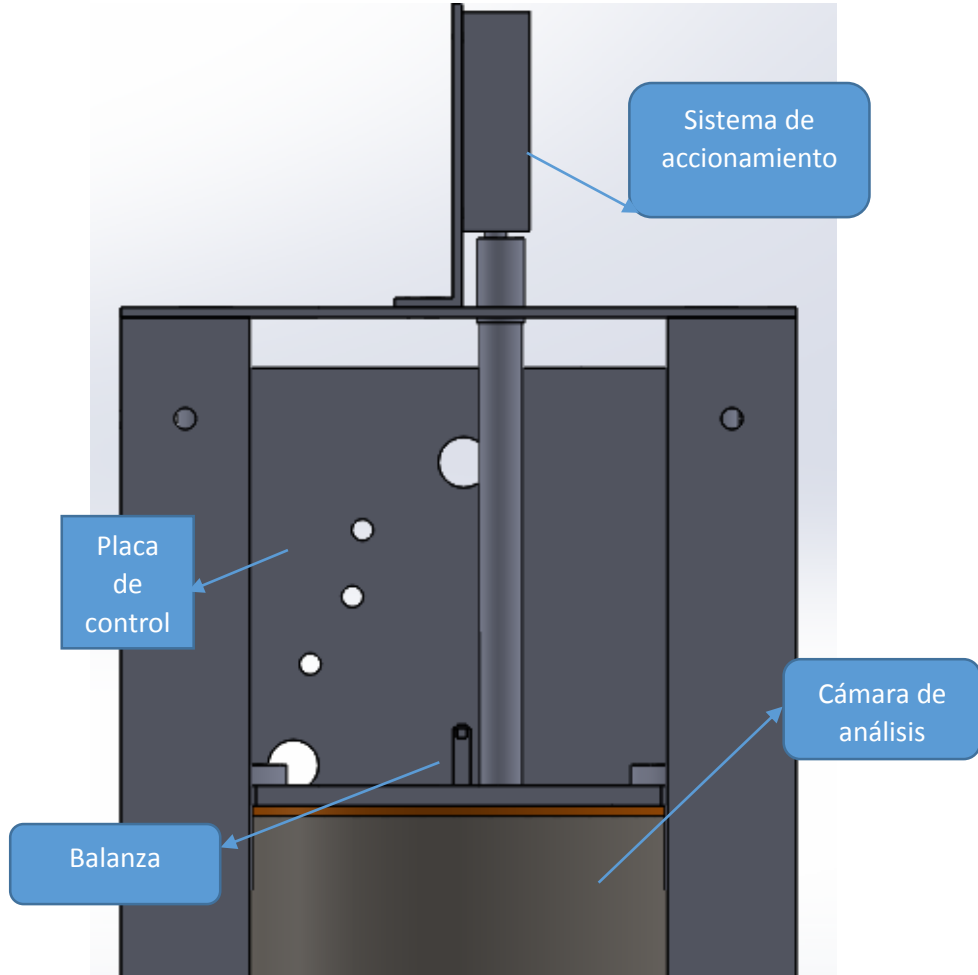


FIGURA 42. Vista detallada.



Para obtener información detallada sobre dimensiones del analizador ver anexo G de los planos del analizador.

4.4 Materiales y especificaciones.

En la tabla 5 se puede observar una lista de materiales usados para lograr construir el analizador termogravimetrico.

Tabla 5. Materiales y especificación del analizador.

ELEMENTOS Y/O PIEZAS	CANTIDAD	MATERIAL	PROCESO	DESCRIPCIÓN
Cámara de análisis				
CÁMARA INTERIOR	1	TUBERÍA ASTM A312	CORTE, LIMADO Y ENSAMBLE	Corte de tubería de acero Schedule 40, redondeo de bordes.
TUBO PILAR DE ALÚMINA	1	OXIDO DE ALUMINIO	ELABORACIÓN MEDIANTE MOLDE	moldeado
AISLANTE	1 ROLLO	LANA CERÁMICA	N.A	Rodear cámara interior y cortar.
TUBERÍA EXTERIOR	1	AISI 304	CORTE, LIMADO Y ENSAMBLE	Corte tubería de acero inoxidable, redondeo de bordes.
SOPORTE SUPERIOR E INFERIOR	2	ASTM A36 CAL 18	CORTE, LIMADO Y SOLDADURA TIG.	Partes que unen la cámara en una pieza mediante la soldadura tig.
RESISTENCIA DE BANDA CERÁMICA	1	N.A	ENSAMBLE	Resistencia de alta temperatura, sujeta al tubo pilar refractario.
Bastidor				

ELEMENTOS Y/O PIEZAS	CANTIDAD	MATERIAL	PROCESO	DESCRIPCIÓN
PERFILES ESTRUCTURALES	2	HIERRO 35X4X6100	CORTE, LIMADO Y SOLDADURA TIG.	Corte de los perfiles angulares, limado de asperezas y soldadura con piezas indicadas.
LAMINA DE SOPORTE.	1	ASTM A36 CAL 18	CORTE Y PERFORACIÓN.	Ensamble mediante pernos a la estructura de perfiles.
BASE DEL ANALIZADOR	1	ASTM A36	CORTE Y SOLDADURA	Ensamble y soldadura en los perfiles estructurales.
Elementos estructurales				
TAPA SUPERIOR	1	ASTM A36 CAL 18 Y ASTM A312	CORTE, PERFORACIÓN, DESGASTÉ Y SOLDADURA TIG.	Ensamble de la lámina terminada con la tubería ya desgastada en su exterior mediante soldadura TIG.
TAPA	1	ASTM A36 CAL 18	CORTE Y PERFORACIONES	Ensamble mediante pernos con el bastidor.
SOPORTE MOTOR	1	ASTM A36	CORTE, DOBLEZ Y PERFORACIÓN	Ensamble para el motor junto con la tapa.
PLACA DE DISPOSITIVOS	1	ASTM A36	CORTE Y PERFORACIÓN	Elemento para colocar los dispositivos de control

ELEMENTOS Y/O PIEZAS	CANTIDAD	MATERIAL	PROCESO	DESCRIPCIÓN
PORTA ANALIZADOR	1	ASTM A36 CAL 18 Y ASTM A312	CORTE, PERFORACIÓN, DESGASTÉ Y SOLDADURA TIG.	Ensamble de la lámina terminada con la tubería ya desgastada en su exterior mediante soldadura TIG.
PLACA DE SOPORTE	1	ASTM A36	CORTE, PERFORACIONES, SOLDADURA TIG Y ROSCADO	Ensamble con el porta analizador por medio de pernos y tuercas
BARRA GUÍA	4	ALUMINIO	CORTE, RECTIFICADO Y SOLDADURA	Guías de la tapa superior soldadas en un extremo con la tapa.
Elementos de control y movimiento				
PLC SIEMENS LOGO V8	1	N.A	AUTOMATIZACIÓN	Autómata programable
COMPUTADOR	1	N.A	INTERFAZ DE USUARIO	Interfaz de manipulación de datos.
MÓDULO DE LOGO DE PESAJE	1	N.A	AUTOMATIZACIÓN	Módulo de 1 canal para mediada de celdas de carga.

ELEMENTOS Y/O PIEZAS	CANTIDAD	MATERIAL	PROCESO	DESCRIPCIÓN
SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA	1	N.A	AUTOMATIZACIÓN	Protección.
SUGRU (SILICONA DE ALTA TEMPERATURA)	3 METROS	N.A	ENSAMBLE	Sellado
MOTORREDUCTOR	1	N.A	AUTOMATIZACION	Desplazamiento de la tapa superior
CONEXIONES, FUENTES Y DRIVERS DEL MOTOR	1	N.A	AUTOMATIZACION	Conexiones necesarias y elementos para el funcionamiento del motorreductor.
CELDA DE CARGA DE PUNTO FIJO, LOCOSC.	1	N.A	MEDICIÓN DE MASA	Mide la masa de la muestra
PORTAMUESTRAS	1	ASTM A312	CORTE, SOLDADURA TIG.	Corte de tubo 2" y soldado mediante soldadura TIG a la lámina de base.
VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL FESTO.	1	N.A	CONTROL DE CAUDAL	Restringe el paso del gas inerte.
TUBERÍA FLEXIBLE FESTO	2 METROS	N.A	DISTRIBUCIÓN	Distribución del gas inerte hacia la cámara de análisis.

ELEMENTOS Y/O PIEZAS	CANTIDAD	MATERIAL	PROCESO	DESCRIPCIÓN
RACORES ROSCADOS	3	N.A	ENSAMBLE	Conexiones roscadas.
BOMBA DE SUCCIÓN	1	N.A	AUTOMATIZACIÓN	Succión de aire en la cámara.
ACOPLE FLEXIBLE	1	N.A	UNIÓN	Unión entre el motor y la extensión
VARILLA ROSCADA	1	ACERO	MOVIMIENTO	Movimiento de la tapa superior
TERMOCUPLA TIPO K	1	N.A	AUTOMATIZACIÓN	Sensor de temperatura
CONEXIONES ELÉCTRICAS Y FUENTES DE PODER	1	N.A	AUTOMATIZACIÓN	Elementos de conexión y fuentes necesarias para el funcionamiento del analizador.

4.5 DATOS ECONOMICOS DEL ANALIZADOR

Al realizar un diseño en detalle, es de suma importancia no solo contar con las especificaciones de los elementos a usar, si no, a su vez las con el valor de cada uno de ellos, para poseer una idea del gasto o inversión económica que se debe llevar a cabo para lograr la construcción del mismo. La tabla N.12 nos presenta de forma detallada el los elementos o equipos a usar, la cantidad de cada uno, el precio y sobre todo el lugar en el cual se realizó la consulta del precio.

Tabla 6. Inversión para el analizador.

contenido detallado del costo del analizador				
ITEM	CANTIDAD	DISPOSICION	PRECIO	FUENTE
SIEMENS PLC LOGO V8	1	UNIDAD	980000	SIEMENS
MODULOS DE EXPANSION DM8 Y AM2 RT	1C/U	UNIDAD	600000	SIEMENS
FUENTE DE ALIMENTACION SITOP LOGO!Power, 24 V / 1,3 A	1	UNIDAD	180000	SIEMENS
TUBERIA ASTM A312 SCHEDULE 40 ϕ 2,5"	1	TUBO	250000	INOXRIENTE
ALUMINA REFRACTARIA	1	KILOGRAMO	300000	REMET S.A
LANA CERAMICA	1	ROLLO 1X0,6 MTS	150000	MERCADO LIBRE
RESISTENCIA DE BANDA CERAMICA	1	N.A	80000	TODOELECTRICOS
LAMINA ASTM A36 CAL 18	2	1,5X3 METROS	140000	WESCO S,A
TUBERIA AISI 304 5" ESPESOR 2,5 MM	1	TUBO	180000	INOXRIENTE
PERFILES ESTRUCTURALES GRADO 304 ACABADO T1	2	1"X1"X1/8"	400000	WESCO S,A
GUIAS DE ALUMINIO	1	1/2"X2MTS	50000	WESCO S,A
SISTEMA DE PROTECCION ELECTRICO	1	BREAKERS 30A	50000	TODOELECTRICOS
SUGRU(SILICONA DE ALTA TEMPERATURA)	1	CONTENEDOR	120000	MERCADOLIBRE
MOTOREDUCTOR 24V 80rpm 7kgCm 1:90	1	UNIDAD	52000	VISTRONICA
VARILLA ROSCADA	1	1/2"X2MTS	15000	WESCO S,A
ACOPLE FLEXIBLE	1	1/4"-1/2"	35000	MULTIACOPLES
MODULO HX711	1	UNIDAD	10000	VISTRONICA
válvula reguladora de caudal FESTO VF0C.	1	UNIDAD	280000	FESTO
RODAMIENTO LINEAL LMK8LUU	4	UNIDAD	80000	VISTRONICA
conectores Racores tipo T 1/2"	6	UNIDAD	120000	FESTO
bomba de succión Go plus 1/3 hp.	1	UNIDAD	750000	MERCADOLIBRE
CELDA DE CARGA DE PUNTO FIJO 3KG	1	UNIDAD	900000	DIRECINDUSTRY
ELEMENTOS ELECTRICOS DE CONEXIÓN	1	N.A	100000	TODOELECTRICOS
CORDONES DE SOLDADURA T.I.G PULIDA	2	1METRO	200000	FINOX
DOBLADO DE PIEZAS	N.A	N.A	200000	FINOX
PERFORADO DE PIEZAS	N.A	N.A	130000	FINOX
PROGRAMACION DEL PLC	1	N.A	850000	
ELEMENTOS DE APRIETE Y TORNILLERIA	70	UNIDAD	100000	FINOX
CARÁCTER DE DISEÑO				
DISEÑO DEL ANALIZADOR			3651000	
TOTAL			10953000	

5. Modificación de la mufla del laboratorio de combustión.

Se dispone de un horno tipo mufla D8 (8.8 litros), ubicada en el laboratorio de combustión, la cual suministra el calor mediante sus dos resistencias a 220 v, alcanzando temperaturas de hasta 1200 grados Celsius. A este horno tipo mufla es al cual se le debe acondicionar un mecanismo que nos brinde la posibilidad de medir, observar y manipular la masa de una determinada muestra y la temperatura del recinto de la muestra.

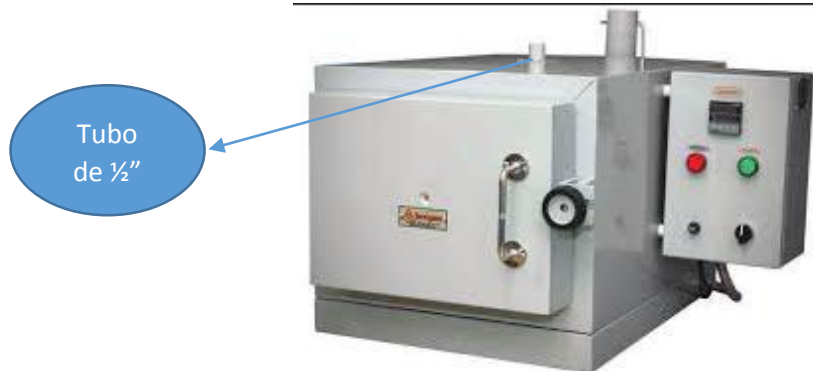
Esta modificación se rige bajo el parámetro que no se puede realizar soldaduras a las paredes de la mufla, a su vez debe ser de fácil montaje y desarme, debido a que no solo se realizan pruebas de termo gravimetría en este horno.

5.1 Mecanismo de censado de peso(balanza).

5.1.1 diseño de la balanza

Para iniciar con el diseño de la balanza, se alecciono por indicar el lugar en donde se posicionaría este mecanismo con las condiciones indicadas anteriormente de no realizar soldaduras o modificaciones a la mufla. Para esto se utilizó un segmento de tubería de media pulgada (1/2") (ver figura 37) ya existente en la mufla para efectos de ventilación de la cámara.

FIGURA 43. Mufla D8 con su tubería de ventilación.



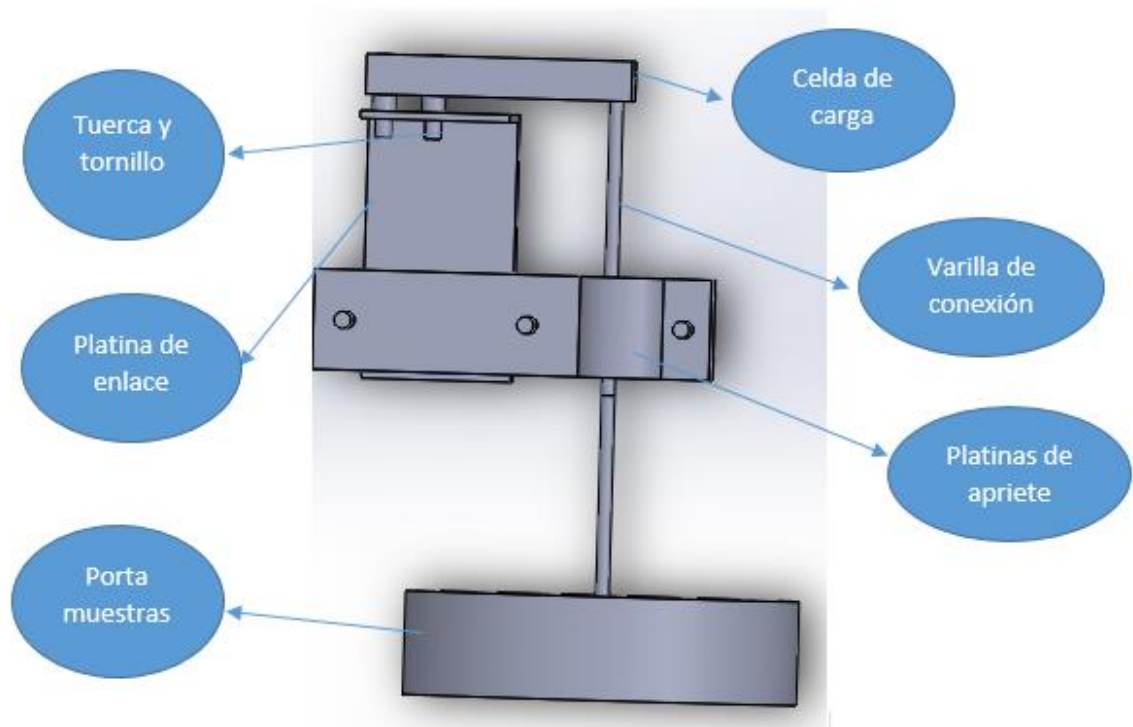
Fuente: Hornos eléctricos terrígeno, horno tipo mufla D8 [en línea] disponible en: www.terrigeno.com.co

Ahora bien, aparte de tener un elemento que se aferre a este segmento de tubería, es necesario que sostenga la celda de carga y que esta misma este posicionada de tal manera que permita el paso hacia el interior de la cámara del porta muestras.

Con respecto al porta muestras, este se debe posicionar de manera cómoda dentro de la cámara de la mufla y a su vez, debe quedar bien fijo a la celda de carga para evitar posibles fallas en la medición de la masa. El porta muestras debe tener un área suficiente para poder distribuir bien la muestra a analizar y de esta manera lograr una desintegración uniforme en cada parte de la muestra.

Como resultado de los parámetros fijados anteriormente, se realizó en la herramienta CAD Solidwork el siguiente diseño, el cual se puede apreciar en la figura 38.

FIGURA 44. Diseño del mecanismo de balanza.



5.1.2 construcción de la balanza.

Una vez planteado los parámetros de diseño y con los respectivos planos de la armadura que compone la balanza de la balanza, ver anexo L, se procede a realizar la construcción del mismo. El material utilizado son láminas de acero inoxidable calibre 18, unidas mediante soldadura TIG y tornillería con perno de rosca métrica de paso fino de $\varphi=3$ milímetros (ver figura 39). El porta muestras está constituido por una varilla de acero con rosca en la punta de 5 milímetros de diámetro y soldada con soldadura TIG al plato donde se deposita la muestra (ver figura 40).

FIGURA 45. Armadura de la balanza.



FIGURA 46. Porta muestras.



5.2 Sistema electrónico.

Para lograr cumplir la funcionalidad de un analizador termogravimétrico se debe poder leer la masa de la muestra y la temperatura a la cual se somete la muestra y a su vez, graficar el comportamiento de estas dos variables en tiempo real. Para suplir esta necesidad se necesitan implementar componentes mecatrónicos, como es la parte de software y hardware.

5.2.1 Hardware.

Esta parte física o tangible del analizador lo componen elementos electrónicos encargados del censado físico de las variables. A su vez, lo conforman los microcontroladores que capten, procesen y almacenan estas mismas variables.

Como primer elemento tenemos la celda de carga de 1 kilogramo, que cuenta con los parámetros de funcionalidad presentados en la tabla N.7. Esta celda de carga tipo viga (ver figura 41), mide la deformación efectuada por una carga en uno de sus extremos con respecto al otro sin deformar, por medio de un puente weatstone completo (ver figura 42) decretando de esta manera el peso aplicado en uno de sus extremos.

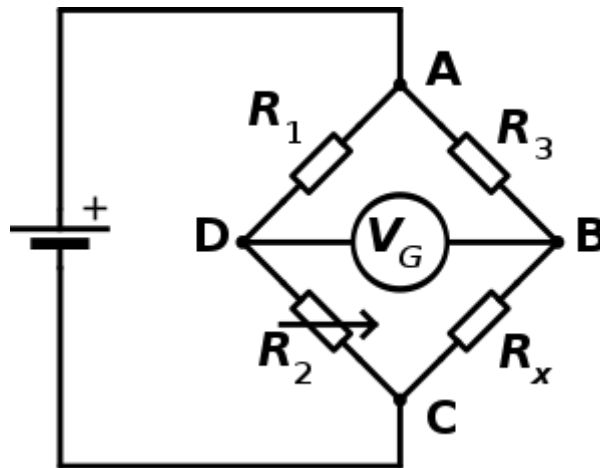
Tabla 7. Parametros de celda de carga.

Parámetros de operatividad de la celda de carga	
Rango de carga	1 kilogramo
Salida nominal	1,0±0,15mV/V
Repetitividad	0,03%Fs
Efecto de temperatura	0,01% Fs/°C
Efecto de la temperatura sobre cero	0,005%Fs/°C
Cero	±0,1000mV/V
Impedancia de entrada	1115±10%
Impedancia de salida	1000±10%
Resistencia de aislamiento	1000MΩ
Tasa de sobrecarga segura	150%FS
tasa de sobrecarga final	200%FS
Rango de temperatura	20°C hasta 60°C
Tensión de funcionamiento	3 hasta 15 VDC
Tamaño	4,5x0,9x0,6 cm

FIGURA 47.Celda de carga de 1kg.



FIGURA 48.Puente de wheatstone.



Fuente: Puentes resistivos de ganancia, puente de wheatstone [en línea] disponible en: www.wikipedia.com

Esta celda de carga por si sola con su ganancia de puente, no posee una resolución suficiente a las pequeñas variaciones de carga y por ende no es confiable usarla por sí sola, para tener una idea más cuantitativa se presenta la siguiente ecuación:

$$s = \frac{V_E}{2^n}$$

En donde:

$V_E =$ *tension de entrada.*

$S =$ *sensibilidad a la carga*

$n =$ *numero de bits del micro – controlador.*

Para el caso inicial en donde se dejará la celda de carga sola, se tendría una tensión de entrada de 5 voltios y una resolución de 8 bits (este número se obtiene de los micro-controladores que se usan), de lo cual se obtiene la siguiente sensibilidad.

$$S = \frac{5}{2^8} = 1.95mV$$

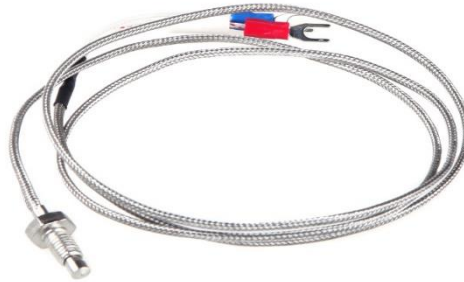
Este número nos indica que el micro-controlador solo detectara variaciones de la carga aplicada cuando esta genere una excitación de 1.95 milivoltios en la celda de carga. Lo que genera que se pierdan cambios en el peso de la muestra que no serán detectados.

Para este problema se ve la necesidad de aumentar el número de bits del micro-controlador y esto se hace por medio de un módulo electrónico, mas explícitamente el módulo HX711 (ver figura 24), este módulo es un convertidor a 24 bits que mejora de manera sustancial la sensibilidad de la balanza, al detectar variaciones de solo 0.3 micro voltios.

$$S = \frac{5}{2^{24}} = 0.298\mu V$$

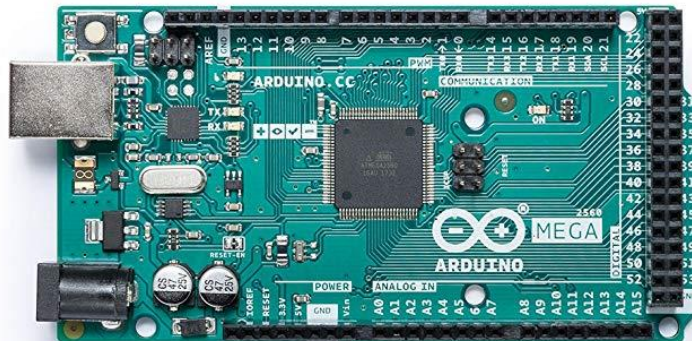
La temperatura como segunda variable a censar y conociendo que se desea tomar conteo de valores de hasta 800 °C, se es necesario utilizar una termocupla tipo k para esta necesidad. Esta termocupla tiene un rango de operatividad de hasta 1000 °C y una sensibilidad de 3.6 mV/100°C, a su vez, se encuentra hecha de una aleación de cromo y alumel (ver figura 43).

FIGURA 49. Termocupla tipo K



Con base a los controladores o dispositivos encargados de tomar las mediciones realizadas por los sensores nombrados anteriormente, se usarán una placa arduino Mega 2560 (ver imagen 44) y NI MY DAq (ver imagen 45). En este caso se usará la placa arduino como una extensión de puertos analógicos de la NI my daq y a su vez para poder usar las librerías disponibles en este controlador.

FIGURA 50. Arduino mega 2560.



Fuente: Arduino Mega V3, arduino web site, store [en línea] disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

FIGURA 51.NI MYDAQ

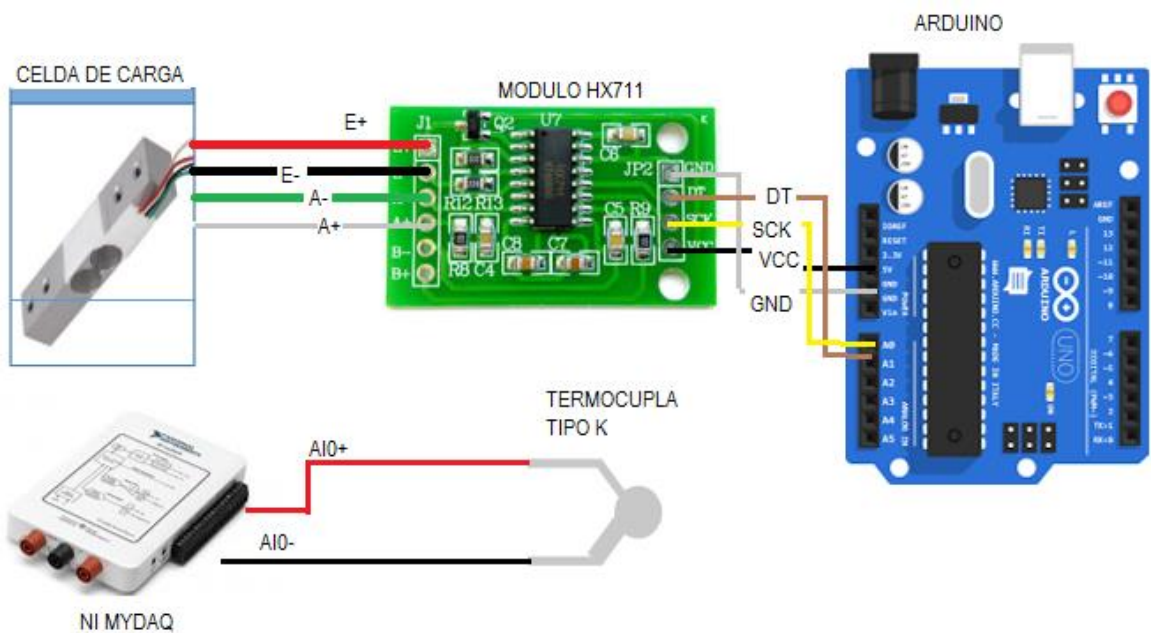


Fuente: National Instrument, My Daq board [en línea] disponible en: <http://www.ni.com>

5.2.2 CIRCUITO ELECTRONICO

Las conexiones de los elementos electrónicos mencionados anteriormente se llevan a cabo con la figura 46.

FIGURA 52.Circuito eléctrico.



En este circuito a pesar de contar con dos controladores, uno de ellos solo se encarga de la implementación de la librería del módulo HX711 para lograr el incremento de la sensibilidad de la celda de carga.

5.2.3 software.

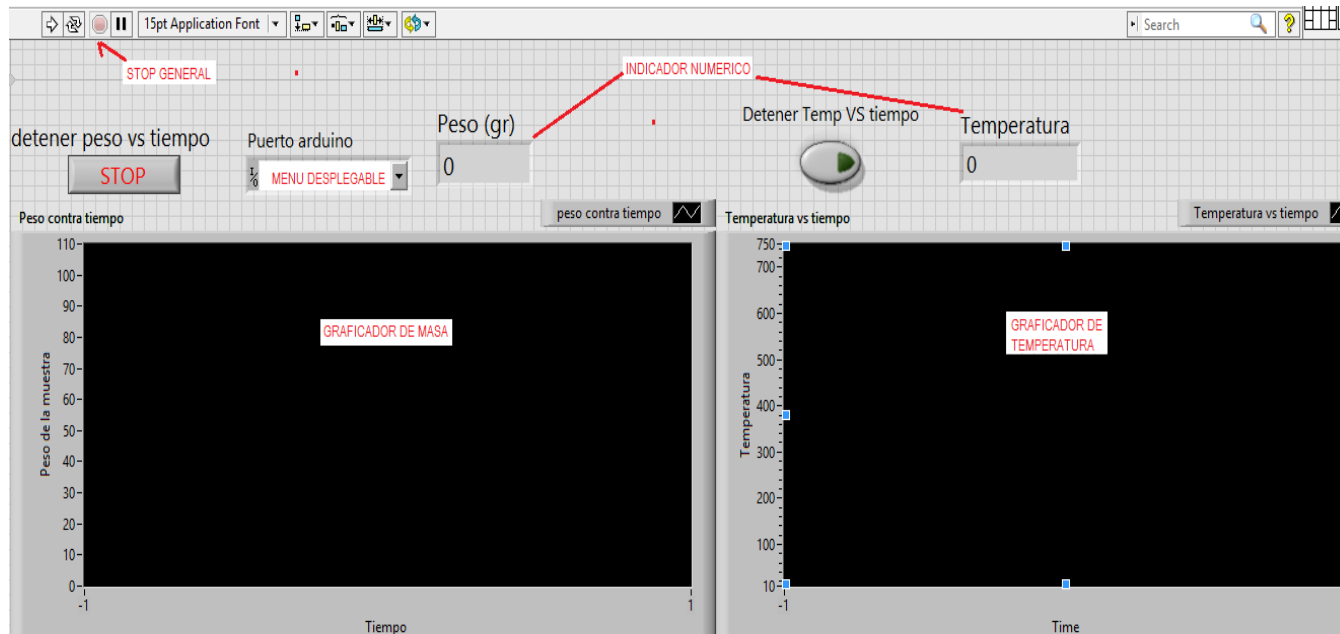
El software es la parte no tangible que alberga el circuito de control, en este mecanismo se utilizaron dos softwares diferentes. En primer lugar, se utilizó el portal de programación de arduino o Arduino web editor, el cual es un software de uso libre sin necesidad de licencia para su ejecución y uso. Este primer software se usó para realizar la calibración de la celda de carga y para lograr sincronizar los controladores y poder usarlos en una misma interfaz gráfica. El segundo software, es el LABVIEW, el cual es un programa de la National Instruments, dispuesto para programar y diseñar sistemas ingenieriles mediante un sistema de programación por bloques, con interfaz gráfica intrínseca. Este software se usa bajo la licencia comprada por la ESCUELA DE INGENIERA MECANICA de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, en la ventana de LABVIEW se diseñó toda la ventana de interacción para el usuario y es allí donde se obtendrán las gráficas de comportamiento de la masa de la muestra y la temperatura del recinto.

5.3 interfaz gráfica.

El desarrollo de la interfaz gráfica se realizó en la plataforma LABVIEW bajo la licencia nombrada anteriormente. Como primera medida en la interfaz se pueden observar un botón de selección del tipo desplegable en el cual podremos indicar el puerto COM en el cual se encuentra conectado el controlador Arduino, este paso es necesario para lograr la recepción de datos del controlador hacia la interfaz gráfica. Como segunda medida, se poseen dos recuadros de comportamiento dinámico del tipo gráfico, los cuales muestran las variables de masa de muestra y temperatura, según indiquen sus respectivos subíndices. A su vez se acompañan estos gráficos con dos indicadores del tipo numérico para tener un indicativo preciso sobre el dato de muestreo. Por último, se disponen de dos botones de paro, uno para cada respectiva variable.

Todo lo mencionado anteriormente se puede observar mejor en la figura 47.

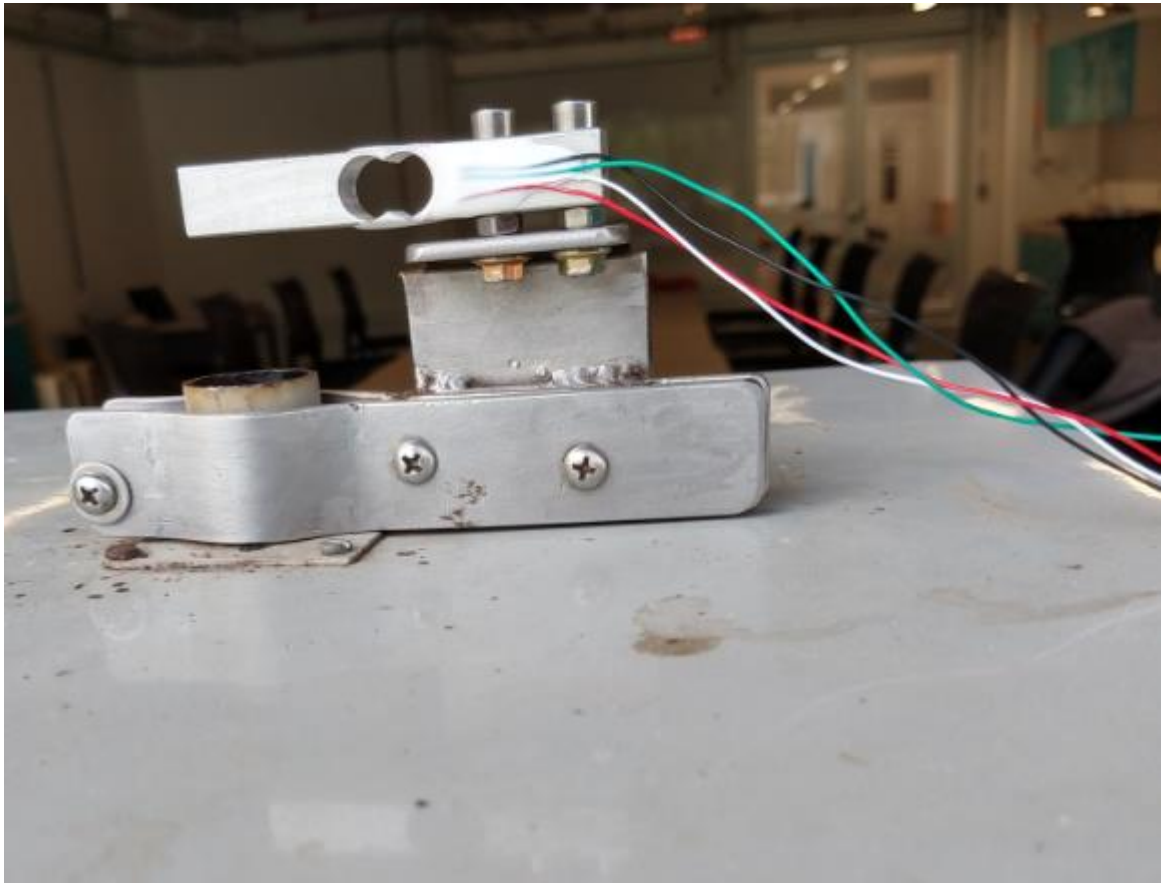
FIGURA 53. INTERFAZ GRAFICA DEL ANALIZADOR.



5.4 instalación del mecanismo en la mufla.

Para iniciar con la instalación del mecanismo en la mufla, primero se instala la armadura de la celda de carga en el tramo de tubería localizado en la parte superior de la mufla. Para instalarla primero suelte todas las tuercas de la armadura y proceda a posicionar la armadura. Posteriormente, apreté las tuercas y fijé muy bien la estructura. En la figura 48 se puede observar de manera gráfica el procedimiento.

FIGURA 54.MOTAJE DEL ARMADURA DE LA CELDA DE CARGA.



A continuación, proceda a ingresar la termocupla por el agujero de la puerta de la mufla y posiciónela de tal manera que la punta de esta quede bien sujeta a la a la sección del refractario. Ver figura 49.

FIGURA 55.POSICIONAMIENTO DE LA TERMOCUPLA EN LA MUFLA.

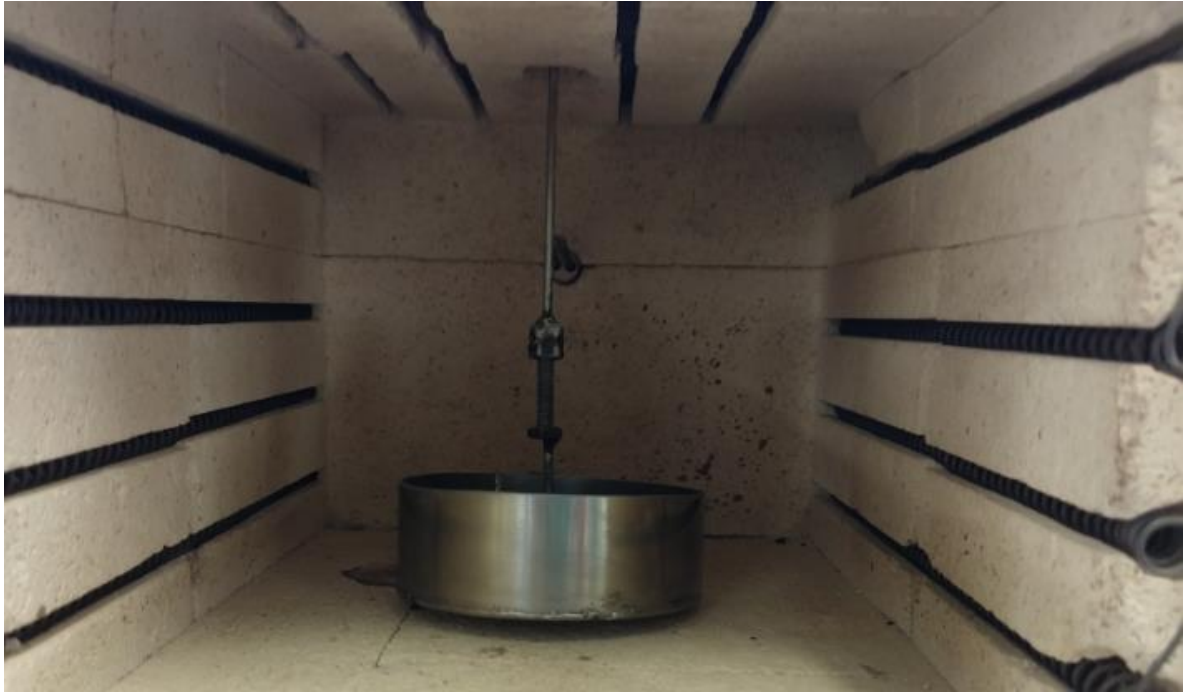


Realice las conexiones electrónicas para la celda de carga y la termocupla a sus respectivos controladores. Posteriormente, inicie con la calibración de la celda de carga cuyas instrucciones se encuentran en el ítem posterior a este.

Cumpliendo con los pasos necesarios para iniciar el mecanismo de balanza se introduce el porta muestras en la mufla de la siguiente manera:

1. Introduzca la parte superior por la tubería superior de la mufla.
2. Abra la puerta de la mufla e ingrese la parte inferior del porta muestras.
3. Junte las dos partes por medio de la tuerca.

FIGURA 56.MONTAJE DEL PORTAMUESTRAS EN EL INTERIOR DE LA MUFLA.



Para posicionar la muestra en el portamuestras, retire la parte inferior e introduzca la muestra en ella y vuelva a instalarla como se indicó anteriormente. Para finalizar, proceda a programar la mufla con las condiciones de la prueba a realizar.

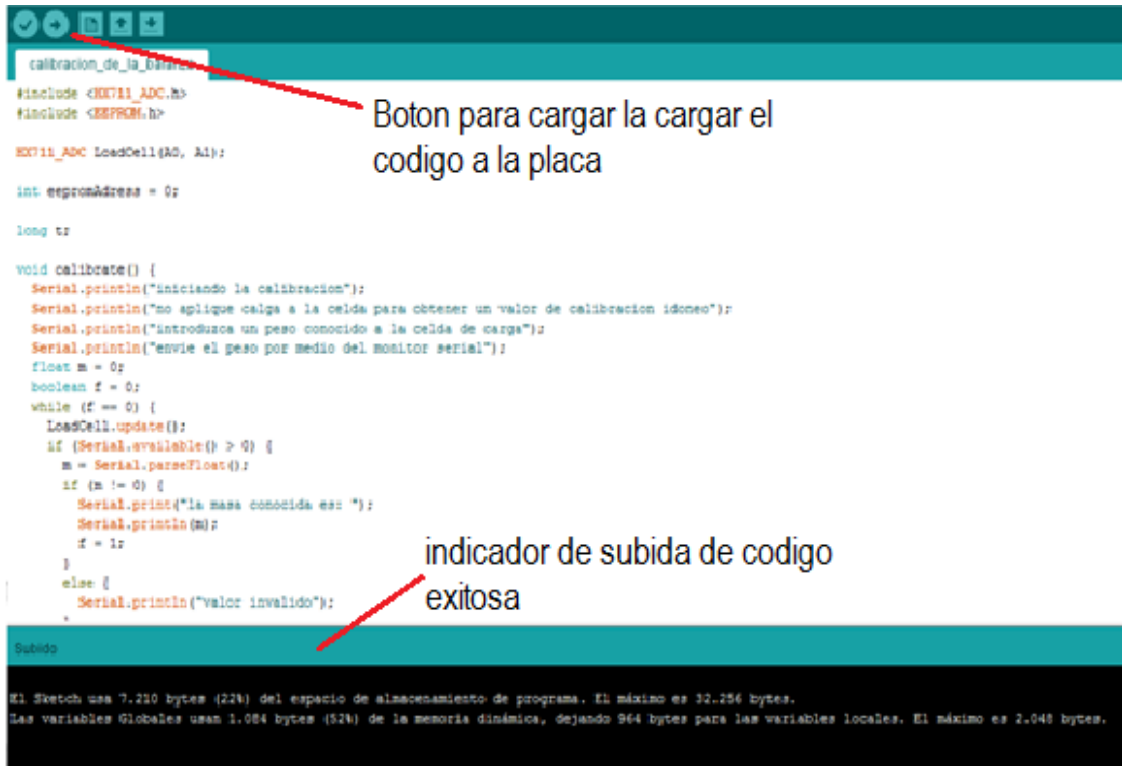
5.5 pasos para el funcionamiento del mecanismo.

Una vez se haya realizado la correcta instalación del mecanismo en la mufla tal como se indicó en el subíndice anterior, se procede a iniciar la parte computacional del mismo, con la cual se pondrá el mismo en puesta a punto.

5.5.1 calibración de la celda de carga.

Instalada la celda de carga en su respectivo lugar (sin posicionar aun el porta muestras) se procede a cargar a la placa Arduino el código denominado calibración de la balanza. Este código se encuentra en los anexos M y se puede ver en la figura.

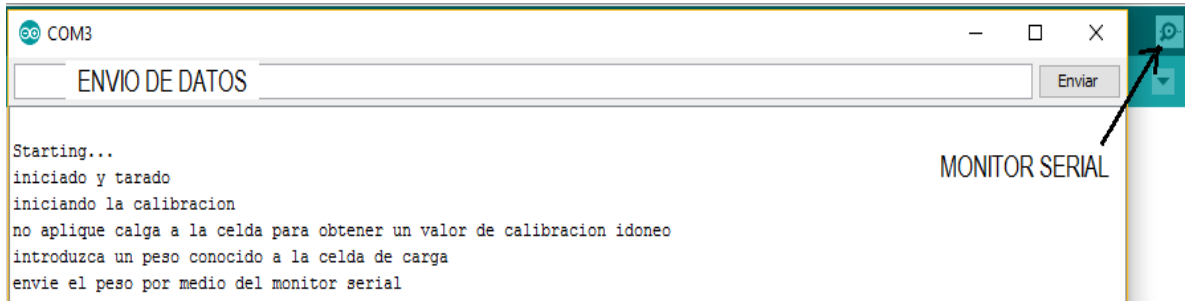
FIGURA 57. PANTALLA INICIAL PARA CALIBRAR LA CELDA DE CARGA.



Una vez cargado el código debe aparecer un indicador en la parte inferior izquierda donde se indica que la subida de datos fue exitosa.

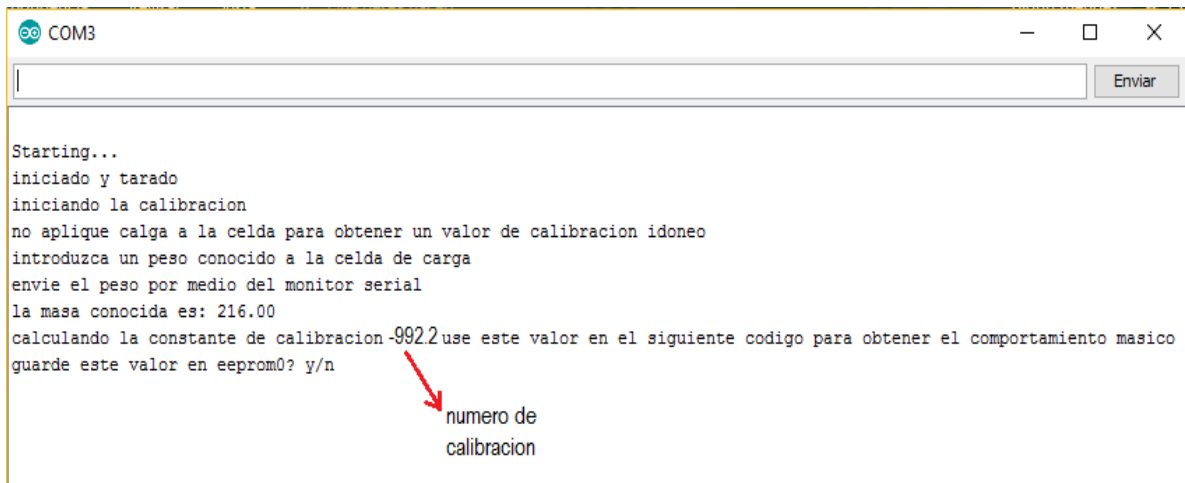
A continuación, se abre el monitor serial, el cual se encuentra en la parte superior derecha para lograr interactuar con los comandos seriales del controlador. En este momento se desplegarán automáticamente un grupo de instrucciones para lograr la correcta calibración de la celda de carga (ver figura).

FIGURA 2. PORTAL PARA ENVIAR DATOS Y OBTENER LA CONSTANTE DE CALIBRACION.



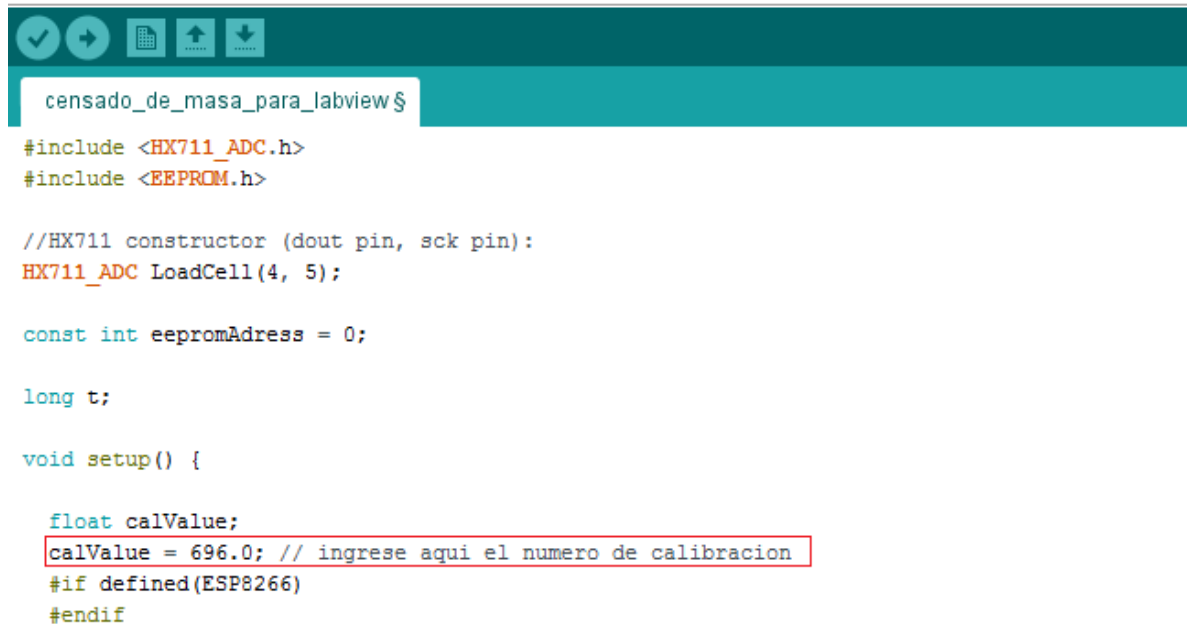
Es aquí, donde al leer la sección que indica que posicione un peso conocido en la celda de carga, se procede a colocar el porta muestras y se introduce en la ventana de envío de datos el peso del porta muestras que es de 216 gramos. Al momento de ser enviado este peso, el código calculará un número de calibración con base a deformación inicial de la celda. Se debe copiar este código de calibración y se debe evitar en toda medida el deformar de alguna forma la celda de carga, dado que esto afectará la precisión al momento de realizar el muestreo.

FIGURA 58. NUMERO DE CALIBRACION.



Una vez tengamos este número de calibración procedemos a abrir el código llamado censado de masa para labview, el cual se encuentra en el anexo M y escribir el número de calibración en donde es requerido y posteriormente subir este código a la placa arduino. Ver figura.

FIGURA 59.CARGA DEL CODIGO DE SINCRONIZACION ENTRE ARDUINO Y LABVIEW.



```
censado_de_masa_para_labview $
#include <HX711_ADC.h>
#include <EEPROM.h>

//HX711 constructor (dout pin, sck pin):
HX711_ADC LoadCell(4, 5);

const int eepromAddress = 0;

long t;

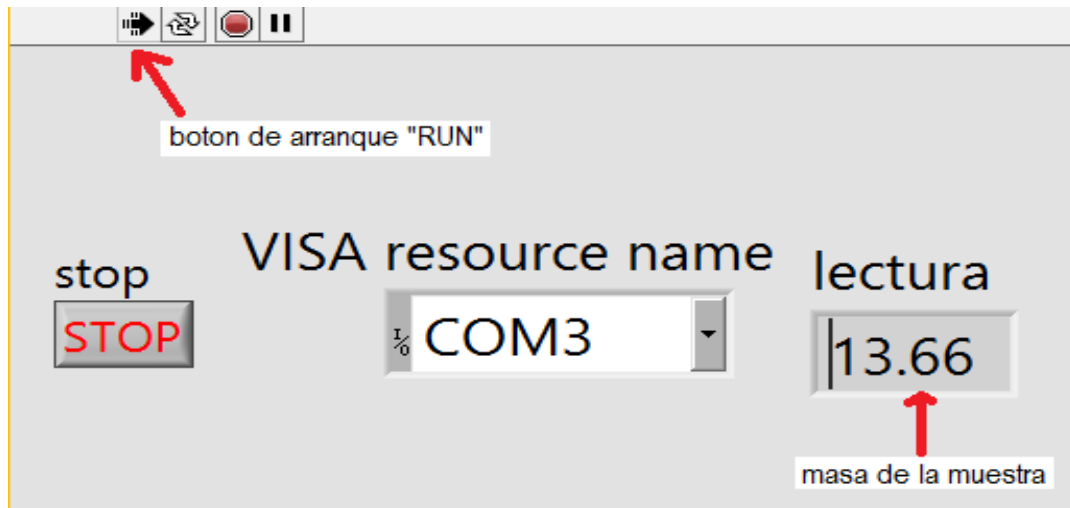
void setup() {

    float calValue;
    calValue = 696.0; // ingrese aqui el numero de calibracion
    #if defined(ESP8266)
    #endif
```

Realizado el paso anterior, es en este momento en donde se puede introducir la muestra a analizar en el porta muestras.

A continuación, se procede a utilizar el archivo denominado “prueba de sincronización” realizado en la plataforma labview. Con este archivo se verifica la sincronización entre el controlador Arduino y la placa MY DAQ en una misma interfaz gráfica. Para proceder con esta sincronización se despliega el indicador y se selecciona el puerto en el cual se encuentra la placa Arduino. Finalmente se debe pulsar el botón de “RUN” tal y como se indica en la figura.

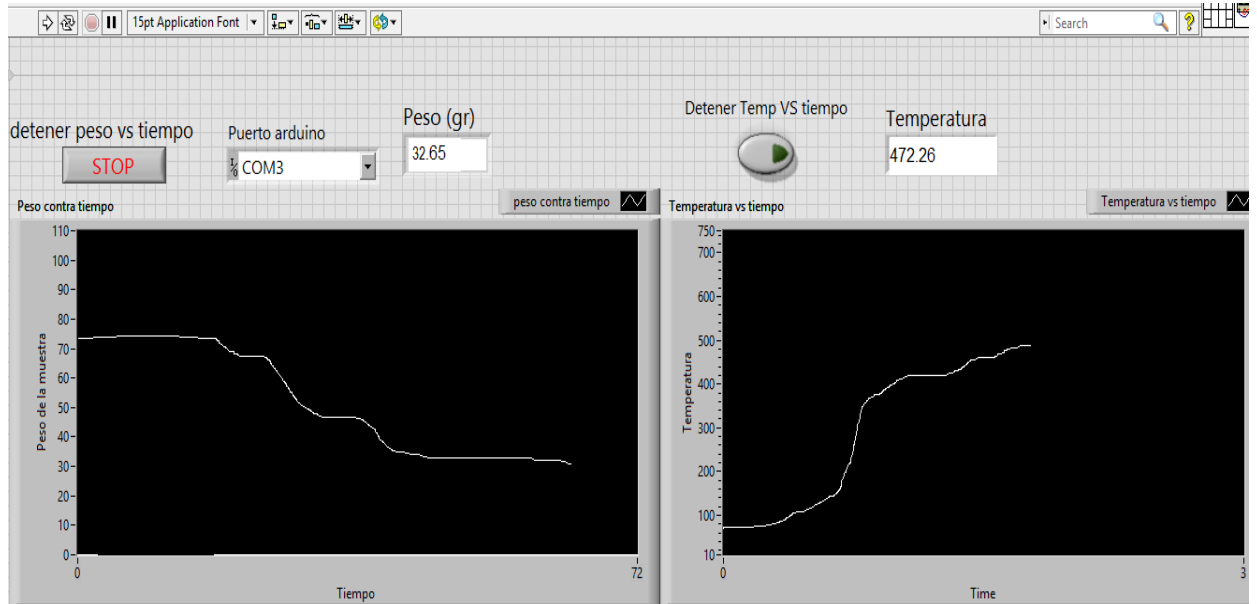
FIGURA 60. PRUEBA DE SINCRONIZACION DE ENTRE LOS CONTROLADORES.



En el momento en el que se pueda divisar un numero racional en la ventana de lectura, quiere decir que los controladores se encuentran en sincronía con el software LABVIEW y ya se puede proceder a iniciar la interfaz gráfica final, en donde se podrán observar el comportamiento de las dos variables a controlar.

Como paso final, se abre el archivo denominado comunicación serial en el cual se encuentra la interfaz gráfica final, por medio de la cual se podrá observar todo el comportamiento del análisis termo gravimétrico de la muestra.

FIGURA 61. INTERFAZ GRAFICA DEL ANALIZADOR.



6. Verificación de sensores

Antes de iniciar con las pruebas pertinentes al mecanismo que permita realizar pruebas de descomposición térmica en la mufia del laboratorio de combustión, se deben verificar que los sensores cumplan con su respectiva función, en este caso se verifica que la celda de carga se calibre de manera correcta e indique el valor correcto de la masa puesta en el porta muestras, a su vez se comprueba los valores arrojados por la termocupla.

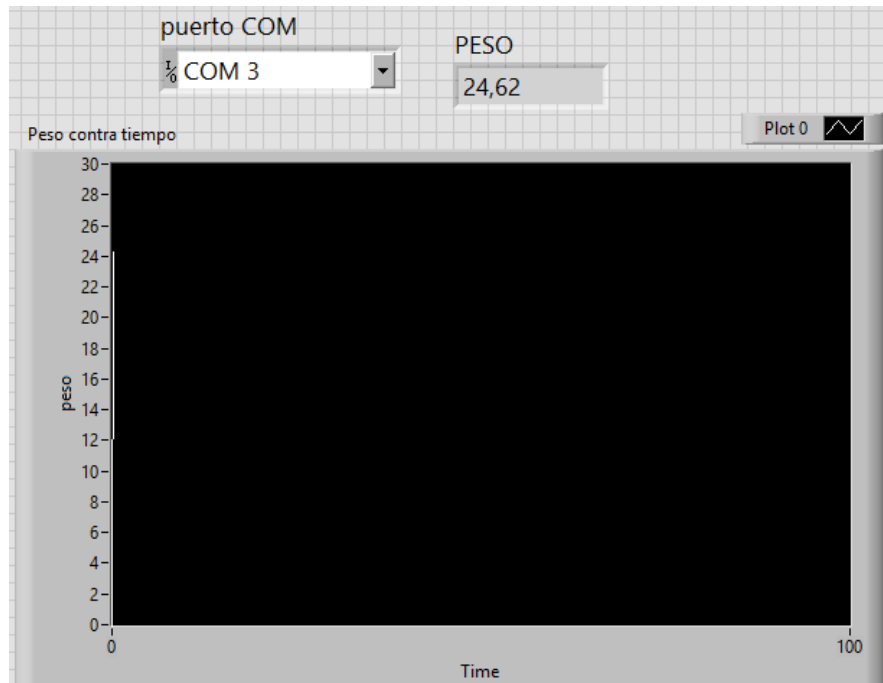
6.1 celda de carga

Para iniciar se introduce la cantidad a analizar en el porta muestras y se procede a usar una balanza de la serie SF-400 con capacidad de hasta 7000 gramos y sensibilidad de medición de 1 gramo. Posteriormente, se posiciona en el sistema y se inicia el censado del peso por medio de la interfaz gráfica desarrollado en la plataforma LABVIEW, comprobando que el valor obtenido por la balanza SF sea la misma que la mostrada en la interfaz.

FIGURA 62.MEDICION DE MUESTRA EN LA BALANZA.



FIGURA 63.MEDICION DE LA MASA EN LA CELDA DE CARGA.



En este caso se tiene un pequeño desfase entre los valores de muestra y esto se debe a que la sensibilidad de los dos instrumentos es diferente.

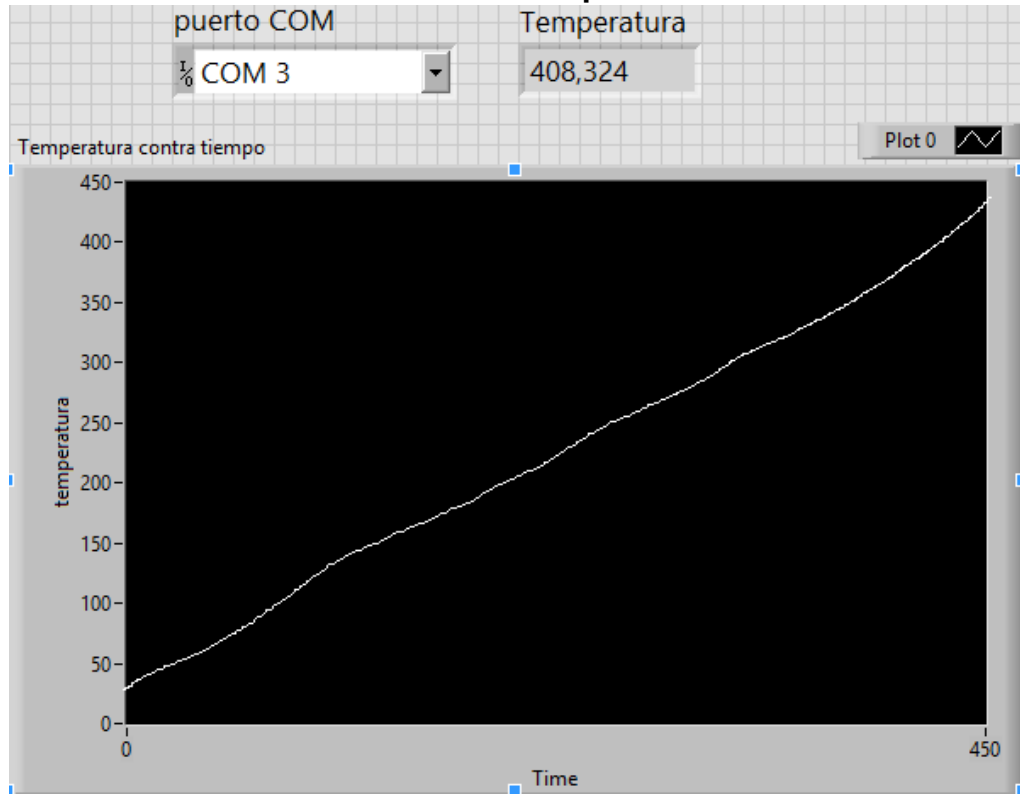
6.2 Termocupla.

Para obtener una referencia de la temperatura censada por la termocupla que toma los datos se utilizó la termocupla propia de la mufla y se comparó el valor indicado por la pantalla display de la misma con respecto a la mostrada por la interfaz gráfica del portal LABVIEW.

FIGURA 64. Temperatura mostrada por el display de la mufla.



FIGURA 65.Indicaron de la temperatura en la interfaz.



7. RESULTADOS ESPERADOS.

Una vez comprobado que los elementos mecánicos del analizador se encuentran funcionando de manera correcta en sus factores de importancia como lo son el censado del peso de la muestra y la temperatura del recinto, se procede a determinar la precisión y fiabilidad de las pruebas que se le pueden llegar a desarrollar en este susodicho, esto debido a que no se utilizaron sensores de alta precisión en su desarrollo y construcción.

Como elemento o biomasa de muestra se toma el tamo de arroz (ver figura 61), esto debido a la conveniencia de poseer una cantidad considerable en el laboratorio de combustión de la Universidad Industrial de Santander y a su vez, es una de las biomásas más utilizadas al día como combustible para generación de energía eléctrica y vapor. Para ello se traza como meta determinar:

1. Sensibilidad del mecanismo: esto debido a que al no implementar elementos costosos se presentan límites en los cuales se obtienen datos y resultados erróneos.
2. Fiabilidad de resultados: que tan cerca se encuentran los resultados (curvas de descomposición térmicas) obtenidos en nuestro analizador (cualitativa y cuantitativamente).

FIGURA 66. Tamo de arroz.



Una vez aclarados los parámetros anteriores y habiendo énfasis en la calidad de los elementos utilizados para este mecanismo se procede a analizar los resultados obtenidos en el siguiente ítem.

8. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS DE RESULTADOS.

Para iniciar con las pruebas del mecanismo se eligieron 5 pesos diferentes en un sentido descendente tal y como se muestra en la tabla N. 8.

Tabla 8. Condiciones de muestreo.

NUMERO DE MUESTRA	MASAS DE MUESTREO [GRAMOS]	CONDICIONES DE LA PRUEBA	PESO DEL PORTA MUESTRAS [GRAMOS]	TEMPERATURA INICIAL [C]	Frecuencia de muestreo [segundos]
1	20	No se controla el ambiente exterior tales como ventilación del laboratorio y toques a la base del analizador.	232	60	6
2	20	Ambiente controlado al interior del laboratorio.	232	60	6
3	25	Ambiente controlado.	232	60	6
4	15	Ambiente controlado.	232	60	6
5	10	Ambiente controlado.	232	60	6
6	5	Ambiente controlado.	232	60	6

Como se observa en la tabla anterior, al principio se realizó una prueba en la cual se determinó la influencia de las condiciones exteriores hacia el mecanismo en funcionamiento, en donde se tuvo la influencia descontrolada de corrientes de aire erráticas provenientes del exterior del laboratorio y a su vez se logró ver la influencia de vibraciones

mecánicas al sistema mufla –mecanismo provenientes al golpear la base del mismo (ver figura 62); El peso del portamuestras se toma de la figura 63 mostrada a continuación y todos los valores numéricos correspondientes a estas pruebas se encuentran en los Anexos del libro en la sección de datos Excel de las pruebas.

8.1 primera prueba para el mecanismo.

Se pesa la muestra a analizar cómo se muestra en la figura 57 y se siguen los pasos indicados en el capítulo 5 de este libro, para lograr obtener el comportamiento del peso de la muestra y temperatura contra el tiempo de muestreo. Estos valores se pueden observar en la figura 64 y 65 correspondientemente y la descripción numérica explícita obtenida del análisis se obtiene en los Anexos- Datos de Excel de las muestras- primera prueba 20 gramos.

FIGURA 67. Primera prueba sin control de las condiciones exteriores.



FIGURA 68. Peso del portamuestras



FIGURA 69. Muestra de 20 gramos, sin control de las condiciones exteriores.

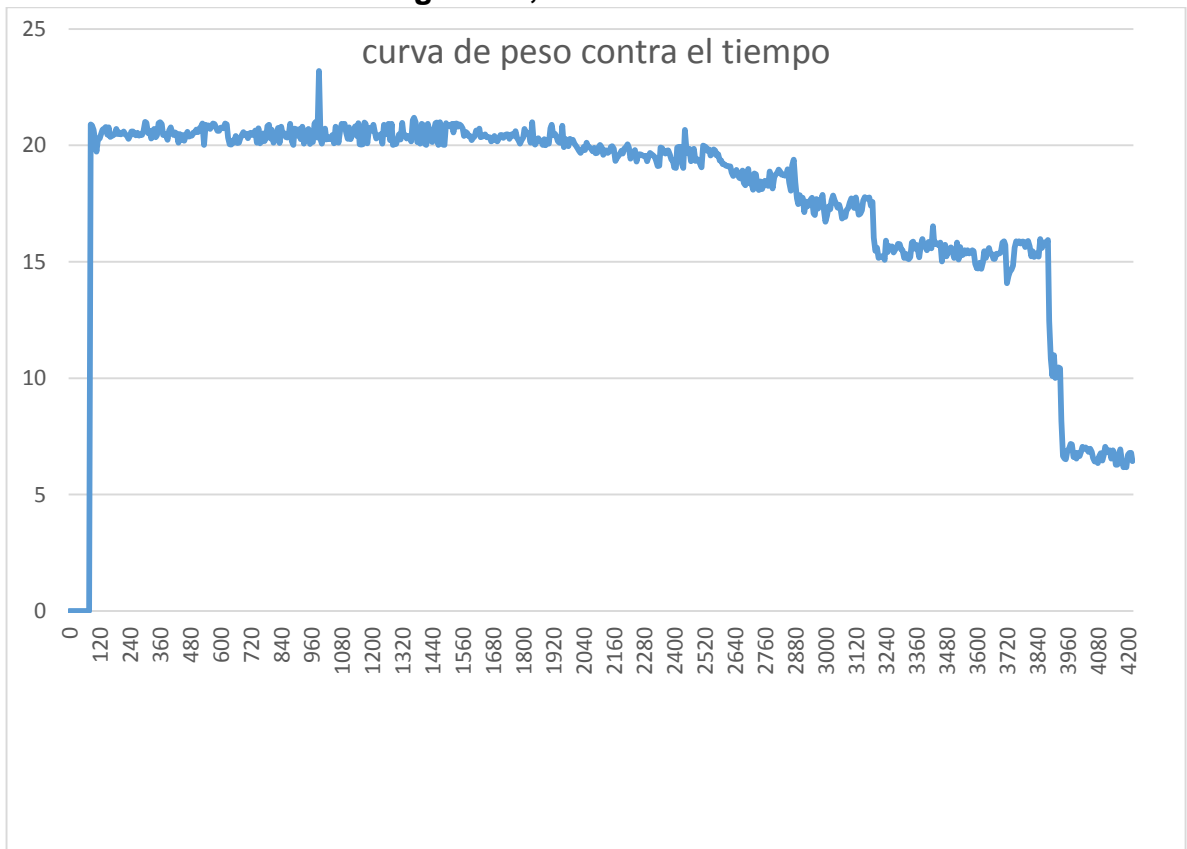
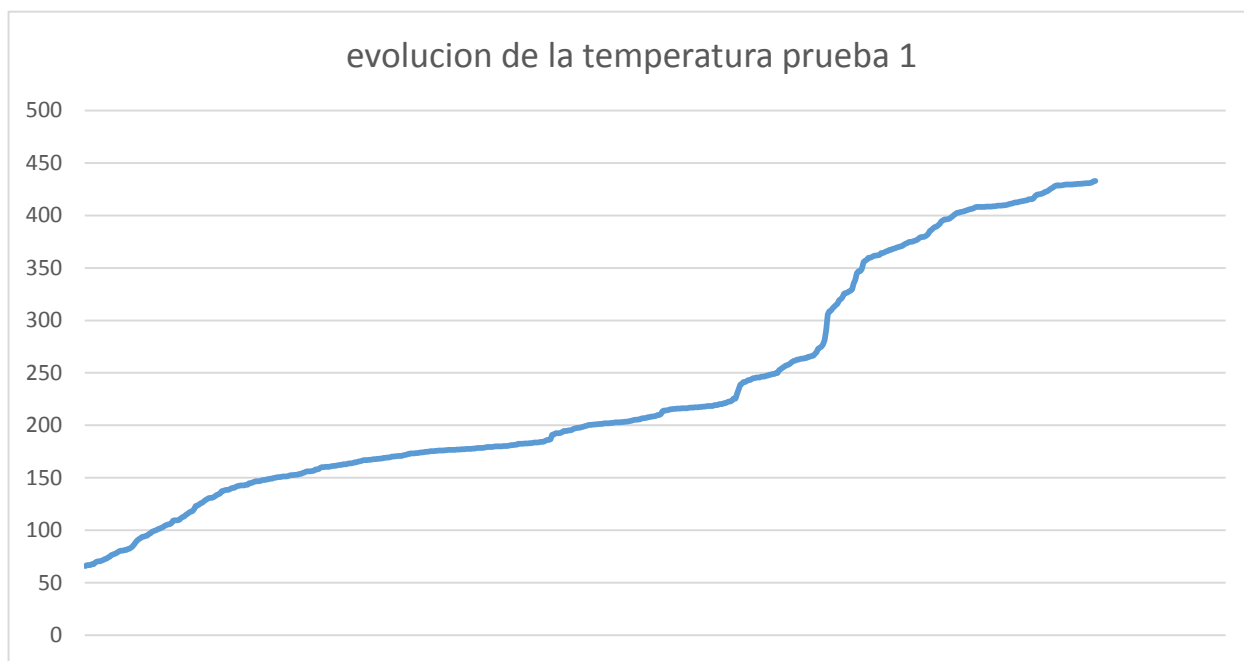


FIGURA 70. Censado de la temperatura en el proceso.



De las gráficas anteriores se puede observar el comportamiento de los sensores utilizados para el análisis de la biomasa de las cuales se puede observar los siguientes factores:

1. En la gráfica relacionada a la medición de masa vs tiempo se alcanzan a visualizar una gran cantidad de ruidos y saltos provenientes de las condiciones exteriores, lo cual nos permite tener un punto de partida mediante la comparación con la otra grafica de la influencia de factores externos a esta celda de carga.
2. A pesar que la mufla nos brinda un suministro de calor lineal según su catálogo de 5 grados Celsius por minuto, el sensor de termocupla tipo k que se utilizó no sigue este patrón lineal en su totalidad.

8.2 segunda prueba del mecanismo.

Esta prueba se vuelve a utilizar un tamaño de muestra de 20 gramos, pero a diferencia del anterior se controló las condiciones exteriores a su mayor medida y se obtuvieron las siguientes gráficas.

FIGURA 71. Muestra de 20 gramos, con control de las condiciones exteriores.

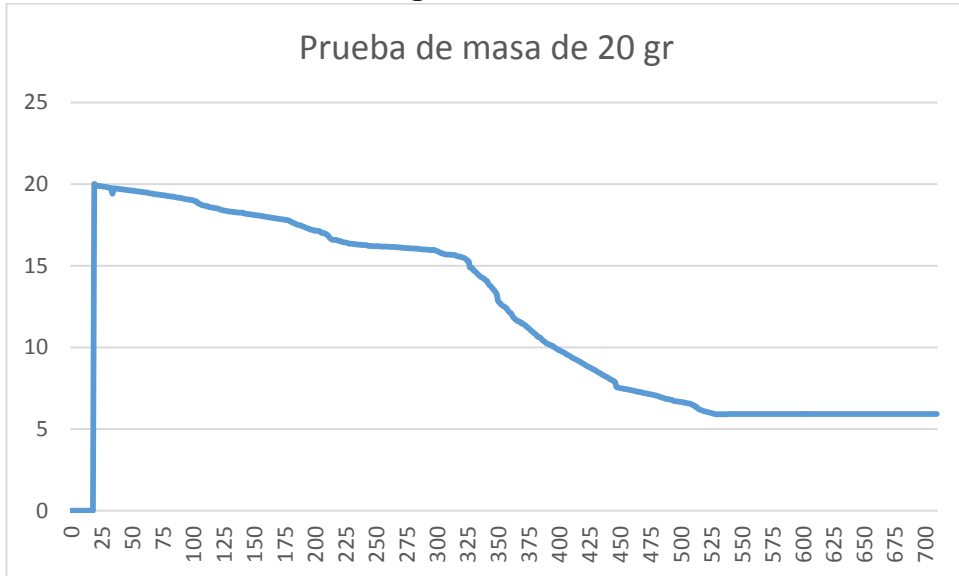
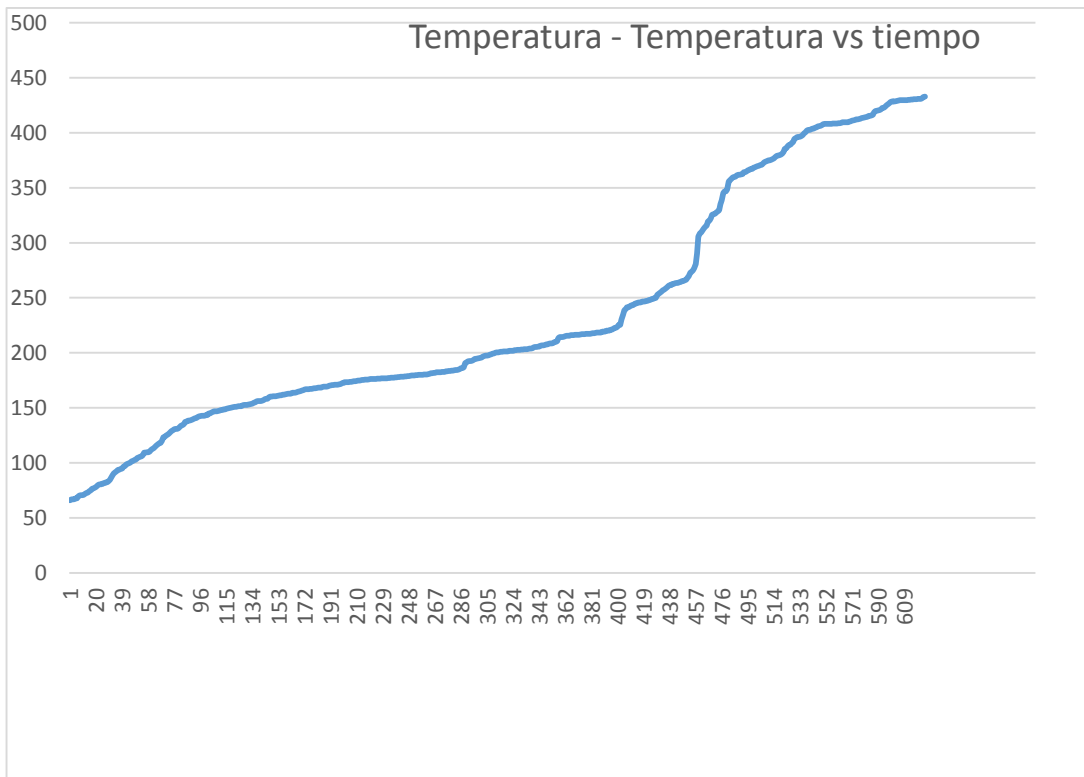


FIGURA 72. Censado de temperatura en la segunda prueba.



Con esta segunda prueba se logra evidenciar que al controlar las condiciones ambientales exteriores se concibe una curva de peso vs tiempo (ver figura 66) más fluida y sin picos repentinos. Con base a la evolución de la temperatura en la figura 67, esta no presenta alteraciones en su comportamiento comparándola con la prueba anterior, planteando la hipótesis que el sensor de temperatura no es afectado por las vibraciones o condiciones exteriores.

8.3 tercera prueba del mecanismo.

Para esta tercera prueba se usa una muestra de 25 gramos, esto con la intención de ratificar el comportamiento de las curvas obtenidas anteriormente, generando así un ambiente controlado tal y como se hizo en el inciso anterior.

FIGURA 73. Prueba de censado de peso para masa de 25 gramos.

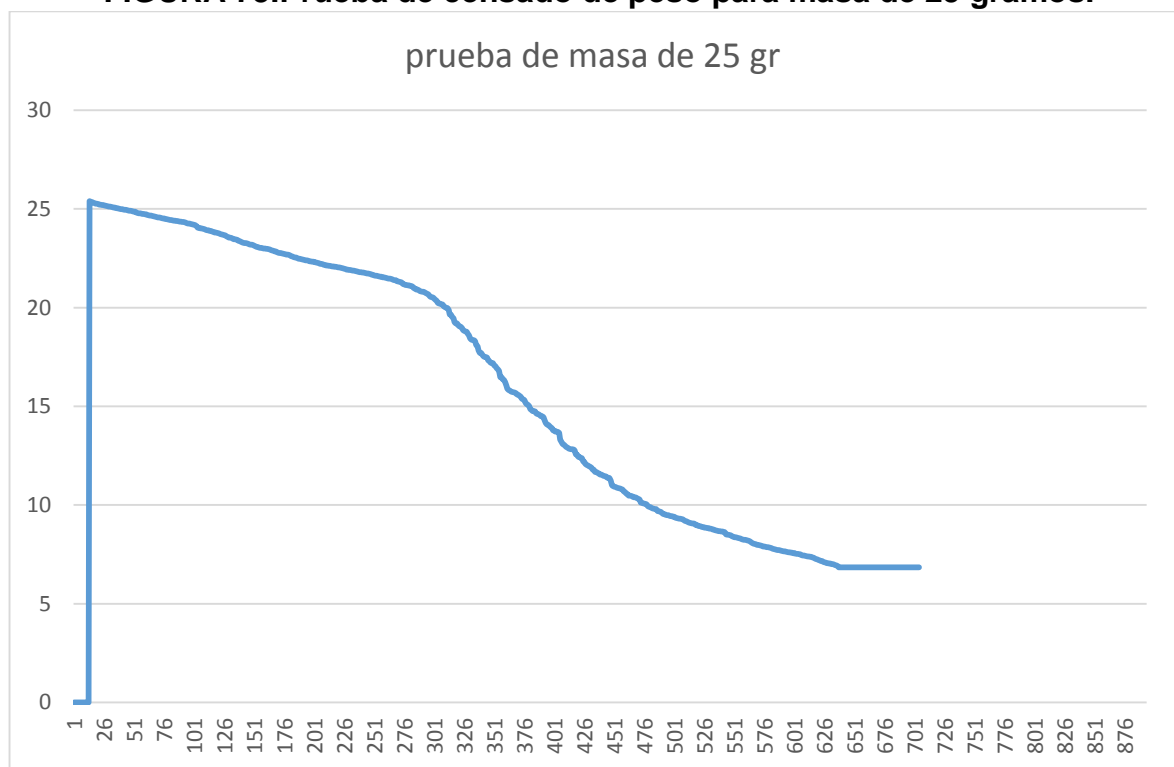
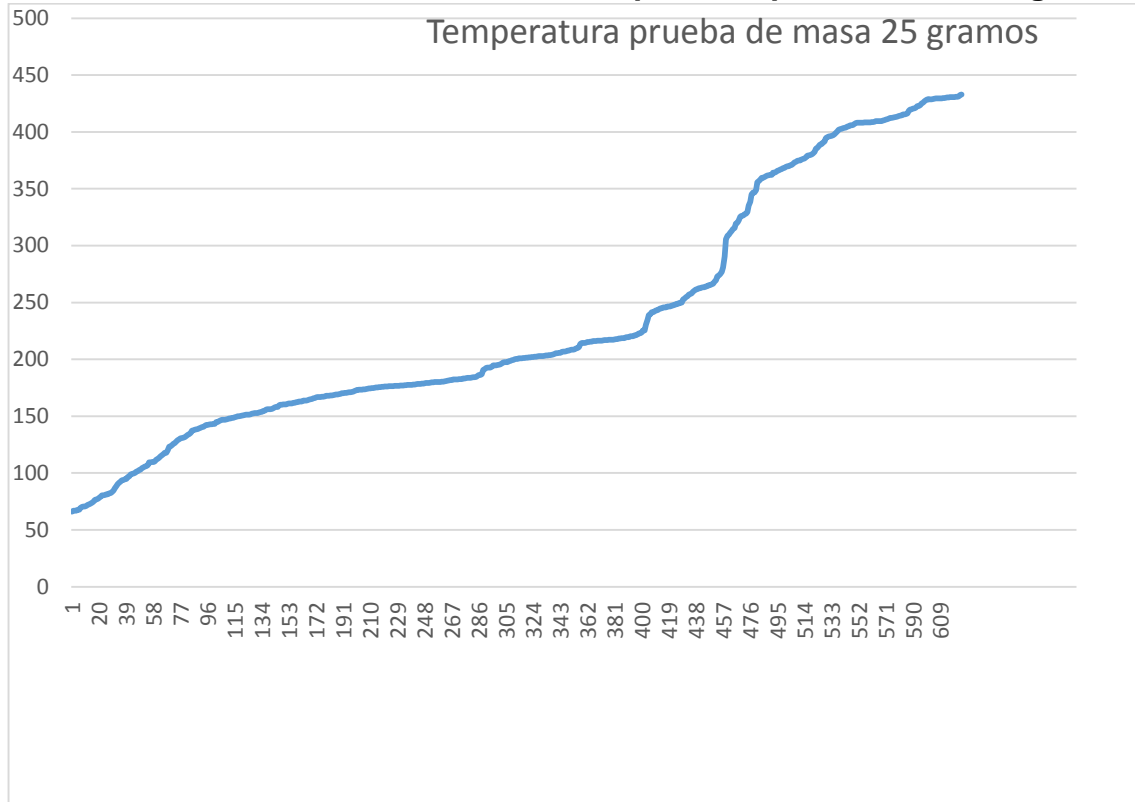


FIGURA 74. Prueba de censado de temperatura para masa de 25 gramos



Se observa en la figura 68 (masa de 25 gramos) que la evolución del peso con respecto a la figura 66 (masa de 20 gramos) ambas compartiendo un intervención exterior presentan patrones de descomposición similares, lo que indicaría que la celda de carga utilizada cumple con su función en este rango de masa e inclusive se podría extrapolar a masas de hasta 100 gramos, ya que se encuentran en el rango de operatividad de la misma.

Con base a la curva de temperatura (figura 69) se sigue manteniendo de manera repetitiva y constante la evolución del censado de esta variable contra el tiempo.

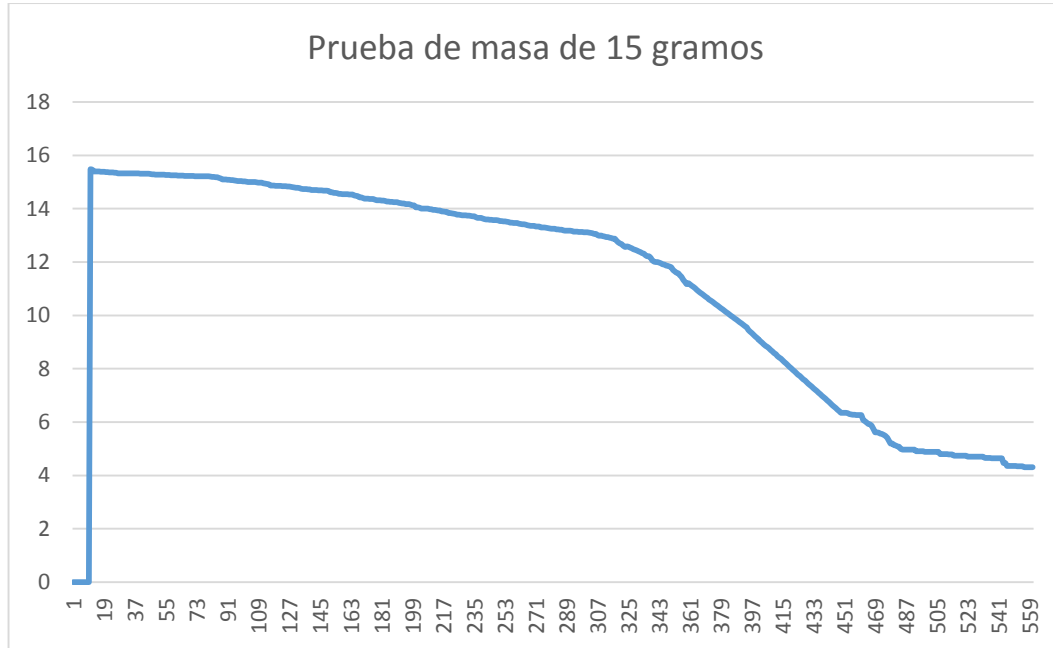
A partir de este punto se pretende llegar al rango inferior de operatividad de la celda de carga.

8.4 cuarta prueba del mecanismo.

A este punto y observando la constancia y concurrencia en el perfil de temperatura en las pruebas anteriores, solo se presentará la curva de evolución del peso vs tiempo. En este

caso se redujo la masa de muestreo hasta los 15 gramos con el fin de encontrar lo mencionado en el párrafo anterior.

FIGURA 75. Prueba de censado de masa de 15 gramos.



La grafica nos muestra un patrón idéntico a los presentados anteriormente.. Para verificar si esto nos indica una buena operatividad contante del mecanismo ante la misma presencia de una misma biomasa se procede a realizar las siguientes pruebas en la cual se presentarán dos muestras de gramaje menores a la observada en la figura 70.

8.5 quinta y sexta prueba del mecanismo.

En esta subsección se presentan dos curvas de análisis del comportamiento del peso de la muestra, pero esta vez con una masa de 10 y 5 gramos respectivamente, esto con el objetivo de comprobar si aún se puede realizar pruebas con muestras entre este este rango de valores y con ello poder estipular el rango de operatividad del mecanismo implementado.

De estas dos pruebas se obtienen las siguientes gráficas.

FIGURA 76. Prueba de censado de masa de 10 gramos.

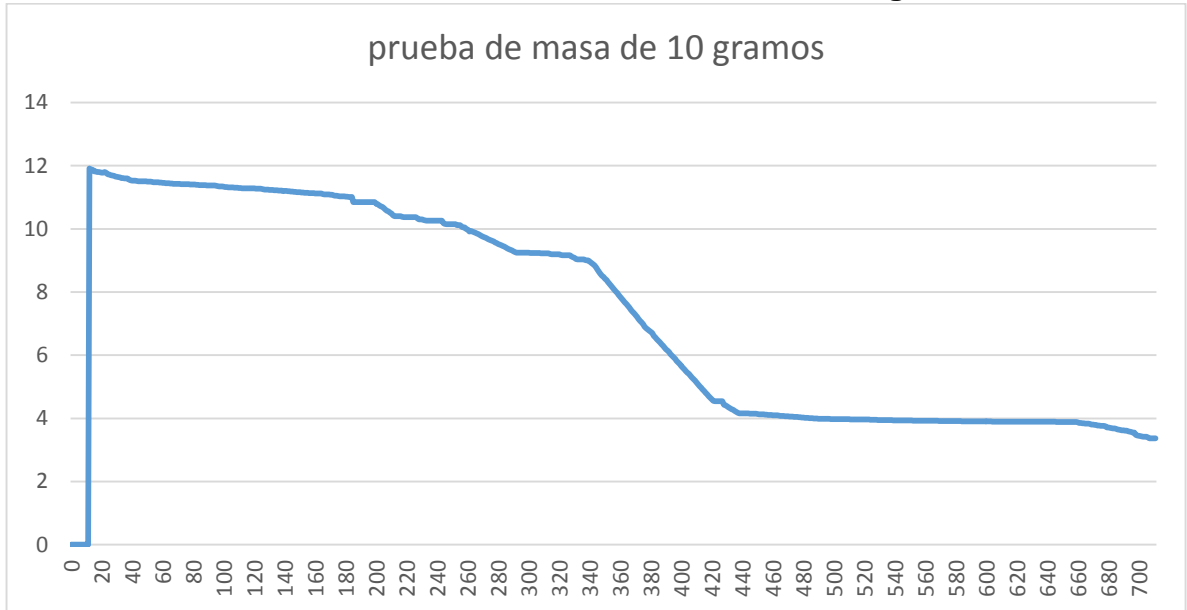
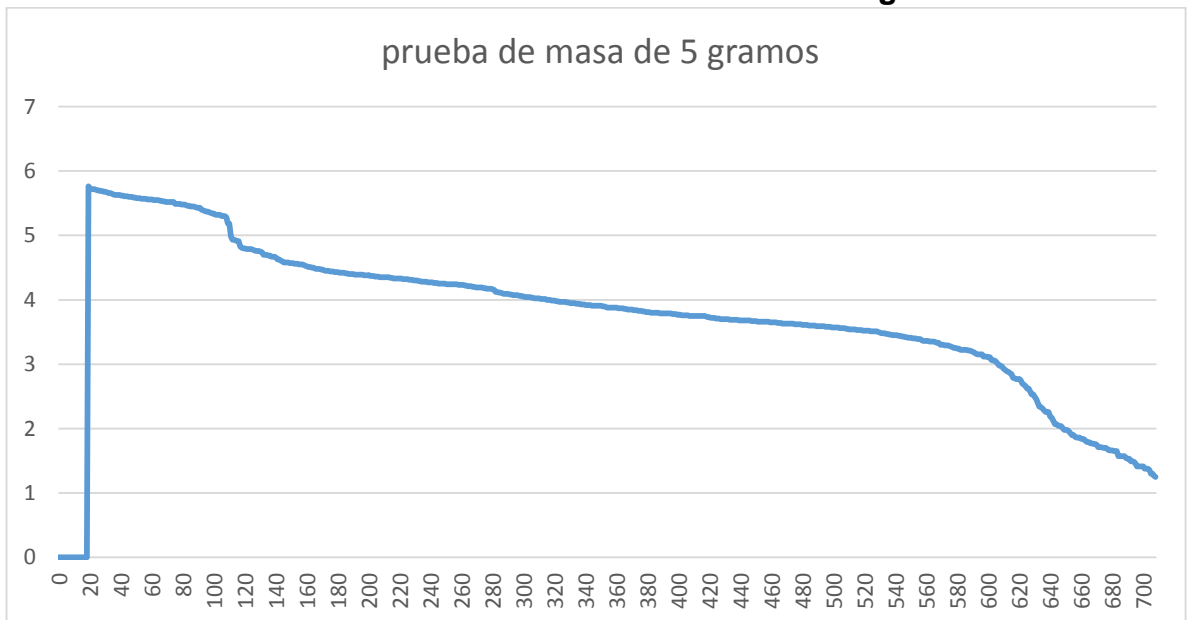


FIGURA 77. Prueba de censado de masa de 5 gramos.



Una vez descendiendo hasta estos valores se puede observar que en la figura 71, aun se presenta una tendencia de pérdida de masa con bastante similitud a las mostradas en las pruebas anteriores, aunque es de resaltarse que ya aquí, no exhibe la misma fluidez mostrada en anteriores muestras, debido a la presencia de picos o cambios abruptos en los

datos censados, los cuales podrían indicar errores más considerables al momento de realizar las gráficas de pérdida de masa porcentual.

En el caso particular de la muestra de 5 gramos, se pierde todo patrón de pérdida de masa contra temperatura, lo cual revelaría que bajo este tamaño de muestreo ya no fiable los resultados obtenidos con los elementos usados en el mecanismo. De aquí, se derivaría la posibilidad de plantear el límite inferior del equipo desde los 10 gramos de muestra esperando para esto los resultados de las gráficas posteriores en donde se adquirirían los diferentes comportamientos, pero de manera porcentual (adimensional).

Desde este punto y para poder dar una conclusión de si el mecanismo es fiable para tener una idea del comportamiento termo gravimétrico del elemento a analizar, se procede a obtener las gráficas porcentuales de la evolución másica y las etapas presentes en las mismas, esto para agenciar la superposición de las diferentes masas bajo su base porcentual y de esta manera observar verídicamente si presentan la misma evolución con respecto al tiempo y temperatura. A su vez, realizar una comparación con las respectivas curvas realizadas en laboratorios y conocer su desviación con respecto a aquellas y su error.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

9.1 calculo porcentual.

Para comenzar a analizar las gráficas obtenidas en el inciso anterior se debe inicialmente pasar todos los valores a una misma base de análisis (normalizar), la cual no depende del tamaño de muestreo. Para ello se llevan todas las gráficas a valores porcentuales de las mismas y se grafican todas en el mismo diagrama cartesiano para observar si existe una superposición entre sí.

Para ellos, se aplica la ecuación numero 1:

$$\% = (N_{n+1} * 100)/N \quad (1)$$

Para $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots$

Donde:

$N =$ masa de muestra inicial.

$n =$ número de muestra.

De esta fórmula anterior, se puede realizar la tabla N.9 la cual se implantará una pequeña parte de la misma a continuación, disponiendo de su totalidad en los anexos denominados datos de Excel en la subsección nombrada gráficos porcentuales.

Tabla 9. Porcentajes de masa de las pruebas anteriores.

Temperatura de muestra	Prueba de 25 gr	porcentaje masa 25 gr	Prueba de 20 gramos	Porcentaje masa 20 g
66,85	25,39	100	20,01	100
66,857	25,36	99,88184325	19,96	99,75012494
66,858	25,35	99,84245766	19,91	99,50024988
67,71	25,31	99,68491532	19,9	99,45027486
67,74	25,3	99,64552974	19,89	99,40029985
69,412	25,27	99,52737298	19,88	99,35032484
70,261	25,26	99,4879874	19,87	99,30034983
70,53	25,25	99,44860181	19,86	99,25037481
70,56	25,22	99,33044506	19,85	99,2003998
71,006	25,21	99,29105947	19,84	99,15042479
71,85	25,2	99,25167389	19,83	99,10044978
72,56	25,19	99,2122883	19,81	99,00049975
73,07	25,18	99,17290272	19,79	98,90054973
74,05	25,17	99,13351713	19,77	98,8005997
74,9	25,15	99,05474596	19,76	98,75062469
76,41	25,14	99,01536038	19,42	97,05147426
76,85	25,12	98,93658921	19,75	98,70064968
77,412	25,11	98,89720362	19,74	98,65067466
78,23	25,1	98,85781804	19,73	98,60069965
79,35	25,09	98,81843245	19,72	98,55072464
80,3	25,07	98,73966128	19,71	98,50074963

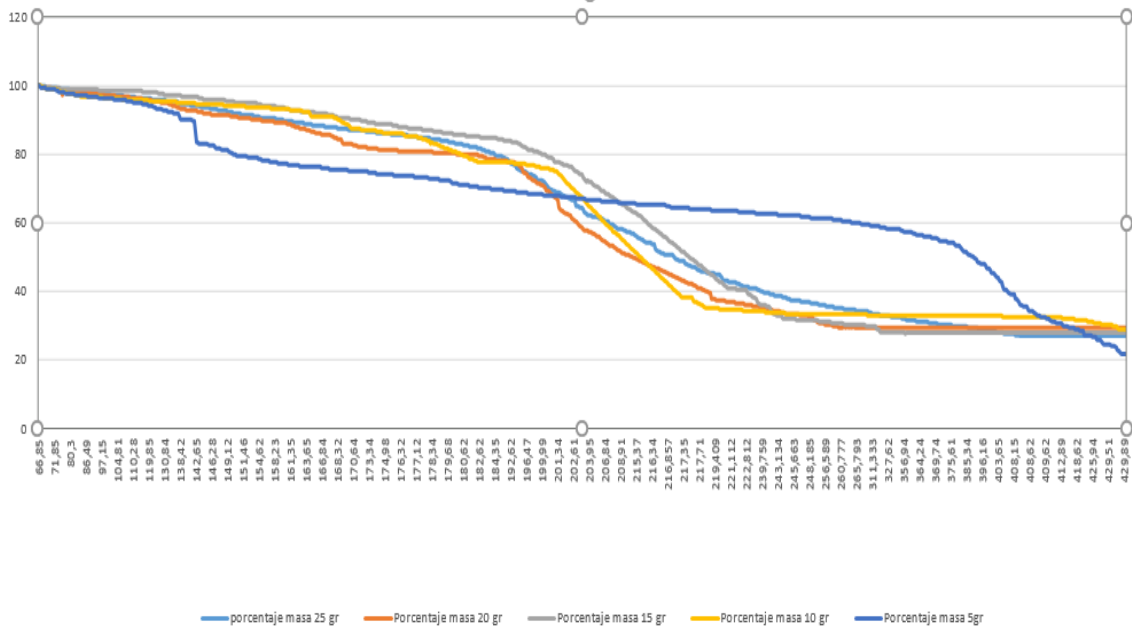
Como ejemplo de la fórmula de cálculo de porcentaje se realiza el siguiente ejemplo en el cual se toman los siguientes datos:

N=25.39 gramos; n=3. Es decir, se toma la prueba de masa de 25.31 gramos y se calcula la pérdida porcentual a la muestra numero 3 la cual es de 25.31 gramos, de esto se obtiene el siguiente resultado.

$$\% = \frac{(25.31 * 100)}{25.39} = 99.685$$

De esta forma se obtienen todos los valores porcentuales de las respectivas pérdidas de masa de las pruebas anteriores y de ellas se puede obtener la gráfica presentada posteriormente.

FIGURA 78. Curvas porcentuales.



En la figura 73 se pueden observar varios aspectos:

1. Las curvas de las muestras de (25-10) gramos presentan el mismo patrón de pérdida de masa porcentual con sus respectivos errores.
2. La muestra de 5 gramos presenta un patrón totalmente diferente al mostrados por las otras masas, de lo cual nos indica que bajo esta masa de muestra no se presenta fiabilidad en los resultados obtenidos por el mecanismo.

Una vez sabiendo que el mecanismo nos brinda una cierta confianza bajo un cierto rango limitado de muestreo (que es en este caso de [0-100] gramos) se procede a comprobar la fiabilidad con respecto a una prueba realizaba en un equipo de laboratorio profesional y de esta manera determinar la confiabilidad en los resultados obtenidos y posteriores errores en los mismos.

9.2 análisis del comportamiento de pérdida de masa con una prueba de laboratorio.

Para realizar este análisis se tomaron como datos de referencia los obtenidos por el estudiante de maestría en ingeniería mecánica SERRANO, Raúl Andrés el cual realizo una termo gravimetría de reacciones paralelas a la cascarilla de arroz bajo una atmosfera controlada y con aire sintético.

Este analizador mencionado anteriormente presenta las siguientes características de operatividad:

1. Análisis bajo la normativa (norma ASTM E2550-11)⁸, la cual nos brinda todos los pasos para realizar un análisis con respaldo de la norma.
2. Tamaño de muestra de 9.821 gramos.
3. una curva de evolución de temperatura seccionada en 3 segmentos, los cuales son:
 - a) Rampa de calentamiento lineal en el rango de temperatura [32.291-104.075].
 - b) secado de la muestra a 104 grados Celsius.
 - c) Segunda rapa de calentamiento en el rango de [104-800] grados Celsius.
 - d) Datos de muestreo

⁸ ASTM E2550-11, denominate Standard Test Method For Thermal Stability By Thermogravimetry.

Las especificaciones mencionadas anteriormente se pueden observar de manera gráfica en las figuras 74, 75, 76 y 77 respectivamente.

FIGURA 79. Evolución de temperatura de la prueba de referencia.

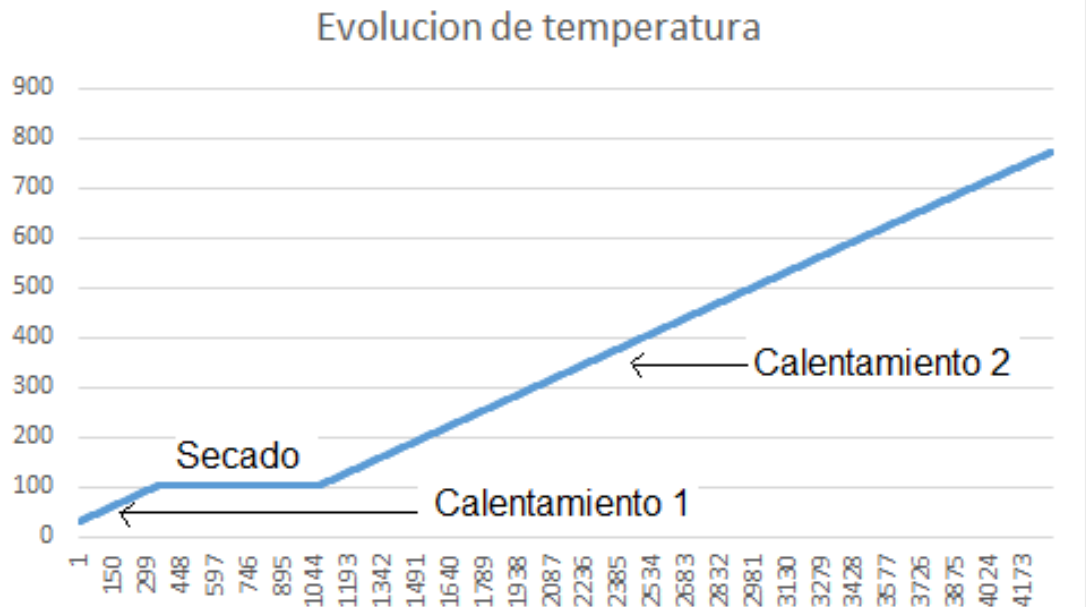


FIGURA 80. Rampa de calentamiento 1.

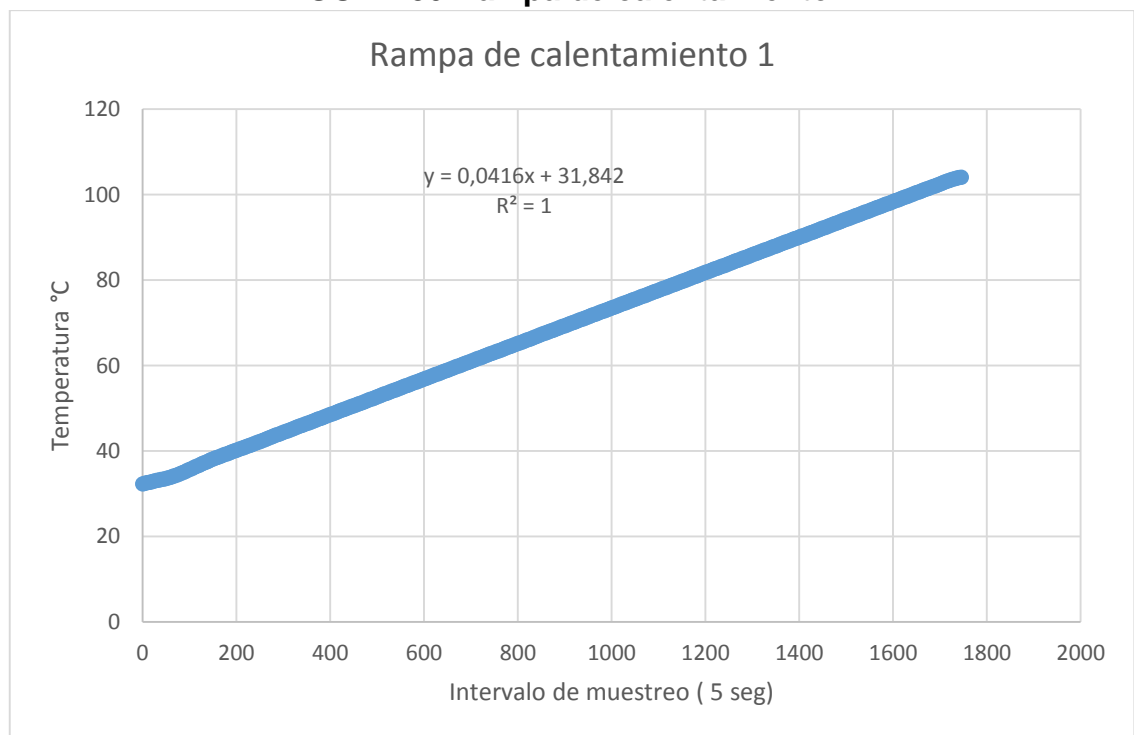


FIGURA 81. Oscilación de la temperatura en la fase de secado.

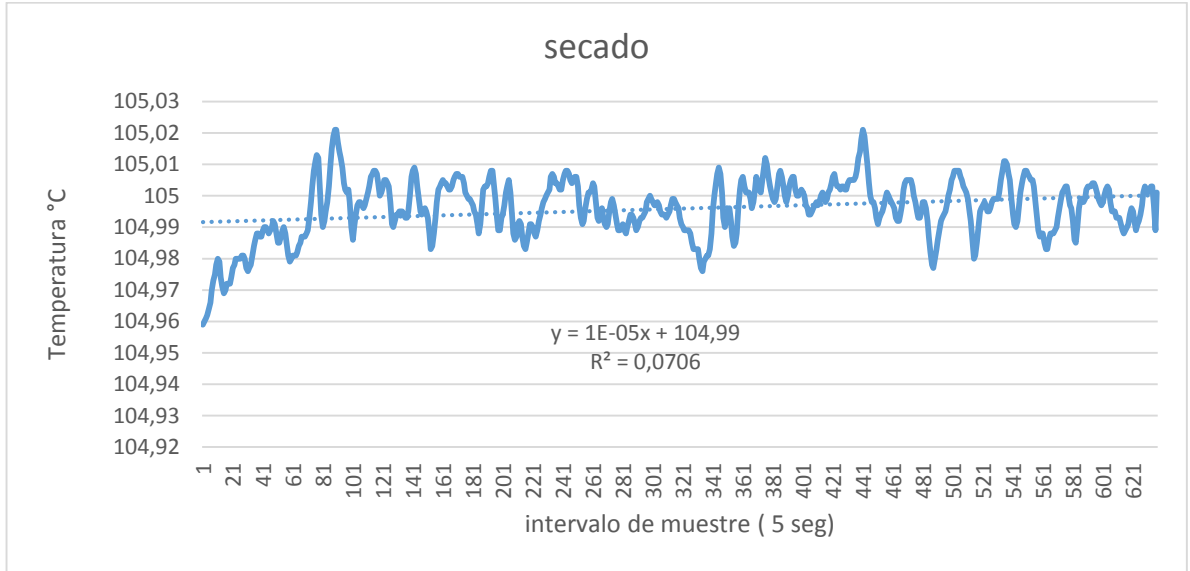
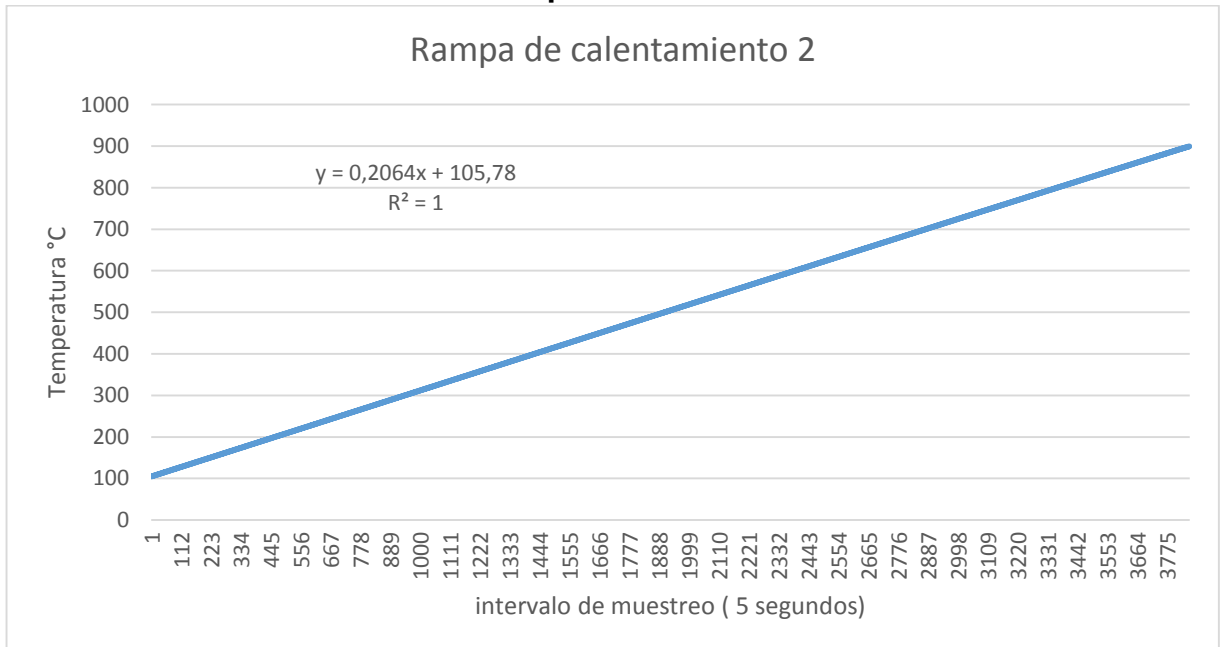


FIGURA 82. Rampa de calentamiento 2.



Con base a las etapas de evolución de temperatura presentes en esta prueba de referencia, se resalta una gran diferencia respecto a las realizadas con el mecanismo a comparar, y es que en este segundo no se realizó una fase de secado en medio de la misma, lo cual predice una nueva fuente error, dado que este análisis tiene una etapa destinada a eliminar la mayor cantidad de humedad posible a contraste de la otra.

A pesar de poseer esta discrepancia y cómo es posible observar en el Anexo Datos de Excel, la variación de la masa en este periodo de secado es de tan solo 0.013 gramos, lo cual es una medición que no ocasiona la reacción del sensor usado en el mecanismo a analizar, por lo cual no presenta una fuente de error considerable.

Aclarado esta discrepancia se procede a realizar el análisis gráfico y numérico de los comportamientos obtenidos en el analizador de laboratorio y el mecanismo diseñado y construido.

9.3 Análisis gráfico y numérico de resultados.

Antes de empezar con las respectivas comparativas se presenta en la tabla N. ^a10 los datos más relevantes de estas dos pruebas.

Tabla 10. Parámetros importantes de las pruebas.

Tipo de prueba	Frecuencia de muestreo (segundo)	Temperatura alcanzada (°C)	Datos de muestreo	Masa de prueba (gramos)	Masa de residuo (gramos)	Tipo de atmosfera interior
Prueba de laboratorio	5	899.611	4924	9.821	1.887	Aire sintético
Mecanismo diseñado	6	432.75	692	11.91	3.42	Aire atmosférico

Como se puede ver en la tabla anterior, las pruebas realizadas en estos dos analizadores presentan discrepancias, las cuales se deben a factores tales como:

1. El hardware empleado en el analizador de laboratorio posee una mayor capacidad de almacenamiento debido a que emplea un P.L.C, a diferencia de los empleados en analizador diseñado, el cual solo posee una capacidad de 1023 bits.
2. Temperaturas máximas de análisis diferentes, dado que el analizador de laboratorio alcanza temperaturas más estables y elevadas.
3. El ambiente dentro del recinto del analizador es la más notoria diferencia, dado que en uno se controla las condiciones de quema de la muestra haciendo especial énfasis en las partículas presentes dentro de la cámara tales como residuos volátiles y cantidades variables de vapor de agua, las cuales agilizan o ralentizan la combustión de la muestra a analizar.

Estas gráficas y el análisis respectivo entre estas mismas se realizaron mediante el software MS office Excel 2016 (16.0.4266.1001).

FIGURA 83. Curva de laboratorio.

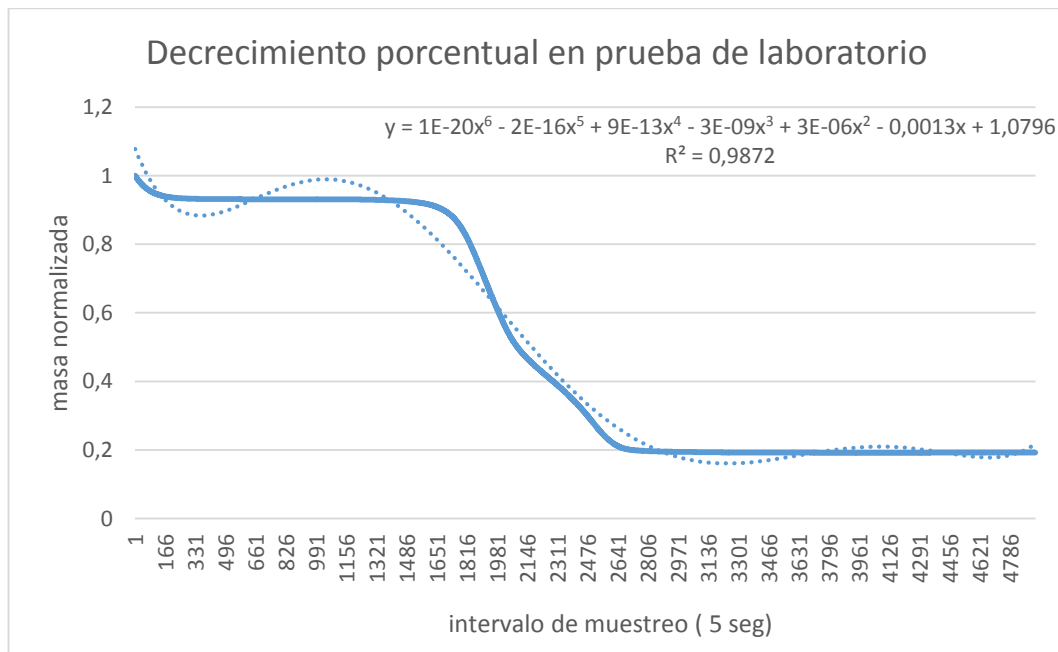
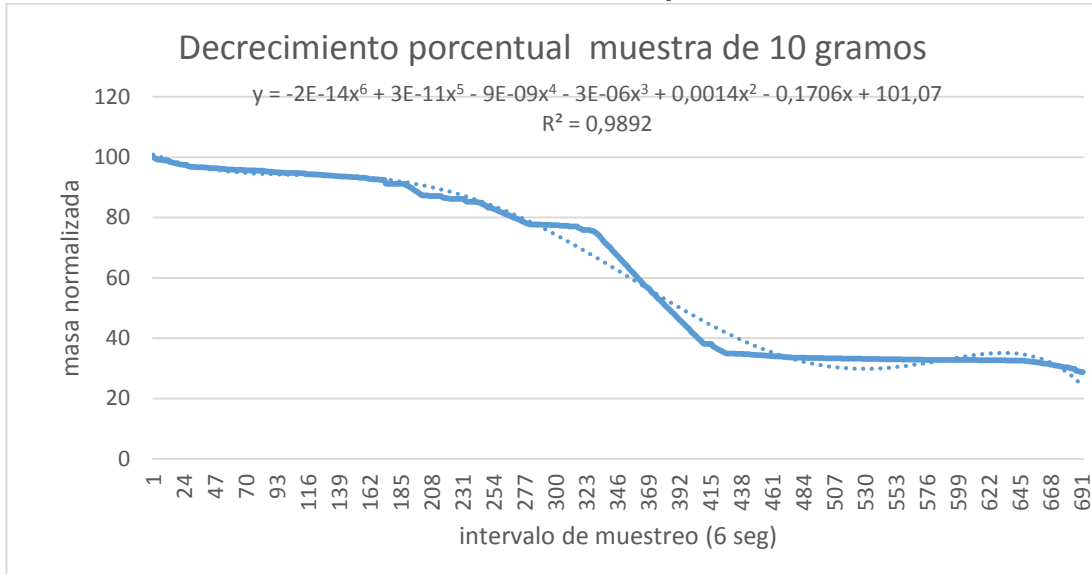


FIGURA 84. Curva obtenida por el mecanismo.



En las figuras 78 y 79 se puede observar que el comportamiento del decrecimiento porcentual de la muestras de biomasa tiene una cierta similitud en sus tres fases de conducta, las cuales en orden se suceden son secado, liberación de material volátil y combustión, esto hablando de su comportamiento respecto al tiempo sin conocer aún las temperaturas respectivas bajo estos acontecimientos. Logrando observar que en la prueba realizada por el analizador de laboratorio; el secado y pérdida de material volátil tiende a ser una caída suave y no demasiado decreciente, a diferencia de la realizada por el mecanismo diseñado el cual presenta una caída de material volátil más abrupta comparada con la mencionada anteriormente.

Con base a la combustión, en la figura 78 se observa una caída lineal con menor amplitud de temperatura, pero con mayor longitud de curva, lo cual indicaría una combustión de material un poco más controlada y no tan errática debido a la presencia controlada de la atmosfera interior. Esto indica que las diferentes condiciones en el interior de la cámara generan comportamientos diferentes en la evolución de la descomposición térmica, como se logra en las gráficas nombradas anteriormente.

FIGURA 85. Masa normalizada vs Temperatura.

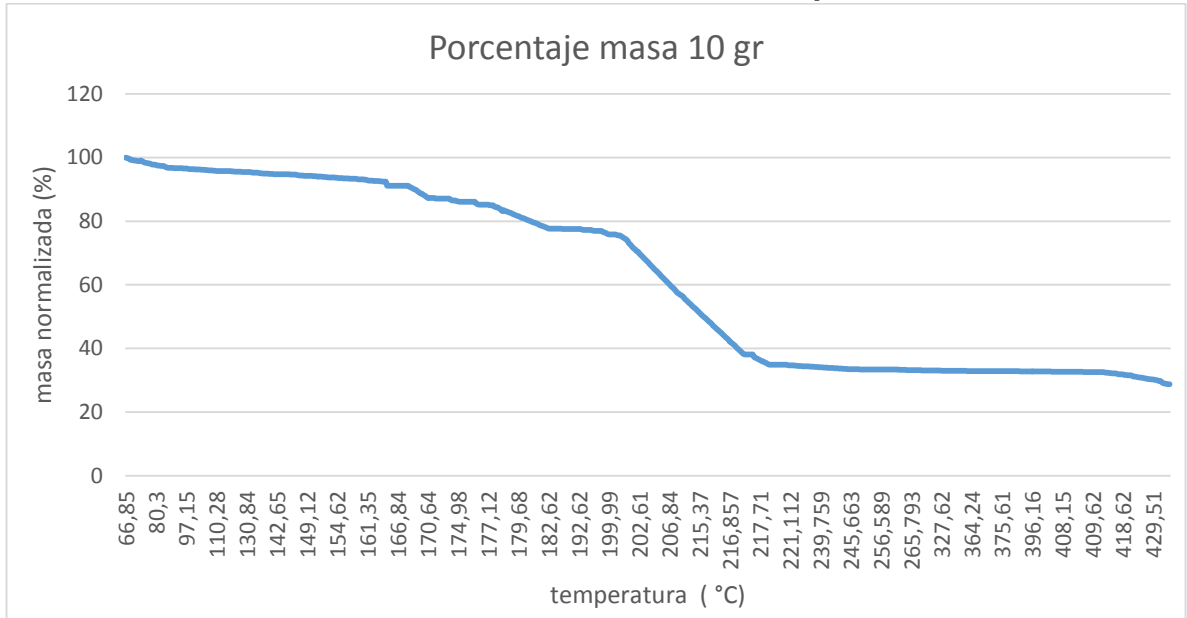
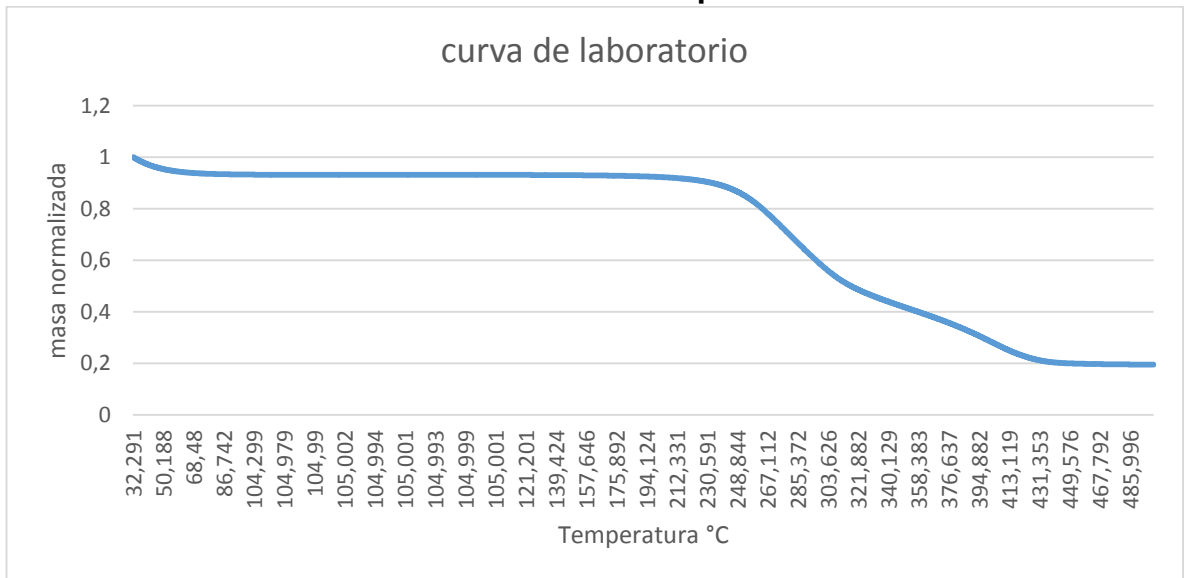


FIGURA 86. Masa normalizada vs temperatura en laboratorio.



Las figuras 80 y 81 muestran el comportamiento de la masa con respecto a la temperatura dentro de la cámara, y es aquí en donde se puede apreciar una gran diferencia entre estos dos sistemas a analizar. Esto se debe a que como se observa en la figura 81, el inicio de la carbonización se presenta entre (230 a 250 °C) y se finaliza en los 430 °C, a diferencia de la

prueba mediante el mecanismo implementado en donde la carbonización se inicia a los 202 °C (como se observa en la figura 80) y finaliza en un promedio a los 230°C. lo cual indica una combustión esporádica en un rango muy corto de temperatura.

Para poseer unos valores cuantitativos que hagan referencia a la discrepancia entre estas dos pruebas realizadas en los diferentes analizadores se presenta la Tabla N. 11, en las cuales se pueden hallar 50 muestras tomadas de las curvas de los dos análisis realizados y su respectivo error porcentual, tomando como valor real el correspondiente a los datos captados por el analizador de laboratorio y mediante la aplicación de la ecuación N.2 presentada a continuación.

$$Error = \frac{V_t - V_p}{V_t} * 100 \quad (2)$$

Donde:

Vt: es el valor tomado de la prueba del analizador.

Vp: valor tomado del mecanismo implementado.

En esta comparativa se toma como referencia la misma temperatura tomada en los dos análisis y se determina el error entre las respectivas masas normalizadas. Estas temperaturas parten desde los 70 grados y terminan en los 430 grados mediante incrementos constantes de 7.2 grado como se ve reflejados en la tabla 11.

Tabla 11.ERRORES DE DATOS.

Dato	Temperatura	Vt	Vp	Error
1	70,56	93,73	98,9	5,515843
2	77,76	93,53	97,9	4,672298
3	86,08	93,38	96,8	3,662454
4	94,4	93,33	96,64	3,546555
5	102,72	93,22	96,3	3,304012
6	111,04	93,09	95,8	2,911161
7	119,36	93,08	95,71	2,825526
8	127,68	93,07	95,54	2,653916
9	136	93,05	95,21	2,321333
10	144,32	93,015	94,71	1,822287
11	152,64	92,97	93,87	0,968054
12	160,96	92,91	93,11	0,215262

13	169,28	92,85	88,74	4,426494
14	177,6	92,76	84,34	9,077188
15	185,92	92,64	77,58	16,25648
16	194,24	92,48	77,24	16,47924
17	202,56	92,26	70,61	23,46629
18	210,88	91,93	54,24	40,99859
19	219,2	91,45	34,92	61,8152
20	227,52	90,73	34,25	62,25063
21	235,84	89,64	34,17	61,88086
22	244,16	87,95	33,67	61,71688
23	252,48	85,37	33,41	60,86447
24	260,8	81,61	33,33	59,15942
25	269,12	76,93	33,16	56,89588
26	277,44	71,74	33,16	53,77753
27	285,76	66,44	33,16	50,09031
28	294,08	65,35	33,16	49,25784
29	302,4	56,58	33,16	41,39272
30	310,72	52,53	33,16	36,87417
31	319,04	49,45	33,16	32,94237
32	327,36	47,03	32,99	29,85329
33	335,68	44,95	32,99	26,60734
34	344	43,01	32,99	23,29691
35	352,32	41,2	32,99	19,92718
36	360,64	39,38	32,99	16,22651
37	368,96	37,51	32,91	12,2634
38	377,28	35,5	32,82	7,549296
39	385,6	33,31	32,82	1,47103
40	393,92	30,92	32,74	5,886158
41	402,24	28,26	32,74	15,8528
42	410,56	25,7	32,57	26,73152
43	418,88	23,44	31,82	35,75085
44	427,2	21,75	30,89	42,02299
45	435,52	20,67	28,71	38,89695
46	443,84	20,13	28,71	42,62295
47	452,16	19,88	28,71	44,4165
48	460,48	19,74	28,71	45,44073
49	468,8	19,65	28,71	46,10687

Como se puede observar en la tabla 11, los valores obtenidos entre el analizador de laboratorio y el mecanismo diseñado no presentan errores significativos en el rango de los 70 hasta los 200 °C, pero a partir de este punto es cuando se inicia la combustión en la cámara del mecanismo implementado, posiblemente debida a la falta de control en el interior de la misma y a la presencia de aire residual atmosférico.

Para finalizar, se puede apreciar en la misma tabla N. 11 que los residuos obtenidos al finalizar la etapa de combustión son muchos mayores en la prueba realizada por medio del mecanismo implementado que en el equipo de laboratorio. En donde la diferencia entre estas dos es del 46%.

9.4 Segunda referencia gráfica.

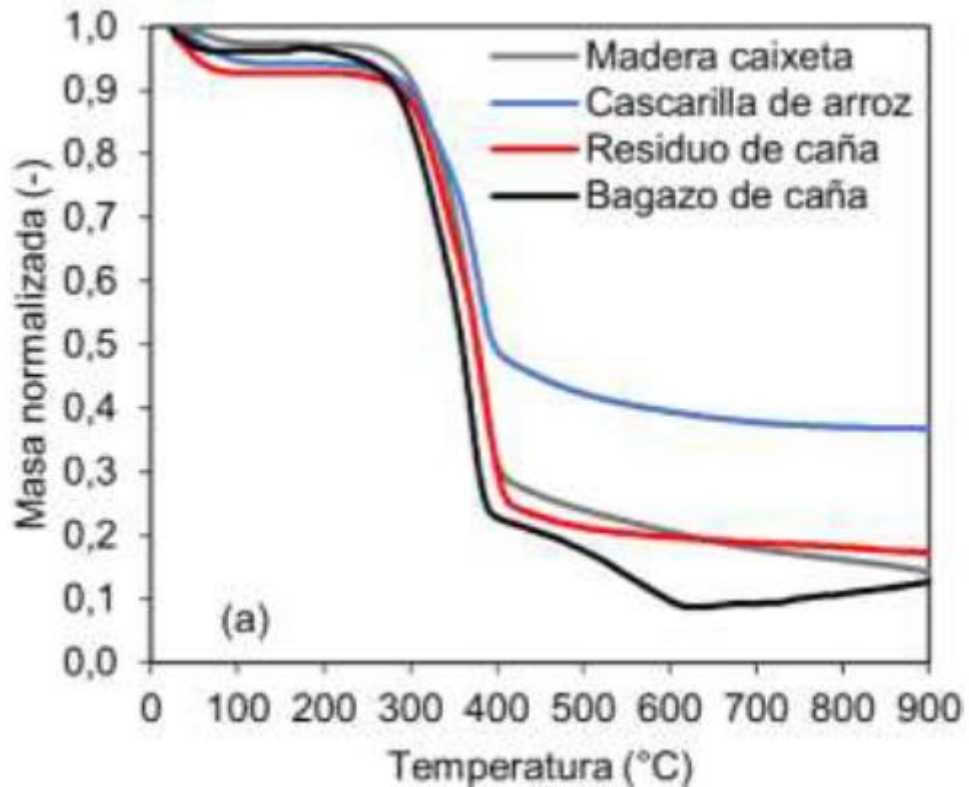
Como segundo punto de referencia para su comparación con los resultados obtenidos se basa los resultados obtenidos en el artículo denominado **“Análisis cinético de la descomposición térmica de biomásas aplicando un esquema de reacciones paralelas independientes”** realizado por RUEDA ORDOÑEZ, Yesid y TANNOUS, Katia en la universidad estadual de campinas y publicado en su versión final el 17 de mayo de 2017.

En este artículo se realiza entre muchas otras pruebas un análisis termogravimétrico a la cascarilla de arroz y a otras biomásas, en un analizador (Shimadzu, TGA-50, Japón) y con un gas de trabajo como lo es el nitrógeno (White Martins, 99,996% de pureza) y un flujo de 50 mL/min⁹.

Con base a los datos obtenidos en este análisis se puede observar la figura 82. En donde se presenta la evolución de la pérdida de masa con respecto a la temperatura de la cámara.

⁹ **“Análisis cinético de la descomposición térmica de biomásas aplicando un esquema de reacciones paralelas independientes (Y.R. Ordoñez y K.Tannous, 2017, p. 123)”**

FIGURA 87.Descomposición térmica de varias biomazas.



Fuente: **Análisis cinético de la descomposición térmica de biomazas aplicando un esquema de reacciones paralelas independientes** (Y.R. Ordoñez y K. Tannous, 2017, p. 121).

En esta figura se puede observar un comportamiento muy parecido a la vista en la figura 81, en cuanto a evolución de la curva y sobre todo a los rangos de temperatura en donde ocurren los diferentes procesos, lo cual ratifica la veracidad de los datos de referencia tomados en el inciso anterior, pero es aquí, en donde también resalta que el porcentaje de masa al finalizar la prueba es de alrededor del 37%, lo cual y mediante la fórmula número 2 se obtiene un error del 22%, el cual es significativamente inferior al obtenido en la tabla N.11.

10. CONCLUSIONES

1. Se diseñó en detalle un analizador termogravimétrico en escala macro para muestras de biomasa de hasta 100 gramos, brindando todos los indicativos pertinentes al mismo como dimensionamiento por medio de planos técnicos, manual de usuario y operación, análisis de costos y parámetros mecánicos, electrónicos e informáticos, consagrando de esta manera la complejidad al realizar el un diseño de cualquier sistema deseado.
2. Se diseñó, construyó y se puso a punto un mecanismo económico encargado del censado de masa y temperatura de una biomasa, el cual mediante su acople a una mufla de laboratorio trato se simular un análisis termogravimétrico, el cual es llevado a cabo en equipos mucho más costosos y obteniendo de esta manera las respectivas curvas de descomposición térmica.
3. La sensibilidad presentada por el mecanismo implementado es de [10- 100] gramos de biomasa, la cual es bastante buena a pesar de ser implementado un sensor bastante básico, para el desarrollo de este sistema.
4. Las curvas obtenidas por las diferentes masas, presentan el mismo comportamiento gráfico, lo cual indica un correcto funcionamiento del sensor. Esto se puede observar en la tabla N. 9 (ver Anexos), en donde las diferencias porcentuales entre las diferentes masas de censado no superan el 8% entre sí, lo cual genera un error inferior al 10%.
5. El porcentaje másico de residuo en todas las pruebas se situó entre el 26.9 % y el 29.6%, lo cual es una muy buena convergencia tomando en cuenta el tipo de sensor utilizado y su respectiva sensibilidad
6. El error derivado de la comparación entre los datos obtenidos en un analizador de laboratorio y el mecanismo implementado es tan solo del 16% hasta los 200°C, el cual nos revela un comportamiento bastante similar, apaleando la diferencia tecnológica y económica entre los dos.
7. La presencia de un gas halógeno inerte en la cámara de combustión es de suma importancia en un análisis termogravimétrico, esto debido a que al no poseer este

factor en la prueba realizada con el mecanismo, se presentó una combustión temprana alrededor de los 210°C, a diferencia de la referencia la cual fue alrededor de los 240°C. Esto a su vez genera un proceso de carbonización o combustión más lento y entre un intervalo más grande temperatura como se puede observar en la figura 80 y 81 respectivamente, o cual radica en un mayor error en la descomposición másica de la muestra, llegando de esta manera a errores que alcanzan los 62% como se puede observar en la tabla N. 11.

8. El porcentaje de masa convertido en residuo se encuentra entre el obtenido por medio de aire sintético 19% que fueron los datos de referencia y el indicado por la figura 82 de aproximadamente 37% el cual implemento nitrógeno como gas inerte.
9. En un contexto general el mecanismo diseñado nos brinda una idea general de la descomposición existente al someter una muestra a altas temperaturas.
10. Es posible mediante software y hardware de disposición educativa diseñar e efectuar sistemas mecatrónicas complejos, similares a equipos mucho más tecnológicos y costosos, brindando de esta manera ideas globales sobre posteriores comportamientos.

11.RECOMENDACIONES

1. Los parámetros mecánicos e informáticos presentados en el diseño en detalle del analizador son basados en las funciones básicas que desempeña un analizador de laboratorio, pero con la inclusión de sistemas más cotidianos y no tan costosos.
2. El mecanismo diseñado, construido y probado no pretendía ser usado para pruebas estrictas de laboratorio, este solo pretendía mostrar que es posible desarrollar un equipo que brinde una idea general de un proceso bastante complejo sin necesidad de invertir demasiado capital en su desarrollo.
3. Se recomienda acondicionar la cámara de combustión para posteriores pruebas con la presencia de gas inerte, esto para brindar una comparativa más precisa sobre la divergencia entre un analizador comercial y el mecanismo implementado anteriormente.
4. De ser construido el analizador diseñado en detalle, se recomienda seguir el manual de uso y mantenimiento presente en el anexo N.
5. Las dimensiones indicadas en los planos del bastidor disponibles en el anexo G, son basadas en el espacio de un laboratorio convencional y con una mesa de trabajo para un solo ordenador portátil, por lo tanto, de ser necesario se puede modificar estas medidas por unas más acordes al espacio disponible sin verse afectada la cámara de combustión y más demás partes importantes del analizador.

BIBLIOGRAFÍA

- (julio de 2015). Obtenido de http://bdigital.unal.edu.co/48357/1/1032410813.2015_1.pdf
- ALMARAZ, R. T. (1997). *SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS*. Obtenido de <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/labviewmanual.pdf>
- Artega, J. C., Sanchez, E. A., & Zapata, Z. (2012). Obtencion de biocombustibles productos de la pirolisis rapida de residuos de palma. 60.
- Bautista, M. R., & Palma, J. C. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE HORNO PARA LA REALIZACION DE ALEACIONES DE ALUMINIO*. BOGOTA
- GONZALES, J. F. (25 de Agosto de 2012). *istas*. Obtenido de Barreras para el desarrollo del empleo de los biocombustibles: www.istas.net
- Incropera, F. P. (2015). *transferencia de calor y de masa*. ciudad de mexico: pearson.
- Obando, G. A. (2015). Condiciones de diseño de un Reactor de Pirolisis a escala de laboratorio para la obtención de Biocarbón a partir de Residuos Orgánicos Sólidos (ROS). 82.
- ROMEVA, C. R. (2008). *SELECCION DE MATERIALES EN EL DISEÑO DE MAQUINAS*. MADRID: UPC.
- Yanqiu Long*, H. Z. (2016). Interactions among biomass components during co-pyrolysis. *Korean J. Chem. Eng.*, 7.
- Y.R. ORDOÑEZ Y K. TANNOUS, Análisis cinético de la descomposición térmica de biomazas aplicando un esquema de reacciones paralelas independientes, (2017), p. 123-125 disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/6299861.pdf>
- Molina Martínez José M., Jimenez Buendia Manuel, programación grafica para ingenieros, MEXICO : ALFAOMEGA, 2012. Disponible en: Biblioteca Universidad Industrial de Santander.
- FERNANDO REYES CORTES, JAIME CID MONAJARAZ, Arduino: aplicaciones en robótica, mecatrónica e ingenierías. MEXICO: ALFAOMEGA, 2015. 70-85. Disponible en: Biblioteca Universidad Industrial de Santander.
- DAVID RODRIGUEZ SALGADO, soldadura: tecnología y técnica de los procesos de soldadura. MADRID: BELLISCO. EDICIONES TECNICAS Y CIENTIFICAS, 2010. P. 25-40. Disponible en: Biblioteca Universidad Industrial de Santander.

Th.Damartzis , D.Vamvukab , fakiotakisb A.Zabaniotou. Thermal degradation studies and kinetic modeling of cardoon (*Cynara cardunculus*) pyrolysis using thermogravimetric analysis (TGA).

MÓDULO A3 ,Startup' Introducción a la programación de PLC con STEP 7, Manual de formación para soluciones generales en automatización Totally Integrated Automation (T I A). [en línea] disponible en: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/classic/basics-programming/a03-startup-es.pdf>.

ANEXOS

Anexo A. Catálogo de tubería Schedule 40.

Anexo B. catálogo de tubería inoxidable AISI 304

Anexo C. Aislante fibra cerámica.

Anexo D. Catálogo de resistencia eléctrica de banda cerámica.

Anexo E. Cálculos de termodinámica y transferencia de calor del analizador.

Anexo F. Catálogo de perfiles de acero.

Anexo G. Planos del analizador.

Anexo H. Catálogo de termocouplas.

Anexo I. Catálogo del PLC Logo.

Anexo J. Catálogo del acople.

Anexo K. Válvulas festo de regulación de caudal.

Anexo M. Códigos de funcionamiento.

Anexo N. Manual de mantenimiento y uso.

Anexo O. Datos de Excel.