

870118

Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS



TESIS CON
FALSA LE ORIGEN

"MODIFICACION Y EXPERIMENTACION DE UN
REACTOR DE CARGA DE LECHO FLUIDIZADO"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

PRESENTA

ROBERTO RAUL ROMERO CASTAÑEDA

ASESOR: I.Q. MARIA DEL CONSUELO LOPEZ LIMON

GUADALAJARA, JALISCO 1988



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**"MODIFICACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE UN REACTOR DE CARGA
DE LECHO FLUIDIZADO"**

	PAGINA:
* PRÓLOGO	1
* OBJETIVOS	2
* NOMENCLATURA Y DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	4
* CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN.	
A) GENERALIDADES	3
B) ANTECEDENTES HISTÓRICOS	7
C) VENTAJAS Y DESVENTAJAS	9
D) APLICACIONES DIVERSAS	13
* CAPÍTULO 2.- TEORÍA.	
A) LA BURBUJA	15
B) CAIDA DE PRESIÓN	18
C) ELUTRIACIÓN	21
* CAPÍTULO 3.- PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS.	
A) FRACCIÓN HUECA	24
B) REOLOGÍA DEL SÓLIDO	26
* CAPÍTULO 4.- EQUIPO.	
A) DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	31
B) MODIFICACIONES AL EQUIPO	33
* CAPÍTULO 5.- PARTE EXPERIMENTAL.	
A) EXPLICACIÓN DE EXPERIMENTOS REALIZADOS	35
B) PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	37
C) CÁLCULO DE VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN	39

D) CALIBRACION DEL ORIFICIO	40
E) EXPERIMENTACION DE CADA TAMANO	42
F) GRAFICAS DE RESULTADOS (ELUTRIACION)	59
G) TABLA DE RESULTADOS (ELUTRIACION)	60
* SINTESIS DE LOS RESULTADOS	62
* RESUMEN	65
* CONCLUSIONES FINALES	67
* BIBLIOGRAFIA	68

PRÓLOGO

En las siguientes páginas, se describen brevemente las actividades y observaciones realizadas durante la experimentación con un reactor de carga de Lecho Fluidizado en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Guadalajara.

Durante la experimentación con el reactor, se procuró utilizar un sólido considerado ideal en el estudio de la fluidización, como lo es la arena sílica. El enfoque general se concentró en observar detalladamente los cambios de estado de fluidización del sólido a diferentes velocidades de flujo, repitiéndose con varios tamaños de los finos.

Asimismo, entrar ligeramente al estudio de la capacidad de elutriación del reactor.

Se espera, finalmente, que los datos obtenidos, así como las observaciones que se anotaron en cada avance, sean útiles para conocer el mecanismo práctico del Reactor de Carga de Lecho Fluidizado en las prácticas experimentales de alumnos de la Carrera de Ingeniería Química.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO REALIZADO

- a) Renovar, modificar, el equipo de fluidización que se encuentra en -- el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de -- Guadalajara.
- b) Con el equipo de fluidización mencionado, conocer las velocidades de flujo requeridas para, con los diferentes tamaños de finos, determinar los grados de fluidización obtenibles, observando detenidamente el comportamiento del sólido utilizado.
- c) Conocer la capacidad de elutriación del reactor de carga de lecho -- fluidizado, para varios tamaños de finos.
- d) Utilizar arena sílica para comparar el comportamiento de los diferentes tamaños de sólidos, separando los finos previamente en mallas o cribas.
- e) Proporcionar procedimientos, resultados, gráficas, conclusiones y soluciones a errores frecuentes en el manejo del equipo, para una práctica experimental, para estudiantes de Ingeniería Química.

NOMENCLATURA Y DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Conociendo la definición de la palabra "Fluidización (página 3), - conoceremos los diferentes estilos y términos utilizados para el entendimiento del lenguaje de la fluidización (1, 3, 4, 6, 10).

- Lecho Fijo: Carga de sólidos en un tubo vertical que, aún con el flujo de gas a través de ella, se encuentra inmóvil.
- Lecho Móvil: Es cuando, con el flujo de gas a través de ella, los sólidos se mantienen en contacto y todo el lecho sufre movimiento vertical en forma de bloque.
- Lecho Fluidizado: Aquél que pasó ya el punto de fluidización incipiente y las partículas tienen movimiento continuo debido al flujo del gas (fluido).
- Punto de Fluidización Incipiente: Cuando el flujo del gas se encuentra en su estado de velocidad mínima de fluidización; en este punto, - la fuerza ejercida sobre los finos es equivalente al peso efectivo -- del lecho, los sólidos en este punto comienzan a tener movimiento dentro del lecho.
- Fluidización Discontinua: La corriente gaseosa no tiene la fuerza suficiente para mantener los finos en un movimiento fluidizado constante.
- Fluidización Colectiva: Si con la velocidad del gas constante a través de una concentración de sólidos, el comportamiento de los sólidos no es uniforme dentro del lecho y hay fluctuaciones con el paso del tiempo.
- Fluidización Particular: Fluidización colectiva, pero solamente en el caso de usar líquido como fluido.

- Lecho Canalizado: La mayoría de los sólidos muestran irregularidades dentro de fluidización, dentro de estas irregularidades en el flujo de gas existen aperturas en forma de canales o grietas en el sólido por donde pasa el gas, sin llegar a convertirse en burbuja y sin arrastrar los sólidos.
- Lecho con Burbujeo: Cuando las burbujas formadas son grandes con respecto al diámetro de los finos y pequeños en comparación al recipiente.
- Lecho Fluidizado Turbulento: Cuando la velocidad del gas aumenta y los sólidos son mezclados fácil y uniformemente, en forma que semeja a un líquido en ebullición.
- Pistoneo: Las burbujas del gas se unen en tamaño cercano al diámetro del tubo de fluidización, en forma de bolsas de aire; al llegar a determinada longitud o altitud, se desintegran.
- Fase Densa: Cuando la velocidad del gas no es muy grande y hay interacción de las partículas dentro del mismo bloque y en la superficie del lecho se expande el lecho, pero no hay movimiento significativo a la vista.
- Velocidad Superficial: Velocidad del gas en el distribuidor.
- Velocidad Intersticial: Velocidad del gas entre las partículas finas.
- Velocidad Mínima de Fluidización (G_{mf}) U_f : Es el punto donde, debido al flujo aplicado de gas, aumenta la distancia entre las partículas provocando una interacción.
- (TDH) Altura de Caída de Transporte: Al llegar al punto máximo de altura las partículas sólidas comienzan a descender dentro del mismo tubo de fluidización.

- **Flujo en Co-Corriente:** El gas y el sólido se mueven, ambos, verticalmente hacia arriba, en la misma dirección.
- **Flujo en Contra-Corriente:** El gas se mantiene en flujo ascendente y el sólido llega a su TDH y cae en contra-corriente.
- **Lecho al Brotar:** Existe un solo orificio por donde entra el gas y es menor que el diámetro de la tubería y el contacto gas-sólido es menor.
- **Burbuja:** Espacio circular formado de gas en ascensión en medio del lecho de sólidos; mientras el tamaño de burbuja es mayor, más rápido sube a la superficie.

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN.

A) GENERALIDADES.

Definición de Fluidización.

La palabra fluidización se introdujo en el área de la Ingeniería Química con el fin de describir la manera en que hacen contacto partículas sólidas conocidas como finos y fluidos compresibles e incompresibles. Se podrá definir de la siguiente manera: "Es la suspensión de finos en un fluido, mediante la acción ejercida por el mismo fluido". La explicación está contenida en el ejemplo siguiente.

Dentro de un tubo cilíndrico vertical se mantienen sólidos en forma de partículas finas sobre una superficie porosa. A este conjunto de sólidos se le conoce con el nombre de lecho. Al estar el lecho fijo en el fondo del tubo vertical, se introduce una corriente de un fluido que denominaremos gas, con fuerza suficiente para levantar, suspender y/o mantener suspendidos los finos, a eso se le conoce como lecho fluidizado. Dentro de este estado, las propiedades del sólido se vuelven las de un fluido, por lo que se ha llegado al término de "Fluidización".

Una derivación que estudiaremos de la Fluidización es la Elutriación, que con el mismo ejemplo, continuaremos con su explicación. Dentro del mismo tubo cilíndrico vertical se encuentra un lecho fluidizado por un gas; al incrementar el flujo del gas, los sólidos se comportan más como un líquido en ebullición, hasta llegar al punto donde los finos son arrastrados por la parte superior del tubo junto con la corriente gaseosa; esto ocurre cuando existen diferentes tamaños de finos dentro de un lecho. Al controlar el flujo se puede llegar a separar los distintos tamaños, por lo que se podría definir como una operación donde una mezcla de sólidos finos es separada a sus diferentes tamaños al someter, esta mezcla a una corriente ascendente de un fluido, o poder probar la resistencia de flujo a determinado tamaño de fino.

B) ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

El primer uso registrado de la fluidización (1) fue a principios de 1900, la descubrió Bratz y se aplicó en la purificación de minerales. También se tiene conocimiento del uso de este método de experimentación en la purificación de agua municipal, que se hacía pasar velozmente a través de filtros de arena a principios de este siglo; el agua que contenía sólidos coagulados se hacía pasar verticalmente contra la acción de la gravedad de los filtros de arena en capas; al depositarse los sólidos contenidos en el agua, el lecho perdía permeabilidad y el gasto disminuía. Para restablecer el sistema, se hacía un retrolavado al sistema; al pasar esto, la arena se expandía y los precipitados eran arrastrados con la corriente de agua. La expansión de la arena es un ejemplo de fluidización en un medio líquido, en donde la porción de arena arrastrada en el retrolavado se acumula en unos canales que se encuentran en parte superior de los filtros y así son recuperables.

La primera patente impresa en donde se aplicó la fluidización, se obtuvo en 1910 y la realización fue por Phillips y Bulteel. Describe el contacto entre un gas y un catalizador en forma de sólidos finos. El catalizador es arrastrado a una cámara del reactor. La reacción se realiza en una fase fluidizada en fase diluida, en donde el producto arrastra una porción del catalizador hacia un separador, en donde se recupera el catalizador y regresa a través de un tubo vertical de depósito o retroalimentación.

Comercialmente, un equipo de fluidización conocido como un generador de gas Winkler, desarrollado por BASF en Alemania, se introdujo en 1921. Consiste en alimentar carbón a un lecho fluidizado por aire o vapor de agua, según el producto gaseoso deseado, y las cenizas se eliminan en forma continua como producto de cola en la parte inferior del reactor.

En grande escala, se comenzó a utilizar la fluidización (2) aproximadamente en 1940, dentro del cracking catalítico y los pioneros en este campo fueron "The Standard Oil Company"; el concepto de sólidos - fluidizados surgió del deseo por encontrar un proceso de cracking o pirólisis catalítica, mejor que el introducido ya comercialmente en 1973. Posteriormente, resultó ser una mejoría significativa sobre el proceso termal que se mantenía en uso. Se obtuvieron los siguientes productos:

- Gasolina de octanaje muy superior.
- Cantidades mayores de gasolina y aceite.
- Cantidades menores de combustibles pesados de bajo valor.

Los estudios iniciales de este proceso se llevaron a cabo dentro del Instituto Tecnológico de Massachusetts y dicho proceso consistió - primordialmente en dos aparatos: el reactor y el regenerador de catalizador, interconectados por tuberías de transferencia de catalizador. - El catalizador cubierto de cartón pasaba al regenerador y el catalizador ya regenerado, retornaba al reactor, mediante el tubo vertical de retroalimentación.

Los adelantos en la fluidización en esa época, fueron grandes en varios países, por lo que se efectuaron congresos de este tema desde - 1948 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts y en Londres, Inglaterra, en 1951, y desde entonces, continúan.

C) VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Tanto las ventajas como las desventajas de una operación fluido-lecho son difíciles de encontrar en general, porque varían con la aplicación del proceso y con la geometría del lecho.

Ventajas y Desventajas de la Fluidización.

(Comparación de un lecho fijo con un lecho fluidizado).

- La facilidad con que los finos se fluidizan varía enormemente, por lo que, usualmente, se evita el uso de sólidos que no fluyan libremente y también de sólidos que se aglomeran. Ejemplo: grasas.
- El equilibrio veloz de temperatura al que llega el sistema, que dificulta mantener la óptima temperatura de reacción en las tuberías, en comparación a un reactor de carga fija, puesto que hay pérdidas graduales que pueden afectar el grado de conversión de una reacción, si el rango de temperatura que debe mantener es crítico.
- Las características de la burbuja sólido-gas pueden causar dificultades tanto químicas como mecánicas. Por ejemplo, en una reacción gas-sólido, es posible que el gas no haga contacto en distintas regiones de sólido, por lo que la eficiencia de contacto es baja. Deficiencias mecánicas pueden existir, por ejemplo: se está secando una tela delicada en un lecho fluidizado que causa golpes y el agitado de ésta, podría causar su ruptura o ruina.

VENTAJAS (3):

- La fluidización es un método excelente de lograr el contacto de un gas con un sólido, por lo que las reacciones catalíticas se adaptan fácilmente con esta técnica.
- Debido al movimiento de las partículas, sus superficies de transferencia de calor son más altas en un lecho fluidizado con respecto a un lecho fijo, en condiciones de flujo equivalentes, por lo que un lecho fluidizado ofrece una gran ventaja a reacciones altamente exotérmicas o endotérmicas.

- La fluidización eliminará la granulación de los catalizadores, lo que significa un alto costo en procesos catalíticos.
- La caída de presión en un lecho fluidizado es menor que en un lecho fijo.
- En un lecho fluidizado, el tamaño de las partículas es de menor grado que el encontrado en lecho fijo, por lo que la resistencia de difusión a través de la partícula es menor, en muchas reacciones químicas y catalíticas.
- Dentro de un lecho fluidizado, es sencillo agregar o remover sólidos en comparación al lecho fijo. Esta ventaja es de gran importancia, sobre todo donde se encuentran pérdidas de actividad del sólido. Esta facilidad del sistema fluidizado es directamente proporcional a la facilidad con que se logra el proceso continuo.
- Debido al alto grado de transferencia de calor fluido-partícula, los sólidos fluidizados se prestan más fácilmente a la recuperación del calor de las partículas finas, que los sólidos de mayor tamaño o compactos que se encuentran en los lechos fijos.
- Se pueden modificar con facilidad las cantidades de sólidos finos y gasto de aire para determinado proceso.
- Es posible recuperar los sólidos arrastrados, ya sea por el método de arrastre o un ciclón separador o por el mismo peso de los finos, para recircularlos otra vez al lecho.

DESVENTAJAS (5):

- La caída de presión en un sistema fluidizado gaseoso de borboteo, es mayor que en un reactor de tipo horno o de platos, porque el gas mantiene y fluidiza el sólido de suspensión. La caída de presión puede ser un serio inconveniente, debido a la necesidad de usar compresores de mayor tamaño.

La caída de presión en un lecho fluidizado se podría considerar grande en comparación a un intercambiador de calor. Si el lecho fluidizado es únicamente para intercambio de calor, esto podría ser perjudicial.

- Las caídas de presión dentro del sistema, deberán ser balanceadas de tal manera, que el gas continúe la ruta deseada sin desviarse fuera de lo planeado; para esto, es necesario introducir purgas y medidores de presión en puntos estratégicos.
- Dentro del reactor, a baja relación de altura-diámetro, se aprecia -- mezcla longitudinal apreciable del sólido-fluido; esto puede causar - bajo grado de conversión y por lo tanto, una reducción en selectivi-- dad.
- Durante una operación de fluidización, el catalizador sufre reducción en tamaño o desgaste, por lo que las propiedades del material utilizado podrían variar y se tendría que ajustar el proceso a las condiciones originales.
- En equipo de operación de un sistema de fluidización, la corrosión y el desgaste son factores adversos serios, por lo que se tiene que --- ajustar el diseño y dar especial atención para minimizar el desgaste y la corrosión, tanto en los reactores como en las líneas de transferencia de masa.
- En un reactor fluidizado, la velocidad del fluido deberá ser coordinada acertadamente con las propiedades del sólido, para que resulte una fluidización adecuada. En este caso, el tamaño del reactor es fijo y se ajusta mediante el flujo del fluido y la altura del lecho.
- Podemos ver que la serie de desventajas señaladas, son factores condicionados a planeación, diseño y control del proceso.

Muchas de las desventajas se pueden salvar con esfuerzo o gasto, o con mayor cuidado, para mantener dentro del rango de operación al sistema. La mayoría de las veces se pueden minimizar las desventajas debido a las grandes ventajas del proceso y resultados en general, en comparación a otros métodos. (5)

D) APLICACIONES DIVERSAS.

Las aplicaciones, hoy en día, de fluidización en la industria, son innumerables; la cantidad de escritos y patentes de este proceso se encuentran ya en los miles. Directamente, todas las diferentes aplicaciones caen en alguna de estas dos categorías (1, 2, 4, 5):

- a) Reacción química y catálisis.
- b) Procesos físicos y mecánicos.

Enseguida están sólo algunas de las diversas aplicaciones de la -- técnica fluido-lecho, a manera de ejemplos:

- Conductor de sólidos aéreo.
- Lecho fluidizado estático como filtro de aerosol.
- Reactor nuclear fluido-lecho.
- Reducción y Fluorinación de urano.
- Retorta de Aceites fluido-lecho.
- Secado de textiles.
- Suspensión de sólidos.
- Cristalizador fluidizado de tres fases.
- Baño fluidizado de alta temperatura.
- Proceso fluidizado para la obtención de anilina.
- Carbonización de concentrados de zinc para ácido de contacto.
- Finos fluidizados para usos contra incendios.
- Condensador fluidizado.
- Obtención de formaldehído a partir de metano.
- Obtención de etileno.
- Separación de gases por medio de absorción.
- Polimerización de olefinas.
- Secado y carbonización por técnica fluidizada.
- Destilación de finos de madera.
- Purificación de polvos metálicos.
- Proceso fluidizado para la obtención de disulfuro de carbono.
- Fluidización en la producción de zinc.
- Neutralización de líquidos.

- Medidor de flujo fluido-lecho.
- Reducción de óxidos metálicos.
- Proceso de destilación de sólidos fluidizados.
- Proceso de cemento.

CAPÍTULO 2.- TEORÍA.

A) TEORÍA DE LA FLUIDIZACIÓN.

Al comenzar el estudio de la fluidización, es necesario familiarizarse con la burbuja. (3, 7)

a) Mecanismo de Formación de la Burbuja.- Al existir una corriente de gas que pasa a través de un lecho fijo de sólidos finos a una velocidad superior a la velocidad mínima de fluidización, nacen burbujas de aire dentro del mismo lecho, que suben a lo largo del tubo vertical donde se encuentran los sólidos en forma del lecho, arrastrando partículas al elevarse la burbuja, hasta llegar a la parte superior del lecho donde hacen contacto con la corriente de gas que fluye en el sistema y revientan. Al aumentar la velocidad del gas, aumenta el tamaño de la burbuja y, a su vez, la cantidad de partículas arrastradas.

b) Propiedades Básicas de las Burbujas:

- Suben a una velocidad finita.
- Las burbujas aumentan de tamaño al moverse verticalmente hacia arriba a través del lecho.

Cuando el medio fluidizante es un fluido compresible (como el utilizado), la presión o grado de flujo no aumentará simultánea y uniformemente a lo largo del lecho; por lo tanto, las partículas en la parte media o superior del lecho no responderían a un aumento en el flujo del gas en el mismo instante, que la parte inferior o el fondo del lecho; por lo tanto, no habría hueco o parte desocupada en donde la parte inferior del lecho se podría expandir y el exceso de presión en forma de acumulación de flujo en la entrada, levantaría completamente la masa superior, formándose así la llamada "BURBUJA".

LA BURBUJA (5).

En el momento que la pulsación de la presión llegue a los niveles

superiores del lecho, la burbuja habrá crecido a un tamaño enorme en comparación a la criba o malla, la efectividad para bullir -- causará que se desgarre de la misma y ascienda por el lecho. Una vez que la burbuja esté formada, no existe manera de comunicación con ella, igual que una burbuja de aire que asciende por un líquido.

Al desgarrarse la burbuja de la criba, es inmediata la formación de otra burbuja y así sucesivamente; mientras sea mayor el número de orificios en la malla, que significa que sean más pequeños, el flujo del gas es uniforme en el área de contacto con el sólido y su distribución es mejor y el tamaño de las burbujas es más pequeño. La caída de presión en la malla o distribuidor, no debe de ser notable para que el gas sea uniforme a través de ella, debido a la naturaleza heterogénea del lecho fluidizado; mientras más grande sea la dimensión de la apertura del distribuidor, mayor es el flujo del gas en cada orificio, por lo tanto, no existe la uniformidad en el flujo como en aquel más pequeño y así también la expansión del lecho, y existen porciones del lecho estancado sobre la criba, entre sus perforaciones.

Cuando la velocidad del flujo es mayor a la mínima de fluidización, se forman las burbujas del gas en el sólido, los intervalos del lecho son saturados con el medio fluidizado.

El gas que hace surgir la formación de la burbuja, es la cantidad alimentada en exceso de la capacidad máxima de los intervalos de su compresibilidad.

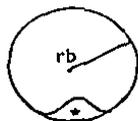
Por lo tanto, una burbuja que fluye no puede dispersarse debido a que está rodeada de sólidos que fluyen a la velocidad de fluidización incipiente.

El criterio cuantitativo para determinar la forma de fluidización para un sistema dado, es el peso total de las partículas comparados con el diámetro del orificio del paso del gas.

Al fluir verticalmente hacia arriba, las burbujas producen un espacio de arrastre de sólidos en el eje vertical de la trayectoria de la burbuja, produciendo, a la vez, que se sumerjan el resto de las partículas. Los sólidos arrastrados en el fondo de cada burbuja

ja que tiene la forma de una esfera, se intercambian en la trayectoria del lecho, pero al llegar a la superficie, son depositados, al reventarse la burbuja. El polvo fino se comporta de manera distinta dentro de las burbujas, ya que, debido al flujo de gas, éste actúa en forma turbulenta hacia el polvo, provocando una especie de remolinos que mejoran el proceso de mezclado.

- c) Tamaño y Velocidad de las Burbujas.- El tamaño y la velocidad de las burbujas (3), son difíciles de calcular, debido a la fluctuación de las burbujas; por ejemplo, si el diámetro del aparato es suficientemente grande para impedir el contacto de la burbuja con la pared del tubo, es posible que desaparezca de la vista momentáneamente. En ocasiones, se grafica velocidad de la burbuja y diámetro de la burbuja (Y) VS profundidad del lecho (X).



rb = radio de la burbuja.

Aspecto básico de la burbuja.

* Este volumen representa la fracción ocupada por partículas.

B) CAÍDA DE PRESIÓN.

OBJETIVO: Medir presión en diferentes puntos del proceso con manómetro-simple de tipo tubo en "U".

TEORÍA (1,6):

La caída de presión, es esencial en la fluidización, ya que, gracias a ésta se puede conocer el comportamiento real y preciso de los sólidos en un lecho fluidizado y un sistema de fluidización en general. - Son de gran importancia los esquemas de caída de presión VS flujo; se conocen las características de los sólidos con respecto al flujo del gas.

Los principales componentes de la caída de presión son:

- | | |
|--|--------------|
| 1) Caída de presión en el orificio: | ΔP_0 |
| 2) Caída de presión en el distribuidor: | ΔP_D |
| 3) Caída de presión en el lecho. | ΔP_L |
| 4) Caída de presión en las tuberías debido al flujo. | |

1. Caída de Presión en el Orificio.- A la salida del gas de la compresora existe un orificio que hace uniforme y estable la corriente de gas en la tubería, además de ser medidor de flujo. Esta caída de presión es considerable.
2. Caída de Presión en el Distribuidor (3).- Es una malla que tiene como función retener el lecho y evitar la acumulación de polvo fino en la tubería. Esta caída de presión en el sistema estando sin lecho, es "nula" completamente, por lo que no existe resistencia al paso del gas debido al distribuidor.
3. Caída de Presión en el Lecho (5).- Al pasar un fluido gaseoso verticalmente hacia arriba a través de un lecho de sólidos, el P_L -- aumentará a medida que la velocidad del gas. Llegará un instante en que la caída de presión será equivalente al peso del lecho (ΔP equivale a P en libras); en este punto, cualquier aumento de la velocidad del gas -- causará movimiento en las partículas que forman el lecho hacia arriba, en este punto las partículas sufren interacción entre sí y habrá espacio vacío entre su ubicación y la malla y éste aumentará a medi-

da que la velocidad aumente, hasta llegar a un punto donde la interacción de las partículas y su distancia entre sí se incrementa y en este punto es el de fluidización incipiente y la velocidad de fluidización mínima; al aumentar la velocidad del gas, la caída de presión se mantiene ya constante. Si se disminuye en este punto la velocidad del gas, la caída de presión se mantiene constante a la de fluidización incipiente.

4. Caída de Presión en las Tuberías debido al Flujo.- En el equipo piloto del laboratorio en el cual se llevaron a cabo los experimentos, se despreció esta caída de presión que sufre un fluido (gas), debido a que la longitud de la tubería dentro del sistema es pequeña, así como el flujo del gas y no influye en la presión del flujo sobre el lecho.

DESVIACIÓN DE LA IDEALIDAD.

En general, las desviaciones de la idealidad se deben a las fuerzas entre las partículas y la mala distribución del fluido en el lecho.

Enseguida están algunas de las causas de ello:

- Al aproximarse la velocidad del gas a la fluidización mínima, existe expansión en el lecho antes de llegar a la caída de presión de equilibrio con el peso del lecho, en donde ya existe un lecho fluidizado.
- Debido a la tendencia de las partículas a unirse, esto provocará una especie de puentes donde el flujo pasa, dando lugar a lecturas de caída de presión mayores al máximo teórico, describiendo una especie de pico en las gráficas.
- Lechos de finos de tamaños variables, darán lugar al paso del gas al área de los finos más pequeños y esto provoca una caída de presión menor que el máximo teórico.

- Podría ocurrir canalización dentro del lecho, que puede causar que -- gran porcentaje del gas fluya por estas aberturas y algunas partes -- del lecho no sufran fluidización. Una causa de esto, es que el dis-- tribuidor no permita el paso uniforme del gas hacia el lecho. Otra -- causa de la canalización se debe a la mayor tendencia de unirse entre sí las partículas, conforme disminuye el tamaño de los finos.

C) ELUTRIACIÓN (3).

DEFINICIÓN.

Es un procedimiento que se basa en el principio de separación por fraccionización con una corriente gaseosa (fluido compresible) que, a través de una malla, pasa en forma ascendente, hasta donde se encuentra un lecho de finos de tamaños variables; la velocidad del gas se controla y existe un arrastre de finos, se encuentra flujo co-corriente y contra-corriente de sólido-gas, se pesa el volumen del sólido y se determina la cantidad de finos arrastrados por la corriente gaseosa. Entonces, se aumenta la velocidad del gas y se repite el procedimiento.

Este acto de transferencia de masa tiene como unidad base para la medida de tamaño de las partículas, el micrón (micrón = 1 metro/10⁶).

Al existir diferentes tamaños de partículas en un lecho, al más grande y en mayor cantidad, se le conoce como "Componente del Lecho" y al más pequeño y en menor cantidad, como "Componente Fino". El componente fino puede existir en dos formas:

- 1) El haber existido inicialmente en el lecho.
- 2) Se pudo haber formado por rompimiento de partículas del componente del lecho durante la fluidización.

Se debe tener presente que en un lecho de sólido se encuentra una gran distribución de ambos componentes. La cantidad arrastrada por la corriente gaseosa se conoce como finos arrastrados o "Blow-over" y la restante como Residuo.

El resultado de la Elutriación es una serie de tabulaciones y datos de cantidad o por ciento en peso del fino arrastrado y/o residuo, con respecto al otro, o la cantidad en la muestra original a diferentes velocidades del gas.

La fracción de peso del sólido arrastrado a cada velocidad conocida, representa la cantidad que contiene un diámetro menor que las esferas con una velocidad de caída libre equivalente.

Los datos obtenidos se convierten en figuras o gráficas de tamaño de partículas contra velocidades del gas. Las propiedades de los componentes bajo investigación aire (gas)-sólidos, deben ser conocidos y, mediante la ecuación de la Ley de Stokes para partículas esféricas, se puede conocer el diámetro de las partículas en movimiento considerando la fracción hueca como 100% durante el arrastre por estar las partículas en estado de fluidización.

Ley de Stokes (5):

$$V_p = \frac{D_p^2 (P_p - P_G) g}{18 \mu f}$$

V_p = Velocidad de partículas

D_p = Diámetro de partículas

P_p = Densidad de partículas

P_G = Densidad Gas (aire)

μf = Viscosidad de aire

g = Aceleración de la gravedad

Factores que afectan a la Elutriación:

- Del aparato:
 - ° Distribución del fluido.
 - ° Diámetro de la columna.
 - ° Tamaño de la región de la columna por encima del lecho de sólidos.
 - ° Altura del lecho dentro de la columna.
- De fluidos y sólidos:
 - ° La velocidad superficial del gas a través del lecho.
 - ° Tamaño del componente fino.
 - ° Tamaño del componente del lecho.
 - ° Densidad del sólido y contorno de las partículas.

- Requerimientos indispensables (1):

- ° Uno de los requerimientos indispensables para la elutriación, es la estratificación de las partículas que existen, una especie de diferentes capas de tamaño de los sólidos.
- ° Que la velocidad superficial del aire sea mayor que la velocidad terminal, que es la máxima para mantener las partículas suspendidas a la altura dentro de la columna sin que sean arrastradas.
- ° TDH altura de caída del transporte (Transport Disengaging Height).- Al subir el gas en el lecho fluidizado, la velocidad podría estar considerablemente en exceso de la velocidad terminal de algunos de los tamaños de la partícula dentro del lecho. A una distancia del lecho en el tubo, la velocidad del gas vuelve a ser uniforme y las partículas finas son arrastradas y los más grandes llegan al punto donde ya no avanzan (TDH) y caen hacia el lecho.

- Efectos de Operación y Variables en un Sistema de Elutriación:

- ° Elutriación es insignificante si los lechos son fluidizados con velocidades del gas que no son significativamente mayores de la velocidad terminal del tamaño más fino existente en el lecho.
- ° Para esta operación, el diámetro de los finos aumenta, a medida que va avanzando el experimento.
- ° La viscosidad del sólido disminuye a medida que aumenta la velocidad del gas.
- ° Aumenta la fracción hueca en el avance de este experimento, por lo que, si el sólido no es adecuado, aumentan las posibilidades de canalización en el lecho.

CAPITULO 3.- PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS.

A) FRACCIÓN HUECA (ϵ) (1, 3).

Al existir partículas de un sólido en cualquier recipiente, existe una fracción que no está ocupada por masa sólida y existe aire entre -- sólido y sólido; a esto se le conoce como Fracción Hueca.

Factores que afectan la Fracción Hueca.

- Efecto de las Paredes.- Al existir más de un tamaño de partículas en un recipiente, esto causa que no sea uniforme la distribución y si -- las partículas más grandes se encuentran en contacto con las paredes del tubo, esto causa que la fracción hueca sea mayor. Aunque si la correlación de la fracción hueca se toma como diámetro de partículas divididas entre diámetro del tubo, el efecto de las paredes ya estaría incluido (ver página 25).
- Distribución de las Velocidades.- Al pasar el gas por un lecho fluidi zado, su velocidad superficial está relacionada con una posición ra-- dial ya que la máxima tiende a encontrarse en el centro del tubo.

Efectos de la Fracción Hueca en:

- La Caída de Presión.- Existe una pérdida de presión debido a esta --- fracción, al existir regiones más compactas que otras, debido a que - los sólidos existentes no son uniformes.
- La Corriente Gaseosa.- Debido a que en regiones determinadas, la ---- Fracción Hueca sea un poco mayor que en otras, esto puede producir canalizaciones en el lecho, más fácilmente que en una distribución uniforme.

Cálculo para obtener la Fracción Hueca.

Las lecturas obtenidas de Fracción Hueca provienen directamente de la gráfica que ofrece Leva (1) para sólidos esféricos de tamaño unifor-

me o mixto, según el experimento realizado y para cada tamaño de partícula; donde el eje "X" equivale a la relación D_p (diámetro de partícula) entre el diámetro del tubo fluidizado D_t , es decir, D_p/D_t ; el eje "y" corresponde a la fracción hueca ϕ según el sólido utilizado.

Aparecen rectas en la gráfica para cada tipo de sólido y donde hay intersección de D_p/d_t en la recta para el sólido seleccionado, se obtiene el valor de la fracción hueca.

En la Tabla No. 1, se encuentran los valores de Fracción Hueca para los tamaños de finos utilizados.

TABLA No. 1

TAMIZ	TAMAÑO DE PARTICULA (pulgadas)	$K = D_p/D_t$	FRACCIÓN HUECA (ϕ)*
- 30	+ 0.0232	0.0130	0.305
30	0.0232	0.0116	0.329
40	0.0165	0.0083	0.327
50	0.0117	0.0059	0.325
60	0.0098	0.0049	0.324
100	0.0059	0.0030	0.324
200	0.0029	0.0015	0.323
+ 200	- 0.0029	0.0010	0.303

B) REOLOGÍA DEL SÓLIDO.

. REOLOGIA: El estudio de la deformación y el flujo de la materia. Comportamiento reológico de Sistemas Fluidizados. (3,4).

Los sistemas fluidizados así como los líquidos, exhiben una resistencia al flujo. Esto en un sólido, se puede comparar a la viscosidad -- del líquido. Esta resistencia es debida a la fricción interna de partículas adyacentes en el lecho.

La fricción interna es causada a la vez por:

- Fuerzas estáticas entre las partículas.
- Fuerzas capilares debido a la humedad existente.
- Fuerzas dinámicas entre partículas, que sólo suceden cuando las partículas se mueven relativamente hacia ellas mismas en una especie de -- campo.

Comportamiento Reológico del Cuerpo.

Se conoce como la correlación general entre deformación no elástica (flujo) del cuerpo y la fuerza que causa esta deformación.

Fuerza de Deformación.

Al aplicar una fuerza al lecho (que es el cuerpo), esto implica -- que llegará un momento que esta fuerza deformará el lecho.

Tensión de Deformación.

Es la fuerza existente en el lecho, que evita la deformación.

La intención de la reología es determinar la correlación entre la fuerza de deformación y la tensión de deformación.

DESVIACIONES REALES. Existen dos fuerzas que las causan:

- Fuerza de Arrastre: Es la oposición que ejerce el contacto de las partículas con las paredes del recipiente al introducirle un flujo de -- gas.

- **Fuerza Gravitacional:** Es la oposición ejercida por la presión atmosférica al flujo de partículas al aplicar una fuerza de un gas.

MÉTODOS PARA MEDICIÓN DE FINOS.

Existen diversos métodos para la medición de tamaños de los finos. A continuación se proporciona una Tabla (No. 2) que indica varios de ellos.

TABLA No. 2 (5)

<u>O P E R A C I Ó N :</u>	<u>RANGO DE APLICACIÓN (MICRAS)</u>
Mediante criba o tamiz	40 - 10,000 y mayores
Precipitación por obstáculos	4 - 3,000 y mayores
Elutriación	2 - 200
Conductividad Eléctrica	2 - 200
Sedimentación Líquida	1 - 500
Microscopía Óptica	0.5 - 300
Dispersión Liger	0.1 - 30
Dispersión por Rayos X	0.01 - 0.10
Centrífuga	0.001 - 50
Microscopía Electrónica	0.001 - 10

VISCOSIDADES DE UN SÓLIDO.

Debido a las diferentes características de los sólidos y dificultades en conocer las viscosidades por los efectos de las paredes, el recipiente para conocer el comportamiento reológico No-Newtoniano de un lecho fluidizado sólo se puede utilizar el viscosímetro "Coulette".

Si es Newtoniano se puede utilizar el viscosímetro del péndulo torsional.

VARIACIONES DE VISCOSIDAD DE UN SÓLIDO EN UN LECHO (5).

- A un flujo de gas bajo, cercano del mínimo de fluidización, la viscosidad es alta y al aumentar el flujo de la viscosidad disminuye rápidamente y se aproxima a un valor constante
- Para una velocidad mucho menor al mínimo de fluidización, la viscosidad es muy grande si el diámetro de partícula es mayor de 100 micrones.
- Para las partículas que sean de diámetro menor a 100 micrones, la viscosidad es independiente del grado de flujo y el diámetro de las partículas.
- Para las partículas más gruesas y pesadas, el punto de viscosidad -- constante sólo se puede obtener a velocidades de gas relativamente altas.
- Para partículas finas pesadas existe un punto de viscosidad mínima -- con el aumento de flujo.
- Para partículas finas livianas, la viscosidad nuevamente pasa por un mínimo.

Los cálculos para conocer en detalle la reología son complejos y se debe conocer:

- La distancia entre partículas (centros y extremos).
- Energía cinética media de las partículas.
- Frecuencia de oscilación de partículas.
- Energía de activación del proceso de transporte.
- Número de partículas en el volumen.
- Fuerza ejercida sobre las partículas, al deformarse el lecho.

PESO ESPECIFICO APARENTE.

Para obtener este valor, se llenó un cierto recipiente con un volu

men conocido de partículas (sólidos finos), se pesó y dividió entre el peso conocido para el mismo recipiente de agua. Los valores de peso específico de cada tamaño de fino utilizado se encuentran en la Tabla No. 3 y disminuye conforme se reduce el tamaño de los finos. El peso específico calculado es aparente, debido a la fracción hueca existente.

Propiedades del Sólido Utilizado.

Dentro del Laboratorio CIDI (Centro de Investigación para el Desarrollo Industrial de la U.A.G.), se hizo una separación mediante tamiz o criba de los diferentes tamaños que se utilizaron; estos se encuentran en detalle en la Tabla No. 3

Procedimiento de Separación de Finos.

- 1o. Se coloca el sólido deseado dentro de la criba para que pasen a través de ella, únicamente los tamaños menores.
- 2o. Abajo de la criba se coloca otro tamiz de tamaño más pequeño, en donde se retiene el tamaño escogido, dejando pasar los finos más pequeños.
- 3o. Mediante repeticiones del primero y segundo pasos, se logra acumular las cantidades requeridas para la experimentación de cada fino.

TABLA No. 3
TIPO DE SÓLIDO: ARENA SÍLICA ESFÉRICA
 (Clasificado abajo de 20# mallas, pureza: 96.9%)

NÚMERO DE TAMIZ*	APERTURA mm	APERTURA pulgadas	TAMAÑOS FINOS micras	PESO ESPECÍFICO	CANTIDAD TOTAL** OBTENIDA (g)
- 30	+ 0.5900	+ 0.0232	+ 590	1.4320	756.25
30	0.5900	0.0232	590	1.3996	701.25
40	0.4200	0.0165	420	1.3700	759.05
50	0.2970	0.0117	297	1.3270	413.63
60	0.2500	0.0098	250	1.2933	186.20
100	0.1490	0.0059	149	1.2440	282.98
200	0.0740	0.0029	74	0.9338	197.55
+ 200	- 0.0740	- 0.0029	- 74	0.9338	207.75

(Polvo fino)

(*) Tipos de tamiz utilizados US STD Screen Siere Yamato Scientific Co. LTD Tokio, Japón.

(**) Balanza Utilizada: Mettler PE-3600.

CAPÍTULO 4.- EQUIPO

A) DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El equipo con el que se llevó a cabo la experimentación de este estudio, consiste en una compresora de 1.5 HP de potencia, con reflujo interno para aumentar la uniformidad del flujo de aire. El equipo base -- consiste de una salida horizontal de la compresora en tubo PVC de 2 pulgadas de diámetro interno, hacia un medidor de flujo en placa de orificio que se encuentre a 54 cm de la boca del compresor. En este punto -- se produce una caída de presión al aumentar el diámetro del ducto en -- flujo uniformemente distribuido a través de lo largo de la tubería; esta caída de presión se denomina del "ORIFICIO (ΔP_o) y mide la rela-- ción del flujo en unidades de centímetros de agua. Sigue el ducto de -- PVC de 30 cm de largo a una pieza de 28 cm de manguera de hule flexible, que tiene la función de poder descender la parte inferior del tubo --- fluidizador para la descarga de los finos. Enseguida se encuentra un codo de 90° de PVC, de los mismos 2" hacia una malla porosa (criba) de cobre de nominal de 150 que se encuentra ya vertical, dando paso a una -- placa acrílica con malla porosa de acero inoxidable de 325 (orificios - por pulgada cuadrada), removible para lograr la descarga con mayor eficacia. Este efecto de doble malla no altera en ningún momento la co--- rriente gaseosa, sino su función es retener los sólidos contenidos en - la malla porosa y mantener la parte inferior de la tubería despejada de polvo fino que podría afectar la uniformidad de la corriente gaseosa. - Antes de la primera malla y enseguida de la de acero inoxidable, se encuentran las salidas de aire para medir la caída de presión debido a -- las mallas conocidas como "Caída de Presión del DISTRIBUIDOR" (ΔP_d).

El siguiente componente es un tubo de vidrio PYREX de 112 cm de -- longitud, transparente, que tiene el fin de poder observar el comportamiento detallado del sólido durante cada experimento, ya sea en un le-- cho fijo o fluidizado, así como si existe Elutriación y la altura de -- caída del diferente tamaño de las partículas. En la parte superior del-tubo de vidrio está una serie de dos codos de 90° de PVC removible, don

de se pueden cargar los sólidos para ser experimentados; esta serie de codos tiene como objeto dirigir la corriente de flujo verticalmente hacia abajo. Dentro del tubo de vidrio se encuentran las últimas dos salidas de aire, con el fin de conocer la caída de presión debido al lecho y se conoce con la misma manera de la caída de presión dentro del "LECHO" (ΔP_L). La descarga del equipo se hace en la parte inferior del tubo de PYREX y se logra al desatornillar cuatro tornillos que mantienen unida esta sección y descender la parte inferior, incluyendo la malla de cobre de 150, por medio de la manguera de hule flexible, hacia un recipiente de polietileno de forma rectangular para poder evitar la caída o la pérdida de los finos. La malla de 325 de acero inoxidable tiene una manija de acrílico para detener los sólidos, ya cuando se va a hacer la descarga, descendiendo esta pieza hacia la caja de polietileno.

Cada toma de presión, ya sea de entrada o salida, está interconectada a unos manómetros en forma de tubos "U" por medio de manguera transparente, para detectar acumulaciones, obstrucciones y/o tapones en la corriente del gas. Los tubos "U" se encuentran en un tablero de control para medir la caída de presión en los puntos estratégicos del experimento. El tablero facilita la lectura milimétrica de caída de presión en milímetros o centímetros de agua.

B) MODIFICACIONES AL EQUIPO.

- Limpieza general detallada del equipo.
- Remoción e instalación de todos los empaques de las tuberías del equipo.
- Adaptaciones de empaques de hule en uniones, para evitar fugas de gas en las mismas y disminuir el error experimental.
- Renovación de todos los tornillos y tuercas tipo mariposa, para lograr cargar y descargar de manera más sencilla y eficiente, además de mantener más hermético estos sellos.
- Cambio de las mangueras del sistema de presión del equipo a mangueras transparentes de polietileno, para lograr detectar fugas, tapones, obstrucciones y secciones ahorcadas.
- Instalación de un tablero milimétrico en la parte superior derecha del equipo de fluidización, para facilitar las lecturas y poder hacerlas con mayor exactitud.
- Instalación de tres manómetros para medir las diferencias de presión en los siguientes puntos estratégicos: orificio, distribuidor y lecho, de vidrio doblado en forma de "U" para medir la presión, tomando en base la presión atmosférica. Estos manómetros tienen adaptaciones para las mangueras que tienen el sistema en la parte posterior del tablero y sus uniones están selladas para que no existan fugas.
- Se adaptó una pieza de acrílico en parte inferior del tubo PYREX, que consiste de dos piezas de acrílico unidas mediante acetona, que encierran una malla porosa de 325 de acero inoxidable de 2" de diámetro. Además, tiene un mango o parte extendida en forma de agarradera, para facilitar su manejo en lo que se refiere a descarga de los sólidos, para que sea más rápida y eficiente.

Además, se mantiene la malla anterior en el sistema para reforzar la retención de sólido y evitar la acumulación de polvo fino en la tubería y dejar libre el paso del fluido gaseoso.

- Adaptación de un recipiente para la descarga del aparato, rectangular, de polietileno; esto evita pérdida de finos y repercute en la exactitud de las medidas de arrastre de finos en casos de Elutriación.
- Al colocar una malla de acero inoxidable de 325, aumenta la cantidad de orificios por pulgada cuadrada y disminuye el tamaño del orificio, esto tiende a hacer el flujo de gas más uniforme.

CAPITULO 5.- PARTE EXPERIMENTAL.

A) EXPLICACIÓN DE EXPERIMENTOS REALIZADOS (8.,9):1. Fluidización.

Para lograr conocer los alcances reales de flujo de gas, retención - de finos y comportamiento de los finos de un sólido comúnmente utilizado en la fluidización a diferentes niveles de flujo de gas, así como asignar y conocer los diferentes tipos de fluidización y fenómenos característicos como la burbuja, canalización y altura de caída de transporte, se logró en base del procedimiento experimental desarrollado y un cuidado en cada paso del experimento.

2. Elutriación.

Se define como arrastre de finos a través de una fuerza o corriente gaseosa. Esto se aplica directamente a los experimentos realizados - para conocer con qué flujo de gas para cada tamaño de fino, existe - arrastre de partículas.

3. Primero se calibró el flujo de gas a través del orificio, para conocer la cantidad de flujo que se midió en caída de presión por cm de agua; una vez conocido el flujo se desarrolló un procedimiento experimental para fluidización, que se siguió en cada uno de sus experimentos únicamente modificando el tamaño del fino utilizado y anotando las observaciones y fenómenos, según se incrementó las velocidades de flujo en cada uno de los experimentos.

En el inciso E) se encuentran descritos los experimentos de cada tamaño de partícula:

- E.1 - Tamaño de sólido mayor que tamiz #30 (+590 micras).
- E.2 - Tamaño de sólido tamiz #30 (590 micras).
- E.3 - Tamaño de sólido tamiz #40 (420 micras).
- E.4 - Tamaño de sólido tamiz #50 (297 micras).
- E.5 - Tamaño de sólido tamiz #60 (250 micras).
- E-6 - Tamaño de sólido tamiz #100 (149 micras).

E-7 - Tamaño de sólido tamiz #200 (74 micras).

E-8 - Tamaño de sólido tamiz menor que 200 (-74 micras).

Cada experimento se inició con una velocidad de flujo cero (0) hasta el máximo disponible del aparato, anotando avances con caída de presión del orificio, lecho y distribuidor (lecho fijo) y sus gráficas respectivas obtenidas.

Se puede observar en cada prueba, como datos importantes, las caídas de presión iniciales, de equilibrio y finales, con sus respectivas - observaciones, así como las observaciones anotadas en cada etapa de incremento en flujo.

Se graficó en cada experimento las caídas de presión VS flujo de - gas (de orificio), lecho fijo y fluidizado.

B) PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL FLUIDIZACIÓN.

1. Pesar tara de recipiente adecuado limpio y seco.
2. Separar una cantidad aproximada de 200 gramos del tamaño de sólido deseado mediante el tamiz adecuado.
3. Agregar cantidad de finos a recipiente y obtener peso neto de finos.
4. Colocar cantidad conocida de finos dentro del reactor, destapando la parte superior.
5. Cerrar tapa superior a presión (girando tornillos), para evitar fugas de gas.
6. Ajustar el flujo de gas al deseado, anotando las lecturas obtenidas en los manómetros del tablero para cada caída de presión en cm de agua.
7. Dejar durante 10 minutos (ó el tiempo deseado Fijo).
8. Observar detenidamente el comportamiento de los finos dentro del tubo fluidizador, anotando observaciones y el tipo de fluidización -- (grado) obtenido.
9. Tomar nota de anomalías y evaluar.
10. Apagar el reactor.
11. Descargar los finos por la parte inferior del tubo, utilizando la paleta de retención de finos en un recipiente previamente pesado.
12. Obtener peso neto.
13. Calcular si hubo arrastre de finos (peso inicial finos - peso final).

14. En caso de haber elutriación, calcular la constante correspondiente.
15. Repetir 10 veces cada experimento con cada tamaño de finos.
16. Calcular promedios.
17. Repetir incisos 15 y 16, aumentando ligeramente el flujo del gas.
18. Evaluar resultados.
19. Hacer tabla y gráfica de resultados obtenidos.

C) CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN.

Existen ecuaciones establecidas para calcular velocidad mínima de fluidización para los diferentes tipos de sólidos utilizables, así como diferentes tamaños de partículas y otras características como estructura geométrica y consistencia.

Se optó por obtener este valor a nivel experimental promedio para cada tamaño de fino utilizado, puesto que el diseño de reactor piloto de fluidización utilizado, no reúne las características necesarias para utilizar las fórmulas disponibles.

Se puede ver la velocidad mínima de fluidización obtenida durante la experimentación, para cada tamaño de fino, en la siguiente tabla:

TABLA No. 4

NÚMERO DE MALLA O TAMIZ	TAMAÑO micras	△ ORIFICIO DE VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN (cm. de agua)
- 30	+ 590	17.2
30	590	14.2
40	420	7.9
50	297	2.6
60	250	0.6
100	149	*
200	74	*
+ 200	- 74	*

(*) No se logró obtener por el tamaño pequeño de los finos, ya que ofrecen resistencia compacta al flujo de gas y brota repentinamente a un estado de fluidización superior a la mínima de fluidización.

Se puede observar claramente, que mientras menor sea el tamaño de partícula, menor es el flujo requerido para obtener la velocidad mínima de fluidización.

D) CALIBRACIÓN DEL ORIFICIO.

PROCEDIMIENTO:

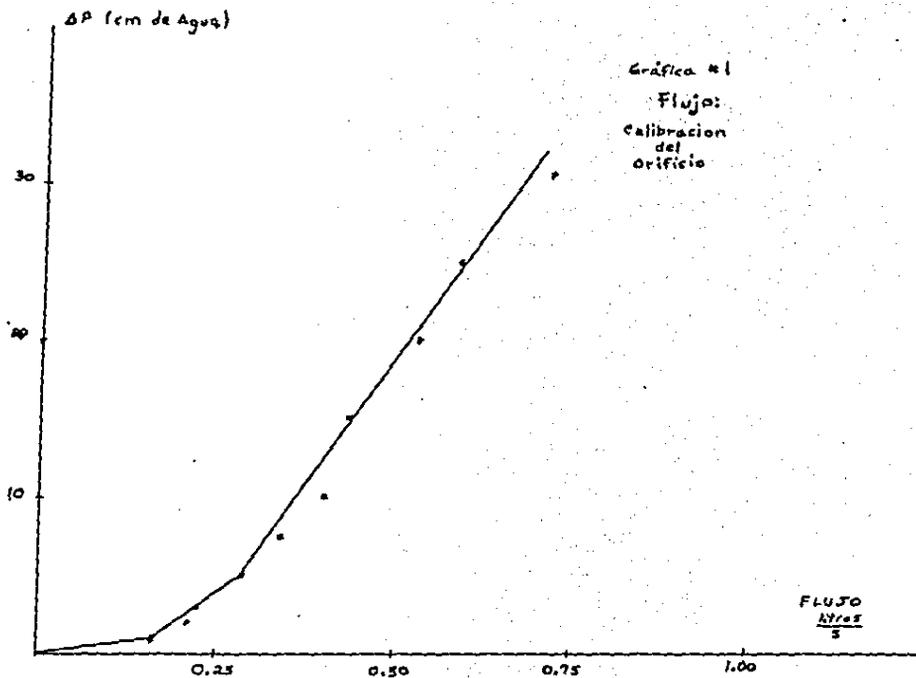
- 1o. Se adaptó una bolsa de polietileno de volumen conocido (10 litros)- a la salida del aparato.
- 2o. Se ajusta el flujo del gas a la lectura en caída de presión deseada.
- 3o. Colocar el recipiente a la salida y tomar el tiempo de llenado.
- 4o. Repetir prueba y promediar las lecturas.

TABLA No. 5

△ P ORIFICIO	TIEMPO promedio (s)	FLUJO litros/s	RELACION s/litro
1.0	63	0.1587	6.3
2.0	48	0.2083	4.8
3.0	45	0.2222	4.5
5.0	35	0.2857	3.5
7.5	29	0.3448	2.9
10.0	25	0.4000	2.5
15.0	23	0.4349	2.3
20.0	19	0.5263	1.9
25.0	17	0.5882	1.7
30.5	14	0.7143	1.4

(Ver Figura No. 1)

Se notó una mejoría del 15.5% con respecto a fugas y pérdida, por las modificaciones hechas al equipo del flujo del gas, aumentando su -- eficiencia y capacidad de fluidización sobre la obtenida por Casillas - (8). Esta mejoría es variable, disminuye al aumentar el flujo (ver Con clusiones).



E) COMPORTAMIENTO DE CADA TAMAÑO DE FINO EN REACTOR.

E.1 Partículas Mixtas de Mayor Tamaño de Malla o Tamiz #30.

Se utilizó el procedimiento experimental para fluidización que se encuentra en la página 37. Se procedió a aumentar el flujo de gas, una vez determinado el comportamiento de los finos en cada etapa, iniciando desde flujo 0 (cero) hasta el máximo obtenible del equipo. Los valores obtenidos son promedios de repeticiones de cada experimento.

Tamaño del sólido: + 590 micras; + 0.0232 pulgadas.
 Densidad del sólido: 1.4320
 Altura del lecho: 5.8786 cm
 Peso inicial: 200.00 gramos
 Peso final: 200.00 gramos
 Arrastre: 0.00 gramos

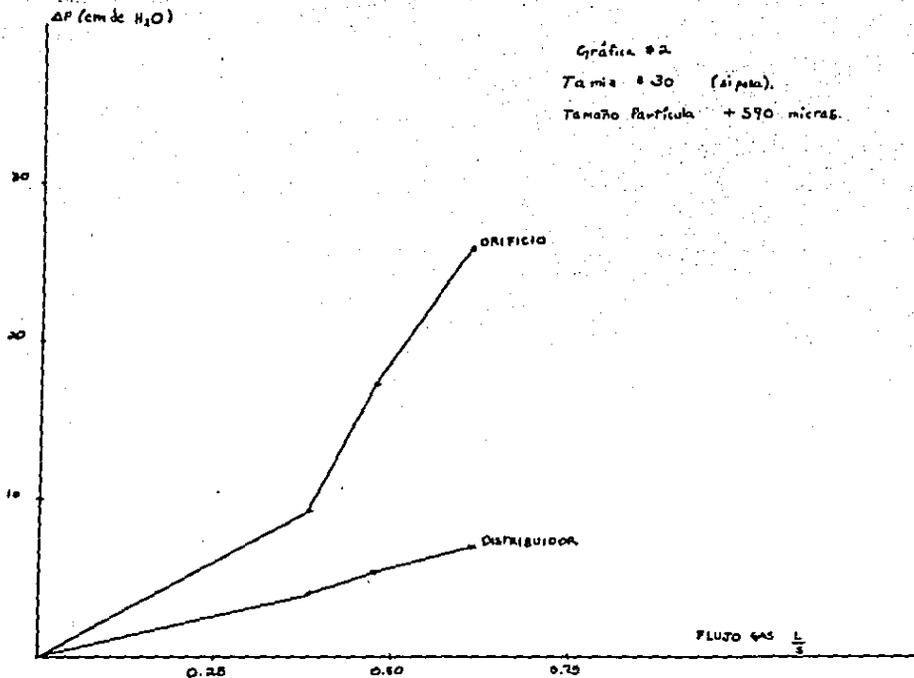
CAIDA DE PRESIÓN cm AGUA

Δ P ORIFICIO Flujo	FLUJO l/s	Δ P LECHO Fluidizado	Δ P DISTRI BUIDOR	OBSERVACIONES Tipo de Lecho
0	0	0	0	Lecho fijo
9.2	0.3823	0	3.9	Lecho fijo
17.2	0.4751	0	5.3	Punto de fluidización inicial
25.9	0.6088	0	7.0	Fluidización disconti nua.

(Ver Gráfica No. 2)

COMENTARIOS ADICIONALES.

Es notable que en este tamaño y peso de los finos, permiten que el gas fluya libre entre los mismos, al grado que no levanta al lecho para lograr fluidizarlo, con la potencia del equipo utilizado.



E.2 Tamaño de Partícula: 590 micras 0.0232 pulgadas.
 Malla o Tamiz #30.
 Densidad del sólido: 1.3996 g/cm³
 Altura del lecho: 5.40 cm
 Peso Inicial: 179.7 gramos
 Peso Final: 179.7 gramos
 Arrastre: 0.0 gramos

CAÍDA DE PRESIÓN cm AGUA

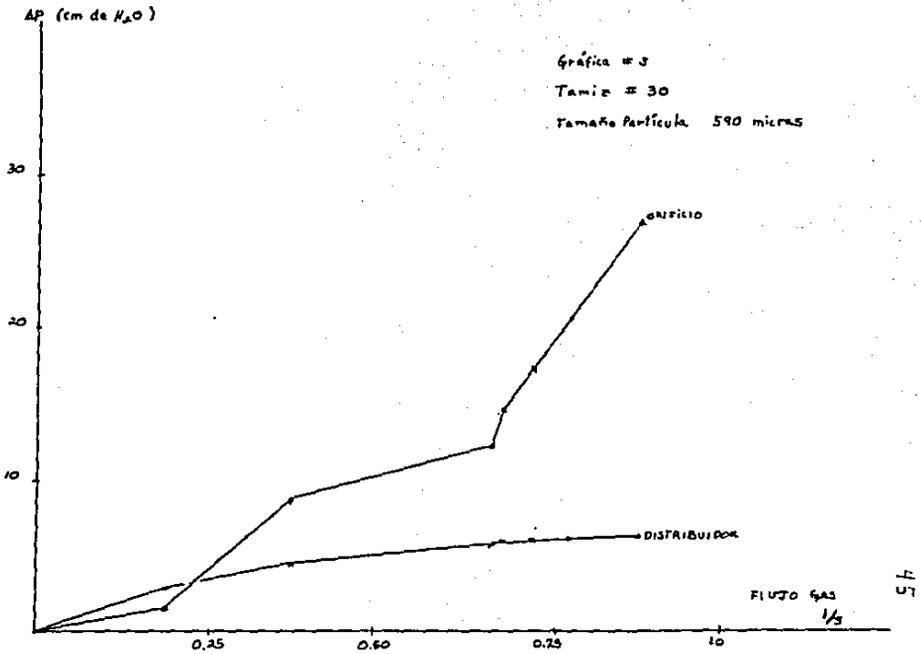
Δ P ORIFICIO Flujo	FLUJO l/s	Δ P LECHO Fluidizado	Δ P DISTRI BUIDOR	OBSERVACIÓN Tipo de Lecho
1.6	0.1885	0	2.9	Lecho Fijo
8.6	0.3691	0	4.5	Lecho Fijo
12.0	0.4140	0	5.7	Fluidización dis continua
14.2	0.4293	0	5.9	Punto mínimo de- fluidización.
17.1	0.4733	0	6.0	Burbujeo
20.4	0.5258	0	6.1	Ebullición
26.7	0.6272	0	6.2	Turbulento

(Ver Gráfica No. 3)

COMENTARIOS ADICIONALES.

Este tamaño presentó mayores variables con respecto a diferentes - tipos de fluidización y en un punto cerca de la velocidad mínima de --- fluidización hubo tendencia a canalización. No hubo arrastre de finos.

Gráfica # 3
Tamiz # 30
Tamaño Partícula 590 micras



45

E.3 Tamaño de Partícula: 420 micras 0.0165 pulgadas.
 Malla o Tamiz #40
 Densidad del sólido: 1.3700 g/cm³
 Altura del lecho: 6.15 cm
 Peso Inicial: 200.00 gramos
 Peso Final: 200.00 gramos
 Arrastre: 0.00 gramos

CAÍDA DE PRESIÓN cm AGUA

Δ P ORIFICIO Flujo	FLUJO l/s	Δ P LECHO Fluidizado	Δ P DISTRI BUIDOR	OBSERVACIÓN Tipo de Lecho
1.0	0.1587	0	2.4	Fijo
5.0	0.2857	0	5.1	Fijo
5.7	0.3022	0	5.7	Fijo
6.9	0.3306	0	6.1	Fijo
7.1	0.3353	0	6.1	Fluidización discontinua
7.9	0.3536	0	6.4	Velocidad mínima de fluidización
8.9	0.3755	0	6.5	Lecho Móvil
9.1	0.3801	0	6.6	Burbujeo
14.9	0.4342	0	6.4	Ebullición
21.0	0.5231	0	6.4	Turbulento
26.2	0.6157	0	6.0	Turbulento

(Ver Gráfica No. 4)

COMENTARIOS ADICIONALES.

Al estar el lecho en ebullición se dificultan las lecturas de caída de presión, debido a ligeras discontinuidades en el flujo (estas variaciones no son significativas). Se probó con 10 min al máximo del flujo y no hubo arrastre. Los finos brotaban a una altura de 5 cm arriba - del lecho TDH.

ΔP (cm de Agua)

Gráfica #4

Tamiz # 40

Tamaño Partícula 420 micras

60

30

10

ORIFICIO

DISTRIBUIDOR

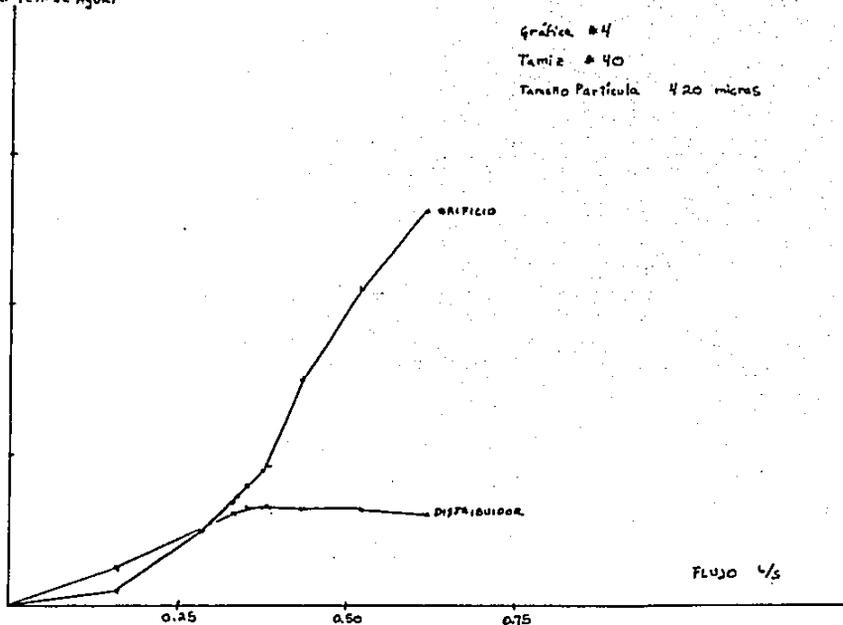
0.25

0.50

0.75

FLUJO $\frac{1}{s}$

47



E.4 Tamaño de Partícula: 297 micras 0.0117 pulgadas
 Malla o Tamiz #50
 Densidad del sólido: 1.3270
 Altura del lecho: 6.34 cm
 Peso Inicial: 200.00 gramos
 Peso Final: 200.00 gramos
 Arrastre: 0.00 gramos

CAÍDA DE PRESIÓN cm AGUA

Δ P ORIFICIO Flujo	FLUJO l/s	Δ P LECHO Fluidizado	Δ P DISTR ¹ GUIDOR Lecho Fijo	OBSERVACIÓN Tipo de Lecho
0	-	0	1.0	Fijo
0.0	-	0	3.8	Fijo
2.0	0.2083	0	5.2	Fluidización dis continua
2.6	0.2166	0	6.4	Vel. mínima Fluidización
3.0	0.2222	0	6.4	Burbujeo
4.5	0.2698	0	6.4	Burbujeo
5.7	0.3022	0	6.3	Ebullición
6.2	0.3141	0	6.2	Ebullición
6.8	0.3283	0	6.2	Ebullición
9.4	0.3868	0	6.2	Turbulento
19.5	0.5172	0	6.2	Pistoneo
26.2	0.6157	0.1	6.2	Pistoneo

(Ver Gráfica No. 5)

COMENTARIOS ADICIONALES.

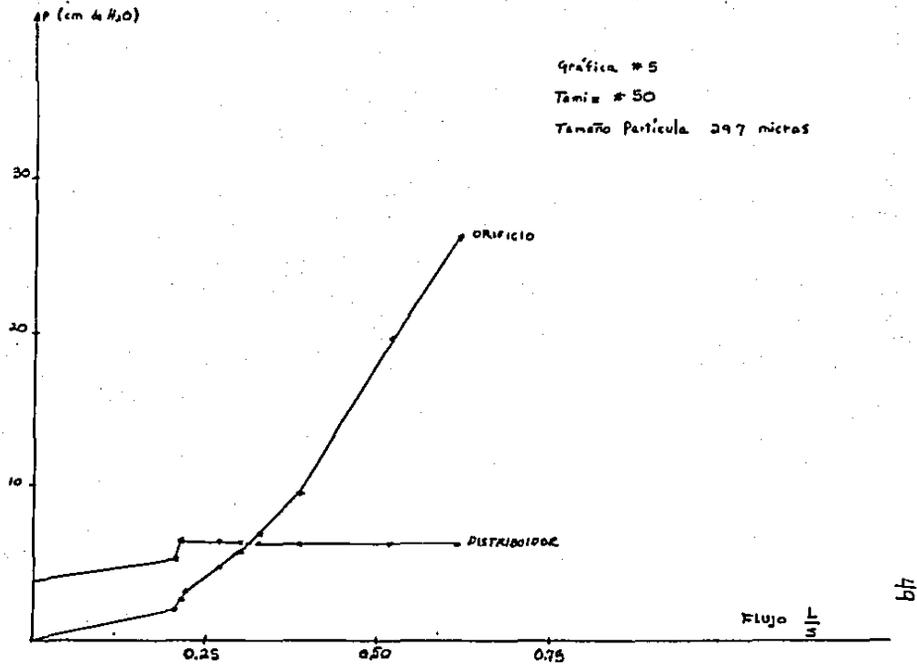
Comenzó con este tamaño de sólido a presentarse caída de presión en el lecho, al estar el flujo del gas en su valor máximo. Además, se puede observar claramente los cambios en los diferentes tipos de lechos al aumentar el flujo.

La altura de caída del transporte fue a los 9 cm.
 No hubo arrastre.

Gráfica # 5

Tamiz # 50

Tamaño Partícula 297 micras



E.5 Tamaño de Partícula: 250 micras .0098 pulgadas
 Malla o Tamiz #60
 Densidad del sólido: 1.2933
 Altura del Lecho: 6.02 cm
 Peso Inicial: 185.1 gramos
 Peso Final: 184.1 gramos
 Arrastre: 1.0 gramos

CAÍDA DE PRESIÓN cm AGUA

Δ P ORIFICIO Flujo	FLUJO l/s	Δ P LECHO Fluidizado	Δ P DISTRIBUIDOR Lecho Fijo	OBSERVACIÓN Tipo de Lecho
0	0	0	0	Inicio
0	0	0	1.9	Fijo
0.6	0.1389	0	5.6	Fluidización discontinua
0.9	0.1537	0	5.7	Burbujeo
1.9	0.2033	0	5.7	Ebullición
3.0	0.2222	0	5.5	Turbulento
7.2	0.3377	0	5.3	Pistoneo
7.5	0.3448	0	5.3	Pistoneo
10.0	0.4000	0.2	5.9	Fase semidiluida con pistoneo
15.0	0.4349	0.4	5.9	Fase semidiluida con pistoneo
20.0	0.5263	0.6	6.0	Lecho móvil con pistoneo
25.0	0.5882	0.7	6.2	Pistoneo en fase densa
26.2	0.6157	1.0	6.2	Pistoneo en fase densa

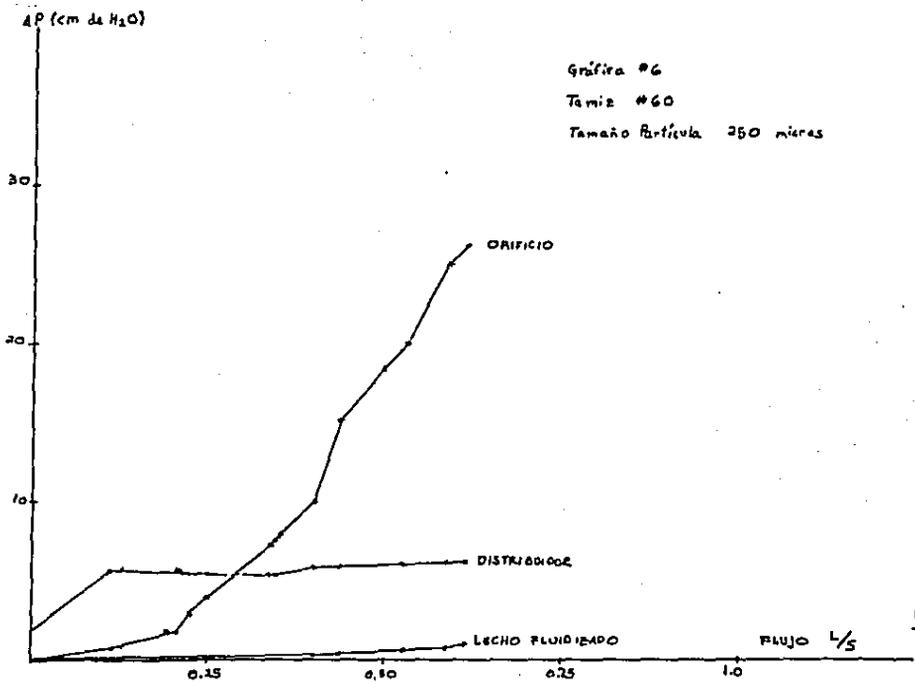
(Ver Gráfica No. 6)

COMENTARIOS ADICIONALES.

Hubo instantes en que se mostró fase densa, semidiluida y lecho móvil.

Se observan los cambios de tipo de lechos fluidizados con facilidad.

Elutriación.- Hubo arrastre de 1.0 gramos durante un tiempo de 12-min a velocidad máxima de flujo.



E.6	Tamaño de Partícula:	149 micras	0.0059 pulgadas
	Malla o Tamiz #100		
	Densidad del sólido:	1.2440 g/cm ³	
	Altura del lecho:	6.09 cm	
	Peso Inicial:	180.00 gramos	
	Peso Final:	178.00 gramos	
	Arrastre:	2.00 gramos	

CAÍDA DE PRESIÓN cm AGUA

Δ P ORIFICIO	FLUJO	Δ P LECHO	Δ P DISTRI	OBSERVACIÓN
Flujo	l/s	Fluidizado	BUIDOB. Lecho Fijo	Tipo de Lecho
0	-	0	1.0	Fijo
1.0	0.1587	0	2.0	Fijo
3.0	0.2222	0	4.0	Fijo
5.5	0.2975	0	5.5	Fase densa
6.0	0.3093	0	5.5	Burbujeo
6.5	0.3212	0	5.0	Ebullición
8.0	0.3558	0	4.6	Turbulento
8.4	0.3647	0	4.8	Turbulento
10.0	0.4000	0	5.0	Turbulento
12.6	0.4181	0	5.0	Pistoneo
15.0	0.4349	0.1	5.0	Pistoneo en fase semidiluida
20.0	0.5263	0.2	5.2	Pistoneo en fase semidiluida
25.0	0.5882	0.4	5.4	Pistoneo en fase semidiluida
26.5	0.6226	0.5	5.6	Pistoneo en fase semidiluida

(Ver Gráfica No. 7)

COMENTARIOS ADICIONALES.

Elutriación.- Hubo arrastre continuo con este tamaño de finos y al ---- aumentar el flujo aumentó la cantidad de arrastre. En el tiempo de 12 - minutos hubo 2.0 g.

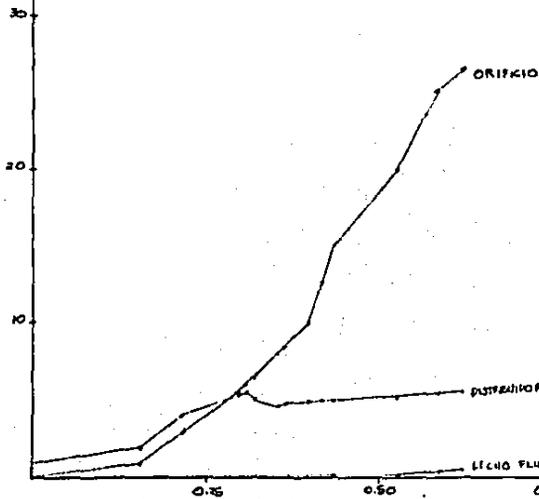
Los valores de caída de presión son promedios con la mayor precisión posible, ya que al tener un lecho fluidizado con las variaciones - en flujo y debido a la compresibilidad del gas, existe continuo movi- - miento en las lecturas de caída de presión dentro del sistema.

ΔP (cm de H_2O)

Gráfica # 7

Tamiz # 100

Tamaño de Partícula 149 micras



Flujo L/s

53

E.7 Tamaño de Partícula:	74 micras	0.0029 pulgadas
Malla o Tamiz #200		
Densidad del sólido:	1.2186	
Altura del lecho:	6.22 cm	
Peso Inicial:	197.50 gramos	
Peso Final:	187.70 gramos	
Arrastre:	9.8 gramos	

CAÍDA DE PRESIÓN cm AGUA

Δ P ORIFICIO Flujo	FLUJO l/s	Δ P LECHO Fluidizado	Δ P DISTRIBUIDOR Lecho Fijo	OBSERVACIONES Tipo de Lecho
0	-	0	3.0	Fijo
0	-	0	4.0	Burbujeo discontinuo
0	-	0	4.0	Fijo
0	-	0	4.0	Lecho móvil
0.1	0.1141	0.1	4.2	Burbujeo
0.5	0.1339	0(Aprox.)	4.5	Ebullición
1.0	0.1587	0.5	5.0	Fase densa con pistoneo
5.5	0.2975	0.8	5.5	Pistoneo
7.5	0.3448	1.0	5.5	Pistoneo
10.0	0.4000	1.0	5.4	Pistoneo en fase diluida
15.0	0.4349	1.1	5.4	Pistoneo en fase diluida
20.0	0.5263	1.2	5.4	Pistoneo en fase diluida
26.4	0.6203	1.5	5.4	Fase diluida

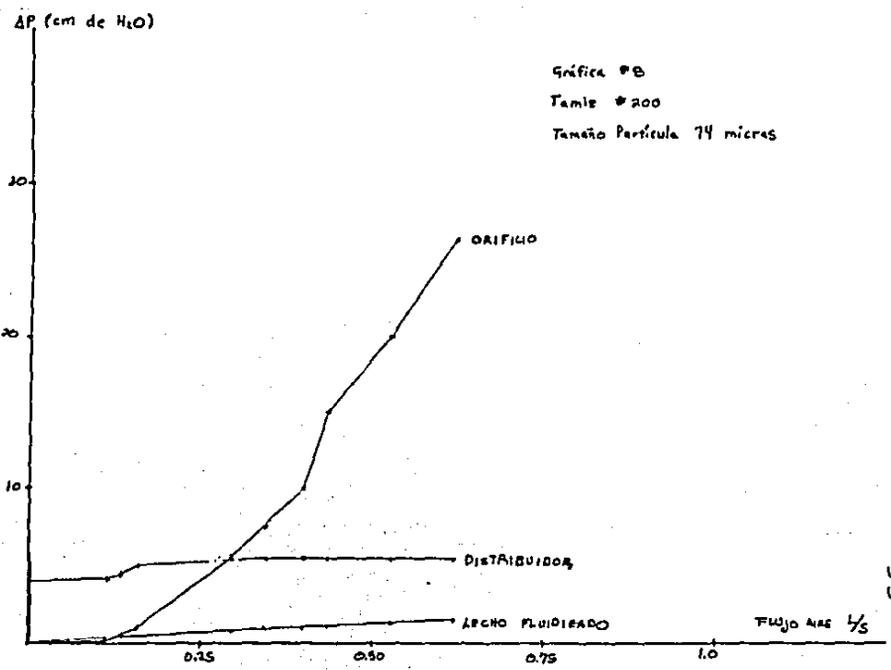
(Ver Gráfica No. 8)

OBSERVACIONES Y COMENTARIOS.

Con mayor reflejo al llegar la caída de presión en el distribuidor aproximadamente a 4.0 cm de agua se levanta instantáneamente el lecho y comienza a burbujear intermitentemente; no se ve una velocidad mínima de fluidización fija.

No se detecta una altura de caída de transporte.
Elutriación.- Hubo arrastre continuo de finos.

Gráfica # 8
Tamiz # 200
Tamaño Partícula 74 micras



55

E.8 Tamaño de Partícula:	Menor de 74 micras, menor que 0.0029 pulgadas
Malla o Tamiz Número:	"Pasa en 200"
Densidad del sólido:	0.9338 g/cm ³
Altura del Lecho:	7.57 cm
Peso Inicial:	167.9 gramos
Peso Final:	162.2 gramos
Arrastre:	5.7 gramos

CAÍDA DE PRESIÓN cm AGUA

Δ P ORIFICIO Flujo	FLUJO l/s	Δ P LECHO Fluidizado	DISTRIBUIDOR Lecho Fijo	OBSERVACIÓN Tipo de Lecho
0	-	0	4.1	Lecho móvil 2 cm de alto
0	-	0	4.3	Lecho móvil compacto 4 cm alto
0	-	0	4.4	Canalización
0	-	0	1.5	Canalización
0.8	0.1488	0	2.0	Burbujeo
2.0	0.2083	2.0	2.1	Ebullición
2.1	0.2133	0.3	2.1	Turbulenta canalización
7.0	0.3330	0.8	1.8	Pistoneo canalización
9.0	0.3779	1.0	3.0	Pistoneo canalización
10.0	0.4000	0	2.5	Ebullición canalización
10.0	0.4000	1.0	4.0	Pistoneo fase semidiluida
15.0	0.4349	1.3	4.0	Pistoneo lecho expandido
20.0	0.5263	1.3	4.0	Fase semidiluida
25.0	0.5882	2.0	4.2	Fase diluida
26.9	0.6318	2.1	4.2	Fase diluida

(Ver Gráfica No. 9)

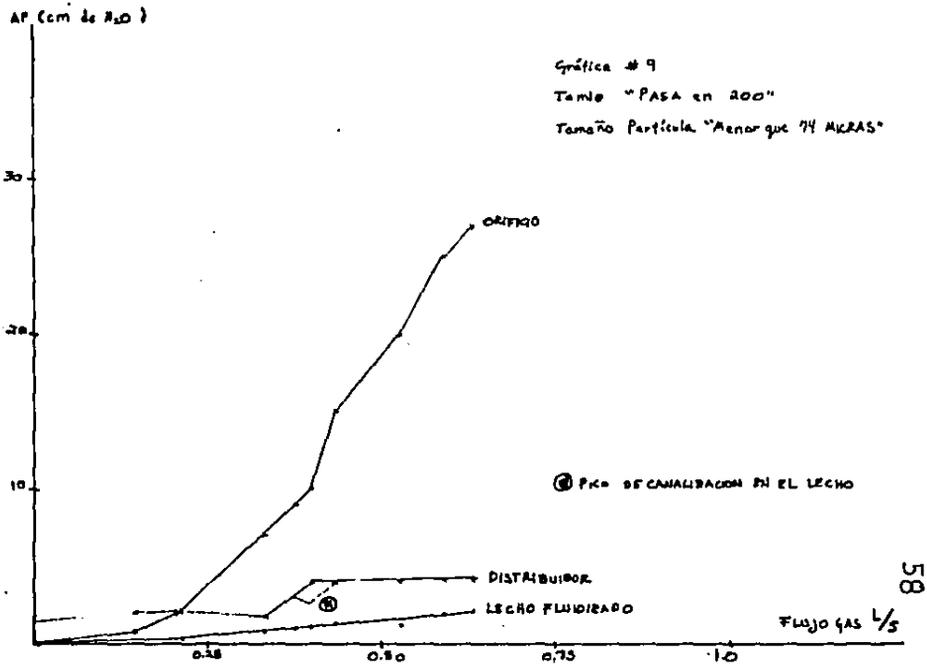
OBSERVACIONES Y COMENTARIOS.

Elutriación continua.

Se presentaron varios fenómenos notables:

- Lecho móvil compacto a diferentes alturas.
- Canalización por el tamaño más pequeño de las partículas.
- Fase diluída en Lecho Fluidizado.
- Existe dispersión completa de sólido a lo largo del tubo de vidrio -- sin altura de caída de transporte notable.

Gráfica # 9
 Tambe "PASA en 200"
 Tamaño Partícula "Menor que 74 MICRAS"



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

F) ELUTRIACIÓN.

Procedimiento Experimental Detallado:

1. Pesar tara de recipiente conocido.
2. Agregar cantidad de finos y obtener peso neto.
3. Colocar cantidad conocida de los finos dentro de aparato destapado, parte superior.
4. Cerrar tapa a presión para evitar fugas.
5. Ajustar flujo de gas al deseado, anotando las lecturas obtenidas.
6. Dejar durante 10 minutos (o tiempo deseado fijo).
7. Apagar el aparato.
8. Descargar usando paleta y recipiente de peso conocido.
9. Pesar.
10. Obtener peso sólidos.
11. Calcular diferencia de peso inicial y peso final de sólidos.
12. Calcular la constante de elutriación.
13. Comparar en gráficas.

Se hicieron pruebas experimentales y los resultados se encuentran en la siguiente tabla, a diferentes flujos y tamaños de finos. (Ver Gráfica No. 10).

G) TABLA DE RESULTADOS (ELUTRIACIÓN).

TAMIZ MALLA #	TAMANO PARTICULAS micras	FLUJO GAS l/s	ELUTRIACIÓN ARRASTRE		TIEMPO minutos	PESO INICIAL g	CAÍDA DE PRESIÓN		
			9	CONSTANTE CALCULADA*			LECHO	ORIFICIO	DISTRIBUIDOR
60	250	0.4000	0.1	.0032	10	185.4	0.2	10.0	5.9
60	250	0.6157	0.4	.0130	10	185.3	1.0	26.2	6.2
100	149	0.3093	0.8	.0330	10	145.9	0.0	6.0	5.5
100	149	0.6226	1.5	.0623	10	145.1	0.5	26.5	5.6
200	74	-	0.2	.0075	10	160.0	0	0	4.0
200	74	0.6203	1.9	.0722	10	158.8	1.5	26.4	5.4
+ 200	- 74	-	1.9	.0919	10	125.0	0	0	1.5
+ 200	- 74	0.6318	9.6	.4872	10	123.1	2.1	26.9	4.2

* Constante Elutriación; calculada en base a la siguiente fórmula:

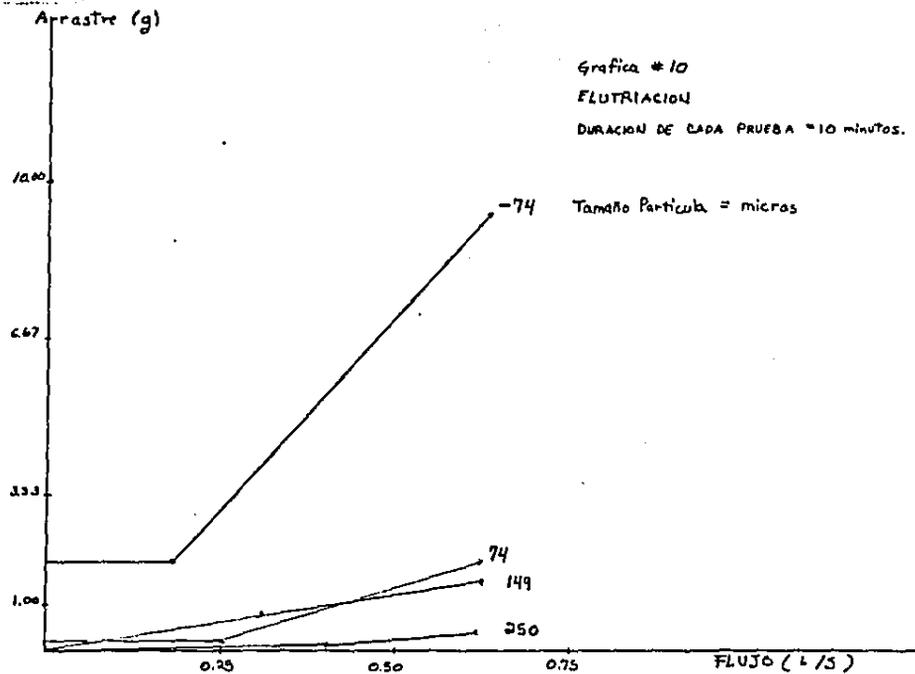
$$K = \frac{1}{t} \ln \frac{W_0}{W_f}$$

t = tiempo (horas)

W₀ = Peso Inicial finos

W_f = Peso Final finos

K = horas⁻¹



SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS

1. Tamaños de Mallas o Cribas Utilizados.

Dentro del Centro de Desarrollo e Investigación Industrial de la Universidad Autónoma de Guadalajara, existen diversos tamaños de cribas; se escogieron las medidas 30, 40 y 50, consideradas como gruesas, para el uso destinado y potencial de flujo de gas disponible, - en las cuales se pueden observar aspectos básicos como "lecho fijo"- y "punto o velocidad mínima de fluidización" claramente. En la medida 60 ya se puede observar un lecho que pistonea y fase densa, además ya hay arrastre o elutriación. Las partículas de tamaño de malla #100 y 200, ya se pueden apreciar fenómenos adicionales como canalización y lecho móvil; además, se puede entrar al estudio de fluidización con diferentes flujos de gas. Al ser más finos, requiere menor fuerza de flujo para obtener elutriación.

Las observaciones de cada uno de los sólidos se encuentran en la parte experimental correspondiente para cada tamaño de finos.

2. Sólido Utilizado.

Arena sílica tipo esférica, que se puede conocer en detalle por los diversos estudios realizados sobre este sólido. Se califica como sólido ideal para estudio de fluidización. Al hacer la separación de los diversos tamaños mediante cribas, se logró unificar tamaños ya que los sólidos de mayor tamaño se apartaban y el polvo fino pasaba fácilmente a través de la malla, logrando bien la separación. Se escogió este material por el sencillo acceso público y encontrar amplia bibliografía de estudios científicos previos.

No hubo complicaciones originadas por tipo ni tamaño de sólido.

3. Caída de Presión.

- a) ΔP Distribuidor.- Fue nulo, se verificó que, con el máximo de flujo posible, no afectara la malla o criba de 325 mesh utilizada en el sistema; no detiene gas.

b) Δ P Orificio: Nos indica el gasto o la cantidad de aire en cm de agua, con conversión a litros por minuto utilizado en cada experimento (Tabla No. 5).

c) Δ P Lecho: Con partículas finas, con diámetro igual o menor a 297 micras (50 número de malla), fue posible observar detenidamente la transformación de etapas que existe en la fluidización y cómo al suceder esto, hay movimientos o cambios muy notables de presión del lecho dentro del tubo fluidizador.

4. Modificaciones al Equipo.

Los resultados de las modificaciones al reactor piloto del laboratorio resultaron positivos y cabe mencionar en especial tres:

- a) Cambio de empaques, mangueras y sellar conexiones, donde hay flujo de gas; esto disminuye a un grado despreciable las fugas existentes. Además, aumento de eficiencia y efectividad del flujo de aire.
- b) Cambio de Tablas de Control.- El instalar un tablero nos permitió obtener precisión milimétrica en las lecturas de caída de presión en el equipo y evitar riesgos de rotura en movimientos bruscos.
- c) Sistema de Descarga.- La innovación de una malla o criba de acero inoxidable de 325 mesh disminuye fugas o caída de polvo fino a la tubería inferior en comparación a #50 anterior. Este sistema de descarga controlada evita pérdida de finos y resulta en pesos más exactos en comparar y conocer cantidades de arrastre.

5. Flujo de gas (aire).

Ya se mencionó en el inciso A) del Capítulo 4, las modificaciones hechas para disminuir fugas, pero, para conocer a qué grado ayudó, fue según fuerza de flujo.

- Con flujo (ΔP orificio = 1.0 cm de H_2O) mínimo aumento en 30% en flujo de gas.

- Con flujo (ΔP orificio = 30.0 cm de H_2O) máximo, el aumento de flujo fue de un 15%.
- En la figura No. 1 se puede ver que, a caída de presión en orificio, 5 cm de agua equivale a 0.2857 litros por segundo (17.14 l/min). A mayor flujo de gas su comportamiento es estable y se puede obtener cualquier flujo deseado directamente de la gráfica.

Se notó que disminuyó proporcionalmente al ir en aumento la presión del sistema, pero aún en caso de flujo máximo, hubo mejoría del 15%.

6. Canalización.

El fenómeno de un lecho canalizado o con grietas se presentó solo en tamaño de finos más pequeño que 74 micras; este caso es muy interesante y sólo resulta en finos muy pequeños o sólidos con características diferentes que arena sílica. Ejemplos: cal, yeso...

RESUMEN

El equipo renovado utilizado en pruebas de fluidización para 8 tamaños distintos de finos y en pruebas de elutriación para 4 tamaños de finos, nos permitió conocer los fenómenos de diferentes etapas de cada experimento.

Al hacer las renovaciones al equipo de fluidización utilizado, de inmediato se detectaron mejoras de potencia, flujo y claridad para tomar lecturas, así como mayor eficiencia al descargar los finos y disminuir pérdidas.

Con verificar todas las mejoras detectadas, se procedió a realizar la parte experimental con seguridad de que los resultados serían -- confiables. La parte experimental consistió en seleccionar diferentes tamaños de finos de sólido utilizado (arena sílica esférica) y probar -- con cargas fijas conocidas en peso, observando detenidamente las variaciones en el lecho al incrementar la velocidad del flujo, del mínimo al máximo obtenible del compresor, que se midió con la caída de presión en cm de H₂O convertido a flujo.

Para cada tamaño de sólido se hizo una serie de pruebas repetitivas, obteniendo tablas y gráficas de comportamiento de los finos y observaciones en fluctuaciones notables o cambios de etapas definidas o grados de fluidización.

Para los tamaños de finos más pequeños utilizados, se hicieron --- pruebas de elutriación con la velocidad máxima que se obtiene del aparato y el arrastre promedio de sólidos en el tiempo fijo determinado.

No hubo complicaciones graves que impidieran la elaboración de este trabajo, ni fallas mecánicas.

Este tema es muy interesante y muy extenso. Como comentario final, se propone una continuación en el área de Elutriación, a diferentes velocidades de flujo para cada tamaño de sólido y este tipo en particular de material.

CONCLUSIONES

- 1) Las velocidades de flujo requeridas para fluidizar los sólidos utilizados corresponden proporcionalmente al tamaño de los finos y se encuentran en un rango de 0.1141 litros por segundo para el tamaño de partícula de 74 micras hasta 0.4751 litros por segundo para tamaño de partícula de 590 micras. En cada experimento se llegó al flujo máximo del reactor para obtener observaciones en los puntos mínimos y máximos posibles y así comprender el rango mayor posible. Con los tamaños utilizados se pudieron observar -- las principales variantes de un lecho fluidizado.

- 2) De acuerdo a la ecuación que proporciona Levenspiel (7) - que indica que la cantidad de partículas arrastradas es - proporcional al número de partículas dentro del lecho y - para determinar la Elutriación están en función de la velocidad del gas, la altura del lecho y el tamaño de las - partículas dentro del lecho, se encontró, que para las partículas más pequeñas aumenta considerablemente la cantidad arrastrada al incrementar el flujo de gas. Por lo que los experimentos de ELUTRIACION sí concuerdan con los resultados obtenidos por esta ecuación.

B I B L I O G R A F I A

1. LEVA, M. "Fluidization".
McGraw Hill. New York. 1959.
2. OTIMER, D.F. "Fluidization".
1956.
3. DAVIDSON, J. F. y Harrison D. "Fluidization".
1971.
4. DAVIDSON, J. F. y Harrison D. "Fluidised particles".
Cambridge, 1963.
5. ZENZ, F. y Othmer, D. "Fluidization and Fluid Particle Systems".
Reinhold, New York, 1960.
6. VANECEK, V., Markvart, M. y Drbohlav, R. "Fluidized Bed Drying".
Leonard Hill, London, 1966.
7. LEVENSPIEL, O. "Ingeniería de las Reacciones Químicas".
1979.
8. CASILLAS GUTIERREZ, A. "Diseño y Construcción de un Equipo Piloto -
de Fluidización de Sólidos y Experimentación con Arenas Sílic-
cas". 1971.
9. GARCIA GUERRA, C. "Examen del comportamiento de partículas asimétricas
en Lechos Fluidizados". 1975.
10. CHINA-JAPAN SYMPOSIUM. "Fluidization Science and Technology".
1982.