



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO  
campus TUXTLA GUTIÉRREZ

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

INGENIERÍA QUÍMICA

TERCER SEMESTRE

**RESIDENCIA**

ASESORES

INTERNO

SAMUEL ENCISO SÁENZ

EXTERNO

JOSE LUIS ESCOBAR VILLAGRAN

**REPORTE FINAL DE RESIDENCIA PROFECIONAL**

PROYECTO

**MANUAL DE ARANQUE Y OPERACIÓN DE UN REACTOR DE PIROLISIS**

ALUMNO

GARCIA UTRILLA RICARDO 17270569

Tuxtla Gutiérrez Chiapas, a 26 de mayo de 2023

## 1)Agradecimientos

A DIOS

Por la bendición concedida por la vida y culminar una meta más y la fuerza para afrontar los restos.

Agradecimiento a laboratorio de Ingeniería Química Pesada especialmente al Ingeniero Juan Salvador García Hernández por su tiempo, apoyo y aporte económico, de igual forma al Ingeniero Jorge Luis Villagrán por ayudarnos en el diseño del prototipo.

Al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, por el apoyo otorgado durante mi formación académica.

Al Dr. Samuel Enciso Sáenz, por ayudarme a dirigir con voluntad y paciencia, de inicio a término de la presente residencia profesional.

A todos los Catedráticos, Profesores y profesoras que me brindaron sus conocimientos en las aulas y fuera de ellas, durante mi permanencia en el Centro académico, mi sincero reconocimiento.

A mi mama y papa, mis hermanos, por el apoyo entero concedido durante este tiempo de mi formación.

A todos los compañeros de grupo, amigos académicos e integrantes de la Generación, por el tiempo compartido y la amistad brindada.

## 2)Resumen

La presente investigación plantea un problema que aqueja desde hace muchos años al municipio de Chiapas a las zonas cafetaleras de México y en general a todos los países productores del grano, el cual es la inadecuada disposición del cascabillo de café, ya que generalmente es arrojada a las fuentes hídricas o abandonadas a cielo abierto luego de procesar la cereza para obtención de la semilla, que es la que finalmente se consume a nivel mundial.

Estas malas prácticas ocasionan graves daños al medio ambiente pues contaminan fuentes hídricas, suelos y aire; además de que no se aprovechan los nutrientes de estos residuos, que pueden ser utilizados por los caficultores o por personas y entidades que se interesen en el tema.

La producción de energía por medio de materia orgánica se ha vuelto objeto de estudio por ser catalogada como una energía renovable, tomando en cuenta la actual dependencia a los combustibles fósiles. La transformación termoquímica de la biomasa permite el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos con el fin de generar productos con un mayor valor energético.

Se diseñó un reactor de pirolisis para poder obtener combustible con las condiciones óptimas para el aprovechamiento de materia orgánica e inorgánica. Cuenta con un ciclón que funge como separador a la corriente proveniente del reactor y un intercambiador de calor tipo serpentín que sirve como enfriador de la corriente de gas proveniente del ciclón.

Para suministrar la materia orgánica al proceso se necesita someter a un molino de martillo después pasarlo por una malla 200 a una temperatura inicial de 600°C.

**Palabras clave:** Caracterización de biomásas, cascarilla de café, pirolisis, Reactor, ciclón, Intercambiador de calor.

### 3)Índice

#### Tabla de contenido

1)Agradecimientos .....	2
2)Resumen .....	3
3)Índice.....	4
4)Introducción .....	5
5)Descripción de la empresa .....	6
6)Problemas a resolver .....	6
7)Objetivos .....	7
8)Justificación.....	7
9) Marco teórico.....	8
10)Procedimiento y descripción de las actividades realizadas .....	27
11)Resultados, planos, gráficas, prototipos, manual, programas, análisis, estadísticos, modelos matemáticos, simulaciones, normatividades, regulaciones y restricciones entre otros. ....	28
12)Planos.....	35
13)Manual del Reactor de Pirolisis.....	38
14)Conclusiones de Proyecto, recomendaciones y experiencia personal adquirida.....	39
15)Fuentes de información .....	40
16)Anexos.....	43

## 4) Introducción

Conforme el aumento de la contaminación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales, son cada vez más las iniciativas enfocadas a desarrollar nuevas y más limpias energías, que contribuyan al desarrollo de una sociedad sostenible en términos ambientales. Es por esta razón, que las energías del futuro deben cumplir características esenciales, tales como, la reducción de desechos y agentes contaminantes producidos durante la extracción energética, además de presentar una alternativa que se virtualmente inagotable, ya sea porque posean una inmensa cantidad de energía o porque tengan la posibilidad de regenerarse naturalmente. De esta manera, las Biomásas se perfilan como una gran alternativa para la sustitución de combustibles fósiles, los cuales, tienen un papel preponderante en el panorama energético actual.

Aunque los combustibles fósiles siguen siendo la mayor fuente de energía en el mundo, factores como el cambio climático y el calentamiento global han generado nuevas políticas enfocadas a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y gases invernadero de destruyen nuestra atmosfera. De esta manera, y gracias a la gran importancia que los países desarrollados les han dado a estas iniciativas, es que el desarrollo de las llamadas energías renovables se ha intensificado en los últimos años, mejorando las condiciones de competitividad y variabilidad de estas alternativas energéticas.

Como Biomasa se entiende toda materia orgánica de origen vegetal o animal que pueda ser susceptible de ser aprovechada energéticamente y que, por esta razón, dado que de una gran cantidad de procesos industriales actuales se derivan desechos que pueden ser usados como biomasa Cascarilla de Café, es que esta alternativa se consolida como una de las más fuertes dentro del mercado energético nacional.

Por esta razón, la motivación de este proyecto es lograr caracterizar y presentar información relevante que permita, en trabajos posteriores realizar los diseños del reactor, cámaras de combustión, y equipos de pirolisis y gasificación para el aprovechamiento eficiente y productivo de la cascarrilla de café como una fuente de energía renovable.

El presente trabajo se expone el diseño de un sistema de pirolisis utilizando como materia prima el cascabillo de café por lo consiguiente diferentes tipos de plástico.

## 5) Descripción de la empresa

### Lugar de experimentación

El lugar será en el laboratorio de química pesada del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ya que durante el proceso se necesita de corriente de 220 V y el laboratorio cuenta con lo requerido para hacer nuestras pruebas requeridas. Cuenta con agua potable y otros equipos utilizados en este proceso de pirolisis.

El análisis de lo obtenido del gas al vacío se hará bajo cromatografía de gases en el laboratorio POLO para conocer sus componentes y sus concentraciones.

## 6) Problemas a resolver

La presente investigación plantea un problema que aqueja desde hace muchos años al municipio de Chiapas a las zonas cafetaleras de México y en general a todos los países productores del grano, el cual es la inadecuada disposición del cascabillo de café, ya que generalmente es arrojada a las fuentes hídricas o abandonadas a cielo abierto luego de procesar la cereza para obtención de la semilla, que es la que finalmente se consume a nivel mundial. Estas malas prácticas ocasionan graves daños al medio ambiente pues contaminan fuentes hídricas, suelos y aire; además de que no se aprovechan los nutrientes de estos residuos, que pueden ser utilizados por los caficultores o por personas y entidades que se interesen en el tema.

La pulpa de café presenta un contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de 16,5 a 18,3 por ciento, 9,5 a 11,6 por ciento y 17,5 a 20,5 por ciento, respectivamente, lo cual en promedio representa un 30 por ciento de materia orgánica difícilmente disponible para las bacterias bajo las condiciones de un tratamiento anaerobio. Además, luego de caracterizar las aguas residuales del beneficio del café reportaron que la presencia de cafeína, el pH ácido y su alta fermentabilidad limitan las posibles aplicaciones para su uso en alimentación, riego o transporte de sustrato para un proceso de biotecnología. Esta situación convierte a dichas aguas residuales y a la pulpa de café en un material altamente contaminante de aguas y suelos, aunado a los procesos de fermentación que generan malos olores y proliferación de vectores en el ambiente.

Respecto a la pulpa o residuos que se generan en el mundo al beneficiar el café no se encuentran datos específicos acerca de las cantidades, pero basta con considerar que solamente se utiliza el 9,5% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, el 90,5% queda en forma de residuo. Estos datos dejan entrever el grave problema ambiental que genera la pulpa de café en los países productores, pero a su vez, si se le mira con buenos ojos, es alentador buscar alternativas de solución por el enorme potencial económico, ambiental y social que representa.

En el año 2023 en Chiapas el promedio de la producción de pulpa de café fue de 2,25 tonal año.

Con base en estas apreciaciones y estudios generales del problema planteado se ha encontrado que la transformación de los residuos del café en gas a través de un proceso de pirolisis, es un reto para el sector cafetero y para los gobiernos. Los altos costos de los combustibles fósiles y su inestabilidad en el precio y dado que el gas obtenida del cascabillo de café proviene de recursos renovables es una alternativa a tener en cuenta

para depurarla, estudiarla, tecnificarla e implementarla en la medida de lo posible. Cabe destacar entonces, que la solución específica que se investigó en este trabajo fue la producción de gas en un reactor Bach alimentado con cascabillo de café.

Es importante tener en cuenta que solo se dispone de pulpa en épocas de cosechas, que en el estado de Tuxtla Gutiérrez Chiapas México se presenta en los meses de octubre a diciembre y las llamadas traviesas que se da en los meses de marzo y abril. No obstante, el reactor de pirolisis alimentado con cascabillo de café tiene todas las posibilidades de funcionar eficientemente con otros materiales como tallos, hojas, frutos y en general con materia orgánica.

Los análisis y estudios previos del problema permiten concluir que el cascabillo de café ha sido fuente de contaminación de aguas, suelos y aire en zonas productoras. El caficultor opta por hacer mala disposición de estos residuos en principio por desconocimiento de las consecuencias adversas para el medio ambiente, más tarde por indiferencia y falta de formación ecológica, ahora por falta de capacidad económica o por desconfianza a procesos comunitario asociativos, aunados a la desatención estatal.

## 7)Objetivos

- Evaluación de necesidades de operación e instrumentación
- Evaluación de producto de reacción
- Desarrollo del manual de arranque y operación

## 8)Justificación

La producción cafetera no es una actividad únicamente agrícola, pues como enseña la Federación Nacional de México, existe un proceso industrial conocido como beneficio que se encarga de eliminar la pulpa y el mucilago para obtener el grano de café.

El beneficio del café genera unos residuos, entre ellos el cascabillo, que por su mala utilización y disposición es altamente contaminante de aguas, suelos y aire, lo que amerita investigar acerca del aprovechamiento de dicho subproducto y la implementación tecnológica para su uso final. Con este proyecto se busca que los caficultores hagan un uso adecuado de la pulpa de café, en beneficio de su propia economía, de su salud y de sus comunidades.

Los residuos del beneficio del café, que, según café de México, también son llamados coproductor, son de gran utilidad y ofrecen buenas alternativas ecológicas, económicas y sociales; desde la producción de gas, bioetanol, compost, lixiviados y lombricultivos, hasta llegar a las últimas tecnologías de producción de alimentos para animales y humanos.

Este trabajo se enfoca en la producción de gas mediante la pirolisis que es la degradación de la masa por efecto de calor en la ausencia de oxígeno en un reactor Bach empleando cascabillo de café como materia prima, es un proceso altamente eficiente en la generación de gas con alto potencial energético, el cual puede ser otra fuente de ingresos o un ahorro para el caficultor que se beneficie de este producto.

El medio ambiente será impactado positivamente, pues las fuentes de agua recibirán menos descargas de residuo orgánico que las actuales a causa del proceso del beneficio

del café; igual sucederá con el aire ya que disminuirán las emisiones de gases generados por la fermentación de la pulpa en descomposición y mercurarán los malos olores. Los suelos serán menos contaminados por el gran uso de los residuos del café de nuestra parte el cascabillo de café.

Se espera que con este proyecto se guie para industrias, empresas productores, caficultores y estudiantes que se beneficie buena parte de la población escolar y campesina, será de gran beneficio y fuentes de ingresos, será fuente de consulta para quienes deseen producir gas a partir del cascabillo de café.

## 9) Marco teórico

### Producción de Café en México y Potencial energético de la Cascabillo de Café

Los granos de café o semillas están contenidos en el fruto del arbusto, los cuales en estado de madurez toman un color rojizo y son denominados cerezas. Cada cereza está compuesta por diferentes partes que desde afuera hacia dentro son: el pericarpio (parte exterior del fruto), el mesocarpio o pulpa, después se tiene una serie de capas como la capa de pectina, el endocarpio o pergamino, y la piel plateada o tegumento para finalmente llegar a la endosperma o grano de café. En la imagen mostrada a continuación se muestra la distribución de la estructura de un grano maduro de café:

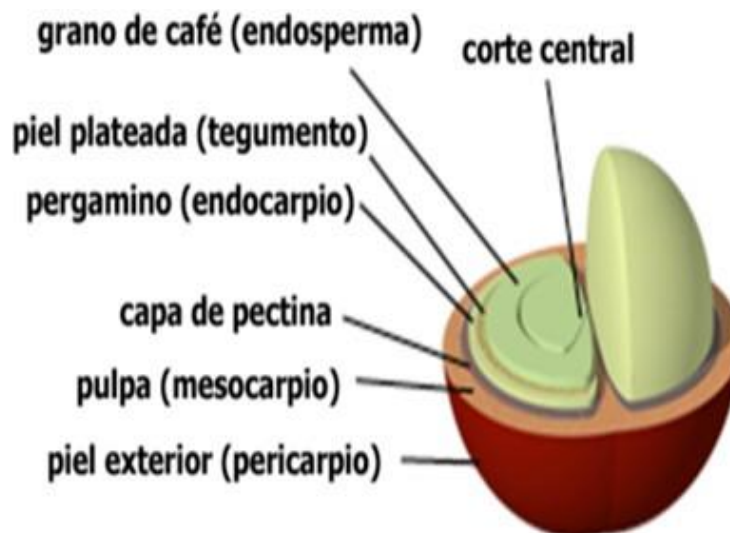


Imagen 1. Esquema de la estructura de un grano de café

Dada su amplia composición, durante el proceso de producción del café este es dividido en sus diferentes partes dejando a su paso un gran número de residuos industriales que pueden ser reaprovechados en procesos productivos como biomásas. Se estima que menos del 5% de la biomasa generada es utilizada en la elaboración de la bebida, por lo cual son muchos los subproductos del café que pueden ser reaprovechados con el fin de producir energía.

En este proyecto únicamente se concentrarán los esfuerzos para estudiar el cascabillo de café como residuo industrial susceptible de aprovechamiento energético, pero es



importante resaltar que el proceso de producción de café posee múltiples residuos que pueden ser utilizados con fines beneficiosos en el ámbito energético.

De cada kilogramo de café producido se estima que alrededor de 42 gramos de cascabillo de café son obtenidos como residuo, es decir, que alrededor del 4,2% del fruto total del café es cascarilla de café reutilizable. Los valores para la pérdida en gramos que representa cada uno de los diferentes residuos, junto con el que son generados se muestran en la tabla a continuación:

Proceso	Residuo obtenido	Pérdida (en gramos)
Despulpado	Pulpa fresca	436
Desmucilaginado	Mucílago	149
Secado	Agua	171
Trilla	Pergamino	42
	Película plateada	
Torrefacción	Volátiles	22
Preparación bebida	Borra	104
Pérdida acumulada		924

Tabla 1. Residuos del proceso de producción del café

En la actualidad ya existen lugares en los cuales, la cascarilla de café es utilizada como fuente energética en forma de briquetas o materia prima para la combustión, pero hacen falta estudios más profundos que permitan deducir características importantes acerca de la combustión de este residuo para de esta manera poder diseñar mejores y más eficientes sistemas de conversión de energía a partir de este combustible.

### Procesos de Pirolisis y Gasificación

La pirolisis se define como un proceso termoquímico mediante el cual, el material orgánico de los subproductos sólidos se descompone por la acción del calor, en una atmósfera deficiente de oxígeno y se transforma en una mezcla líquida de hidrocarburos, gases combustibles y residuos sólidos carbonizados. A través de la variación de los parámetros del proceso de pirolisis como el tipo de biomasa, la temperatura máxima, las condiciones de la atmósfera de reacción, la tasa de calentamiento y el tiempo de permanencia de los productos en el reactor, es posible influir en la distribución y características de sus principales productos.

De esta manera, el material sólido carbonizado obtenido en la pirolisis se puede utilizar como combustibles en procesos industriales en forma de briquetas o como materia prima para la producción de carbono activados. Por otro lado, el producto líquido constituido por una fracción acuosa y otra alquitranosa puede ser convertido en un combustible rico en hidrocarburos para ser usados en motores de combustión interna en la generación de energía mecánica y térmica. Finalmente, en el calentamiento del reactor de pirolisis

(gases con poder calorífico bajo o medio) o emplearse en el uso de turbinas de gas y motores de combustión interna (gases con poder calorífico alto).

En la imagen a continuación se muestran los principales tipos de procesos que se pueden llevar a cabo a partir de la biomasa junto con sus principales productos:

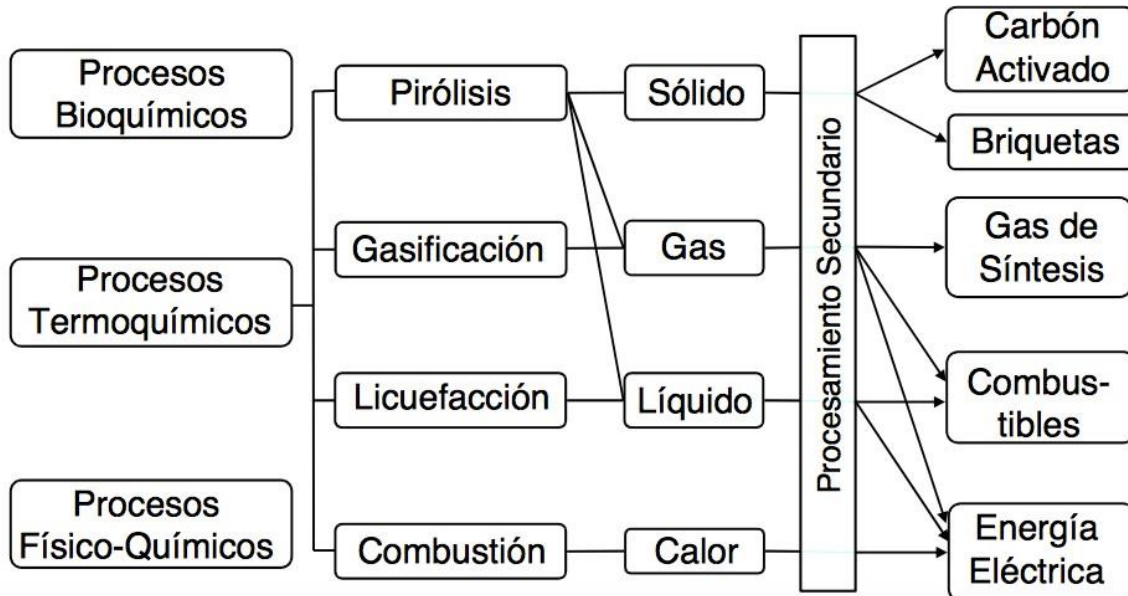


Imagen No.2 Procesos termoquímicos para la transformación de biomasa y sus principales productos y aplicaciones.

### Análisis Próximo

El análisis próximo según norma ASTM D3172 se define como la determinación de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo de una muestra. Este análisis generalmente, además de mostrar la información presentada anteriormente también es entregado con los valores del poder calorífico y el contenido de azufre de la muestra.

Humedad total (ASTM D3302M ISO 589): Es la suma de la humedad superficial y la humedad residual que contiene la muestra.

Materias Volátiles (ASTM 3175, ISO 562): Las materias volátiles son desprendimientos gaseosos de la materia orgánica durante el calentamiento exigido por la norma. A medida que la materia orgánica se calienta, se desprenden productos gaseosos y líquidos. Los constituyentes son principalmente agua, hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, sulfuros de hidrógeno, metano, vapores alquitranes, entre otros.

Cenizas (ASTM D3174, ISO 1171): Las cenizas son un producto de la combustión, es decir un residuo de la calcinación a 750° C (ASTM) o 815°C (ISO) de minerales y sales existentes. Las cenizas diluyen la fracción combustibles y forman depósitos en las paredes de los hornos. Bajos contenidos de cenizas favorecen los costos de operación y la más alta disponibilidad de los equipos.

Carbono Fijo (ASTM D-3172): El carbono fijo es la parte que no es volátil y que quema en estado sólido. Se encuentra en el residuo de coque que queda en el crisol luego de

determinadas las materias volátiles. Si a este residuo se le restan las cenizas se obtiene el carbono fijo, por lo que generalmente el porcentaje de carbono fijo no se obtiene pesando el residuo, sino por diferencia una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles.

## **INTERCAMBIADORES DE CALOR**

Los equipos intercambiadores de calor se encuentran entre los principales equipos esencialmente usados en todas las industrias de proceso, y el ingeniero químico como ingeniero de planta debe estar familiarizado con el manejo de todos ellos y de los diferentes tipos de equipo empleados en el proceso industrial.

Aunque el ingeniero no esté involucrado en la fabricación de intercambiadores de calor, él está directamente comprometido con la especificación y adquisición de equipos de transferencia de calor, por tanto, es de gran importancia las consideraciones de diseño de procesos, ya que deben decidir entre varios tipos de intercambiadores de calor, cual unidad de equipo es mejor para un proceso dado.

La mejora constante de la productividad obliga a que siempre se busque disminuir las cantidades de calor transferido mediante tecnologías como la Pinch, o utilizar un aislante térmico para disminuir las pérdidas de calor, o un control térmico automatizado. Los procesos de transferencia de calor los encontramos en los reactores, enfriadores, calentadores, condensadores, hervidores- vaporizadores, evaporadores, calderos, torres de enfrenamiento, entre otros.

Esto nos hace ver que la transferencia de calor abarca una amplia gama de fenómenos físicos que se necesitan comprender para la toma de decisiones inmediata durante la supervisión de planta, de ahí que necesitamos conocer y desarrollar una metodología que conduzca al diseño térmico de los sistemas correspondientes.

Los modernos equipos de transferencia de calor van desde los intercambiadores simples de doble tubo hasta los más complejos intercambiadores con cientos de metros cuadrados de área de transferencia. Entre estos dos extremos se encuentran el intercambiador de calor de mayor uso en la industria química; el de casco y tubos, así como los intercambiadores con tubo de superficie extendida, intercambiadores de placas, hornos y muchas otras variedades de equipo.

Una correcta selección de equipos de transferencia de calor, requiere un entendimiento de las teorías básicas de la transferencia de calor y los métodos para cálculos de diseño, sumado a esto, los problemas relacionados al diseño mecánico, fabricación.

La determinación apropiada de coeficientes de transferencia de calor es necesaria para cálculos de diseño en operaciones de transferencia de calor. Estos coeficientes muchas veces pueden estimarse sobre la base de experiencias, o a partir de ecuaciones teóricas o empíricas desarrolladas por ingenieros e investigadores en el área de ingeniería de los procesos químicos industriales.

Muchas ecuaciones semi-empíricas para la evaluación de coeficiente de transferencia de calor han sido publicadas. Cada una de estas ecuaciones tienen sus limitaciones y el ingeniero debe reconocer de estas limitaciones. Aquí se muestran los diseños utilizados las ecuaciones de mayor uso.

## ANTECEDENTES HISTORICOS

El diseño y construcción de los primeros intercambiadores de carcasa y tubos se inició en los primeros años del siglo cuando se construyeron las primeras plantas de producción de energía eléctrica y eran necesarios grandes intercambiadores como condensadores y calentadores de agua. Actualmente se siguen utilizando intercambiadores de carcasa y tubos para este servicio, aunque su diseño se ha sofisticado.

En la industria también se empezó a utilizar a principios de siglo con el desarrollo de la industria del petróleo que requiere calentadores, reboilers y condensadores para servicios con productos orgánicos normalmente bastante sucios y a altas temperaturas y presión.

Desde el principio los problemas que presentaban estos intercambiadores no eran problemas de transferencia de calor o pérdida de carga, que se fueron estimando con la práctica, sino más bien problemas con los materiales de construcción como los ocasionados por el stress térmico o problemas con las juntas entre los tubos de tubular. Hoy en día, aunque se ha avanzado mucho en este sentido estos problemas siguen ocasionado las averías en estos equipos.

En los años 20 la tecnología de los intercambiadores de carcasa y tubos estaba bastante desarrollada y grandes unidades de hasta 500 m<sup>2</sup> fueron construidas para la creciente industria del petróleo. Con la implantación de estos equipos surgió la necesidad de elaborar normas para el diseño mecánico tanto por cuestiones de seguridad, control de calidad y uniformidad de equipos. El primer de estos documentos fue TEMA del año 1941.

Entre los años 40 y 50 se llevó a cabo una intensa labor de investigación que permitió establecer la base de cálculo de estos intercambiadores para los diversos servicios y resolver la mayoría de los problemas mecánicos en la construcción.

La construcción de los intercambiadores de carcasa y tubos se ha ido desarrollando a lo largo de los años y se han convertido en los intercambiadores más ampliamente utilizados por su construcción robusta y por la gran variedad de diseño y condiciones de operación.

## INTRODUCCION Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Un intercambiador de calor se puede describir como un equipo en el que dos corrientes a distintas temperaturas fluyen sin mezclarse con el objetivo de enfriar una de ellas o calentar la otra, o ambas cosas a la vez. El intercambio de calor ocurre como se muestra en la figura 5.1:

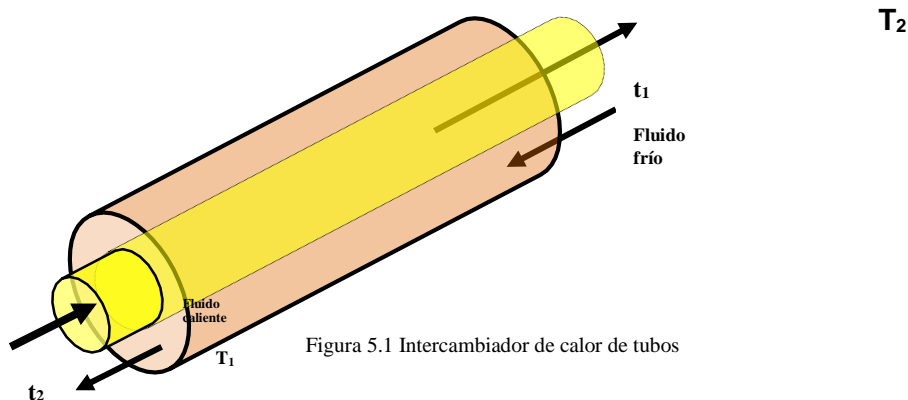


Figura 5.1 Intercambiador de calor de tubos

T1 y T2 son las temperaturas de entrada y salida del fluido caliente. t1 y t2 son las temperaturas de entrada y salida del fluido frío.

### DISPOSICION DE LAS CORRIENTES

Cuando las corrientes circulan en sentido opuesto se dice que la circulación es en CONTRACORRIENTE, pero cuando es en el mismo sentido la circulación es en PARALELO, tal como se muestra en las figuras 5.2 y 5.3 respectivamente.

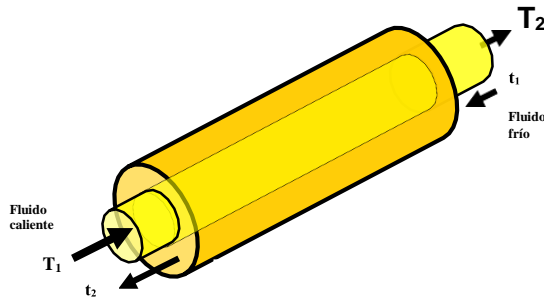


Figura 5.2 Circulación en contracorriente

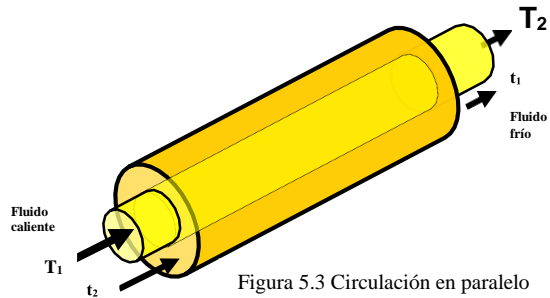


Figura 5.3 Circulación en paralelo

En algunos casos las corrientes se cruzan perpendicularmente y se denominan corrientes CRUZADAS, y se dan con mayor frecuencia en intercambio de calor de gases con líquidos.

### DIFERENCIA MEDIA LOGARITMICA DE TEMPERATURA, MLDT

Cuando se realiza una transferencia de calor sin cambio de fase se dan dos situaciones típicas en la primera, ambas temperaturas, t (Temperatura de fluido frío) y T (temperatura

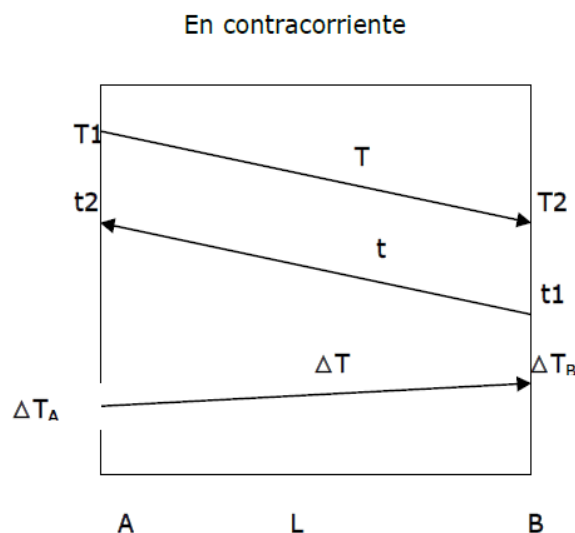


Fig.5.4 Comportamiento de las temperaturas en transferencias de calor sensible en contracorriente

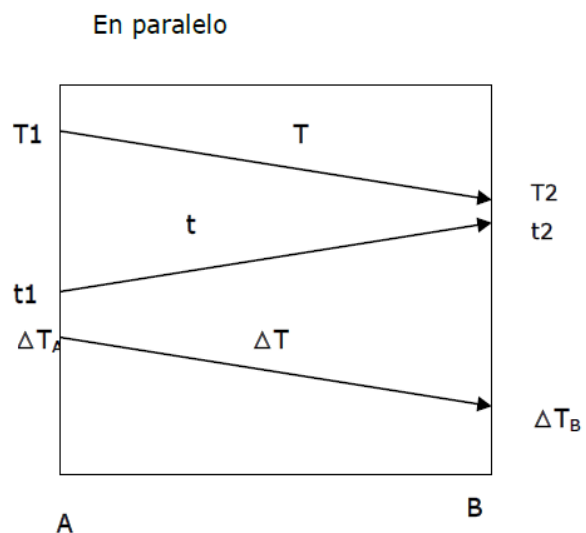


Fig.5.5 Comportamiento de las temperaturas en transferencias de calor sensible en paralelo

de fluido caliente) varían simultáneamente.  $t$  lo hace creciendo desde  $t_1$  hasta  $t_2$ , y  $T$  lo hace disminuyendo desde  $T_1$  hasta  $T_2$ . Al graficar estos cambios se presentan como se observa en las figuras 5.4 y 5.5.

La experiencia ha demostrado que el flujo en contracorriente es más efectivo que el flujo en paralelo. Veamos un ejemplo:

Cuando la transferencia de calor es en contracorriente se puede dar una situación diferente donde uno de los fluidos experimenta cambio de fase y su temperatura permanece constante durante todo el proceso o en una porción del mismo. Por ejemplo, cuando el vapor se condensa intercambiando calor con agua que se calienta desde una temperatura  $t_1$  hasta  $t_2$ , el vapor cede su calor latente y su temperatura permanece constante. El comportamiento de las temperaturas para este caso se muestra en la figura 5.6.

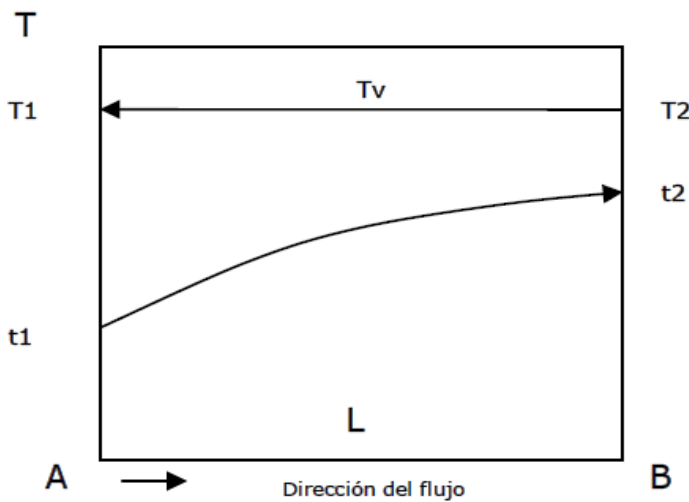


Figura 5.6 Comportamiento de las temperaturas en transferencia de calor con cambio de fase en contracorriente.

En cualquiera de los casos la variación de una o ambas temperaturas puede ser lineal, aunque lo habitual es que no lo sea.

La temperatura media se denomina temperatura media logarítmica y se calcula de la siguiente manera:

Según la disposición de flujos en los gráficos, para flujos en contracorriente:

$$T_2/t_1 = \Delta t_1 = \Delta t_A$$

$$T_1/t_2 = \Delta t_2 = \Delta t_B$$

Para flujo en paralelo:

$$T_1/t_1 = \Delta t_1 = \Delta t_A$$

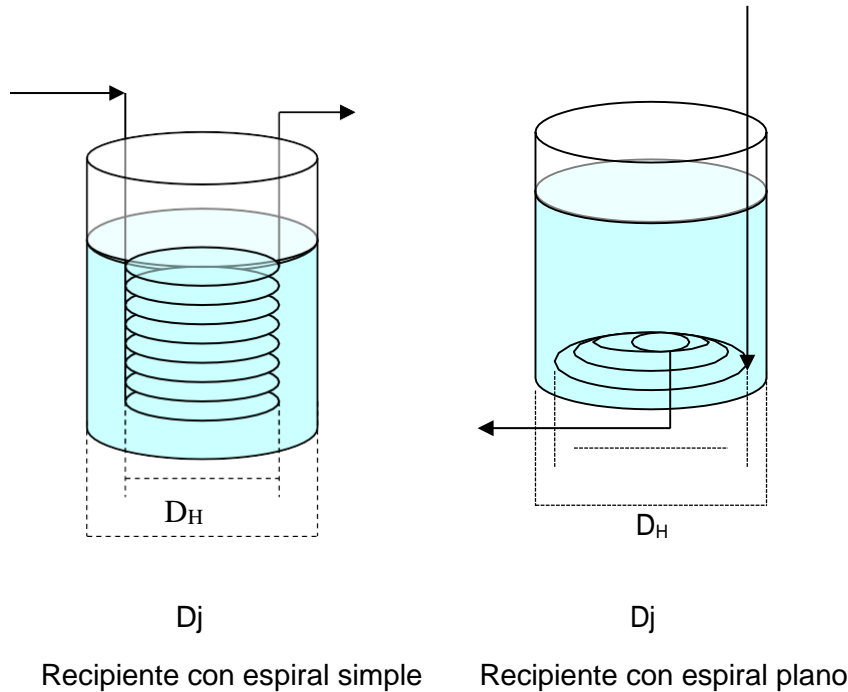
$$T_2/t_2 = \Delta t_2 = \Delta t_B$$

La temperatura media logarítmica (MLTD) se calcula de la siguiente manera:

$$MLTD = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}$$

## DISEÑO DE RECIPIENTES CON SERPENTIN SUMERGIDO

Puede ser de dos tipos: De espiral simple y de espiral plano



Calculo de U:

$$1/U = 1/hc + rc + 1/hj + rt$$

$hc =$  coeficiente de película en el tubo

$hj =$  coeficiente de película en el recipiente

Calculo de hc:

Para  $Nre > 2100$   $hc \cdot Di/k = 0.0027 (Nre)^{0.8} (Npr)^{\frac{1}{3}} (u/uw)^{0.14}$

Se corrige con F:  $F = 1 + 3.5(Di/DH)$

Donde:  $Di =$  Diametro interior del tubo

Si por el tubo circula agua, entonces usar Fig.25 para determinar coeficiente de película en el tubo.

Calculo de hj:

$$hj = Jc (k/Dj) (Npr)^{\frac{1}{3}} (u/uw)^{0.14}$$

Donde Jc se ubica en la figura 23

Calculo de Uc:

$$Uc = hc \cdot hj / (hc + hj)$$

Calculo de Ud

$$Ud = Uc \cdot hf / (Uc + hf) \text{ donde } hf = 1/r$$

Calculo del área requerida

$$A = Q / Ud * \Delta T$$

Área de cada vuelta del serpentín:  $a = \pi * DH * \text{alt}, \text{pie}^2/\text{vuelta}$

$$\text{Calculo del N}^\circ \text{ de vueltas} = Nv = A/a$$

Se denomina serpentín o serpentina a un tubo de forma frecuente espiral, utilizando comúnmente para enfriar vapores provenientes de la destilación en un calderín y así condensarlos en forma líquida. Suele ser de cobre u otro material que conduzca el calor fácilmente. Este aparato se utiliza de diversas formas, pero más comúnmente en el laboratorio de química.

Los serpentines se usan desde la antigüedad en la destilación de bebidas alcohólicas, aunque en la actualidad cualquier proceso de refinado de crudos u obtención de un producto químico puede utilizar un serpentín, bien para enfriar, bien para calentar líquidos o gases.

Los calentadores de agua para el hogar que funcionan con gas butano llevan un serpentín, que es expuesto a las llamas y dentro del cual circula el agua a calentar. También se utiliza un aparato muy parecido para esterilizar la leche, el cual se somete a un cambio brusco de temperatura haciéndola pasar de un serpentín caliente a otro refrigerado en un lapso breve.

El serpentín también forma parte de los equipos de aire acondicionado y/o refrigeración. El serpentín es un equipo intercambiador de calor que al estar en contacto con el aire de retorno el cual regresa caliente, enfría el aire gracias al refrigerante a baja temperatura que circula por su interior, y lo envía de nuevo mediante los ductos transportadores a las instalaciones y mediante este proceso las temperaturas del aire presente en las instalaciones se mantienen bajo condiciones de confort. En este tipo existen un recipiente donde va sumergido un serpentín que es un tubo que puede ser de acero al carbón, acero inoxidable o cobre, este tubo se encuentra generalmente doblado, curvado o en espiral para tratar de aprovechar al máximo el espacio y que exista una máxima superficie de transferencia de calor.

Los intercambiadores convencionales están diseñados para unos saltos térmicos superiores a los que puede proporcionar la energía solar. El salto térmico típico de un intercambiador convencional es de 90° C- 70°C, mientras que lo habitual en energía solar es 55°C-45°C. El intercambiador de serpentín deberá tener una superficie de intercambio de entre ¼ y 1/3 de la superficie útil de los colectores.

En el diseño del acumulador con intercambiador de serpentín, se tendrá en cuenta:



Con el objetivo de transferir la máxima energía posible del fluido calo portador al agua del acumulador, se colocará el serpentín en la más baja del acumulador, de forma que la diferencia de temperaturas entre fluidos sea la máxima posible.

En los serpentines helicoidales, la distancia entre espiras será igual al menos a dos veces el diámetro exterior del tubo. Esto lleva a que el intercambiador ocupe una gran altura en el interior del acumulador.

Si se utiliza como fluido calo portador agua con anticongelantes se deberá aumentar algo la superficie de intercambio (del orden de un 10%).

### **Orígenes de los separadores tipo ciclónico**

Desde hace más de un siglo, el empleo del término separador ciclónico comenzó con la patente del primer separador de este tipo realizada por la empresa American Morse. Una de las primeras aplicaciones de estos separadores está documentada en reportes de que el primer carro Renault estaba equipado con ciclones en el sistema de extracción.

En 1894, la revista "Prometeus" describía a este instrumento como " un pequeño dispositivo de dimensiones relativamente reducidas y gran simplicidad constructiva", el cual separa el polvo debido a la fuerza centrífuga y a la brusca inversión del flujo del gas que circulan en él.

Varios trabajos independientes de investigación para la optimización de estos equipos fueron realizados por Lapple en Estados Unidos, Stairmand en Reino Unido y Inouya en Japón.

En 1949, Stairmand calculó la distribución de velocidad en el ciclón para un balance de la cantidad de momento angular y estimó la presión tanto en la entrada como en la salida del ciclón por medio de la caída de presión en el remolino.

En 1984, Svarovsky introdujo el concepto de hidrociclones, empleados para la separación de fluidos de diferente densidad.

En la figura 1.1 se muestra un esquema de la configuración tradicional de un separador ciclónico con entrada tangencial y salida axial.

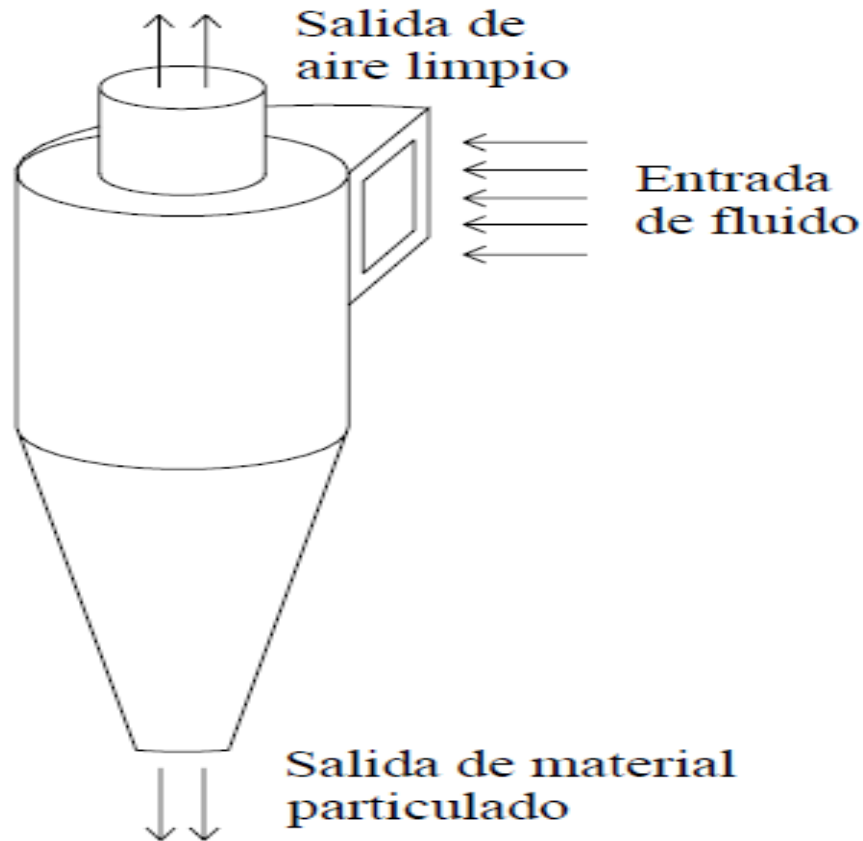


Fig.1.1

Separador ciclónico

### Principio de operación de los ciclones

Tras varios años de intenso estudio sobre los ciclones naturales, se pensó que ese principio físico se podría emplear en la separación de fluidos y fue así como surgió el separador ciclónico. Se observó que al hacer uso de fuerzas centrífugas en vez de gravitatorias, la velocidad de sedimentación de las partículas se incrementa en gran medida haciéndose más efectiva la separación de los fluidos y los sólidos.

Al introducir tangencialmente a un recipiente en forma de cilindro una corriente gaseosa cargada con partículas sólidas a determinada velocidad, estas se mueven en el interior del ciclón con una trayectoria de doble hélice. Inicialmente realiza una espiral hacia abajo, acercándose gradualmente a la parte central del separador y a continuación se eleva y lo abandona a través de una salida central situada en la parte superior dejando atrás las partículas que debido a su inercia tienden a moverse hacia la periferia del equipo alejándose de la entrada del gas y recogiendo en un colector situado en la base cónica de este.

Ya dentro en el dispositivo, se distinguen dos zonas de movimiento:

a) En la zona exterior del cilindro (cercano a la pared) predomina la velocidad tangencial, la velocidad radial es centrípeta y la axial de sentido descendente. La presión es relativamente alta.

b) En la zona interior del cilindro (cercana al centro), el flujo es más turbulento y la presión baja. Predomina la velocidad axial con sentido ascendente.

Por lo tanto, cualquier partícula se encuentra sometida a dos fuerzas opuestas en la dirección radial, la fuerza centrífuga y la de arrastre. Ambas fuerzas son función del radio de rotación y del tamaño de la partícula, por esta razón las partículas de tamaños distintos tienden a girar en orbitas de radio distintos.

Como la fuerza dirigida hacia el exterior que actúa sobre la partícula aumenta con la componente tangencial de la velocidad, y la fuerza dirigida hacia el interior aumenta con la componente radial, un separador se debe diseñar de manera que la velocidad tangencial sea lo más grande posible mientras que la velocidad radial debe ser lo más pequeño posible.

Existe una órbita de diámetro  $0.4 D_e$  (siendo  $D_e$  el diámetro del cilindro concéntrico de salida de los gases o buscador de vórtices), conocida como cilindro ideal de Stairmand, que separa la zona en la cual las partículas van a ser capturadas de aquella en la que los sólidos escapan junto con el gas.

Si la partícula sigue una trayectoria cuya orbita se encuentra dentro del cilindro de Stairmand y con una componente axial ascendente, la partícula abandonara el ciclón sin ser retenida. Si en caso contrario, la orbital es mayor a este diámetro  $0.4 D_e$ , entonces la componente axial será descendente y la partícula acabará depositándose en el fondo del ciclón.

En la figura 1.2 se ilustra el movimiento que sigue el flujo dentro del separador ciclónico. Se puede resaltar de la figura que el cambio de dirección de los vórtices se lleva a cabo en la zona del cono, por lo que es de interés estudiar esta zona con más profundidad. Existen otros factores que interfieren en la captura de las partículas, como colisiones entre las partículas y turbulencias que pueden afectar a la eficiencia del ciclón.

Además, para un buen funcionamiento del ciclón se debe garantizar que la salida de las partículas se lleve a cabo en condiciones de estacionamiento. Se debe impedir que el aire exterior penetre en el interior del ciclón provocando la dispersión de las partículas ya depositadas.

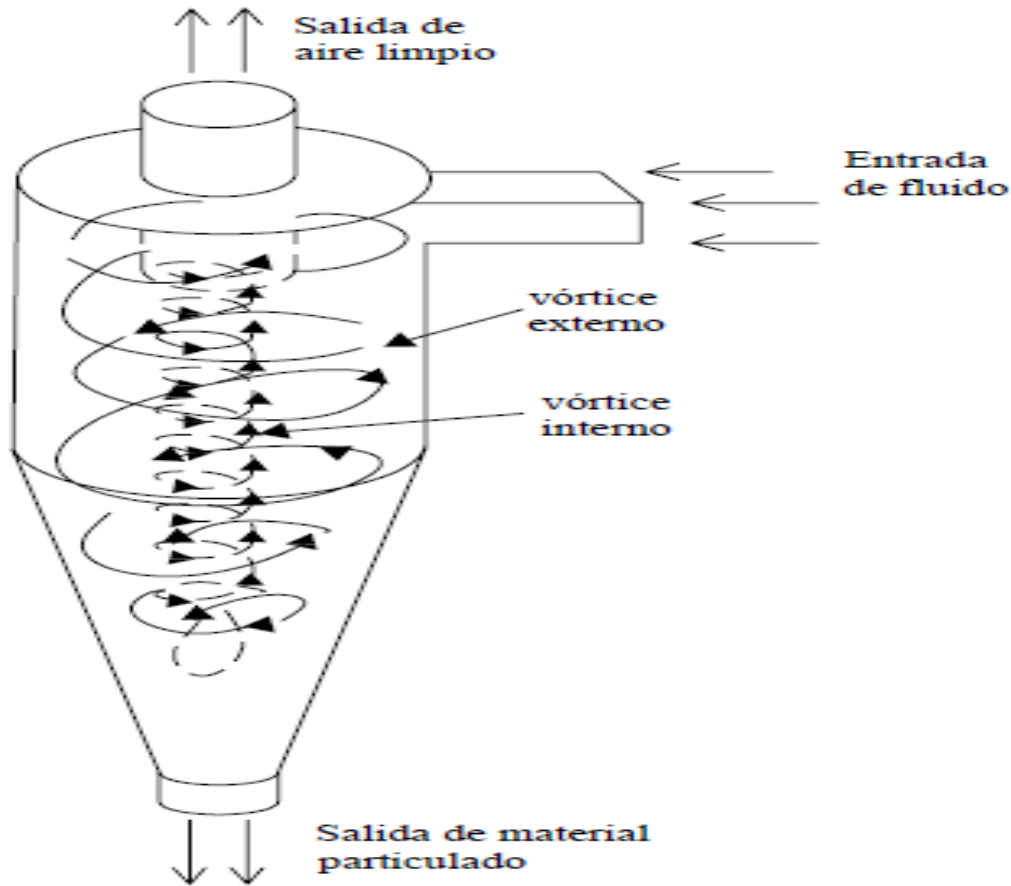


Fig.1.2 Dirección del flujo dentro de un separador ciclónico.

### Estado actual de la investigación en separadores ciclónicos

Aunque han pasado muchos años desde la implementación del primer ciclón en un proceso de separación, su extenso uso y variadas ventajas han hecho que hasta el día de hoy se continúe con la investigación de la operación de este tipo de dispositivo con el fin de lograr una comprensión detallada de los fenómenos que ocurre dentro del proceso de separación que se lleva a cabo dentro de estos equipos.

Con el fin de realizar una optimización en el diseño de los ciclones, varias investigaciones se han llevado a cabo en años recientes acerca de los efectos que las dimensiones de una o varias partes del ciclón tienen en el proceso de separación.

Se han desarrollado tres tipos de ciclones con varias geometrías para la entrada de gas, incluyendo una sola entrada tangencial, una entrada simétrica directa en espiral, y una entrada simétrica convergente en espiral. El resto de las dimensiones del ciclón se mantuvo constante, solo alterándose la configuración de la entrada. El caudal de aire a la entrada de los tres ciclones se mantuvo constante en la experimentación, lo mismo que la concentración de partículas para los tres casos de estudio. Se encontró que la entrada directa en espiral tiene una eficiencia de separación de 0.15 a 1.15 % más que la entrada tangencial. La entrada convergente en espiral tiene una eficiencia de 0.4 a 2.4 % mayor

que el ciclón tradicional disminuyendo al mismo tiempo la caída de presión a través del ciclón.

Los efectos de la longitud del ciclón en la eficiencia de separación y la caída de presión a través del ciclón fueron investigados por Hoffmann. La longitud total del ciclón se varió modificando la longitud del segmento cilíndrico exclusivamente. Los resultados experimentales se basaron en longitudes desde 2.63 hasta 6.5 diámetros del ciclón. Se encontró que la operación del ciclón mejora al aumentar la longitud del cilindro hasta 5.5 diámetros. Los datos experimentales coinciden con las predicciones de un diferentes modelos y simulaciones numéricas, encontrándose que los ciclones pueden alargarse hasta un valor de  $h/D_c = 5.65$  con lo que se obtiene una mejor eficiencia de separación y una disminución de caída de presión. Alargar el cilindro a valores mayores provoca una caída drástica en la eficiencia de separación.

Un estudio del efecto de las diferentes dimensiones del ciclón en su operación y eficiencia fue presentado por Avci y Karagoz. Se reportó que el diámetro del cono efecto la aceleración del fluido y las partículas y en consecuencia afecta la eficiencia de separación y las pérdidas de presión a través del ciclón. El tener diámetros muy pequeños no es recomendable desde el punto de vista de las pérdidas de presión y la longitud del vórtice, mientras que diámetros muy grandes afectan a la eficiencia de separación.

## **2.1 Separación de partículas**

Existen distintos mecanismos de separación de partículas transportadas por un fluido, algunos de estos mecanismos se basan en las diferencias físicas y químicas de los elementos separar. Sin embargo, existe otro mecanismo de separación que se basa en el uso de fuerzas y no de las propiedades características de los elementos que se van a separar. A este mecanismo de separación se le conoce como separación mecánica.

Los métodos de separación mecánicos pueden ser agrupados en dos grupos principalmente:

- 1.- A aquellos cuyo mecanismo es controlado por la mecánica de fluidos.
- 2.- Aquellos cuyo mecanismo no es controlado por la mecánica de fluidos.

## **2.2 Separador ciclónico**

Los ciclones son unos de los dispositivos más empleados dentro de las operaciones de separación de partículas sólidas de una corriente gaseosa, además de poder emplearse para separar sólidos de líquidos (hidrociclones). Son equipos de una gran sencillez estructural debido a que no poseen partes móviles y su mantenimiento es mínimo, además de que los costos de mantenimiento son muy bajos y tienen capacidad de operar a altas presiones y temperaturas.

Como se mencionó, al hacer uso de fuerzas centrifugas en vez de gravitatorias, la velocidad de sedimentación de las partículas se incrementa en gran medida haciéndose más efectiva la separación.

El separador ciclónico es un equipo muy eficaz a menos que la corriente gaseosa contenga una gran cantidad de partículas de diámetro inferior a unos 10  $\mu\text{m}$ . Aunque se puedan emplear ciclones para separar partículas con diámetros mayores de 200  $\mu\text{m}$ , esto

no suele ser muy frecuente ya que los sedimentadores por gravedad o los separadores por inercia resultan normalmente más efectivos y menos sujetos a la abrasión. Los separadores ciclónicos se pueden emplear tanto para gases cargados de polvo como de niebla, es decir, para pequeñas partículas líquidas.

### 2.2.1 Tipos de separadores ciclónicos

- Existen distintos criterios de clasificar los separadores ciclónicos:
- Por su configuración geométrica
- Por su configuración de entrada
- Por la forma de su cuerpo

De acuerdo con el primer criterio de clasificación, se distinguen los siguientes tipos de separadores ciclónicos:

- Entrada tangencial y descarga axial
- Entrada tangencial y descarga periférica
- Entrada y descarga axiales
- Entrada axial y descarga periférica

## MUFLA

La mufla está diseñada para una gran variedad de aplicaciones, incluyendo trabajos de laboratorio, procesos de control, tratamientos térmicos, secado y calcinación de precipitados térmicos, secado y calcinación de precipitados, ensayos de fundición.

Su construcción exterior es robusta, doble gabinete de acero, terminado en esmalte anticorrosivo, aislamiento de acero, terminado en esmalte anticorrosivo, aislamiento de Aluminio-Sílice de alta eficiencia, elemento calefactor empotrado, puerta utilizable como mesa caliente (excepto en el modelo FE-363). Todos los modelos tienen un rango de operación de 50° a 1100°C.

La mufla cuenta con un programador indicador de display múltiple micro-controlado con una resolución de 1 °C para el control de temperatura. Todos los modelos operan con termopar tipo K, cuentan con regulador de aire, diseñados con elementos de alta calidad y presión.

### Signos de advertencia utilizados en este instructivo de operación

1. Este instructivo de operación utiliza signos de advertencia para una operación segura a modo de prevenir a los usuarios de accidentes o daños al equipo.

	<b>PRECAUCIÓN</b>	¡Precaución! Significa que el usuario puede sufrir daños por una mal actividad realizada.
	<b>ADVERTENCIA</b>	¡Advertencia! Significa que la unidad puede tener daño por uso indebido en el manejo de esta.
		Este símbolo indica que el equipo debe de conectado a una línea eléctrica aterrizada.



## AVISO

### Aviso

Este símbolo en el texto indica que hay información adicional sobre el funcionamiento y las características del producto.

Estos símbolos se utilizan en el instructivo de operación para un manejo seguro y adecuado que permita un uso sin riesgos para el usuario y para el equipo.

Presente atención a los símbolos de Advertencia o Precaución del instructiva para evitar accidentes.

## Instalación

Todas las personas que lleven a cabo la operación de instalación y mantenimiento de la unidad, deben leer y entender la información de seguridad y las instrucciones de operación.

Para su correcta operación es necesario que el usuario se familiarice con los controles y las especificaciones mostradas en el modelo.

El equipo debe de instalarse en un entorno seguro y adecuado considerando los siguientes puntos:

### 1. Condición de funcionamiento

El estado de la temperatura y la humedad del ambiente debe ser normal, entre 15°C-35°C.

### 2. Condición ambiental

No exponga el equipo a la intemperie.

### 3. Ubicación del equipo

Instalar sobre una superficie o mesa plana, fuerte, nivelada y firme.



### 4. Espacio

El equipo debe mantenerse al menos a 1,5 m de cualquier luminaria o fuente de calor y deje al menos un espacio de 25 cm, entre el equipo y cualquier superficie vertical. Mantenga el área alrededor de la base libre de cualquier material para permitir la ventilación.


Nivelación: Las patas de soporte del equipo deben de asentar todas completamente y nivelarse el equipo sobre el piso o base a colocar.

### 5. Conexión eléctrica

Ver el cuadro de especificaciones antes de conectar o verifique la etiqueta frontal del equipo para encontrar las condiciones eléctricas adecuadas. El sistema de control requiere se conecte a una línea aterrizada a tierra para evitar problemas de ruido.

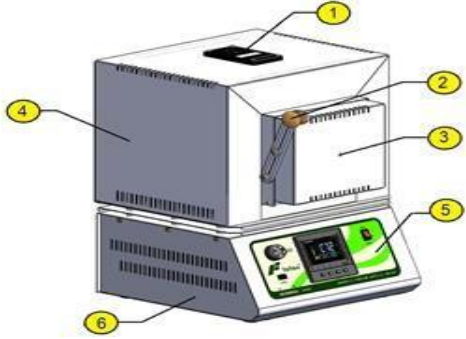
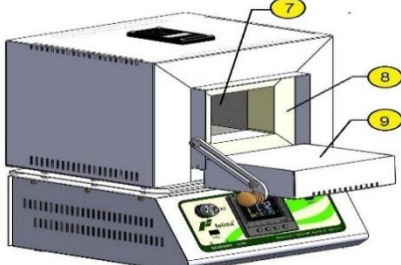
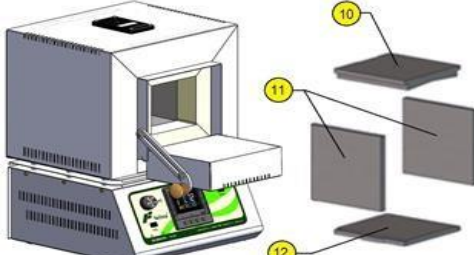
 <b>PRECAUCIÓN</b>	Conectar el equipo a una red eléctrica debidamente instalada y aterrizada y que cumpla con las condiciones eléctricas correctas.
 <b>ADVERTENCIA</b>	No conecte a la alimentación sin antes verificar como utilizar el equipo.

Etiqueta de identificación

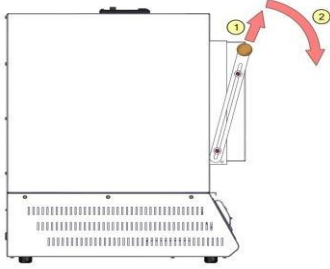
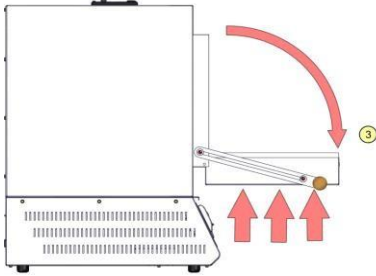
 <p>The image shows a dark green identification label with white text. From left to right, it contains: 'MUFLA' (callout 1), 'FE-340' (callout 2), 'TEMPERATURA: 1100°C' (callout 3), 'POTENCIA: 1500 w' (callout 4), 'VOLTAJE: 120 V.A.C.' (callout 5), and 'SERI' (partially visible, callout 6). Below the text are five yellow circles containing the numbers 1 through 5, with lines pointing to the corresponding text on the label.</p>					
1. Tipo:	Familia determinada, con función específica.				
2. Modelo:	Indica tipo de equipo especificado.				
3. Temperatura:	Indica el rango máximo de temperatura que el equipo puede otorgar.				
4. Potencia:	Potencia eléctrica del máximo consumo del equipo.				
5. Voltaje:	De alimentación del equipo.				
6. No. Serie:	Indica el número único asignado de fabricación del producto.				



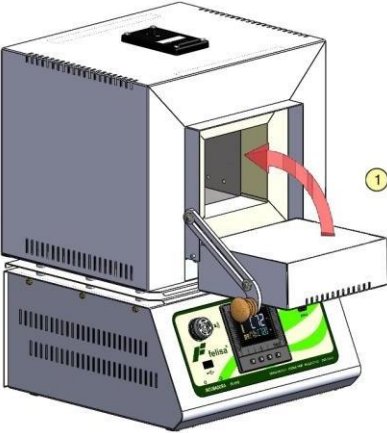
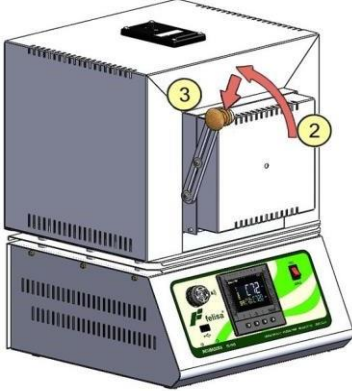
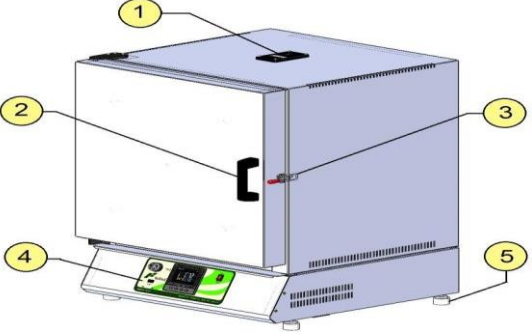
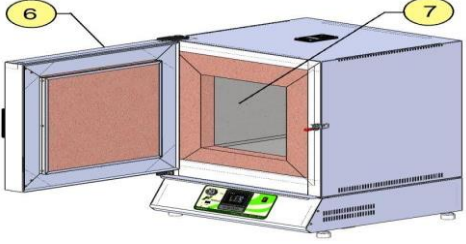
## Componentes del equipo

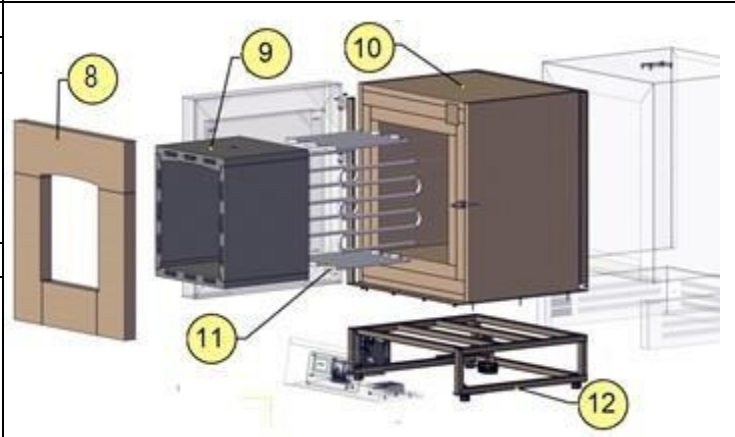
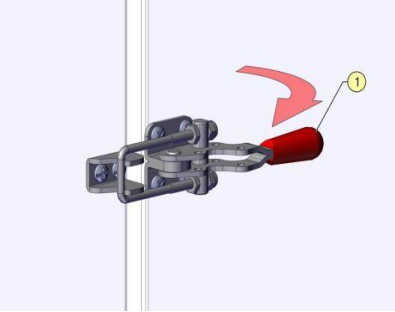
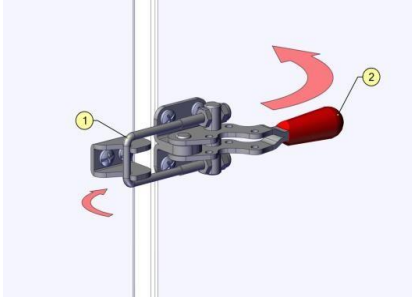
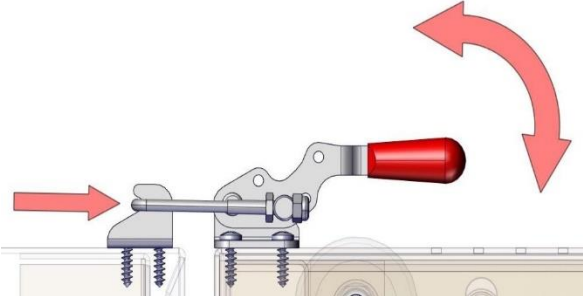
<p>1.Regulador a. Salida de aire caliente y de vapores</p> <p>2.Jaladera puerta</p> <p>3.Puerta</p> <p>4.Cajón exterior</p> <p>5.Panel de control a. Pantalla digital, 4 botones de control, salida comunicación USB, perilla para control de velocidad e interruptor.</p> <p>6.Soporte gabinete del ensamble de control</p>	 <p>Este diagrama muestra la parte superior del equipo con los componentes numerados del 1 al 6. El regulador (1) está en la parte superior. La salida de aire caliente y de vapores (a) está en la parte superior. La jaladera de la puerta (2) está en la parte superior. La puerta (3) está en la parte superior. El cajón exterior (4) está en la parte superior. El panel de control (5) está en la parte inferior. El soporte gabinete del ensamble de control (6) está en la parte inferior.</p>
<p>7.Cámara interior</p> <p>8.Aislante frontal</p> <p>9.Aislante puerta</p>	 <p>Este diagrama muestra la cámara interior del equipo con los componentes numerados del 7 al 9. La cámara interior (7) está en la parte superior. El aislante frontal (8) está en la parte superior. El aislante de la puerta (9) está en la parte superior.</p>
<p>10.Elementos calefactor superior</p> <p>11.Elementos calefactor lateral</p> <p>12.Elemento calefactor inferior</p>	 <p>Este diagrama muestra los elementos calefactores del equipo con los componentes numerados del 10 al 12. Los elementos calefactor superior (10) están en la parte superior. Los elementos calefactor lateral (11) están en la parte superior. El elemento calefactor inferior (12) está en la parte inferior.</p>

## Apertura y cierre de la puerta

 <p>Abrir: Se toma la perilla de puerta, se jala hacia arriba hasta que destrabe. Sin soltar la perilla deslice la puerta hacia abajo.</p>	 <p>La puerta se desliza hasta quedar en forma horizontal; la puerta se sostiene en esa posición.</p>
---	---

## Cierre de puerta

	
<p>1.Regulador de salida de aire 2.Jaladera puerta 3.Broche de puerta 4.Panel de control 5.Patas del gabinete</p>	
<p>6. Puerta completa Cuerpo puerta Fondo puerta Perno broche puerta Manija puerta 7. Cámara interior</p>	

8. Aislante cerámica frontal	
9. Base refractaria	
10. Aislantes cerámicos: Superior Inferior Laterales Posterior	
11. Elementos calefactores	
12. Estructura gabinete de control	
	
<p>1. Abrir: Se destraba el broche de la parte posterior con giro hacia afuera. Y se desliza hacia adelante.</p>	<p>1. Cerrar: Se engancha la punta de la tapa del broche con el retén ubicado en la puerta. Se desliza un poco hacia atrás con un leve giro hacia adentro hasta trabar.</p>
<p>Ajuste de presión de cierre</p>	

## 10) Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

Se instrumentó el equipo de pirolisis bajo óptimas condiciones con las medidas de seguridad. Con instrumentos como medidores de temperatura, medidores de presión y medidores de nivel. Soldamos la estructura del núcleo del reactor y la del intercambiador de calor con serpentín, añadimos tuberías de agua de enfriamiento y tuberías para obtener nuestro producto. Y para concluirlo diseñamos el isométrico y el manual de uso.

11)Resultados, planos, gráficas, prototipos, manual, programas, análisis, estadísticos, modelos matemáticos, simulaciones, normatividades, regulaciones y restricciones entre otros.

### **Formulación de hipótesis**

¿Es posible que exista una interacción positiva entre las materias primas y la velocidad de reacción en la pirolisis requerida para obtención de gas a partir del cascabillo de café?

### **Lugar de experimentación**

El lugar será en el laboratorio de química pesada del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ya que durante el proceso se necesita de corriente de 220 V y el laboratorio cuenta con lo requerido para hacer nuestras pruebas requeridas. Cuenta con agua potable y otros equipos utilizados en este proceso de pirolisis.

El análisis de lo obtenido del gas se hará bajo cromatografía de gases en el laboratorio POLO para conocer sus componentes y sus concentraciones.

### **Primer Diseño experimental utilizando cascabillo de café**

Utilizando el programa de minitab para elaborar nuestro simulador

## **Diseño factorial de múltiples niveles**

Factores:	3	Réplicas:	3
Corridas base:	27	Total de corridas:	81
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Número de niveles: 3, 3, 3

## **Modelo lineal general: Tipo de mate vs. Temperatura, Tiempo de re**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Temperatura	aleatorio	3	500, 600, 700
Tiempo de reacción	aleatorio	3	15, 25, 30

Análisis de varianza para Tipo de materia prima, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Temperatura	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Tiempo de reacción	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Error	76	54.0000	54.0000	0.7105		
Total	80	54.0000				

**Anova**

Los puntos importantes son P.

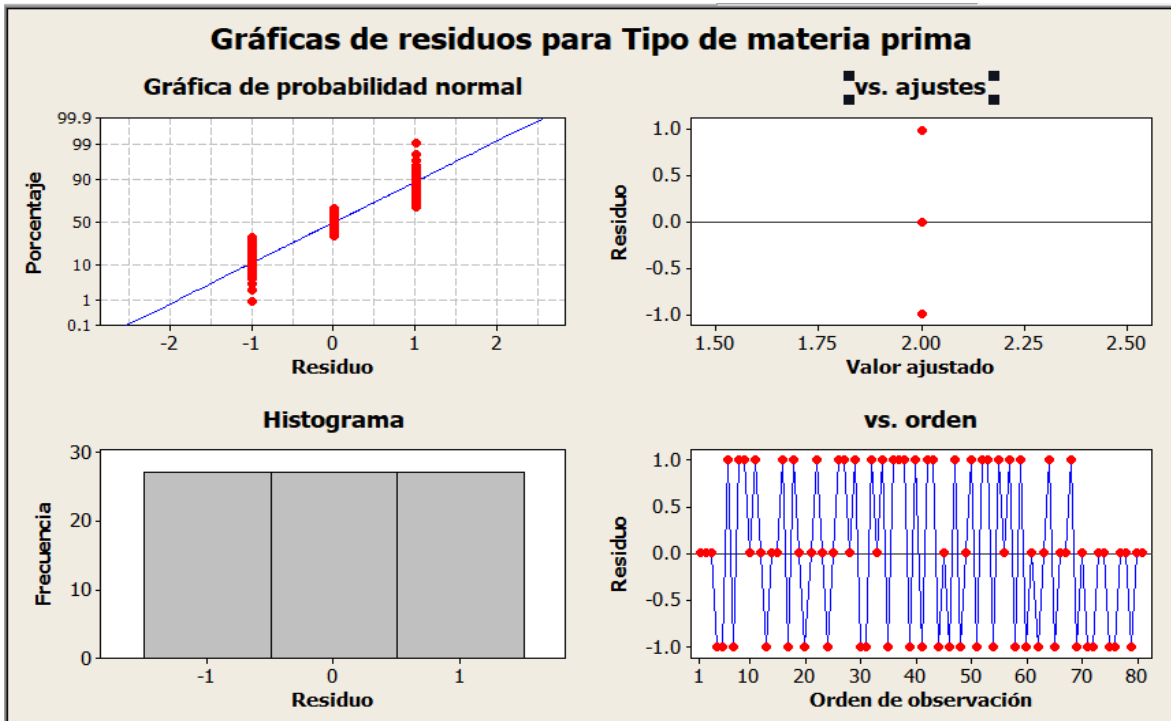
GL=Grados de libertad.

SC Sec=Suma de cuadrados.

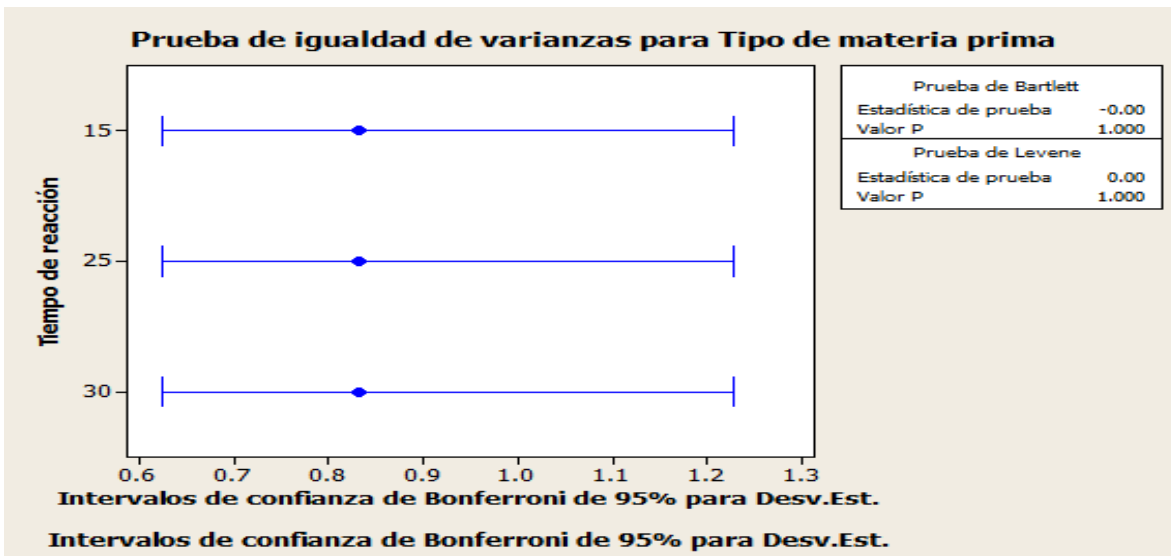
MC ajust=Cuadrado medio del error es 0.7105.

F= Valor F es cero.

P=Pe  $P < 0.05$  Ha, existen al menos 2 métodos diferentes. Se tiene que a ser pruebas de comparación.



No existen una tendencia fija por lo tanto los datos son independientes.



### Conclusión del diseño experimental

El diseño experimental no se pudo asar con datos reales, se hizo con datos supuestos por causas de accidentes y por algunas necesidades. Pero se pudo modelar

Modelamos el diseño experimental de bloques al azar nos servirá para identificar si hay una diferencia significativamente entre el tipo de materia prima con las variables Temperatura y velocidad de reacción, para poder elegir cual es el mejor tratamiento.

### Segundo diseño experimental (para cuando se use otras materias primas)

#### Tipo de experimento

El tipo de experimento que se llevará a cabo será un experimento científico del tipo determinado el cual será un experimento factorial, ya que lo que se quiere conseguir es la confirmación de la hipótesis planteada con anterioridad para poder alcanzar los objetivos establecidos. El tipo de experimentación factorial va a ser del tipo totalmente al azar del tipo  $3^k$  de donde k son los factores y 3 son el número de niveles que tendremos, donde los factores van hacer cuantitativos.

#### Tratamientos

El número de tratamientos será establecido con los siguientes datos según con el diseño:

Pirolisis: Degradación del cascabillo de café por acción del calor en ausencia de oxígeno.

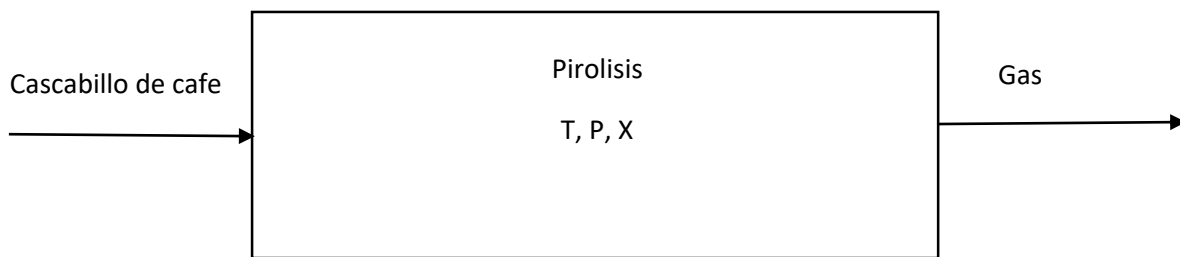


Tabla 1. Variables independientes y dependientes.

Variables independientes	Variables dependientes
1.- Tipo de materia prima	1.- Tiempo de residencia
2.- Temperatura	2.- Rendimiento
3.- Presión	3.- Volumen

#### Repeticiones

Experimento factorial con 9 tratamientos con 3 repeticiones y 27 unidades experimentales

3 Factores en estudio (F) cada factor con 3 niveles (N)

No. De Tratamientos para un experimento factorial

$$\text{Tratamientos} = N^F = 3^3 = 9$$

Diseño experimental es completamente aleatorio por lo tanto son 3 repeticiones

#### Unidad experimental

Utilizando la siguiente formula se calculará el número de Unidades experimentales:

$$\text{No. Unidaades Experimentales} = \text{Tratamientos} * \text{Repeticiones} = 9 * 3 = 27$$

Entonces en este experimento factorial, se harán 27 Unidades Experimentales en 9 tratamientos en 3 repeticiones.

### Análisis estadístico

Para la construcción del modelo estadístico para el diseño planteado que es el  $3^2$  se puede suponer una construcción con efectos individuales para cada factor que se presenta, además de las interacciones entre ambos y nos quedaría una fórmula de la siguiente forma:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$$i = 1,2, \dots 3 \quad j = 1,2, \dots 3 \quad k = 1,2 \dots n$$

De donde:

$\mu =$  media general

$\alpha_i =$  efecto del  $i -$  esimo nivel del factor A

$\beta_j =$  efecto del  $j -$  esimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij} =$  efecto de la  $ij$  de la interaccion entre A y B

$\epsilon_{ijk} =$  error aleatorio que tiene una distribución de la forma  $N(0, \sigma^2)$

### Prueba de hipótesis

La hipótesis la podemos plantear de dos formas. La primera es:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

La otra manera de escribir la hipótesis sería:

$$H_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$$

$$H_A = \alpha_i \neq 0 \text{ para algun } i$$

$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_A = \beta_i \neq 0 \text{ para algun } i$$

$$H_0 = (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ para todo } ij$$

$$H_A = (\alpha\beta)_{ij} \neq 0 \text{ para todo } ij$$

### Técnica de recopilación de datos

En la investigación usaremos el experimento factorial

**Tabla 2. Conceptos**

<b>F1</b>	Tipo de materia prima
<b>F2</b>	Temperatura
<b>F3</b>	Presión
<b>N1</b>	Tiempo de residencia



<b>N2</b>	Rendimiento
<b>N3</b>	volumen

**Tabla 3.1 Combinación**

<b>N1</b>			<b>N2</b>			<b>N3</b>		
<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>

**Tabla 3.2 Combinación**

<b>F1= Tipo de materia prima</b>			<b>F2= Temperatura</b>			<b>F3= Presión</b>		
N1= Tiempo de residencia	N2= Rendimiento	N3= volumen	N1= Tiempo de residencia	N2= Rendimiento	N3= volumen	N1= Tiempo de residencia	N2= Rendimiento	N3= volumen

**Tabla 4. Posibles combinaciones.**

F1-N1= Tipo de materia prima - Tiempo de residencia	F2-N1= Temperatura- Tiempo de residencia	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
F1-N2= Tipo de materia prima - Rendimiento	F2-N1= Temperatura- Tiempo de residencia	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
F1-N3= Tipo de materia prima - volumen	F2-N1= Temperatura- Tiempo de residencia	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
F1-N2= Tipo de materia prima - Rendimiento	F2-N2= Temperatura- Rendimiento	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
F1-N2= Tipo de materia prima - Rendimiento	F2-N3= Temperatura- volumen	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
F1-N3= Tipo de materia prima - volumen	F2-N2= Temperatura- Rendimiento	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
F1-N3= Tipo de materia prima - volumen	F2-N3= Temperatura- volumen	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
F1-N3= Tipo de materia prima - volumen	F2-N1= Temperatura- Tiempo de residencia	F3-N2= Presión- Rendimiento
F1-N3= Tipo de materia prima - volumen	F2-N2= Temperatura- Rendimiento	F3-N3= Presión- volumen

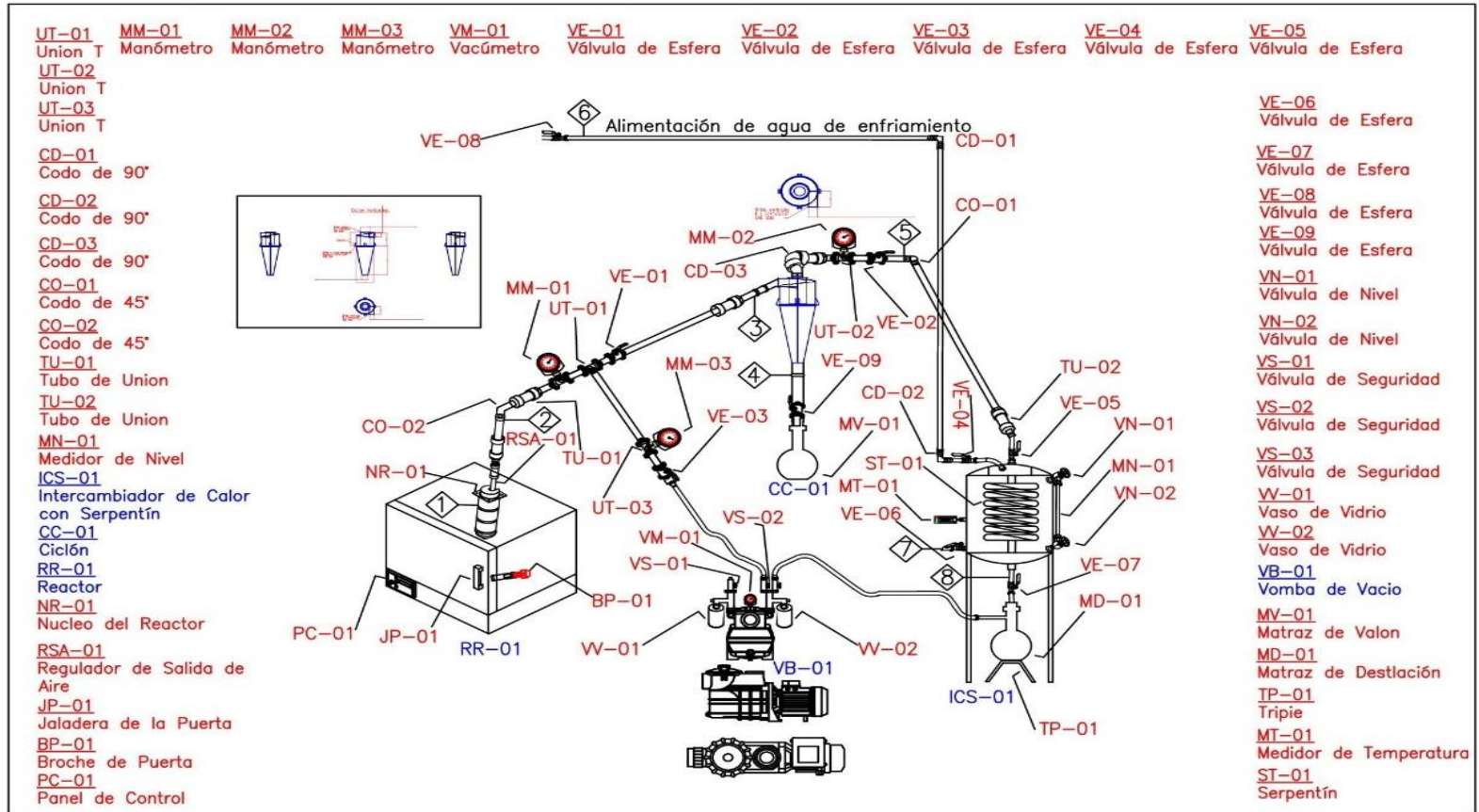
**Tabla 5. Combinación de tratamiento y Repeticiones**

<b>Tratamientos</b>	<b>Repeticiones</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	F1-N1= Tipo de materia prima -	F2-N1= Temperatura-	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia

	Tiempo de residencia	Tiempo de residencia	
<b>2</b>	F1-N2= Tipo de materia prima - Rendimiento	F2-N1= Temperatura- Tiempo de residencia	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
<b>3</b>	F1-N3= Tipo de materia prima – volumen	F2-N1= Temperatura- Tiempo de residencia	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
<b>4</b>	F1-N2= Tipo de materia prima – Rendimiento	F2-N2= Temperatura- Rendimiento	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
<b>5</b>	F1-N2= Tipo de materia prima - Rendimiento	F2-N3= Temperatura- volumen	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
<b>6</b>	F1-N3= Tipo de materia prima - volumen	F2-N2= Temperatura- Rendimiento	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
<b>7</b>	F1-N3= Tipo de materia prima - volumen	F2-N3= Temperatura- volumen	F3-N1= Presión- Tiempo de residencia
<b>8</b>	F1-N3= Tipo de materia prima - volumen	F2-N1= Temperatura- Tiempo de residencia	F3-N2= Presión- Rendimiento
<b>9</b>	F1-N3= Tipo de materia prima – volumen	F2-N2= Temperatura- Rendimiento	F3-N3= Presión- volumen

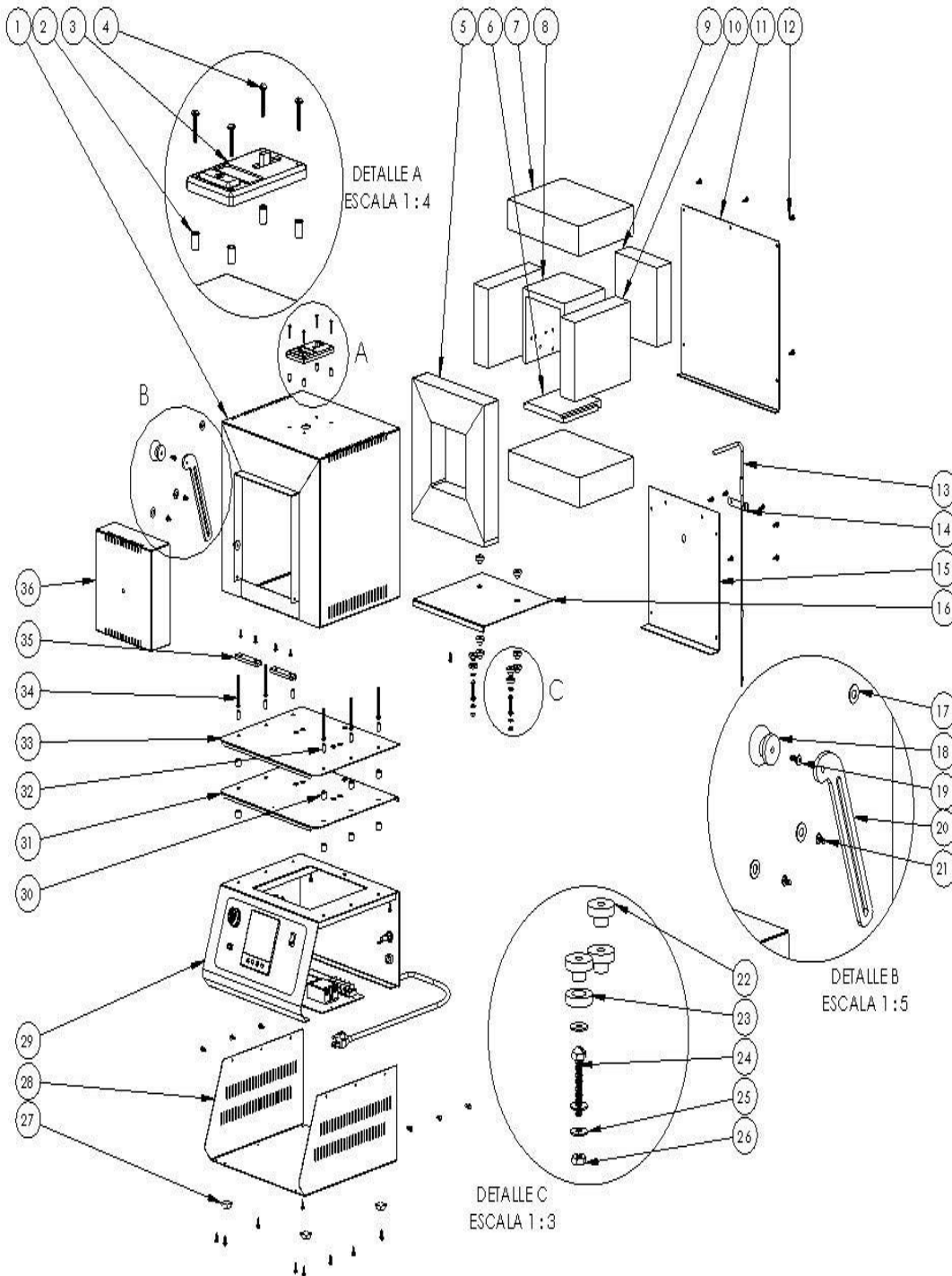
## 12) Planos

### Diagrama De Manual De Araque y Operacio De Un Reactor De Pirólisis



Matriz de balance de materia (kg)								
Componentes/corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8
Cascabillo	10	0	0	0	0	0	0	0
H2O	0	0.625	0.625	0	0.625	228.24	228.24	0.625
CO	0	1.944	1.944	0	1.944	0	0	1.944
CO2	0	3.055	3.055	0	3.055	0	0	3.055
CH4	0	0.555	0.555	0	0.555	0	0	0.555
H2	0	0.069	0.069	0	0.069	0	0	0.069
C6H8O	0	3.333	3.333	0	3.333	0	0	3.333
C	0	0.416	0.416	0.416	0	0	0	0
Matriz de balance de energia								
Temperatura (°C)	30	600	600	600	600	20	40	100
Entalpia (kJ/mol)	0	23.013	23.013	23.013	23.013	1.508	3.016	3.347

# Reactor

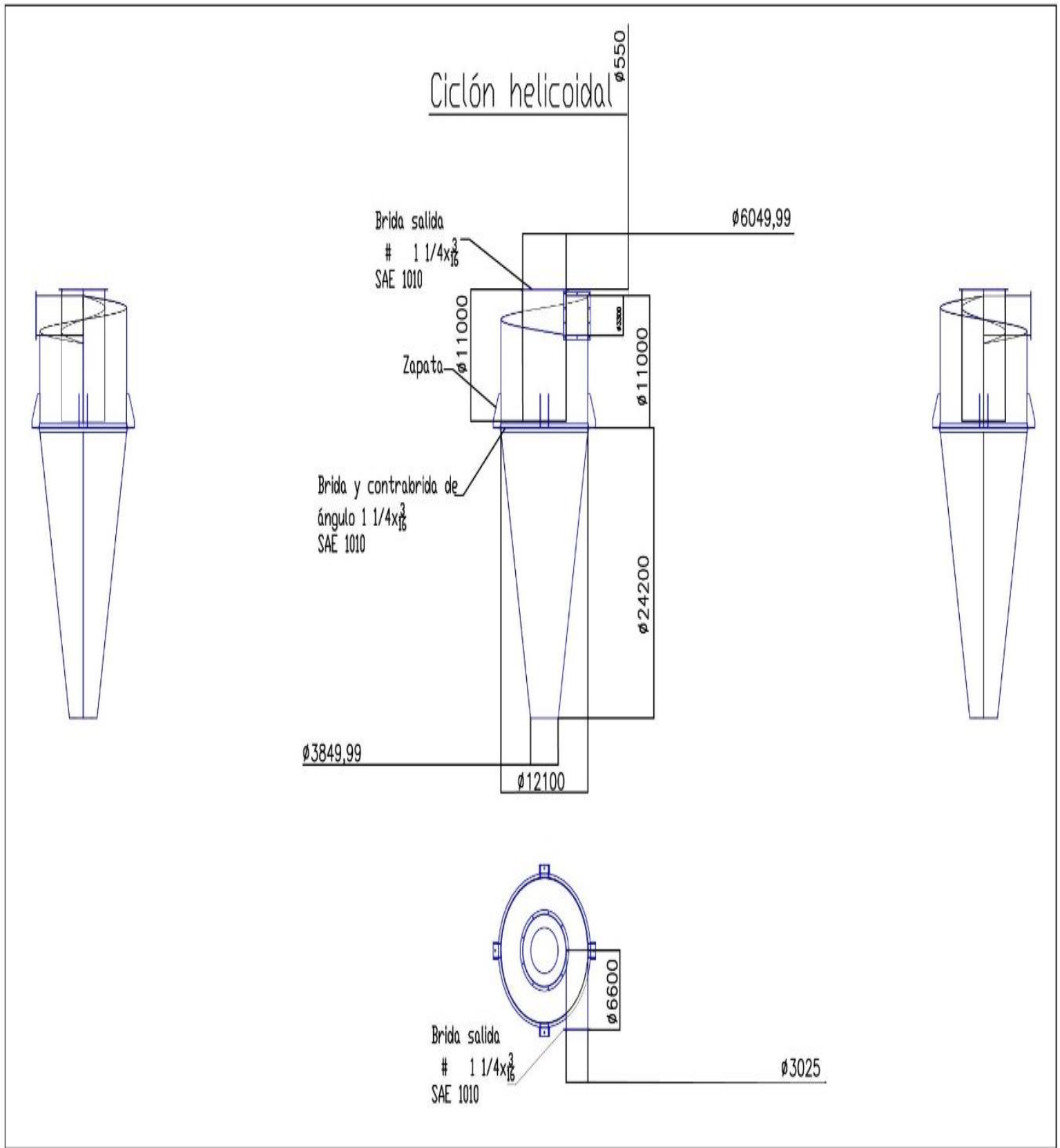


Lista de equipos	
Clave	Nombre
1	Gabinete FE-340
2	Inseto cadmizado 8-32
3	Regulador FE-131
4	Tornillo c/gota inox. De 8/32" x 3/4"
5	Aislante frontal FE-340
6	Base refractaria FE-340
7	Aislante superior FE-340
8	Elemento calefactor
9	Aislante posterior FE-340
10	Aislante lateral I FE-340
11	Tapa posterior C. E. FE-340
12	Pija hex. Autorrosc. Broca 8 x 1/2"
13	Termopar tipo K de 1/4 diam.
14	Soporte para termopar
15	Tapa posterior C. I. FE-340
16	Tapa interior C. I. FE-340
17	Rondana planta inox. De 1/2"
18	Perilla de madera
19	Tornillo cabeza cruz 10/32 X 1/2"
20	Cierre puerta cromada FE-340
21	Tornillo gal c/fij./cruz 10/32 X 3/8"
22	Aislador Boton
23	Aislador hembra
24	Tornillo c/gota ran inox 3/16 X 1 1/4
25	Rondana plana laton 3/16 int 1/2 ext
26	Tuerca hexag. Inox. Nc 3/16
27	Pata de hule con adhesivo
28	Soporte gabinete FE-340
29	Control ensamblado
30	Separador
31	Tapa soporte # 1 FE-340
32	Inserto cadmizado 10-32
33	Tapa soporte #2 FE-340
34	Tornillo c/fij. 10/32 X 2" trop
35	Soporte puerta FE-340 "m"
36	Ensamble Puerta

Reactor	
Materia	Residencia profesional
Asesor Interno	Samuel Enciso Sáenz
Asesor Externo	José Luis Escobar Villagrán
Alumno	García Utrilla Ricardo



# Ciclón



### 13)Manual del Reactor de Pirolisis

- 1.Pesamos 2 kilo de cascabillo de café en la balanza analítica o granataria.
- 2.Pasamos al molino de martillo o de cuchillas para disminuir su tamaño.
- 3.Tamizamos todo lo obtenido con un tamiz número 200.
- 4.Tomamos 1 kilo de cascabillo de café después probamos con 800 gramos y 500 gramos para meterlo en el recipiente del núcleo del Reactor NR-01.
- 5.Checamos que las válvulas de esfera VE-01, VE-02, VE-04 y VE-05 estén cerradas.
- 6.La válvula de esfera VE-03 debe de estar abierta.
- 7.En el panel de control PC-01 del reactor colocamos la temperatura a la cual deseamos trabajar las temperaturas son 500 °C, 600°C y 700°C.
- 8.Iniciamos con la temperatura de 500 °C cerramos el reactor prendemos nuestra bomba de vacío VB-01 la cual pasa por la trampa de vapor el cual es un Matraz Erlenmeyer ICS-01 donde se almacenará el gas. La bomba servirá para extraer el oxígeno del núcleo y así no se queme nuestra materia prima.
- 9.La bomba tiene 2 entradas de vacío la primera se utiliza por lo mas cercano al núcleo y la otra entrada de vacío es para que lo traiga donde pasa por el ciclón y el intercambiador de calor.
- 10.Despues en un determinado tiempo entre 2 a 3 minutos cerramos las válvulas de esfera VE-03 y abrimos las válvulas de esfera VE-01, VE-02, VE-04 y VE-05. La segunda entrada de vacío se encargará de volver a ser el trabajo de extraer el oxígeno y de traer el gas, checamos la presión a la que entra y sale.
- 11.Alimentamos el agua de enfriamiento al intercambiador de calor abrimos las válvulas VE-08, VE-04, checamos el medidor de nivel MN-01 que haya llegado a su nivel anotamos la temperatura de entrada del agua y salida con el medio de temperatura MT-01.
- 12.Analisamos el CC-01 si hay partículas en el recipiente. Analizamos las presiones de cada equipo del Reactor, Ciclón e intercambiador de calor con serpentín.
- 13.Abrimos la válvula de esfera VE-07 para que se almacene en el ICS-01 anotamos la temperatura del gas y la presión a la que salió. Apagamos el reactor.
- 14.Lleamos el gas para analizarlo se hará bajo el cromatógrafo de gases en el laboratorio POLO para conocer sus componentes y sus concentraciones.
- 15.Probamos con otras materias primas para otro objetivo en específico.

## 14) Conclusiones de Proyecto, recomendaciones y experiencia personal adquirida.

En esta Residencia Profesional tuvimos como objetivo instrumentar y diseñar el equipo de pirolisis con el fin de obtener combustible como gas utilizando materia orgánica como el cascabillo de café. En un futuro se piensa utilizar diferentes tipos de plásticos para obtener gasolina y adaptar un reactor con catalizador.

El reactor se le añadió el núcleo para poner la muestra diseñado para que alcance altas temperaturas y no haya alguna fuga ni se peque en las paredes. El reactor es una mufla Felisa, modelo FE-363, un ciclón Stairmand de alta eficiencia donde se le añadió medidores de presión en la entrada y salida y válvulas. un intercambiador de calor de tipo serpentín de cobre que opera a contracorriente que se le añadió un medidor de nivel, válvulas y se soldó los orificios de fuga, se mejoró la tapa y se puso un medidor de temperatura.

Se diseñó un matraz Erlenmeyer para utilizarlo como trampa de vapor donde se almacenará nuestro gas o productos obtenidos.

Se compuso una bomba de vacío se le dio mantenimiento la cual quedo en perfectas condiciones.

Se compararon las distintas reacciones y estudios de pirolisis en diferentes artículos donde encontramos las mejores variables dependientes e independientes como temperatura presión, volumen, Tiempo de residencia y rendimiento.

Se concluyó que una temperatura de operación optima dentro del reactor es de 600°C, con un tiempo de residencia de 30 minutos a presión atmosférica que se catalogó como una pirolisis convencional. Del mismo modo la presión de operación para el ciclón es a presión atmosférica. El intercambiador de calor tipo serpentín se diseñó en base a la temperatura de entrada y salida (600°C-100°C) del fluido caliente (gas de pirolisis) y las temperaturas de entrada y salida (40°C-20°C) del fluido frio (agua de enfriamiento).

El ciclón tipo Stairmand de alta eficiencia, para remoción de sólidos y líquidos contenidos en el gas proveniente del reactor, diseñado en acero inoxidable 304.

El intercambiador de calor al ser de tipo serpentín cuenta con dos partes en la construcción, la carcas o recipiente y el serpentín, construido en acero inoxidable 304 para el primero y en tubo de cobre ASTM B-68 de temple flexible.

Se concluyó que el equipo quedo en óptimas condiciones para ser utilizado de una manera segura y profesional. Utilizando materia orgánica como el cascabillo de café para obtener gas.

Se recomienda hacer pruebas por triplicado a diferentes temperaturas, volumen, tiempo de reacción y diferentes materias primas. Del mismo modo ir sofisticando o rediseñando para una mejor calidad.

Aprendí a diseñar equipos e instrumentar mediante todo lo aprendido en la carrera de ingeniería química.

## 15) Fuentes de información

- Acoplásticos. (2021). *Acoplásticos*. Obtenido de <https://www.acoplasticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/36-opc-fag-pre4>
- Belmonte, M. I. (s.f.). *Laboratorio de técnicas instrumentales UVA*. Obtenido de <https://laboratorioteccnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/cromatografa-de-gases>
- Buekens, A. (2006). *Introduction to Feedstock Recycling of Plastics*. Universidad Libre de Bruselas .
- Cáceras, P. (17 de julio de 2020). *el Ágora diario del agua*. Obtenido de <https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/economia-circular/cuantos-tipos-de-plastico-hay-aprende-a-distinguirlos/>
- Cajas Baque, A. M., & Campaña Figueroa, B. L. (23 de abril de 2019). *Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39910>
- Campos Lapa, C. A., & Tenazoa Armas, F. (23 de Marzo de 2018). *Universidad César Vallejo* . Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32380>
- Carlos, U. (2020). La solución que transforma el plástico en combustible. *El blog de la empresa vasca*.
- Casarín, J. L. (30 de octubre de 2019). *El economista*. Obtenido de <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Reciclaje-en-Mexico-20191030-0001.html>
- ChamycalSafetyFacts. (2021). *ChamycalSafetyFacts.org*. Obtenido de <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/cloruro-de-polivinilo/>
- Corzo, I. A. (2019). *TÉCNICAS DE ANÁLISIS EN QUÍMICA ORGÁNICA CROMATOGRFIA* . Universidad Nacional de Santiago del Estero .
- Curiosando. (20 de junio de 2018). *Curiosando.com*. Obtenido de <https://curiosoando.com/que-propiedades-tiene-el-polipropileno-y-para-que-se-utiliza>
- Envaselia. (2018). *Envaselia* . Obtenido de <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-poli-etileno-de-alta-densidad-hdpe-o-pead-id18.htm>
- Eres medio ambiente* . (30 de mayo de 2021). Obtenido de <https://eresmedioambiente.com/pirolisis-que-es-tipos-y-proceso-pirolitico/>
- Fernando Balseca-Sampedro, S. M.-A.-H.-M. (2021). Diseño de un prototipo de reactor de pirólisis térmica para la descomposición y aprovechamiento de residuos plásticos fabricados a partir de: PP, PE, Y PS. *Polo conocimiento* .
- Gema, C. (2016). Estudiante crea máquina para hacer gasolina con PET. *Notimex*.



- Gerardo, N. (2017). Un curioso y sustentable metodo que trasforma el plastico de la basura en gasolina y disel. *inspimundo*.
- JUBEDI, S. (2019). *JUBEDI, S.L. Comercializadora de plásticos* . Obtenido de <https://jubedi.com/comercializacion-de-plasticos/ps-poliestireno/>
- Kaalpakjian, S. &. (2018). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson Education .
- Maity, A. C. (2020). Catalytic nanosponges of acidic aluminosilicates for plastic degradation and CO2 to fuel conversion. *Nat Commun*.
- Melisa Oliveraa, M. M. (2019). Producción de hidrocarburos por pirólisis de plásticos. *rea Fisicoquímica, DETEMA, Facultad de Química, Udelar, Uruguay*.
- Mesa Upegui, M. P., & Ortiz Rodríguez, C. I. (28 de Julio de 2016). *Fundacion Universidad de America*. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/477>
- Mohamed M.Garib Alla, A. I. (2014). CONVERSION OF PLASTIC WASTE TO LIQUID FUEL. *International Journal of Technical Research and Applications*.
- Mohanraj C., S. T. (2017). A review on conversion techniques of liquid fuel from waste plastic materials. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH*.
- NaumanAhmad, NabeelAhmad,. (2020). Thermal conversion of polystyrene plastic waste to liquid fuel via ethanolysis. *Fuel, Science Direct*.
- Pallab Das, P. T. (2018). The effect of slow pyrolysis on the conversion of packaging waste plastics (PE and PP) into fuel. *waste mangement*.
- Panda, A. (2015). *Waste plastics to fuel: A sustainable method for waste reduction and energy generation*. Dept, of Chemistry School of Engg and Technology.
- Parrales , A., Reyes Vera, M., & Pine Tobar, W. (2012). *Cromatografía del Gas Natural*. Ecuador : ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Pongstabodee, S. K. (2008). *Combination of three-stage sinkfloat method and selective flotation technique for separation of mixed post-consumer*. . Waste Management.
- Química, D. (2021). *De Química. Recursos Educativos de Quimica*. Obtenido de <https://www.dequimica.info/destilacion-a-vacio>
- Repsol. (2021). *Repsol. Global* . Obtenido de <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/polietileno/index.cshtml>
- Santillán, M. L. (27 de Julio de 2018). *Ciencia UNAM*. Obtenido de <http://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>
- Significados. (30 de mayo de 2021). *Significados.com*. Obtenido de <https://www.significados.com/combustible/>
- Squeasy. (12 de diciembre de 2018). *Sqeasy*. Obtenido de <https://www.squeasy.es/que-es-el-polipropileno-toxicidad-usos-propiedades-y-mas/>
- Unamunzaga, I. A. (2019). Plástico en México. *ICEX*.

Valdez Cervantes, O. D., & Riesco Avila , J. M. (1 de 11 de 2020). *Jovenes en la ciencia* .  
Obtenido de  
[jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1267](http://jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1267)

Zúñiga, L. O. (03 de Julio de 2019). *Expansión*. Obtenido de <https://expansion.mx/vida-arte/2019/07/03/10-cifras-de-la-onu-para-mostrar-el-dano-que-los-plasticos-le-hacen-al-planeta>

Mancheno, Mirian. (2016). Aprovechamiento energético de residuos plásticos obtenido combustibles líquidos, por medio de pirolisis. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/4760/476051461008/html/index.html>

<https://manufactura.mx/industria/2016/01/18/estudiante-crea-maquina-para-hacer-biocombustible>

<https://spanish.alibaba.com/g/small-pyrolysis-plant.html>

<https://www.inspimundo.com/2017/01/basura-en-gasolina/>

## 16)Anexos

### Estado del arte

#### El proceso de pirolisis a temperaturas menores de 300 °C

Coincidiendo con los estudios realizados por Proaño y Crespo a temperaturas menores a 300°C se obtiene la acumulación de un producto sólido resinoso, que representa la cantidad de residuos que no ha sido paralizado completamente, razón por la cual no se trabaja con temperaturas inferiores para impedir los bajos rendimientos de combustibles líquido.

#### Proceso de pirolisis usando Reactor semi-bach

VARIABLES	Primera prueba	Segunda prueba
Temperatura	220°C	400°C
Tiempo de Residencia	10, 15, 20, 30 minutos	30, 60 y 120 minutos
Volumen	15 gramos	15 gramos
Materia Prima	Cascabillo de Café	Cascabillo de Café
Presión	9 PSI	9 PSI

#### La determinación de tiempos de residencias más óptico

En el examen estadístico de la fracción líquida de pirolisis a 30, 60 y 120 minutos de los diferentes tiempos de residencia, se obtuvo una equivalencia de mayor a 0.05, demostrando que no hay diferencia significativa entre ellos.

En los estudios presentados por Proaños y Crespo se recomienda tiempos de residencia de 60 y 120 minutos como los más óptimos, sin embargo, para este estudio se toma un tiempo de residencia de 30 minutos debido a que no existe una diferencia significativa de obtención de fracción líquida en los diferentes tiempos planteados.

Analizando que, con esto se disminuye el consumo de energía eléctrica, así con el tiempo empleado en el progreso de cada prueba.

#### Propuesta para la industria

El proceso de pirolisis es algo que actualmente existía para transformar el residuo plástico en ciertos productos. Sin embargo, jamás ha tenido el beneficio suficiente ni ha sido lo suficientemente provechoso como para adaptarlo a soluciones industriales. Nuestros procesos lo que hace es aumentar ese rendimiento, nos permite trabajar a menores temperaturas. De este modo, aumenta su eficacia en cuanto a costes, por lo que resulta aplicable a la industria real en el instante en el que nos encontramos.

#### Recursos obtenidos del plástico

Gracias al proceso, los productos que obtenemos a partir del plástico tienen un importante valor añadido para la industria. Así, la proveemos de productos petroquímicos y combustibles que no tienen origen fósil, sino que proceden de otros de segunda vida, que son los que esa industria debe utilizar para generar la sostenibilidad que se necesita.

### **Pirolisis método comercial (métodos comerciales)**

La pirolisis, también denominada termólisis, es un proceso de descomposición química y térmica, que generalmente conduce a moléculas. Semánticamente, el término termólisis es más apropiado que la pirolisis, ya que el fuego implica la presencia de oxígeno y por lo tanto de reactivo y portador de oxígeno intermedios. En la mayoría de los procesos de pirolisis, sin embargo, el aire es excluido, por razones de seguridad, calidad del producto y rendimiento. (Mohamed M.Garib Alla, 2014)

### **¿Qué es la pirolisis?**

Es un proceso alternativo a la incineración convencional que consiste en la desintegración térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno y otros agentes gasificantes.

En este proceso, la naturaleza y la desintegración de los productos finales pueden clasificarse en tres grandes grupos en ocupación de las propiedades de los residuos tratados, de la temperatura y presión de la maniobra, y de los tiempos de permanencia del material en la unidad de pirolisis.

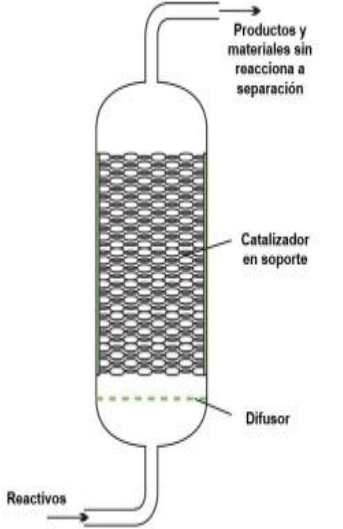
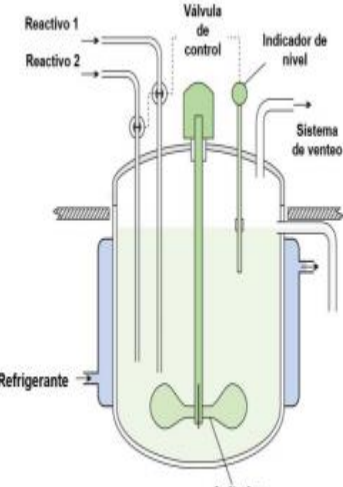
La pirolisis de polietileno de baja densidad condujo a la formación de hidrocarburos con propiedades similares a las de los obtenidos por refinación de petróleo. En condiciones adecuadas

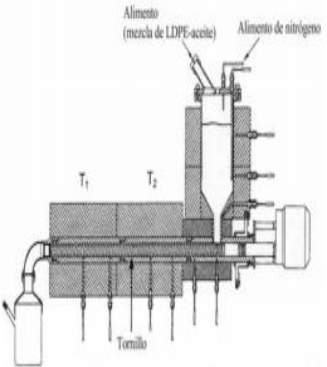
de temperatura y presión y con utilización de un catalizador en base a una arcilla nacional fue posible obtener rendimientos de producto líquido superiores al 70 % (Melisa Oliveraa, 2019)

Tabla 1. Tipos de pirolisis. Adaptado de Flor. "México". (Tabla),2017.

<b>Tipo de pirolisis</b>	<b>Temperatura (C°)</b>	<b>Presión (Mpa)</b>	<b>Tiempo de residencia (S)</b>	<b>Velocidad de calentamiento</b>
Rápido	577-977	0.1	0.5-10	10-200
Lento	227-677	0.1	450-550	0.1-1
Vacío	300-600	0	1	0.1-1
Hidropirólisis	350-600	5-20	>15	10-300
Catalítica	Las condiciones de operación depende del tipo de catalizador a emplear, las cuales se discutirán a lo largo de este capítulo.			

Tabla 4. Principales ventajas y desventajas de los reactores empleados en la pirolisis. Adaptado de Flor. "México". (Tabla),2017.

Reactor	Ventajas	Desventajas	Ilustración del tipo de reactor
Lecho fijo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil diseño</li> <li>• Empleo de catalizador en presentación de pellet</li> <li>• Fácil identificación de parámetros para la obtención de productos de pirolisis</li> <li>• Se utiliza preferentemente a escala laboratorio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja transferencia de calor</li> <li>• Influencia del tamaño de plástico (preferentemente pequeño)</li> <li>• Poca superficie de contacto con el catalizador</li> </ul>	 <p>Diagrama de un reactor de lecho fijo. El reactor es un cilindro vertical que contiene un lecho de catalizador en el centro. En la parte inferior del lecho hay un difusor. Una línea de entrada en la parte inferior izquierda indica la entrada de reactivos. Una línea de salida en la parte superior derecha indica la salida de productos y materiales sin reacción a separación. El catalizador está etiquetado como 'Catalizador en soporte'.</p>
Horno rotatorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliamente utilizado para pirolisis lenta</li> <li>• Buena transferencia de calor</li> <li>• Uso industrial</li> <li>• Proceso continuo</li> <li>• Fácil diseño</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de calentamiento lenta</li> <li>• Calentamiento poco uniforme</li> <li>• Gran volumen de reactor</li> </ul>	<p>-----</p>
Batch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usado a nivel laboratorio</li> <li>• Tiempo de pirolisis que se desee</li> <li>• Fácil control de variables</li> <li>• Fácil diseño</li> <li>• Proceso discontinuo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilidad de los productos a obtener</li> <li>• Altos costos de producción</li> <li>• Dificultad para una producción a escala industrial</li> <li>• Difícil limpieza</li> <li>• Proceso discontinuo</li> </ul>	 <p>Diagrama de un reactor de tipo batch. El reactor es un cilindro horizontal con un agitador central. Hay entradas para Reactivo 1 y Reactivo 2. Hay una Válvula de control y un Indicador de nivel. Hay un Sistema de venteo y un Refrigerante. El agitador está etiquetado como 'Agitador'.</p>

<p>Tubular tipo tornillo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación continua de residuo</li> <li>• Proceso continuo</li> <li>• Buena transferencia de calor</li> <li>• Fácil diseño</li> <li>• Proceso continuo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influencia del tamaño de plástico (preferentemente pequeño)</li> <li>• Erosión de tornillo</li> <li>• Se debe emplear para materiales poco duros</li> </ul>	
------------------------------	---	--	---

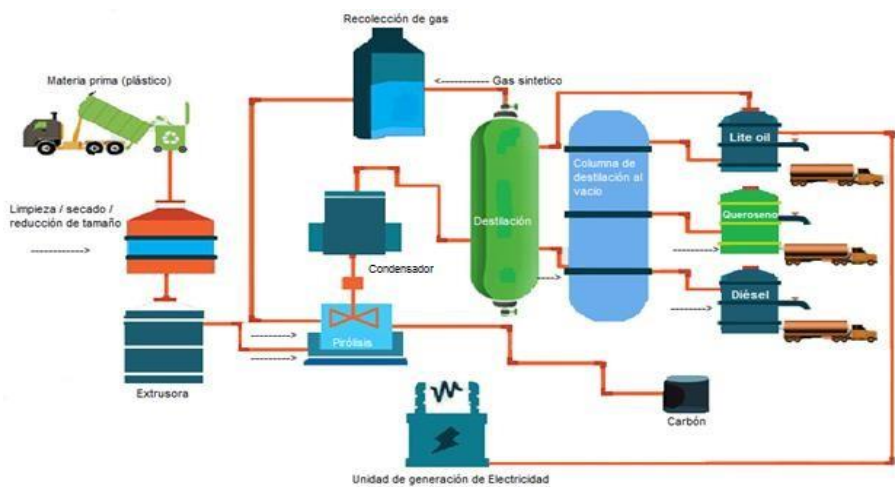


Figura 1. Esquema de proceso Cynar. Adaptado de Michael. "Inglaterra". (figura),2017.