	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 7

Código de la dependencia.

FECHA	sábado, 1 de agosto de 2020
--------------	-----------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad


UNIDAD REGIONAL	Sede Fusagasugá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ingeniería
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Electrónica

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
MUÑOZ AVILA	PABLO ANDRES	1069764286

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 7

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
PALACIOS YEPES	EDWIN
CASAS DIAZ	CESAR AUGUSTO

TÍTULO DEL DOCUMENTO
DISEÑO DE UN MÓDULO DE LECTURA Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA VARIABLE TEMPERATURA EN EL PROTOTIPO DE PLANTA EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL DIESEL RENOVABLE

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO ELECTRONICO

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
19/07/2020	112

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1.DIESEL RENOVABLE	RENEWABLE DIESEL
2.HIDROTRATAMIENTO	HYDROTREATMENT
3.TEMPERATURA	TEMPERATURE
4.MODULO	MODULE
5.PLANTA PILOTO	PILOT PLANT
6.DISEÑO	DESIGN

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS (Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Este proyecto busca generar un prototipo de medición de la variable temperatura de la planta piloto del proceso de obtención de biocombustible tipo diésel (energía renovable no convencional) mediante un proceso de producción mejorado, a partir de fuentes biológicas, específicamente los ácidos grasos animales. La investigación propuesta presentará un componente novedoso partiendo desde los ácidos grasos residuales de animales, buscando con esto reducir tiempos de reacción comparado con los procesos convencionales, reducir gastos de energía en el proceso y minimizar el consumo de hidrógeno en el hidrot ratamiento.

El desarrollo del proyecto será distribuido por etapas, Inicialmente se realizará la selección de la materia prima a partir de una revisión previa analizada en el estado de la técnica. En una segunda etapa teniendo los ácidos grasos de la grasa animal posterior a la hidrólisis, se fijan las condiciones de flujo, presión y temperatura siendo la última variable nombrada el eje central del presente proyecto-

Finalmente, se desarrollará el diseño y la simulación de un prototipo de planta experimental para la obtención de Diesel renovable, fijándose en la variable temperatura, determinando condiciones precisas, diseños, programas y diagramas implementados. Estos diseños se realizarán de forma simulada, generando así cálculos y circuitos electrónicos para el módulo de medición de la temperatura, a su vez, se realizan simulaciones complementarias que apuntan a tener un acercamiento más profundo con el proceso de hidrot ratamiento, como lo es desarrollar una simulación en el entorno de simulación de procesos químicos llamada "HYSYS ASPEN".

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:
Marque con una "X":



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 4 de 7

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 5 de 7

caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI __ NO _X_.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 6 de 7

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 7 de 7

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. TRABAJO DE GRADO FINAL PABLO ANDRES MUÑOZ .PDF	TEXTO E IMAGEN.
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
MUÑOZ AVILA PABLO ANDRES	

Código Serie Documental (Ver Tabla de Retención Documental).

DISEÑO DE UN MÓDULO DE LECTURA Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA VARIABLE TEMPERATURA EN EL PROTOTIPO DE PLANTA EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL DIESEL RENOVABLE

PABLO ANDRES MUÑOZ AVILA

Código: 162215132

Auxiliar de investigación

Universidad de Cundinamarca

Ingeniería electrónica

Facultad de ingeniería

Fusagasugá, Colombia

2020

DISEÑO DE UN MÓDULO DE LECTURA Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA VARIABLE TEMPERATURA EN EL PROTOTIPO DE PLANTA EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL DIESEL RENOVABLE

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
ingeniero(a) electrónico(a)

PABLO ANDRES MUÑOZ AVILA

Código: 162215132

Auxiliar de investigación

Director:

ING. EDWIN PALACIOS YEPES

Co-director:

ING. CESAR AUGUSTO CASAS DIAZ

Línea de investigación:

Diseño, Instrumentación y Control

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ingeniería

Programa Ingeniería electrónica

Fusagasugá, Colombia

2020

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Fusagasugá ___ de _____ del _____

*Cuando emprendas tu viaje a Ítaca
pide que el camino sea largo,
lleno de aventuras, lleno de experiencias.
No temas a los lestrigones ni a los
cíclopes ni al colérico Poseidón,
seres tales jamás hallarás en tu camino,
si tu pensar es elevado, si selecta
es la emoción que toca tu espíritu y tu
cuerpo.*

*Pide que el camino sea largo.
Que muchas sean las mañanas de verano
en que llegues -¡con qué placer y alegría!-
a puertos nunca vistos antes.
Detente en los emporios de Fenicia
y hazte con hermosas mercancías,
nácar y coral, ámbar y ébano
y toda suerte de perfumes sensuales,
cuantos más abundantes perfumes
sensuales puedas.*

*Ten siempre a Ítaca en tu mente.
Llegar allí es tu destino.
Mas no apresures nunca el viaje.
Mejor que dure muchos años
y atracar, viejo ya, en la isla,
enriquecido de cuanto ganaste en camino
sin aguantar a que Ítaca te enriquezca.*

*Ítaca te brindó tan hermoso viaje.
Sin ella no habrías emprendido el
camino.
Pero no tiene ya nada que darte.*

*Aunque la halles pobre, Ítaca no te ha
engañado.
Así, sabio como te has vuelto, con tanta
experiencia,
entenderás ya qué significan las Ítacas.
“Alejandría C. Cavafis (1863-1933)”*

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme realizar un objetivo propio, por brindarme los medios y las personas necesarias para conseguirlo.

A mi madre, por acompañarme y apoyarme incondicionalmente, para lograr desarrollarme como persona y profesional.

A mi Compañera de Vida, ingeniera química incomparable, que aparte de ser mi apoyo, fue mi guía en varios aspectos químicos para la creación y fundamentación de este proyecto.

Agradezco a los docentes, por compartir sus conocimientos, tiempo y experiencias, que servirán para el desarrollo de mi vida profesional.

Agradezco a mis compañeros de universidad, que más que compañeros formaron parte de mi vida y de experiencias inolvidables.

A los ingenieros Edwin Palacios, Cesar Augusto Casas, Juan Carlos Contreras y de más docentes que además de compartir sus conocimientos, formaron un ingeniero capaz y preparado para solucionar problemas que en su ámbito profesional conciernen, además orientaron y apoyaron la ejecución de este trabajo de grado como auxiliar de investigación.

A la Universidad de Cundinamarca por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para iniciar y terminar mi carrera universitaria.

A la Universidad de Antioquia por ser eje principal del proyecto al cual fui vinculado, destacando su labor en el área investigativa y la total disposición que mostro en el transcurso del mismo.

Resumen

Este proyecto busca generar un prototipo de medición de la variable temperatura de la planta piloto del proceso de obtención de biocombustible tipo diésel (energía renovable no convencional) mediante un proceso de producción mejorado, a partir de fuentes biológicas, específicamente los ácidos grasos animales. La grasa animal que se desecha producto del tratamiento o acondicionamiento de la explotación pecuaria constituye una materia prima de bajo costo, y con alta disponibilidad en el departamento de Cundinamarca. De acuerdo a la información reportada en la literatura científica y técnica analizada posteriormente en el perfil del clúster de patentes, se pueden obtener biocombustibles tipo diésel por reacciones de hidrotratamiento, a partir de aceites vegetales y grasas animales. La investigación propuesta presentará un componente novedoso partiendo desde los ácidos grasos residuales de animales, buscando con esto reducir tiempos de reacción comparado con los procesos convencionales, reducir gastos de energía en el proceso (debido a que se pueden tener condiciones de reacción menos drásticas que los procesos de hidrotratamiento), minimizar el consumo de hidrógeno en el hidrotratamiento. El producto obtenido se puede categorizar como un nuevo biocombustible para realizar mezclas con combustibles comerciales tipo diésel que actualmente se emplean en el país y complementarían o reemplazarían el empleo de biocombustibles como el diésel renovable (Metilésteres de ácidos grasos).

El desarrollo del proyecto será distribuido por etapas, Inicialmente se realizará la selección de la materia prima a partir de una revisión previa analizada en el estado de la técnica. En una segunda etapa teniendo los ácidos grasos de la grasa animal posterior a la hidrólisis, se fijan las condiciones de flujo, presión y temperatura siendo la última variable nombrada el eje central del presente proyecto-

Finalmente, se desarrollará el diseño y la simulación de un prototipo de planta experimental para la obtención de **Diesel** renovable, fijándose fundamentalmente en la variable temperatura, determinando condiciones precisas, diseños, programas y diagramas implementados. Estos diseños se realizaran de forma simulada, generando así cálculos y circuitos electrónicos para el módulo de medición de la temperatura, a su vez, se realizan simulaciones complementarias que apuntan a tener un acercamiento más profundo con el proceso de hidrotratamiento, como lo es desarrollar una simulación en el entorno de simulación de procesos químicos llamada "HYSYS ASPEN", este entorno permite relacionar las simulaciones y condiciones establecidas a nivel industrial del proceso.

Contenido

Resumen.....	6
1. Capítulo 1: Contexto	15
2. Capítulo 2: Objetivos	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos	19
3. Capítulo 3: Marco de referencia	20
3.1. Estado del arte.....	20
3.2. Estado de la técnica.....	24
3.2.1 Perfil de los Clúster identificados	25
3.2.1 Tendencias del proceso de producción de Diesel Renovable.	27
3.3. Antecedentes del diésel renovable	30
3.3.1. Hidrotratamiento de aceites	30
3.3.2. Procesos productivos actuales	33
3.4 Residuos potenciales no utilizados	35
3.6 Alcances del proyecto.....	38
3.7 Descripción general del proceso de producción y del reactor.....	39
4. Capítulo 4: Metodología	41
4.1.1 Primera Etapa	41
4.1.2 Segunda Etapa	42
4.1.3 Tercera Etapa	43
4.2. Recolección de información	44
4.3 Dispositivos medidores de temperatura.....	45
4.3.1 Termocuplas	46
4.3.2 SENSORES PT100	52
5. Diseño del módulo de adquisición de datos de temperatura.....	59
5.1 Procedimiento para el diseño del módulo de adquisición de datos.....	59

5.2.1 Rango de temperatura de una PT100 y linealidad	59
5.2.2 Caracterización de la PT100 y pruebas preliminares	61
5.2.3 Circuito de acondicionamiento pt100.....	63
5.2.3.1 Fase 1, Puente Wheatstone	64
5.2.3.2 Fase 2, Condicionamiento e Instrumentación.....	65
5.2.3.3 Fase 3; Conversión análogo / digital.....	67
5.2.3.4 Fase final; Visualización.	70
5.2.3.4 Manejo y comprobación de interfaz gráfica	72
5.2.4 Diseño de controlador en MatLab	73
5.2.4.1 Adquisición de datos.....	74
5.2.4.2 Simulación de condiciones reales y adición de ruido.	75
5.2.4.3 Identificación de la Función de transferencia.....	76
5.3. Simulación general del proceso de Hidrotratamiento en el entorno de simulación “ASPEN HYSYS”.....	83
6. Capítulo 6: Análisis de resultados y actividades	90
7. Conclusiones.....	97
8. Recomendaciones.....	99
9. Glosario.....	100
10. Referencias	101
Apéndice 1: Informes bimestrales.....	107
A.1.1 Informe bimestral 1.....	107
A.1.2 Informe bimestral 2.....	107
A.1.3 Informe bimestral 3.....	107
Apéndice 2: SIMULACIÓN DEL PROCESO QUÍMICO EN EL ENTORNO “HYSYS ASPEN”.....	108
Apéndice 2. CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN A PONENCIA EN EL VIII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA.	108
Apéndice 3. PONENCIA DE ARTICULO REALIZADO PARA PONENCIA EN EL ITFIP.....	109

Apéndice 4. REGISTRO DE ARTICULO EN LA WASTE MANAGEMENT 2020....	110
Apéndice 5. CONSTANCIA DE APROPIACION SOCIAL DEL CONOCIMIENTO REALIZADA EN LA GOBERNACION DE CUNDINAMARCA.....	111
Apéndice 6. DISEÑO DE MODELO 3D DE LA PLANTA EXPERIMENTAL PARA LA PRODUCCIÓN DE DIESEL RENOVABLE.....	112

Índice de figuras

Figura 1. Dinámica de patentes oficiales en la producción de Diesel Renovable.....	28
Figura 2. Participación de los países líderes patentes relacionadas con el producto. 2007-2020.	29
<i>Figura 3. Diagrama de materias</i>	37
Figura 4 Diagrama del proceso químico.....	40
Figura 5. Esquema general de la metodología.....	41
Figura 6. Hidrólisis de gasas/aceites.....	42
Figura 7. Hidrotratamiento de ácidos grasos.....	43
Figura 8. Etapas de la fase 1: Recolección de información.....	44
Figura 9. Termocupla tipo K.	48
Figura 10. termocupla tipo J.	49
Figura 11. Termocupla tipo B.	50
Figura 12. Termocupla tipo r.	51
Figura 13. termocupla tipo s.	51
Figura 14. Grafica de linealidad de las termocuplas.....	52
Figura 15. Estructura de una PT100.....	53
<i>Figura 16. PT100 de alambre enrollado.</i>	54
Figura 17. PT100 de película fina.....	54
Figura 18. PT100 de 2 hilos.	55
Figura 19. Representación resistiva de la PT100 de 2 hilos.....	55
Figura 20. Pt100 de 3 hilos.....	56
Figura 21. Conexión de la pt100 de 3 hilos.	56
Figura 22. PT100 de 4 hilos.	57
Figura 23. Rangos de medición de distintos dispositivos.	58
Figura 24. Diagrama del Proceso planteado.	59
Figura 25. Recta de linealidad del PT100.....	60
Figura 26. Circuito para la medición de temperatura.....	61
Figura 27. Caracterización de la PT100.	62
Figura 28. Esquema del puente de Wheatstone.	64
Figura 29. Puente de Wheatstone diseñado.	65
Figura 30. Sistema de Adquisición de datos.	67
Figura 31. Código implementado en arduino.....	68
Figura 32. Circuito simulado con Proteus.....	69
Figura 33. Diagrama de flujo previo a la implementación en LabVIEW.....	70
Figura 34. Estructura de bloques en LabVIEW.....	71
Figura 35. Visualización grafica de la medición.....	72

Figura 36. Grafica en tiempo real.	74
Figura 37. Simulación de perturbaciones del sistema.	76
Figura 38. Método para definir la ecuación del sistema.	77
Figura 39. Respuesta del sistema de primer orden a una entrada escalón.....	78
<i>Figura 40. Grafica de datos simulados y datos linealizados.</i>	79
Figura 41. Sintonización del controlador.	80
Figura 42 Diagrama de bloques del sistema.	81
Figura 43. Diagrama de Bloques Simulink.	82
Figura 44. Resultado del controlador.....	83
Figura 45. Entorno inicial de simulación Aspen Hysys.	84
Figura 46. Esquema de las tres principales reacciones para la conversión de trioleína a diésel renovable mediante hidrotreamiento: hidroxidoxigenación (HDO), hidroxidecarbonilación (HDCn), hidroxidecarboxilación (HDCx).....	84
Figura 47. Ingreso de componentes al simulador.....	85
Figura 48. Metodología de Carlson para selección del modelo termodinámico.	86
Figura 49. Selección del modelo termodinámico en Aspen Hysys.	87
<i>Figura 50. Gráfica de Arrhenius para la determinación de la energía de activación en la obtención de Diesel renovable a partir de grasa.</i>	87
Figura 51. Corriente de entrada de ácidos grasos.....	88
Figura 52. Proceso final simulación de producción de diésel renovable	89
Figura 53. Simulación en Aspen con las y resultados de calidad.	108
Figura 54. Ponencia del proyecto ITFIP.	109
Figura 55. Registro de Autores del artículo presentado en la "Waste management".	110
Figura 56. Presentación del Socialización Realizada.	111
Figura 57. Prototipo 3D de planta Experimental.	112

Índice de tablas

Tabla 1. Comparación técnica entre el diésel renovable y el biodiesel. -----	16
Tabla 2. Patentes encontradas. -----	25
Tabla 3. Propiedades de algunos biocombustibles. -----	31
Tabla 4. Procesos actuales de producción de diésel renovable. -----	34
Tabla 5. tipos y características de medidores de temperatura. -----	46
Tabla 6. tipos de termocuplas. -----	47
Tabla 7. Relación entre temperatura y voltaje de salida. -----	61
Tabla 8. Parámetros Establecidos. -----	66
Tabla 9. Constantes del controlador obtenidas -----	80
Tabla 10. Análisis de cumplimiento actividad 1 -----	90
Tabla 11. Análisis de cumplimiento actividad 2. -----	91
Tabla 12. Análisis de cumplimiento actividad 3. -----	92
Tabla 13. Análisis de cumplimiento actividad 4. -----	93
Tabla 14. Análisis de cumplimiento actividad 5. -----	94
Tabla 15. Análisis de cumplimiento actividad 6. -----	94
Tabla 16. Análisis de cumplimiento actividad 7. -----	96

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Resistencia para equilibrio del puente diseñado.....	64
Ecuación 2. Resistencia de ganancia.....	65
Ecuación 3. Obtención de la Resistencia de Ganancia	66
Ecuación 4. Ecuación de la función de transferencia.	77
Ecuación 5. Constantes K y tiempos.....	77
Ecuación 6. Función de transferencia del sistema.	78
Ecuación 7. Función del controlador.	81

1. Capítulo 1: Contexto

Después de casi un siglo, donde el petróleo ha predominado como fuente de energía y materia prima para la producción de otros productos químicos orgánicos, la demanda de este crudo crece proporcionalmente a las necesidades de la población. Sin embargo, en el futuro esta demanda creciente podría causar una reducción continúa de yacimientos petrolíferos, obligando a los países productores a redefinir sus estrategias energéticas y replantear la explotación excesiva del petróleo. Estas preocupaciones han originado numerosas investigaciones sobre alternativas confiables que suplan el uso de los combustibles convencionales, buscando trabajar con una materia prima renovable y abundante en el planeta, para poder disminuir la demanda energética limitada de fuentes petroquímicas.

Como alternativa a los combustibles fósiles, han surgido los biocombustibles, que son provenientes de fuentes renovables como aceites vegetales o biomasa en general. Los primeros tipos de biocombustibles que surgieron se denominaron de "primera generación", o sea, aquellos provenientes de materias comestibles como maíz, caña de azúcar, o aceites vegetales, entre otros. Al igual que los combustibles de primera generación, los combustibles de segunda generación también se producen a partir de materias primas sostenibles, pero, en este caso, estas materias primas no se usan normalmente para el consumo humano. Las materias primas no alimentarias de segunda generación incluyen cultivos leñosos y residuos agroindustriales. Por esta razón, se necesitan tecnologías de conversión avanzadas en el proceso, que es también la razón por la cual los biocombustibles de segunda generación se conocen como "biocombustibles avanzados". El lado positivo de los biocombustibles de segunda generación es la mayor eficiencia, ya que se aprovecha la mayor parte de la materia prima suministrada.

Las características finales del diésel renovable dependen de la materia prima utilizada para su procesamiento y generalmente está asociada a la disponibilidad del recurso primario existente en cada país. El costo de este biocombustible dependerá finalmente de la capacidad de la planta de producción, calidad de materia prima utilizada, tipo de alcohol y catalizador. Sin embargo, se puede partir de que el costo de producción dependerá entre el 70% y el 90% del costo de la materia prima. Técnicamente se tiene un problema, el diésel renovable que limita las mezclas con el diésel petroquímico se genera principalmente por la formación de sedimentos y nubosidades en diferentes etapas del proceso, transporte y el almacenamiento. Una alternativa para obtener un biocombustible que sea

compatible con diésel petroquímico es el hidrotratamiento para obtener diésel renovable o green diésel. Este proceso lo que busca básicamente es saturar por completo la molécula, hidrolizar los triglicéridos y finalmente eliminar el oxígeno presente en los ácidos grasos y así finalmente tener hidrocarburos que se puedan mezclar con el diésel en diferentes proporciones.

El hidrotratamiento térmico de aceites y grasas es un proceso ya industrializado y patentado por empresas como Neste Oil, UOP-Eni, Syntroleum, ConocoPhillips, Petrobras y Haldor Topsoe con plantas con capacidad hasta de 800.000 Ton/año, en donde procesan o co-procesan aceites vegetales y grasas animales (Lambert N. 2012.). Esta industria continúa creciendo a grandes pasos a nivel mundial y sobresale frente a otros biocombustibles no convencionales. En la Tabla 1. Se resumen las ventajas del diésel renovable vs biodiesel (FAME), se destaca su flexibilidad de materia prima y su semejanza de tecnología a las refinerías actuales de petróleo.

Tabla 1. Comparación técnica entre el diésel renovable y el biodiesel.

Característica	Diesel renovable	Biodiesel
Origen de la materia prima	Flexibilidad en el uso de varios aceites vegetales y grasas animales	Más restringido a materia prima específica
Adición de alimento	Hidrógeno	Metanol
Calidad del producto	Excelentes propiedades de mezcla; Ninguna restricción real	Limitaciones con propiedades de mezcla, estabilidad y frío
Subproductos	Manejado en la refinería	Glicerol
NOx, emisión	Reducido	Aumentado
Logística	Logística de la refinería	Logística separada
Mezclas	Sin limite	Limitada
Motor	Sin modificaciones	Modificar
Tamaño de la planta	Grandes unidades integradas con refinería de petróleo	Pequeñas y grandes unidades independientes

Fuente: Tomada de Bart JCJ, Palmeri N; 2010.

En el contexto colombiano, el gobierno ha impulsado el tema de la generación de los biocombustibles renovables mediante la implementación de leyes y programas

que impulsan su uso con fines energéticos y de transporte. En el documento CONPES 3510 (Conpes 3510 2008), se presentan las directrices orientadas a promover la producción de biocombustibles en Colombia, proponiendo las estrategias a seguir. Dentro de estas estrategias se pueden resaltar: “incorporar los desarrollos previstos del mercado de biocombustibles como una variable para la planeación de la infraestructura de transporte, definir un plan de investigación y desarrollo en biocombustibles, armonizar la política nacional de biocombustibles con la política nacional de seguridad alimentaria y desarrollar acciones específicas para abrir nuevos mercados y diferenciar el producto colombiano en los mercados internacionales”.

También son de suma importancia para nuestro país los planteamientos de proyección, presentados en el PLAN ENERGÉTICO NACIONAL ((PEN) 2006-2025), en el cual se plantean elementos que se usan para la orientación en la toma de decisiones relacionadas con el sector energético del país con una perspectiva a largo y mediano plazo. En primer lugar, para este proyecto se usará una materia prima de bajo costo, las grasas de origen animal provenientes de plantas de sacrificio del departamento de Cundinamarca. Estas grasas tienen alta disponibilidad comercial e industrial. Actualmente el uso que se le da a esta materia prima es principalmente en la elaboración de jabones, la cual es una aplicación de bajo valor agregado. Al hacer uso de esta materia prima se estaría afectando positivamente la rentabilidad del proceso de hidrotratamiento. Otro de los costos que se debe reducir es el de los costos de operación. El proceso que se propone involucra una etapa previa de hidrólisis de las grasas, con el fin de obtener ácidos grasos. Estos ácidos grasos se someterán a hidrotratamiento para obtener el diésel renovable.

Recientemente se realizó la evaluación económica del hidrotratamiento de metil éster de aceite de palma para producir diésel renovable. Los mayores costos del proceso correspondieron a la materia prima, costos de operación y costo del hidrógeno. Por lo tanto, si se quiere industrializar el Diesel renovable, haciendo el proceso de hidrotratamiento competitivo respecto al del diésel petroquímico se deben afectar estos tres componentes del costo. En primer lugar, para este proyecto se usará una materia prima de bajo costo, las grasas de origen animal provenientes de plantas de sacrificio del departamento de Cundinamarca. Estas grasas tienen alta disponibilidad comercial e industrial. Actualmente el uso que se le da a esta materia prima es principalmente en la elaboración de jabones, la cual es una aplicación de bajo valor agregado. Al hacer uso de esta materia prima se estaría afectando positivamente la rentabilidad del proceso de hidrotratamiento. Otro de los costos que se debe reducir es el de los costos de operación. El proceso

que se propone involucra una etapa previa de hidrólisis de las grasas, con el fin de obtener ácidos grasos. Estos ácidos grasos se someterán a hidrotreatmento para obtener el diésel renovable. El proceso que parte de los ácidos grasos requiere condiciones menos energéticas que las empleadas para las grasas originales, por lo tanto, se disminuirán los costos de operación. Asimismo, se usarán grasas animales, las cuales son principalmente saturadas. Por lo tanto, se reducirá el consumo de hidrogeno requerido para saturar los dobles enlaces de la molécula, afectando este componente del costo.

Sabiendo que estos procesos demandan una precisión alta en la medición de sus variables se hace más que necesario hacer sus respectivos diseños con cálculos rigurosos que garanticen un correcto funcionamiento, tiempo de duración en funcionamiento y demás factores que apunten a un prototipo óptimo para la planta piloto.

La instrumentación aplicada en la electrónica tiene un campo fundamental el cual busca mejorar la eficiencia, respuesta y calidad de los procesos electrónicos industriales, Destacando lo anteriormente señalado, la instrumentación constituye actualmente un campo amplio y obligatorio de estudio en las distintas ramas de la ingeniería, por tanto, se hace necesario destacar que una parte fundamental de este proyecto es la instrumentación.

Finalmente, este proyecto busca estar enlazado con la dinámica energética del país y las proyecciones a futuro, en donde se busca obtener biocombustibles de alta calidad y propuestas con un alto componente innovativo, en el que se busque ampliar la canasta de la materia prima para los biocombustibles y obtener procesos autosostenibles, íntegros y económicos. Específicamente se buscará mejorar la economía del proceso e impulsar este tipo de tecnologías que ayudan a aminorar las consecuencias del cambio climático, la dependencia que se tiene frente al petróleo y la seguridad energética para el país.

A su vez la Universidad de Cundinamarca al ser gestora de conocimientos y brindando a la comunidad ingenieros capaces de desarrollar y aplicar sus conocimientos adquiridos en procesos, como este, donde se busca generar conocimientos y nuevos canales de investigación que apunten al beneficio y total aprovechamiento de las materias primas que se generan actualmente en el territorio nacional.

2. Capítulo 2: Objetivos

2.1. Objetivo general

Diseñar un prototipo para el manejo de la temperatura en el proceso de producción de diésel renovable a partir del hidrot ratamiento de ácidos grasos derivados de residuos animales.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Estructurar y analizar del estado del estado de la técnica a partir de procesos de hidrolisis, hidrot ratamiento y dispositivos electrónicos requeridos.
- ✓ Determinar los dispositivos óptimos para el diseño del prototipo de adquisición de datos de la variable temperatura.
- ✓ Diseñar un módulo de adquisición de datos de la variable temperatura en el proceso de hidrot ratamiento.
- ✓ Analizar los resultados a partir de las pruebas de desempeño del Módulo a nivel de simulación.

3. Capítulo 3: Marco de referencia

3.1. Estado del arte

Los triglicéridos son considerados una importante fuente de energía renovable y constituyen mayoritariamente los aceites y grasas de origen vegetal y animal. El principal biocombustible derivado de los triglicéridos es el biodiesel, producido por transesterificación en presencia de un catalizador para generar glicerol como subproducto (Volonteiro E 2018; Sági D. 2017). La utilización del biodiesel como combustible en los motores de ignición por compresión ha sido una herramienta conveniente para la sustitución de derivados de petróleo a nivel mundial, sin embargo, presenta algunos inconvenientes:

- La presencia de dobles enlaces en las cadenas hidrocarbonadas le confiere al biodiesel muy baja estabilidad oxidativa. Esto, además de limitar su vida útil y causar problemas de almacenamiento, permite la generación de compuestos poliméricos, los cuales se depositan en los filtros y en las boquillas de los inyectores de los motores (Sági D. 2017; Kochetkova D.2016.).
- Posee menor contenido energético, sus propiedades a baja temperatura son limitadas y presentan una alta viscosidad (Pullen J. 2012).
- Existen implicaciones de tipo ambiental asociadas con la acumulación de glicerol crudo (Rinaldi R. 2015)

A fin de superar estas limitaciones se han planteado varias alternativas, una de ellas consiste en convertir los triglicéridos mediante hidrotreatmento, en una mezcla de parafinas e isoparafinas de punto de ebullición similar al del gasoil. Este proceso consiste en someter el aceite a alta temperatura y presión de H₂ en presencia de un catalizador adecuado (Almeida VF. 2015). Generalmente, se utiliza CoMo o NiMo, soportados sobre Al₂O₃, SiO₂ o zeolitas, debido a su alta selectividad hacia la HDO (agua Pasada) (Gousi M. 2017). Las reacciones principales que tienen lugar durante el hidrotreatmento se discuten en el marco conceptual de este proyecto.

El hidrotratamiento de aceites se ha investigado ampliamente, así se han utilizado como materia prima para la producción de diésel renovable diferentes aceites (Vásquez MC. 2017) y no comestibles. El aceite de palma constituye uno de los aceites más utilizados para la obtención de biocombustibles, debido a su alta producción, y por ende mayor disponibilidad. La producción global de aceite de palma es de aproximadamente 66.86 millones de toneladas métricas (Vásquez MC, Silva EE, Castillo EF 2017), y Colombia ocupó el cuarto lugar, con una producción de 1.63 millones de toneladas métricas en el 2017. Guzmán, et al. (Global production.2012) realizaron varios experimentos a escala de planta piloto a fin de investigar el efecto que ejercen la presión de H₂ (1.5-9 MPa) y el tiempo de flujo (0-14 días) sobre la estabilidad del catalizador (NiMo/Al₂O₃, Haldor Topsøe 217) durante el hidrotratamiento de aceite de palma crudo (CPO). El catalizador se activó mediante un procedimiento de sulfuración estándar. Todos los experimentos se llevaron a cabo a una relación molar H₂/CPO de 20:1. A 4-9 MPa de presión de H₂, el CPO se convirtió en parafinas en el rango de diesel. Sin embargo, a presiones más bajas se detectó la formación de componentes oxigenados, por causa de una ligera desactivación del catalizador y por consiguiente una pérdida gradual de la selectividad hacia la formación de los productos principales (C₁₅-C₁₈). Con esto se logra determinar que el hidroprocesamiento de CPO resultó en la producción de diésel renovable altamente parafínico con excelente índice de cetano incluso cuando se usó bajas presiones de H₂.

Además del aceite de palma crudo, se han utilizado como materia prima para la obtención de hidrocarburos biohidrogenados el aceite de palma refinado (tipo oleína de palma) (Guzman A, Torres JE. 2010), el desgomado y los ácidos grasos destilados de este aceite (Srifa A.2014). También se ha hidrotratado del aceite derivado de la almendra de la palma aceitera, conocido como aceite de palmiste, el cual es más saturado que el aceite de palma puesto que se compone mayoritariamente de ésteres de ácido láurico (Kiatkittipong W. 2013). Se analizaron en todos los casos la influencia de las condiciones de reacción sobre el rendimiento a diesel renovable, empleado catalizadores de Pd/C y NiMo/-Al₂O₃. Algunas reacciones laterales como la metanación y el craqueo tuvieron lugar en algunas ocasiones, sin embargo, a las mejores condiciones de síntesis se obtuvieron rendimientos superiores 81 %.

Los biocombustibles se han clasificado de acuerdo a las propiedades de la materia prima a partir de la cual se producen. Así, se ha establecido que los biocombustibles de tercera generación se derivan de biomasa residual, aceite de cocina residual y grasas o aceites no comestibles, proporcionando beneficios económicos y

ambientales tomando en cuenta el aprovechamiento de un material de desecho. Entre los aceites de origen vegetal no comestibles se encuentran el aceite de higuera y de jatropha, los cuales se han empleado en la síntesis de diésel renovable sin modificar o modificados mediante reacciones de transesterificación (Itthibenchapong V. 2017).

Meller, et al. realizaron el hidrotratamiento de los Metilésteres derivados del aceite de higuera, usando Pd/C como catalizador (5 %) y hexano como solvente. Se varió la temperatura y el tiempo de reacción, observándose un incremento del rendimiento a alcanos y una reducción en la producción de metil estearato con el aumento de la temperatura. El producto de reacción estuvo compuesto en un 87 % por C17 y un 9 % por C18. La presencia de un disolvente bajo condiciones supercríticas mejoró significativamente la velocidad y la selectividad del proceso. El análisis de los productos gaseosos indicó que la HDCn fue la ruta dominante para la eliminación del grupo carboxílico.

A partir del aceite de higuera y empleando 1 % del catalizador Pt/Al₂O₃/SAPO-11 se obtuvo a través de un proceso en tres etapas, hidrodeseoxigenación-hidrocrackeo-hidroisomerización, un combustible de aviación con un 2 % de compuestos aromáticos. El rendimiento fue del 78 % a 370-385 °C, 3 MPa y un tiempo de residencia de 1 h (Meller E. 2014). Los catalizadores basados en SAPO-11 se han utilizado en la hidrodeseoxigenación, hidroisomerización y aromatización de aceite de jatropha en un solo paso, tal como se describe en estudios recientes y patentes (Rabaev M. 2015). Se reportó un rendimiento del 20-40 % de combustible de aviación con un 8 vol.% de aromáticos a través del hidrotratamiento de este aceite con catalizadores de Ni-Mo y Ni-W/Al₂O₃/SAPO-11 sulfurados a 425-450 °C. Por otro lado, mediante el hidrotratamiento e hidrocrackeo del aceite de higuera con Ni₂P/SAPO-11 y Ni/SAPO-11 como catalizadores, se obtuvo un rendimiento de hasta el 91.6 % (C8-C15) con una alta proporción de isómeros, sin embargo, en este caso el contenido de aromáticos en el producto fue <1 % (Verma D. 2015).

El grupo PQI ha obtenido diésel renovable a partir del hidrotratamiento del aceite de higuera, empleando NiMo/-Al₂O₃ como catalizador (Candelaria Tejada, Lesly T., Angel V. 2003). El mejor resultado, 83 % de rendimiento, 95 % de conversión y 54.4 % y 20.9 % de selectividades hacia alcanos C17 y C18 respectivamente, se obtuvo en un sistema semi-batch a 350 °C, 9 MPa y 350 rpm por 4 h, en presencia de un 10 % de un catalizador que contenía 4,5 % de NiO y 20 % de MoO₃. Más recientemente, Orozco, et al. desarrollaron un nuevo proceso continuo para la producción selectiva de diésel renovable a partir de este mismo aceite. Como catalizador se utilizó NiMo/Al₂O₃ (Katalco 61-1T, 3,5 % de NiO y 10,5 % de MoO₃) activado mediante un proceso de sulfuración con azufre elemental. El hidrotratamiento se realizó en un

sistema de flujo con uno o dos reactores de lecho fijo, dispuestos en serie en este último caso. El sistema se presurizó con hidrógeno a 3.5 MPa y se utilizaron diferentes condiciones de hidrotratamiento, temperatura: 300, 350 y 370 °C, relación molar H₂/aceite de 35:1, 70:1 y 105:1 y tiempo de residencia 66 y 132 min. Cuando se usó un único lecho empacado, se obtuvieron fracciones líquidas con una pureza del 65-78 % (C₉-C₂₄) y rendimientos el rango 57-66 %. De acuerdo con los resultados, la temperatura fue la única variable estadísticamente significativa. Los experimentos empleando dos lechos fijos empacados en serie, permitieron acondicionar el aceite de higuera previo al hidrotratamiento, es decir, en el primer lecho se llevó a cabo la deshidroxilación a 270 °C por 90 min, y en el segundo se produjo la desoxigenación a 350 °C durante 66 min. Se varió la relación H₂/aceite, obteniéndose en todos los casos rendimientos superiores al 78 % y purezas de 95-96 %. A una relación H₂/aceite alto se favoreció la producción de C₁₈. Las propiedades fisicoquímicas del diésel renovable producido a las mejores condiciones de reacción cumplieron con la mayoría de las especificaciones de la norma europea EN 590, excepto las propiedades a baja temperatura. La mezcla del diésel renovable (20 % en volumen) con diésel petroquímico cumplió con las especificaciones CFPP para el diésel grado B.

Si bien los trabajos en los cuales se utiliza aceite de higuera o jatropha como fuentes no comestibles para la producción de diésel renovables son escasos, son aún más escasos los trabajos relacionados con la desoxigenación de desechos grasos animales. Un único trabajo ha sido reportado por Kaewmeesri, et al. (Kaewmeesri R. 2015) quienes analizaron el efecto que ejerce el contenido de agua (0 o 4 %) y de ácidos grasos libres sobre la conversión, el rendimiento y la distribución líquido/gas del producto obtenido a partir del hidrotratamiento de los desechos grasos de pollo, empleando Ni/-Al₂O₃ como catalizador. La reacción se llevó a cabo en un reactor de lecho empacado, luego de la reducción del catalizador a 330 °C, a una relación volumétrica de H₂/grasas de 1000 y presión de 5 MPa. La velocidad espacial se varió entre 0.5 y 2 h⁻¹ y los productos líquidos y gaseosos fueron colectados cada 3 h para su caracterización. La adición de agua no afectó significativamente la conversión, mientras que el rendimiento aumentó considerablemente con la presencia de agua y ácidos grasos libres. La presencia de agua aceleró la descomposición de los triglicéridos para la producción de ácidos grasos y propano. La fracción gaseosa obtenida estuvo compuesta mayoritariamente por metano, y en menor proporción por etano. Considerando que el propano no estuvo presente y que éste se produce a partir de la hidrogenólisis de los triglicéridos, se concluyó que ocurre el craqueo de esta especie para la producción de etileno. La cantidad de C₁₇ en el producto líquido aumentó, lo que concuerda con un incremento en la contribución HDC_n/HDC_x.

Basados en esta potencialidad y considerando que a través de esta convocatoria de investigación se pretende fortalecer las capacidades regionales al tiempo que se dan respuestas a los retos y necesidades departamentales, se plantea el desarrollo de un proceso para la producción de combustibles renovables tipo diésel a partir del hidrot ratamiento de ácidos grasos derivados de desechos grasos animales generados en el departamento de Cundinamarca. A partir de este proyecto se espera generar conocimiento de alto impacto relacionado con la producción de energía renovable no convencional.

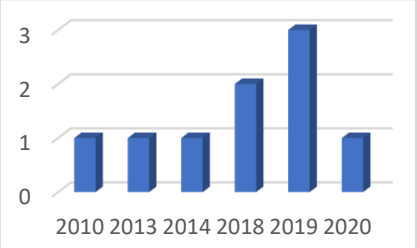
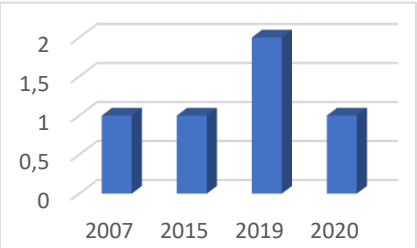
3.2. Estado de la técnica

Para la ejecución de la búsqueda de patentes realizadas por distintas entidades que realicen procesos similares en cualquier aspecto relacionados con el proceso aquí mostrado, esta búsqueda se hace en distintas plataformas nacionales y mundiales. Las patentes encontradas coinciden en que la mayoría apunta a fijar un distinto proceso químico destacando las ventajas de cada uno, variando los catalizadores y el proceso utilizado para la extracción del Diesel Renovable se llega a un producto final que varía su eficiencia y pureza al ser estudiadas con detalle, cabe resaltar que la patente llamada “APARATO Y MÉTODO DE FABRICACIÓN PARA diésel renovable” realizada en corea, plantea un dispositivo capaz de llevar un proceso integro y distinto a los utilizados en las otras patentes, capaz de maximizar la eficiencia desde la superficie interna del reactor. Los resultados de la búsqueda de patentes se muestran en la Tabla 2.

3.2.1 Perfil de los Clúster identificados

Tabla 2. Patentes encontradas.

Países [# Artículos]	Autores [# Artículos]	Instituciones u organizaciones [# Artículos]	Tema de Interés	Tendencias de publicaciones														
Francia[1] Rusia[1] Copenhague[1] Estados Unidos[4] Corea[1]	LACAZE PIERRE [FR]; HENDOU PATRICK DE FLAMENTOS [FR] Allan Otto Fog[Rs] Lihme;[Cp] Raffaele OSTUNI Ermanno FILIPPI[EU] SLADE DAVID A [US]; BRADLEY N [US]; WINKEL DEREK J [US]; DOWNEY RHEE BYONG HO [KR]; HWANG LEE HO [KR]; PARK	INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]; LACAZE SA [FR][1] Cromatografía inicial A / S[1] CASALE[EU][1] ENERGÍA RENOVABLE GROUP[EU][2] REG Life Sciences[Kr][Eu][2] Fox Rothschild LLP[Eu][1]	Materia Prima Ácidos Grasos .	<table border="1"> <caption>Tendencias de publicaciones - Materia Prima Ácidos Grasos</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Publicaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2010</td><td>1</td></tr> <tr><td>2011</td><td>1</td></tr> <tr><td>2013</td><td>1</td></tr> <tr><td>2014</td><td>1</td></tr> <tr><td>2018</td><td>1</td></tr> <tr><td>2019</td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	Año	Publicaciones	2010	1	2011	1	2013	1	2014	1	2018	1	2019	3
Año	Publicaciones																	
2010	1																	
2011	1																	
2013	1																	
2014	1																	
2018	1																	
2019	3																	
Rusia[1] Estados Unidos[2] Mexico[1] Corea[1] España[1]	Allan Otto[Rs] Raffaele OSTUNI[EU] Ermanno FILIPPI[EU] J. P. R. L.-E. A. DE LA R. R[MX] Kyung Hwa[KR] AVES, Richard SMITH, Jason[EU] TOPPINEN SAMI NURMI PEKKA[Es]	CASALE SA[1][EU] JATROPHA CURCAS[MX] African Regional Intellectual Property Organization[KR][1] Greene Road Carlsbad[EU][1] NESTE OYJ[Es]	Materia Prima Vegetal	<table border="1"> <caption>Tendencias de publicaciones - Materia Prima Vegetal</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Publicaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2008</td><td>1</td></tr> <tr><td>2013</td><td>1</td></tr> <tr><td>2018</td><td>2</td></tr> <tr><td>2019</td><td>1</td></tr> <tr><td>2020</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Año	Publicaciones	2008	1	2013	1	2018	2	2019	1	2020	1		
Año	Publicaciones																	
2008	1																	
2013	1																	
2018	2																	
2019	1																	
2020	1																	

<p>España[2] Copenhague[1] Estados Unidos[2] Mexico[1] Corea[1] España[1]</p>	<p>BANAVALI, RAJIV MANOHAR (US); HANLON, ROBERT TRYON (US); SCHULTZ, ALFRED KARL (US);[Es] MORENO EGEA, Fernando (ES); GIL PUIG, Laura (ES); Lihme; Allan Otto Fog[CP] Raffaele OSTUNI Ermanno FILIPPI[EU] J. P. R. L. -E. A. DE LA R. R.[MX] RHEE BYONG HO [KR]; HWANG LEE HO [KR]; PARK SANG HOON [KR]; CHOI MOON GYU [KR]; Gaertner Alfred[SF] TOPPINEN SAMI NURMI PEKKA[Es]</p>	<p>ROHM AND HAAS COMPANY (US) 100 INDEPENDENCE MALL WEST, PHILADELPHIA[ES] SOLUCIONES EXTRACTIVAS ALIMENTARIAS, S.L.[Es] Cromatografía inicial A / S[CP] CASALE SA[EU]} JATROPHA CURCAS[MX] VITZROTECH CO LTD [KR] REG Life Sciences NESTE OYJ</p>	<p>Purificación y mejora del producto final</p>	
<p>Estados Unidos[1] China[3]</p>	<p>Oda Naotaka Miyazaki Tadashi LIU, Shuigang Jhi-Cherng Lu Jr-Hung Li Chii-Horng Li Pang-Yen Tsai Bing-Hung Chen Tze-Liang Lee Wataru NAKAYAMA</p>	<p>Foley & Lardner LLP SHELL INTERNATIONAL RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V. Duane Morris LLP TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA</p>	<p>Mediación y control de temperatura (termopar, Sensor Epitaxial)</p>	

Fuente: información tomada de bases de datos Espacenet, WIPO (World Intellectual Property Organization), upsto patent. Oficina Española de Patentes y Marcas, IEEE.

En la Tabla 2 donde se plasma las patentes encontradas, se representa el perfil de patentes encontrada en las distintas fuentes indagadas que se basan en registrar los aportes realizados por cada entidad que desarrolle nuevas ramas o procesos en la generación de diésel renovable, a su vez esto permite hacer un análisis global del cómo llevar a cabo el diseño del prototipo a generar en el actual proyecto, teniendo en cuenta las variantes plasmadas por los investigadores mencionados en la Tabla 2, esto también evita llevar a cabo procesos o implementaciones ya realizadas por alguna de estas fuentes y así mismo aporta ideas claras e innovadoras en la aplicación del conocimiento brindado por estos proyectos. En su mayoría las investigaciones realizadas giran en torno a la utilización de materias primas de grasa vegetal o aceites de cocina que, como es sabido son materias primas de alta oferta en el mercado nacional e internacional es más, en los hogares de cada persona se generan estos residuos que lastimosamente terminan desechados o en lugares no convenientes, al ser estas unas fuentes grandes de recursos, las investigaciones que se encuentran mayormente en estas plataformas apuntan a estas materias primas.

Las variantes encontradas en los catalizadores dejan al descubierto la gran variedad que se puede implementar en estas investigaciones, partiendo desde una cáscara de huevo hasta un compuesto químico de alta complejidad como puede ser en NoMo o CoMo (Molibdeno modificado con azufre) que es el que se implementara en este proceso, dejan en evidencia que si este se basara en la fijación de un catalizador optimo o de características determinadas se hace difícil o ampliamente variado por su alta variabilidad en relación a la utilización del catalizador y las propiedades de calidad esperadas en el producto final, el diésel renovable.

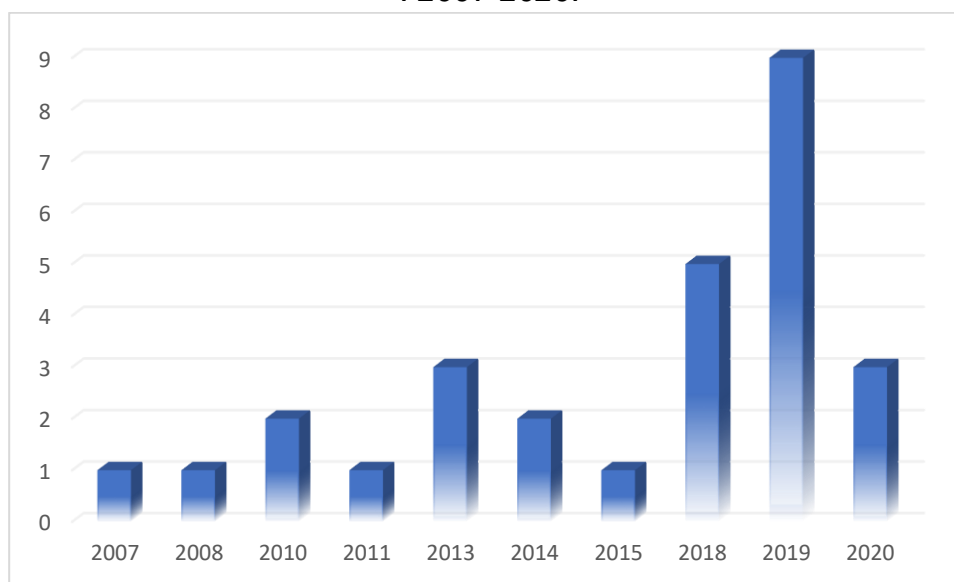
3.2.1 Tendencias del proceso de producción de Diesel Renovable.

El Diesel Renovable se presenta como alternativa del diésel convencional a base de crudo de petróleo, se convierte en un biocombustible destacado en sus distintos métodos de extracción y las entidades que realizan este proceso registran sus avances y productos en las distintas entidades encargadas enfocada en los procesos utilizados para su elaboración, desarrollos tecnológicos, avances de innovación para mejorar la calidad del producto y posibles nuevos subproductos en su proceso de producción.

En los desarrollos del biocombustible se encontró que Estados Unidos es uno de los principales países dedicados a la investigación del desarrollo del mismo, junto con Corea y España. Realizando un análisis general basado en la gráfica de la figura 1

se observa que en la actualidad se ha aumentado exponencialmente las investigaciones realizadas por esta rama de los combustibles renovables, del 2018 en adelante diferentes instituciones generan productos y artículos que registran en las plataformas respectivas con el fin de mostrar al mundo esta innovadora fuente de combustible y a su vez representar su investigación con resultados notables y de excelente calidad. En la Figura 1 se observa gráficamente el comportamiento que las patentes realizadas sobre la producción de Diesel renovable.

*Figura 1. Dinámica de patentes oficiales en la producción de Diesel Renovable.
. 2007-2020.*



Fuente: Autor.

En la Figura 1 se representa la dinámica de una pequeña población relacionada con las publicaciones oficiales de los diferentes organismos productores del mismo, se aprecia que los años con mayor presencia de patentes realizadas son del 2018 al 2020, en estas se evidencia cambios en los procesos de extracción, la utilización de catalizadores distintos a los implementados en la presente investigación.

Figura 2. Participación de los países líderes patentes relacionadas con el producto. 2007-2020.



Fuente: Autor.

Estados Unidos es uno de los países pioneros en las publicaciones y registros de los métodos de generación de Diesel Renovable, Por otra parte, Corea busca permanentemente innovar y crear métodos donde sean productos más puros y con un índice de pureza más alto. A nivel mundial se realizan investigaciones relacionadas a la producción de Diesel renovable pero particularmente en México se estudian métodos donde se tenga la mayor utilización de los residuos o productos secundarios obtenidos. China con un 14% de las patentes indagadas propone métodos modernos en los reactores implementados en el proceso. Por otra parte, el país Coreano apunta a vincular el aceite vegetal y de cocina con procesos de producción de bajo costo.

Con esta búsqueda de patentes se pueden definir varios aspectos relevantes para tener en cuenta:

- En la actualidad existen muchas instituciones que desarrollan investigaciones y métodos distintos para la obtención del diésel renovable.
- La grasa animal es una materia ligeramente utilizada, Esta muestra altos porcentajes de calidad al compararlos con otras fuentes de generación de biocombustible.
- Los catalizadores implementados brindan características de eficiencia y reducción de tiempo en las reacciones presentes en el momento de la

generación del producto y el aquí utilizado no es común en las demás investigaciones en contradas.

- La adquisición de datos se realiza directamente en el reactor donde ocurren las reacciones y generalmente se utilizan termocuplas y RTD PT100 para hacer la medición directa de la temperatura.

Por tanto, el proyecto presentado a continuación se asemeja a los demás en cuestiones de procesos y reactor a utilizar, pero NO existe actualmente un registro o patente realizada que se exactamente igual a este, así que los objetivos y resultados esperados representarían un arduo trabajo basado en la innovación e implementación de métodos nuevos y aportes al campo ingenieril que desarrolle estos productos amigables con el medio ambiente.

En el análisis realizado a partir de las patentes encontradas es posible denotar que los procesos de medición de las variables (en este caso temperatura) en los reactores generalmente son hechas por dispositivos que ya son de orden industrial y comercial. Por tanto estos no especifican cual son los sensores ni los circuitos de acondicionamiento electrónico implementado, esta información reposa en los anexos incluidos en los apéndices finales y se exponen un número de patentes donde fijan las termocuplas y las PT100 como sensores óptimos para su implementación pero no describen un método o proceso detallado de su implementación.

3.3. Antecedentes del diésel renovable

3.3.1. Hidrotratamiento de aceites

El interés fijado en el desarrollo de energías limpias a partir de fuentes renovables, independientes de la disposición y variabilidad del precio del petróleo, ha promovido la producción de biocombustibles a nivel mundial. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA) los biocombustibles líquidos dominarán el sector energético en el año 2030. Los combustibles de primera generación involucran principalmente recursos de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y los gases naturales. El agotamiento de estos recursos aunado a los problemas medioambientales, asociados con la emanación de gases conocidos como gases de efecto invernadero, propició la producción de combustibles de segunda generación, entre ellos: bioetanol y biodiesel (Metilésteres, diésel renovable). Una tercera generación de biocombustibles se ha establecido para categorizar aquellos combustibles obtenidos

a partir de biomasa lignocelulósica, aceite de cocina residual y aceites vegetales no comestibles.

Muchas tecnologías se han enfocado en el tratamiento de biomasa para la producción de combustibles líquidos y en el hidrotreatmento de aceites vegetales (HVO, hydrotreating of vegetable oils) para la producción de diésel renovable. Si bien actualmente se comercializan los combustibles fósiles y combustibles de segunda generación como el biodiésel y el bioetanol, tecnologías como HVO se han convertido en rutas prometedoras para satisfacer las futuras demandas de energía. La conversión de los triglicéridos mediante el proceso conocido como hidrotreatmento consiste en la remoción total del oxígeno para la obtención de una mezcla de parafinas e isoparafinas de puntos de ebullición parecidos al del gasoil. Esto se logra exponiendo el aceite a altas presiones y temperaturas de hidrógeno con la presencia del catalizador adecuado. A esta rama de biocombustible líquido se le ha denominado green diésel, diésel renovable o diésel biohidrogenado. Se compone de una mezcla de alcanos lineales o ramificados y está libre de aromáticos y azufre. Además, posee un número de cetano y poder calorífico superior en relación al de los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME o biodiésel) obtenidos por transesterificación. En la Tabla 3 se comparan las propiedades de algunos biocombustibles.

Tabla 3. Propiedades de algunos biocombustibles.

Propiedad	FAME	Diesel renovable	Diesel Fósil
Densidad, g/ml	0.86-0.9	0.77-0.83	0.85
Azufre, ppm	0-0.01	<10	12
Índice de cetano	58.3	50-105	54.57
Número de cetano	45-72.7	80-99	50
Punto de inflamabilidad, °C	96-188	68-120	52-136
Humedad, mg/kg	28.5-500	42-95	0.5
Residuos carbonosos (MCRT). %	0.02-0.3		
Viscosidad a 40°C, cSt	3.89-7.9	2.5-4.15	2.71
Tiempo de oxidación a 110°C, h	0.9-10.9	>22	
Temperatura de destilación 90%, °C		298-342	341

Valor de calentamiento neto, Mj/kg	37.1-40.4	42-44	34.97
CFPP, °C	(-13)-15	>20	-6
Punto de nube, °C	8-3)-17	(-25)-30	-5
Punto de escurrimiento, °C	(-15)-16	(-3)-29	-21

Fuente: Grupo de investigación PQI (Procesos Químicos Industriales) de la UdeA.

En la Tabla 3 se muestra la comparación general de 3 de los biocombustibles más comunes donde se aprecia que el FAME presenta un rango mayor en su densidad, el diésel renovable presenta un número de cetano más elevado y su inflamabilidad está en un rango balanceado en relación a los otros 2. Un factor importante de esta tabla es la temperatura de destilación el 90 % este valor está entre los 300 °C y 350°C aproximadamente siendo ese el rango de temperatura empleado en el diseño de medición que se describe al final del presente documento.

El HVO para la producción de diésel renovable presenta además otras ventajas:

- El producto es compatible con los motores ya existentes.
- La composición de ácidos grasos presentes en la materia prima no es relevante.
- Las emisiones de NOX no se ven incrementadas.
- Durante el proceso de hidrotreamiento no se generan subproductos que requieran algún tratamiento adicional, como por ejemplo el glicerol obtenido durante la síntesis del biodiesel.
- La distribución del diésel renovable no genera contaminación adicional, por lo tanto, puede ser transportado a través de los mismos ductos que se utilizan actualmente para la distribución del diésel petroquímico.
- Mejor rendimiento en clima frío.

Aun cuando el diésel renovable se encuentra entre los combustibles de segunda generación más novedosos, se produce a escala industrial en Finlandia y otros países. En 2007 y 2009, se instalaron dos plantas de diésel renovable en la refinería de Porvo (Neste Oil), con una producción anual de 170 mil toneladas c/u.

3.3.2. Procesos productivos actuales

Durante los últimos años, compañías relacionadas con el petróleo se han interesado de manera creciente en la producción de combustibles líquidos renovables a partir del hidroprocesamiento de diversas materias primas lipídicas (Tabla 4). UOP Honeywell Co. ofrece un proceso alternativo (Ecofining UOP/ENI) para convertir, a través de HDO y HDCx, aceites no comestibles junto con los ácidos grasos libres en diésel renovable. Además, llevan a cabo un proceso de isomerización para producir un combustible rico en isoparafinas. En un análisis de ciclo de vida publicado en 2009, se reportó que el proceso Ecofining es más económica y ambientalmente competitivo con la producción de biodiesel (Honeywell Green Diesel™). Haldor Topse, ha desarrollado una nueva tecnología de hidrotratamiento para la producción de diésel renovable y combustible para aviones a partir de talloil crudo, materia prima no comestible obtenida como subproducto en la fabricación de pasta de papel a partir de coníferas y mediante el procedimiento Kraft. La ingeniería básica para aplicar este proceso en la refinería reem Gothenburg Sweden ha sido completada por Topse (Haldor Topsoe n.d.).

Neste Oil Co. planteó una tecnología capaz de producir combustible diésel de alta calidad. El proceso NExBTL produce diesel renovable al hidrotratar aceites vegetales o grasas animales residuales, lo que resulta en una reducción del 40-80 % en el ciclo de vida del CO₂ dependiendo de la materia prima. Neste Oil tiene dos refinerías de diesel renovable, en Singapur y en Rotterdam (Países Bajos). El diesel renovable NExBTL también se produce en la refinería de Porvoo (Finlandia), donde se iniciaron dos unidades en 2007 y 2009. Los tres sitios pueden producir aproximadamente 2.4 millones de toneladas por año, siendo la empresa productora de diesel renovable más grande del mundo (Neste Oil Com n.d).

Otra compañía es Dynamic Fuels, una empresa conjunta entre Syntroleum Co. y Tyson Foods Inc., con una capacidad de hasta 75 millones de galones de Diesel renovable por año. Su producción inició en el 2010 con una planta en Geismar, LA. (USA) (Tyson Foods Inc).

Valero Energy Co. anunció que la planta en la refinería St. Charles en Norco LA. (USA) expandirá su producción anual de Diesel renovable a 275 millones de galones por año (Diamond Green Diesel 2017). La planta convierte aceite residual de cocina y grasa animal en Diesel renovable mediante procesos de hidrogenación e isomerización. Las materias primas de grasa y aceite son suministradas por Darling Ingredients Inc. ConocoPhillips comenzó con la producción comercial de combustible diésel renovable en la refinería Whitegate en Cork (Irlanda). Los componentes renovables de

combustibles diésel producidos cumplen con los estándares de la Unión Europea. La refinería está produciendo 1000 barriles por día de diésel renovable para la venta en el mercado irlandés (Conoco Phillips).

Toyota motor Co., Hino Motors, Gobierno Metropolitano de Tokio y Nippon Oil Co. iniciaron un proyecto conjunto destinado a producir diésel renovable. Nippon Oil y Toyota han trabajado conjuntamente en el desarrollo de la tecnología desde 2005 y afirman que el combustible producido es aromático y libre de azufre, con un índice de cetano de 101 (Sotelo-Boyas R. 2012). En la Tabla 4, se resumen los procesos y tecnologías implementados por empresas destacadas en el sector. Cabe mencionar que, en el caso de Sudamérica; Brasil es liderado por Petrobras en la cual su infraestructura se instaló en una de sus principales refinerías en año 2007, Realizando adecuaciones en dos refinerías más en el año don mil dieciocho. (Ecopet.rol 2012).

Tabla 4. Procesos actuales de producción de diésel renovable.

Tecnología	Proceso	Materias primas	Producto
<i>Ecofinig UOP/ENI</i>	<i>Hidrotratamiento e Isomerización</i>	<i>Triglicéridos y/o ácidos grasos libres</i>	<i>Diesel renovable y combustible de aviación</i>
<i>Haldor topsae</i>	<i>Hidrotratamiento</i>	<i>Talloil</i>	<i>Diesel renovable y combustible de aviación</i>
<i>Neste oil NexBTL</i>	<i>Hidrotratamiento</i>	<i>Aceite de palma y desechos grasos animales</i>	<i>Diesel renovable</i>
<i>Tyson Foods Inc. Syntroleum Co.</i>	<i>Hidrotratamiento</i>	<i>Grasas animales</i>	<i>Diesel renovable y combustible de aviación</i>
<i>Valero energy Co.</i>	<i>Hidrotratamiento e Isomerización</i>	<i>Aceite de cocina usado y grasas animales</i>	<i>Diesel renovable</i>
<i>ConocoPhillips</i>	<i>Hidrotratamiento</i>	<i>Aceites vegetales y grasas animales</i>	<i>Diesel renovable</i>
<i>Toyota Motor Co. Hino Motors Nippon Oil Co.</i>	<i>Hidrotratamiento</i>	<i>Aceites vegetales</i>	<i>Diesel renovable</i>

Fuente: Tomada de (Sotelo-Boyas R. 2012).

3.4 Residuos potenciales no utilizados

Existen diversas fuentes usadas en la obtención del biodiesel, y cada una tiene características especiales entorno a los perfiles de sus ácidos grasos, los cuales establecen y nos brindan información entorno a las propiedades del biodiesel, en sus diferentes formas. Por ejemplo, cuando existe mayor presencia de ácidos grasos saturados o mayor contenido, aumentan el número de cetano, estos mejoran la estabilidad entorno a la oxidación, además desmejoran factores de vaporización del biocombustible. Las pequeñas discrepancias en los perfiles de los ácidos grasos como fuentes principales, además de las propiedades del biodiesel, funcionando como un parámetro fundamental en la elección de insumos para la obtención del biodiesel con diferentes calidades. (Arun N, Sharma R V., Dalai AK. 2015).

Al buscar un profundo desarrollo de energías limpias derivadas de fuentes renovables, que sean independientes a la estabilidad, disposición y oscilación del valor de los recursos petrolíferos, se ha optado por la elaboración a escala mundial de biocombustible. En base a la Agencia Internacional de Energía (IEA) “los biocombustibles líquidos dominarán el sector energético en el año 2030” (UPME.2017).

Distintos recursos y tecnologías se han enfocado en el proceso para tratar la biomasa de varios sectores productivos, generando combustibles que son principalmente líquidos, además de la realización de hidrotatamiento de aceites vegetales para la obtención de Diesel renovable. Actualmente el sector de combustibles, se centra en la comercialización de combustibles fósiles de segunda generación como el bioetanol y el biodiesel.

En la búsqueda de materia prima para realizar este proceso de generación de biocombustible, es común encontrar que la fuente principal sean aceites vegetales, provenientes del maíz, coco, girasoles, caña, granos, etc. Que centran sus procesos en la conversión y utilización de sus propiedades para lograr una extracción total o un aprovechamiento riguroso de cada componente de los mismos, este mismo principio se busca implementar, pero cambiando la materia prima a utilizar, pasar de aceites vegetales a aceites grasos propiamente de procedencia animal.

Sea cual sea la fuente principal de generar energía va a tener algún efecto negativo sobre el medio ambiente, no siempre sus consecuencias son evidenciadas

instantáneamente, por lo general dichas consecuencias se empiezan a notar al pasar de los años. Sin embargo, es claro es hay unas que perjudican menos que otras que en este caso el biodiesel siendo biodegradable no toxico y con bajas emisiones contaminantes.

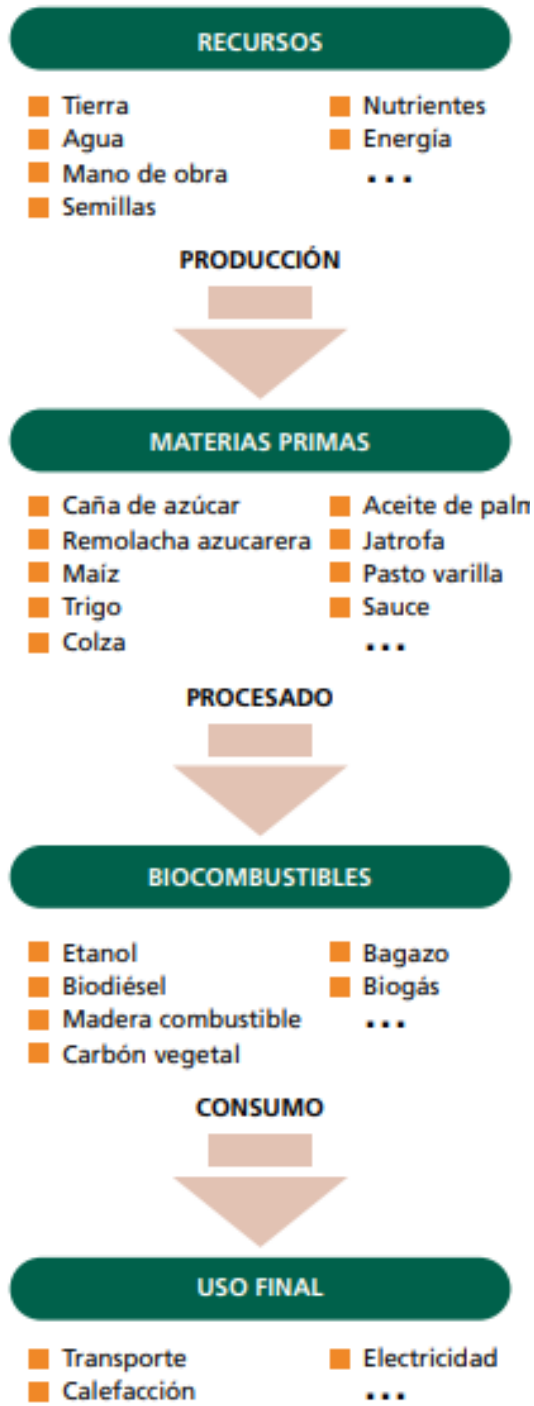
Los biocombustibles principales fuentes energéticas que comprenden gran cantidad de biomasa, definiéndose como biomasa todo tipo de material natural que es utilizado para generar distintos tipos de energía, la cual se puede utilizar para la producción de bioenergía en diversas maneras. Por ejemplo, los alimentos y sus desechos, las fibras, los residuos de madera, los desechos agrícolas los cultivos energéticos y los cultivos de rotación.

Posterior a un análisis general de las distintas materias primas se observa que el rendimiento obtenido en la extracción de la grasa de los residuos del pollo es del 70,5%, y para la grasa de cerdo del es del 90%, por esta razón estos recursos se plantean como posibles alternativas viables desde distintos puntos tecnológicos. La caracterización que se realizó a la grasa de pollo y cerdo estableció que los dos, tienen bajo porcentaje de acidez, garantizando así un alto índice de transesterificación, cada factor reflejo un rendimiento del 96% para la grasa de pollo y del 91,2% para la grasa de cerdo. (Candelaria T., Lesly T., Angel V. 2003).

Los catalizadores que se utilizan principalmente en el proceso de transesterificación son compuestos básicos como el metóxido e hidróxido de sodio y potasio, los catalizadores homogéneos se escogen en base de tiempo de reacción, la temperatura, y cantidad de alcoholes menores presentes al compararlos con otro tipo de catalizador. En el siguiente esquema se plasma el ciclo correspondiente desde donde se originan las fuentes de energía (biocombustible), sus productos generados posterior a un procesamiento determinado y finalmente su uso final.

Generalmente los recursos naturales que se encuentran en el entorno pueden ser transformados mediante un proceso determinado para producir beneficios o productos útiles para la sociedad, en la Figura 3, se representan algunas de las corrientes de transformación generalmente encontrados en la actualidad, partiendo de materias primas como lo es el maíz, el trigo, el sauce y la caña de azúcar, mostrando cuales son los principales productos y usos finales que esos podrían brindar.

Figura 3. Diagrama de materias.



Fuente: Tomado de la dirección nacional de alimentación y nutrición. (FAO, 2013).

Teniendo en cuenta las características específicas y diferencias entre las materias primas y los perfiles de los ácidos grasos, se determina que cada insumo tiene ciertas características y propiedades apetecidas para obtener una mejor calidad del biodiesel, por lo cual es común preguntarse ¿cuál es la materia prima indicada para la producción de Diesel renovable? Sea cual sea la elección de las materias primas deberá cumplir las normas y necesidades preestablecidas.

Teniendo en cuenta principalmente propiedades como lo son la estabilidad oxidativa y las condiciones adecuadas para la transesterificación. Varios estudios buscan determinar un punto medio que satisfaga a ambas propiedades, la proporción y concentración ideal de ácidos grasos. Actualmente la búsqueda continua de energía renovable, incluido el biodiesel, es objeto de investigación y avances tecnológicos, pero todavía poco explorado. La comprensión de la relación entre materias primas y condiciones de proceso, son la clave para la producción de biodiesel de alta calidad y pureza.

3.6 Alcances del proyecto.

En el departamento de Cundinamarca se presentan numerosos retos desde distintas dimensiones, de sumando atención y complejidad. Algunas de las brechas a fortalecer son los procesos que incentivan la mitigación de impactos ambientales y directamente del cambio climático teniendo como solución la implementación de prácticas sostenibles, generación e implementación de energía limpias, con un óptimo manejo y disposición de los residuos y saneamiento en las principales fuentes hídricas ya contaminadas. Por lo cual se debe desarrollar entorno a estas temáticas estrategias regionales de transferencia, de investigación y de implementación en las actividades productivas que promocionen iniciativas de uso y generación de tecnologías limpias. Es por esto que se quiere apuntar en esta investigación a la producción de nuevos biocombustibles a partir de biomasa disponible en el departamento de Cundinamarca.

Estos son unos de los factores que hacen necesario y pertinente la realización del proyecto; En el departamento de Cundinamarca existen alrededor de 65 Plantas de beneficio animal con una producción anual de productos cárnicos para el 2017 de aproximadamente 50.000 toneladas de vacunos y 80.000 toneladas de porcinos, lo que representa una cantidad sustancial de residuos grasos que se pueden aprovechar en la producción de biocombustibles. (Fonseca S 2013).

Se está proponiendo obtener un biocombustible que puede ser de interés para muchos de los parques automotores colombianos el cual traza sus tendencias hacia las nuevas tecnologías de sus motores con una mayor eficiencia energética y un bajo potencial contaminante, pero requiriendo combustibles con mejor calidad y que además cumplan sus mismas propiedades. Es pertinente el empleo de estos biocombustibles para reemplazar total o parcialmente los combustibles de origen petroquímico, lo cual es una tendencia mundial que busca prevenir y controlar de la contaminación atmosférica. (Fonseca S 2013).

En el caso colombiano, el aprovechamiento y manejo de fuentes de biomasa a través de procesos de hidrotatamiento (deoxigenación) para la obtención de combustibles líquidos para generación eléctrica, se constituye como una alternativa viable debido al gran potencial agrícola del país, ya que permitiría incluir y potenciar regiones productoras de biomasa a través de la industrialización y manejo de residuos agrícolas y agroindustriales tales como Cundinamarca. La producción de este tipo de biocombustibles también se puede sustentar en hechos como que el país cuenta con abundantes fuentes de biomasa que no compiten

con el sector alimentario y tienen un gran potencial energético, lo que hace viable explorar dentro de las opciones existentes, aquellas que puedan ser consideradas de mayor disponibilidad y mejores características generales para destinarlas a esta aplicación específica.

Dentro de los ejes temáticos de la convocatoria se promueve la identificación y uso de energías renovables no convencionales obtenidas a partir de la biomasa generada por residuos disponibles en el departamento de Cundinamarca, este proyecto está orientado a cumplir a cabalidad este eje, dando como resultado la generación de energía renovable no convencional. En nuestro país, el gobierno nacional ha venido implementado una política orientada a la divulgación de los combustibles renovables mediante el PLAN NACIONAL DE DESARROLLO (PND), estableciendo un marco normativo, desarrollando incentivos tributarios y financieros. En el ámbito legal la ley 697 de 2001 mediante la cual se reglamenta el uso eficiente de la energía, promoviendo la utilización de energías alternativas como lo son los aceites. Del mismo modo, el documento CONPES 3510 (DNP, 2008) es una de las directrices gubernamentales promoviendo la producción de combustibles renovables en Colombia, utilizando las oportunidades nacientes de desarrollo social y económico ofrecida por mercados nacional e internacional de los combustibles renovables. (Jesus Montes, R. Lopez, J.).

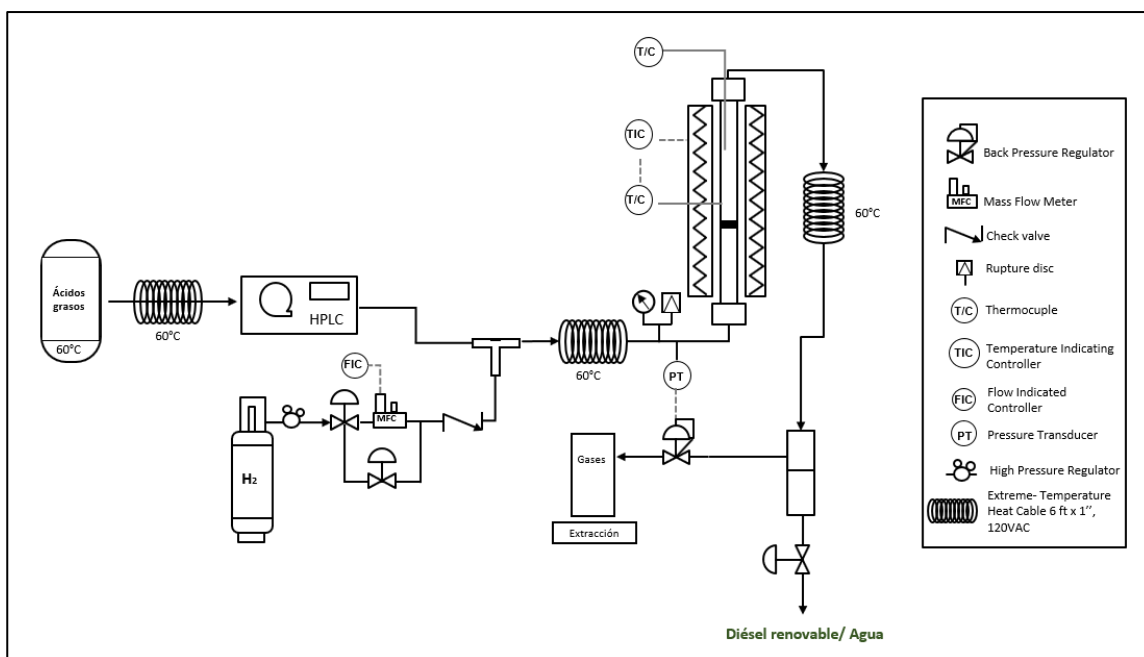
Por otra parte, la implementación de un módulo capaz de realizar mediciones de variables físicas tal como la temperatura permitiría mantener un control del proceso acertado, capaz de garantizar un mayor aprovechamiento de la materia prima para minimizar pérdidas de material y generación de subproductos indeseados.

3.7 Descripción general del proceso de producción y del reactor.

El proceso comienza con la entrada de los ácidos grasos o aceite hidrolizado que salió como producto de la primera etapa (Hidrolisis), estos ácidos grasos pasan por una resistencia de calentamiento donde su temperatura cambia de 25 grados centígrados a 60 grados centígrados, condición que le ayudara a ser transportado más fácil por la bomba HPLC, este equipo funciona principalmente para llevar el líquido al reactor. Después de pasar por la bomba HPLC, este fluido se mezcla con hidrógeno puro que tiene como condiciones fijas 60 grados centígrados y 70

bares de presión. En este caso, la bomba también ayuda a igualar esta presión con el fin de que no haya daños en tubería por presiones elevadas o fuera del rango establecido. Seguido estos dos fluidos se mezclan y pasan de nuevo una resistencia de calentamiento con el fin de asegurar que la materia prima que ingresa al reactor está en las condiciones y lineamientos necesarios para su correcta transformación a diésel renovable. Esta materia prima ingresa un reactor PBR (reactor de lecho empacado), el cual funciona con un catalizador de molibdeno y cobalto modificado con azufre. En este reactor ocurren tres reacciones simultáneas las cuales darán como productos alcanos, agua y gases como propano, dióxido de carbono y monóxido de carbono además de encontrar a la salida los reactivos que no se convirtieron punto seguido esta reacción normalmente tiene un rendimiento del 90% los productos y subproductos a la salida del reactor pasan a una resistencia enfriamiento la cual cambia su temperatura de 350 grados centígrados a 25 grados centígrados con el fin de que la separación sea más selectiva. El proceso final es la entrada a un separador bifásico el cual el cual tiene salida o está direccionado a dos tanques de almacenamiento específicos para los gases y finalmente para los líquidos o nuestro producto de interés. En la figura 4 se muestra el esquema establecido para el proceso químico brindado por la Universidad de Antioquia.

Figura 4 Diagrama del proceso químico.

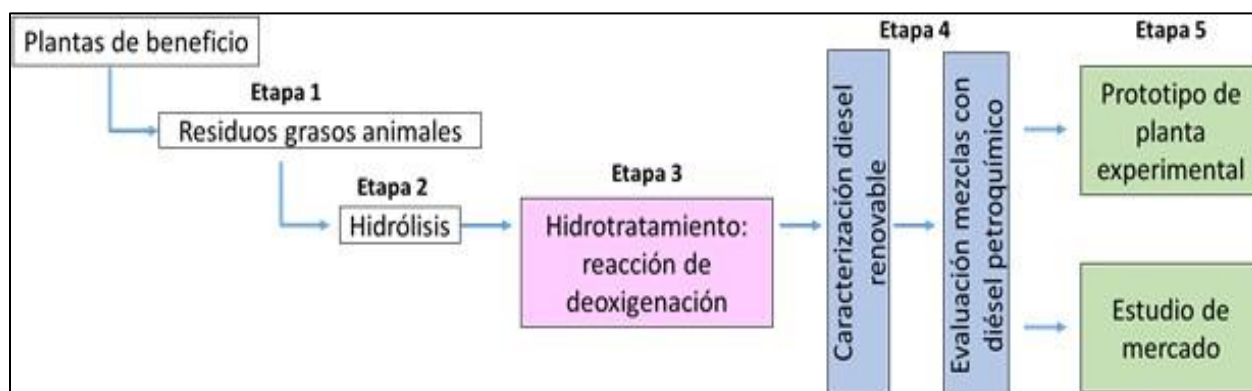


Fuente: Generado por el grupo de investigación PQI (procesos químicos industriales) de la UdeA.

4. Capítulo 4: Metodología

La metodología implementada en este proyecto macro está dividida en distintos segmentos, la búsqueda de información necesaria, el método de producción químico y el método de adquisición de datos de temperatura son los ejes principales para llevar a cabalidad los objetivos planteados. El proyecto tiene su enfoque en la producción y síntesis de biodiesel a partir de residuos grasos. En la Figura 5, Esquema general de la metodología, se observa una descripción simple de la metodología utilizada.

Figura 5. Esquema general de la metodología.



Fuente: Tomado grupo de investigación PQI (Procesos Químicos Industriales) UdeA.

A continuación, se describen por objetivo específico las actividades planteadas.

1. Seleccionar y caracterizar la materia prima más adecuada para este proceso que esté disponible como residuo en el departamento de Cundinamarca.

4.1.1 Primera Etapa

Se realiza la selección de la materia prima, teniendo en cuenta aspectos como propiedades, impacto ambiental, oferta y disponibilidad. La cual será luego caracterizada según los requerimientos con sus respectivos métodos de ensayo: Índice de Yodo, Índice de Saponificación, porcentaje de acidez, material insaponificable, humedad y Composición de ácidos grasos (Cromatografía CG-MS).

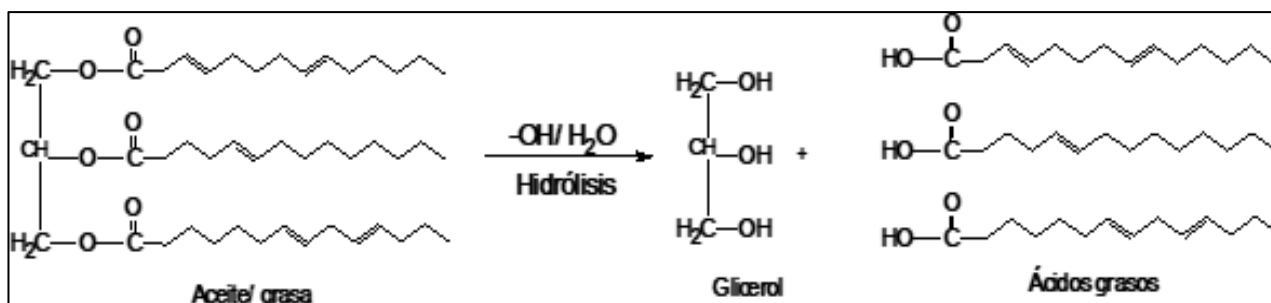
- Determinar las mejores condiciones de síntesis para la obtención de los ácidos grasos mediante hidrólisis de residuos grasos animales.

4.1.2 Segunda Etapa

Se realiza la transformación de los residuos grasos animales (Triglicéridos) a ácidos grasos y glicerol.

La reacción se realizará en un reactor semibatch de alta presión por 30 minutos, con temperaturas entre 200 a 400 °C y manejando una presión autógena que no debe ser mayor a 100 bares. La reacción se muestra en la figura 6, Hidrólisis de grasa/aceites. La Figura 6 es la representación de las reacciones químicas presentes en el proceso de producción en la hidrólisis. Se representa que se tiene inicialmente la grasa y su composición en enlaces de hidrogeno y oxígeno, notándose que después de realizada la hidrólisis se tienen las composiciones del glicerol y los subproductos obtenidos.

Figura 6. Hidrólisis de grasas/aceites.



Fuente: Tomado grupo de investigación PQI (Procesos Químicos Industriales) UdeA.

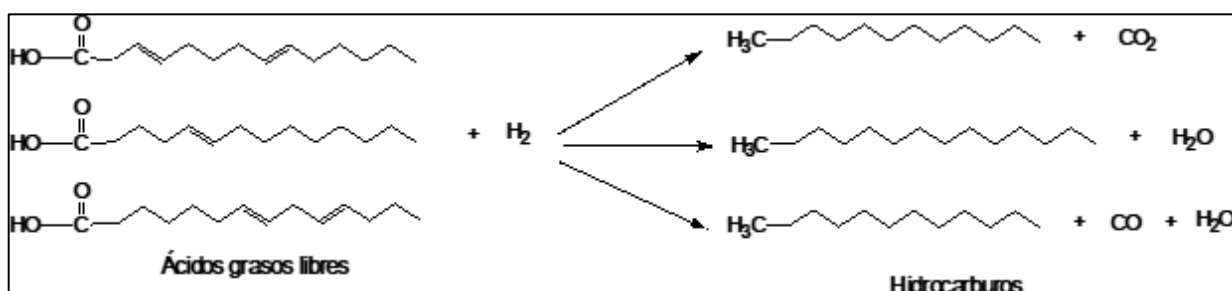
Los productos también se caracterizan según los índices de la etapa 1.

- Sintetizar y evaluar el desempeño de catalizadores para la producción de hidrocarburos tipo diésel mediante el hidrotratamiento de los ácidos grasos derivados de residuos animales.

4.1.3 Tercera Etapa

Con el fin de realizar el proceso mejorado de hidrot ratamiento, se realizan reacciones de desoxigenación representando sus enlaces en la Figura 7, empleando como materia prima los ácidos grasos de la anterior etapa.

Figura 7. Hidrot ratamiento de ácidos grasos.



Fuente: Tomado grupo de investigación PQI (Procesos Químicos Industriales) UdeA.

Como catalizador se empleará Cobalto-Molibdeno, el cual es comercial y esta soportado en sílice y modificado con azufre (Kroschwitz JI, Seidel A). Para estudiar la reacción de desoxigenación, se evaluará un diseño experimental factorial 3^3 que incluye la modificación de 3 variables de entrada.

Variables de entrada:

- Temperatura (tres niveles).
- Presión (tres niveles)
- Tiempo (tres niveles).

Variable de salida: Conversión y Pureza del biocombustible obtenido. Los cuales se estimarán a partir de cromatografía gaseosa. Con esto se busca reducir gastos de energía del proceso debido a condiciones de reacción menos drásticas (menor presión, temperatura y tiempo), reducir consumo de hidrogeno y categorizar como un nuevo biocombustible no isomerizado para realizar mezclas con combustibles comerciales tipo diésel que se emplean en el país.

4. Analizar las propiedades de los biocombustibles tipo diésel obtenidos.

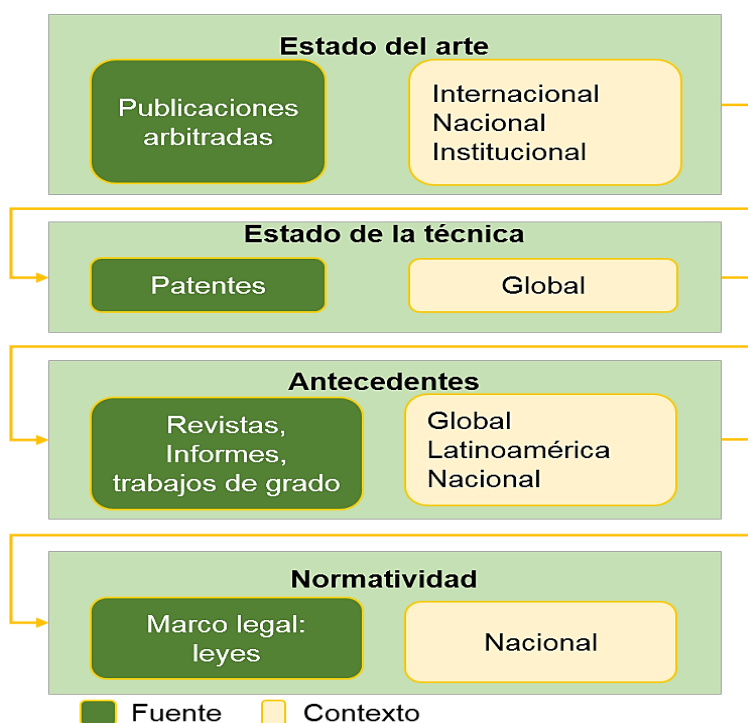
El producto obtenido de esta etapa de desoxigenación será caracterizado mediante la medición de índices claves de calidad de combustibles de acuerdo a la tabla 3C resolución 90963 del 10 de septiembre de 2014 que rige en el país.

- Determinar el grado de mezcla para la producción de un biocombustible a partir de diésel y diésel renovable cuyas propiedades se encuentren dentro de las especificaciones de calidad establecidas en la normativa nacional.

4.2. Recolección de información

En esta fase se busca recolectar toda la información necesaria, que permita hacer una contextualización del proyecto a desarrollar, para ello se realizó una exhaustiva revisión de documentos de investigación, artículos, publicaciones arbitradas, trabajos de grado, patentes y leyes, que ayudaran al desarrollo del estado del arte, estado de la técnica, definir antecedentes de las temáticas que se aplican en el proyecto de investigación desarrollado.

Figura 8. Etapas de la fase 1: Recolección de información.



Fuente: Autor

Para la implementación de los sistemas de producción de diésel renovable que se han llevado a cabo a nivel mundial diferentes investigaciones, así como también se han desarrollado prototipos para la toma de datos de las variables características de estos sistemas. El conocimiento de la investigación básica y aplicada a nivel mundial sobre estas temáticas permite que el proyecto de investigación “Producción de diésel renovable a partir de residuos grasos, enfocado a la adquisición de datos de la variable temperatura”, este acorde con lo que se desarrolla actualmente, por tal motivo se hizo necesario tomar como base diferentes publicaciones arbitradas expuestas entre los años 2007 y 2020. Para un mejor análisis de esta información, esta se clasificó según los contextos institucional, nacional e internacional.

De acuerdo a la revisión y análisis del estado del arte se muestra que la información por ser de carácter investigativo, en esta se presenta la generación de nuevos productos de conocimiento y sistemas. Por tal razón se hace necesario conocer que patentes existen a nivel mundial, para no tener problemas por derechos de autor si se da el caso en el que se desarrolle un sistema similar en este proyecto. Se realiza la búsqueda en las bases de datos Espacenet, WIPO (World International Property Organization).

Además, se recopiló información acerca del desarrollo que han tenido los diferentes tipos de energía renovable en este caso de combustibles renovables a nivel global, latinoamericano y nacional, para conocer los antecedentes y evolución de las mismas, así como también se investigó sobre la normatividad para tener conocimiento de que leyes y acuerdos amparan a las energías renovables en Colombia.

4.3 Dispositivos medidores de temperatura

En el área de la electrónica existen diversos dispositivos que permiten realizar medición de la variable temperatura, que se ajustan con un circuito de instrumentación capaz de ajustar la salida de voltaje respectiva a la escala necesaria o en un rango de valores deseado, esto se logra con amplificadores o tarjetas de adquisición de datos que complementan el funcionamiento del sensor brindando una amplia línea de soluciones que dependen de la necesidad o problema planteado para así determinar cuántos de estos dispositivos es el acorde al requerimiento y posterior a ello se diseña o ajusta la instrumentación requerida para obtener los mejores resultados en cuanto a una medición óptima, de alta

resolución, con un margen de error pequeño y adicionalmente la tolerancia a entornos con altas y bajas temperaturas. Entre los dispositivos medidores de temperatura se encuentran los siguientes.

4.3.1 Termocuplas

En física, la temperatura es definida como la magnitud escalar que se relaciona directamente con la energía interna o externa de cualquier sistema termodinámico, generalmente es directamente proporcional con la energía interior que se conoce como energía cinética, siendo esta la energía asociada con los cambios de ubicación de las partículas presentes en el sistema. (*Medición y control industrial. 2016*).

Para realizar la medición de dicha variable se pueden utilizar diversas herramientas que transforman esta variación física en un valor de voltaje, que dependiendo de su rango se elige el instrumento adecuado para hacer tal medición, en la Tabla 5 se muestran distintos instrumentos de medición y algunas de sus características.

Tabla 5. tipos y características de medidores de temperatura.

Tipo de Sensor	Rango operacional	Valor	linealidad	Características Destacadas
Termómetro de mercurio	-10 a 300	Bajo	Buena	Lento y simple, de lectura manual
Termorresistencia (Pt, Ni, etc.) RTD	-150 a 600	Medio	Alta	Precisión
Termocupla	-150 a 1500	Bajo	Alta	Necesita referencia de temperatura
Termistor	-15 a 115	Medio	No lineal	Sensible
Integrado lineal		Medio	Muy alta	Fácil conexión de toma de datos
Gas	-20 a 100	Medio	Buena	No muy versátil
Diodos	-200 a 50	Bajo	Alta	Bajo costo

Fuente: Tomado de (*Medición y control industrial. 2016*).

Para este proyecto, al tener valores considerables se hace conveniente utilizar un sensor que soporte temperaturas altas y que tenga una resolución alta para notar los cambios más mínimos y poder llegar a la temperatura deseada con exactitud.

Por lo general estos sensores (termocuplas) de temperatura son utilizados a escala industrial, está formada por 2 alambres de diferente material soldados en una punta, al generar cambios de temperatura en el lugar donde se unen, los metales generan una variación de potencial de pequeña escala (orden de los milivoltios) que varía en proporción con la temperatura, esto se conoce como el “efecto Seebeck”. Gracias a que la termocupla es bastante lineal y su rango de media es amplio se determina como mejor opción para realizar la medición de temperatura en este proyecto.

En la Tabla 6 se muestran distintos tipos de termocuplas y algunas de sus características

Tabla 6. tipos de termocuplas.

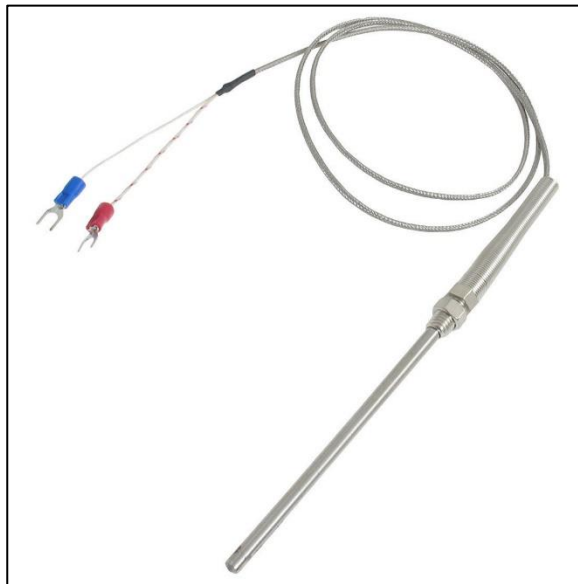
Termopar Tipo	Aleación	Rango
K	Niquel-Cromo Niquel-Aluminio	-150 a 1100°C
J	Hierro Cobre-Niquel	-40 a 700°C
T	Cobre Cobre-Niquel	-200 a 350°C
E	Niquel-Cromo Cobre-Niquel	-150 a 800°C
N	Niquel-Cromo Niquel-Silicio	-150 a 1100°C
S	Platino Platino-Rodio10%	0 a 1550°C
R	Platino Platino-Rodio13%	0 a 1600°C
B	Platino-Rodio6% Platino-Rodio30%	0 a 1700°C

Fuente: Tomado de (Medición y control industrial).

Termocupla Tipo K.

Este tipo de termocuplas se muestra en la Figura 9, se pueden utilizar de forma continua, en ambientes inertes u oxidantes hasta mil grados centígrados y constituyen los de mayor satisfacción en su implementación, diseñadas para uso en ambientes reductores o sulfurosas o en vacío.

Figura 9. Termocupla tipo K.



Fuente: Tomado de (Medición y control industrial).

Termocupla Tipo J.

Esta Termocupla es conocida principalmente como la termocupla de níquel y hierro, siendo la segunda más implementada en los Estados Unidos. Este material principal es un conductor positivo, ya que el conductor negativo es formado por una aleación del cincuenta y cinco por ciento de cobre y cuarenta y cinco por ciento de níquel. *(Medición y control industrial. 2016).*

Las termocuplas Tipo J tiene una presentación particular mostrada en la Figura 10, son óptimas al trabajarlas en un entorno oxidante e inertes y en vacío hasta setecientos sesenta grados centígrados. Pero si está por encima de quinientos

cuarenta grados centígrados, el alambre de hierro se oxida rápidamente, la ventaja notable de la termocupla tipo J es que tiene un precio bajo. (*Medición y control industrial. 2016*).

Las principales desventajas de estos dispositivos es que preferiblemente no se usen ambientes sulfurosos superiores a los quinientos cuarenta grados centígrados y no se recomienda usar si las temperaturas están por debajo de cero grados centígrados ya que presenta fragilidad de potencial y en el peor de los casos puede llegar a oxidarse ni siquiera si son ciclos de tiempo corto. (*Medición y control industrial. 2016*).

Figura 10. termocupla tipo J.



Fuente: Tomado de (Medición y control industrial).

Termocupla tipo B.

Esta presenta ventajas sobre las termocuplas Tipo S y R, siendo la capacidad de medir temperaturas más altas, cuenta con mayor resistencia mecánica y estabilidad. Queda reflejado en la Figura 14, grafica de linealidad de termocuplas, que la pendiente es casi despreciable en relación de la curva del tipo B siendo esta medición a temperatura ambiente. Las termocuplas Tipo B se ilustra en la Figura 11 y se caracterizan por ser bastante útiles para uso constante en ambientes inertes u oxidantes y soporta temperaturas hasta los mil setecientos grados centígrados. (*Medición y control industrial. 2016*).

Las principales desventajas de esta termocupla es el bajo voltaje de salida. Y la incapacidad de utilizarse en ambientes con presencia de hidrógeno o monóxido de carbono incluso cuando se exponen a vapores metálicos como plomo o zinc. *(Medición y control industrial. 2016)*

Figura 11. Termocupla tipo B.



Fuente: Tomado de (Medición y control industrial).

Tipo R.

Pueden ser usadas de forma continua en ambientes oxidantes hasta mil cuatrocientos grados centígrados. Estas no cuentan con buena estabilidad como la termocupla tipo B implementada en vacío. Las normas generales establecen las siguientes limitaciones que se aplican al uso de las termocuplas Tipo R representada en la Figura 12; No deben ser instaladas directamente dentro del objeto en medición ni ser cubierta con material metálico, tampoco se debe usar donde los ambientes estén expuestos a vapores metálicos u oxidantes a menos de que se protejan con tubos o protección de un material distinto al metálico. *(Medición y control industrial. 2016).*

Figura 12. Termocupla tipo r.

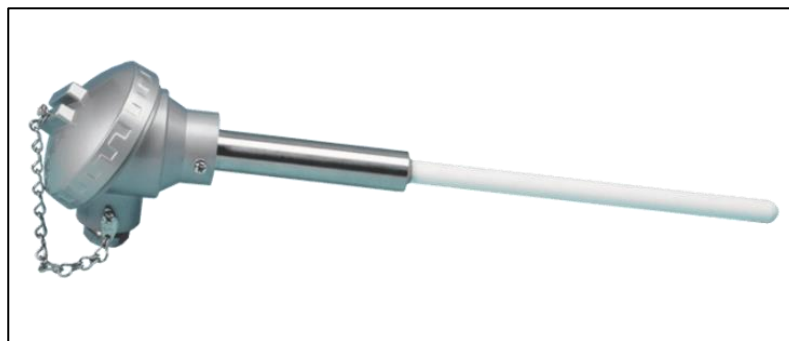


Fuente: Tomado de (Medición y control industrial).

Tipo S.

Estas termocuplas, como se muestra en la Figura 13, son de una combinación de Rodio y Platino. Definida por normas internacionales “Escala Práctica Internacional de Temperaturas de 1968, IPTS-68” donde se determinan las temperaturas desde los mil novecientos diecisiete grados Fahrenheit que es el punto de solidificación del oro. También tiene características similares al tipo R y sus desventajas son iguales al tipo B, está en particular es más inestable cuando se utiliza en vacío. *(Medición y control industrial. 2016).*

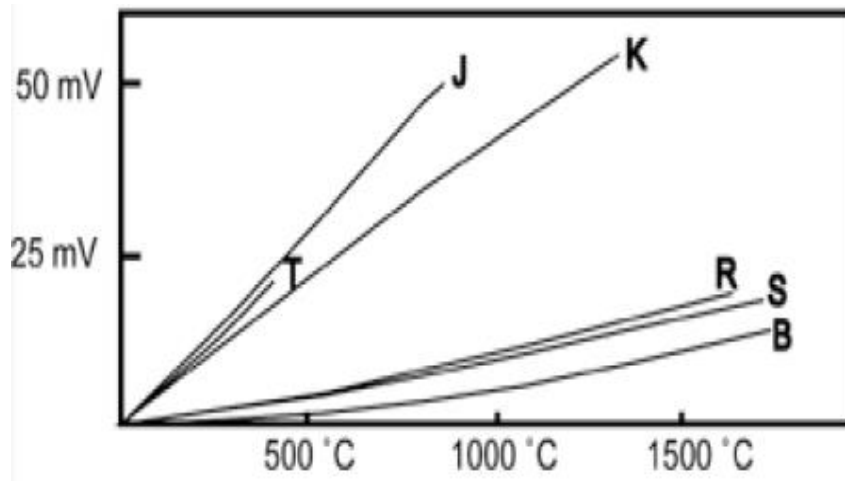
Figura 13. termocupla tipo s.



Fuente: Tomado de (ProElectronica).

Teniendo claro los distintos tipos de termocuplas se tienen se puede apreciar en la figura 14. Grafica de linealidad de las termocuplas, la linealidad que presentan cada una de ellas. (R. R. 2020).

Figura 14. Grafica de linealidad de las termocuplas.



Fuente: Tomada de (R. R. 2020).

A continuación, se mencionan algunas de las aplicaciones comunes de las termocuplas

- La termocupla Tipo J Se utilizan principalmente en las industrias del pastico, la goma y la fundición de metales de temperaturas bajas.
- Las termocuplas R, S, y B se utilizan exclusivamente en la fundición de acero.
- Los tipos T se utilizaban en la industria de alimentos se fueron reemplazando por las PT100.
- El tipo K se utilizan en horno, fundición de cobre y aplicaciones que no superen los 1300 °C.

4.3.2 SENSORES PT100

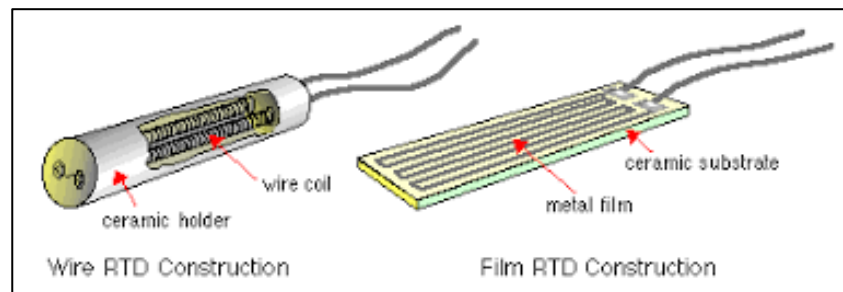
Los dispositivos Pt100 son detectores de temperatura RTD (detector de temperatura por resistencia). Teniendo como características importantes que están fabricados con platino, tienen una resistencia nominal de 100 ohmios si se exponen a una temperatura de cero grados centígrados. Conociendo que se tiene una serie de dispositivos que tienen relación de temperatura con su nombre, por

ejemplo, la Pt500, esta tiene una resistencia de quinientos ohmios a cero grados centígrados, una sonda Pt1000 tiene mil ohmios a cero grados centígrados. Los sensores Pt100 suelen estar diseñados normalmente en algún tipo de funda protectora con el fin de ser un dispositivo robusto y se conocen normalmente como sonda PT100 de platino. (Juan J. Abache L. 2016)

Estructura y funcionamiento

La parte de la bobina de las PT100 pueden presentarse de dos formas, en cinta de platino o en forma de hilo como se ilustra en la Figura 15, siendo ambos sensibles a la temperatura, está siempre va encapsulada en un soporte de vidrio o en ocasiones cerámico. Normalmente Las puntas del dispositivo están unidos a la parte resistiva de forma que soporten altas vibraciones. En el caso de las PT100, las bobinas se identifican por la medida diferente de sus terminales. El principio fundamental de las PT100 es la variación o modificación de su resistencia eléctrica nominal, que varía proporcionalmente a la temperatura del ambiente al que están expuestas. Como su estructura es alargada, la PT100 recoge todo el valor medio de la temperatura censada a lo largo de su estructura. (Juan J. Abache L. 2016)

Figura 15. Estructura de una PT100.



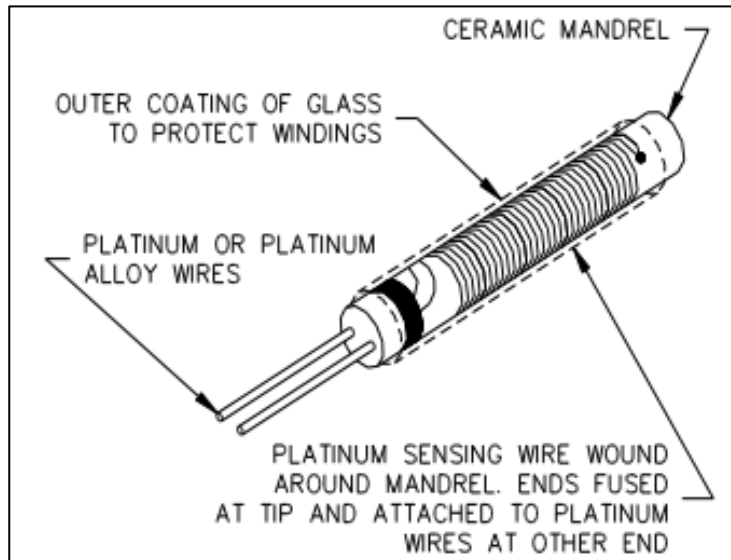
Fuente: Tomada de (icytsa).

Pt100 de alambre enrollado.

Los Pt100 de alambre enrollado mostrada y definida en la Figura 16, se observa que tienen una longitud considerable de alambre de platino enrollado sobre un núcleo de vidrio o cerámica. Estos dispositivos son normalmente de uno a 5 milímetros de diámetro y de entre diez a cincuenta milímetros de longitud. Su núcleo vidrio o cerámica puede verse frágil o susceptible a la vibración por esto

generalmente vienen protegidos dentro de una funda formando una sonda de uso práctico. (Full service Paraná. 2015).

Figura 16. PT100 de alambre enrollado.

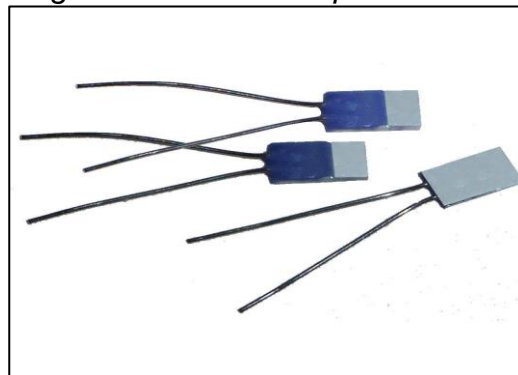


Fuente: Tomada de (Full service Paraná. 2015).

Pt100 de película fina.

Los sensores Pt100 de película fina, Figura 17, son fabricados con materiales y procesos usados también en la fabricación de circuitos. Generalmente cuentan con una película de platino que se reposa sobre un sustrato cerámico encapsulado. Con este método se logra producir sensores pequeños, precisos, estables y de respuesta rápida. (Direct Industry. 2016).

Figura 17. PT100 de película fina.

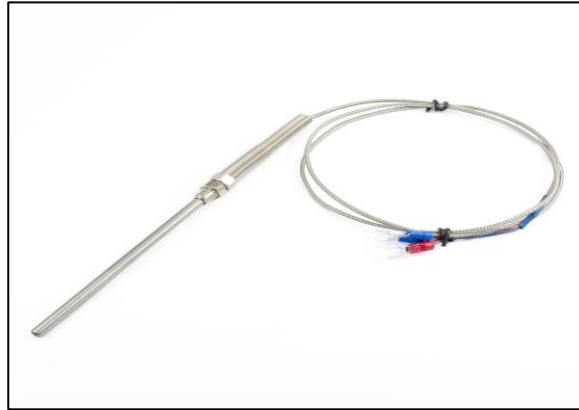


Fuente: tomada de (Direct Industry. 2016).

PT100.

Esta PT100 de 2 hilos tiene uno de los modos de conexión más sencillos que aparecen en la Figura 18, pero este no es el más recomendado ya que se hace con solo 2 cables. El fabricante resalta que este solo se recomienda para implementaciones donde el punto de medición no supere los 10 metros ya que se pueden generar pérdidas o atenuaciones de señal. (Naylamp Mechatronics).

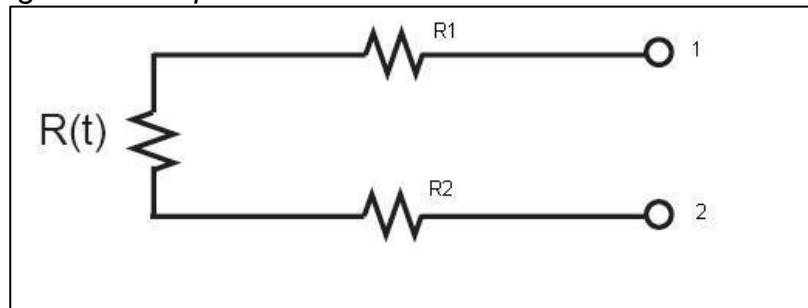
Figura 18. PT100 de 2 hilos.



Fuente: Tomada de (Naylamp Mechatronics).

Esta PT100 en particular, es la más utilizada en temas educativos y proyecto de baja escala, debido a su gran linealidad y su fácil manejo, los fabricantes de este tipo de termocuplas apuntan a hacer dispositivos muy amigables y eficaces como lo es (Naylamp Mecatronics). En la figura 19, representación resistiva de la PT100 de 2 hilos, se muestra la representación electrónica de la PT100 de 2 hilos.

Figura 19. Representación resistiva de la PT100 de 2 hilos.

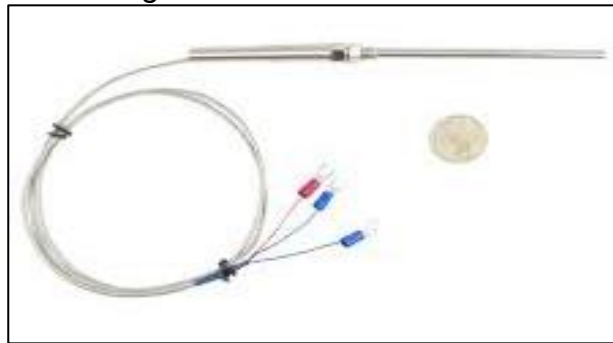


Fuente: Tomada de (Naylamp Mecatronics).

PT100 de 3 hilos

La PT100 de 3 hilos observada en la Figura 20, es el modo de conexión más utilizado en cuanto a procesos industriales, este tiene la ventaja de que resuelve los errores de medición generados por sus propios cables y disminuye el porcentaje de error, la única condición para emplear este dispositivo es que los 3 cables cuenten con la misma resistencia, esto se debe a que el sistema de medición en el que se basa es puente de Wheatstone. Claramente el sensor de temperatura tiene un tipo de conexión sencillo y los equipos industriales vienen preparados para que se les conecte la PT100 de 3 hilos. (Naylamp Mecatronics).

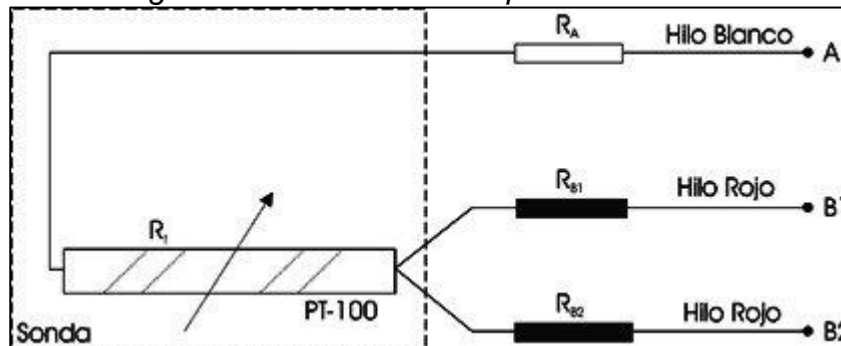
Figura 20. Pt100 de 3 hilos.



Fuente: tomada de (Naylamp Mecatronics).

Esta PT100 en particular, Figura 21, tiene ventajas en comparación con la anterior, al tener 3 hilos de medición permite tener mayor precisión y alto rechazo al ruido en las medidas obtenidas a través de este dispositivo, también permite combinar sus modos de conexión para obtener distintos y mejores resultados en su implementación. (CONTAVAL. 2017).

Figura 21. Conexión de la pt100 de 3 hilos.



Fuente: Tomada de (CONTAVAL. 2017).

PT100 de 4 hilos

Este dispositivo de 4 hilos, Figura 22, es más preciso que los anteriormente descritos, y generalmente su implementación se da en laboratorios. Está a diferencia de la de 3 hilos, sus 4 hilos deben ser de distinta resistencia medida entre los terminales, la principal desventaja de este dispositivo es su elevado precio. (*DirectIndustry*).

Figura 22. PT100 de 4 hilos.

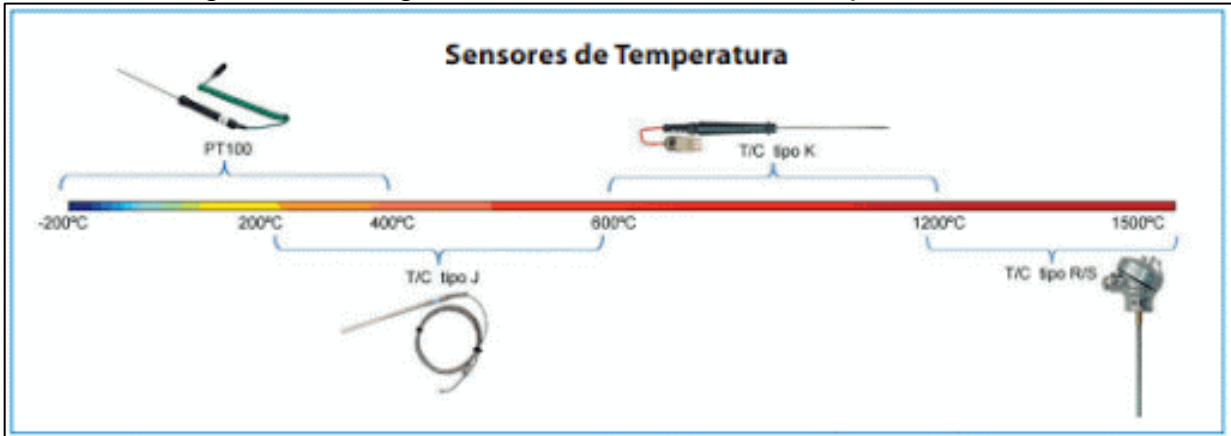


Fuente: Tomada de (*DirectIndustry*).

Ventajas de las sondas PT100

Estos dispositivos generalmente son mecánicamente no muy rígidos como las termocuplas y generalmente más costosos, estos se utilizan cuando los requerimientos son de temperaturas bajas entre los menos cien a los doscientos grados centígrados. Los sensores PT100 fácilmente logran entregar medidas con una precisión de 0.1 décima de grado, pero esta no se daña o descompone gradualmente teniendo como consecuencia mediciones erróneas, permitiendo así que el dispositivo medidor detecte fácil e inmediatamente fallas del sensor y genere una alerta dando aviso de las fallas. Estas características componen grandes ventajas donde una desviación normalmente no detectada la temperatura que podría producir algún daño grave. adicionalmente, la PT100 logra manejar grandes distancias entre la ubicación del sensor y el punto medidor utilizando cable de cobre convencional en el trayecto distante. Solo con una conexión optima se puede minimizar notablemente las atenuaciones o perdidas de datos de la señal medid. (SRC.2017)

Figura 23. Rangos de medición de distintos dispositivos.



Fuente: Tomada de (ElectroIndustria).

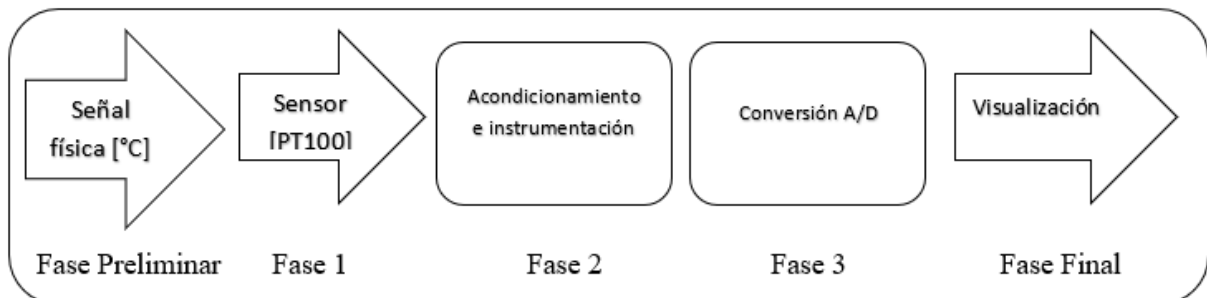
En base a toda la información plasmada se determina por utilizar como sensor de medición de la variable temperatura la PT100 de 3 hilos, resaltando sus características en la Figura 20 y 21, adicional a que al realizar la comparación con las termocuplas como se ilustra en la Figura 23, esta RTD aplica y muestra un rango de medición óptimo para los requerimientos de medición fijados para la planta piloto.

5. Diseño del módulo de adquisición de datos de temperatura.

5.1 Procedimiento para el diseño del módulo de adquisición de datos.

Para realizar un prototipo capaz de realizar mediciones de temperatura de alta escala se hace necesario estudiar los distintos dispositivos mencionados anteriormente, dando como opción más viable la PT100 de 3 hilos, por sus características de medición y bajo porcentaje de error. Para lograr mediciones precisas se hace necesario utilizar un amplificador de instrumentación al cual se le hace la respectiva caracterización y pruebas de desempeño mostradas a continuación.

Figura 24. Diagrama del Proceso planteado.



Fuente: Autor.

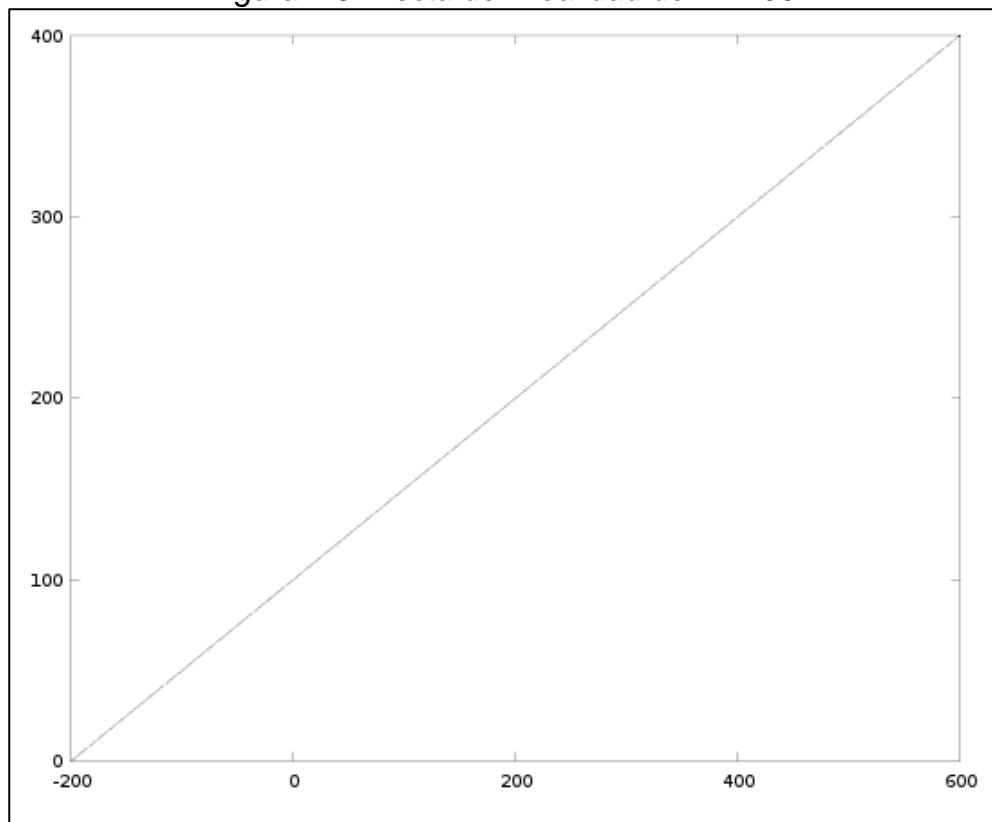
5.2.1 Rango de temperatura de una PT100 y linealidad

En el mundo de las PT100, Existen varios tipos o clases de dispositivos, las PT100 clase A funcionan de forma correcta en ambientes donde los rangos de temperatura no superen los menos cincuenta hasta los quinientos grados centígrados, las de tipo B tienen un rango de medición entre los menos doscientos a los ochocientos grados centígrados. Las desventajas de las PT100 tipo B es que al aumentar el rango de operación pierden precisión de medida casi en un tres por

ciento por grado. Realmente, con una PT100 se pueden cubrir un poco más de rango que con una NTC (Termistores de coeficiente de temperatura negativo), por tanto, los rangos de medición no solo son el único parámetro que aporta para optar por estos dispositivos a la hora de necesitar medir la temperatura.

En cuanto a la linealidad, es necesario resaltar que este es uno de los ejes principales que llevan a fijar una PT100 frente a una NTC u otro tipo de sensor. En la electrónica tradicional el hecho de que un transductor sea lineal implica que la función de transferencia del dispositivo tienda a tener sus márgenes de error en cero. En otras palabras, cuando se genera una variación de la temperatura, casi que al instante se obtiene una variación proporcional de la resistencia, en la figura 25, recta de calibración de la PT10 se puede apreciar la curva de calibración característica de la PT100. En el eje Y tenemos la temperatura y en el eje X la variación de la resistencia entre los terminales de la PT100. (Gómez, E. 2010).

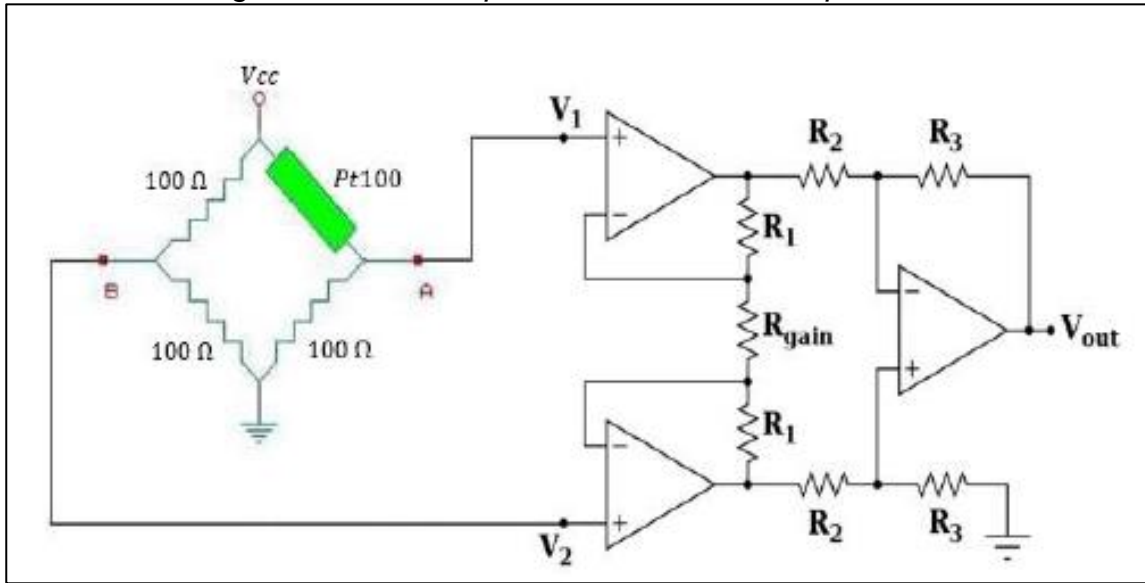
Figura 25. Recta de linealidad del PT100.



Fuente: (Pallas Areny. R.).

5.2.2 Caracterización de la PT100 y pruebas preliminares

Figura 26. Circuito para la medición de temperatura.



Fuente: Tomada de (Pallas Areny. R.).

En la figura 26, Circuito para la medición de temperatura. Se realizan pruebas de laboratorio en dicho circuito para caracterizar y observar la linealidad de este sensor en conjunto con el circuito realizado, para ello se fijan los siguientes valores de resistencias y se varia la temperatura para analizar la salida correspondiente.

$$R1=10\text{ k}, R_{\text{gain}}=2\text{ k}, R2=1\text{ k}, R3=10\text{ k},$$

Se alimentó el puente de Wheatstone con 1 V. al variar la temperatura en el Pt100 se obtienen los valores mostrados en la Tabla 7, relación entre temperatura y voltaje de salida que gráficamente se ilustran en la Figura 27, caracterización de la PT100.

Tabla 7. Relación entre temperatura y voltaje de salida.

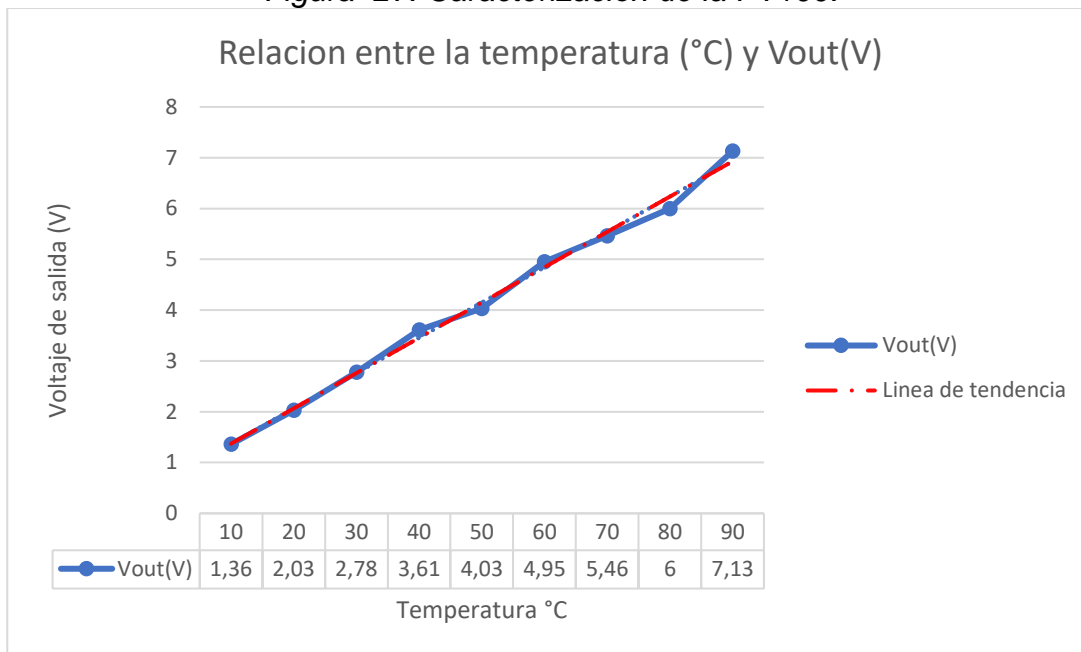
Temperatura (°C)	Vout (V)
10	1,36
20	2,03

30	2,78
40	3,61
50	4,03
60	4,95
70	5,46
80	6
90	7,13

Fuente Autor.

Obtenidos los datos de caracterización del sensor se observa una tendencia lineal que reitera la eficiencia propia de la PT100 y que brinda al sistema la seguridad de que al llevarlo a la práctica para cumplir con los requerimientos fijados y adicionalmente va a presentar un comportamiento aceptable frente a los otros dispositivos. Para observar este comportamiento con mayor claridad se tiene la Figura 27

Figura 27. Caracterización de la PT100.



Fuente: Autor.

En la Figura 27, Caracterización de la PT100, se tienen 2 líneas, la primera de color azul representa los valores del sensor caracterizada en conjunto con su circuito de acondicionamiento donde se aprecia una mínima variación y un margen de error pequeño pero que no distorsiona su notable linealidad característica, también deja claro que entre mayor sea la temperatura esta tiende a variar más su respuesta y deja en evidencia el ruido mínimo que es agregado a la lectura de la misma; de color rojo se tiene la línea de tendencia respectiva esta se grafica con el objetivo principal de afirmar la linealidad del dispositivo y posteriormente servirá para representar y estimar los porcentajes de error que presenta este sistema.

5.2.3 Circuito de acondicionamiento pt100.

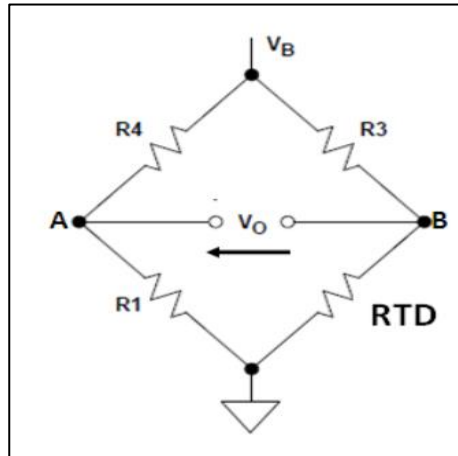
Naturalmente, el circuito de acondicionamiento es aquel al que se conecta el sensor siendo este el circuito que se necesita para lograr obtener una lectura clara del sensor. La PT100 se ubica en el grupo conocido como transductores de señal pequeña, pero, el hecho de que tenga esta denominación genera que al tener una variación de temperatura pequeña genera una variación igualmente pequeña en el valor resistivo de salida. Al utilizar un divisor de voltaje para lograr convertir la medición resistiva en voltaje se presenta un problema. A la salida de este divisor resistivo el voltaje estaría formado por dos componentes, la componente asociada al valor de temperatura y a sus variaciones y una segunda componente constante. Esta segunda componente no aporta nada a la lectura de temperatura. (Gómez, E. 2010).

Amplificando la salida del divisor de voltaje se aplica una ganancia sobre los componentes asociados a la temperatura. Esta situación es problema ya que se puede saturar el amplificador y las etapas siguientes con valores constantes de voltaje. por tanto, es conveniente borrar la componente constante.

5.2.3.1 Fase 1, Puente Wheatstone

Para el circuito necesario en la implementación de estos sensores es el puente Wheatstone.

Figura 28. Esquema del puente de Wheatstone.



Fuente: Tomada de (N. Gonzales. 2018).

Al hacer la medición de voltaje diferencial entre los puntos A y B, se resta el valor de voltaje existente en B menos el de A. Esto elimina la componente constante mencionada anteriormente y facilitar la obtención a la salida de solo la parte real del voltaje generado por la variación de la temperatura. Posteriormente Para eliminar la componente continua del valor de tensión resultante, se debe equilibrar el puente, lo que significa fijar cuál será el valor de voltaje que se eliminará ya que este va a ser el voltaje medido en el punto B del puente. (Gómez, E. 2010).

En la Figura 29, Puente Wheatstone diseñado, se muestra la configuración realizada en la primera etapa, ya que el RTD PT100 presenta una resistencia característica de 100Ω ese sería el punto de referencia para hacer el balance en el puente de Wheatstone con las demás resistencias del mismo valor para que en temperatura de 0°C este esté equilibrado. Por lo tanto;

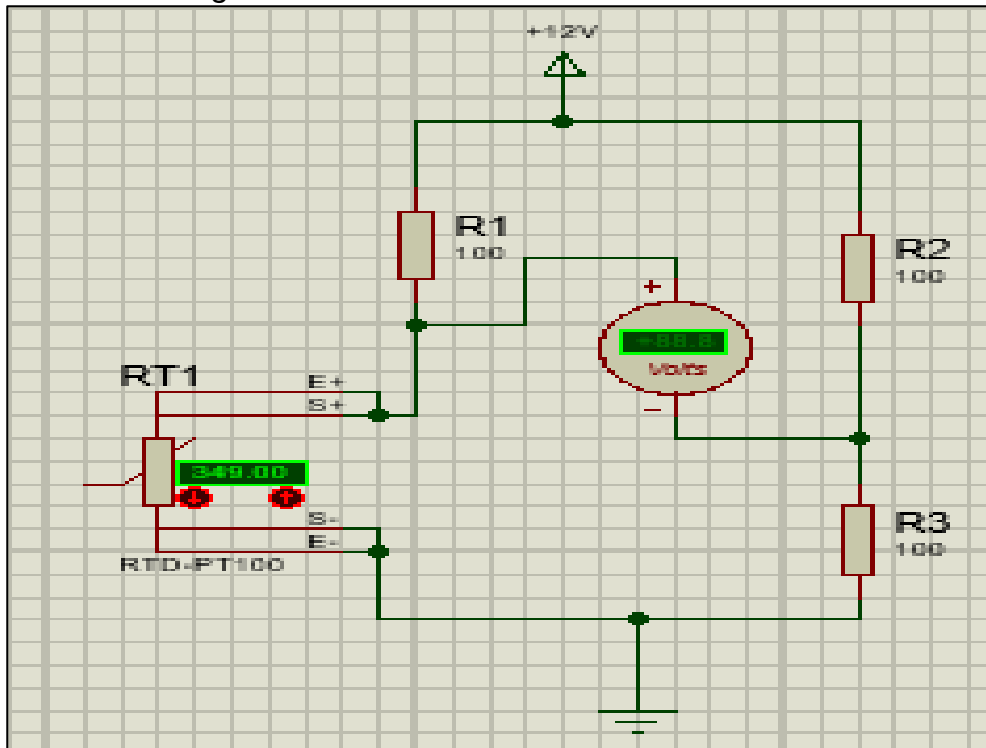
$$R_x = \frac{R1 * R2}{R4}$$

Ecuación 1. Resistencia para equilibrio del puente diseñado.

Si $R4=100 \Omega$; entonces:

R1=R2 100 Ω.

Figura 29. Puente de Wheatstone diseñado.



Fuente: Autor.

5.2.3.2 Fase 2, Condicionamiento e Instrumentación.

Posterior a esto se integra un amplificador de instrumentación, El amplificador de instrumentación se caracteriza por tener alta ganancia. principalmente se usa para aumentar la salida de voltaje de señales muy pequeñas en distintos procesos industriales, medición, adquisición de datos y aplicaciones médicas.

Para este diseño se tiene que R_g es el valor de la resistencia que determina la ganancia del amplificador teniendo las demás resistencias como valores constantes. Se tiene que:

$$R_g = \frac{V_1 * (2 * R_6)}{V_{out} - V_1}$$

Ecuación 2. Resistencia de ganancia.

En la Tabla 8 se ubican los demás valores establecidos y necesarios para este diseño.

Tabla 8. Parámetros Establecidos.

Parámetro	Valor	Observación
V1	2.55V	Valor que resulta de la salida del puente de Wheatstone a una temperatura de 400°C para fijar un margen de sobre pico en la medición ya que el valor de trabajo será 350°C.
R6=R8	100kΩ	Valores fijos que se determinan a criterio.
R4=R5=R9=R10	10kΩ	Valores fijos que se determinan a criterio.
Vout	4,5V	Valor menor al voltaje máximo permitido por los pines analógicos de entrada del arduino.

Fuente: Autor.

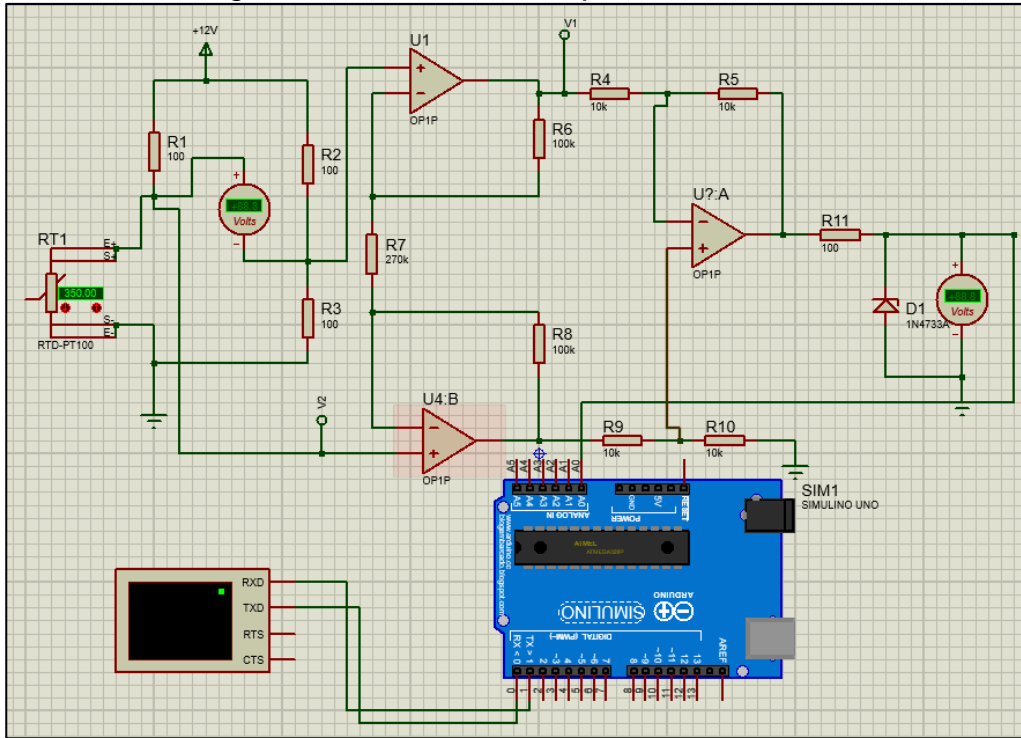
$$R_g = \frac{2,55V * (2 * 100k)}{4,5V - 2,55V} = 261.538,46 \approx 268k$$

Ecuación 3. Obtención de la Resistencia de Ganancia

En la figura 30, sistema de adquisición de datos, se muestra el esquema de condicionamiento para la medición de los grados centígrados presentes y variables en la planta piloto, con este circuito se garantiza un rango de medición amplio y una resolución baja. Posterior a este esquema, para realizar la adquisición de los datos y exportarlos a un entorno gráfico se agrega la tarjeta Arduino Uno, este sistema de adquisición de datos permite tomar señales físicas del entorno y convertirlas en datos que posteriormente podremos procesar y presentar. En ocasiones, el sistema de adquisición es parte de un circuito de

control, y por tanto la información recibida se procesa para obtener una serie de señales de control. Se presenta a continuación la estructura de un proceso de medición. (Shannon, R. J. J. D. 1976).

Figura 30. Sistema de Adquisición de datos.



Fuente: Autor.

5.2.3.3 Fase 3; Conversión análogo / digital

Primeramente, es conveniente definir que es cada tipo de señal y como se logra hacer la conversión de una a la otra, para ello se encontró que la conversión analogico-digital (CAD) se define como el método operacional que expresa la propiedad física de manera numérica. Solo se denominan magnitudes a determinados aspectos observables o medibles en un sistema físico que puedan llegar a ser expresados de forma numérica o que sean atributos medibles. Entre algunas de ellas se tiene la masa, la fuerza, el volumen, la velocidad, etc. Las magnitudes físicas varían en el tiempo de forma continua, como la temperatura, velocidad, etc., la diferencia es que estas se hacen difícil almacenar, manipular o comparar incluso recuperar la información, en cambio, si se tiene esta información de forma analógica y se convierte a digital, se logra manipular sin problema. (EcuRed 2005.)

El programa implementado en Arduino permite leer los datos enviados por el circuito en un rango de 0 a 4.7V siendo este el rango óptimo de voltaje permitido por el Arduino, esto en relación a la temperatura medida por la RTD que varía entre los 0 y 400°C, este valor es convertido y amplificado por código ya que se debe entregar un valor de grado centígrado por voltio recibido.

Figura 31. Código implementado en arduino.



```
PT100 Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
PT100
float Vin=0, Vc;           // Declaracion de Variables
const int PT100=A0;       //Puerto analogo utilizado A0
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  Vin= analogRead( PT100); //Lectura del valor analogo
  Vc= Vin*0.4142;         //Conversion del valor leido...
                          // ... a escala de temperatura.
  Serial.println(Vc);     //Envio del valor en °C
  delay(5);
}

Compilado
El Sketch usa 3194 bytes (9%) del espacio de almacenamiento de
Las variables Globales usan 208 bytes (10%) de la memoria dinám
13 Arduino/Genuino Uno en COM1
```

Fuente: Autor.

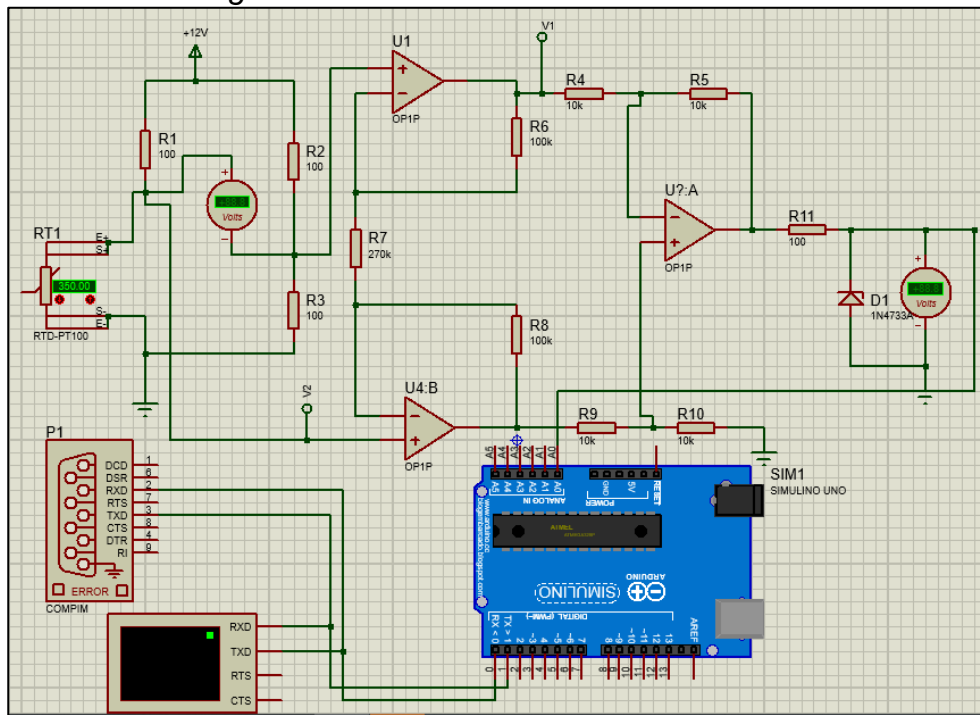
Con la implementación del código mostrado en la Figura 31, código implementado en arduino, es posible tener un valor de tipo análogo emitido por el circuito implementado de la PT100, se lee por uno de los puertos COM y posteriormente el procesamiento de la tarjeta Arduino en conjunto con la de la computadora y el

código, hacen un ajuste y conversión real y eficiente, para posteriormente ser manipulados los datos en la forma que sea necesaria.

Este programa es leído por el arduino simulado en Proteus el cual hace las veces de conversor análogo digital y exportador de datos a LabView que será el programa donde se realice la visualización grafica del valor medido.

Adicional a la lectura y conversión del valor se hace necesario hacer la conexión de los puertos seriales entre los dos programas para lograr establecer la comunicación necesaria, esto se logra agregando un bloque adicional de comunicación RS232 en la simulación que utilizara el COM1 virtual de la computadora.

Figura 32. Circuito simulado con Proteus.



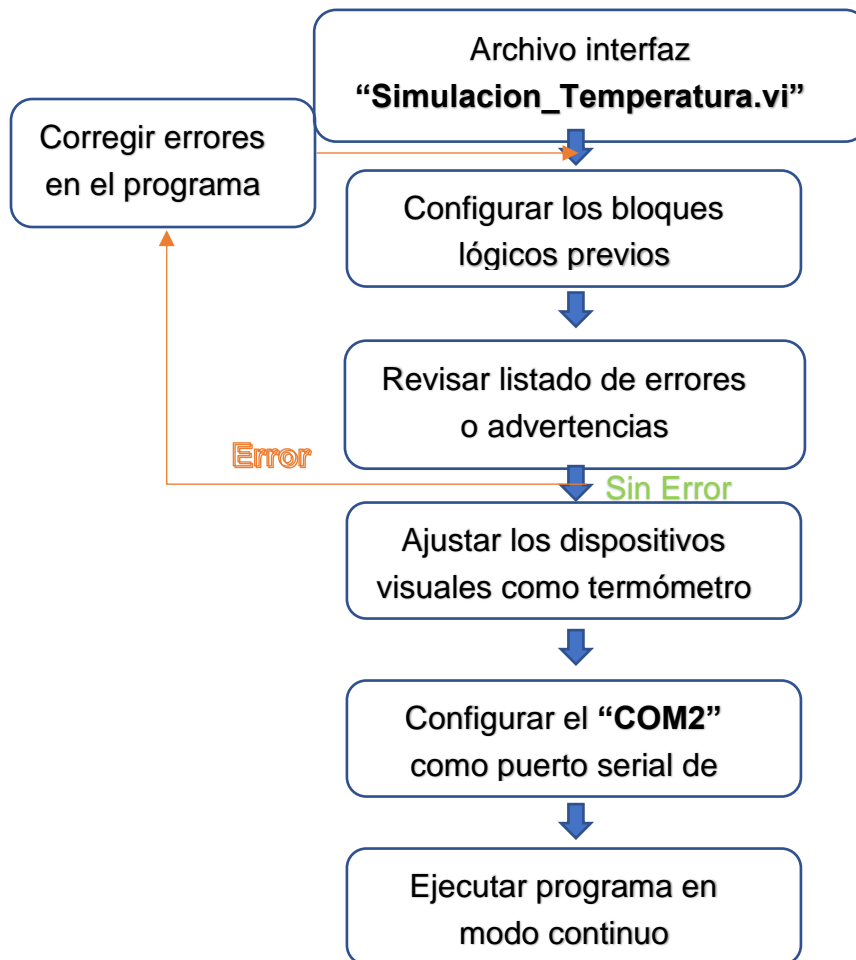
Fuente: Autor.

En la Figura 32 se ilustra el esquema total de la simulación realizada para la medición de la variable temperatura, donde se tiene las 3 etapas mencionadas anteriormente funcionando y acopladas al Arduino para hacer la respectiva conversión análogo digital.

5.2.3.4 Fase final; Visualización.

En esta sección se explicará el diseño de la interfaz de usuario implementado en LabView, el objetivo principal es realizar la simulación de temperatura mediante un control proporcional entre la temperatura medida por la Pt100 y su circuito de condicionamiento recibida por puerto serie y generada mediante el circuito analógico de instrumentación. La “National Instruments” desarrollo un entorno de diseño integrado especializado en ingeniería industrial y científica llamado LabVIEW. Presenta una particularidad que es basado en el lenguaje G (G por gráfico), creada por ellos mismos y además es enteramente gráfica. Es conveniente seguir un proceso determinado previamente al desarrollo del mismo ya que este entorno demanda mucha organización y la implementación de distintas ventanas y herramientas que el dispone, para ello en el esquema de la Figura 33, representa el proceso desarrollado para su realización.

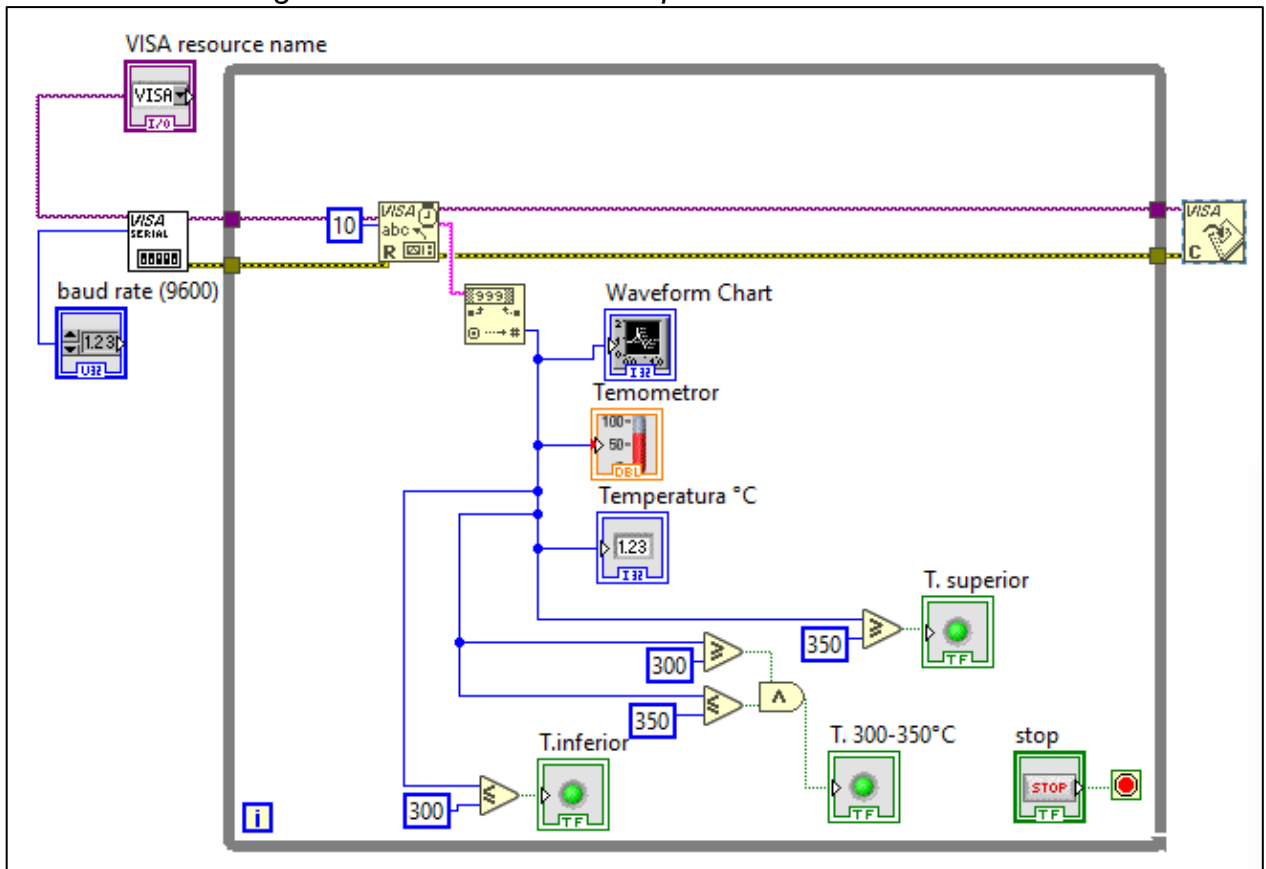
Figura 33. Diagrama de flujo previo a la implementación en LabVIEW.



Fuente: Autor.

Para este programa se hace necesario tener instalados distintos complementos adicionales que ayudan al correcto funcionamiento del mismo, entre estos están “Ni-Visa y Ni-Serial” el primero Permite hacer el enlace entre LabVIEW y Arduino mediante el puerto COM. Y el segundo establece un puerto serial virtual ya que este viene por defecto para detectar solo conexiones externas para la comunicación serial no para una virtual.

Figura 34. Estructura de bloques en LabVIEW.



Fuente: Autor.

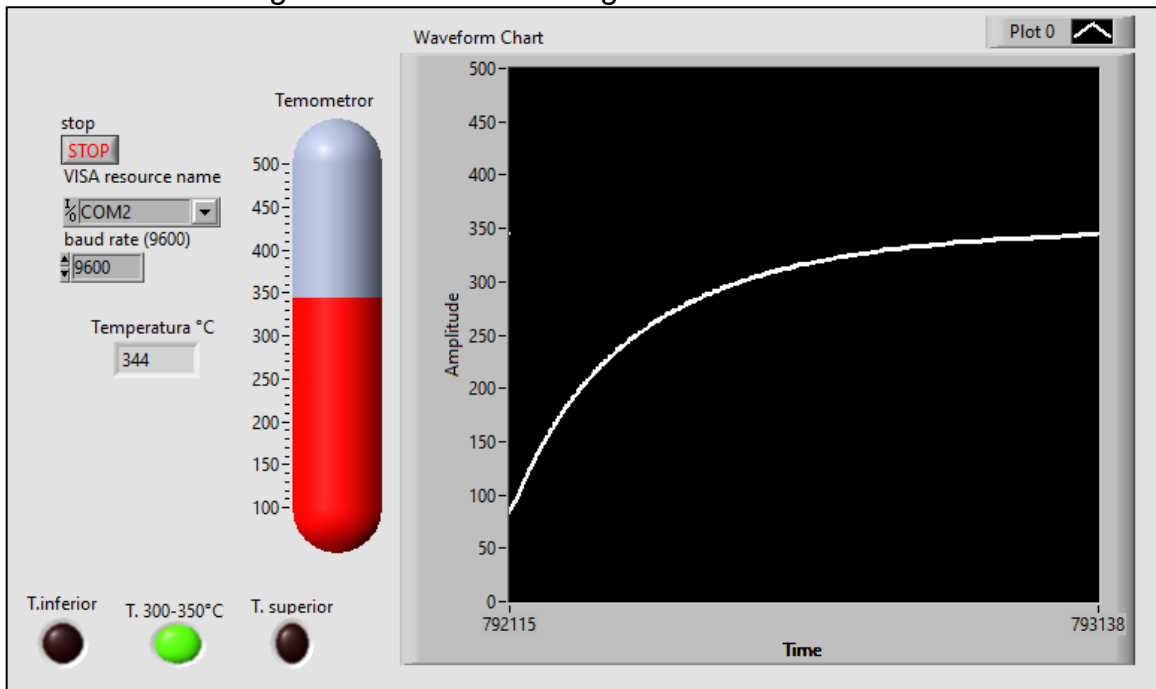
Los bloques principales encargados de realizar la comunicación entre arduino y LabVIEW serán los siguientes:

- **VISA SERIAL:** Permite el enlace entre LabVIEW y Arduino mediante el puerto COM. Inicializa el puerto serie especificado por el nombre del recurso VISA en la configuración especificada.

- VISA READ: Realiza la lectura y recepción de datos a través del monitor serial de arduino
- VISA WRITE: Escribe los datos del búfer de escritura en el dispositivo o interfaz especificado por el nombre del recurso VISA.
- VISA CLOSE: Finaliza la sesión de comunicación de información. Cierra una sesión de dispositivo u objeto de evento especificado por el nombre de recurso VISA.

Adicional a ellos se tienen bloques extras que se agregan para dar espacios ventanas gráficas, condiciones e indicadores dando cuerpo a la ventana gráfica donde se representan los valores obtenidos.

Figura 35. Visualización grafica de la medición.



Fuente: Autor.

5.2.3.4 Manejo y comprobación de interfaz gráfica

Esta interfaz de usuario está diseñada para que su manejo sea fácil ágil e intuitivo, en la Figura 35, Visualización grafica de la medición, se muestra un ejemplo de simulación claro y real ya que este se encuentra graficando en tiempo real. Allí se observan los bloques de configuración del puerto (COM2) y de la velocidad establecida para la simulación (9600 baut rate) esta velocidad debe ser la misma

en los 2 programas. Adicionalmente se tiene un termómetro, un cuadro de valores donde se muestra la temperatura instantánea.

El recuadro de color negro llamado Waveform Chart es donde se grafican los valores obtenidos a lo largo de la simulación; se observa que el sistema tiene una variación constante anterior a la estabilización del sistema, esta estabilización ocurre en un tiempo considerable, el sistema pasa de 85°C a 350°C en aproximadamente 10 segundos, esto es debido a los tiempos de retardo característicos de cada programa adicionales a los agregados por Proteus en la variación de temperatura en la PT100 al momento de simularse en conjunto con el puente de Wheatstone y el amplificador de instrumentación.

Adicional a ello en la parte inferior izquierda se tiene 3 indicadores luminosos que identifican 3 parámetros importantes a la hora de realizar una implementación correspondiente, el primer indicador de color rojo, indica cuando el valor de la temperatura es inferior a 300°C, recordando que el sistema trabaja a 350°C, el segundo indicador indica si la temperatura está en un rango entre 300°C y 350°C y por último el siguiente indica si el valor de la temperatura es superior a 350°C esto se agrega con el fin de dar al operario una alerta lumínica y de bloque instantáneo en caso de no tener la temperatura óptima para realizar el proceso requerido, solo la planta piloto funcionaria cuando el indicador del centro de color verde este activado.

Al tener una respuesta que se estabiliza en el valor requerido, pero en un tiempo considerable, se hace necesario realizar un controlador que permita obtener una estabilización en un tiempo más corto y con mayor precisión.

5.2.4 Diseño de controlador en MatLab

Dentro de la electrónica, un área importante es la teoría de control, en la cual es posible utilizar nuevas herramientas que permitan una implementación rápida y efectiva, características que demanda el mercado actual. Esto se puede lograr empleando Matlab y Simulink, que permiten realizar la simulación y obtener los parámetros del controlador; por otra parte, LabView facilita la implementación del controlador PID y una interfaz que muestre las variaciones de temperatura del sistema y la señal aplicada al actuador.

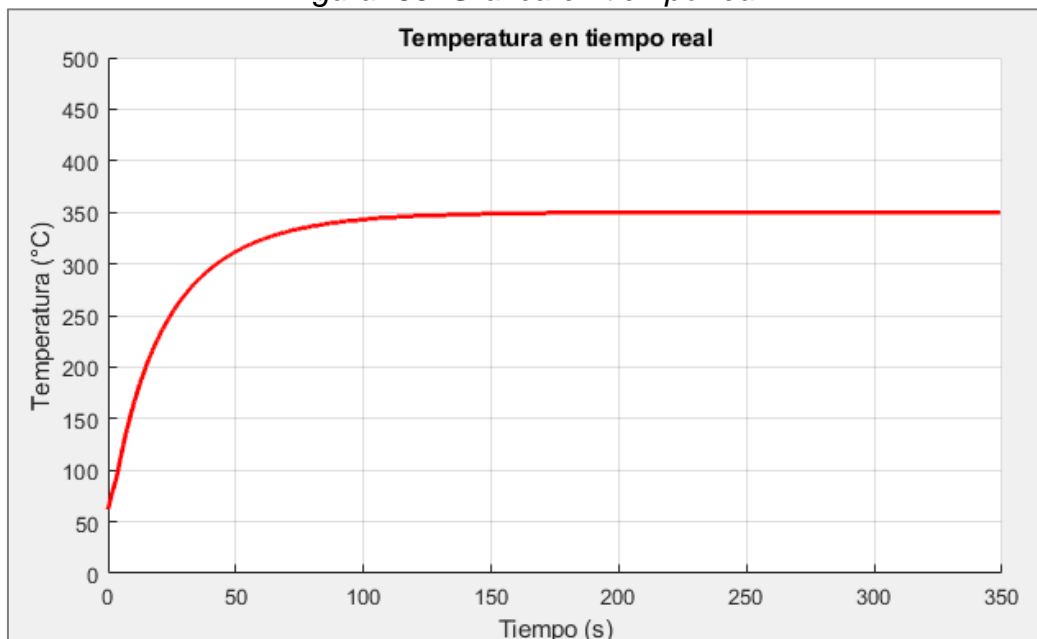
El proceso de diseño de un sistema de control involucra las siguientes tareas: obtener la función de transferencia del sistema a controlar; determinar la

estabilidad, y seleccionar el controlador que cumple con los requerimientos del sistema, finalmente determinar los mejores parámetros para el controlador seleccionado. Durante todo este proceso es posible emplear herramientas de cómputo como la caja de herramientas de control de Matlab y Simulink. La teoría de control permite utilizar nuevas herramientas que logren una implementación rápida y efectiva, características que demanda el mercado actual. Esto se puede lograr empleando MatLab, que permite realizar la simulación y obtener los parámetros del controlador; El proceso de diseño de un sistema de control involucra las siguientes tareas: obtener la función de transferencia del sistema a controlar; determinar la estabilidad, y seleccionar el controlador que cumple con los requerimientos del sistema, finalmente determinar los mejores parámetros para el controlador seleccionado. El proceso para la obtención del controlador se detalla a continuación.

5.2.4.1 Adquisición de datos.

Teniendo la simulación en Proteus se hace el enlace directo con MatLab para generar la gráfica respectiva del sistema, esto se hace configurando los puertos COM virtuales en ambos programas, logrando así tener unos datos precisos e instantáneos para posteriormente generar la función de transferencia.

Figura 36. Grafica en tiempo real.



Fuente Autor.

En la figura 36. Grafica en tiempo real. Se grafican los datos en tiempo real arrojados por la simulación de la PT100, el objetivo principal es tener estos datos en un vector de MatLab para posteriormente generar la ecuación de transferencia del sistema y posteriormente generar el controlador.

Mediante el método experimental se aplica una excitación escalón a la entrada y se obtiene la respuesta del sistema a lazo abierto. Es decir, se aplica una señal de voltaje cuadrada a la entrada y a la salida se obtiene un voltaje que es proporcional a la temperatura ($1V/10^{\circ}C$).

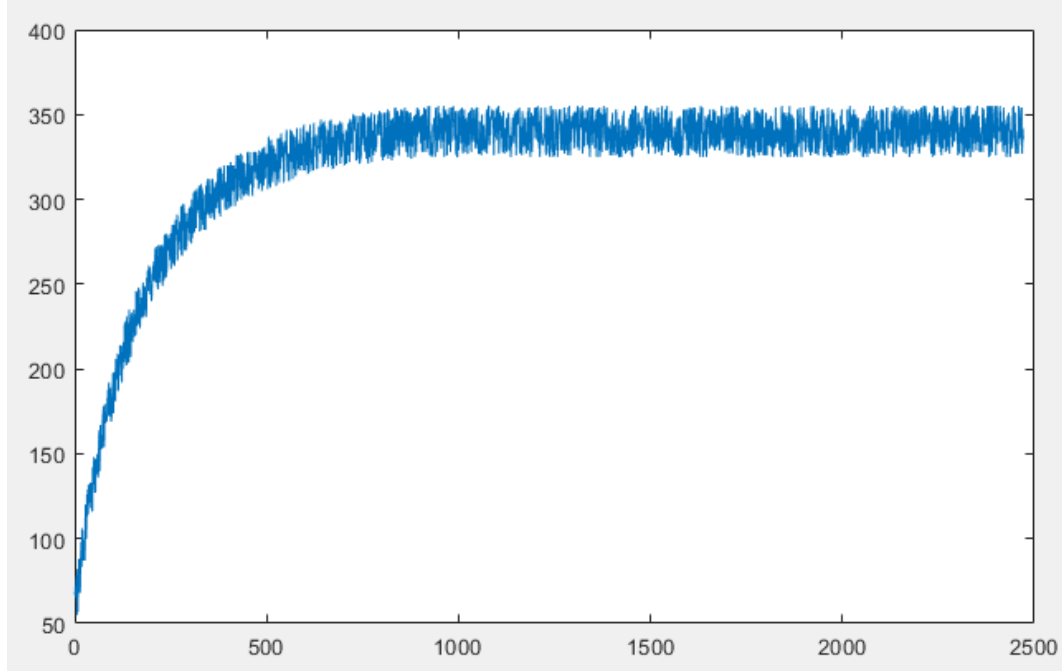
5.2.4.2 Simulación de condiciones reales y adición de ruido.

Al realizar la identificación del sistema y tener todos los datos ideales ya que proviene de un diseño basado en simulaciones se hace necesario tener en cuenta las perturbaciones propias y externas del sistema, para ello se agrega ruido aleatorio que representa los posibles eventos inesperados que se podrían presentar en la planta piloto. Este ruido se genera agregando al vector de datos obtenido en MatLab, una serie de valores aleatorios que sumados con los valores reales del sistema acercan el comportamiento grafico simulado a un entorno real.

Los errores externos en la lectura real del dispositivo de medida adaptado al sensor normalmente presentan fallas, sea el dispositivo de medida o sea el contador registrador de gráficas pueden tener errores dependiendo de distintos factores como la calibración de las linealidades y de la temperatura. Estos errores se pueden reducir mediante calibración del dispositivo externo a la lectura en relación con las referencias conocidas calibración del conjunto sensor el sistema externo de la lectura usando una temperatura de referencia o frente a un termómetro de precisión.

Los efectos de temperatura sobre el dispositivo de lectura externo puede ser una fuente de error sutil es recomendable que se lleve a cabo una prueba donde la temperatura del sensor, esté bloqueada de forma constante por el dispositivo de lectura externo se coloque en un horno o congelador esto es particularmente importante para los dispositivos de lectura externos del termopar o RTD, pues su funcionamiento se puede ver afectado considerablemente por los gradientes de temperatura y la calidad de la detección interna de la Unión de referencia. En la Figura 37. Simulación de perturbaciones del sistema. Se muestra la gráfica resultante a la adición de ruido o perturbaciones aleatorias. (Lopez W., Moyón N., 2011.)

Figura 37. Simulación de perturbaciones del sistema.



Fuente Autor.

Disponiendo de los valores obtenidos es posible realizar una aproximación más real o cercana a condiciones de funcionamiento de la planta piloto en marcha.

5.2.4.3 Identificación de la Función de transferencia

Posteriormente se aplica una excitación escalón a la entrada y se obtiene la respuesta del sistema a lazo abierto. Es decir, se aplica una señal de voltaje cuadrada a la entrada y a la salida se obtiene un voltaje que es proporcional a la temperatura. Después de obtener los datos simulados es necesario aproximarlos a una función. Mediante la identificación del sistema se determinó que este sistema es de primer orden y no tiene tiempo de retardo (Katshiko Ogata. 1998).

Contando con los datos en un vector se procede a generar la linealización y aproximación de la curva mediante Ident, complemento de Matlab que permite realizar la identificación de sistemas.

Para este sistema de primer orden, se empleó un método que consiste en medir tiempos y voltajes. Los tiempos a medir son:

- T_{63} : que se obtiene cuando la señal de salida alcanza un 63% de su valor final.
- T_i : es el tiempo al cual se aplica la señal de entrada.
- T_d el retardo obtenido en la señal de salida. Se miden los voltajes de salida final e inicial (y_f , y_i) y los de entrada final e inicial (r_f , r_i), como se ilustra en la Figura 42, método para definir la ecuación del sistema. (William J. P. 2000)

Conociendo estos valores la función de transferencia en lazo abierto del sistema se aproxima con la siguiente ecuación:

$$G(s) = \frac{Ke^{-sT}}{\tau s + 1}$$

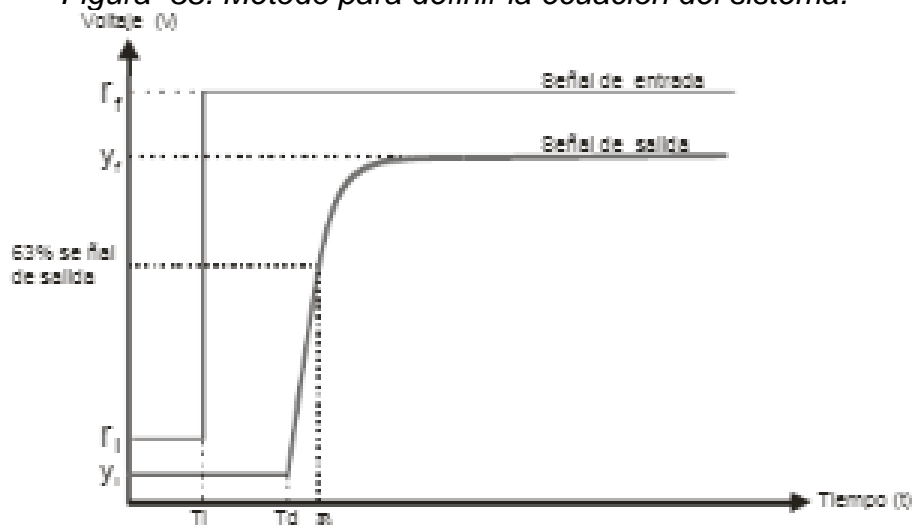
Ecuación 4. Ecuación de la función de transferencia.

Donde;

$$K = \frac{y_f - y_i}{r_f - r_i}, \quad \tau = T_{63} - T_d \quad \text{y} \quad T = T_d - T_i$$

Ecuación 5. Constantes K y tiempos.

Figura 38. Método para definir la ecuación del sistema.



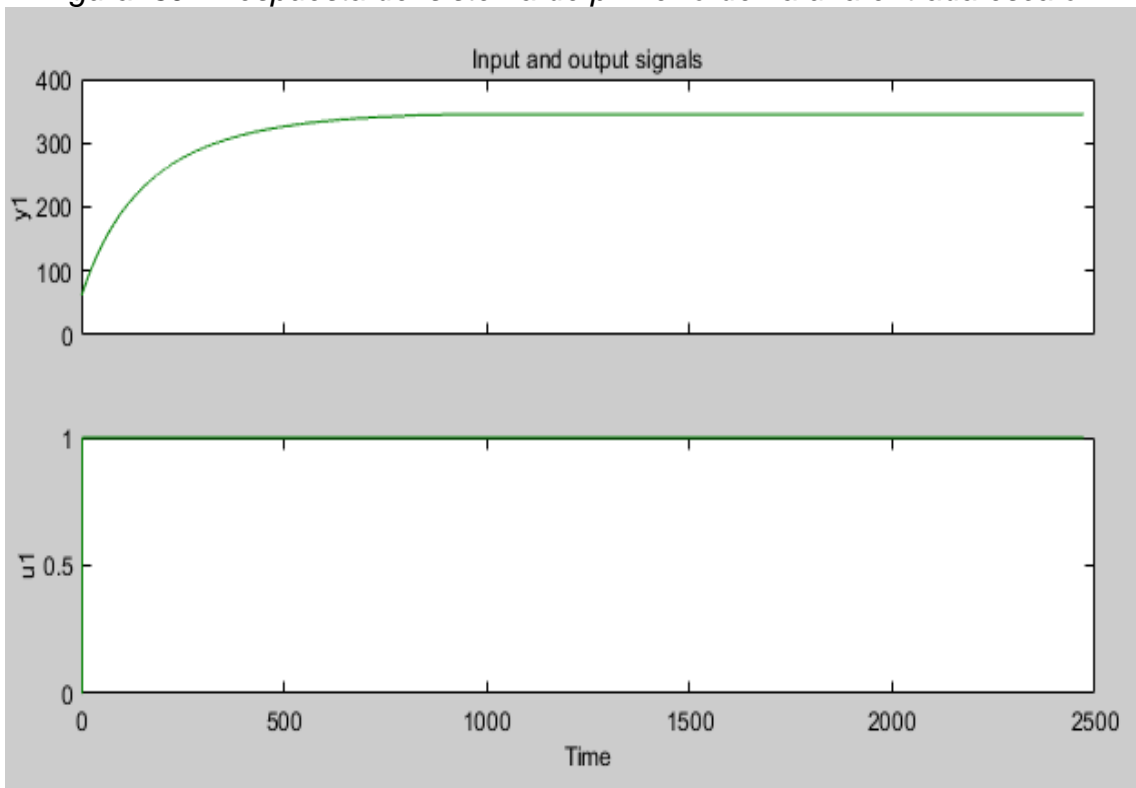
Fuente: Tomada de (Chapra, Canale 2005).

Para realizar la identificación de la ecuación se toman los valores obtenidos, se linealizan y se realiza la gráfica ideal de los datos para obtener una ecuación óptima. En la figura 40, Respuesta del sistema de primer orden a una entrada escalón, se deja en evidencia el comportamiento del sistema ideal en respuesta a un escalón. Al aplicar la función Ident de Matlab se llega a la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{340.2}{181.2s + 1}$$

Ecuación 6. Función de transferencia del sistema.

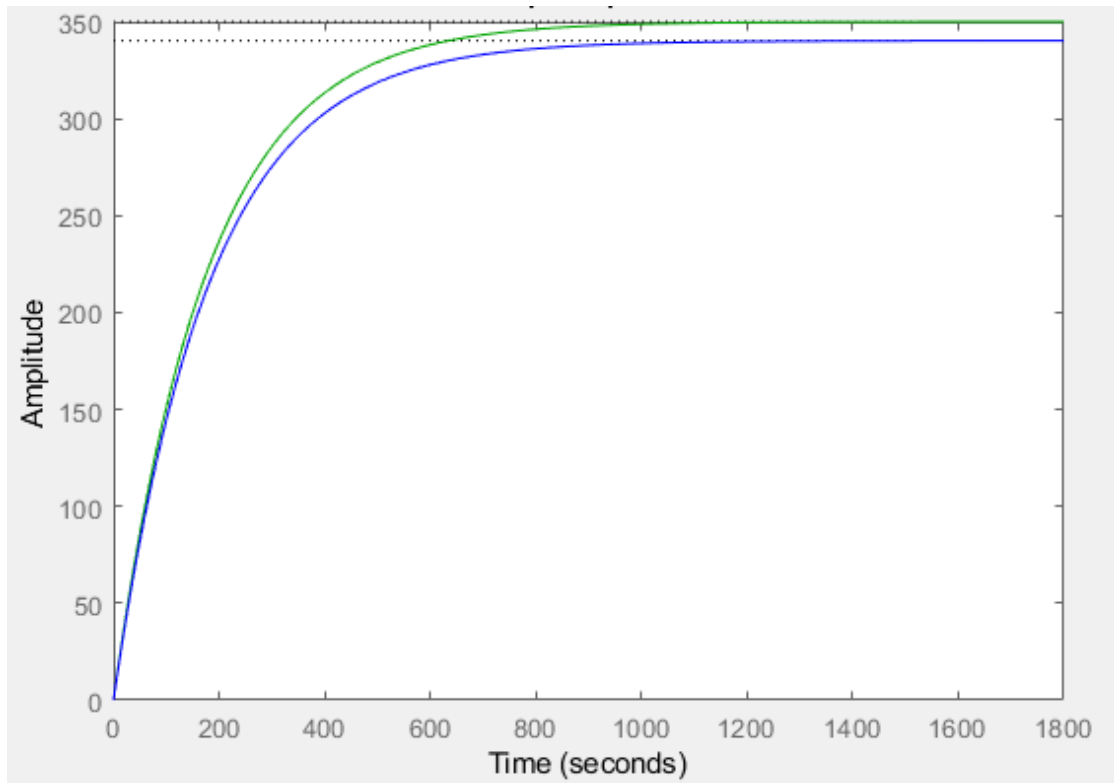
Figura 39. Respuesta del sistema de primer orden a una entrada escalón.



Fuente: Autor.

Obteniendo estos valores se procede a graficar las 2 funciones simultáneamente para visualizar gráficamente las similitudes entre los datos simulados y los generados por la función de transferencia.

Figura 40. Grafica de datos simulados y datos linealizados.



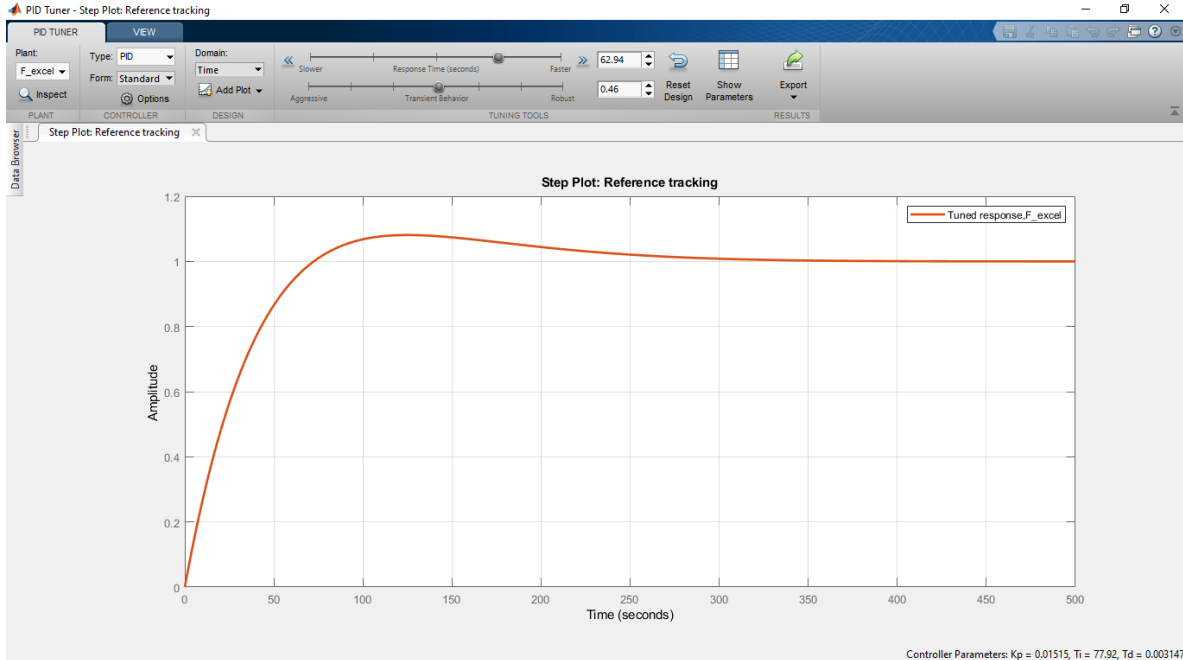
Fuente: Autor.

1. Sintonización del controlador.

Para encontrar las constantes K_p , K_i y K_d se hace empleando el método de Ziegler-Nichols y la herramienta de Matlab PID Tune, con esta herramienta es posible encontrar los valores óptimos para el controlador.

Los controladores electrónicos son herramientas electrónicas que permiten hacer más eficiente la respuesta de un sistema, con la Extensión de PID Tune de MatLab es posible encontrar los parámetros apropiados para el controlador buscado, basta con incluir la función de transferencia a la cual se busca hacer la sintonización y el programa genera los coeficientes, también es posible ajustar si se busca que el sistema responda en determinado tiempo, el sobre paso máximo, y la ganancia necesaria en los sistemas específicos. En la figura 40. Se observa la respuesta controlada del sistema.

Figura 41. Sintonización del controlador.



Fuente: Autor.

En la figura 41, se muestra gráficamente el controlador óptimo correspondiente al sistema, este controlador presenta características particulares ya que para responder en un menor tiempo agrega un sobrepaso máximo al valor de estabilización, este valor es menos del 3.5% del valor de estabilización requerido y por tanto el controlador no altera el funcionamiento del sistema.

Las constantes obtenidas para este controlador fueron:

Tabla 9. Constantes del controlador obtenidas

Constante	Valor
K_p	0.0152
K_i	0
K_d	0
T_i	77.9s

Td	0.00315
----	---------

Fuente: Autor.

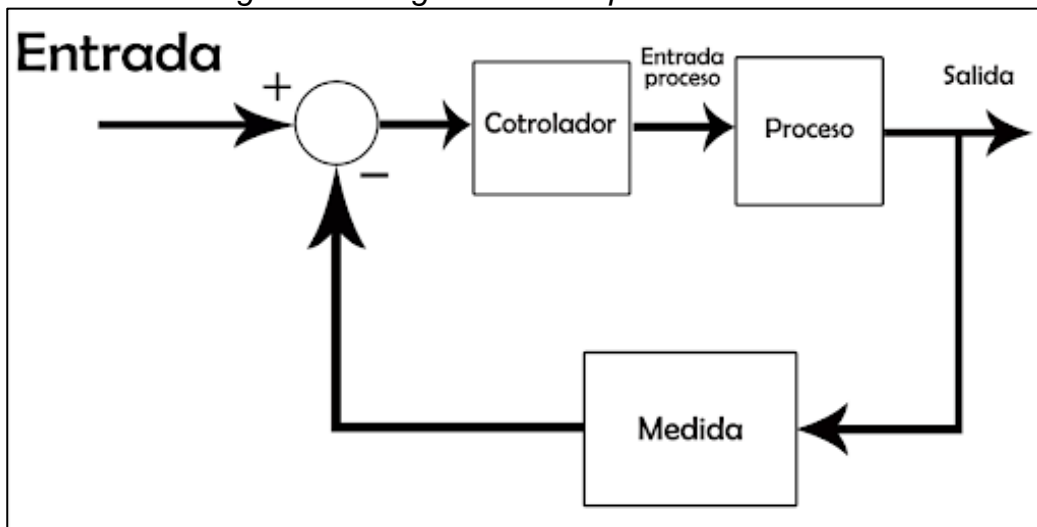
Encontradas todas las constantes necesarias para definir el comportamiento y la ecuación del controlador PID ya es posible acercarse a la ecuación propia del controlador, siendo esta ecuación la siguiente:

$$F_c = \frac{s}{0.00004769s^2 + 0.01515s + 0.0001945}$$

Ecuación 7. Función del controlador.

Finalmente, teniendo las ecuaciones tanto del sistema como la del controlador, es posible hacer un análisis general de la respuesta del sistema y la respuesta generada posterior a la implementación del controlador. Mediante la herramienta Simulink de MatLab es posible hacer una representación gráfica de las respuestas tratadas. Al integrar el sistema completo, planta, controlador se observa un comportamiento muy alentador y optimo, ya que el sistema muestra un tiempo de estabilización muy rápido acorde a lo esperado para el sistema.

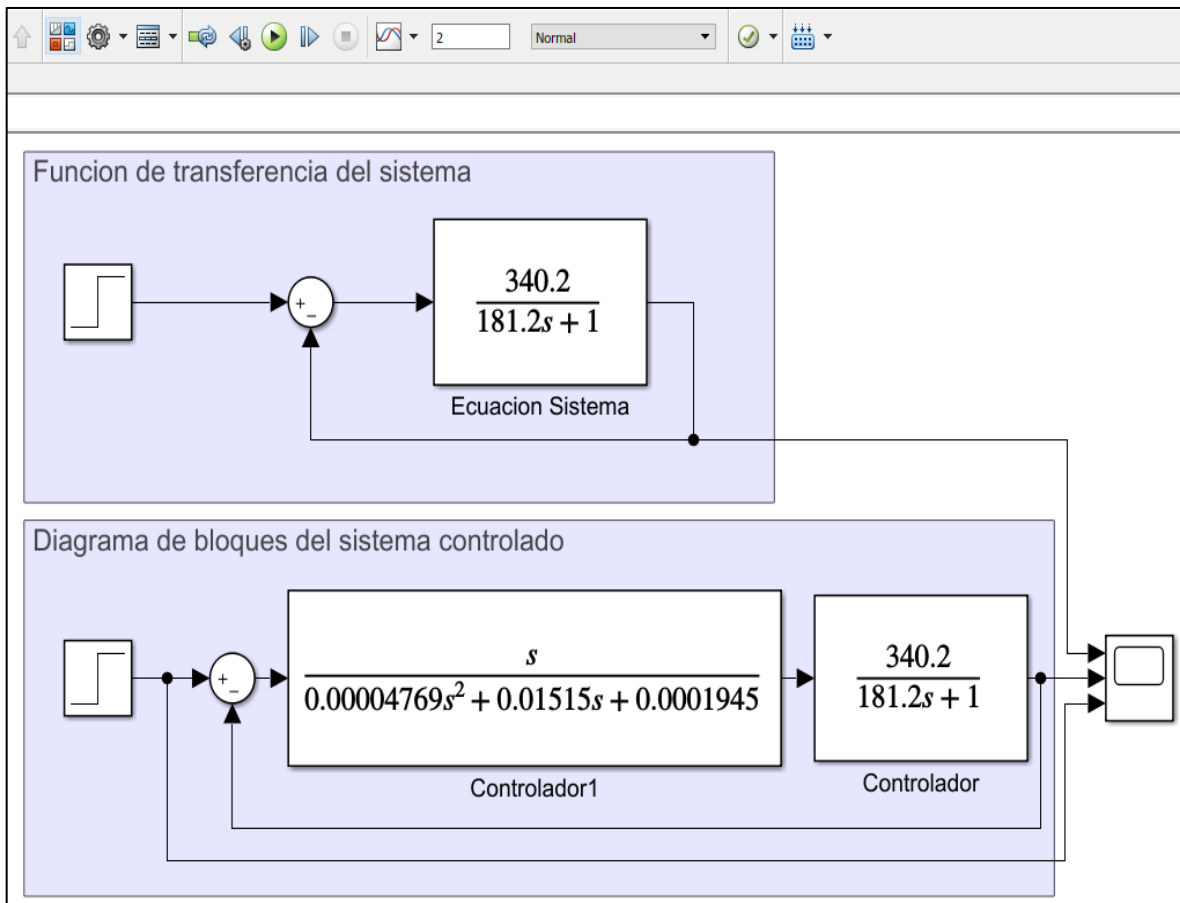
Figura 42 Diagrama de bloques del sistema.



Fuente: Autor.

En la Figura 43, se tiene el diagrama de bloques implementado en Simulink donde se tienen 2 cuadros principales, el primero, titulado “Función de transferencia del sistema”, permite graficar la respuesta natural que se obtuvo mediante la identificación del sistema mediante la herramienta “Ident de MatLab”, en el segundo cuadro se tiene el diagrama de bloques del sistema más la adición de la ecuación del controlador, todo esto se grafica en un mismo “Scope” logrando así tener un análisis de las dos graficas en una sola ventana de visualización.

Figura 43. Diagrama de Bloques Simulink.

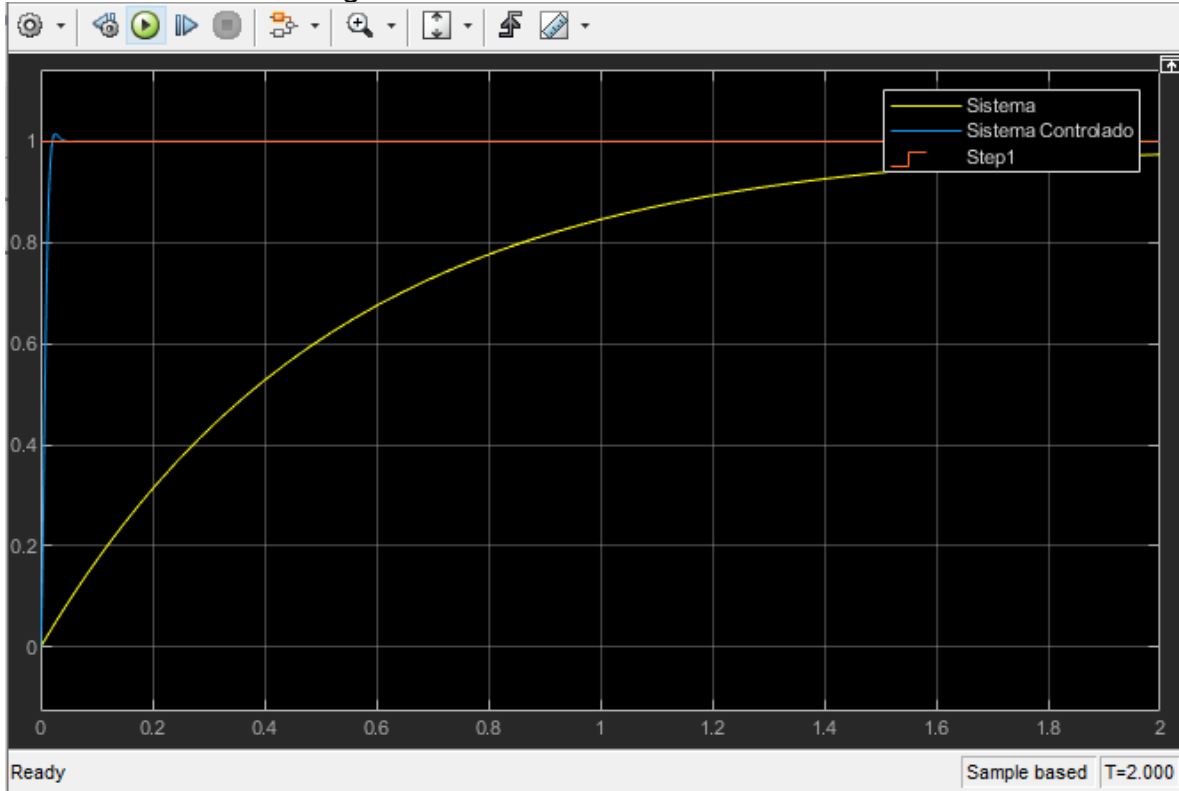


Fuente: Autor

Al implementar este esquema con las ecuaciones obtenidas anteriormente se obtiene las gráficas mostrada en la Figura 44, donde se evidencian 3 graficas, la de color amarillo es la grafica de los valores reales obtenidos a partir de la simulacion en Proteus adicionando las perturbaciones de ruido, identificando su

ecuacion mediante Ident, la de color azul representa la salida del sistema controlado y la de color rojo es el impulso escalon a la cual se exita el sistema.

Figura 44. Resultado del controlador.



Fuente: Autor.

Esta respuesta corresponde a la etapa final del diseño del controlador, donde claramente se aprecia que el sistema responde en un tiempo menor y tiene un sobre pico de estabilización de menos del 3% de la respuesta del sistema natural.

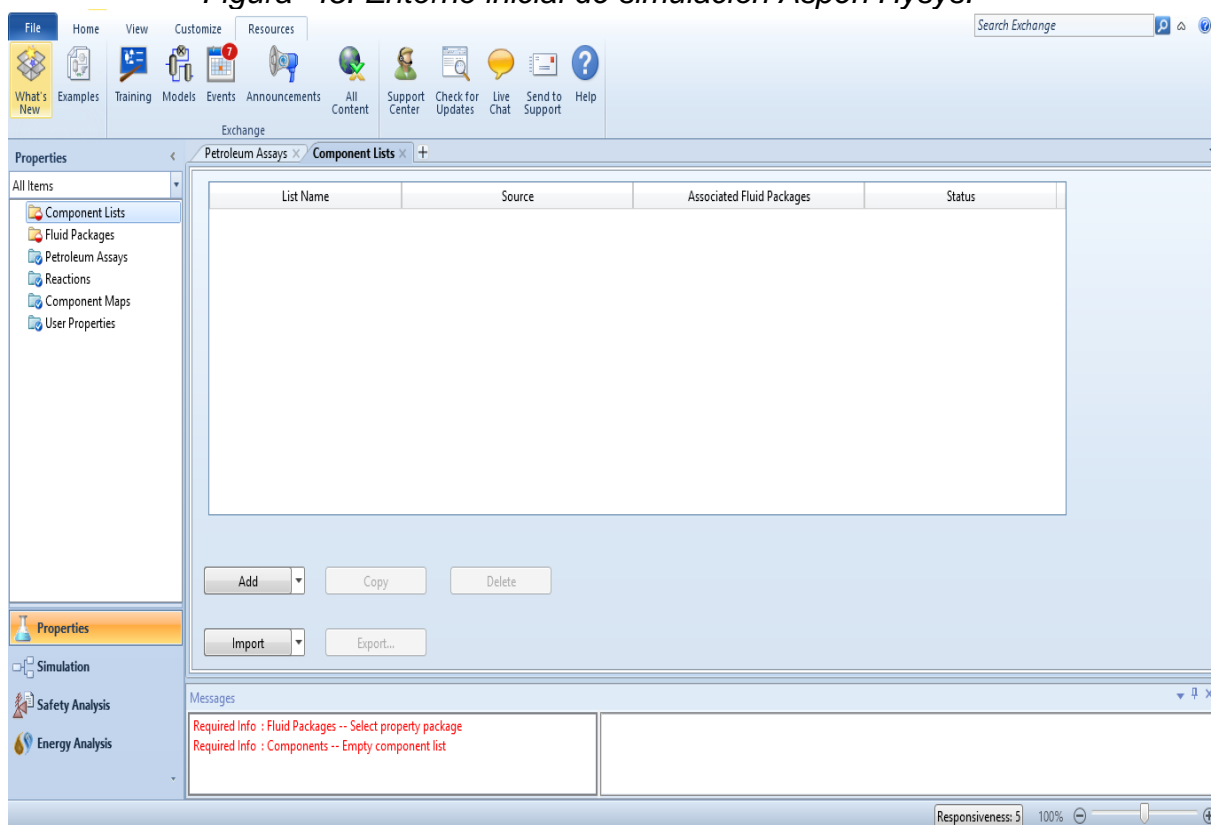
5.3. Simulación general del proceso de Hidrotratamiento en el entorno de simulación “ASPEN HYSYS”.

Las simulaciones anteriormente presentadas corresponden directamente al diseño electrónico del módulo de adquisición de datos de la variable temperatura, estas simulaciones fueron soportadas con diseños y claramente responden a un prototipo capaz de realizar la medición, pero estas simulaciones no dejan ver pautas ni elementos relacionados con el proceso químico ni la relación que tiene el implementar los diseños electrónicos con los resultados químicos del prototipo

diseñado. Para ello, se investigó si había un entorno de simulación capaz de lograr hacer simulación química del proceso y a su vez simular los controladores necesarios en el proceso y se encontró a “ASPEN HYSYS” como una opción bastante acertada, a continuación, se muestran el proceso implementado en esta simulación y los parámetros establecidos para lograr desarrollar una simulación total del sistema.

El entorno de simulación mostrado en la Figura 45, entorno inicial de simulación, necesita condiciones iniciales para el cálculo de propiedades de los compuestos asociados al proceso y su respectiva especificación.

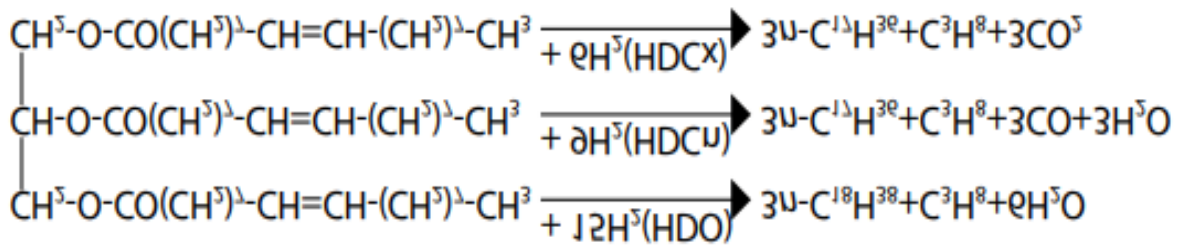
Figura 45. Entorno inicial de simulación Aspen Hysys.



Fuente: Autor.

Para añadir los componentes del proceso, se identifican los compuestos involucrados en la reacción de hidrotratamiento.

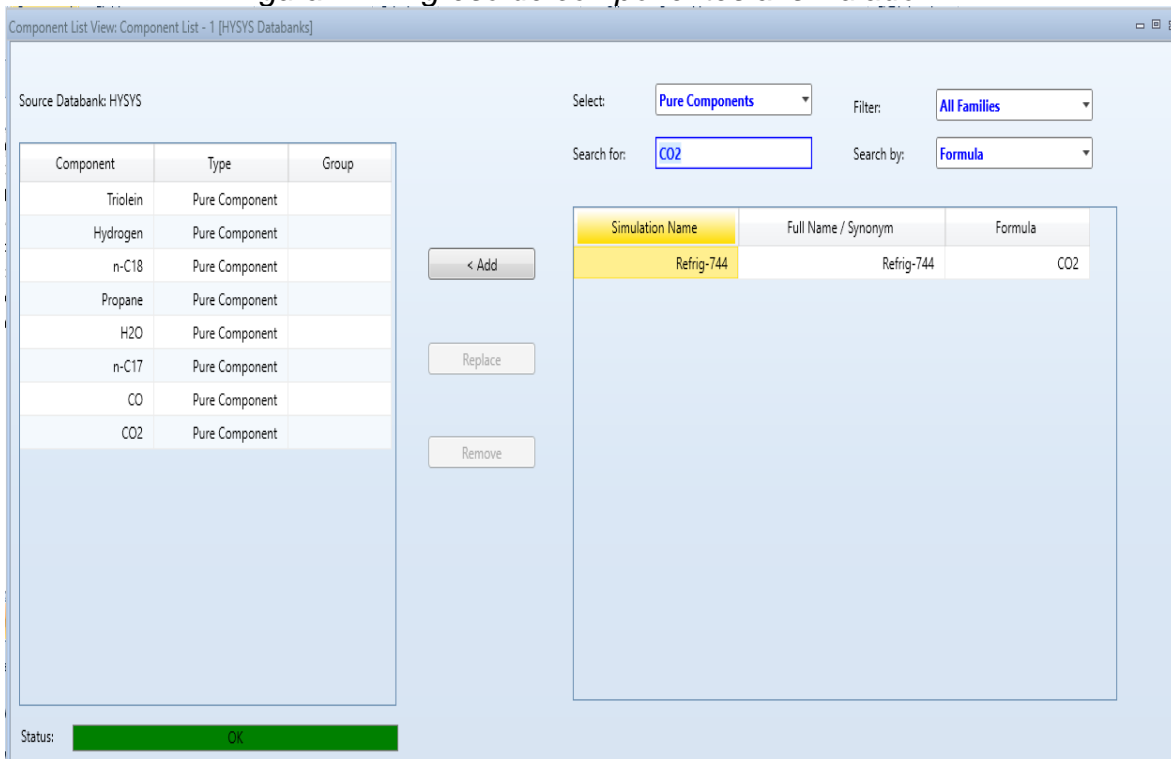
Figura 46. Esquema de las tres principales reacciones para la conversión de trioleína a diésel renovable mediante hidrotratamiento: hidrodeoxigenación (HDO), hidrodecarbonilación (HDCn), hidrodecarboxilación (HDCx).



Fuente: Autor.

Posteriormente se añaden los componentes involucrados en el proceso, tanto de entrada como los resultantes bajo las composiciones químicas del proceso mostradas en la Figura 47, Ingreso de componentes al simulador. Ingreso de componentes al simulador, y con esto, se habrá especificado esta sección.

Figura 47. Ingreso de componentes al simulador.

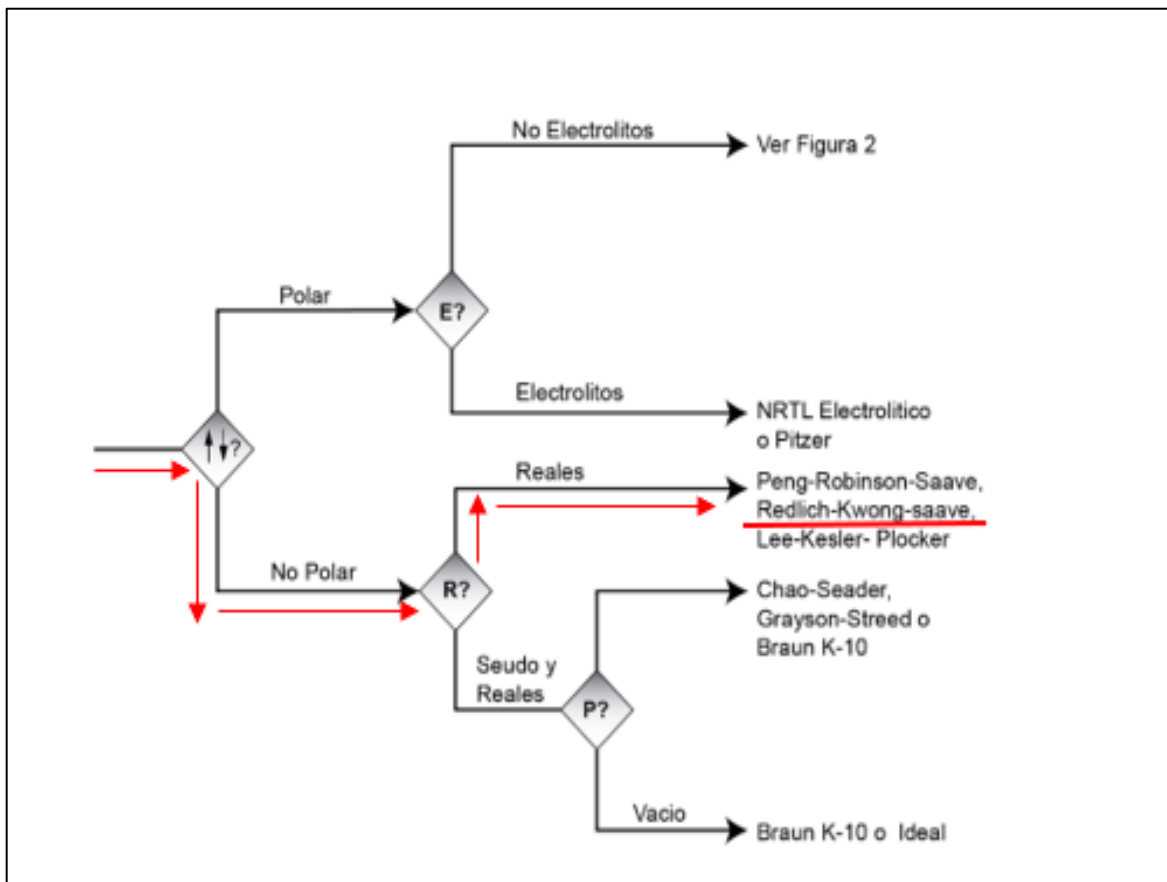


Fuente: Autor.

El paso a seguir es la selección del modelo termodinámico con la metodología de Carlson Figura 48, Metodología de Carlson para selección del método termodinámico, para caculo de propiedades de las sustancias asociadas.

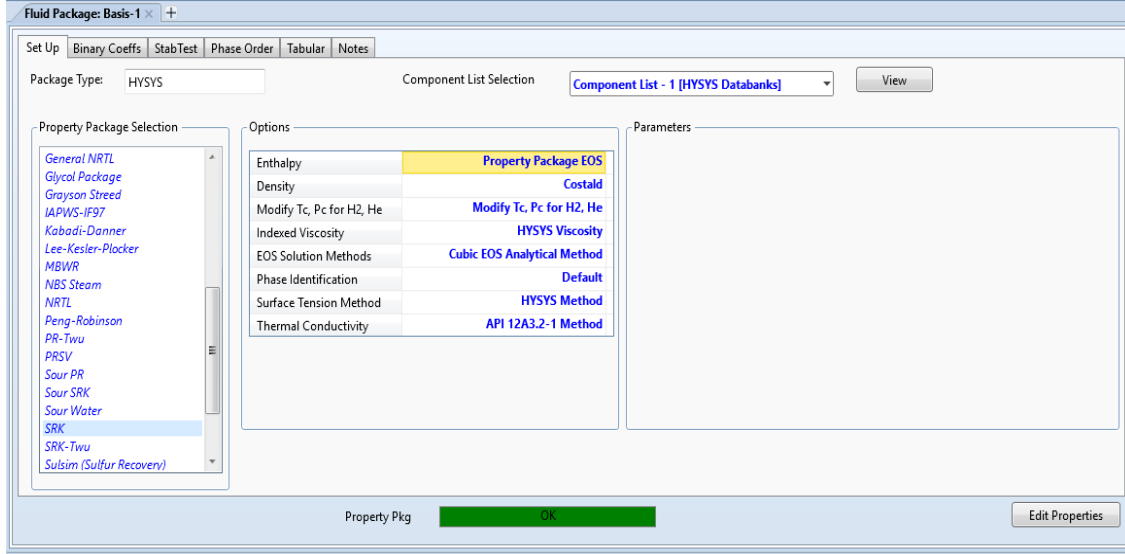
En este caso, al tener sustancias apolares y reales, se elige el método SRK (Soave-Redlich-Kwong), al describir mejor el comportamiento en mezclas oleosas y de hidrocarburos Figura 49, selección del modelo termodinámico.

Figura 48. Metodología de Carlson para selección del modelo termodinámico.



Fuente: Autor.

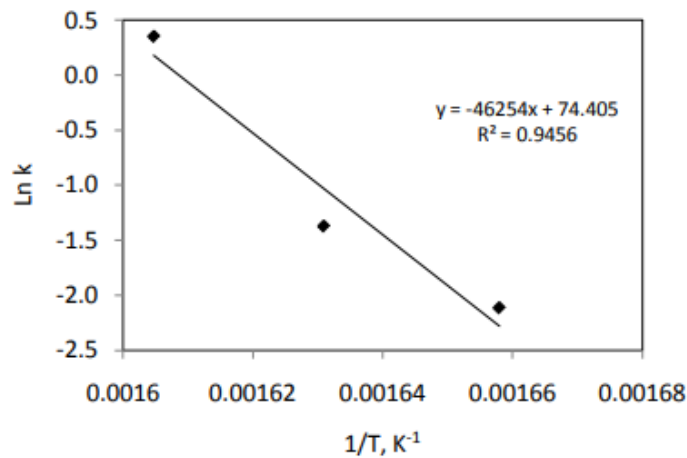
Figura 49. Selección del modelo termodinámico en Aspen Hysys.



Fuente: Autor.

Como el proceso tiene asociado un reactor para la conversión de la materia prima, se hace necesario insertar un set de las tres reacciones principales que ocurren simultáneamente para el caso del hidrotreamiento de los ácidos grasos definidos en la Figura 46, Esquema de las tres principales reacciones para la conversión de trioleína a diésel renovable mediante hidrotreamiento: hidroxigenación (HDO), hidroxidecarbonilación (HDCn), hidroxidecarbonilación (HDCx). para la determinación de la energía de activación en la obtención de Diesel renovable a partir de grasa.

Figura 50. Gráfica de Arrhenius para la determinación de la energía de activación en la obtención de Diesel renovable a partir de grasa.



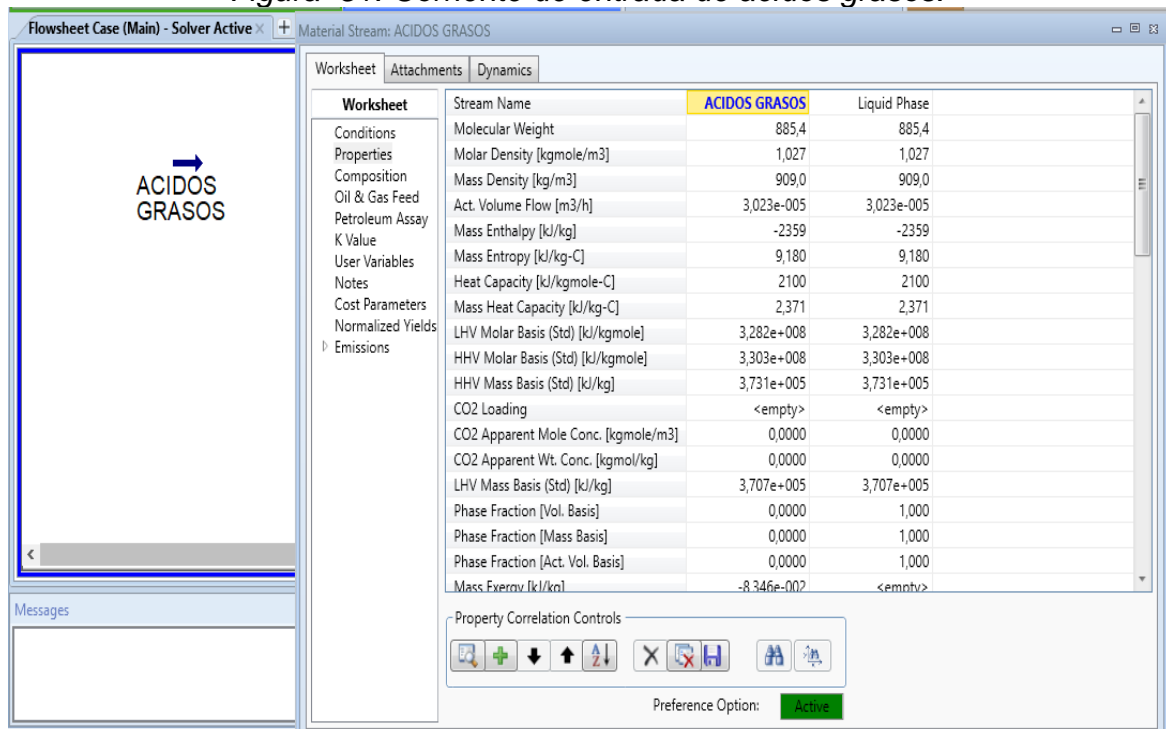
Fuente Autor.

Se observa que el ajuste en general es bueno ($R=0.972$). De la pendiente de la recta se puede obtener la energía de activación como se muestra a continuación: $EA = 46,254 \times 1.987 = 91,900$ cal/mol. El factor pre-exponencial es: $\ln A = 74.405$ por lo tanto, $A=2.059 \times 10^{32}$.

Con los parámetros iniciales ingresados, las reacciones determinadas y los componentes determinado se procede a diseñar la interfaz de simulación que se realiza teniendo como punto inicial las corrientes del proceso claramente definidas desde el inicio y posterior a ello los elementos necesarios para el proceso como bombas, resistencias de calentamiento y demás.

Se añaden las condiciones iniciales para las corrientes de entrada Ácidos grasos e hidrogeno. Ingresando inicialmente tres variables (Temperatura, Presión y flujo), además de especificar composiciones de las sustancias que componen la corriente.

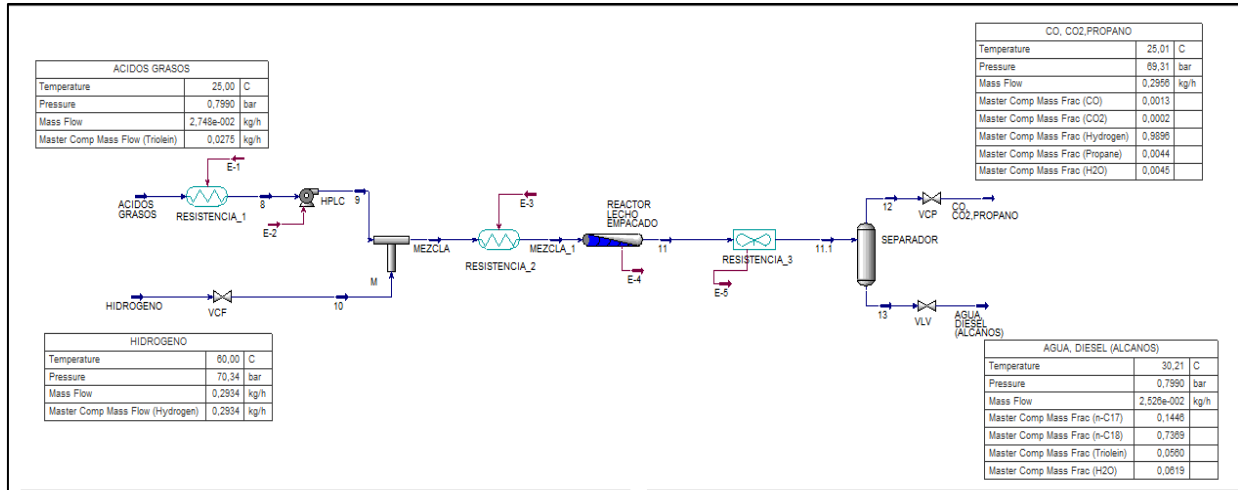
Figura 51. Corriente de entrada de ácidos grasos.



Fuente: Autor.

Como paso final se ingresan los equipos con sus respectivos parámetros, y las corrientes en cada equipo con las condiciones deseadas a la salida de cada bloque de proceso Mostrado en la figura 52. Proceso final simulación de producción de diésel renovable.

Figura 52. Proceso final simulación de producción de diésel renovable en Aspen Hysys.



Fuente: Autor.

En la anterior se puede apreciar la simulación general del proceso de simulación del proceso de Hidrotratamiento basado en las corrientes y parámetros iniciales definidos para el proyecto, a su vez, se muestran las tablas de los porcentajes de las sustancias obtenidas (Alcanos y Sub-Productos) como resultados del proceso con índices de pureza.

6. Capítulo 6: Análisis de resultados y actividades

Diseñado todo el prototipo para la medición y adquisición de datos de la variable temperatura se realizan pruebas de desempeño de los posibles escenarios presentes la puesta en marcha de la implementación, inicialmente se hacen variaciones abruptas al cambiar de un estado de temperatura bajo a un alto y viceversa, donde se analizan los distintos comportamientos del sistema, notándose que el controlador responde de una manera óptima y además las simulaciones implementadas responden eficientemente. Descritos todos los objetivos y resultados planteados anteriormente es posible hacer un balance general de los porcentajes de acción desarrollados a lo largo de todo el desarrollo del proyecto, para ello se presentan a continuación los porcentajes de cumplimiento obtenidos finalmente.

Tabla 10. Análisis de cumplimiento actividad 1

ACTIVIDAD 1	Análisis del estado del estado de la técnica de la hidrolisis y dispositivos electrónicos requeridos		% de cumplimiento:	100 %
RESULTADO OBTENIDO	PRODUCTO (si aplica)	ANEXO, SOPORTE DEL DESARROLLO	OBSERVACIONES	
Se realizó la búsqueda de patentes respectiva en distintas plataformas, encontrando más de 20 registros relacionados con el proyecto.	Informe Técnico.	Anexo 1: Actividad 1.	La búsqueda realizada permitió encontrar parámetros de diseño y determinar límites para evitar plagio o redundancia de trabajo.	

Fuente: Autor.

Tabla 11. Análisis de cumplimiento actividad 2.

ACTIVIDAD 2	Selección de la materia prima de acuerdo con los requerimientos del proceso.		% de cumplimiento:	100 %
RESULTADO OBTENIDO	PRODUCTO (si aplica)	ANEXO, SOPORTE DEL DESARROLLO	OBSERVACIONES	
Se realizó la documentación y descripción del porque se seleccionó como materia prima la grasa animal y adicionalmente se comparó con otras materias prima destacando los pro y contras que esta presenta.	Informe Técnico.	Anexo 1: Actividad 2.	Esta actividad al ya estar preestablecida por el proyecto se decidió documentar y argumentar el porqué de ello.	

Fuente: Autor.

Tabla 12. Análisis de cumplimiento actividad 3.

ACTIVIDAD 3	Generar condiciones de calentamiento y filtrado para remover los residuos sólidos y el agua.		% de cumplimiento:	80 %
RESULTADO OBTENIDO	PRODUCTO (si aplica)	ANEXO, SOPORTE DEL DESARROLLO	OBSERVACIONES	
Se analizan y determinan las condiciones de temperatura y los dispositivos óptimos para el diseño del módulo de adquisición de la variable temperatura.	Informe Técnico.	Anexo 1: Actividad 2.	Esta actividad está compuesta por 2 partes, las condiciones de calentamiento y el filtrado, la etapa de filtrado se realiza en el proceso de hidrolisis y debido a la modificación hecha por los investigadores de que el proceso correspondiente para la UCundinamarca era el hidrotratamiento se realiza solo la etapa de calentamiento.	

Fuente: Autor

Tabla 13. Análisis de cumplimiento actividad 4.

AVTIVIDAD 4	Identificar el proceso experimental para la hidrolisis de triglicéridos para la obtención de ácidos grasos y glicerol como subproducto en función de la variable temperatura.		% de cumplimiento:	70 %
RESULTADO OBTENIDO	PRODUCTO (si aplica)	ANEXO, SOPORTE DEL DESARROLLO	OBSERVACIONES	
Documentación e investigación preliminar.		Anexo 1: Informe bimestral 2.	Esta actividad se vio afectada por la modificación realizada en las delimitaciones de alcances entre las universidades. Ya que se determinó que la universidad de Cundinamarca realiza el proceso posterior a la hidrolisis. adicional a que el proceso experimental fue determinado y modificado por la UdeA posterior a la fijación de la actividad	

Fuente: Autor.

Tabla 14. Análisis de cumplimiento actividad 5.

ACTIVIDAD 5	Diseño del módulo de adquisición de datos de temperatura en el proceso de hidrolisis		% de cumplimiento:	100 %
RESULTADO OBTENIDO	PRODUCTO (si aplica)	ANEXO, SOPORTE DEL DESARROLLO	OBSERVACIONES	
Se realizo la documentación y el diseño respectivo del módulo de adquisición de datos de la variable temperatura en el proceso de hidrotreatmento	Informe Técnico y simulaciones del diseño	Anexo 1: Actividad 5.	Esta actividad se realizó totalmente con la única variación que se diseñó en el reactor para el proceso de hidrotreatmento y no para el proceso de hidrolisis.	

Fuente: Autor.

Tabla 15. Análisis de cumplimiento actividad 6.

ACTIVIDAD 6	Implementación del módulo prototipo de adquisición de datos de temperatura en la planta experimental para realizar el proceso de hidrolisis.		% de cumplimiento:	70 %
RESULTADO OBTENIDO	PRODUCTO (si aplica)	ANEXO, SOPORTE DEL DESARROLLO	OBSERVACIONES	

<p>Diseño del módulo de adquisición de datos y pruebas simuladas del mismo. Se realizo la</p>	<p>Informe Técnico y simulaciones del diseño</p>	<p>Anexo 1: Actividad 5.</p>	<p>Esta actividad se vio afectada por distintos factores:</p> <p>1.Se realizaron pruebas de caracterización en laboratorio, pero por cuestiones de demoras en el desembolso del presupuesto no se compraron módulos ni herramientas para realizar la implementación respectiva.</p> <p>2.Al no tener recursos por parte del proyecto se compraron dispositivos por cuenta de los auxiliares y docente para la implementación, pero en ese tiempo sucedió lo de la pandemia del COvid-19, impidiendo la implementación respectiva</p>
---	--	----------------------------------	--

Fuente: Autor.

Tabla 16. Análisis de cumplimiento actividad 7.

ACTIVIDAD 7	Entrega de informes bimestrales.		% de cumplimiento:	100 %
RESULTADO OBTENIDO	PRODUCTO (si aplica)	ANEXO, SOPORTE DEL DESARROLLO	OBSERVACIONES	
Documentos respectivos en los tiempos determinados.	Informe Técnico	Anexo 1: informes bimestrales 1 y 2.	Esta actividad se realizó a cabalidad cumpliendo con lo establecido.	

Fuente: Autor.

7. Conclusiones

A partir del análisis del estado de la técnica se identificaron los clúster y las tendencias de publicación globalmente analizadas, que se enfocan en el desarrollo de biocombustibles en su gran mayoría de origen vegetal apuntando siempre a la utilización y aprovechamiento de materias primas residuales, cabe resaltar que el objeto del proyecto macro es bastante innovador, pues pretende la obtención de diésel renovable a partir de residuos sólidos orgánicos de origen animal, comparando los 3 tipos de residuos grasos en mención (res, pollo y cerdo) y analizándose principalmente desde el punto de vista de la eficiencia, para lo cual se determinó que la grasa del pollo presenta ventajas en cuanto a su manipulación, eficiencia y fácil adquisición en el departamento de Cundinamarca.

Al analizar las distintas variables presentes en el proceso de refinación en este caso el hidrotreamiento (temperatura, presión y flujo), en lo que respecta a la temperatura se deben mantener las condiciones óptimas para garantizar una correcta reacción química y esto a su vez define las propiedades del producto final en cuanto calidad, cantidad y eficiencia en el aprovechamiento de la materia prima.

Los procesos de generación de combustibles renovables son altamente productivos, permiten transformar una materia prima (en ocasiones desechada), en un producto de alto impacto y de total aprovechamiento en el proceso de refinamiento, a su vez, es un proceso de alta complejidad que exige total exactitud y precisión. Es conveniente determinar y estudiar cada uno de los factores involucrados en el proceso ya que por una mínima falla podrían producirse consecuencias no deseadas.

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas de validación y verificación con los distintos softwares de simulación permiten concluir que las variables manejadas en el proceso no presentan variaciones abruptas y no requieren manejos especiales, pero deben tenerse en cuenta las perturbaciones externas y las debidas medidas de protección, de tal manera se puede determinar que dichas simulaciones son una buena aproximación en esta etapa de diseño previa a la implementación del prototipo.

La variable temperatura requiere un buen factor de amplificación y un CMRR alto, a su vez se asegura una impedancia alta para evitar efectos de carga ya que la resolución del PT100 es bastante pequeña, todo esto se garantiza en el amplificador de instrumentación diseñado.

En la planta experimental para el proceso de hidrotreamiento, el control y monitoreo de la temperatura es vital para obtener los productos deseados, ya que

si la temperatura es menor se obtendrían bajas conversiones a hidrocarburos, es decir, altos porcentajes de aceite sin reaccionar, ahora, por el contrario, si la temperatura super las 350°C se empieza a crakear la cadena de alcanos formando así productos indeseados o incluso contaminantes.

8.Recomendaciones

Finalmente se realiza un planteamiento de posibles recomendaciones a futuras investigaciones o continuación de la misma con el objetivo de brindar una base estructurada basada en los resultados obtenidos en el presente documento. Estas recomendaciones son:

- Para el circuito diseñado para la medición de la temperatura se hace necesario la implementación de una protección a ruido robusta y tolerante a altas temperaturas.
- Realizada la implementación del circuito diseñado, se recomienda hacer pruebas preliminares con las condiciones establecidas en el proyecto, ya que si bien se conoce que el circuito funciona y responde a los objetivos planteados, llevado al campo puede presentar factores imprevistos que no se estimaron en el diseño y que depende únicamente de la puesta en marcha del mismo.
- Utilizar una materia prima con gran porcentaje de hidrógeno que se deseché en otras industrias y pueda ser reaprovechada en el proceso, reduciendo así costos ya que el hidrógeno puro tiene un valor bastante elevado.
- Evaluar distintos reactores y configuraciones técnicas, específicamente reactores batch con agitación con el fin de reducir costos y hacer pruebas piloto para identificar qué proceso es más eficiente.
- Realizar varios ensayos de la reacción y obtener datos experimentales más adecuados y cercanos al comportamiento real con el fin de tener modelos simulados más precisos.
- Realizar las pruebas de caracterización correspondientes con el fin de analizar la calidad del diésel renovable dando cumplimiento a los lineamientos del compuesto y normas internacionales ASTM.
- Identificar procesos de calentamiento especializados para reactores como calentamiento a vapor o con intercambiadores de calor diseñados en conjunto con el reactor a utilizar.

9. Glosario

Bares de presión: Bar (unidad de presión) Un bar es una unidad de presión, equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmósfera (1 atm).

Bomba HPLC: es una bomba de pistón doble de alta presión que utiliza un modo de operación de presión constante para empacar eficientemente materiales de empaque de diámetro pequeño y columnas de diámetro más pequeño. La bomba de presión constante permite presiones de empaquetamiento constantes de hasta 10,000 psi y 12 ml / min.

Catalizador: Un catalizador es una sustancia que aumenta la velocidad a la que una reacción química se acerca al equilibrio sin intervenir permanentemente en la reacción. (*Nederman Mikropul.2019*).

Materia prima: Es todo bien que es transformado al exponerse a un proceso de producción hasta convertirse en un bien de consumo. (Federico J.C. 2020).

Sistema de Adquisición de datos: La adquisición de datos, es el proceso mediante el cual se pueden medir variables obtenidas por sensores, para luego digitalizarlas y procesarlas para su posterior uso. Esta acción se realiza de manera automática, haciendo uso de una combinación de hardware (tarjeta DAQ) y software basados en computadoras. Un sistema de adquisición o toma de datos está integrado entonces por los siguientes componentes.

Reactor: El reactor catalítico es el aparato donde una reacción química catalítica tiene lugar de manera controlada. Un reactor químico es un equipo en cuyo interior tiene lugar una reacción química, estando éste diseñado para maximizar la conversión y selectividad de la misma con el menor coste posible.

Hidrolisis: Reacción química en la que el agua actúa sobre otra sustancia para formar una o más sustancias enteramente nuevas. Esto implica la ionización de la molécula de agua y la división del compuesto hidrolizado. la conversión del almidón en glucosa mediante agua en presencia de un catalizador adecuado o la

conversión de grasas naturales en ácidos grasos y glicerina por reacción con agua en procesos de elaboración de jabones.

10. Referencias

Almeida VF. Biodiesel production from mixtures of waste fish oil, palm oil and waste frying oil: Optimization of fuel properties. *Fuel Process Technol* 2015; 133:152–60.

Arun N, Sharma R V., Dalai AK. Green diesel synthesis by hydrodeoxygenation of biobased feedstocks: Strategies for catalyst design and development. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 48:240–55.

Bailey A. *Aceites y grasas industriales*. Reverté, S. Madrid: 1979.

Bart JCJ, Palmeri N, Cavallaro S. *Biodiesel science and technology: from soil to oil*. CRC Press; 2010.

Blanco, A., Huidobro, J. y Jordán, J. (2006). *Redes de área local: administración de sistemas informáticos*. Madrid: Paraninfo, S. A.

Camps, G., Espí, J. y Muñoz, J. (2011). *Fundamentos de electrónica analógica*. Madrid: Universitat de València.

Candelaria Tejada, Lesly T., Angel V. junio 2003. Universidad de caldas. Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. *REV: Luna Azul* ISSN 1909-2474.

Chapra, Canale, *Métodos numéricos para ingenieros*, Mc. Graw Hill, 2005.

Conoco Phillips Begins Production of Renewable Diesel Fuel at Whitegate Refinery in Cork, Ireland | Business Wire n.d.

Diamond Green Diesel Initiates Engineering Review for Proposed Expansion to 550 Million Gallons Annually - Nov 7, 2017 Documento Conpes 3510 2008. http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/conpes/2008/conpes_3510_2008_.pdf (accessed April 24, 2018).

Ecopetrol. DIESEL RENOVABLE: UNA NUEVA OPCIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES. Entorno Verde 2012; 3:1–5.

EcuRed. Audio digital práctico. Ed. Anaya Multimedia. 2005

ElectroIndustria. Revista de soluciones tecnológicas para la minería, energía e industria. info@emb.cl 2020. Sucre, Chile.

Federico J. C. Economipedia/Definiciones; sitio Web. 2020.

Fonseca S. PLAN ESTRATÉGICO DEPARTAMENTAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DE CUNDINAMARCA. Bogotá: 2013.

Full service Paraná. Sensor Pt100, su operación, instalación y tablas. Argentina, 2015

Gómez, E. (2010). Rincón Ingenieril. Obtenido de <https://www.rinconingenieril.es/como-conectar-una-pt100/>.

Gousi M, et al. Green diesel production over nickel-alumina co-precipitated catalysts. Appl Catal A Gen 2017; 536:45–56.

Guzman A, Torres JE, Prada LP, Nuñez ML. Hydroprocessing of crude palm oil at pilot plant scale. *Catal Today* 2010; 156:38–43.

Honeywell Green Diesel™ | Honeywell UOP n.d. Hydrogenation, InTech; 2012.
Itthibenchapong V. Deoxygenation of palm kernel oil to jet fuel-like hydrocarbons using Ni-MoS₂/-Al₂O₃ catalysts. *Energy Convers Manag* 2017; 134:188–96.

Juan J. Abache L. “DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL AUTOMATICO DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO LAMPO EN LA PLANTA DE LAMINACION EN CVG ALCASA”. Ciudad Guayana, Universidad Nacional experimental politécnica. Marzo del 2016.

Jesus Montes, R. Lopez, J. Santos, J. Contreras, Mabel V., Producción de biodiesel a partir de grasa animal utilizando catálisis heterogénea, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, D. F.; México; *Revista Iberoamericana de Ciencias* ISSN 2334-2501

Kaewmeesri R. Deoxygenation of Waste Chicken Fats to Green Diesel over Ni/Al₂O₃: Effect of Water and Free Fatty Acid Content. *Energy & Fuels* 2015; 29:833–40.

Katshiko Ogata., *Ingeniería de control moderna*, Prentice Hall, México, 1998.

Kiatkittipong W. Diesel-like hydrocarbon production from hydroprocessing of relevant refining palm oil. *Fuel Process Technol* 2013; 116:16–26.

Kochetkova D. Influence of rapeseed oil hydrotreating on hydrogenation activity of CoMo catalyst. *Fuel Process Technol* 2016; 142:319–25.

Kroschwitz JI, Seidel A. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. Volume 5

Lambert N. Study of Hydrogenation Derived Renewable Diesel as a Renewable Fuel Option in North America. 2012.

Liu S, Zhu Q. Bio-aviation fuel production from hydroprocessing castor oil promoted by the nickel-based bifunctional catalysts. *Bioresour Technol* 2015; 183:93–100.

Lopez W., Moyón N. “DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON SISTEMAS EMBEBIDOS PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”, escuela superior politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2011.

Meller E. Catalytic deoxygenation of castor oil over Pd/C for the production of cost effective biofuel. *Fuel* 2014; 133:89–95.

N. Gonzalez, «Puente de Wheatstone alimentado por fuente de tension,» Guayaquil, 2018.

Naylamp Mechatronics SAC, Trujillo Peru, Tienda Online.

Nederman Mikropul. Lavador de gas de lecho empacado; Sitio web. 2019
Novel Hydrotreating Technology for Production of Green Diesel | Haldor Topsoe
n.d.

Pallás Areny, Ramón. Sensores y acondicionadores de señal. Cuarta edición. MARCOMBO.

Production capacity - Neste Oil Com n.d.

Pullen J, Saeed K. An overview of biodiesel oxidation stability. *Renew Sustain Energy Rev* 2012; 16:5924–50.

R. R., «Medición y control industrial,» 2016. [En línea]. Available: http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm. [Último acceso: 2020].

Rabaev M. Conversion of vegetable oils on Pt/Al₂O₃/SAPO-11 to diesel and jet fuels containing aromatics. *Fuel* 2015; 161:287–94.

Rinaldi R. Catalytic hydrogenation for biomass valorization. *Royal Society of Chemistry*; 2015.

Sági D. Co-hydrogenation of fatty acid by-products and different gas oil fractions. *J Clean Prod* 2017; 161:1352–9.

Shannon, Robert; Johannes, James D. (1976). *Systems Simulation: The Art And Science*. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 6(10). pp. 723-724.

Sotelo-Boyas R. Hydroconversion of Triglycerides into Green Liquid Fuels. SRC, «PT100,» 2017. [En línea]. Available: <https://srcsl.com/contacto/>.

Srifa A. Production of bio-hydrogenated diesel by catalytic hydrotreating of palm oil over NiMoS₂/-Al₂O₃ catalyst. *Bioresour Technol* 2014; 158:81–90.

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. México: Pearson Educación.

Tyson Foods Inc. - Combustibles dinámicos suministran combustible para aviones renovables para vuelos comerciales n.d.
UPME. PLAN ENERGÉTICO NACIONAL (PEN) 2006-2025 Contexto y Estrategias 2007.

Vásquez MC, Silva EE, Castillo EF. Hydrotreatment of vegetable oils: A review of the technologies and its developments for jet biofuel production. *Biomass and Bioenergy* 2017;

Verma D. Diesel and aviation kerosene with desired aromatics from hydroprocessing of jatropha oil over hydrogenation catalysts supported on hierarchical mesoporous SAPO-11. *Appl Catal A Gen* 2015; 490:108–16.

Volonteiro E. Hidrotratamiento catalítico de aceites vegetales para la producción de biocombustibles líquidos. *INNOTEC* 2018; 14.

William J. Palm III, *Modeling, Análisis, and Control of Dynamic Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 2000.

Apéndice 1: Informes bimestrales.

Estos informes bimestrales fueron presentados en las fechas establecidas en el cronograma de actividades inicial en el que comprende desde la búsqueda de patentes para la realización del estado de la técnica hasta el diseño del módulo de adquisición de datos.

A.1.1 Informe bimestral 1.

En este documento se incluyen las tablas de búsqueda de patentes conteniendo el autor, año, institución, tema de interés y una puntuación que determina el porcentaje de aporte al proyecto este documento es el Anexo 1.

A.1.2 Informe bimestral 2.

En el Anexo 2, se refleja la documentación respectiva de las actividades 2 y 3 del cronograma donde se incluye la justificación del porque se seleccionó como materia prima la grasa del pollo y además la fijación de las condiciones de calentamiento, definiendo los dispositivos que pudiesen cumplir con los requerimientos del proyecto, analizando ventajas y desventajas llegando al elemento óptimo para realizar este proceso.

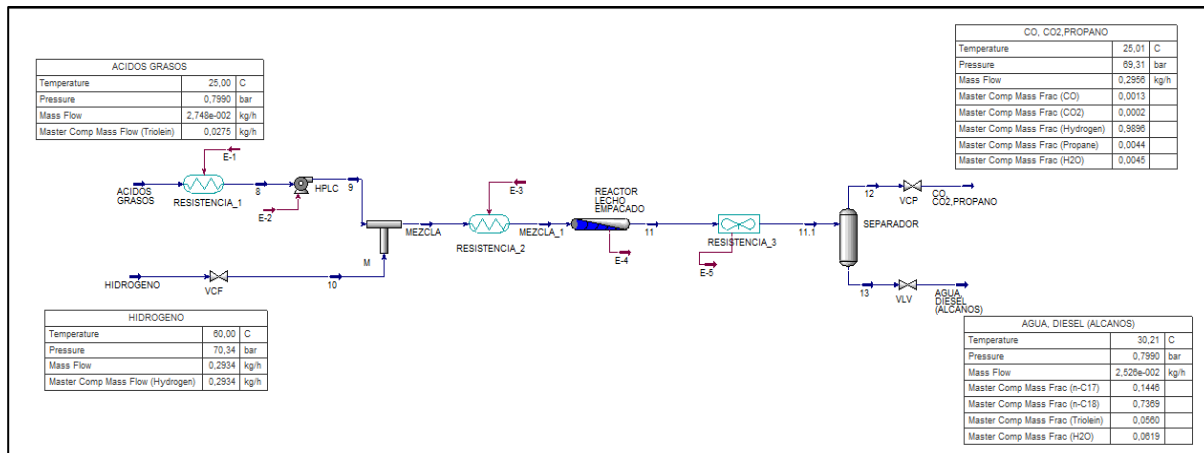
A.1.3 Informe bimestral 3.

En este documento se plasma todo el proceso del diseño del módulo de adquisición de datos de la variable temperatura, empezando por la caracterización del sensor, posteriormente el acondicionamiento del circuito de amplificación y finalmente se tiene el diseño y pruebas del controlador generado en MatLab para este sistema, este documento se encuentra como anexo 3.

Apéndice 2: SIMULACIÓN DEL PROCESO QUÍMICO EN EL ENTORNO “HYSYS ASPEN”.

En el desarrollo de las actividades se vio necesario desarrollar una simulación que permitiera comprobar y simular las condiciones fijas que se determinaron al inicio del mismo y que fueron siendo modificadas por cuestiones técnicas, para ello se encontró como opción el programa HYSYS ASPEN el cual permite realizar simulaciones químicas con todos sus parámetros, basándose en las corrientes del proceso y en los dispositivos implementados. A continuación, se muestra un fragmento de la simulación desarrollada que queda a disposición como anexo 4.

Figura 53. Simulación en Aspen con las y resultados de calidad.



Fuente: Autor.

Apéndice 2. CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN A PONENCIA EN EL VIII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA.

Debido a problemas con la entrega de las certificaciones respectivas por la participación a dicho evento, se anexa el cronograma de ponencias propuestas para ese día dado por la Universidad de Cundinamarca dado fe al cumplimiento de esta actividad. El documento reposa en los archivos anexos con el nombre de anexo 5.

Apéndice 3. PONENCIA DE ARTICULO REALIZADO PARA PONENCIA EN EL ITFIP.

En este artículo se hace una descripción breve del proyecto con el fin de realizar ponencia en el enveto respectivo, este artículo es presentado y sustentado por 2 de los investigadores del proyecto llevando en alto el nombre de todos los resultados y personas que están involucradas con la investigación respectiva del presente proyecto. Anexo 6.

Figura 54. Ponencia del proyecto ITFIP.




Fuente: Autor.

Apéndice 4. REGISTRO DE ARTICULO EN LA WASTE MANAGEMENT 2020.

En este apéndice se relaciona una de las postulaciones de artículos que se realizó en la "Waste Management"; Artículo generado por el grupo de investigación incluyendo docentes e investigadores auxiliares, se anexan el artículo generado y el registro de los autores del respectivo documento. Esto se incluye en la carpeta llamada Anexo 7.

Figura 55. Registro de Autores del artículo presentado en la "Waste management".

General Terms	
<ul style="list-style-type: none">• The undersigned represents that he/she has the power and authority to make and execute this assignment.• The undersigned agrees to indemnify and hold harmless WIT Press from any damage or expense that may arise in the event of a breach of any of the warranties set forth above.• In the event the above work is not accepted and published by WIT Press or is withdrawn by the author(s) before acceptance by WIT Press, the foregoing copyright transfer shall become null and void.• For jointly authored Works, all joint authors should sign, or one of the authors should sign as authorised agent for the others	
TITLE OF PAPER/ARTICLE/REPORT: <u>PRODUCTION OF RENEWABLE DIESEL THROUGH HYDROTREATMENT OF FATTY ACIDS DERIVED FROM ANIMAL WASTE</u>	
COMPLETE LIST OF AUTHORS: <u>CESAR AUGUSTO CASAS DIAZ, CRISTIAN ARNULFO ARIAS, PABLO MUÑOZ, EDWIN PALACIOS, LEONARDO RODRIGUEZ</u>	
SIGNATURE: <u>CESAR AUGUSTO CASAS DIAZ</u> 	Date: <u>23/03/20</u>
Author/Authorised Agent for Joint Authors	
US GOVERNMENT EMPLOYEE CERTIFICATION (WHERE APPLICABLE)	
This will certify that all authors of the Work are US Government employees and prepared the Work on a subject within the scope of their official duties. As such, the Work is not subject to US copyright protection.	
(2) _____	Date _____
Authorised Signature	
CROWN COPYRIGHT CERTIFICATION (WHERE APPLICABLE)	
This will certify that all authors of the Work are employees of the British or British Commonwealth Government and prepared the Work in connection with their official duties. As such, the Work is subject to Crown Copyright and is not assigned to WIT Press as set forth in the first sentence of the Copyright Transfer Section above. The undersigned acknowledges, however, that WIT Press has the right to publish, distribute and reprint the Work in all forms and media.	
(3) _____	Date _____
Authorised Signature	

Fuente: Documentos realizados por docentes e investigadores auxiliares del proyecto.

Apéndice 5. CONSTANCIA DE APROPIACION SOCIAL DEL CONOCIMIENTO REALIZADA EN LA GOBERNACION DE CUNDINAMARCA.

Este apéndice incluye la presentación utilizada en la socialización del proyecto realizada en la gobernación de Cundinamarca donde se habló del proyecto, los alcances del mismo y permitió que la comunidad presente aportara ideas, mostrara sus puntos de vista dejando a flote las ventajas y desventajas del mismo vistas desde cada uno de ellos, en esta oportunidad se contó con la representación del Ingeniero Cesar Casas y el Investigador Auxiliar Cristian Arias como ponentes y personas delegadas por el grupo para realizar dicha socialización. La presentación se incluye como Anexo 8.

Figura 56. Presentación del Socialización Realizada.

The slide features logos for 'El conocimiento es de todos' (Colciencias), 'UDEC UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA', 'COLOMBIA BIO', 'Gobernación de Cundinamarca', and 'CUNDINAMARCA unidos podemos más'.

Objetivo General: Desarrollar un proceso para la producción de un biocombustible tipo diésel a partir del hidrotreatmento (deoxigenación) de ácidos grasos derivados de residuos animales.

Justificación: De acuerdo al documento Pecdtj-Cundinamarca, el departamento presenta grandes retos. Algunas de las brechas a fortalecer son los procesos o iniciativas para la disminución de impactos ambientales y de cambio climático teniendo como solución la implementación de prácticas sostenibles, generación e implementación de energía limpias, la adecuada disposición de residuos y saneamiento de las fuentes hídricas contaminadas. Por lo cual se debe desarrollar entorno a estas temáticas estrategias regionales de transferencia, de investigación y de implementación en las actividades productivas que promuevan iniciativas de uso y generación de tecnologías limpias. Es por esto que se quiere apuntar en esta investigación a la producción de nuevos biocombustibles a partir de biomasa disponible en el departamento de Cundinamarca.

Apoyo económico FFJC - FCTel-SGR Departamento de Cundinamarca	\$ 349.764.886
CONTRAPARTIDA	
ENTIDAD EJECUTORA – UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	\$ 57.115.520
ENTIDAD COEJECUTORA – UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	\$ 192.539.600
COSTO TOTAL DEL CONTRATO	\$ 599.420.006

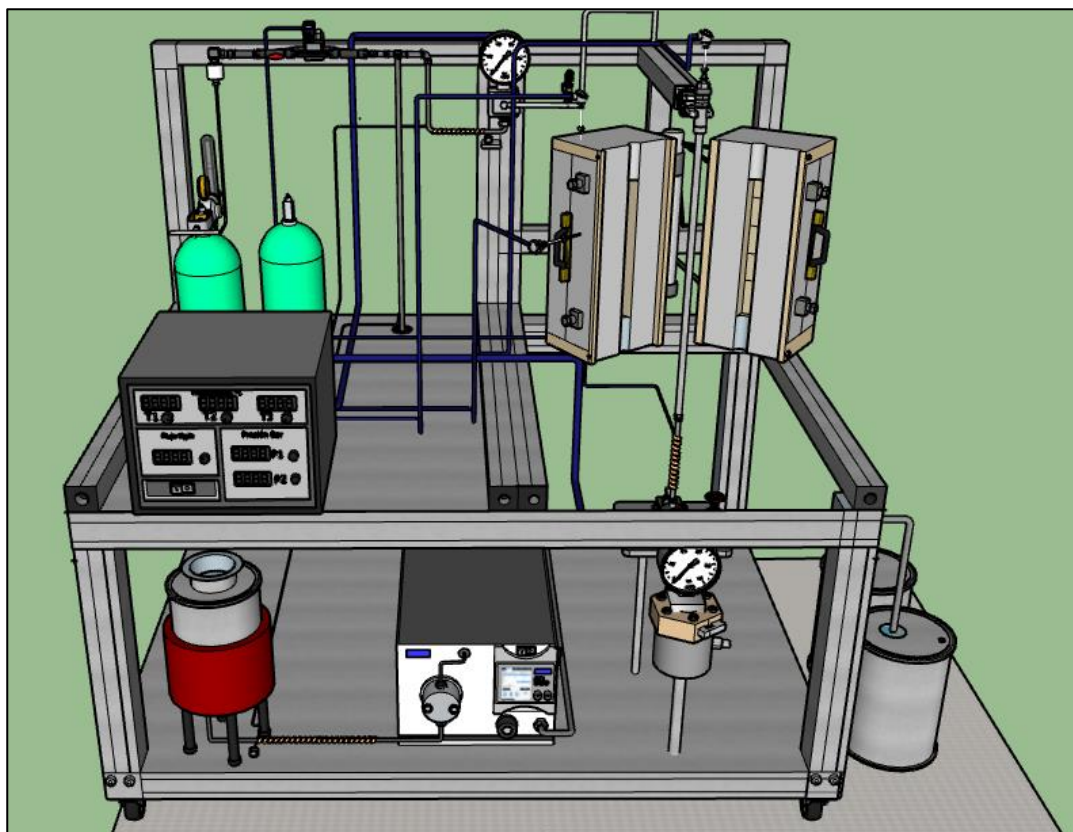
Logos at the bottom include: Universidad de Antioquia, Pqi Vigilancia MinEducación, Universidad de Cundinamarca Generación Siglo 21, and Grupo de Investigación GIGATT.

Fuente: Grupo de investigación.

Apéndice 6. DISEÑO DE MODELO 3D DE LA PLANTA EXPERIMENTAL PARA LA PRODUCCIÓN DE DIESEL RENOVABLE.

El proyecto aquí presentado busca generar los diseños necesarios para desarrollar una planta piloto de producción de diésel renovable, claramente estos diseños presentan alta complejidad además de que son bastante robustos para ser desarrollados por un solo investigador, por tanto el trabajo se distribuyó por variables para lograr el objetivo principal del proyecto, adicional a ello y debido a los problemas tenidos al transcurso del desarrollo del proyecto se diseñó un prototipo en 3D del modelo propuesto por este grupo de investigadores en donde se incluyeron todos los parámetros y requerimientos fijados para cada uno, en él se observan cada dispositivo utilizado y sus respectivas conexiones. Este documento corresponde al anexo 9, Modelo 3D de la planta piloto.

Figura 57. Prototipo 3D de planta Experimental.



Fuente: diseño realizado por grupo de investigación.