



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PARA LA
ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE
CÁSCARA DE COCO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: CANO PACHECO OSCAR DAVID

COQUE MORILLO LEONARDO RAFAEL

DIRECTOR/A: ING. HANNIBAL BRITO

Riobamba - Ecuador

2018

©2018, Cano Pacheco Oscar David , Coque Morillo Leonardo Rafael

Autorizamos la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de los Autores.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo técnico: “Diseño y construcción de un horno para la elaboración de carbón activado a partir de cáscara de coco”, de responsabilidad de los señores **Cano Pacheco Oscar David y Coque Morillo Leonardo Rafael**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedada autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Hannibal Brito Moina DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Paúl Palmay Paredes MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Nosotros, Cano Pacheco Oscar David y Coque Morillo Leonardo Rafael somos responsables de las ideas aplicadas en el diseño, cálculos, procesos y resultados expuestos en esta tesis y la propiedad intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

CANO PACHECO OSCAR DAVID

COQUE MORILLO LEONARDO RAFAEL

DEDICATORIA

A mi madre Ana Lucía Pacheco Alarcón, a mi padre Carlos Arturo Cano Palacio, a mis hermanos Carlos Arturo y Ángela Samantha Cano Pacheco, y en especial a mis abuelos Homero Pacheco y Gladys Alarcón que desde el cielo yo sé que siempre han estado conmigo apoyándome y mandándome sus bendiciones; para ellos es todo mi sacrificio, esfuerzo, tenacidad, cariño y amor. Para ustedes todos mis logros y aciertos.

En general a todos los que formaron parte de mi vida personal, académica y ahora profesional. A mis tíos, primos, amigos, compañeros, docentes, que siempre se preocuparon por mí y me ayudaron a ser una mejor persona y un mejor estudiante día a día. ESTO VA POR Y PARA USTEDES.

Cano Pacheco Oscar David

Dedico este trabajo a mi Padre; Rafael Coque Tenorio, porque me ha guiado desde niño, de todos los abismos de ha salvado, en todas las tormentas fue mi escudo.

A mis amigos; Por brindarme las palabras de aliento, el abrazo, los momentos de humor, los temores, las dudas. Por compartir con ellos la aventura de estudiar con ellos paso a paso.

A mi gran amiga; María Cristina Guamán Padilla, porque somos como hermanos, y si alguna vez tuvimos un enfado que perturbo sin querer nuestra armonía, quedo en el pasado, ya que no puede ser pecado el discutir alguna vez por niñería.

Coque Morillo Leonardo Rafael

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por haberme dado la sabiduría de culminar mi carrera estudiantil, llegar a este momento tan importante en mi formación académica. A mi padre, que aunque ya no esté conmigo fué, es y será ese ejemplo a seguir, buen padre, hombre justo y excelente profesional. A mi madre por ser ese ángel que está conmigo en las buenas y en las malas, por ser ese ejemplo de lucha y superación, por darme su cariño, amor y ayuda incondicional. A mis hermanos por ser ese aliento para no decaer y seguir con mi carrera universitaria.

A mi novia, amigos y compañeros que fueron parte importante tanto emocional como anímicamente y contribuyeron de alguna u otra manera para culminar mis estudios en ésta prestigiosa Universidad. Al Ing. Hannibal Brito y el Ing. Paul Palmay, quienes con su conocimiento, guía y apoyo me supieron encaminar a lo largo de mi Proyecto Técnico.

Cano Pacheco Oscar David

Comencé mi viaje llamado Ingeniería Química, mi camino fue guiado por extraordinarios Docentes que tuvieron la paciencia y la voluntad de enseñarme y compartir conmigo sus conocimientos.

Ahora que cumpla una meta; agradezco a todos ellos, en particular al Ing Hannibal Brito, que con sus conocimientos y experiencia que me ha brindado ha hecho posible la culminación de una meta. Al Ing Paul Palmay; que ha sido un guía en mi camino ya que gracias a sus conocimientos y paciencia veo mi anhelo cumplido.

Coque Morillo Leonardo Rafael

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1
1. DIAGNOSTICO Y DEFINICION DEL PROBLEMA	5
1.1. Identificación del problema.....	5
1.2. Justificación del proyecto	5
1.3. Línea base del proyecto	7
1.3.1. <i>Materia prima y producto</i>	7
1.3.1.1. <i>Biomasa y residuos lignocelulósicos</i>	7
1.3.1.2. <i>Coco</i>	7
1.3.1.3. <i>Carbón activado</i>.....	8
1.3.1.4. <i>Propiedades físicas y químicas de los carbones activados</i>.....	8
1.3.1.5. <i>Tipos de carbones activados</i>	10
1.3.1.6. <i>Usos del carbón activado</i>.....	11
1.3.1.7. <i>Fuentes de obtención de carbón activado</i>.....	12
1.3.1.8. <i>Métodos de obtención del carbón activado</i>.....	12
1.3.2. <i>Hornos y muflas</i>	13
1.3.2.1. <i>Principio de funcionamiento de hornos mufla</i>	14
1.3.2.2. <i>Proceso de diseño del horno</i>	15
1.3.3. <i>Sistema de control</i>	17
1.3.3.1. <i>Función de transferencia</i>	18
1.3.3.2. <i>Diagramas de bloques</i>.....	18
1.3.3.3. <i>Sistemas de control en lazo cerrado</i>	20
1.3.3.4. <i>Sistema de control en lazo abierto</i>	20
1.3.3.5. <i>Especificaciones de comportamiento y compensaciones</i>	21
1.3.3.6. <i>Compensación del sistema</i>	21
1.3.3.7. <i>Controlador PID</i>.....	21
1.3.4. <i>Herramientas de diseño en ingeniería</i>.....	22
1.3.4.1. <i>Método QFD (Quality Function Deployment)</i>.....	22
1.3.4.2. <i>Método ordinal de criterios ponderados</i>.....	24
1.3.5. <i>Análisis de parámetros físico químicos del carbón activado</i>	26
1.3.5.1. <i>Determinación de humedad del carbón activado</i>	27

1.3.5.2.	<i>Determinación de densidad aparente del carbón activado.....</i>	28
1.3.5.3.	<i>Determinación de cenizas totales del carbón activado.....</i>	29
1.3.5.4.	<i>Determinación de índice de yodo del carbón activado</i>	30
1.3.5.5.	<i>Determinación de la dureza del carbón activado</i>	32
1.3.5.6.	<i>Comparación entre el carbón activado de cáscara de coco y el comercial</i>	33
1.4.	Beneficios directos e indirectos	34
1.4.1.	<i>Directos.....</i>	34
1.4.2.	<i>Indirectos.....</i>	34
2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	35
2.1.	Objetivo General.....	35
2.2.	Objetivos Específicos	35
3.	ESTUDIO TECNICO	36
3.1.	Localización del proyecto	36
3.2.	Ingeniería del proyecto	36
3.2.1.	<i>Requerimientos del usuario</i>	37
3.2.2.	<i>Características técnicas del equipo.....</i>	37
3.2.3.	<i>Evaluación de los requerimientos del usuario</i>	38
3.2.4.	<i>Comparación con otros equipos similares.....</i>	38
3.2.5.	<i>Correlación entre características técnicas.</i>	38
3.2.6.	<i>Evaluación de relaciones entre requerimientos y características</i>	39
3.2.7.	<i>Evaluación de características técnicas.....</i>	40
3.2.8.	<i>Resultados del método QFD</i>	40
3.2.9.	<i>Análisis de resultados del método QFD</i>	41
3.2.10.	<i>Elección del sistema de transferencia de calor (STC)</i>	41
3.2.10.1.	<i>Presentación de criterios de valoración.</i>	41
3.2.10.2.	<i>Presentación de soluciones.....</i>	42
3.2.10.3.	<i>Estimación de grado importancia para los criterios de valoración.</i>	42
3.2.10.4.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su confiabilidad.....</i>	43
3.2.10.5.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su facilidad de construcción.....</i>	44
3.2.10.6.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su coste.....</i>	45
3.2.10.7.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su adaptabilidad.....</i>	45
3.2.10.8.	<i>Ponderación final de las soluciones.....</i>	46
3.2.11.	<i>Elección de forma de aislamiento térmico externo (ATE)</i>	46
3.2.11.1.	<i>Presentación de criterios de valoración.</i>	46
3.2.11.2.	<i>Presentación de soluciones.....</i>	47

3.2.11.3.	<i>Estimación de grado importancia para los criterios de valoración</i>	47
3.2.11.4.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su confiabilidad</i>	48
3.2.11.5.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su facilidad de construcción</i>	48
3.2.11.6.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su coste</i>	49
3.2.11.7.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su adaptabilidad</i>	49
3.2.11.8.	<i>Ponderación final de las soluciones</i>	50
3.2.12.	<i>Elección de tipo de horno</i>	50
3.2.12.1.	<i>Presentación de criterios de valoración</i>	50
3.2.12.2.	<i>Presentación de soluciones</i>	51
3.2.12.3.	<i>Estimación de grado importancia para los criterios de valoración</i>	51
3.2.12.4.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su fiabilidad</i>	51
3.2.12.5.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su facilidad de construcción</i>	52
3.2.12.6.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su coste</i>	53
3.2.12.7.	<i>Ponderación de soluciones a razón de su adaptabilidad</i>	53
3.2.12.8.	<i>Ponderación final de las soluciones</i>	54
3.3.	<i>Diseño</i>	54
3.3.1.	<i>Cálculos de diseño estructural</i>	54
3.3.1.1.	<i>Volumen total ocupado por el horno</i>	54
3.3.1.2.	<i>División de secciones del horno</i>	55
3.3.1.3.	<i>Dimensionamiento de puerta del horno</i>	57
3.3.1.4.	<i>Dimensionamiento de cámara de calcinación</i>	58
3.3.1.5.	<i>Dimensionamiento de capas de aislante de la sección del horno</i>	59
3.3.2.	<i>Cálculos de dimensionamiento térmico</i>	60
3.3.2.1.	<i>Distribución de pared compuesta del horno</i>	60
3.3.2.2.	<i>Calculo de coeficiente de convección natural</i>	61
3.3.2.3.	<i>Calculo de resistencia térmica total</i>	63
3.3.2.4.	<i>Calculo de coeficiente global de transferencia de calor</i>	64
3.3.2.5.	<i>Calculo del flujo de calor transferido al ambiente</i>	64
3.3.2.6.	<i>Calculo del calor transferido por radiación hacia el ambiente</i>	65
3.3.2.7.	<i>Calculo del perfil de temperaturas en la pared compuesta</i>	65
3.3.2.8.	<i>Calculo de la potencia térmica requerida para calentar el material</i>	66
3.3.2.9.	<i>Calculo de la potencia total requerida para el horno</i>	66
3.3.2.10.	<i>Interpolación de propiedades térmicas del aire (convección natural)</i>	67
3.3.3.	<i>Cálculos de dimensionamiento del sistema de control de temperatura</i>	67
3.3.3.1.	<i>Balace de energía dinámico</i>	67
3.3.3.2.	<i>Linealización de la expresión de balace de energía</i>	68

3.3.3.3.	<i>Ajuste de modelo a variables de desviación.....</i>	68
3.3.3.4.	<i>Determinación de ganancias y constante de tiempo de respuesta.....</i>	69
3.3.3.5.	<i>Aplicación de transformadas de Laplace.....</i>	69
3.3.3.6.	<i>Determinación de funciones de transferencia del modelo.....</i>	69
3.3.3.7.	<i>Diagrama de bloques del modelo.....</i>	70
3.3.3.8.	<i>Sintonización de controlador PID en MATLAB.....</i>	70
3.3.4.	<i>Esquema final del equipo.....</i>	73
3.3.5.	<i>Procedimientos de operación.....</i>	73
3.3.6.	<i>Datos Experimentales.....</i>	74
3.3.6.1.	<i>Datos de preparación de muestras para obtener carbón activado.....</i>	74
3.3.6.2.	<i>Determinación de carbono fijo.....</i>	75
3.3.6.3.	<i>Determinación de dureza.....</i>	75
3.3.6.4.	<i>Determinación de cenizas totales.....</i>	75
3.3.6.5.	<i>Determinación de humedad.....</i>	76
3.3.6.6.	<i>Determinación de índice de yodo.....</i>	76
3.3.6.7.	<i>Determinación de densidad aparente.....</i>	76
3.3.6.8.	<i>Determinación de material volátil.....</i>	77
3.3.6.9.	<i>Comparación de la clarificación entre tipos de carbono.....</i>	77
3.4.	<i>Resultados de dimensionamiento.....</i>	78
3.4.1.	<i>Estructural.....</i>	78
3.4.1.1.	<i>Volumen de total ocupado por el horno.....</i>	78
3.4.1.2.	<i>División de secciones del horno.....</i>	78
3.4.1.3.	<i>Dimensionamiento de puerta del horno.....</i>	79
3.4.1.4.	<i>Dimensionamiento de cámara de calcinación.....</i>	79
3.4.1.5.	<i>Dimensionamiento de capas de aislante.....</i>	79
3.4.2.	<i>Térmico.....</i>	80
3.4.2.1.	<i>Parámetros de diseño térmico general.....</i>	80
3.4.2.2.	<i>Calculo del coeficiente de convección natural.....</i>	80
3.4.2.3.	<i>Calculo de resistencias térmicas.....</i>	81
3.4.2.4.	<i>Calculo del coeficiente global de transferencia de calor.....</i>	81
3.4.2.5.	<i>Calculo de perfil de temperaturas.....</i>	82
3.4.2.6.	<i>Calculo de potencia térmica requerida.....</i>	83
3.4.3.	<i>Sistema de control.....</i>	84
3.4.3.1.	<i>Función de transferencia de la planta.....</i>	84
3.4.3.2.	<i>Respuesta del sistema de control.....</i>	84
3.5.	<i>Análisis de resultados.....</i>	85

3.5.1.	<i>Dimensionamiento estructural</i>	85
3.5.2.	<i>Dimensionamiento térmico</i>	86
3.5.3.	<i>Dimensionamiento del sistema de control</i>	87
3.5.4.	<i>Análisis físico químicos del producto (parte experimental)</i>	88
3.6.	Validación del equipo	89
3.7.	Tablas de análisis económico	90

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Estructura del carbón activado	8
Figura 2-1	Tipos de poros en un carbón activado	9
Figura 3-1	Estructura por su naturaleza química	9
Figura 4-1	Carbón activado en polvo	10
Figura 5-1	Horno mufla	14
Figura 6-1	Partes de una mufla u horno de fundición.	15
Figura 7-1	Diagrama de bloques para representar un sistema	19
Figura 8-1	Control de lazo cerrado con los bloques importantes del proceso.	20
Figura 9-1	Control de lazo abierto con los bloques importantes en el proceso.	20
Figura 10-1	Bloque de controlador proporcional, integral y diferencial (PID).	22
Figura 11-1	Diagrama de despliegue de funciones de la calidad.	23
Figura 1-3	Correlaciones entre características técnicas del producto, método QFD.	39
Figura 2-3	Correlación entre requerimientos de usuario y características técnicas, método QFD.	43
Figura 3-3	Esquema con cotas para el cálculo de volumen total	55
Figura 4-3	Esquema de división de las secciones del horno.	56
Figura 5-3	Esquema general de divisiones de la sección de horno. (cámara + puerta)	57
Figura 6-3	Esquema con cotas de dimensionamiento de cámara de calcinación.	58
Figura 7-3	Esquema con cotas del dimensionamiento de capas de aislante de la sección del horno.	59
Figura 8-3	Esquema con cotas de la distribución de la pared compuesta del horno.	61
Figura 9-3	Analogía eléctrica para la distribución de pared compuesta del horno.	61
Figura 10-3	Código de función para Excel 2016, para interpolación de propiedades térmicas del aire a partir de datos tabulados.	67
Figura 11-3	Diagrama del proceso de control para el horno.	70
Figura 12-3	Diagrama de bloques de Simulink del proceso del horno.	70
Figura 13-3	Código para el análisis de la función de transferencia del modelo de planta del horno.	71
Figura 14-3	Sintonización de PID, del proceso en PID Tuner MATLAB	71
Figura 15-3	Resultado de los parámetros de ajuste de controlador PID.	72
Figura 16-3	Estructura general propuesta para el equipo.	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3	Resultados de ponderación de importancia de las características técnicas del horno.	40
Gráfico 2-3	Resultados de ponderación de importancia de las características técnicas del horno.	41
Gráfico 3-3	Resultado del perfil de temperatura teórico de la pared compuesta del horno	82
Gráfico 4-3	Respuesta de control PID de temperatura del horno, punto de consigna: 1473 K.	84

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-3	Localización del proyecto.	36
Fotografía 2-3	Validación de proceso de obtención de carbón activado, laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias – ESPOCH.	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Principales aplicaciones del carbón activado	11
Tabla 2-1	Evaluación de peso específico de criterios de valoración.	25
Tabla 3-1	Evaluación de peso específico de soluciones en base a criterio de valoración.	25
Tabla 4-1	Evaluación general de soluciones.	25
Tabla 5-1	Procedimiento para determinar el contenido de humedad en carbón activado.	27
Tabla 6-1	Procedimiento para la determinación del índice de iodo del carbón activado	28
Tabla 7-1	Procedimiento para la determinación del contenido de cenizas totales en el carbón activado	29
Tabla 8-1	Procedimiento para la determinación del índice de yodo del carbón activado	30-31
Tabla 9-1	Procedimiento para la determinación de la dureza del carbón activado	32
Tabla 10-1	Comparación entre tipos de carbón activado	33
Tabla 1-3	Grado de importancia de requerimientos del usuario	38
Tabla 2-3	Grado de importancia de criterios de valoración – STC.	43
Tabla 3-3	Ponderación de soluciones de STC a razón de su confiabilidad.	44
Tabla 4-3	Ponderación de soluciones STC a razón facilidad de diseño y construcción.	44
Tabla 5-3	Ponderación de soluciones de STC a razón de su costo.	45
Tabla 6-3	Ponderación de soluciones de STC a razón de su versatilidad	46
Tabla 7-3	Evaluación general de soluciones para STC.	46
Tabla 8-3	Grado de importancia de criterios de valoración – ATE.	47
Tabla 9-3	Ponderación de soluciones de ATE a razón de su fiabilidad.	48
Tabla 10-3	Ponderación de soluciones de ATE a razón de su facilidad de diseño y construcción.	48
Tabla 11-3	Ponderación de soluciones de ATE a razón de su costo.	49
Tabla 12-3	Ponderación de soluciones de ATE a razón de su adaptabilidad.	50

Tabla 13-3	Evaluación general de soluciones de ATE.	50
Tabla 14-3	Grado de importancia de criterios de valoración- tipo de horno.	51
Tabla 15-3	Ponderación de soluciones de horno a razón de su fiabilidad.	52
Tabla 16-3	Ponderación de soluciones de horno a razón de su facilidad de diseño.	52
Tabla 17-3	Ponderación de soluciones de horno a razón de su costo.	53
Tabla 18-3	Ponderación de soluciones de horno a razón de su adaptabilidad.	54
Tabla 19-3	Evaluación general de soluciones de tipo de horno.	54
Tabla 20-3	Procedimientos presentes en el manual de operación del equipo.	74
Tabla 21-3	Datos experimentales de preparación de muestras.	74
Tabla 22-3	Datos experimentales de la determinación de carbono fijo	75
Tabla 23-3	Datos experimentales de la determinación de dureza	75
Tabla 24-3	Datos experimentales de la determinación de cenizas totales	75
Tabla 25-3	Datos experimentales de la determinación de humedad	76
Tabla 26-3	Datos experimentales de la determinación del índice de yodo	76
Tabla 27-3	Datos experimentales de la determinación de densidad aparente	76
Tabla 28-3	Datos experimentales de la determinación de material volátil	77
Tabla 29-3	Datos experimentales de la comparación de clarificación de tipos de carbón activado.	77
Tabla 30-3	Resultados del dimensionamiento general del horno.	78
Tabla 31-3	Resultados de dimensionamiento de divisiones del horno.	78
Tabla 32-3	Resultados de dimensionamiento de puerta del horno.	79
Tabla 33-3	Resultados de dimensionamiento de cámara de calcinación.	79
Tabla 34-3	Resultados de dimensionamiento de capas de aislante.	79
Tabla 35-3	Parámetros de diseño térmico general.	80
Tabla 36-3	Resultados de cálculo de coeficiente de convección natural.	80
Tabla 37-3	Resultado de cálculo de resistencia térmica total.	81
Tabla 38-3	Resultado de cálculo de coeficiente global de transferencia de calor.	81
Tabla 39-3	Datos de perfil de temperatura y espesor de aislantes	82
Tabla 40-3	Resultado de cálculo de potencia térmica requerida	83

Tabla 41-3	Resumen de análisis experimentales de propiedades físico químicas del carbón.	88
Tabla 42-3	Presupuesto para equipos y maquinaria	90
Tabla 43-3	Presupuesto para recursos humanos	90
Tabla 44-3	Presupuesto para materiales de oficina	90
Tabla 45-3	Presupuesto para materia prima y análisis de laboratorio	91
Tabla 46-3	Presupuesto general del proyecto	91
Tabla 47-3	Cronograma de ejecución del proyecto.	92

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Fotografías del equipo construido.
ANEXO B	Pretratamiento y carbonización de cascara de coco.
ANEXO C	Análisis físico químico al producto – carbón activado 1.
ANEXO D	Análisis físico químico al producto – carbón activado 2.
ANEXO E	Esquema de equipo diseñado.
ANEXO F	Vista de diseño de equipo con Autodesk Inventor 2018.
ANEXO G	Cálculos de diseño estructural del horno, realizados en Microsoft Excel 2016.
ANEXO H	Cálculos de diseño térmico del horno, realizados en Microsoft Excel 2016.
ANEXO I	Diagrama QFD de diseño conceptual, realizado en Microsoft Excel 2016.
ANEXO J	Diseño conceptual mediante el método ordinal de criterios ponderados- elemento de transferencia de calor.
ANEXO K	Diseño conceptual mediante el método ordinal de criterios ponderados – Aislamiento térmico.
ANEXO L	Diseño conceptual mediante el método ordinal de criterios ponderados – Tipo de horno.
ANEXO M	Modelos de mufla.
ANEXO N	Diseño conceptual mediante el método ordinal de criterios ponderados – Tipo de resistencia eléctrica.
ANEXO O	Diseño conceptual mediante el método ordinal de criterios ponderados – Tipo de aislamiento térmico.
ANEXO P	Diseño conceptual mediante el método ordinal de criterios ponderados – Tipo de cámara de sacado.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue diseñar y construir un horno tipo mufla eléctrica, que permita carbonizar cáscara de coco para obtener carbón activado. Para ello, se usó herramientas (técnicas, métodos y software) que facilitó realizar el dimensionamiento estructural, diseño térmico y el dimensionamiento del sistema de control. Cada parte del dimensionamiento fue detallada para mejor comprensión del lector. Las etapas de diseño comprendieron las siguientes tareas: en la etapa de diseño estructural fue necesario establecer: las dimensiones totales del equipo (0.6850x0.4955x0.5269 m); las dimensiones de las secciones donde están instaladas la cámara del horno, la parte eléctrica y de control del equipo; el esquema final de cómo quedó la cámara de carbonización del horno, con las dimensiones del aislante interno. Lo siguiente en realizarse fue el diseño térmico con lo que se determinó la potencia total de las resistencias térmicas (3kW), los espesores de los aislantes (35cm – ladrillo refractario y 15cm de lana de vidrio), y el tipo de acero a usar para la estructura del horno (acero al carbono 1.5%). Concluido el diseño térmico se ajustó el sistema de control de forma teórica. Primero se obtuvo el modelo de planta del horno, tomando como elemento final de control a las resistencias eléctricas y como variable controlada la temperatura interna del horno. Con esto se estableció ecuaciones de balance de energía, tomando en cuenta las pérdidas de calor hacia el ambiente y el calor requerido por el carbón activado en el proceso de activación térmica (1473 K). Como última parte se realizó los análisis fisicoquímicos de calidad del producto usando como agente químico el ácido clorhídrico en base a las normativas NTE INEN correspondiente. Se recomienda realizar estudios para poder obtener carbón activado, con otras materias primas.

PALABRAS CLAVE: <INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA>, <HORNO TIPO MUFLA ELÉCTRICO>, <CARBÓN ACTIVADO>, <CÁSCARA DE COCO>, <ÁCIDO CLORHÍDRICO>, <ACTIVACIÓN TÉRMICA>, <NORMA NTE INEN 1990>, <CARBONIZACIÓN>, <DIMENSIONAMIENTO>

SUMMARY

The objective of this work was to design and build an electric muffle oven, which allows to carbonize coconut shell to obtain activated carbon. For this, tools (techniques, methods and software) were used, which facilitated the design of structure, thermal design and sizing of the control system. Each part of the dimensioning was detailed to better understand the reader. The design stages included the following tasks: in the structural design stage it was necessary to establish. The total dimensions of the equipment (0.6850x0.4955x0.5269 m); the dimensions of the sections where the oven chamber is installed, the electrical and control part of the equipment; the final how the carbonization chamber of the kiln is, with the dimensions of the internal insulation. The next thing to be done was thermal design, which determined the total power of the thermal resistances (3kW), the thicknesses of the insulators (35cm-refractory bricks and 15%). Once the thermal design was completed, the control system was adjusted theoretically. First, the oven plant model was obtained, taking the electric resistance as the final control element and the internal temperature of the oven as a controlled variable. This was used to establish energy balance equations, taking into account the heat losses to the environment and the heat required by the activated carbon in the thermal activation process (1473 K). As a last part, the physicochemical analysis of product quality was carried out using hydrochloric acid as a chemical agent based on the corresponding NTE INEN regulation. It is recommended to carry out studies to obtain activated carbon, with other raw materials.

KEYWORDS: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <ELECTRIC MUFFLE TYPE OVEN>, <ACTIVATED CARBON>, <COCO HIDES>, <HYDROCHLORIC ACID>, <THERMAL ACTIVATION>, <NORMA NTE INEN 1990>, <CARBONIZATION>, <DIMENSIONING>.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador es catalogado como un excelente productor de palma cocotera según el Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2014., con mayor incidencia en las provincias de Manabí, Loja, Guayas y Esmeraldas. Por otro lado representa una problemática ambiental, pues sus residuos generados durante la cosecha y posterior procesamiento son excesivos, involucrando a los rellenos sanitarios locales a idearse como cubrir a este peculiar residuo, por ende aumentando gastos. Pero estos desechos mediante la aplicación de procedimientos físicos y químicos se transforman en productos con un valor agregado como el carbón activado.

Basados en información que el Banco Central del Ecuador (BCE) publica, el país en el 2014 importó carbón activado con un total de egreso de \$1.991.570 dólares de más de 15 países. Esta situación debe revertirse a corto o mediano plazo. El gobierno actual incentiva la transformación de la matriz productiva. Este cambio convertirá al país en generador y exportador de mayor valor agregado a través del aprovechamiento del conocimiento y el talento humano, asegurando de esta manera el Buen Vivir que se complementa con la intervención del aprovechamiento de residuos que generan problemáticas ambientales en dinero.

El carbón activado tiene propiedad adsorbente por lo que la aplicación más utilizada es en tratamiento de aguas residuales, eliminando los metales pesados con alta efectividad. No obstante, su alto costo hace que su aplicación sea limitada a nivel industrial. Por lo que se han desarrollado otras alternativas como materiales adsorbentes. Los estudios para desarrollar nuevos adsorbentes se han enfocado a producir carbón activado a partir de materiales de desecho. Se han preparado carbones activados a partir del bagazo de caña de azúcar, cáscara de coco, cáscara de cacao, cáscara de naranja, entre otros más. Los desechos agroindustriales presentan alto contenido de material lignocelulósico, por lo que pueden ser una fuente importante para la obtención de adsorbentes. Además que son económicos y se producen en grandes cantidades, dando como resultado adsorbentes de bajo costo.

El presente trabajo consiste en aprovechar la cáscara de coco para la obtención de carbón activado, mediante una activación física de las cáscaras. El proceso para desarrollar este material adsorbente servirá como referencia para otros estudios tanto a nivel artesanal como industrial.

En la actualidad comprendemos el grado de importancia las plantas en el equilibrio ecológico del planeta, la producción de carbón de origen vegetal a gran escala conlleva al talado de grandes áreas forestales que no se recuperan, o su recuperación es incompleta y tardía, por tal motivo se puede obtener carbón a partir de las cáscaras de coco y utilizarlo con fines industriales.

ANTECEDENTES

El fruto de la palma de coco, el *Cocos nucifera*, es originario de la India y del suroeste asiático (Archipiélago Malayo), se produce en suelos arenosos salinos en zonas tropicales y subtropicales donde el destino principal de su producción es la generación de copra (pulpa seca de coco) de la que se obtiene aceite, materia prima básica para la industria jabonera, etc. (LIZARDO, 2008)

CONSEJO NACIONAL DEL COCOTERO (2008) manifiesta que en el Ecuador, la mayor parte de tierras cultivadas de cocotero se encuentran ubicadas en la planicie costera del país principalmente en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, Los Ríos y El Oro, donde se encuentra el 85% de la producción nacional. Sin embargo puede encontrarse hasta los 400 m sobre el nivel del mar. Además que existen 504,29 km² destinados al cultivo de coco. Las palmeras de coco producen un promedio de 80 cocos al año, esta producción depende del clima y el suelo.

En el 2007 fue realizado un trabajo investigativo en la Universidad Azcapotzalco de México (UAM), con el título “Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco”, por Donaciano L., González A., Gordon M., Martín M. Donde se presentó un estudio sobre la obtención de carbón activado mediante la activación física y química de la cáscara de coco, además de una propuesta del diseño teórico de una unidad piloto. Esta investigación tuvo como base un horno rotatorio para la obtención de carbón activado, material que tiene un alto valor agregado, a partir de la cáscara del coco, materia prima nacional, de menor valor en abundancia. La unidad piloto constó de tres partes: a) el molino, b) el horno rotatorio y c) la cámara de enfriamiento.

El diseño propuesto utilizó materiales fabricados en el país, con costos accesibles y una capacidad de producción de media tonelada de carbón cada seis horas. (LUNA, 2007). Para caracterizar la textura porosa de los carbones activados se realizó la adsorción física de N₂ a 77 °K. El estudio mediante las titulaciones tipo Boehm y la determinación del fósforo residual, así como el infrarrojo (IR) permitieron analizar cómo la variación en la concentración del agente activante muestra una influencia sobre la química superficial del material carbonoso a obtener, es decir al aumentar la cantidad de agente activante se aumentan los valores de las propiedades superficiales,

porque se presenta una mayor interacción con el precursor lignocelulósico, desarrollando una mayor porosidad. (PEÑA, y otros, 2012 págs. 311-323)

En la investigación realizada por Gabriela Elizabeth Burgos Campuzano y Jomayra Lorena Jaramillo Quiroz donde plantearon aprovechar los residuos de las cáscaras de cacao y coco provenientes del cantón Milagro, provincia del Guayas, para la obtención de carbón activado en la cual se realizó un diseño experimental, variando temperaturas y tiempo para analizar la influencia de ambas variables en la calidad de adsorción, la cual se comprobó mediante parámetros técnicos. En este trabajo se obtubieron resultados en la formulación, por ejemplo: temperaturas de tratamiento 200 °C, tiempo de 120 min, y peso de muestra a calcina de 500g. En nuestro trabajo procuraremos replicar las mimas condiciones y agregar unas cuantas para ampliar el estudio. Los resultados de este trabajo, son un punto de referencia para comparar el redimiento y propiedades de nuestro carbón activado.

JUSTIFICACIÓN

El carbon activado tiene muchos usos probados: Sirve en el proceso de filtrado y retención de metales pesados en la purificacion de agua, en la medicina como absorbente de sustancias como venenos, en la fabricación de filtros para máscaras anti gas, en la extracción metalurgica, en filtros de escape de automoviles, etc.

El interés por este tipo de material se basa en algunas de sus propiedades, además de ello, esta materia prima es desechada, causa de contaminación. Por este motivo, se va a utilizar para así producir un producto con alta demanda y para dar un valor agregado a las cascaras de coco ya que esta materia posee : a) estabilidad térmica; b) resistencia al ataque ácido; c) caracteres esencialmente hidrófobo (repelente al agua); d) bajo costo relativo; e) estructura porosa. Por tal razón, en los últimos años ha aumentado considerablemente el número de investigaciones en lo que concierne a su elaboración, y a sus diversas aplicaciones, como en la separación de gases y en la industria en general.

Por ejemplo, activando la cascara de coco a alta temperatura (800 °C) en presencia de vapor de agua se puede obtener un carbón hidrófilico (afinidad con el agua), microporoso (con ultramicroporos de diámetros < 0.7 nm), apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases; pero, si se activa a menor temperatura (450 °C) usando un agente químico, como ácido fosfórico o cloruro de zinc, se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos (Con mesoporos > 2 nm) apropiado para aplicaciones en fase líquida Además, de obtener amplio rango

de tamaño de poro, el carbón activado obtenido del coco resulta con mayor dureza y resistencia, comparado con el obtenido de madera. Otra ventaja que ofrecen los carbones activados obtenidos de materiales orgánicos, a diferencia de los de origen inorgánicos, el menor porcentaje de cenizas es menor.

La producción de carbón activado, a partir de las cascaras de coco, es una propuesta innovadora para obtener un producto de alta demanda. Poder crear fuentes de trabajo y dar a conocer nuevos métodos de producción de carbón activado, para la comercialización. Dandole un precio accesible para el consumidor, basados en el cumplimiento de los estándares de calidad vigentes, bajo la Norma INEN 1990: carbón activado.

Siendo las cascara de coco un material de desecho comunes, y de una plantacion muy consumida en el país. Se podría considerar como una fuente para la obtencion de carbon activado. El estudio de nuevas fuentes de este producto permitiría dar mayor accesibilidad, al abaratar los costos de producción.

Además, el uso de las cáscaras de coco para la obtención de carbón activado es una iniciativa que promueve el cuidado del medio ambiente. Con este proceso se proporciona la recuperación de desechos de tipo orgánico y aplicarlos como materia prima para uso industrial. Y la escuela de ingeniería química, con el equipo que se construye en este proyecto, podrá estudiar el proceso de fabricación de carbon, a partir de otras fuentes.

Por lo tanto, este proyecto se justifica plenamente como gran aporte para los microempresarios que quieran emprender este tipo de proyectos.

CAPITULO I

1. DIAGNOSTICO Y DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

En la actualidad comprendemos el grado de importancia de las plantas en el equilibrio ecológico del planeta, la producción de carbón de origen vegetal a gran escala conlleva al talado de grandes áreas forestales que no se recuperan, o su recuperación es incompleta y tardía, por tal motivo se puede obtener carbón a partir de las cáscaras de coco y utilizarlo con fines industriales.

El uso de las cáscaras de coco para la obtención de carbón activado es una iniciativa que promueve el cuidado del medio ambiente con este proceso se proporciona la recuperación de desechos de tipo orgánico y aplicarlos como materia prima para uso industrial.

Las cáscaras de coco son importantísimas para el reciclaje creativo. Sería una pena tirarlas cuando pueden inspirar un sinnúmero de objetos o usos prácticos de lo más variados. Se trata de un residuo de fácil reutilización, y, de hecho, en mercados de muchas ciudades de Ecuador se acumulan residuos de cáscara de coco que luego se venden para hacer carbón de madera, se venden a industrias o personas que se dedican a la fabricación de carbón vegetal sin necesidad de talar árboles, algo totalmente positivo si tenemos en cuenta la terrible deforestación que sufre el país.

1.2. Justificación del proyecto

El carbón activado tiene muchos usos comprobados, entre los que tenemos: la fabricación de filtros purificadores de agua, en los que se retienen metales pesados y otros materiales tóxicos; clarificación de soluciones de azúcar; filtración de aire en máscaras de gas; en medicina para absorber sustancias tóxicas, entre otros.

El interés por este tipo de material se basa en algunas de sus propiedades además de ello esta materia prima es desechada lo cual causa más contaminación por este motivo se la va a utilizar para así producir un producto con alta demanda y para dar un valor agregado a las cáscaras de coco ya que esta materia posee: a) estabilidad térmica; b) resistencia al ataque ácido; c) caracteres esencialmente hidrófobos (repelente al agua); d) bajo costo relativo; e) estructura porosa. Por tal

razón, en los últimos años ha aumentado considerablemente el número de investigaciones en lo que concierne a su elaboración, y a sus diversas aplicaciones, como en la separación de gases y en la industria en general.

Por ejemplo, activando la cascara de coco a alta temperatura (800 °C) en presencia de vapor de agua se puede obtener un carbón hidrofílico (afinidad con el agua), microporos (con ultra microporos de diámetros < 0.7 nm), apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases; pero, si se activa a menor temperatura (450 °C) usando un agente químico, como ácido fosfórico o cloruro de zinc, se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos (Con mesoporos > 2 nm) apropiado para aplicaciones en fase líquida. Además, de obtener un amplio rango de tamaño de poros, el carbón activado obtenido del coco resulta con mayor dureza y resistencia, comparado con el obtenido de madera. Otra ventaja que ofrecen los carbones activados obtenidos de materiales orgánicos, en relación a los obtenidos de materiales inorgánicos, es que, en los primeros, el porcentaje de cenizas es menor.

La producción de carbón activado a partir de las cáscaras de coco lo que sería una propuesta innovadora al momento de obtener el producto terminado, poder crear fuentes de trabajo y dar a conocer nuevos métodos de producción de carbón activado para la comercialización y sea accesible para el consumidor, basados en el cumplimiento de los estándares de calidad vigentes, bajo la Norma INEN 1990: carbón activado.

Por lo tanto, este proyecto se justifica plenamente como gran aporte para los microempresarios que quieran emprender este tipo de proyectos, Los carbones activados tienen un alto costo que va desde US \$ 1200 hasta US \$14,000 la tonelada y es una fuente alternativa la cual puede abrir muchas fuentes de trabajo.

Para que se logre obtener carbón activado de calidad y cumpla satisfactoriamente los parámetros requeridos, se debe tener un proceso correcto, además de la materia prima e insumos de primera calidad.

1.3. Línea base del proyecto

1.3.1. Materia prima y producto

Conocer las características básicas sobre la materia prima es decir el coco, genera un criterio técnico adecuado para elegir el procedimiento adecuado y variables para llegar a obtener un producto final como el carbón activado.

1.3.1.1. Biomasa y residuos lignocelulósicos

Se denomina biomasa a la materia orgánica producto en un proceso biológico, espontáneo o inducido, que puede ser aprovechado como fuente de energía. Siempre ha tenido un lugar en la historia de la humanidad, pero con el auge de los combustibles fósiles su importancia se vio opacada, eliminándola casi por completo como fuente de energía en la industria. Las principales aplicaciones que tiene la biomasa son energéticas y térmicos, pero a menudo se desecha. Esto es un desperdicio de recursos y ante los escasos de fuentes limpias de energía, se convierte en una gran alternativa. (YUSO ARIZA, 2012)

Existen distintos tipos de residuos biomásicos como resultado de actividades industriales, agrícolas y urbanas. Dentro de la biomasa residual seca se encuentran los residuos lignocelulósicos. El material lignocelulósico está compuesto por tres polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina, que interactúan de forma compleja, y varía según el residuo lignocelulósico del que se trate. Los residuos lignocelulósicos se originan de la agricultura y se utiliza de manera amplia en la preparación de carbones activados para el control de emisiones (YUSO ARIZA, 2012).

1.3.1.2. Coco

Es un fruto, que consta de: varias capas gruesas leñosas y un interior recubierto de una pulpa blanca, donde se aloja el agua. Mide de 0,2 a 0,3 m y llega a pesar hasta 2500 g (LIZARDO, 2008). La palma de coco, proporcionan a las poblaciones rurales de alimento, fuente de energía. El producto principal derivado del coco y el más cotizado es el aceite a este le siguen: agua de coco para bebidas y bebidas, y los residuos que quedan, se usan como forraje animal. El endocarpio es una cascara dura y leñosa que se usa como combustible de alto valor calorífico entre: 7,50 y 7, 60 Kcal/g. Se usa también para elaborar carbón activado. (LUNA, 2007)

1.3.1.3. Carbón activado

El carbón activado es un material sólido, con estructura micro-cristalina y no grafitico, preparado por combustión y luego carbonización de materia orgánica de origen vegetal, que se somete a activación por varios métodos: gases oxidantes productos químicos, o medios físicos, con el objetivo de aumentar su superficie interna y mantener su porosidad, lo que les confiere una alta capacidad adsorbente. Este material está compuesto por micro-cristales de un solo elemento, y lo componen estructuras bidimensionales de cadenas hexagonales de átomos de carbono, como se observa en la Figura 1-1, pero que carecen de orden cristalográfico, es decir, los planos se encuentran desplazados y solapando entre sí, por lo que presentan una estructura desordenada.

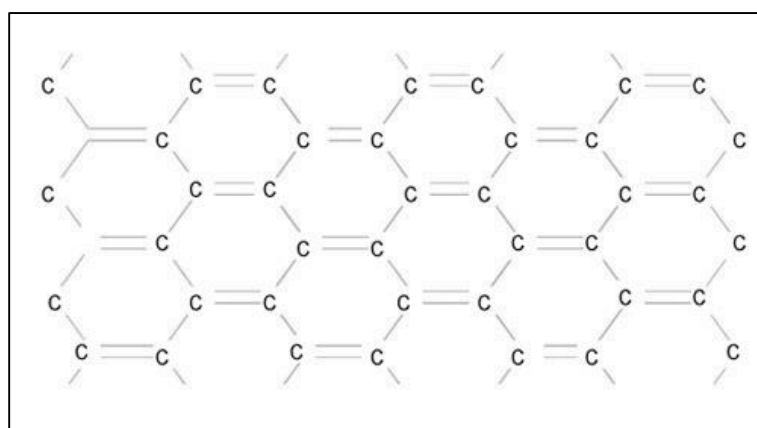


Figura 1-1 Estructura del carbón activado

Fuente: ChiemiVall, <http://www.carbonactivo.com>, 2018.

1.3.1.4. Propiedades físicas y químicas de los carbones activados

Las estructuras porosas del carbón activado permiten altas tasas de adsorción, esta es su principal característica. Las características de los materiales adsorbentes del tamaño y distribución de los poros, pueden ser controlados por la elección del precursor, el método de activación y controlando las condiciones de su preparación.

- ❖ La IUPAC clasifica la porosidad de un material en función del tamaño de diámetro en tres grupos principales: Micro-poros para diámetros menores a 2 nm, meso-poros para diámetros entre 2 y 50 nm, y macro-poros para diámetros mayores de 50 nm.

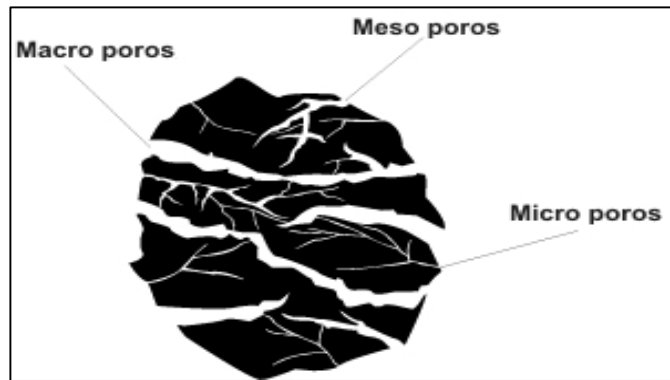


Figura 2-1 Tipos de poros en un carbón activado

Fuente: Carbotecnia, <https://www.carbotecnia.info>, 2018.

Los principales responsables de la adsorción del carbón activado son sus micro-poros. Estos contribuyen con la mayor parte de la superficie específica del carbón, los meso-poros y macro-poros son por su parte facilitan el acceso del material para adsorber.

Dentro de las propiedades adsorbentes de los carbones activados se deben a su estructura porosa y también se ve definitivos por su naturaleza química, ya que poseen en su estructura pequeñas cantidades de hidrógeno, oxígeno, o nitrógeno, lo que da como resultado que sustancias polares sean retenidas sobre la superficie del carbón activado. Esto es debido a que los átomos de carbono situados en los bordes no están saturados de átomos de carbono y poseen electrones libres como se presenta en la Figura 1-1. El carbón activado tiene una naturaleza química anfótera debido a los grupos ácidos y básicos presentes. (LUNA, 2007)

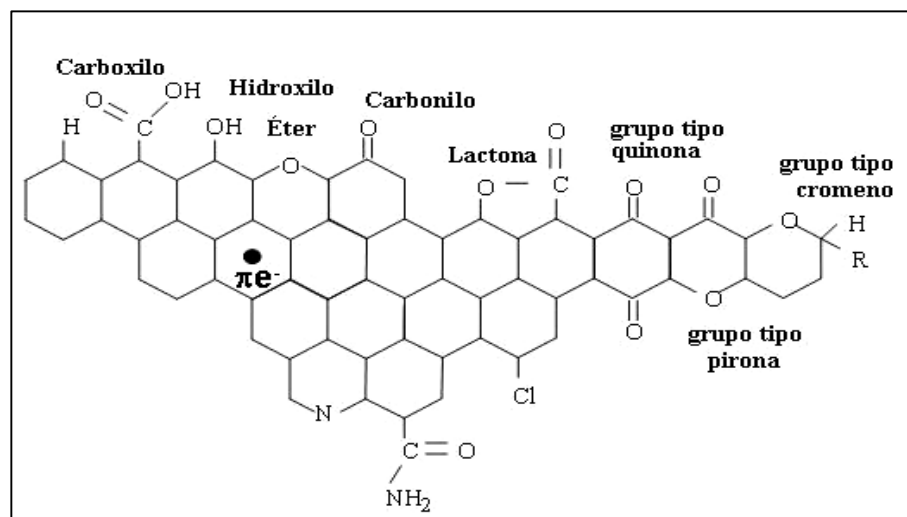


Figura 3-1 Estructura por su naturaleza química

Fuente: Carbotecnia, <https://www.carbotecnia.info>, 2018.

1.3.1.5. Tipos de carbones activados

Los carbones activados pueden clasificarse de acuerdo con el tamaño de las partículas, existiendo dos grupos:

Carbón activado en polvo: Se presenta en tamaños menores a 100 nm, siendo los tamaños típicos entre 15nm y 25nm. Se usa específicamente en la purificación de líquidos, usándose generalmente en combinación con los tratamientos de clarificación, e igualmente puede utilizarse para tratamientos de aguas industriales residuales.

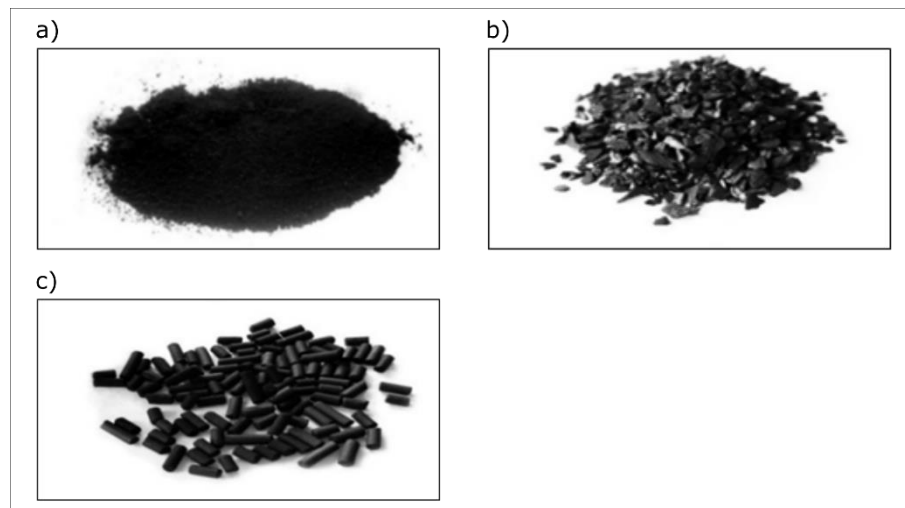


Figura 4-1 Carbón activado en polvo

Fuente: MCAAT, <http://www.mcat.com.mx/productos/gabinetes-de-filtro.html>, 2018.

Carbón activado granular: Se presentan en un tamaño de partícula entre 1mm y 5mm. Se dividen en dos categorías:

Carbón activado troceado: Los carbones activados troceados se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de trozos más grandes. Su presentación es en forma de gránulos irregulares, genera menor caída de presión que el carbón en polvo.

Carbón activado conformado: Los carbones conformados pueden obtenerse por extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes. También llamado paletizado se fabrica a partir del carbón pulverizado, se puede obtener pellets de diversas formas, aunque comúnmente predominan las de forma cilíndrica, ya que el proceso de fabricación mayormente utilizado es la extrusión. Su principal ventaja consiste en que causan una menor caída de presión

que los carbones granulares. Además, tiene una altas eficiencia tanto para el tratamiento de gases y líquidos.

1.3.1.6. Usos del carbón activado

El carbón activado tiene como aplicaciones principales aquellas relacionadas con el tratamiento de aguas potables y residuales, industria alimenticia, y farmacéuticos, decoloración y edulcorantes.

Tabla 1-1 Principales aplicaciones del carbón activado.

Aplicaciones	Descripción
Tratamiento de agua potable	Remoción de contaminantes orgánicos, emisión de olores y clarificación.
Industria alimenticia	Descolorización del vinagre, remoción de etileno de las plantas de almacenamiento de frutas.
Producción de bebidas	Remoción de grasas, sabores indeseables, aldehídos y fenoles de brandy y la cerveza.
Industria Hidrometalurgia	Recuperación de oro por proceso de carbón en pulpa, en lecho y en columna.
Industria petroquímica	Clarificación del crudo, remoción de contaminantes hidrocarbúricos, reciclaje de condensado de vapor para alimentar calderos.
Tratamiento de aguas residuales industriales	Reducción de halógenos totales de la demanda biológica (BOD) y química (COD).
Industria química	Recuperación de solventes orgánicos para reciclaje, control de emisiones de vapor, soporte para catalizar reacciones.
Medicina	Remoción de toxinas bactericidas y como antídoto para envenenamiento con alcaloides, fósforo, fenoles y hongos.
Cigarrillos	Retención de elementos perjudiciales del humo del cigarrillo, tales como la nicotina.

Fuente: Pazmiño Ayala, 2007

Realizado por: Cano O. & Coque L. 2017

1.3.1.7. Fuentes de obtención de carbón activado

Los carbones activados más comunes son del tipo celulósico o lignocelulósico, tales como maderas, residuos de la agricultura, cáscaras de frutas, principalmente cáscara de coco, pero también es muy utilizada la cáscara de arroz y de frutos secos como de pistacho, de nuez, de almendra, de avellana o de cacahuete.

El uso como precursores de los materiales lignocelulósicos, se da debido a que al ser considerados residuos sin ninguna aplicación tienen bajo precio. Al mismo tiempo, estos son producidos en zonas aledañas a la producción de carbón activado en forma periódica por lo que va a disminuir su costo, siendo una gran ventaja a nivel económico. Otro beneficio es que su carbonización no contribuye al aumento de las emisiones de CO₂ aportando un beneficio medioambiental y además de darle valorización de un residuo. (LUNA, 2007)

1.3.1.8. Métodos de obtención del carbón activado

Al preparar carbón activado, se lo debe hacer mediante la reacción de pirolisis en atmósfera inerte para deshidratar el material y volatilizar sustancias, mediante la carbonización, eliminando el oxígeno y el nitrógeno. El material obtenido es carbón organizado entre sí en micro cristales, con huecos intersticiales taponados con residuos de carbonización y alquitranes, lo que le confiere una adsorción baja, por lo que para aumentar su adsorción se lo someterá a proceso de activación (eliminación de taponamiento de micro cristales). Este proceso aumenta la superficie interna, el volumen de poro y de microporos de los carbones, aumentando la capacidad de adsorción del carbón activado. En función del agente de activación empleado en el proceso, así como en el rendimiento que se obtiene, se pueden distinguir dos tipos de activaciones: física y química.

Activación física

Se lleva a cabo en dos etapas: la carbonización del precursor y la gasificación controlada del carbonizado. La carbonización es la transformación de la materia prima a carbón en la cual se eliminan el hidrógeno y el oxígeno del precursor, para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. Este proceso se realiza en ausencia de oxígeno a temperaturas inferiores a 600°C. En la activación se expone a una atmósfera oxidante a temperaturas entre 800°C y 1000°C, que elimina los productos volátiles, aumentando el volumen de poros.

La carbonización y la activación se realizan principalmente en hornos rotatorios construidos en acero inoxidable y materiales refractarios para soportar las altas temperaturas de activación, cercanas a 1000°C. Cuando se utiliza como materia prima un material orgánico (ya sea, cáscara de coco, huescos de frutas u otro), el proceso debe comenzar con la carbonización del material. Es en estos casos en el cual se debe optar por la fabricación de carbón activado mediante activación física. (Soto Paredes, 2007)

Activación Química

En este caso el precursor, normalmente un material lignocelulósico como madera, se impregna con un agente químico, preferentemente ácido fosfórico (aunque también se puede utilizar cloruro de cinc), y el material se calienta al horno a una temperatura de 500 a 700°C. Los agentes químicos minimizan la formación de material volátil esto aumenta el rendimiento en formación de carbono. El carbón resultante se lava para eliminar los restos del agente químico usado en la impregnación. Adicionalmente, estos carbones pueden ser activados térmicamente por gasificación parcial con CO₂ o vapor de agua para obtener carbones activados con elevadas áreas superficiales (URIBE, y otros, 2013).

1.3.2.Hornos y muflas

Un horno mufla es equipo que puede alcanzar elevadas temperaturas y es usado para calentar y calcinar materiales que se someten a procesos de tratamiento térmico. Este tipo de hornos son utilizados en varios campos de la industria. Es así que se emplean: en la metalurgia, secado y calcinación de precipitados, ensayos de flamabilidad a alta temperatura, aleaciones de metal, templado, ensayos de fundición y otras que necesitan de un tratamiento por calor. (ASTIGARRAGA, 1994 pág. 152). En la Figura 4-1, se observa una mufla de cámara rectangular.



Figura 5-1 Horno mufla.

Fuente: Laboratorio Químico, <http://bit.ly/2FS3Khw>, 2018

En metalurgia las muflas calientan las probetas por acción directa o indirecta, el equipo puede usar corriente eléctrica o combustión, dependiendo de las temperaturas requeridas. Existen normas como al AISI 1045, que determinan las propiedades de las probetas a ser usadas en los análisis de templado de metales.

En el proceso de templado se usan probetas del acero bajo la norma AISI 1045 con medidas de 2,5 x 2,5 cm correspondientes a diámetro y altura, la probeta debe alcanzar la temperatura de 800 °C, en un tiempo específico y mantenerse la temperatura por 30 minutos, para luego ser enfriada con agua o aceite, este proceso debe ser rápido. (AVNER, y otros, 1988).

1.3.2.1. Principio de funcionamiento de hornos mufla

Este tipo de hornos mediante la aplicación de energía térmica, la cual es suministrada mediante resistencias eléctricas o un llama (combustión de oxiacetileno), las mismas que están colocadas en los laterales y parte posterior del horno, son de hilo resistor de aleación Cr-Al-Fe. (ASTIGARRAGA, 1994 págs. 19, 38) Las resistencias transmiten con gran eficiencia el calor a los cuerpos siempre pasando del cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura. Las muflas se componen de ciertos elementos, véase la Figura 5-1, necesarios para su correcto funcionamiento los cuales son:

- a. Gabinete interno (Cámara de fundición)
- b. Contrapuerta

- c. Gabinete externo (Sección del horno)
- d. Panel de control (Sección de control)

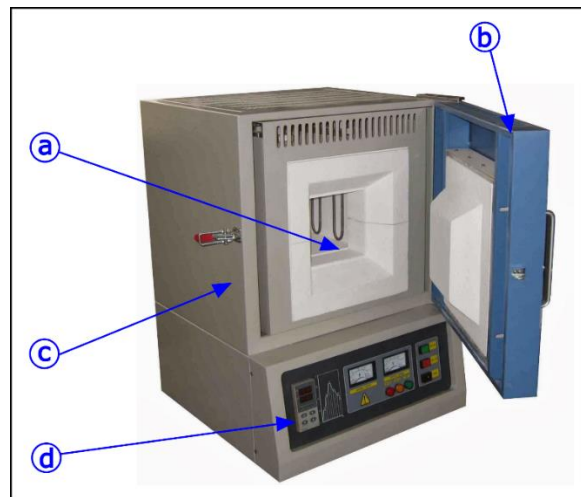


Figura 6-1 Partes de una mufla u horno de fundición.

Fuente: Laboratorio Químico, <http://bit.ly/2FS3Khw>, 2018

Realizado por: Cano O. & Coque L., 2018

1.3.2.2. Proceso de diseño del horno

Todo diseño tiene sus particularidades, de las cuales derivan un sin número de dificultades que, a cada proceso de diseño, en un camino hacia el descubrimiento de nuevas ideas. Soluciones antes impensables e inimaginables, se convierten en algo cotidiano con el pasar del tiempo, y por parte del usuario o consumidor se exige nuevas y llamativas características para nuestros productos (LAWSON, 2006). En productos de consumo masivo, es mucho más evidente esta interacción entre requerimientos del usuario y características del producto o servicio. Por ejemplo, en los celulares cada año se diseñan y fabrican nuevos modelos que en la mayoría de los casos varían en cuestiones estéticas y poco relevantes al modelo anterior, pero se vende con un costo mayor. En el caso de los bienes industriales como maquinaria, repuestos, instalaciones y plantas enteras, no se orienta mucho a su comerciabilidad, si no a su eficiencia y rendimiento. No hay bien industrial más llamativo, que algo que reciba los calificativos de: eficiente y confiable, en desmedro de sus cualidades externas. Claro que no es imposible congraciar eficiencia y cualidades estéticas llamativas, pero no es el objetivo de los fabricantes de bienes para la industria.

En este caso, nuestro trabajo se centra en el diseño de un horno para carbonización de materia orgánica. El objetivo es obtener carbón el cual se activará por método químico, posteriormente. Un horno es prácticamente un intercambiador de calor de tipo cerrado. Aun, cuando se tenga

aislantes térmicos que podrían darle un carácter adiabático. Pero como se verá en el capítulo de diseño, esto es una simplificación no válida para un horno.

El proceso de diseño que planteamos para el equipo a fabricar es el siguiente:

Ingeniería Conceptual.

Durante esta etapa del proceso de diseño plantearemos las características necesarias para que el equipo cumpla con los requerimientos de los potenciales usuarios. Se utilizará el método QFD, para seleccionar las características idóneas. Se explicará con mayor detenimiento como usar este método, en el capítulo de diseño.

Diseño de ingeniería

Una vez determinadas las principales características técnicas que debe tener el equipo, procedemos a seleccionar las mejores soluciones. Al hablar de soluciones nos referimos a escoger algunos diseños existentes y evaluarlos en relación con criterios de valoración pertinentes. El método usado es el ordinal con criterios ponderados, que al ser del tipo ordinal carece de una correlación satisfactoria en la evaluación general de las soluciones. Pero es el más sencillo y rápido de aplicar.

Evaluación del diseño y construcción.

Como el proceso de construcción del equipo corre por parte de técnicos e ingenieros mecánicos. Esta parte no se detallará mucho más allá de los cálculos sencillos. En esta etapa se tomarán datos experimentales, sobre el funcionamiento del equipo.

Validación de equipo

Se evalúa el comportamiento del equipo cuando está en operación bajo condiciones normales. Esto se realizará en el laboratorio de operaciones unitarias. El proceso de validación consta de dos pruebas: la de producción del equipo y la de eficiencia del producto.

Elaboración de instructivos de operación y mantenimiento.

Esta es la parte final y consiste en utilizar los datos experimentales y las características técnicas del equipo para poder construir un instructivo o manual, que le permita al usuario utilizar de buena manera alargando a la vida útil del equipo y asegurar la integridad del usuario.

1.3.3.Sistema de control

El control automático ha sido la principal herramienta para el avance de la ingeniería, siendo la parte fundamental de los procesos integrados a dispositivos y maquinaria, actualmente es utilizado el control convencional, control moderno y la teoría de control robusto como puntos clave para el desarrollo de procesos industriales.

Cuando hablamos de un sistema de control, debemos referirnos también al modelamiento matemático de sistemas dinámico y analizar sus características, este modelo se define como un conjunto de ecuaciones que caracterizan la dinámica del sistema, se debe tener en cuenta que un modelo matemático no es único para un sistema determinado, estos pueden adoptar distintas formas, pero una vez obtenido este modelo se usan diversos recursos analíticos para poder sintetizarlo y estudiarlo. Es posible mejorar la precisión del modelo matemático si se aumenta su complejidad, en ciertos casos es necesario utilizar cientos de ecuaciones para describir un sistema complejo, pero para la obtención del modelo se debe tener presente una simplificación del mismo y la precisión obtenida en los resultados, para obtener un modelo matemático simplificado muchas veces es necesario ignorar algunas propiedades del sistema, siempre es necesario con considerar parámetros distribuido y no linealidades que ocasionan un comportamiento no deseado en el sistema, es decir un comportamiento no lineal.

Un sistema lineal es definido como cualesquiera que se pueda aplicar el principio de superposición, que establece que la respuesta que se produce por la aplicación de dos funciones simultáneas de entradas diferentes es una suma de las respuestas individuales, por tanto, para los sistemas lineales, sus respuestas a varias entradas son obtenidas tratando una entrada a la vez y sumando dichos resultados.

Sistema no lineal es todo sistema al cual no es aplicable el principio de superposición, por tanto, la respuesta a dos entradas no puede calcularse tratando cada una a la vez y sumando los

resultados, aunque muchas de las relaciones físicas presentan comportamientos lineales, la mayoría de los casos reales presentan comportamientos no lineales. (OGATA, 1998 págs. 57-59)

1.3.3.1. Función de transferencia

En teoría de control es usada para la caracterización de las relaciones entrada-salida de sus componentes o sistemas descritos por ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo, se define como la transformada de Laplace de la función de respuesta con respecto a la función de excitación, suponiendo condiciones iniciales igual a cero. Un sistema lineal e invariante en el tiempo es descrito por la siguiente ecuación diferencial:

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} \dot{y} + a_n y = b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1} \dot{x} + b_m x \quad (n \geq m)$$

Donde (y) es la salida del sistema y (x) es la entrada, para obtener la función de transferencia de este sistema se hace lo siguiente:

$$\text{Función de transferencia} = G(s) = \frac{\mathcal{L}(\text{salida})}{\mathcal{L}(\text{entrada})} \quad \text{con condiciones iniciales cero}$$

$$\text{Obteniendo: } G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^{(m)} + b_1 s^{(m-1)} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^{(n)} + a_1 s^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} s + a_n}$$

En base a este concepto, es posible la representación de dinámicas de sistemas mediante ecuaciones algebraicas en termino de s, pudiendo representar sistemas de hasta n-ésimo orden. (OGATA, 2003. pág. 15)

1.3.3.2. Diagramas de bloques

Los sistemas de control presentan varios componentes, y para representar la función que lleva a cabo cada uno de ellos si utilizan los diagramas de bloques, que no es más que un sistema de representación gráfica de las distintas funciones que cumple cada componente, este diagrama muestra las relaciones entre los componentes presentes en el sistema. Un ejemplo de un diagrama de bloques de un sistema se puede observar en la Figura 6-1.

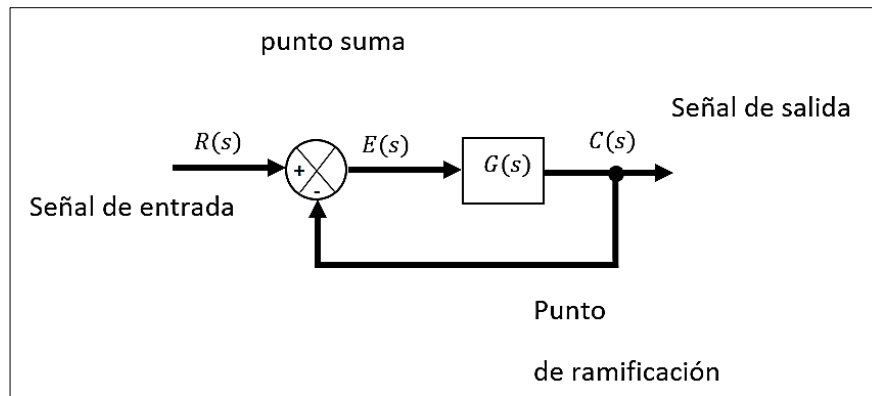


Figura 5-1 Diagrama de bloques para representar un sistema.

Fuente: (Alf José, 2011, p.186-191)

Realizado por: Cano O. & Coque L., 2018.

Antes del análisis del sistema de control, se debe definir ciertos términos utilizados.

Planta: conjunto de elementos de una máquina que funcionan juntos, que tienen por objetivo efectuar una operación en particular.

Proceso: Se define como una operación marcada por una serie de cambios graduales consecutivos de una forma relativamente fija y conllevan a un resultado o propósito determinado.

Variable controlada y señal de control: la variable controlada es la condición que se mide y se desea controlar, y la señal de control es la cantidad que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

Sistema: Es una combinación de componentes que actúan juntos para realizar un fin determinado, no está necesariamente limitado a los sistemas físicos, también es aplicable a conceptos abstractos y dinámicos.

Perturbaciones: Es toda señal que tiende a afectar de forma negativa el valor de la salida de un sistema determinado, puede ser interna si se genera dentro del sistema o externa si es producida fuera y es una entrada.

Retroalimentación: es una operación que, en presencia de alguna perturbación, tiende a reducir la diferencia entre la salida del sistema y alguna entrada de referencia, esto lo realiza tomando en cuenta la diferencia. (OGATA, 2003. pág. 15)

1.3.3.3. Sistemas de control en lazo cerrado

También llamados retroalimentados, es aquel que se alimenta al controlador la señal de error, que es una diferencia de la señal entrante y la retroalimentación, esto con el fin de reducir el error y llevar al sistema a un comportamiento deseado, siempre implica la utilización de una acción de control retroalimentado para la reducción de error. En la Figura 7-1, se observa un ejemplo de este tipo de sistemas.

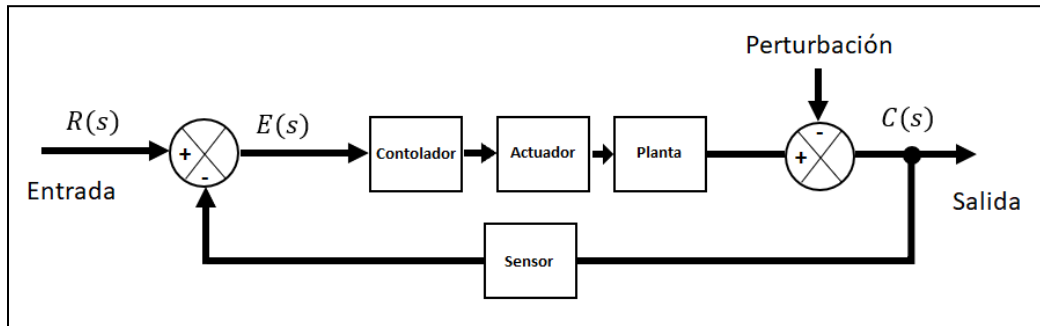


Figura 6-1 Control de lazo cerrado con los bloques importantes del proceso.

Fuente: (Alf José, 2011, p.186-191)

Realizado por: Cano O.& Coque L., 2018

1.3.3.4. Sistema de control en lazo abierto

Sistema en el que la salida no tiene dominio sobre la acción de control, no mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. En la Figura 8-1, se observa un ejemplo de este tipo de sistemas.

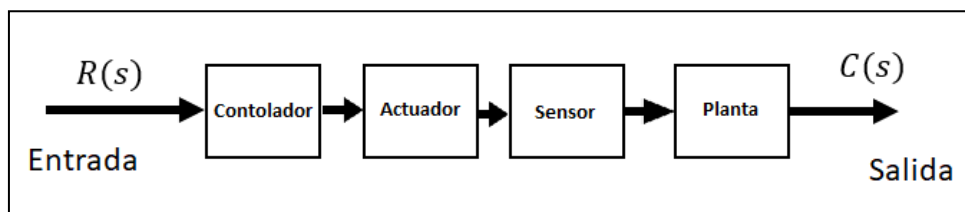


Figura 7-1 Control de lazo abierto con los bloques importantes en el proceso.

Fuente: (Alf José, 2011, p.186-191)

Realizado por: Cano O.& Coque L., 2018.

1.3.3.5. Especificaciones de comportamiento y compensaciones

Durante la década de los 40, los métodos de respuesta en frecuencia, especialmente los diagramas Bode posibilitaron a los ingenieros el desarrollo de sistemas de control lineales en lazo cerrado que cumplieran los requisitos de comportamiento. La utilización de controladores PID para el control de precisión, temperatura, nivel, etc. comenzó con Ziegler y Nichols que establecieron reglas para la sintonización de estos controladores, las que se denominaron reglas de sintonización de Ziegler-Nichols, estos sistemas cumplen su cometido, pero no son óptimos desde ningún punto de vista. Conforme las industrias modernas aumentan el número de entradas y salidas, esto vuelve mucho más complejo, la descripción del sistema de control ya que requiere una inmensa cantidad de ecuaciones que describan su comportamiento.

Los sistemas de control son diseñados para la realización de tareas específicas, los requerimientos del sistema se dan como especificaciones de su comportamiento, dichas especificaciones pueden ser dadas como requisitos en la respuesta transitoria y estado estacionario. (ÅSTRÖM, y otros, 2009 pág. 16)

1.3.3.6. Compensación del sistema

Para la disminución del error se debe establecer una ganancia para llevar al sistema a un estado satisfactorio, pero en muchos casos ajustando solamente una ganancia no proporciona el cambio suficiente para que el comportamiento del sistema sea el requerido.

1.3.3.7. Controlador PID

Este controlador no es más que una composición de los demás controladores, dándole la capacidad de anticiparse usando predicciones de la salida basadas en una extrapolación lineal. Matemáticamente es expresado como:

$$u(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Se representa como una suma de controladores representando el presente por la parte proporcional, el pasado por la parte integral del error y el futuro por la parte derivativa que no es más que una extrapolación lineal del error, los parámetros del controlador son k_p denominado como ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y el tiempo derivativo T_d . Un controlador

PID es capaz de solucionar una amplia gama de problemas presentes en el control industrial, pero existe controladores más complejos que utilizan métodos más sofisticados al realizar sus predicciones. El controlador PID está basado en la siguiente ecuación:

$$G_c = \frac{b(s)}{E(s)} = k_p \left(\frac{1}{s} + s + 1 \right)$$

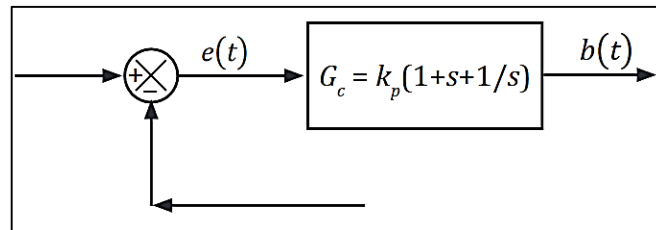


Figura 8-1 Bloque de controlador proporcional, integral y diferencial (PID).

Fuente: (Alí José, 2011, p.186-191)

Realizado por: Cano O. & Coque L., 2018.

1.3.4.Herramientas de diseño en ingeniería

Para poder tener criterios de discriminación sobre posibles diseños, se deben usar métodos que permitan evaluar de forma consiente y en base a la experiencia, las características idóneas para restricciones de costos, capacidad de maquinado y facilidad de uso, entre otras. Es por esto, que planteamos en esta sección algunos métodos tomados de otros trabajos de diseño y construcción, que nos permitieron realizar las tareas de selección de características de diseño.

1.3.4.1. Método QFD (Quality Function Deployment)

También llamado diagrama de distribución de la función de calidad es una metodología desarrollada para poder relacionar en tiempos modernos al usuario con el productor, en un mundo industrializado. La metodología QFD, busca conectar los requerimientos de los usuarios con las características técnicas de los productos. Buscando satisfacer al cliente. El diagrama QFD, consta de seis secciones que contiene la información necesaria para evaluar y determinar las características idóneas y los requerimientos más importantes para el producto (MATZLER, y otros, 1998).

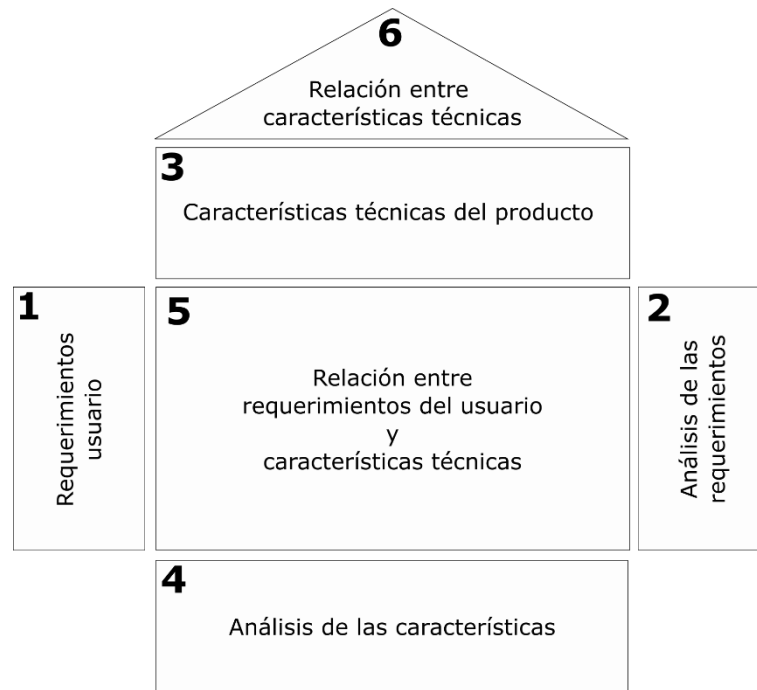


Figura 9-1 Diagrama de despliegue de función de la calidad.
Realizado por: Cano O.& Coque L.

1. Comprende una lista de los requerimientos planteados por los posibles usuarios, que pueden estar relacionadas a: la estructura, apariencia, funciones, mecanismo, tecnología e innovación. Por ejemplo, la pantalla curva de un televisor.
2. Corresponde a la evaluación de los requerimientos del usuario. Para ello, los mismos usuarios, usando su propio juicio del valor sobre cada requerimiento, establecen su grado de importancia. Junto con coeficientes que relacionan el efecto del cumplimiento de los requerimientos sobre las ventas, y el objetivo a alcanzar por parte del fabricante.
3. Es una lista de las características técnicas que se relacionan con el cumplimiento de los requerimientos del usuario. Por ejemplo, si el requerimiento del usuario de un tractor para agricultura, un menor consumo de combustible, las características técnicas relacionadas al cumplimiento de ese requerimiento podrían ser: motor eléctrico de una potencia determinada, cilindraje de motor a combustión, peso del tractor, etc.
4. Esta sección contiene las operaciones de evaluación de las características técnicas del producto. Se determina su orientación, si es necesario aumentar o disminuir su valor. También se puede agregar una comparación con valores absolutos de las características de la competencia.

5. Esta sección es crítica, ya que permite determinar los principales requerimientos para el producto y las características técnicas, que permitan o facilitan su cumplimiento. Se usa un sistema de símbolos, que se relacionan con valores numéricos, para el análisis cuantitativo.
6. Como pueden existir características técnicas antagónicas, es mejor establecer estas relaciones para que el momento de determinar las características óptimas, se pueda entender que, de ser el caso, de existir alguna antagónica a otra, se debe elegir una de las dos. Pero es muy poco frecuente que exista antagonismo total entre características. Al igual se usa un sistema de símbolos, que denotan la relación entre las características técnicas del producto.

No profundizaremos en las operaciones necesarias para evaluar tanto características técnicas como los requerimientos del usuario.

1.3.4.2. Método ordinal de criterios ponderados

Para poder seleccionar opciones de diseño, en base a un método no muy riguroso, pero que de forma cualitativa nos permita ponderarlas y clasificarlas. El método ordinal de criterios ponderados permite evaluar, en base a criterios de valoración. Las distintas soluciones a un problema de diseño. Para ello, emplea un procedimiento basado en tablas, que se usan de forma sencilla. El procedimiento se describe a continuación:

1. Lo primero, es establecer los criterios de valoración, que por lo general suelen usarse: la fiabilidad, costo, versatilidad y la facilidad de construcción. También puede ser: la innovación, facilidad de venta, satisfacción del consumidor, etc.
2. Determinar el peso específico de los criterios de valoración. Con esto se sabe la regla de suma para la evaluación general de las soluciones. La tabla 3-1, se usa para evaluar los criterios de valoración.

Tabla 2-1 Evaluación de peso específico de criterios de valoración.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE VALORACIÓN							
REGLA:	Criterio 2 > Criterio 1 = Criterio 4 > Criterio 3 > Criterio 5						
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	$\Sigma+1$	Ponderación
Criterio 1		0	1	0,5	1	3,5	0,2333
Criterio 2	1		1	1	1	5	0,3333
Criterio 3	0	0		0	1	2	0,1333
Criterio 4	0,5	0	1		1	3,5	0,2333
Criterio 5	0	0	0	0		1	0,0667
TOTAL						15	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3. Estimación de peso específico de las soluciones en relación con cada criterio de selección. La tabla 4-1, se usa para evaluar los criterios de valoración.

Tabla 3-1 Evaluación de peso específico de soluciones en base a criterio de valoración.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE SOLUCION/CRITERIO 1							
REGLA:	Solución 2 > Solución 4 = Solución 3 > Solución 1 > Solución 5						
	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	Solución 5	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1		1	1	1	1	5	0,3448
Solución 2	0		0,5	1	1	3,5	0,2414
Solución 3	0	0		1	1	3	0,2069
Solución 4	0	0	0		1	2	0,1379
Solución 5	0	0	0	0		1	0,0690
TOTAL						14,5	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

4. Lo siguiente, es evaluar las soluciones en relación con los criterios de valoración. El resultado es la suma de las ponderaciones individuales de las soluciones por el peso específico de los criterios. El resultado se ve en una secuencia que indica la prioridad para el diseño.

Tabla 4-1 Evaluación general de soluciones.

EVALUACIÓN GENERAL DE SOLUCIONES							
	Criterio A	Criterio B	Criterio C	Criterio D	Criterio E	SUMA	Prioridad
Solución A	0,563	0,442	0,061	0,832	0,046	1,381	4
Solución B	0,46	0,033	0,32	0,897	0,063	1,313	5
Solución C	0,59	0,461	0,966	0,191	0,578	2,196	1
Solución D	0,644	0,597	0,017	0,867	0,604	2,085	2
Solución E	0,917	0,209	0,646	0,723	0,158	1,736	3

Realizado por: Cano O. & Coque L.

5. Como paso final, se concluye cual es la solución con mayor prioridad para su aplicación por cumplir cuantitativamente con los requisitos planteados por el diseñador.

1.3.5. Análisis de parámetros físico químicos del carbón activado.

Los procedimientos, técnicas y métodos usados para la determinación cuantitativa de los valores de los parámetros de calidad del carbón activado, se encuentra establecidos en las normas: NTE INEN 1985, NTE INEN 1986, NTE INEN 1987, NTE INEN 1988 y NTE INEN 1989.

1.3.5.1. Determinación de humedad del carbón activado.

Tabla 5-1 Procedimiento para determinar el contenido de humedad en carbón activado.

HUMEDAD NTE INEN 1985	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Balanza analítica ○ •Frasco de ebullición de 250 mL ○ •Condensador de 300mL ○ •Reverbero <p>REACTIVOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Xileno 	<p>HUMEDAD DEL CARBON ACTIVADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar el frasco con la muestra. • Tomar 50g gramos de muestra y colocar en ebullición. • Añadir 100ml de Xileno. • Ajustar el reflujo a la velocidad de 1 gota/s en el extremo del condensador. • Continuar con el reflujo por un periodo de 2 horas. 	$\%H = \left[\frac{V}{m - m_1} \right] \times 100$ <p>V= volumen de agua recogida en mL. m= masa inicial del frasco con la muestra en g. m₁= masa del frasco con la muestra, luego de haber tomado la muestra para el ensayo.</p>

Fuente: (INEN, NTE.;, 2013)

Realizado por: Cano O. & Coque L.

1.3.5.2. Determinación de densidad aparente del carbón activado.

Tabla 6-1 Procedimiento para la determinación de densidad aparente del carbón activado

DENSIDAD APARENTE NTE INEN 1986	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Balanza analítica •Embudo de recepción. •Embudo de alimentación. •Vibrador de metal •Cilindro graduado •Reverbero •Termómetro 	<p>DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE EN EL CARBON ACTIVADO</p>	<p>Secar la muestra a 150 °C. Añadir la muestra al cilindro mediante el vibrador. A un flujo de 1mL/s hasta llegar a 100mL Transferir el contenido a una balanza y pesar</p>	$d = \frac{m_1 \times (100 - \%H)}{10000}$ <p>m_1= masa del carbón (g) $\%H$= porcentaje de humedad</p>

Fuente: (INEN, NTE, 2013)

Realizado por: Cano O. & Coque L.

1.3.5.3. Determinación de cenizas totales del carbón activado

Tabla 7-1 Procedimiento para la determinación del contenido de cenizas totales en el carbón activado

CENIZAS TOTALES NTE INEN 1987	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Desecador • Crisol de 30 mL • Pinzas para crisol • mufla 	<p>CONTENIDO DE CENIZAS TOTALES EN EL CARBON ACTIVADO</p>	<p>Pesar en la capsula 10 g de muestra. Secar durante 3 horas a 150 °C. Pesar en el crisol, colocar en la mufla y llevar a 700 °C hasta incinerar el carbón. Colocar en el desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente</p>	$\%C = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m}$ <p>m= masa de la muestra base seca. m_1=masa del crisol con cenizas (g). m_2= masa del crisol vacío (g)</p>

Fuente: (INEN, NTE, 2013)

Realizado por: Cano O. & Coque L.

1.3.5.4. Determinación de índice de iodo del carbón activado

Tabla 8-1 Procedimiento para la determinación del índice de yodo del carbón activado

	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
DETERMINACION DEL NUMERO DE YODO NTE INEN 1988	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Estufa • Desecador • Vasos de precipitación 500, 1000mL • Erlenmeyer de 250, 500mL • Pipetas volumétricas de 10, 25, 50, 100mL. • Bureta volumétrica de 50mL • Papel filtro • Reverbero <p>REACTIVOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • HCL (5%) • I (0.1N) • $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ (0.1N) • Almidón 	<p>DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE YODO EN EL CARBON ACTIVADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Moler una muestra representativa hasta que el 95% pase por el tamiz de 45µm • Secar la muestra pulverizada a 140 °C por 2 horas • Pesar el carbón usado y colocar en un matraz Erlenmeyer de 250mL • Añadir 10mL de HCL al 5% pureza y agitar hasta que todo el carbón este humedecido. • Colocar el frasco Erlenmeyer en el reverbero y llevar el contenido a ebullición durante 30s. • Enfriar el Erlenmeyer a temperatura ambiente y añadir con una pipeta volumetrica 100mL de la solución de yodo 0.1N • Tapar el Erlenmeyer y agitar vigorosamente el contenido durante 30s y filtrar a través del papel filtro • Descartar los primeros 20 a 30 mL de filtrado y recoger el filtrado en un Erlenmeyer limpio 	$\%C = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m}$ <p>m= masa de la muestra base seca. m_1=masa del crisol con cenizas (g). m_2= masa del crisol vacío (g)</p>

			<ul style="list-style-type: none"> • Mezclar el filtrado en un Erlenmeyer con una varilla de agitación y pipetear 50mL del filtrado en un Erlenmeyer de 250 • Titular los 50mL de muestra, en la solución estándar de tiosulfato de sodio 0.1 hasta que el color amarillo haya desaparecido • Añadir 1mL de solución de almidón y continuar con la titulación hasta que el color azul desaparezca • Anotar el volumen usado de la solución estándar de tiosulfato de sodio 0.1 	
--	--	--	--	--

Fuente: (INEN, NTE, 2013)

Realizado por: Cano O. & Coque L.

1.3.5.5. Determinación de la dureza del carbón activado

Tabla 9-1 Procedimiento para la determinación de la dureza del carbón activado

	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
DUREZA NTE INEN 1989	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Bandeja receptora con tamices. • Cuarteador • Cronometro • Tamices de malla de alambre • Cilindro de vidrio • Calibrador 	<p>DETERMINAR LA DUREZA EN EL CARBON AVTIVADO</p>	<p>Tamizar la muestra de acuerdo al tamaño de la NTE INEN 1711</p> <p>Tomar 100mL de muestra en un cilindro de vidrio graduado</p> <p>Tamizar y sacudir durante 30 min</p> <p>Limpiar y recoger su contenido en una capsula tarada</p>	$D = \frac{B}{A} \times 100$ <p><i>B</i>= masa de muestra retenida en el tamiz de análisis de dureza (g)</p> <p><i>A</i>= masa de muestra pesada y colocada en la bandeja de dureza (g)</p>

Fuente: (INEN, 2013)

Realizado por: Cano O. & Coque L.

1.3.5.6. Comparación entre el carbón activado de cáscara de coco y el comercial

Tabla 10-1 Comparación entre tipos de carbón activado.

CARBON ACTIVADO DE CASCARA DE COCO VS CARBON ACTIVADO COMERCIAL	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bureta de 5Ml • Soporte universal • Pinzas para bureta • Matraz Erlenmeyer de 50mL • Vasos de precipitación de 1000mL • Varilla de agitación • Trípode • embudo • Papel filtro • Balanza analítica <p>REACTIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carbón activado de coco • Colorante natural 	<p>DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CLARIFICACION EN EL CARBON AVTIVADO DE CASCARA DE COCO VS EL COMERCIAL</p>	<p>Disolver el colorante natural en 1000mL de agua</p> <p>Colocar la solución en la bureta</p> <p>Pesar 2gramos de carbón activado y poner en el papel filtro</p> <p>Colocar en papel filtro en el embudo y posteriormente en el trípode</p> <p>Receptar el filtrado en el matraz Erlenmeyer</p>	<p>Para el C.A. de cascara de coco:</p> $\frac{(1 \times 100)}{X_2 + X_1}$ <p>l= gramos/litro del carbón ensayo</p> <p>X₁= peso del carbón antes la decoloración</p> <p>X₂= peso del carbón después de la decoloración</p> $\frac{(1 \times 100)}{7 + 2}$ <p>= 11.1% de capacidad de decoloracion</p> <p>Para el C.A. Comercial:</p> $\frac{(1 \times 100)}{9 + 2}$ <p>= 9.1% de capacidad de decoloracion</p>

Realizado por: Cano O. & Coque L

1.4. Beneficios directos e indirectos

1.4.1.Directos

Entre los beneficiarios directos se encuentra la Facultad de Ciencias de la ESPOCH ya que se contaría con un equipo para la elaboración de carbón activado.

1.4.2.Indirectos

Los beneficiarios indirectos serían los estudiantes ya que ellos podrán hacer prácticas y conocer el proceso de la elaboración de carbón activado ya que se estará al alcance y puedan consumir este nuevo producto disminuyendo así las importaciones de carbón activado.

CAPITULO 2

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo General

Diseñar y construir un horno para la elaboración de carbón activado a partir de cáscara de coco.

2.2. Objetivos Específicos

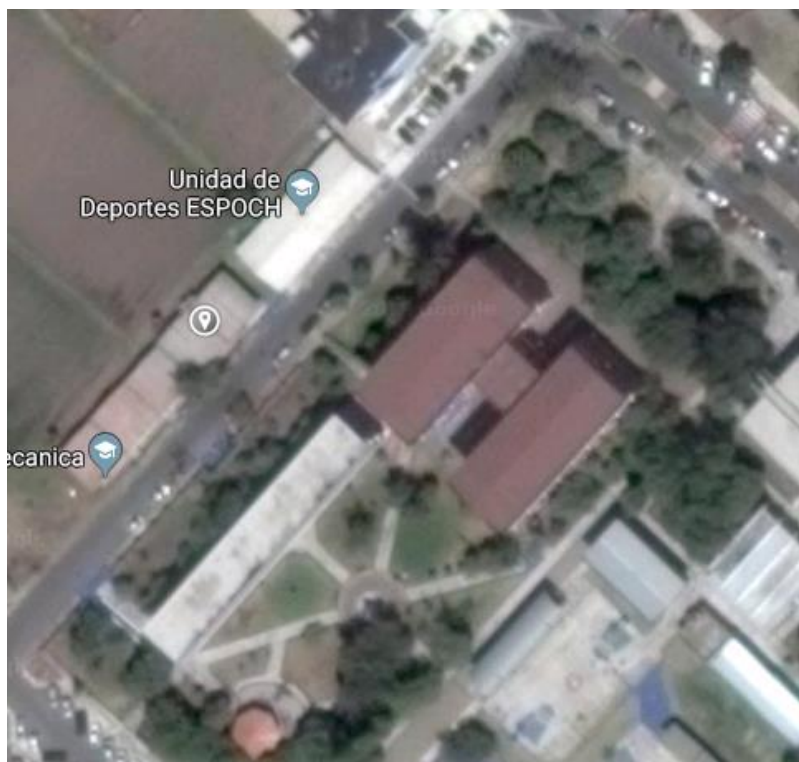
- Identificar y determinar el tipo de variables que estén presentes en el proceso de la elaboración de carbón activado, así como en el producto terminado a través de un diseño experimental para la obtención de carbón activado.
- Caracterizar el producto obtenido en base a las normas vigentes (Humedad NTE INEN 1985, Densidad aparente NTE INEN 1986, Cenizas totales NTE INEN 1987, Dureza NTE INEN 1989, Numero de yodo NTE INEN 1988).
- Validar el diseño del producto obtenido con una muestra comercial mediante ensayos de laboratorio en función a las características físico - químicas a partir de la Norma INEN 1991: Carbón Activado.
- Determinar el mejor proceso de elaboración de carbón activado y verificar el desempeño y efectividad del producto obtenido a partir de la cáscara de coco.

CAPITULO 3

3. ESTUDIO TECNICO

3.1. Localización del proyecto

El presente estudio técnico para el diseño de un horno para la elaboración de carbón activado, para el laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo. Latitud: -1.653241 y longitud: -78.681558 a una altura de 2764 msnm.



Fotografía 1-3 Localización del proyecto.
Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.2. Ingeniería del proyecto

Para obtener un bosquejo del diseño del equipo aplicamos el método de distribución de la función de calidad. En las secciones siguientes se presenta las etapas del proceso de diseño conceptual:

3.2.1.Requerimientos del usuario

Luego de realizar análisis de la funcionalidad mecánica y electrónica en equipos parecidos, se obtienen los requerimientos de uso más importantes. Al final se obtuvieron los siguientes requerimientos como los más importantes:

1. Que tenga una temperatura máxima de operación de 1200 °C.
2. Que tenga un extractor de gases.
3. Que tenga sistema de control de temperatura.
4. Que tenga un controlador de temperatura (PID)
5. Que tenga seguridad electrónica, para emergencias.
6. Que emita poco calor al ambiente.
7. Que tenga un sellado hermético.
8. Que tenga sensor de cerrado de puerta.
9. Que tenga dimensiones que lo hagan fácilmente transportable.

3.2.2.Características técnicas del equipo

Planteamos 16 características técnicas del equipo.

1. Potencia térmica total. (kW)
2. Numero de resistencias térmicas. (kW)
3. Capacidad volumétrica de la cámara de fundición (gabinete interno). (m3)
4. Capas de aislante térmico. (Numero)
5. Espesor de aislante térmico –gabinete interno. (mm)
6. Espesor de aislante térmico externo. (mm)
7. Controlador PID de temperatura. (si/no)
8. Dimensiones externas (alto, ancho, profundidad). (mm, mm, mm)
9. Sección de horno separada de área eléctrica. (si/no)
10. Puerta con sellado hermético. (si/no)
11. Sensor de final de carrera en la puerta. (si/no)
12. Protecciones eléctricas, prevención contra variaciones de voltaje. (si/no)
13. Pintura. (si/no)
14. Que tenga un botón de paro de emergencia. (si/no)
15. Control inalámbrico. (si/no)
16. Instructivos de operación, mantenimiento y seguridad. (si/no)

3.2.3. Evaluación de los requerimientos del usuario

Con la información de los potenciales usuarios determinamos el nivel de importancia que le dan a los requerimientos planteados. En una escala entre 1=poca importancia y 5=muy importante. Los resultados son los siguientes:

Tabla 1-3 Grado de importancia de requerimientos del usuario.

N	REQUERIMEINTO DEL USUARIO	IMP.
1	Que tenga una temperatura máxima de operación de 1200 °C.	5
2	Que tenga un extractor de gases.	3
3	Que tenga sistema de control (proceso automático).	5
4	Que tenga sistema de control de temperatura.	5
5	Que tenga seguridad electrónica, para emergencias.	3
6	Que emita poco calor al ambiente.	3
7	Que tenga un sellado hermético.	5
8	Que tenga sensor de cerrado de puerta.	4
9	Que tenga dimensiones que lo hagan fácilmente transportable.	3

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.2.4. Comparación con otros equipos similares.

Establecer equipos similares con los que se puede comparar nuestro horno. Para ello, investigamos sobre fabricantes y productos que se asemejen al equipo que queremos construir. En el anexo M, se muestran los equipos con los que se comparara el diseño.

3.2.5. Correlación entre características técnicas.

Lo siguiente es establecer la correlación existente entre las características técnicas del producto. Para ello se establecen cuatro calificaciones representadas con símbolos: (en blanco) no hay relación, (‡) Correlación muy positiva, (+) Correlación positiva, (-) Correlación negativa y (≡) Correlación muy negativa. Esta evaluación nos permite conocer, si existen características técnicas críticas que tiene relación antagónica.

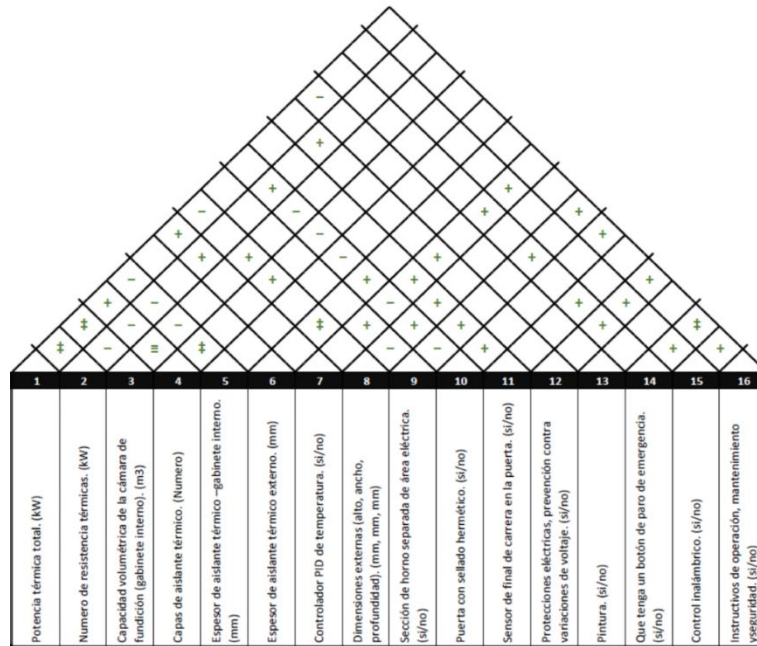


Figura 1-3 Correlaciones entre características técnicas del producto, método QFD.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.2.6. Evaluación de relaciones entre requerimientos y características

Determinar las relaciones entre requisitos del usuario y características técnicas. Para ellos se establecen valores posibles, acotados con símbolos: (vacío) Ninguna relación, (□) Poca relación, (○) Relación media y (●) Relación directa.

# Fila	Max. Valor relación Fila/Columna	# Columna															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		Características técnicas (Funcionalidad o Cómo)															
		Requerimientos (Necesidades del usuario o Qué)															
1	9	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	3			□	□	□	□	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	9		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	9			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	9			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	9	○	○														
7	9																
8	9																
9	9			○	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

Figura 2-3 Correlación entre requerimientos de usuario y características técnicas, método QFD.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.2.7. Evaluación de características técnicas.

En este paso se realiza los cálculos necesarios para determinar la escala de prioridad de las características técnicas, que se deben tomar en cuenta para cumplir los requerimientos más importantes del usuario. Para ver más en detalle estos cálculos, revise el archivo Excel “DISEÑO.xlsm”, en el CD que acompaña este trabajo. En la hoja llamada QFD, donde se encuentran los caculos para este método.

3.2.8. Resultados del método QFD

Luego se establece la prioridad de los requerimientos del usuario y las características técnicas del producto.

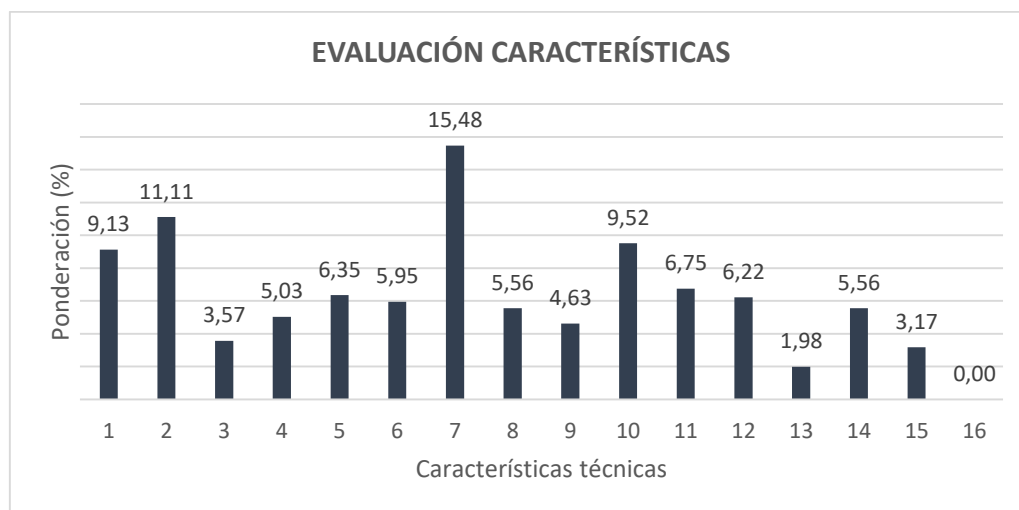


Gráfico 1-3 Resultados de ponderación de importancia de las características técnicas del horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

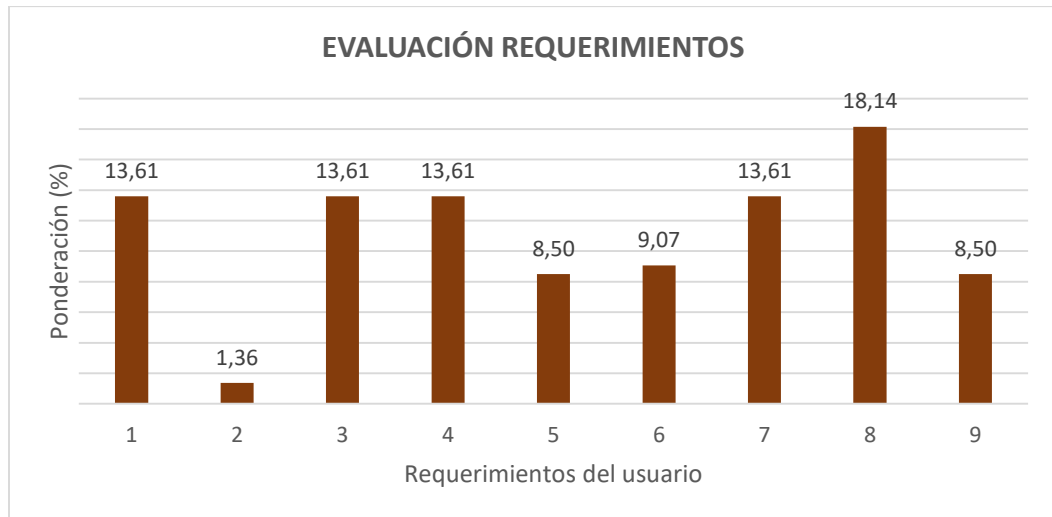


Gráfico 2-3 Resultados de ponderación de importancia de las características técnicas del horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

De esta forma se puede observar que los requerimientos de usuario más relevantes serían: 8, 1, 3 y 4. Sobre estos, se planteará el diseño. De igual forma para las características técnicas, se tiene las siguientes como las de mayor importancia: 7, 10, 2, y 1.

3.2.9. Análisis de resultados del método QFD

Los resultados de las características técnicas determinan, que las que se deben cumplir para satisfacer a los usuarios son: Controlador PID de temperatura, número de resistencia térmicas, potencia térmica total y puerta con sellado hermético. Los requerimientos considerados importantes de satisfacer son: Que tenga sensor de cerrado de puerta, que tenga una temperatura máxima de operación de 1200 °C, que tenga sistema de control (proceso automático) y que tenga sistema de control de temperatura. Se buscará cumplir con la mayor parte de lo anteriormente mencionado en el diseño de ingeniería.

3.2.10. Elección del sistema de transferencia de calor (STC)

3.2.10.1. Presentación de criterios de valoración.

Para aplicar el método ordinal corregido de criterios ponderados, requerimos en primera instancia los criterios de valoración. Los que consideramos importantes son los siguientes:

Confiabilidad: El sistema de transferencia de calor debe ser capaz de proporcionar la potencia térmica para alcanzar la temperatura máxima de funcionamiento. Tener un consumo eficiente de energía eléctrica o combustible.

Facilidad de diseño e implementación: El sistema debe ser lo más fácil de diseñar o instalar, sin perder seguridad y confiabilidad.

Coste: Se debe garantizar que se cumpla con los requerimientos críticos para el equipo a un coste conveniente.

Adaptabilidad: El sistema de transferencia de calor debe permitir calcinar material orgánico e inorgánico, y fundir metales de bajo punto de fusión.

3.2.10.2. Presentación de soluciones.

El segundo paso es presentar alternativas, que pretendan satisfacer los requerimientos relacionados con las funciones térmicas del equipo, plantamos 4 alternativas que se presentan en el anexo N. En él observamos el nombre completo que describe la solución del sistema de transferencia de calor, su acrónimo (nombre corto o código) con el que se tratara en el resto de este capítulo y una imagen que permite una mejor comprensión de la solución.

3.2.10.3. Estimación de grado importancia para los criterios de valoración.

Justificación de regla: Antes de iniciar con la evaluación, se tiene que explicar la razón de la regla de relación establecida. Esta expresa el interés de los diseñadores y los requerimientos del usuario. Nosotros determinamos que el criterio más importante es la confiabilidad, es decir, que es más importante que cumpla con su función de calefactor, con poco riesgo de falla, buena distribución de calor, etc. Sin olvidarnos de la seguridad.

Luego, establecemos como equivalentes los criterios de coste y facilidad de diseño, por estar directamente relacionados. Y al final se encuentra la adaptabilidad, esto porque no buscamos un equipo multifunciones sino uno que cumpla con su objetivo de calcinar. Puede prestar más servicios, pero todos orientados a su función como horno.

Tabla 11-3 Grado de importancia de criterios de valoración – STC.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE VALORACIÓN						
REGLA:	Confiabilidad > Facilidad D. = Coste > Adaptabilidad					
	Confiabilidad	Facilidad D.	Coste	Adaptabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Confiabilidad		1	1	1	4	0,4000
Facilidad D.	0		0,5	1	2,5	0,2500
Coste	0	0,5		1	2,5	0,2500
Adaptabilidad	0	0	0		1	0,1000
				TOTAL	10	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultado:

El resultado es la confiabilidad tiene un peso del 40% sobre la decisión de que sistema de transferencia de calor a utilizar. La facilidad de diseño e implementación, y el coste un 25%. El restante es la adaptabilidad.

3.2.10.4. Ponderación de soluciones a razón de su confiabilidad.

Justificación de regla: Las resistencias de Cr-Ni de resorte son las más usadas en aplicaciones a pequeña escala por su adaptabilidad a espacios pequeños, con temperaturas de trabajo de hasta 1400 K, por ello, se encuentra en primer lugar de confiabilidad. En segundo lugar, se encuentran las resistencias de tubo cerámicas, estas al ser un tubo rígido requieren de adecuaciones del espacio que permita su conexión a corriente, y sujeción. Con temperaturas de 1000 K, y una potencia de hasta 200 kW. Son perfectas para hornos para alimentos industriales. Se justifica su posición por ser mucho más susceptibles a daños y es de difícil reparación. En tercer lugar, se ubican las resistencias de tubo doblado, estas tienen temperaturas inferiores a 1000 K, y son mucho más útiles para calentar fluidos. En último lugar, se encuentran las resistencias de aro que alcanzan temperaturas inferiores a 1000 K, y se pueden adaptar a formas cilíndricas como tubos.

Tabla 12-3 Ponderación de soluciones de STC a razón de su confiabilidad.

PONDERACIÓN DE SOLUCIONES A RAZÓN DE SU: CONFIABILIDAD						
REGLA:	RETR > RETC = RETTR > RETA					
	RETR	RETC	RETTR	RETA	Σ +1	Ponderación
RETR		1	1	1	4	0,4000
RETC	0		0,5	1	2,5	0,2500
RETTR	0	0,5		1	2,5	0,2500
RETA	0	0	0		1	0,1000
TOTAL					10	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultado:

Tras la ponderación se obtiene que las resistencias de resorte son más confiables para el trabajo de calentar a una temperatura de 1400 K, que se requiere para calcinar materia orgánica y activar el carbón, por método térmico.

3.2.10.5. Ponderación de soluciones a razón de su facilidad de construcción.

Justificación de regla: Esta evaluación se realizó en base a la facilidad de diseño de equipos con el tipo de resistencia correspondiente. Las resistencias de resorte al ser deformables se pueden adaptar en cualquier configuración de cámara posible, por tanto, diseñar un horno pequeño con estas es muy sencillo. No es lo mismo, con las resistencias de tubo cerámico, tubo doblado y de anillo que viene con formas preestablecidas y poco versátiles para trabajar.

Tabla 13-3 Ponderación de soluciones STC a razón facilidad de diseño y construcción.

PONDERACIÓN DE SOLUCIONES A RAZÓN DE SU: FACILIDAD DE DISEÑO Y CONST.						
REGLA:	RETR > RETC = RETTR > RETA					
	RETR	RETC	RETTR	RETA	Σ +1	Ponderación
RETR		1	1	1	4	0,4000
RETC	0		0,5	1	2,5	0,2500
RETTR	0	0,5		1	2,5	0,2500
RETA	0	0	0		1	0,1000
TOTAL					10	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultado:

Las resistencias de tipo resorte son las resistencias con las que es más fácil trabajar, en el proceso de diseño y construcción.

3.2.10.6. Ponderación de soluciones a razón de su coste.

Justificación de regla: Las resistencias de resorte nuevamente son las más económicas, por ser de estructura simple. Aunque el material del que están compuestas son aleaciones especiales que resisten altas temperaturas. Por el contrario, las resistencias cerámicas, de tubo doblado y anillo, tiene estructuras complejas, sobre todo las cerámicas, por ello tienen un mayor precio.

Tabla 14-3 Ponderación de soluciones de STC a razón de su costo.

PONDERACIÓN DE SOLUCIONES A RAZÓN DE SU: COSTE (MENOR)						
REGLA:	RETR > RETA = RETTR > RETC					
	RETR	RETC	RETTR	RETA	$\Sigma +1$	Ponderación
RETR		1	1	1	4	0,4000
RETC	0		0	0	1	0,1000
RETTR	0	1		0,5	2,5	0,2500
RETA	0	1	0,5		2,5	0,2500
				TOTAL	10	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultado:

Las resistencias de resorte nuevamente tienen la mejor calificación, en este caso por el costo. Ya desde este punto se puede saber que estas serán las que se usarán en el diseño y construcción del equipo, pero continuaremos con la aplicación del método para ser rigurosos.

3.2.10.7. Ponderación de soluciones a razón de su adaptabilidad.

Justificación de regla: En adaptabilidad igualmente las resistencias de resorte tienen un mejor comportamiento. Estas se pueden acoplarse a cualquier forma, y en el caso de la versatilidad presenta el mismo comportamiento. Por el contrario, en el espacio físico no idóneos las otras resistencias no pueden ser instaladas. Resistencias como las de tubo o cerámicas, trabajan mejor en la transferencia de calor a fluidos.

Tabla 15-3 Ponderación de soluciones de STC a razón de su versatilidad

PONDERACIÓN DE SOLUCIONES A RAZÓN DE SU: ADAPTABILIDAD						
REGLA :	RETR > RETC > RETTR > RETA					
	RETR	RETC	RETTR	RETA	Σ +1	Ponderación
RETR		1	1	1	4	0,4000
RETC	0		1	1	3	0,3000
RETTR	0	0		1	2	0,2000
RETA	0	0	0		1	0,1000
				TOTAL	10	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultado:

Las resistencias de resorte son las mejor puntuadas en esta etapa seguidas de las resistencias cerámicas que también pueden ser usadas, en un horno que quema materia orgánica.

3.2.10.8. Ponderación final de las soluciones.

El resultado de la aplicación del método da como mejor ponderado a las resistencias de resorte, por ser las más: confiables, fáciles de instalar, baratas y adaptables, de todas las soluciones presentadas. Por tanto, estas resistencias serán usadas en el diseño y construcción del equipo.

Tabla 16-3 Evaluación general de soluciones para STC.

EVALUACIÓN GENERAL DE SOLUCIONES						
	Confiabilidad	Facilidad D.	Coste	Adaptabilidad	SUMA	Prioridad
RETR	0,1600	0,1000	0,1000	0,0400	0,4000	1
RETC	0,1000	0,0750	0,0250	0,0300	0,2300	2
RETT R	0,1000	0,0250	0,0625	0,0200	0,2075	3
RETA	0,0400	0,0500	0,0625	0,0100	0,1625	4

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.2.11. Elección de forma de aislamiento térmico externo (ATE)

3.2.11.1. Presentación de criterios de valoración.

Planteamos el siguiente criterio de valoración para la selección del aislamiento térmico externo: **Confiabilidad** El aislamiento debe retener el flujo de calor dentro del equipo para evitar que se caliente la superficie externa.

Facilidad de diseño y construcción: Ser simple en estructura, pero cumpliendo las prestaciones del modelo.

Costos: Garantizar un correcto funcionamiento y seguridad a un bajo costo.

Adaptabilidad: El aislante debe ser de fácil instalación y mantenimiento.

3.2.11.2. Presentación de soluciones.

El segundo paso es presentar alternativas que pretendan satisfacer los requerimientos relacionados con las funciones de aislante térmico del equipo, plantamos 3 alternativas se pueden observar en el anexo O.

3.2.11.3. Estimación de grado importancia para los criterios de valoración.

Justificación de regla: El criterio de confiabilidad tiene mayor peso sobre los demás, al ser nuestro objetivo es evitar que el calor se disipe hacia el ambiente. El costo está en segundo lugar, porque se debe buscar una opción barata que cumpla a satisfacción su función.

Tabla 17-3 Grado de importancia de criterios de valoración – ATE.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE VALORACIÓN						
REGLA:	Confiabilidad > Coste > Adaptabilidad > Facilidad D.					
	Confiabilidad	Facilidad D.	Coste	Adaptabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Confiabilidad		1	1	1	4	0,4000
Facilidad D.	0		0	0	1	0,1000
Coste	0	1		1	3	0,3000
Adaptabilidad	0	1	0		2	0,2000
				TOTAL	10	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

La confiabilidad del aislante tiene un peso de 40%, sobre la elección del aislante. La facilidad de diseño tiene un 10%, el coste un 30% y la adaptabilidad un 20%. Cada solución deberá ponderarse en base a esta regla.

3.2.11.4. Ponderación de soluciones a razón de su confiabilidad.

Justificación de regla: Debido a su confiabilidad se evaluó las soluciones presentadas. La mayor confiabilidad la tiene los aislantes térmicos celulares, seguido de los fibrosos y al final los granulares.

Tabla 18-3 Ponderación de soluciones de ATE a razón de su fiabilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE SOLUCION CONFIABILIDAD					
REGLA:	ATC > ATF > ATG				
	ATC	ATF	ATG	Σ +1	Ponderación
ATC		1	1	3	0,5000
ATF	0		1	2	0,3333
ATG	0	0		1	0,1667
			TOTAL	6	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

El aislante térmico celular tiene la mejor calificación con un 50%, el aislante fibroso de un 33% y el granular de un 16%.

3.2.11.5. Ponderación de soluciones a razón de su facilidad de construcción.

Justificación de regla: Los aislantes térmicos fibrosos prestan mayor facilidad para el diseño y construcción de hornos, al igual que los aislantes granulares. Los aislantes celulares al tener una estructura compacta presentan mayor dificultad para su aplicación en algunas geometrías de trabajo.

Tabla 19-3 Ponderación de soluciones de ATE a razón de su facilidad de diseño y construcción.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE SOLUCION FACILIDAD DE DISEÑO Y CONST.					
REGLA:	ATF = ATG > ATC				
	ATC	ATF	ATG	Σ +1	Ponderación
ATC		0	0	1	0,2500
ATF	0		0,5	1,5	0,3750
ATG	0	0,5		1,5	0,3750
			TOTAL	4	1,0000

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

Los aislantes térmicos fibrosos y granulares tiene una calificación de 37,5%, y el aislante térmico celular un 25%.

3.2.11.6. Ponderación de soluciones a razón de su coste.

Justificación de regla: Los aislantes fibrosos son más baratos comparados con los aislantes granulares y aislantes.

Tabla 20-3 Ponderación de soluciones de ATE a razón de su costo.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE SOLUCION COSTE (MENOR)					
REGLA:	ATF > ATG > ATC				
	ATC	ATF	ATG	Σ +1	Ponderación
ATC		0	0	1	0,1667
ATF	1		1	3	0,5000
ATG	1	0		2	0,3333
			TOTAL	6	1,0000

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

Los aislantes fibrosos tienen una calificación de 50%, los aislantes granulares de 33% y los aislantes celulares de 17%.

3.2.11.7. Ponderación de soluciones a razón de su adaptabilidad.

Justificación de regla: El aislante granular tiene una mejor adaptabilidad, su instalación ya que, al estar conformado por pequeñas partículas de un material resistente al paso de calor, junto con el efecto aislante de los espacios vacíos entre partículas, generan el efecto aislante, convirtiéndolo en la mejor opción. Por el contrario, los aislantes fibrosos y celulares vienen en presentaciones de lámina arrollada, lo que hace necesario su corte y pegado para distintas geometrías.

Tabla 21-3 Ponderación de soluciones de ATE a razón de su adaptabilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE SOLUCION ADAPTABILIDAD					
REGLA:	ATG > ATF = ATC				
	ATC	ATF	ATG	$\Sigma +1$	Ponderación
ATC		0,5	0	1,5	0,2500
ATF	0,5		0	1,5	0,2500
ATG	1	1		3	0,5000
TOTAL				6	1,0000

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

El aislante granular tiene una calificación de 50%, seguido de un 25% respectivamente para los aislantes celulares y fibrosos.

3.2.11.8. Ponderación final de las soluciones.

El resultado final muestra que la mejor opción es el aislante térmico fibroso que, aunque es difícil de instalar, se ve favorecido por su confiabilidad y bajo costo. Por tanto, se usará este aislante par el diseño y construcción del equipo.

Tabla 22-3 Evaluación general de soluciones de ATE.

EVALUACIÓN GENERAL DE SOLUCIONES						
	Confiabilidad	Facilidad D.	Coste	Adaptabilidad	SUMA	Prioridad
ATC	0,2000	0,0250	0,0500	0,0500	0,3250	2
ATF	0,1333	0,0375	0,1500	0,0500	0,3708	1
ATG	0,0667	0,0375	0,1000	0,1000	0,3042	3

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.2.12. Elección de tipo de horno

3.2.12.1. Presentación de criterios de valoración.

El método ordinal corregido de criterios ponderados requiere de la presentación de criterios de valoración, para el caso de la elección del tipo de horno a utilizar se usará los siguientes:

Confiabilidad: La estructura del horno tiene que permitir la calcinación de la cascara de coco y la activación térmica del carbón activado a una temperatura de 1373 K.

Facilidad de diseño y construcción: Ser simple en estructura, pero cumpliendo las prestaciones del modelo.

Coste: Garantizar un correcto funcionamiento y seguridad a un bajo costo.

Versatilidad: Tiene que prestar facilidades para su uso en tratamientos térmicos de materiales como metales o vidrio, y la calcinación de otros materiales.

3.2.12.2. Presentación de soluciones.

Las soluciones planteadas para el sistema de corte se presentan en el anexo P.

3.2.12.3. Estimación de grado importancia para los criterios de valoración.

Justificación de regla: El peso del criterio de valoración, confiabilidad es mayor seguido del costo, que son limitantes para el diseño. Luego se encuentra la facilidad del diseño y la adaptabilidad, porque no se busca algo complejo y que tenga funciones múltiples.

Tabla 23-3 Grado de importancia de criterios de valoración- tipo de horno.

REGLA:	EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE VALORACIÓN						
	Confiabilidad > Coste > Facilidad D. > Adaptabilidad					Σ+1	Ponderación
	Confiabilidad	Facilidad D.	Coste	Adaptabilidad			
Confiabilidad		1	1	1	4	0,4000	
Facilidad D.	0		0	1	2	0,2000	
Coste	0	1		1	3	0,3000	
Adaptabilidad	0	0	0		1	0,1000	
TOTAL					10	1	

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

La confiabilidad tiene un 40% de peso sobre la elección a realizarse, seguido de un 30% de coste y de 20% respectivamente de facilidad de diseño y adaptabilidad.

3.2.12.4. Ponderación de soluciones a razón de su fiabilidad.

Justificación de regla: En relación a la confiabilidad de las soluciones, los hornos de cabina deslizante, al ser industriales y muy usados en la industria de los metales, son los que mayor cantidad de carbón activado producirían. El segundo lugar corresponde a los hornos de cabina rectangular, suelen ser muy usados en laboratorios por la poca cantidad de producto, que generan. Requieren menos energía para alcanzar las temperaturas de activación del carbón. Los hornos de tubo horizontal son mucho más pequeños y se usan para la preparación y secado de muestras a bajas temperaturas 600 K.

Tabla 24-3 Ponderación de soluciones de horno a razón de su fiabilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE SOLUCION CONFIABILIDAD					
REGLA:	HCD > HCR > HMCH				
	HMCH	HCR	HCD	$\Sigma +1$	Ponderación
HCH		0	0	1	0,1667
HCR	1		0	2	0,3333
HCD	1	1		3	0,5000
			TOTAL	6	1

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

La calificación muestra que el mejor tipo de horno para su aplicación a nivel de laboratorio son los hornos de cabina rectangular.

3.2.12.5. Ponderación de soluciones a razón de su facilidad de construcción.

Justificación de regla: Los hornos de cabina rectangular son los más fáciles de construir, que su geometría es regular. Los hornos de cilindro horizontal y los de cabina deslizante son mucho más difíciles de diseñar y construir.

Tabla 25-3 Ponderación de soluciones de horno a razón de su facilidad de diseño.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE SOLUCION FACILIDAD DE DISEÑO Y CONST.					
REGLA:	HCR > HCH > HCD				
	HCH	HCR	HCD	$\Sigma +1$	Ponderación
HCH		0	1	2	0,3333
HCR	1		1	3	0,5000
HCD	0	0		1	0,1667
			TOTAL	6	1,0000

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

Las calificaciones le dan la mejor puntuación lo tienen los hornos de cabina rectangular, con un 50%. Los hornos cilíndricos tienen una calificación de 33%, y 17% para horno de cabina deslizante.

3.2.12.6. Ponderación de soluciones a razón de su coste.

Justificación de regla: Debido al costo, los hornos de cabina rectangular tienen un menor precio por ser más simples, luego están los hornos de cilindro horizontal y al final están los hornos de cabina deslizante, dada la cantidad de partes móviles que tiene son muy complejos de fabricar.

Tabla 26-3 Ponderación de soluciones de horno a razón de su costo.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE SOLUCION COSTE (MENOR)					
REGLA:	HCR > HCH > HCD				
	HCH	HCR	HCD	$\Sigma +1$	Ponderación
HCH		0	1	2	0,3333
HCR	1		1	3	0,5000
HCD	0	0		1	0,1667
			TOTAL	6	1,0000

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

Los hornos de cabina rectangular tienen un 50%, los hornos de cilindro horizontal un 33% y los hornos de cabina deslizante un 17%.

3.2.12.7. Ponderación de soluciones a razón de su adaptabilidad.

Justificación de regla: En función su adaptabilidad los hornos de cabina rectangular, tiene un amplio uso en laboratorios e industria pequeña, y se emplean para un amplio grupo de aplicaciones.

Tabla 27-3 Ponderación de soluciones de horno a razón de su adaptabilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE SOLUCION ADAPTABILIDAD					
REGLA:	HCR > HCH > HCD				
	HCH	HCR	HCD	$\Sigma +1$	Ponderación
HCH		0	1	2	0,3333
HCR	1		1	3	0,5000
HCD	0	0		1	0,1667
TOTAL				6	1,0000

Realizado por: Cano O. & Coque L.

Resultados:

Los hornos de cabina rectangular obtienen una calificación del 50%, los hornos de cilindro horizontal un 33% y los hornos de cabina deslizante un 17%.

3.2.12.8. Ponderación final de las soluciones.

Como resultado final se tiene que la mejor solución planteada es la de un horno de tipo cabina rectangular, esto por estar destinado a un laboratorio, una cantidad de producto bajo y temperaturas de trabajo alta.

Tabla 28-0 Evaluación general de soluciones de tipo de horno.

EVALUACIÓN GENERAL DE SOLUCIONES						
	Confiabilidad	Facilidad D.	Coste	Adaptabilidad	SUMA	Prioridad
HCH	0,0667	0,0667	0,1000	0,0333	0,2667	3
HCR	0,0333	0,1000	0,0333	0,3333	0,5000	1
HCD	0,0500	0,0333	0,3333	0,0000	0,4167	2

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.3. Diseño

3.3.1. Cálculos de diseño estructural

3.3.1.1. Volumen total ocupado por el horno

Se calcula el volumen total que ocupa el equipo, como información necesaria para su instalación, así como su superficie para realizar los análisis térmicos. Las ecuaciones 1y 2 permiten calcular el volumen y la superficie del cubo de referencia.

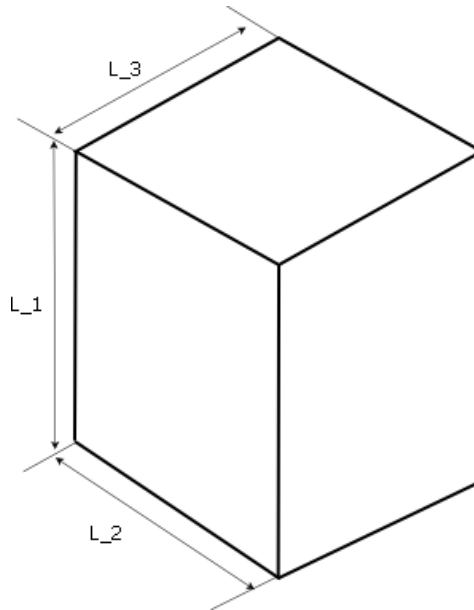


Figura 3-3 Esquema con cotas para el cálculo de volumen total ocupado por el equipo.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

$$V_t = \frac{L_1 L_2 L_3}{1000^3}$$

Ecuación 1

$$V_t = \frac{(685) * (495,52) * (526,92)}{1000^3} = 0,1789 \text{ m}^3$$

$$A_t = \frac{2(L_1 L_2 + L_1 L_3 + L_2 L_3)}{1000^2}$$

Ecuación 2

$$A_t = \frac{2((685) * (495,52) + (685) * (526,92) + (492,52) * (526,92))}{1000^2} = 1,9229 \text{ m}^2$$

Donde:

V_t Volumen total ocupado [m^3]

L_1 Altura del horno [mm]

L_2 Ancho del horno [mm]

L_3 Profundidad del horno [mm]

3.3.1.2. División de secciones del horno

El volumen total de horno se divide en os secciones que corresponden a la sección donde estará instalado el horno y la sección donde se instalaran los sistemas eléctricos y de control. Se calculan los volúmenes ocupados por ambas secciones, usando las ecuaciones 3, 4, 5, 6.

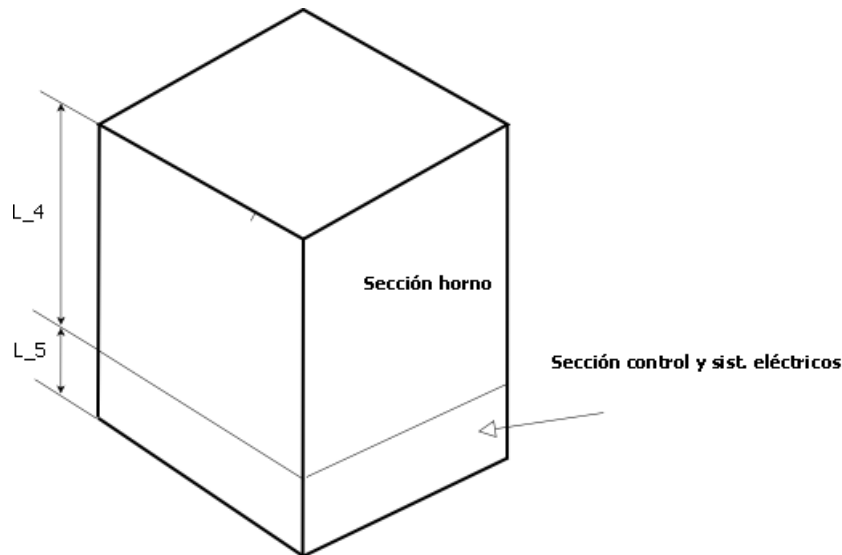


Figura 4-3 Esquema de división de las secciones del horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

$$V_{sh} = \frac{L_4 L_2 L_3}{1000^3} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$V_{sh} = \frac{(485,82)(495,52)(526,92)}{1000^3} = 0,1268 \text{ m}^3$$

$$V_{sc} = V_t - V_{sh} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$V_{sc} = (0,1789) - (0,1268) = 0,0522 \text{ m}^3$$

$$A_{sh} = \frac{2(L_4 L_2 + L_4 L_3 + L_2 L_3)}{1000^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$A_{sh} = \frac{2((485,82)(495,52) + (485,82)(526,92) + (495,52)(526,92))}{1000^2} = 1,5156 \text{ m}^2$$

$$A_{sc} = \frac{2(L_5 L_2 + L_5 L_3 + L_2 L_3)}{1000^2} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$A_{sc} = \frac{2((200)(495,52) + (200)(526,92) + (495,52)(526,92))}{1000^2} = 0,93120 \text{ m}^2$$

Donde:

V_{sh} Volumen de la sección del horno [m^3]

V_{sc} Volumen de la sección eléctrica y de control. [m^3]

A_{sh} Superficie de la sección del horno. [m^2]

A_{sc} Superficie de la sección de sist. eléctrico y control. [m^2]

L_4 Altura de sección de horno [mm]

L_5 Altura de sección de sist. eléctricos y control. [mm]

3.3.1.3. Dimensionamiento de puerta del horno

Luego, se divide la sección del horno en dos partes las mismas que son: la cámara del horno y la puerta. Para calcular los volúmenes y superficies se usan las ecuaciones 7, 8, 9 y 10.

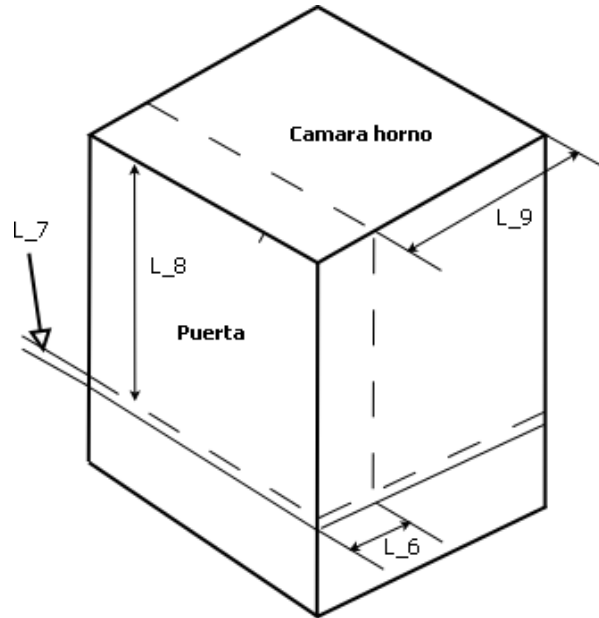


Figura 5-3 Esquema general de divisiones de la sección de horno. (cámara + puerta)

Realizado por: Cano O.& Coque L.

$$V_{ch} = \frac{L_9 L_8 (L_3 - L_6)}{1000^3} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$V_{ch} = \frac{(381,77)(465,82)(526,92 - 145,16)}{1000^3} = 0,0117 \text{ m}^3$$

$$V_{sp} = V_{sh} - V_{ch} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$V_{sp} = 0,1268 - 0,0117 = 0,1151 \text{ m}^3$$

$$A_{sch} = \frac{2(L_6 L_2 + L_6 L_8 + L_2 L_8)}{1000^2} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$A_{sch} = \frac{2((145,16)(495,52) + (145,16)(465,82) + (495,52)(465,82))}{1000^2} = 0,7407 \text{ m}^2$$

$$V_{ssp} = \frac{L_7 L_6 L_2}{1000^3} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$V_{ssp} = \frac{(20)(145,16)(495,52)}{1000^3} = 0,0014 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{ch} Volumen de cámara del horno. [m^3]

V_{sp} Volumen de la subsección de puerta. [m^3]

V_{ssp} Volumen de la separación puerta y sección de control. [m^3]

L_6 Altura de la puerta del horno. [mm]

L_7 Altura de separación entre la puerta y sección de control. [mm]

L_8 Altura de la puerta del horno. [mm]

L_9 Profundidad de cámara de horno. [mm]

3.3.1.4. Dimensionamiento de cámara de calcinación

La cámara de calcinación es el espacio donde se monta el aislamiento térmico a base de sílice, es el lugar donde se realiza el proceso de calcinación o fundición de materiales. Las ecuaciones 11 y 12, permiten calcular su volumen y superficie.

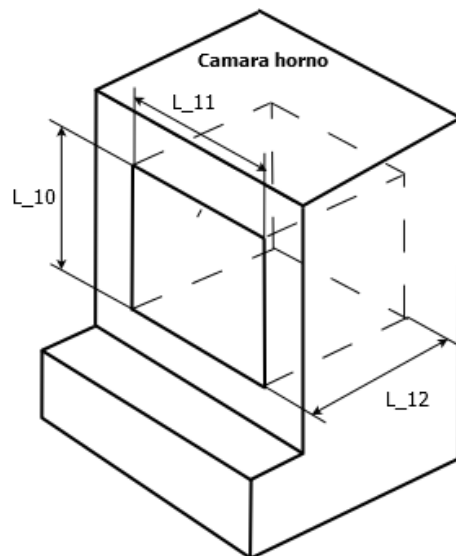


Figura 6-3 Esquema con cotas de dimensionamiento de cámara de calcinación.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

$$V_{cc} = \frac{L_{10}L_{11}L_{12}}{1000^3} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$V_{cc} = \frac{(180,26)(184,89)(351,28)}{1000^3} = 0,0117 \text{ m}^3$$

$$A_{icc} = \frac{2(L_{10}L_{12} + L_{11}L_{12} + L_{10}L_{11})}{1000^2} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$A_{icc} = \frac{2((180,26)(351,28)+(184,89)(351,28)+(180,26)(184,89))}{1000^2} = 0,2899 \text{ m}^2$$

Donde:

V_{cc} Volumen de cámara de calcinación. [m^3]

A_{icc} Superficie interna de cámara de calcinación. [m^2]

L_{10} Altura de cámara de calcinación. [mm]

L_{11} Ancho de cámara de calcinación. [mm]

L_{12} Profundidad de cámara de calcinación. [mm]

3.3.1.5. Dimensionamiento de capas de aislante de la sección del horno.

Las distribuciones de las capas de aislante dependen en gran medida de los cálculos térmicos, por ello, aquí se plantean. Los nombres de las variables y las ecuaciones que permiten: calcular volúmenes y superficies, para ser consistentes con los cálculos anteriores.

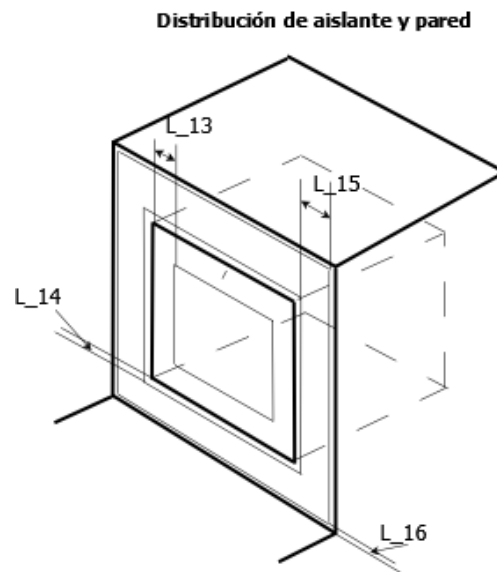


Figura 7-3 Esquema con cotas del dimensionamiento de capas de aislante de la sección del horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

$$V_{cam} = \frac{((L_{11} - 2L_{13}) * (L_{10} - 2L_{13}) * (L_{12} - 2L_{13}))}{1000^3}$$

Ecuación 13

$$V_{cam} = \frac{(((184,89)-2(35)) * ((180,26)-2(35)) * ((351,28)-2(35)))}{1000^3} = 0,0036 \text{ m}^3$$

$$A_{ai1} = ((L_{11} - 2L_{13})(L_{10} - 2L_{13}) + 2(L_{12} - 2L_{13})(L_{10} - 2L_{13}) + 2(L_{12} - 2L_{13})(L_{11} - 2L_{13}))/1000^2$$

Ecuación 14

$$A_{ai1} = ((184,89 - 2(35))(180,26 - 2(35)) + 2(351,28 - 2(35))(180,26 - 2(35)) + 2(351,28 - 2(35))(184,89 - 2(35)))/1000^2 = 0,1393 \text{ m}^2$$

$$A_{ae1} = ((L_{11} - 2L_{14})(L_{10} - 2L_{14}) + 2(L_{12} - 2L_{14})(L_{10} - 2L_{14}) + 2(L_{11} - 2L_{14})(L_{12} - 2L_{14}))/1000^2 \quad \text{Ecuación 15}$$

$$A_{ae1} = ((184,89 - 2(2))(180,26 - 2(2)) + 2(351,28 - 2(2))(180,26 - 2(2)) + 2(184,89 - 2(2))(351,28 - 2(2)))/1000^2 = 0,2800 \text{ m}^2$$

$$A_{ai2} = ((L_2 - 2L_{16})(L_1 - 2L_{16}) + 2(L_3 - 2L_{16})(L_1 - 2L_{16}) + 2(L_2 - 2L_{16})(L_3 - 2L_{16}))/1000^2 \quad \text{Ecuación 16}$$

$$A_{ai2} = ((495,52 - 2(1,5))(685,00 - 2(1,5)) + 2(526,92 - 2(1,5))(685,00 - 2(1,5)) + 2(495,52 - 2(1,5))(526,92 - 2(1,5)))/1000^2 = 1,5666 \text{ m}^3$$

$$V_{a1} = V_{cc} - V_{cam} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$V_{a1} = 0,0117 - 0,0036 = 0,0081 \text{ m}^3$$

$$V_{a2} = \frac{(L_2 - 2L_{16})(L_1 - 2L_{16})(L_3 - 2L_{16})}{1000^3} - V_{cc} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$V_{a2} = \frac{(495,52 - 2(1,5))(685,00 - 2(1,5))(526,92 - 2(1,5))}{1000^3} - 0,0117 = 0,1643 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{cam} Volumen interno de la cámara de calcinación. [m^3]

V_{a1} Volumen de aislante 1. [m^3]

V_{a2} Volumen de aislante 2. [m^3]

L_{13} Espesor aislante 1. [mm]

L_{14} Espesor de pared metaliza 1. [mm]

L_{15} Espesor de aislante 2. [mm]

L_{16} Espesor de pares metaliza 2. [mm]

3.3.2. Cálculos de dimensionamiento térmico

3.3.2.1. Distribución de pared compuesta del horno

Para evitar pérdidas considerables de calor es necesario estructurar una pared compuesta, por aislantes y las paredes metálicas. Para ello se va a utilizar una pared compuesta de 2 aislantes y 2

paredes metálicas. El esquema de la constitución de la pared compuesta se observa en la Figura 8-3.

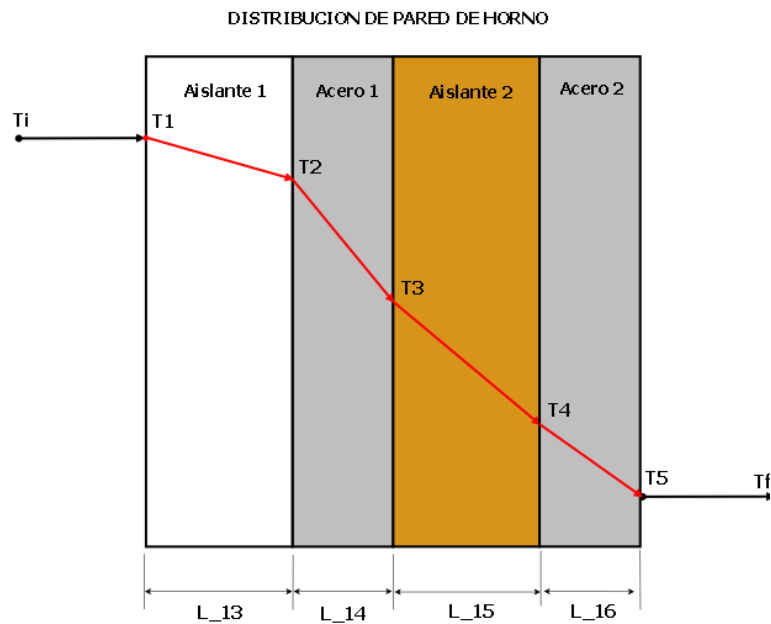


Figura 8-3 Esquema con cotas de la distribución de la pared compuesta del horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

Para poder establecer las ecuaciones de dimensionamiento de las capas de aislantes es necesario simplificar el modelo. La forma más sencilla de simplificar es usar la analogía de sistema eléctrico, tomando a las resistencias térmicas como resistencias eléctricas (CENGEL, y otros, 2007 pág. 135). En la ilustración 9-3, se observa el esquema de las resistencias térmicas que conforman la pared del horno.

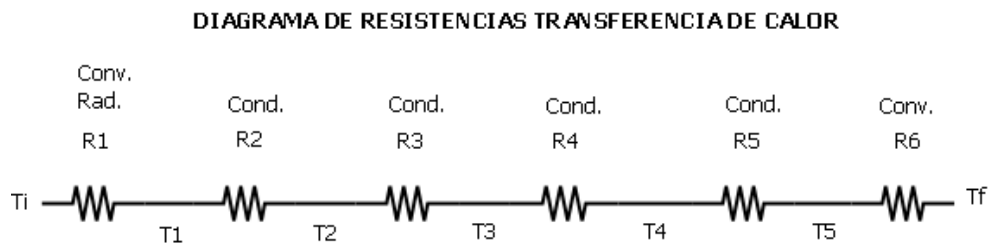


Figura 9-3 Analogía eléctrica para la distribución de pared compuesta del horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.3.2.2. *Calculo de coeficiente de convección natural*

Por no existir partes móviles al interior del horno se estima que el proceso de intercambio de calor se hace para condiciones naturales. Por ello, se emplea ecuaciones para convección natural, y

como las paredes se pueden tomar como una superficie plana infinita (CENGEL, y otros, 2007 pág. 510).

$$N_{Nu} = \frac{hL}{k} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$h_f = \frac{Nu_f k_f}{L} = \frac{2900,22 * 3,270 \times 10^{-2}}{485,82} = 195,2130 \frac{W}{m^2 \text{°C}}$$

$$h_i = \frac{Nu_i k_i}{L} = \frac{83,75 * 8,247 \times 10^{-2}}{180,26} = 38,3175 \frac{W}{m^2 \text{°C}}$$

$$N_{Nu} = a(N_{Gr} N_{Pr})^m \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Nu_i = (0,5900)(5,553 \times 10^8 * 0,7312)^{0,25} = 83,75$$

$$Nu_f = (0,1300)(1,572 \times 10^{13} * 0,7065)^{0,3333} = 2900,22$$

$$N_{Gr} = \frac{g\beta L |T_{ri} - T_i|}{(10^3 \nu)^3} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$N_{Grf} = \frac{(9,81)(2,512 \times 10^{-3})(485,82)|125-30|}{(10^3(2,577 \times 10^{-5}))^3} = 1,572 \times 10^{13} [SN]$$

$$N_{Gri} = \frac{(9,81)(7,283 \times 10^{-4})(180,26)|1100-1200|}{(10^3(1,961 \times 10^{-4}))^3} = 5,553 \times 10^8 [SN]$$

$$\beta = \frac{1}{T_{ri} + 273,15} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\beta_f = \frac{1}{125,3 + 273,15} = 2,512 \times 10^{-3} [K^{-1}]$$

$$\beta_i = \frac{1}{1100 + 273,15} = 7,283 \times 10^{-4} [K^{-1}]$$

Donde:

Nu_f, Nu_i Numero de Nusselt externo e interno. [*adim*]

N_{Grf}, N_{Gri} Numero de Grashof externo e interno. [*adim*]

N_{Pr} Numero de Prandtl externo e interno. [*adim*]

h_f, h_i Coeficiente de convección natural externo e interno. [$W/m^2 \text{°C}$]

L Longitud equivalente de pared vertical. [*m*]

k_f, k_i Conductividad térmica del fluido a T_m . [$W/m \text{°C}$]

a, m Parámetros tabulados de coeficiente de convección natural. [*adim*]

g Aceleración de la gravedad. [m/s^2]

β_f, β_i Coeficiente de expansión volumétrica. [m^{-3}]

T_{ri}, T_i Temperatura media y temperatura del fluido. [°C]

ν Viscosidad cinemática. [m^2/s]

3.3.2.3. Cálculo de resistencia térmica total

Partiendo de la ilustración 9-3, se obtiene la ecuación 23 y sus subsidiarias 24, 25, 26 y 27. Que permiten determinar la resistencia total de la pared.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 = \sum R_i \quad \text{Ecuación 23}$$

$$R_t = 0.1873 + 0.5842 + 0.0004 + 1.3678 + 0.0003 + 0.0368 \\ = 2.1768$$

$$R_1 = \frac{1}{h_i A_{ai1}} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$R_1 = \frac{1}{(38,3175)(0,1393)} = 0,1873$$

$$R_2 = \frac{L_3}{k_1 A_{sh}} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$R_2 = \frac{526,92}{0,43(1,5156)} = 0,5842$$

$$R_3 = \frac{L_4}{k_2 A_{a2}} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$R_3 = \frac{485,82}{36(1,5666)} = 0,0004$$

$$R_4 = \frac{L_4}{k_3 A_{sc}} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$R_4 = \frac{485,82}{0,07(0,9312)} = 1,3678$$

$$R_5 = \frac{L_4}{k_4 A_{sc}} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$R_5 = \frac{485,82}{36(0,9312)} = 0,0003$$

$$R_6 = \frac{1}{h_e A_{sc}} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$R_6 = \frac{1}{195,2130(0,9312)} = 0,0368$$

Donde:

R_t Resistencia total. [$m^2\text{°C}/W$]

R_i Resistencia parcial. [$m^2\text{°C}/W$]

h_i, h_e Coeficiente de convección de natural interno o externo. [$W/m^2\text{°C}$]

A_i Superficie de transferencia i. [$W/m^2\text{°C}$]

L_i Longitud equivalente de pared vertical i. [m]

k_i Conductividad térmica de la pared i a T_m . [$W/m\text{°C}$]

3.3.2.4. *Calculo de coeficiente global de transferencia de calor*

El coeficiente global de transferencia de calor corresponde al recíproco de la resistencia total del sistema.

$$U = \frac{1}{R_t}$$

Ecuación 30

$$U = \frac{1}{2,1768} = 3,2971 \text{ [}W/m^2\text{°C]}$$

Donde:

U Coeficiente global de transferencia de calor. [$W/m^2\text{°C}$]

3.3.2.5. *Calculo del flujo de calor transferido al ambiente*

Una vez determinado el coeficiente global de transferencia de calor se puede calcular el calor retenido en la pared compuesta del horno. Conociendo la superficie de intercambio y la gradiente de temperaturas entre el interior de la pared y el ambiente.

$$Q_p = UA_m(T_i - T_e)$$

Ecuación 31

$$Q_p = 3,2771(0,1393)(1200 - 30) = 537,4922 \text{ W}$$

Donde:

Q_p Calor perdido hacia el ambiente. [W]

A_m Superficie media de transferencia de calor. [m^2]

T_i, T_e Temperaturas interna y externa a la pared compuesta. [°C]

3.3.2.6. *Calculo del calor transferido por radiación hacia el ambiente*

Como la pared exterior del horno irradia calor al ambiente, este también se toma en cuenta en el análisis de pérdidas de calor del equipo. No se hace lo mismo con el calor irradiado por la resistencia porque se estimará que el calor que es aprovechado por la masa a calcinar y las perdidas por conducción/convección y radiación corresponden a la potencia calórica que suministra la resistencia.

$$Q_r = \epsilon \sigma A_r (T_i^4 - T_f^4) \quad \text{Ecuación 32}$$

$$Q_r = (5,67 \times 10^{-8})(0,9312)(0,885)(49,75^4 - 30,00^4)$$

$$= 0.4044 \text{ W}$$

Donde:

- Q_r Flujo de calor emitido por cuerpo radiante [W]
- T_i, T_f Temperatura de la superficie radiante y la del objeto que recibe el calor. [K]
- ϵ Emisividad de cuerpo gris. [NA]
- σ Constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{C}^4$)
- A_r Área de cuerpo radiante [m^2]

3.3.2.7. *Calculo del perfil de temperaturas en la pared compuesta*

Con el flujo de calor retenido en las paredes se puede calcular una a una, las temperaturas entre los nodos de unión de los materiales que componen la pared del horno. Para ello usamos la ecuación 33.

$$T_{i+1} = T_i - Q_p \sum_{j=1}^{i+1} R_j \quad \text{Ecuación 33}$$

$$T_1 = 1200 - 721,8047(0,1873) = 1100^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 1200 - 721,8047(0,1873 + 0,5842) = 785^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 1200 - 721,8047(0,1873 + 0,5842 + 0,0004) = 785^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 1200 - 721,8047(0,1873 + 0,5842 + 0,0004 + 1,3678)$$

$$= 49,77^\circ\text{C}$$

$$T_5 = 1200 - 721,8047(0,1873 + 0,5842 + 0,0004 + 1,3678$$

$$+ 0,0003) = 49,61^\circ\text{C}$$

$$T_5 = 1200 - 721,8047(0,1873 + 0,5842 + 0,0004 + 1,3678 + 0,0003 + 0,0368) = 30^\circ\text{C}$$

Donde:

T_{i+1}, T_i Temperatura de la capa i+1 e i. [$^\circ\text{C}$]

R_j Resistencia de la capa j. [m^2]

3.3.2.8. *Calculo de la potencia térmica requerida para calentar el material*

Se define como la cantidad de calor necesario para aumentar la temperatura del material a la temperatura de combustión o calcinación en el caso de materia orgánica y al punto de fusión si se trata de metales.

$$Q_{rt} = \frac{m_c C p_c (T_i - T_0)}{t_{op}} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$Q_{rt} = \frac{1,2(1,8720)(1200 - 25)}{3600} = 733,2000 \text{ W}$$

Donde:

m_c Masa de material a calcinar. [kg]

$C p_c$ Capacidad calorífica del material. [$\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$]

T_i, T_0 Temperatura de la cámara de calcinación y temperatura de alimentación del material. [$^\circ\text{C}$]

t_{op} Tiempo de operación de calcinación. [s]

3.3.2.9. *Calculo de la potencia total requerida para el horno*

El flujo de calor que debe proporcionar la resistencia térmica es igual a la suma del calor requerido para calcinar el material y las pérdidas del equipo hacia el ambiente.

$$Q_{pt} = Q_{rt} + (Q_p + Q_r) \quad \text{Ecuación 35}$$

$$Q_{pt} = 733,2000 + (721,8047 + 184,3125) = 1639,3172 \text{ W}$$

3.3.2.10. Interpolación de propiedades térmicas del aire (convección natural)

Para automatizar las tareas de interpolación y al no existir una función intrínseca en Excel para ello. Recurrimos a programar una pequeña función que realiza esta tarea. La misma se muestra en la Figura 10-3, está escrita en lenguaje Visual BASIC y forma parte del archivo DISEÑO.xlsm.

Función LinInterp (Macro Excel)	
1	Function LinInterp(x, xval, yval)
2	' x: Valor a interpolar
3	'xval: Rango de valores de x donde buscar
4	'yval: Rango de valores de y donde buscar
5	
6	'Procedimiento de búsqueda de límites inferior y superior de interpolación
7	x1 = Application.WorksheetFunction.Index(xval, Application.WorksheetFunction.Match(x,
8	xval, 1))
9	x2 = Application.WorksheetFunction.Index(xval, Application.WorksheetFunction.Match(x,
10	xval, 1) + 1)
11	y1 = Application.WorksheetFunction.Index(yval, Application.WorksheetFunction.Match(x,
12	xval, 1))
13	y2 = Application.WorksheetFunction.Index(yval, Application.WorksheetFunction.Match(x,
14	xval, 1) + 1)
15	
16	'Cálculo de valor interpolado
17	LinInterp = y1 + (y2 - y1) * ((x - x1) / (x2 - x1))
18	
19	End Function
20	
21	
22	
23	

Figura 10-3 Código de función para Excel 2016, para interpolación de propiedades térmicas del aire a partir de datos tabulados.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.3.3. Cálculos de dimensionamiento del sistema de control de temperatura

3.3.3.1. Balance de energía dinámico

Para poder obtener el modelo de planta que represente el comportamiento del horno. Se requiere del planteamiento de las ecuaciones de balance necesarias. En el caso de un horno batch se requiere únicamente del balance de energía. Este balance se plantea en la ecuación 36, esta explica que el calor que proporciona la resistencia térmica (Q_r) menos el calor que se pierde al ambiente (Q_p) es igual al calor que se acumula en el horno, que al final genera un aumento de la entalpía del sistema, que puede ser observado por el aumento de temperatura (T_2).

$$\dot{Q}_r - \dot{Q}_p = \frac{dH}{dt} \quad \text{Ecuación 36}$$

$$\dot{Q}_r = \frac{V(t)^2}{R} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\dot{Q}_p = UA_s(T_2(t) - T_a(t)) \quad \text{Ecuación 38}$$

$$H = mCp\Delta T \quad \text{Ecuación 39}$$

$$\frac{V(t)^2}{R} - UA_s(T_2(t) - T_a(t)) = mCp \frac{dT_2}{dt} \quad \text{Ecuación 40}$$

3.3.3.2. Linealización de la expresión de balance de energía

Para poder aplicar el método de transformada de Laplace en la ecuación 40, es necesario linealizar los términos que no los son. En este caso el primer término de la ecuación es cuadrático y será necesario aplicar el método del polinomio de expansión de Taylor, para obtener una expresión lineal que represente satisfactoriamente este término. El resultado se observa en la ecuación 42, de la aplicación de este método.

$$f(V) = \frac{V^2}{R} \quad \text{Ecuación 41}$$

$$f(V) \approx \frac{\bar{V}^2}{R} + \frac{2V}{R}(V(t) - \bar{V}) = \frac{\bar{V}^2}{R} + \frac{2V}{R}\mathbb{V}(t) \quad \text{Ecuación 42}$$

3.3.3.3. Ajuste de modelo a variables de desviación

Un segundo arreglo de las ecuaciones diferenciales es necesario. Este arreglo comprende, convertir las variables del proceso en variables de desviación, es decir que determinen su variación en función de un valor inicial. Para ello, restaremos de la ecuación dinámica 43, la expresión del balance de energía en estado estacionario (ecuación 44), como resultado luego de unos arreglos matemáticos la expresión en variables de desviación es la ecuación 46.

$$\left(\frac{\bar{V}^2}{R} + \frac{2V}{R}\mathbb{V}(t) \right) - UA_s(T_2(t) - T_a(t)) = mCp \frac{dT_2}{dt} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$\frac{\bar{V}^2}{R} - UA_s(\bar{T}_2 - \bar{T}_a) = 0 \quad \text{Ecuación 44}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\bar{V}^2}{R} + \frac{2V}{R}\mathbb{V}(t) \right) - \frac{\bar{V}^2}{R} - UA_s(T_2(t) - T_a(t)) + UA_s(\bar{T}_2 - \bar{T}_a) \\ = mCp \frac{dT_2}{dt} \end{aligned} \quad \text{Ecuación 45}$$

$$\frac{2V}{R}V(t) - UA_s(T_2(t) - T_a(t)) = mCp \frac{dT_2(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 46}$$

3.3.3.4. Determinación de ganancias y constante de tiempo de respuesta

El siguiente paso es arreglar la ecuación para obtener la expresión de las constantes de ganancia y tiempo de respuesta (k_1 y τ). La expresión final es la ecuación 49 y la 50 muestra las ecuaciones de las constantes.

$$\frac{2V}{R}V(t) - UA_sT_2(t) + UA_sT_a(t) = mCp \frac{dT_2(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$\frac{2V}{R}V(t) + UA_sT_a(t) = mCp \frac{dT_2(t)}{dt} + UA_sT_2(t) \quad \text{Ecuación 48}$$

$$\frac{2V}{UA_sR}V(t) + T_a(t) = \frac{mCp}{UA_s} \frac{dT_2(t)}{dt} + T_2(t) \quad \text{Ecuación 49}$$

$$k_1 = \frac{2V}{UA_sR}; k_2 = 1; \tau = \frac{mCp}{UA_s} \quad \text{Ecuación 50}$$

$$k_1V(t) + k_2T_a(t) = \tau \frac{dT_2(t)}{dt} + T_2(t) \quad \text{Ecuación 51}$$

3.3.3.5. Aplicación de transformadas de Laplace

Es hora de aplicar las transformadas de Laplace para pasar la expresión de dominio de tiempo al dominio de la frecuencia. Lo que permite integrar la expresión usando procedimientos meramente algebraicos. La expresión final es la ecuación 54.

$$k_1V(s) + k_2T_a(s) = \tau sT_2(s) + T_2(s) \quad \text{Ecuación 52}$$

$$k_1V(s) + k_2T_a(s) = T_2(s) (\tau s + 1) \quad \text{Ecuación 53}$$

$$T_2(s) = \frac{k_1}{(\tau s + 1)}V(s) + \frac{k_2}{(\tau s + 1)}T_a(s) \quad \text{Ecuación 54}$$

3.3.3.6. Determinación de funciones de transferencia del modelo

El paso final es obtener las funciones de transferencia en razón del modelo de la planta y su perturbación, siendo $G(s)$ y $G_1(s)$, respectivamente.

$$G(s) = \frac{T_2(s)}{V(s)} = \frac{k_1}{(\tau s + 1)} \quad \text{Ecuación 55}$$

$$\frac{T_2(s)}{V(s)} = \frac{k_1}{\tau s + 1} = \frac{1,596 \times 10^4}{9,927 \times 10^4 s + 1}$$

$$G_1(s) = \frac{T_2(s)}{T_a(s)} = \frac{k_2}{(\tau s + 1)} \quad \text{Ecuación 56}$$

3.3.3.7. Diagrama de bloques del modelo

El diagrama del lazo de control PID, se observa en la Figura 11-3. En él se observa que tanto la perturbación como el modelo de planta tienen una función de transferencia. Se agregó una tercera función de transferencia que representa la función del controlador PID de temperatura con salida de voltaje.

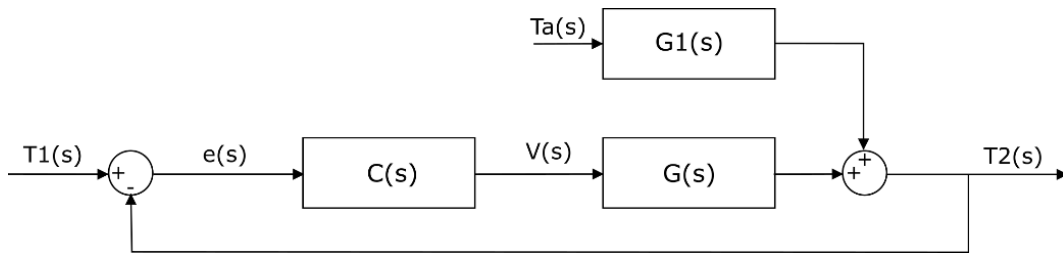


Figura 11-3 Diagrama del proceso de control para el horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.3.3.8. Sintonización de controlador PID en MATLAB

Luego este diagrama lo pasamos a un modelo de Simulink, donde se le agrega un bloque de saturación para delimitar la salida del controlador al voltaje de trabajo del equipo que es 220V. Se programa una entrada escalón unitario con la asignación del setpoint de temperatura en 1200K. La temperatura ambiente se establece en 298K.

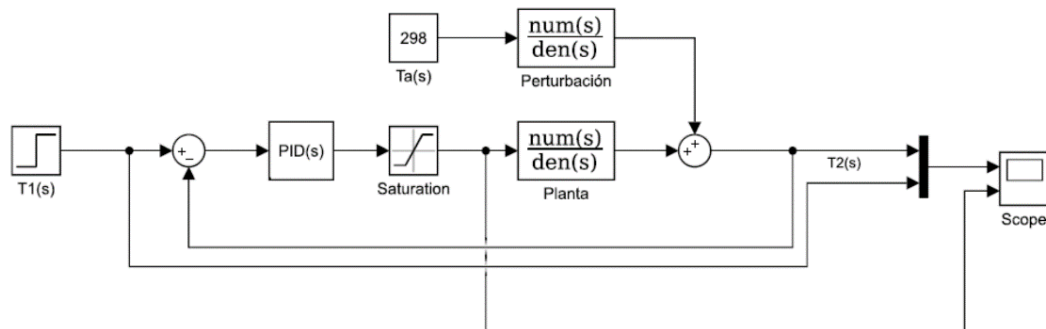


Figura 12-3 Diagrama de bloques de simulink del proceso del horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

Para calcular la ganancia y la constante de tiempo de respuesta se usa un script de Matlab, en este mismo código se plantea las funciones de transferencia. Que luego será usada para sintonizar el controlador PID. Este código se observa en la Figura 13-3.

		Sintpid.m
1	% CALCULOS PARA SINTONIZACIÓN DE CONTROLADOR PID	
2	% PARÁMETROS DE SISTEMA	
3		
4	clear, clc;	
5		
6	V = 220; % Voltaje de trabajo [V]	
7	R = 16.13; % Resistencia de calefactor [ohm]	
8	As = 0.96; % Superficie de transferencia de calor [m2]	
9	U = 5.0174e-4; % Coeficiente global de transferencia de calor [W/m2 K]	
10	Cp = 854.54; % Capacidad calorífica carbón act. [J/kg K]	
11	m = 19.9402; % Masa a calentarse [kg]	
12		
13	% Cálculo de constantes	
14	k1 = (2*V)/(R*U*As); % Constante k1 [V K/ohm W]	
15	k2 = 1.000; % Constante k2 [adim]	
16	tau = (m*Cp)/(U*As); % Constante de tiempo [s]	
17		
18	% Función de transferencia	
19	num = [k1];	
20	den = [tau,1];	
21	Gs = tf(num, den);	
22		
23		

Figura 13-3 Código para el análisis de la función de transferencia del modelo de planta del horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

Luego de obtener la función de transferencia del modelo de la planta, usando el PID tuneo una herramienta de MATLAB, que permite ajustar las constantes proporcional, integral y derivativa.

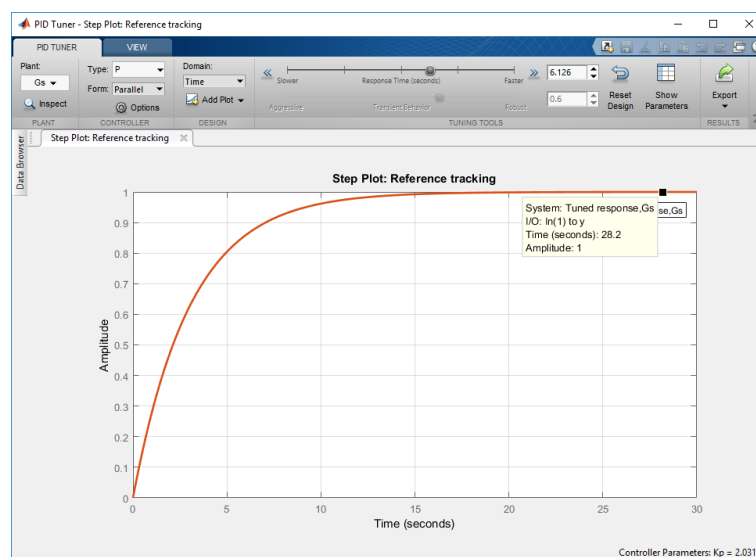


Figura 14-3 Sintonización de PID, del proceso en PID Tuner MATLAB.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

En el Grafico 3-3, se muestran los resultados del ajuste del controlador PID, para el modelo del horno planteado en la sección anterior. Estos parámetros serán ingresados en el modelo de simulan, planteado. En la Figura 14-3, se observa el resultado de la sintonización del controlador PID.

The image shows a software window titled "Controller Parameters" with a close button (X) in the top right corner. It contains two tables. The first table, titled "Tuned", lists PID parameters: Kp (2.0307), Ki (n/a), Kd (n/a), and Tf (n/a). The second table, titled "Performance and Robustness", lists system response metrics: Rise time (6.73 seconds), Settling time (12 seconds), Overshoot (0 %), Peak (1), Gain margin (Inf dB @ NaN rad/s), Phase margin (90 deg @ 0.326 rad/s), and Closed-loop stability (Stable).

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	2.0307
Ki	n/a
Kd	n/a
Tf	n/a

Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	6.73 seconds
Settling time	12 seconds
Overshoot	0 %
Peak	1
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	90 deg @ 0.326 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Figura 15-3 Resultado de los parámetros de ajuste de controlador PID.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.3.4. Esquema final del equipo

En la Figura 15-3, se muestra el esquema final del horno con sus dos secciones: la que contiene al horno y la parte electrónica. Estos planos fueron entregados a técnicos mecánicos quienes procedieron con su construcción, previamente verificaron la congruencia mecánica del diseño.

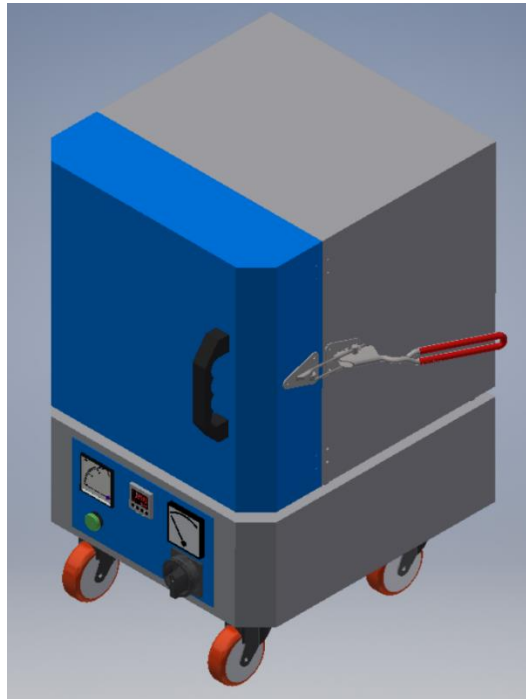


Figura 16-3 Estructura general propuesta para el equipo.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

El resto de información se encuentra en los anexos de este trabajo, diagramas eléctricos, planos de perspectiva e instrucciones generales vienen dadas en el manual del equipo.

3.3.5. Procedimientos de operación

Los procedimientos que se detallan en el manual de operación detallan algunos procedimientos y medidas de seguridad, estos se describen brevemente en la

Tabla 29-3 Procedimientos presentes en el manual de operación del equipo.

PROCEDIMIENTO	MANUAL
Encendido y apagado del equipo	Manual de operación
Carbonización de material orgánico	Manual de operación
Fundición de metales de bajo punto de fusión	Manual de operación
Configuración de sistema de control	Manual de operación
Mejorar carbonización	Manual de operación
Verificación de conexión eléctrica	Manual de mantenimiento
Verificación de estado de aislante interno	Manual de mantenimiento
Recomendaciones de seguridad	Manual de operación

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.3.6. Datos Experimentales

3.3.6.1. Datos de preparación de muestras para obtener carbón activado

Tabla 30-3 Datos experimentales de preparación de muestras.

Prueba	Muestra (g)	TR (h)	Impureza	Prueba	Muestra (g)		TR (h)
Prueba 1	200	4	5	550	65,23	10,71	32,62
	200	8	10	550	68,15	10,27	34,09
	200	16	15	550	67,49	9,86	33,79
	200	32	20	550	63,49	9,52	31,74
Prueba 2	200	4	5	600	63,71	10,34	31,86
	200	8	10	600	61,15	10,08	30,58
	200	16	15	600	60,89	9,47	30,44
	200	32	20	600	62,67	10,12	31,34
Prueba 3	200	4	5	650	58,74	8,91	29,37
	200	8	10	650	56,23	8,37	28,12
	200	16	15	650	57,81	8,65	28,91
	200	32	20	650	55,42	8,22	27,71
Prueba 4	200	4	5	700	47,81	7,69	23,91
	200	8	10	700	45,16	7,13	22,58
	200	16	15	700	48,92	7,09	24,46
	200	32	20	700	44,24	6,60	22,12

TOTAL	3200		927,19	
--------------	------	--	--------	--

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.3.6.2. Determinación de carbono fijo

Tabla 31-3 Datos experimentales de la determinación de carbono fijo

Muestra	Humedad (%)	Material Volátil (%)	Cenizas (%)	Carbono Fijo (%)
Carbono Activado	9,56	11,12	8,61	70,71

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.3.6.3. Determinación de dureza

Tabla 32-3 Datos experimentales de la determinación de dureza

Muestra	Masa muestra inicial (g)	Masa muestra retenida (g)	% Dureza	Promedio (%)
A ₁	3,70	3,35	90,54	90,45
A ₂	3,70	3,28	91,35	

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.3.6.4. Determinación de cenizas totales

Tabla 33-3 Datos experimentales de la determinación de cenizas totales

Muestra	Masa muestra Base seca (g)	Masa crisol Con cenizas (g)	Masa crisol vacío (g)	% Cenizas	Promedio
A ₁	34,205	36,445	33,205	9,47	8,61
A ₂	41,202	43,392	40,202	7,74	

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.3.6.5. *Determinación de humedad*

Tabla 34-3 Datos experimentales de la determinación de humedad

Muestra	Xileno (mL)	Volumen agua recogida (g)	Masa frasco Vacío (g)	Masa frasco con muestra (g)	Masa frasco con muestra (g)	Humedad (%)	promedio
A ₁	100	2.50	131.028	134.728	108.156	9.408	9.56
A ₂	100	2.38	136.022	139.722	115.217	9.71	

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.3.6.6. *Determinación de índice de yodo*

Tabla 35-3 Datos experimentales de la determinación del índice de yodo

Muestra	Masa C.A (g)	[Na ₂ S ₂ O ₃] (N)	C.I I ₂ (N)	Volumen Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)	C.F I ₂ (N)	X/M (mg/g)	fc	Índice de Yodo	promedio
A ₁	3,70	0,100	0,908	7,1	0,0284	286,957	0,9463	271,576	274,35
A ₂	3,68	0,100	0,099	6,9	0,0276	291,526	0,9506	277,124	

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.3.6.7. *Determinación de densidad aparente*

Tabla 36-3 Datos experimentales de la determinación de densidad aparente

muestra	Masa (Carbón)	Humedad (%)	Masa carbón vibrada	Densidad (g/cm ³)	Promedio (g/cm ³)
A ₁	3,70	9,56	3,65	0,36471	0,366 g/cm ³
A ₂	3,70	9,56	3,67	0,36665	

Realizado por: Cano O. & Coque L.

3.3.6.8. *Determinación de material volátil*

Tabla 37-3 Datos experimentales de la determinación de material volátil

muestra	Masa crisol (g)	Masa muestra (g)	Masa muestra de volatizada (g)	Masa muestra de volatizada más crisol (g)	Perdidas de peso (%)	Prom. pérdida de peso (g)	% H	% Material volátil
A ₁	40.202	3.7	2.95	43.152	20.77	20.68	9.56	11.112
A ₂	33.205	3.7	2.92	36.125	21.08			

Realizado por: Cano O. & Coque L

3.3.6.9. *Comparación de la clarificación entre tipos de carbono*

Tabla 38-3 Datos experimentales de la comparación de clarificación de tipos de carbón activado.

Muestra	Masa (Carbón) [g]	Masa (Colorante vegetal) [g]	Agua destilada [mL]	Masa (Carbón clarificado) [g]	Capacidad de decoloración [%]	Promedio
A ₁	2,00	2,00	50	7	11,1	10,1
A ₂	2,00	2,00	50	9	9,10	

Realizado por: Cano O. & Coque L

3.4. Resultados de dimensionamiento

3.4.1. Estructural

3.4.1.1. Volumen de total ocupado por el horno

Tabla 39-3 Resultados del dimensionamiento general del horno.

DIMENSIONES DISEÑO GENERAL			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Alto	L_1	685,00	[mm]
Ancho	L_2	495,52	[mm]
Profundidad	L_3	526,92	[mm]
Volumen total (m3)	V_T	0,1789	[m3]
Superficie total	A_T	1,9229	[m2]
Superficie placa Frontal/Trasera	A_PF	0,3394	[m2]
Superficie placa Lateral	A_PL	0,3609	[m2]
Superficie placa superior	A_PS	0,2611	[m2]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.1.2. División de secciones del horno

Tabla 40-3 Resultados de dimensionamiento de divisiones del horno.

DIMENSIONES DISEÑO SECCIONES			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Altura sección control y sistema eléctrico	L_4	485,82	[mm]
Altura sección horno	L_5	200,00	[mm]
Volumen sección horno	V_SH	0,1268	[m3]
Volumen sección control y sistema eléctrico	V_SC	0,0522	[m3]
Superficie sección control y sistema eléctrico	A_SC	0,9312	[m2]
Superficie sección horno	A_SH	1,5156	[m2]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.1.3. Dimensionamiento de puerta del horno

Tabla 41-3 Resultados de dimensionamiento de puerta del horno.

DIMENSIONES DISEÑO PUERTA			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Grosor de puerta de horno	L_6	145,16	[mm]
Separación entre sección control y puerta	L_7	20,00	[mm]
Altura de puerta de horno	L_8	465,82	[mm]
Profundidad sección horno	L_9	381,77	[mm]
Volumen de puerta	V_PH	0,0335	[m3]
Volumen sep. sección puerta horno	V_SPH	0,0014	[m3]
Superficie sección horno	A_SCH	0,7407	[m2]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.1.4. Dimensionamiento de cámara de calcinación.

Tabla 42-3 Resultados de dimensionamiento de cámara de calcinación.

DIMENSIONES DISEÑO CAMARA EXTERNA DE CALCINACIÓN			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Altura de cámara de calcinación	L_10	180,26	[mm]
Ancho de cámara de calcinación	L_11	184,89	[mm]
Profundidad de cámara de calcinación	L_12	351,28	[mm]
Volumen de cámara	V_CC	0,0117	[m3]
Volumen de cámara (L)	V_SPH	11,7081	[L]
Superficie interna de cámara calcinación.	A_SH	0,2899	[m2]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.1.5. Dimensionamiento de capas de aislante

Tabla 43-3 Resultados de dimensionamiento de capas de aislante.

DIMENSIONES DISEÑO CAMARA INTERNA DE CALCINACIÓN			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen de cámara de calcinación	V_CAM	0,0036	[m3]
Volumen de cámara (L)	V_SCAM	3,5634	[L]
Superficie interna aislante 1	A_A1	0,1393	[m2]
Superficie externa aislante 2	A_AE1	0,2800	[m2]
Superficie interna aislante 2	A_A2	1,5666	[m2]
Volumen de aislante 1	V_A1	0,0081	[m3]
Volumen de aislante 1 (L)	V_SA1	8,1446	[L]
Densidad aislante 1	D_A1	2000,00	[kg/m3]
Masa de aislante 1	M_A1	16,2893	[kg]
Volumen de aislante 2	V_A2	0,1643	[m3]
Volumen de aislante 2 (L)	V_SA2	164,28	[L]
Densidad de aislante 2	D_A2	16,00	[kg/m3]

Masa de aislante 2	M_A2	2,63	[kg]
--------------------	------	------	------

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.2. Térmico

3.4.2.1. Parámetros de diseño térmico general

Tabla 44-3 Parámetros de diseño térmico general.

PARAMETROS DE DISEÑO GENERAL			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Temperatura cámara	T _i	1200,00	[°C]
Temperatura pared de acero 3	T _f	30,00	[°C]
Material aislante 1		Ladrillo ref. pesado	
Material aislante 2		Lana de vidrio lig.	
Material pared 1 (metal)		Acero al carbono 1.5%	
Material pared 1 (metal)		Acero al carbono 1.5%	
Conductividad térmica aislante 1	kC ₁	0,43	[W/m°C]
Conductividad térmica aislante 2	kC ₃	0,07	[W/m°C]
Conductividad térmica pared 1	kC ₂	36,00	[W/m°C]
Conductividad térmica pared 2	kC ₄	36,00	[W/m°C]
Espesor de pared 1	L ₁₄	2,00	[mm]
Espesor de pared 2	L ₁₆	1,50	[mm]
Material a calentar		Cascara de coco	
Calor específico material a calentar	Cp _m	2,6	[kJ/kg°C]
Temperatura ambiente	T _a	25,15	[°C]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.2.2. Cálculo del coeficiente de convección natural

Tabla 45-3 Resultados de cálculo de coeficiente de convección natural.

COEFICIENTES DE CONVECCIÓN			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
SECCION INTERNA			
Variación temperatura ajuste	dT _i	200	[°C]
Temperatura de ref.	T _{ri}	1100	[°C]
Coficiente de expansión volumétrica	β _i	7,283E-04	[K ⁻¹]
Longitud característica	L _i	180,26	[mm]
Viscosidad cinemática	v _i	1,961E-04	[m ² /s]
Conductividad térmica	kA _i	8,247E-02	[W/m°C]
Numero de Grashof	N _{gri}	5,553E+08	[SN]
Numero de Prandtl	N _{pri}	0,7165	[SN]
Coficiente A	ai	0,5900	[SN]
Coficiente M	mi	0,2500	[SN]
Coficiente de convección interno	h_i	38,12306	[W/m²°C]

SECCION EXTERNA			
Variación temperatura ajuste	dT_f	200	[°C]
Temperatura de ref.	T_rf	125,15	[°C]
Coefficiente de expansión volumétrica	β_f	2,512E-03	[K ⁻¹]
Longitud característica	Lf	485,82	[mm]
Viscosidad cinemática	v_f	2,577E-05	[m ² /s]
Conductividad térmica	kA_f	3,270E-02	[W/m°C]
Numero de Grashof	N_grf	1,572E+13	[SN]
Numero de Prandtl	N_prf	0,7065	[SN]
Coefficiente A	af	0,1300	[SN]
Coefficiente M	mf	0,3333	[SN]
Coefficiente de convección externo	h_f	195,2130	[W/m ² °C]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.2.3. *Calculo de resistencias térmicas*

Tabla 46-3 Resultado de cálculo de resistencia térmica total.

RESISTENCIA TERMICA			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Resistencia por convección interna	Rcv_1	0,1883	[°C m ² /W]
Resistencia por conducción Aislante 1	Rcd_1	0,5842	[°C m ² /W]
Resistencia por conducción Pared 1	Rcd_2	0,0004	[°C m ² /W]
Resistencia por conducción Aislante 2	Rcd_3	1,3678	[°C m ² /W]
Resistencia por conducción Pared 2	Rcd_4	0,0003	[°C m ² /W]
Resistencia por convección externa	Rcv_2	0,0368	[°C m ² /W]
Resistencia total sistema	R_t	2,1777	[°C /W]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.2.4. *Calculo del coeficiente global de transferencia de calor*

Tabla 47-3 Resultado de cálculo de coeficiente global de transferencia de calor.

COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Coefficiente global. Trans. Calor	U_t	3,2956	[W/°C m ²]
Calor transferido hacia el ambiente	Q_pcc	537,2563	[W]
Calor transferido por radiación	Q_r	0,4044	[W]
Calor transferido por radiación resistencia	Q_p	537,6607	[W]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.2.5. *Calculo de perfil de temperaturas*

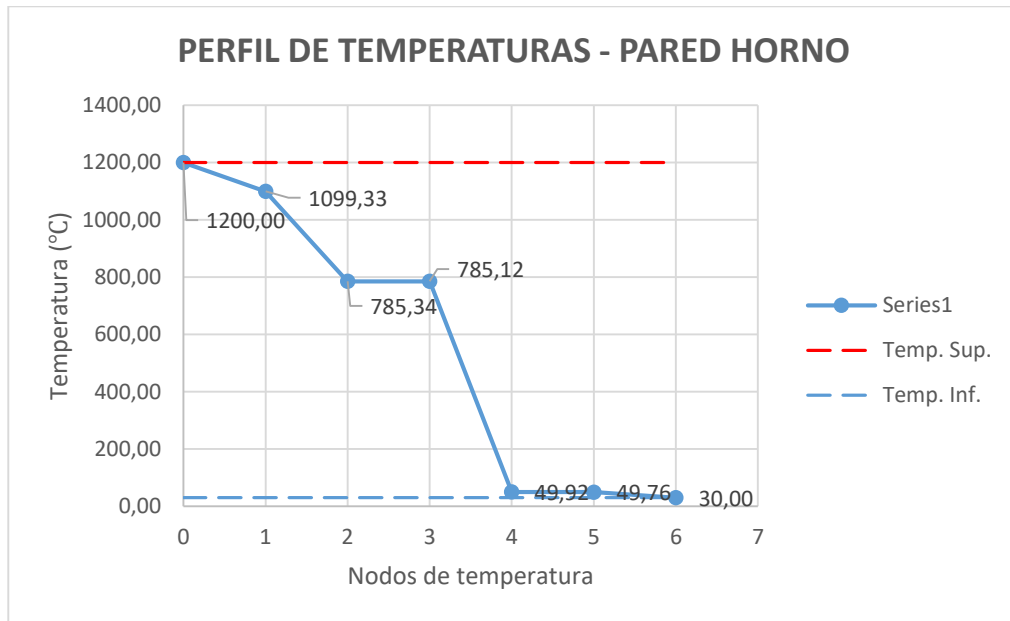


Gráfico 3-3 Resultado del perfil de temperatura teórico de la pared compuesta del horno.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

Tabla 48-3 Datos de perfil de temperatura y espesor de aislantes

PERFIL DE TEMPERATURAS Y ESPESOR DE AISLANTE			
Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Temperatura pared izq. aislante 1	T_1	1098,86	[°C]
Temperatura pared izq. acero 1	T_2	785,00	[°C]
Temperatura pared izq. aislante 2	T_3	784,79	[°C]
Temperatura pared izq. acero 2	T_4	49,91	[°C]
Temperatura pared ext.	T_5	49,75	[°C]
Temperatura aire ext.	T_6	30,00	[°C]
Espesor de aislante 1	L_13	35,00	[mm]
Espesor de aislante 2	L_15	150,00	[mm]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.2.6. *Calculo de potencia térmica requerida*

Tabla 49-3 Resultado de cálculo de potencia térmica requerida

POTENCIA TÉRMICA REQUERIDA			
Masa de material	mc_1	1,2	[kg]
Capacidad calorífica	Cpmc_1	1,8720	[kJ/kg K]
Tiempo de operativo diseño	t_op	3600	[s]
Potencia térmica requerida material	Pt_r	733,2000	[W]
Potencia de diseño (+100%)	Pt_d	2910,0095	[W]
Rendimiento térmico	e_t	75,20	[%]

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.4.3. Sistema de control

3.4.3.1. Función de transferencia de la planta

$$\frac{T_2(s)}{V(s)} = \frac{k_1}{\tau s + 1} = \frac{1,596 \times 10^4}{9,927 \times 10^4 s + 1}$$

Ecuación 57

3.4.3.2. Respuesta del sistema de control

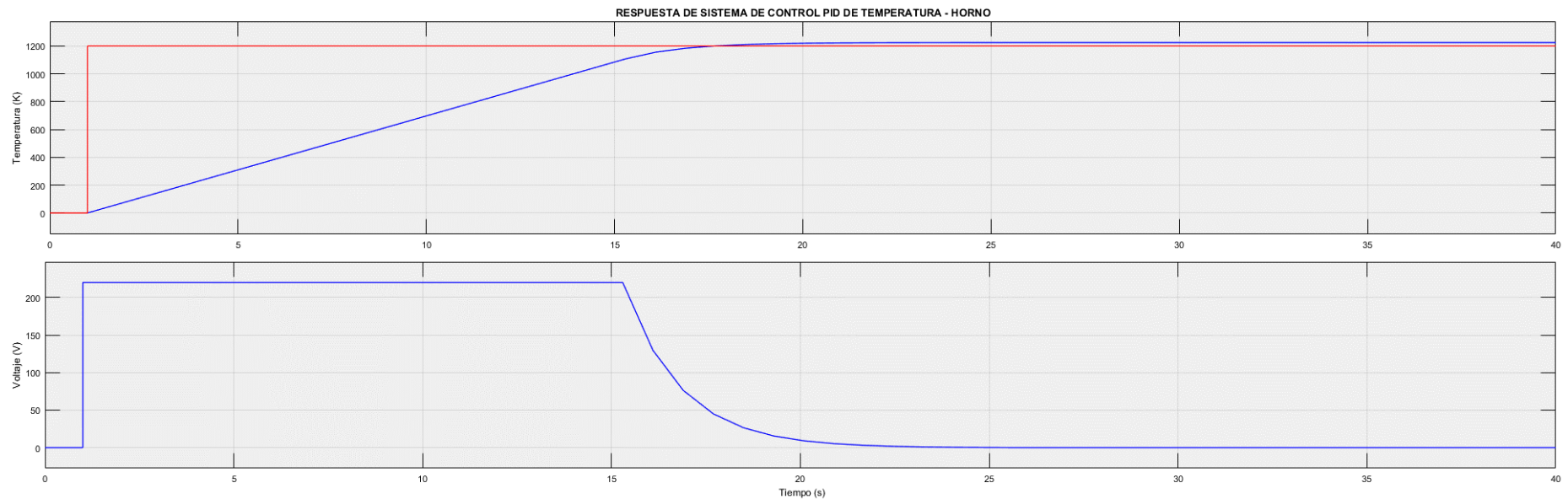


Gráfico 4-3 Respuesta de control PID de temperatura del horno, punto de consigna: 1473 K.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.5. Análisis de resultados

3.5.1. Dimensionamiento estructural

Los resultados muestran que las dimensiones finales del equipo serán: 0,6850; 0,4955 y 0,5269 m. Con un volumen total ocupado con el equipo $0,1789 \text{ m}^3$ y una superficie total de $1,9229 \text{ m}^2$. Estos datos permiten conocer al usuario las características del equipo que pueden ayudar a instalarlo en una ubicación idónea. Luego se divide el volumen total del equipo en dos secciones que contienen: el sistema del horno y el sistema eléctrico y de control, las alturas de las secciones son 0,4858 y 0,2000 m respectivamente. Estas áreas tienen un volumen total igual a $0,1268 \text{ m}^3$ para el horno y $0,0522 \text{ m}^3$ para la sección de control.

El siguiente paso es el dimensionamiento de la compuerta y la cámara de calcinación o fundición del horno. Luego del análisis el diseño de la puerta arroja los siguientes resultados: El espesor de la puerta es de 0,1451 m, y la altura de esta es de 0,4658 m, siendo el ancho el mismo que la cámara del horno. Esto deja una longitud de 0,3817 metros como longitud de la profundidad del volumen donde se empotrará la cámara de combustión como se observa en la Figura 5-3.

El dimensionamiento de la cámara de calcinación requiere de un análisis térmico y estructural a la par. Porque de la temperatura de trabajo y el ajuste de la temperatura superficial externa de la sección del horno dependen valores estructurales como el espesor de las paredes de la cámara o el aislante que reducirá las pérdidas de calor. En esta parte solo presentaremos los resultados de ambos análisis como valores propios de un estudio estructural. Los resultados del análisis térmico se presentan en la sección correspondiente a ello.

Para facilitar el agrupamiento de las variables sujetas a cálculo, dividir la cámara de calcinación en dos partes: la interna que comprende el espacio vacío interior, la capa de aislante interno hasta la pared interna de la cámara de calcinación. El resto corresponde a la cámara interna de calcinación (de los pares hacia fuera). Los resultados son los siguientes para la cámara de calcinación externa: 0,1802 m de altura, 0,1848 m de ancho y 0,3512 m de profundidad. Con un volumen de $0,0117 \text{ m}^3$ equivalente a 11,70 Litros. La superficie de este cubo se calcula en $0,2899 \text{ m}^2$. Para la cámara interna se requiere de los resultados del análisis térmico que determinan el espesor de aislantes necesarios. Los resultados finales son los siguiente: $0,0036 \text{ m}^3$ de volumen (3,5634 L), con una superficie interna de $0,1393 \text{ m}^2$, 0,035 m de espesor de aislante 1 (ladrillo refractario), volumen de aislante de $0,0081 \text{ m}^3$ que equivale a un peso de 16,2893 kg de ladrillo refractario. El aislante 2 (lana de vidrio) ocupa un volumen externo de $0,1643 \text{ m}^3$ (164,28 L) que equivale a un peso de 16 kg de este aislante.

3.5.2. Dimensionamiento térmico

Lo primero que hicimos es establecer los parámetros generales del diseño, una vez determinada la composición de la pared del horno, y establecido que tipos de transferencia de calor se van a tomar en cuenta. Se plantea los valores mostrados en la Figura 8-3. En la que se toman en cuenta las temperaturas de diseño térmico tanto la interna (operativa T_i) y la externa (T_f) con valores de 1200°C (1473 K) y 30°C (303 K). Lo siguiente es plantear los aislantes a usar. El aislante externo ya fue determinado por el método ordinal corregido de criterios ponderados, siendo el tipo fibroso el que cumple con todos los criterios de diseño. A partir, de aquel resultado se selecciona la lana de vidrio como aislante externo. El interno indiscutiblemente debe ser un material que contenga sílice, por eso no se puso en discusión en la fase de diseño conceptual, escogiendo el ladrillo refractario pesado como aislante interno. El material de construcción es acero al carbón al 1.5%, un material resistente a los choques térmicos, con un costo razonable.

Una vez establecidos los materiales que conformaran las paredes, lo que resta es buscar en bibliografía la mayor cantidad de propiedades térmicas que se encuentren sobre ellos. En nuestro trabajo esto datos se encuentran en la hoja de cálculo DATOS, del archivo de DISEÑO.xlsm adjuntada en el CD de nuestro trabajo. Los valores finales según el material de los coeficientes de conducción y espesores del acero se muestran en la Tabla 35-3, en la parte central. Otros datos de interés son el material a calentar o calcinar con sus respectivas propiedades térmicas.

Lo siguiente es calcular los coeficientes de convección tanto del aire contenido en la cámara de calcinación y el que se encuentra en el ambiente. Como se muestra en la Tabla 36-3, los coeficientes de transferencia de calor por convección interno y externo (así se llamarán de ahora en adelante), se deben calcular a las temperaturas correspondientes a las que se encuentra el aire en esas dos dependencias. Siendo estas las temperaturas de diseño de 1473 K y 303 K . Con ello se obtiene las propiedades como la viscosidad dinámica o cinemática, el coeficiente de expansión volumétrica, el número de Prandtl, la conductividad térmica, etc. Para ello, se usa la función programada para Excel que se muestra en la Figura 10-3, que corresponde a una macro programada en VisualBasic 6.0.

El resultado final de los coeficientes de convección tanto interno como externo son los siguientes: $38,3175\text{ W/m}^2\text{ K}$ para la sección interna y $195,2130\text{ W/m}^2\text{ K}$ para la externa. Es resto de parámetro como el número de Grashof, los coeficientes a y m , se muestran en la Tabla 36-3.

Haciendo uso del esquema de resistencia térmicas que se observa en la Figura 8-3, y las Ecuación 23 a la 29. Se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 37-3. De estos resultados se

obtiene una resistencia total de 2,1768 K/W. Con la resistencia térmica total y la superficie de intercambio se determina el coeficiente global de transferencia de calor cuyo valor es de 3,2971 $W/m^2 K$, este a su vez permite calcular el calor perdido hacia el ambiente cuyo valor teórico es 573,4922 W. Luego usado la Ecuación 34, se calculó la potencia térmica requerida para calentar la masa de carbón activado a la temperatura de activación térmica, obteniendo un valor de 733,20 W, la potencia de térmica requerida total con un factor de seguridad de diseño del 200%, tiene un valor de 2910 W, esto nos permite escoger una resistencia total de 3kW.

Con los datos del calor trasferido por conducción y convección se elabora él es que de distribución de temperaturas en las superficies de las paredes que componen el horno. Como se observa en la Tabla 39-3, la temperatura de alta corresponde a 1200°C (1473 K) (interior del horno) y 30°C (303 K) (exterior del horno), cumpliendo con las condiciones de diseño térmico. Siendo el rendimiento térmico teórico del equipo de 75,20%.

3.5.3. Dimensionamiento del sistema de control

Para poder ajustar la temperatura en la cámara de calcinación es necesario implementar un sistema de control, por ser un equipo sencillo sin muchas tareas que controlar. Se usó un controlador PID de temperatura junto con las protecciones y adecuaciones eléctricas necesarias. En la sección de diseño del sistema de control, se detalla las ecuaciones para obtener el modelo de planta, que posteriormente se convertirá en una función de transferencia que será ajustada por la herramienta PID tuner de MATLAB. El código que permite determinar la función de transferencia usado se puede observar en la Figura 13-3, y le resultado de los parámetros de ajuste en la Figura 14-3, donde se obtiene los siguientes valores para las constantes del controlador PID: contante proporcional (kp) 2,0307, constante diferencial (kd) 0 y la constante integral (ki) 0. Por tanto, un controlador que únicamente aplica el ajuste proporcional de la variable de control es necesario para el horno, en teoría. Estos datos permiten únicamente conocer el punto de partida para la sintonización real del controlador PID.

La función de transferencia de la planta mostrada en la Ecuación 57, es el resultado dado por la evaluación del script de Matlab. La ganancia del sistema (K1) es $1,596 \times 10^4 \frac{V K}{\Omega W}$ y la constante de tiempo de respuesta es $9,927 \times 10^4 s$.

Tras el proceso de sintonización del controlador PID, se obtiene un 8,86% de overshoot de la señal de la variable controlada en relaciona al punto de control. Como se dijo antes esto solo es

el punto de partida para el proceso de sintonización del PID, será necesario un mejor ajuste una vez construido y puesto en marcha el horno.

3.5.4. Análisis físico químicos del producto (parte experimental)

Tabla 50-3 Resumen de análisis experimentales de propiedades físico químicas del carbón.

Propiedad	Resultado
Humedad (%)	9,56
Material Volátil (%)	11,12
Cenizas (%)	8,61
Dureza (%)	90,45
Índice de Yodo	274,35
Densidad promedio (g/cm ³)	0,366
Capacidad de decoloración (%)	10,1

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.6. Validación del equipo



a)



b)



c)

Fotografía 2-3 Validación de proceso de obtención de carbón activado, laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias – ESPOCH. a) Activación química de carbón, b) Puesta en marcha del horno y c) Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química.

Realizado por: Cano O.& Coque L.

3.7. Tablas de análisis económico

Tabla 51-3 Presupuesto para equipos y maquinaria

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Ladrillo refractario	10,00	\$ 6,00	\$ 60,00
Acero negro (planchas)	10,00	\$ 50,00	\$ 500,00
Sistema eléctrico y electrónico con componentes	1	\$ 1000	\$ 1000,00
Construcción del horno	1	1500	\$ 1500,00
Precio total			\$ 3000,00

Realizado por: Cano O.& Coque L.

Tabla 52-3 Presupuesto para recursos humanos

ITEM	Cantidad	Valor mensual (usd)	Meses	Costo
Proponentes	2	\$ 50,00	6	\$ 600,00
Total				\$ 600,00

Realizado por: Cano O.& Coque L.

Tabla 53-3 Presupuesto para materiales de oficina

Ítem	Cantidad	Valor mensual (usd)	Monto
Alquiler computadora e internet	40 horas	\$ 1,00	\$ 40,00
Copias	500 hojas	\$ 0,02	\$ 10,00
Impresiones	500	\$ 0,20	\$ 100,00
Anillados	6	\$ 5,00	\$ 30,00
Empastado	3	\$ 15,00	\$ 45,00
Total			225,00

Realizado por: Cano O.& Coque L.

Tabla 54-3 Presupuesto para materia prima y análisis de laboratorio

Actividad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Cascaras de coco	50 unidades	\$ 0,50	\$ 25,00
Ácido fosfórico	1.litros	\$ 0,60	\$ 30,80
Hidróxido de sodio	2 gramos	\$ 1,25	\$ 12,50
Agua destilada	2 botellón	\$ 2,30	\$ 4,60
Carbón Activado comercial	1 libra	\$ 4,50	\$ 4,50
Total			\$ 77.40

Realizado por: Cano O.& Coque L.

Tabla 55-3 Presupuesto general del proyecto

Ítem	Costo	Fuente de financiamiento	
		Interna	Externa
Construcción del horno	\$ 3000,00	X	
Recursos Humanos	\$ 600,00	X	
Recurso Material de oficina	\$ 225,00	X	
Recurso Materia prima y Análisis de Laboratorio	\$ 77,40	X	
Subtotal	\$ 3902,4		
Imprevistos 10%	\$ 390,24		
Total	\$ 4292,64		

Realizado por: Cano O.& Coque L.

Tabla 56-3 Cronograma de ejecución del proyecto.

ACTIVIDADES	TIEMPO DE EJECUCIÓN																							
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Desarrollo Anteproyecto	●	●																						
Revisión general			●																					
Recopilación de información y revisión bibliográfica			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Establecer las formas de incluir las cascaras de coco en la obtención de carbón activado			●	●	●	●																		
Determinar el tiempo óptimo de reposo de las cascaras de coco ácido clorhídrico							●	●	●	●														
Ensayos del proceso óptimo, con tres concentraciones de ácido clorhídrico para la obtención de carbón activado											●	●	●	●	●									
Determinar la capacidad de absorción del carbón activado obtenido																●	●							
Análisis físico - químico del carbón activado																	●	●	●					
Revisión y corrección final de la tesis																					●	●	●	
Defensa de Tesis																								●

Realizado por: Cano O.& Coque L.

CONCLUSIONES

Por todo lo anteriormente mencionado, y discutido podemos concluir lo siguiente:

Se diseñó un horno tipo mufla eléctrica cuyas dimensiones totales del equipo fueron (0,6850x0,4955x0,5269 m) que permite carbonizar cáscara de coco con el fin de obtener carbón activado, cumpliendo con los criterios de seguridad, confiabilidad, bajo costo y facilidad de uso. Llevando el proceso hasta la etapa de implementación con la construcción y puesta en marcha del equipo, dándonos una eficiencia del 75,2%.

Se identificó las variables que intervienen en el proceso de elaboración de carbón activado. Se estableció un modelo experimental que relacione todas las variables del proceso con las características del carbón activado.

Se caracterizó el producto obtenido en base a las normas NTE INEN del carbón activado 1990. Obteniendo resultados satisfactorios que denotan la calidad del carbón activado obtenido a partir de la cáscara de coco.

Se comparó la eficacia en el proceso de filtrado de agua, tanto el carbón activado obtenido con nuestro equipo con un comercial dándonos como resultado un 11.1% de Clarificación. Esto hace necesario la aplicación de una etapa de pos tratamiento para retirar todos los residuos del carbón activado.

Mediante variación de las condiciones en el proceso de elaboración del carbón activado, se obtuvo que la temperatura idónea para el proceso es de 700 °C. Para las dimensiones del equipo se requiere una masa de trabajo de hasta 500g, en la parte experimental se usó una masa de 200 g como mínimo, con un rendimiento de 28,2%.

RECOMENDACIONES

Recomendamos al laboratorio de Operaciones Unitarias mejorar sus instalaciones eléctricas de 220V, fue difícil trabajar en las condiciones en las que se encuentran en este momento. De igual forma es recomendable adquirir equipos que permitan realizar análisis de forma automática, esto hubiera facilitado nuestro trabajo, permitiéndonos cumplir con el objetivo de presentar un modelo experimental que relacione los parámetros de elaboración con las características finales del producto. Al final nos centramos casi totalmente en el diseño y construcción del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

ARÁNTGUI, JAVIER. 2011. Control de procesos. [En línea] 2011. <https://goo.gl/yWF4Yp>.

ARCOSA. 2015. *Norma Técnica Sustitutiva de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos Procesados*. Quito : Editora Nacional, 2015.

ASTIGARRAGA, Julio. 1994. *Hornos industriales de resistencias*. Primera. Madrid : McGraw-Hill, 1994.

ÅSTRÖM, Karl Johan y HÄGGLUND, Tore. 2009. *Control PID avanzado*. Primera. Madrid : Pearson, 2009.

AVNER, Sidney H. y ARACAMA, Leonardo Larios. 1988. *Introducción a la metalurgia física*. Segunda. s.l. : McGraw-Hill, 1988.

CARRILLO, ALÍ. 2011.. *Sistemas Automáticos de Control fundamentos básicos de análisis y modelado*. s.l. : 978-980-6792-12-8, 2011.

CENGEL, Yanus y GHAJAR, Afshin. 2007. *Transferencia de calor y masa*. Mexico : Litrografica Ingramex, 2007.

INEN, NTE. 2013. (1986) *Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Determinación de la densidad aparente*. Quito : INEN, 2013.

—. **2013.** (1987) *Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Determinación de las cenizas totales*. Quito : INEN, 2013.

—. **2013.** (1988) *Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Determinación del número de yodo*. Quito : INEN, 2013.

INEN, NTE. 2013. (1989) *Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Determinación de la dureza*. Quito : INEN, 2013.

—. **1995.** (1995:95) *Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Requisitos*. Quito : INEN, 1995.

INEN, NTE;. 2013. (1985) *Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Determinación del contenido de humedad. Método de la extracción del xileno*. 2013.

- LAWSON, B. 2006.** *How designers think: the design process demystified*. Primera. s.l. : Routledge, 2006.
- LIZARDO, M. 2008.** *Programa nacional de frutas de Ecuador*. Quito : Ministerio de Agricultura y ganadería, 2008.
- LUNA, Donaciano, et al. 2007.** *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco*. Riobamba : s.n., 2007. págs. 39-48. Vol. 64.
- MATZLER, Kurt y HINTERHUBER, Hans H. 1998.** *How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment*. s.l. : Technovation, 1998.
- OGATA, Katsuhiko. 2003.** *Ingeniería de control moderna*. Tercera. s.l. : Pearson Educación, 2003.
- . **1998.** *Modern control engineering*. Tercera. s.l. : Pentice Hall, 1998.
- PALADINES, Antonio. 2017.** *Estudio Geotécnico*. Esmeraldas : s.n., 2017.
- PEÑA, Karen J., GIRALDO, Liliana y MORENO, J. 2012.** Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. caracterización física y química. s.l. : Revista Colombiana de Química, 2012, Vol. 41, págs. 311-323.
- PERRY, R. H. G.M MALONEY, D. W. James O. 2015.** *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. [ed.] Don W. Green. Séptima. New York : McGraw Hill, 2015.
- RODRIGUEZ, Nestor. 2012.** *Manual de proyectos*. Quito : INEN, 2012.
- SANDOVAL, FIALLO. 1987.** Primera. Quito : EPN, 1987.
- URIBE, Lina Marcela, LOPEZ, María Esperanza y GONZÁLES, Andrés Giovanni. 2013.** *Activación de carbón mineral mediante proceso físico en horno tubular horizontal y atmósfera inerte*. 2013. págs. 25-40. Vol. Primero.
- YUSO ARIZA, Alicia Martínez. 2012.** *Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano*. Primera. Villanueva de Gállego : Universidad San Jorge, 2012.

