

**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA UNIDAD PILOTO DE ADSORCIÓN EN
CONTINUO**

YURLEY NATALIA CARREÑO ESPÍNDOLA

MARTHA EMILCE JAIMES PADILLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

BUCARAMANGA

2012

**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA UNIDAD PILOTO DE ADSORCIÓN EN
CONTINUO**

YURLEY NATALIA CARREÑO ESPÍNDOLA

MARTHA EMILCE JAIMES PADILLA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Químico**

Directora

DEBORA ALCIDA NABARLATZ

Ingeniera Química, Ph. D.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos

A Dios porque nos ha regalado el don de la vida, nos ha conservado con salud, inteligencia y fortaleza, permitiéndonos ser cada vez mejor.

A nuestros queridos padres, porque creyeron en nosotras y se sacrificaron dándolo todo para que hoy concluyamos una etapa importante de nuestras vidas.

A Debora Alcida Nabarlatz, Ingeniera Química, docente de la Universidad Industrial de Santander y directora de nuestro proyecto de grado por su grandiosa colaboración, por su buena disposición, por brindarnos su conocimiento, apoyo, tiempo e interés en la realización de nuestro proyecto.

Al Ingeniero Jesús Manuel Mendoza y a Don Eduardo quienes nos brindaron su apoyo y amistad incondicional.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos el espacio y la oportunidad de construir conocimiento, en nuestra formación profesional.

A las empresas Soplado de Vidrio J.M., QUIAM S.A.S e INAL LTDA, por su excelente atención y disposición para el desarrollo de éste proyecto.

Yurley Natalia Carreño Espíndola

Martha Emilce Jaimes Padilla

DEDICATORIA

A Dios que me ha dado la vida, por permitirme llegar a este momento tan especial, por regalarme su amor infinito, por darme fortaleza y salud para lograr mis objetivos.

*A mis padres, Eddy y José por ser los pilares más importantes de mi vida, por su apoyo incondicional, por su constante motivación y persistencia, por ser el motor principal que me impulsa a seguir caminando y alcanzar todas mis metas, por su cariño, comprensión, consejos y sobre todo gracias por creer en mi y brindarme su amor inmenso.
Los amo.*

*A mis hermanas, Silvia y Yady gracias por estar conmigo por brindarme su apoyo, ánimo y amistad.
Las quiero mucho.*

*A todos mis familiares que en este momento me resulta difícil nombrarlos en tan poco espacio, pero ustedes saben quiénes son. Gracias por darme su energía y apoyo para llegar a culminar una etapa más de mi vida.
Los quiero.*

A mis amigas y amigos por ser como son, por enseñarme el valor de la amistad, la confianza y el cariño.

A la Universidad Industrial de Santander, por la formación brindada y por haberme permitido iniciar este gran camino.

YURLEY NATALIA CARREÑO ESPÍNDOLA

DEDICATORIA

A Dios quien ilumina y guía mis pasos día a día.

A mis padres Luis y Ana, por regalarme la vida y por la excelente formación impartida desde el hogar.

A mi esposo Fredy Arley, gracias por su amor, incondicionalidad, apoyo y confianza.

A mi hijo Alejandro, quien llena mi vida de felicidad.

A mis hermanos, familiares y amigos, por hacer parte de mi crecimiento y formación.

Martha Emilce Jaimes Padilla

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. MARCO TEÓRICO.....	23
1.1 ADSORCIÓN.....	23
1.2 TIPOS DE ADSORBENTES.....	23
1.2.1 CARBÓN ACTIVADO (CA).....	24
1.3 ADSORCIÓN EN MODO BATCH.....	24
1.3.1 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.....	25
1.3.1.1 ISOTERMA DE LANGMUIR.....	26
1.3.1.2 ISOTERMA DE FREUNDLICH.....	27
1.4 ADSORCIÓN EN MODO CONTINUO.....	28
1.5 MÉTODO DE DISEÑO.....	28
2. METODOLOGÍA.....	32
2.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	32
2.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO.....	33
2.3 DISEÑO PRELIMINAR DEL LECHO.....	33
2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADSORCIÓN.....	35
2.5 SELECCIÓN DE MATERIALES E INSTRUMENTACIÓN.....	35
2.6 ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	35
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	36
3.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	36
3.2 DISEÑO PRELIMINAR DEL LECHO.....	38
3.3 VALIDACIÓN DEL MÉTODO.....	41
3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADSORCIÓN.....	43
3.5 ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	45
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47

ANEXOS.....51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Isotermas de Adsorción.	26
Figura 2. Proceso de Adsorción en un lecho fijo.....	29
Figura 3. Diagrama del proceso de diseño.	32
Figura 4. Diseño del sistema de adsorción.	43

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros para iones metálicos reportados en sistemas batch.	36
Tabla 2. Parámetros para colorantes reportados en sistemas batch.	37
Tabla 3. Parámetros para compuestos orgánicos reportados en sistemas batch. .	37
Tabla 4. Rangos de variables para sistemas en continuo.	38
Tabla 5. Longitudes calculadas para contaminantes con parámetros de Langmuir.	39
Tabla 6. Longitudes calculadas para contaminantes con parámetros de Freundlich.	39
Tabla 7. Parámetros de diseño del lecho de adsorción para VAC y CAC.	41
Tabla 8. Comparación con los resultados obtenidos experimentalmente para el VAC y CAC.	42
Tabla 9. Estimación de costos.	45

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. PLANO DEL DISEÑO DE LA COLUMNA DE ADSORCIÓN.	51
ANEXO B. COTIZACIÓN PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN DE SOPLADO DE VIDRIO J.M.....	53
ANEXO C. COTIZACIÓN PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN DE QUIAM PRODUCTOS & SERVICIOS S.A.S.....	54
ANEXO D. COTIZACIÓN PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN DE INAL INDUSTRIAS ACUÑA LTDA.....	60

NOMENCLATURA

q = Cantidad de moléculas adsorbidas por unidad de masa de adsorbente (mmol/g).

q_0 = Calculado con las ecuaciones de las isothermas de Langmuir y Freundlich (mmol/L).

q_{max} = Cantidad máxima de moléculas que pueden ser adsorbidas (mmol/g), para la isoterma de Langmuir.

b = Constante de equilibrio de adsorción (L/mmol), para la isoterma de Langmuir.

C_0 = Concentración inicial del soluto en la solución (mmol/L).

C_{eq} = Concentración de equilibrio del soluto en la solución (mmol/L).

K_F = Constante empírica relacionada con la capacidad de adsorción máxima y la intensidad de la adsorción, (mmol/g)(L^{1/n}/mmol^{1/n}) para la isoterma de Freundlich.

$1/n$ = Constante empírica relacionada con la capacidad de adsorción máxima y la intensidad de la adsorción, para la isoterma de Freundlich.

H = Carga Hidráulica (cm/min).

$t_{servicio}$ = Tiempo de servicio (min).

$(1 - \epsilon)$ = Fracción de vacío en fase (adimensional).

ϵ = Porosidad (adimensional).

L = Longitud del lecho (cm).

v = Velocidad del fluido (cm/min).

Q = Caudal (mL/min).

S = Área (cm²).

ρ_{Lecho} = Densidad del lecho (g/mL).

V_{Lecho} = Volumen del lecho (cm³).

D = Diámetro (cm).

ΔP = Caída de presión (Pa).

D_p = Diámetro de la partícula (cm).

Re = Número de Reynolds (adimensional).

ρ_L = Densidad del fluido (g/mL).

μ_L = Viscosidad del fluido (Pa * S).

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO PRELIMINAR DE UNA UNIDAD PILOTO DE ADSORCIÓN EN CONTINUO.*

AUTOR: Yurley Natalia Carreño Espíndola, Martha Emilce Jaimes Padilla.**

PALABRAS CLAVES: Unidad piloto, Isoterma, Adsorción.

El presente trabajo desarrolla el diseño preliminar de una unidad piloto de adsorción en continuo para la remoción de contaminantes de aguas residuales, tales como metales pesados, colorantes y sustancias orgánicas, ya que estos generan problemas ambientales. La ecuación de diseño se basa en la teoría del equilibrio de las isotermas convexas siendo de gran importancia el conocimiento de las constantes para isotermas de Langmuir y Freundlich halladas mediante los estudios de adsorción de sistemas batch. La característica principal tenida en cuenta durante el dimensionamiento es la altura del lecho, la cual se calculó con parámetros fijos de caudal, tiempo de servicio, diámetro, densidad del lecho, porosidad y concentración de contaminante en la solución, para las sustancias estudiadas. De las alturas calculadas se seleccionan las halladas con los parámetros de las isotermas de Langmuir, y entre estas se escoge la mayor que fue de 25 cm para el Cobalto. El método fue validado utilizando datos experimentales de la literatura y corroborando que éste da una buena aproximación para el cálculo de la longitud del lecho. Además el diseño incluye equipos y accesorios necesarios para su posterior puesta en marcha tales como bomba peristáltica, baño termostataado, accesorios, tuberías y equipos para medición y control.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química.

Director PhD. Debora Alcida Nabarlatz.

ABSTRACT

TITLE: PRELIMINARY DESIGN FOR AN ADSORPTION PILOT UNIT IN CONTINUOUS*

AUTHORS: Yurley Natalia Carreño Espíndola, Martha Emilce Jaimes Padilla**

KEY WORDS: Pilot Unit, Isotherm, Adsorption.

The present document develops the preliminary design of an adsorption pilot unit in continuous to the removal of pollutants from sewage sludge such heavy metals, colourings and organics substances since these generate environmental problems. The design equation is based on the equilibrium theory of Langmuir and Freundlich convex isotherms computed by mean the adsorption studies of batch systems. The principal characteristic taken into account during the dimensioning is the bed height, which was determined with the flow fixed parameters, service time, diameter, bed density, porosity and the concentration of the pollutant in the solution, for the studied substances. From the calculated heights it was chosen those with the Langmuir isotherms parameters and among those it was chosen the highest, which was about 25 cm for Cobalt. The method was validated by using experimental literature data and confirming that this gives a good approximation for calculating the length of the bed. Moreover, the design includes accessories and equipment required for subsequent commissioning such peristaltic pump, thermostated bath, accessories, pipelines and the equipment for measuring and controlling.

* Project of Degree

** Physical and Chemical Engineering Faculty, Chemical Engineering School

Advisor: PhD, Debora Alcida Nabarlatz.

INTRODUCCIÓN

En general, las diversas industrias utilizan grandes volúmenes de agua en sus procesos, generando diariamente inmensas cantidades de aguas residuales con una alta y variada carga contaminante (González et al., 2008). Debido a ello, se han convertido en un problema de toxicidad y un inconveniente ambiental que conlleva efectos en la salud pública, además de la muerte de ecosistemas. Las políticas medioambientales y sanitarias apuntan a regular las descargas de estas sustancias tóxicas en los cuerpos de agua y las leyes están siendo cada vez más estrictas respecto al tema.

Debido a esto, se han probado diversos métodos para la remoción de contaminantes presentes en el agua tales como degradación fotocatalítica, membranas de intercambio iónico, degradación química y biológica, adsorción entre otros (Aguilar, 2011); este último es el más versátil y ampliamente utilizado puesto que es un proceso sencillo, económico y que puede eliminar concentraciones considerables de contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas cumpliendo con las estrictas normas de emisiones ambientales (El Qada et al., 2006).

Los procesos de adsorción con carbón activado han sido ampliamente utilizados en las industrias de procesos químicos durante varias décadas y en la actualidad juegan un papel importante en el saneamiento de los efluentes de las plantas y las aguas residuales de los municipios. Es de resaltar que este proceso favorece la eliminación de compuestos fenólicos, hidrocarburos aromáticos, nitrados, derivados clorados, sustancias coloreadas, así como otras que transmiten olor y sabor a las aguas.

La eliminación de estos contaminantes de las aguas residuales a niveles adecuados es uno de los objetivos fundamentales en el tratamiento de residuos, sin embargo, las tecnologías de tratamiento convencionales aplicadas en

los países industrializados son caras de construir, operar y mantener en los países en desarrollo, por lo tanto, los esfuerzos aún están en marcha para desarrollar tecnologías asequibles para estos países (Mohan et al., 2008).

Si bien es cierto que las experiencias de adsorción realizadas bajo sistemas batch entregan información importante respecto a las características de equilibrio y a la cinética de adsorción, este tipo de operación no es económica ni fácil de implementar a escala industrial; pues estos experimentos no son totalmente representativos de las condiciones industriales, ya que ofrecen una gran superficie específica y, por tanto, la máxima posibilidad de adsorción; además se puede considerar que el flujo es nulo. Es por esta razón que los datos obtenidos en sistemas de columnas son considerados esenciales para el diseño de adsorbedores industriales (Agouborde, 2008), siendo más útiles en el tratamiento de aguas residuales a gran escala ya que un gran volumen de éstas pueden ser tratados de forma continua utilizando una cantidad definida de sorbente en la columna.

OBJETIVO GENERAL

- ✓ Realizar un diseño preliminar de una unidad piloto de adsorción en continuo para tratamiento de aguas residuales utilizando carbón activado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Seleccionar el modelo de diseño adecuado para una unidad piloto de adsorción a escala laboratorio.
- ✓ Diseñar la columna de adsorción teniendo en cuenta parámetros tomados de la literatura para un rango de aplicación de carbón activado específico.
- ✓ Validar el modelo con datos conocidos de la literatura.
- ✓ Diseñar el sistema de adsorción con los accesorios adecuados que permitan su construcción a escala laboratorio.
- ✓ Analizar los costos respectivos que genera la construcción de la unidad piloto de adsorción.

ANTECEDENTES

Dentro de los estudios de adsorción en continuo para el tratamiento de aguas residuales, se encuentra la adsorción de Pb (II) en sistemas acuosos sobre carbón activado granular utilizando el modo por lotes y continuo en una columna de lecho empacado (Dwivedi et al., 2008). Namane et al., (2006) realizaron un estudio para determinar las condiciones de funcionamiento de un filtro de carbón activado, en base a las características de curvas de ruptura. Hu et al., (2011) investigaron el comportamiento de adsorción de toluendiamina de aguas residuales sobre carbón activado en modo batch y en lecho fijo respectivamente, mediante isothermas de adsorción que podrían ser ajustadas por la ecuación de adsorción de Langmuir y cuya cinética de adsorción sigue el modelo de pseudo-segundo orden. Pelech et al., (2006) presentan los resultados obtenidos experimentalmente y hacen una descripción de la adsorción multicomponente de hidrocarburos clorados (1,2-dicloroetano, 1,1,2,2-tetracloroetano, cloroformo, tetracloruro de carbono, 1,1-dicloroetano, percloroetileno y 1,1,2-tricloroetano), bajo condiciones dinámicas utilizando el modelo de equilibrio. Hana et al., (2009) realizaron un estudio de adsorción en continuo en una columna de lecho fijo mediante el uso de la hoja del árbol fénix como adsorbente para la eliminación de azul de metileno (MB) de las aguas residuales. Chen et al., (2000) investigaron los efectos de la velocidad de flujo, pH, fuerza iónica en la eliminación de iones metálicos como cobre, zinc y plomo en columnas con carbón activado granular. Nabarlantz et al., (2012), analizaron carbón activado derivado del Vinal (VAC) para la adsorción de iones Ni (II) a partir de soluciones diluidas tanto en lotes como en modo dinámico, e hicieron una comparación con un carbón activado comercial (CAC). Se realizaron experimentos por lotes para determinar la cinética de adsorción e isothermas de equilibrio para ambos carbones y en modo continuo para evaluar la influencia de los parámetros operacionales tales como caudal, altura del lecho y concentración de la alimentación en las curvas de ruptura obtenidas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ADSORCIÓN

La adsorción es un proceso de separación y concentración que se fundamenta en la transferencia de masa de uno o más componentes de un sistema sobre una superficie sólida o líquida. La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama adsorbato y el material sobre el cual se acumula se llama adsorbente (Driss, 2010). Los distintos sistemas heterogéneos en los que puede tener lugar la adsorción son: sólido-líquido, sólido-gas, siendo el sistema líquido-sólido el más común. Como en otros procesos de este tipo, los componentes se distribuyen selectivamente entre ambas fases.

La adsorción puede ser resultado de interacciones de Van der Waals (adsorción física o fisisorción) o puede ser resultado de reacciones químicas (adsorción química o quimisorción). La diferencia fundamental entre ambas es que en el caso de la fisisorción la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, y la adsorción es fácilmente reversible, mientras que durante la quimisorción la especie adsorbida (quimisorbida) sufre una transformación, dando lugar a una especie distinta (Agouborde, 2008).

La adsorción depende de varios factores tales como carga y área superficial del adsorbente, pH, la temperatura del medio y las concentraciones de las especies presentes en solución. Los estudios de adsorción comúnmente se realizan variando la concentración del adsorbato y manteniendo constantes el pH, la temperatura y la cantidad de adsorbente (Driss, 2010).

1.2 TIPOS DE ADSORBENTES

Los adsorbentes son sólidos porosos naturales o sintéticos de estructura amorfa o microcristalina. Los utilizados a gran escala incluyen carbón activado, alúmina

activada, gel de sílice, arcillas activadas, adsorbentes poliméricos sintéticos, sílica gel y mallas moleculares (Serrano, 2004). En cualquier caso, el proceso de fabricación ha de asegurar un gran desarrollo superficial mediante una elevada porosidad. Los adsorbentes naturales (arcillas, zeolitas) tienen pequeñas superficies. Los adsorbentes industriales y los carbones activados de buena calidad pueden llegar a tener entre 1.000 y 1.500 m^2/g (Driss, 2010). Los adsorbentes pueden regenerarse con el fin de obtener el adsorbato en forma concentrada o prácticamente pura. Las propiedades de sorción de cada carbón están determinadas por la naturaleza original del carbón y el grado de los cambios físico-químicos que ocurren durante la activación (El Qada et al., 2006).

1.2.1 CARBÓN ACTIVADO (CA)

La mayoría de los carbones activados son producidos a partir de materiales con un alto contenido de carbón presentes en la naturaleza, tales como la turba y la madera, obtenidos mediante procesos térmicos. En general, los carbones activados se obtienen como un residuo sólido, después de eliminar los componentes volátiles del material utilizado. Generalmente la estructura de los materiales de partida es sólo ligeramente porosa. Una vez aplicado un procedimiento adecuado de activación, se obtiene un producto que se denomina carbón activado, lo que denota un material con una estructura de poros interna accesible y bien desarrollada (Rozas, 2008). El interés por este tipo de material se basa en algunas de sus propiedades: estabilidad térmica, resistencia al ataque ácido, carácter esencialmente hidrófobo (repele el agua) y estructura porosa. Las propiedades adsorbentes de CA dependen de su composición, propiedades físico-químicas y resistencia mecánica (Soto et al., 2011).

1.3 ADSORCIÓN EN MODO BATCH

Es una técnica ampliamente utilizada en estudios de laboratorio, donde una disolución acuosa conteniendo solutos de composición y concentración conocida

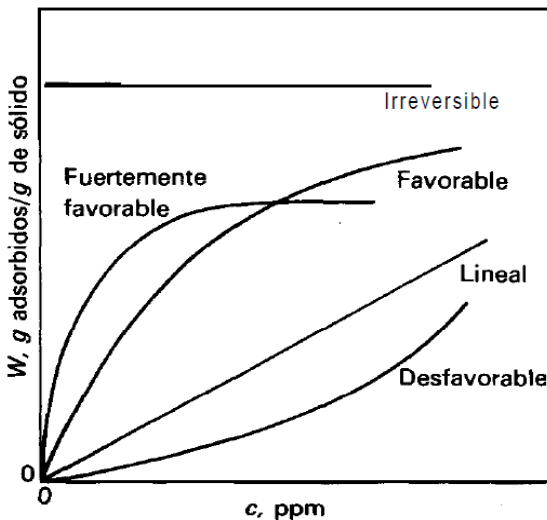
se mezcla con una masa dada de adsorbente durante un período de tiempo determinado. Transcurrido este período, la disolución se separa del adsorbente y se analiza para determinar los cambios en la concentración del soluto. La cantidad de soluto adsorbida por el adsorbente se calcula como la diferencia entre la concentración inicial (antes del contacto con el adsorbente) y la concentración de soluto tras el período de mezcla (Rubinos, 2008).

1.3.1 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

El proceso de adsorción se puede representar mediante isotermas de adsorción las cuales relacionan el equilibrio entre la concentración en la fase fluida y la concentración en las partículas de adsorbente a una temperatura determinada. Para líquidos la concentración se expresa habitualmente en unidades de masa, tales como partes por millón (mg/L). La concentración de adsorbato sobre el sólido viene dada como masa adsorbida por unidad de masa de adsorbente original (McCabe et al., 1967).

En la figura 1 se pueden observar algunos tipos de isotermas. La isoterma lineal pasa por el origen de coordenadas y la cantidad adsorbida es proporcional a la concentración en el fluido. Las isotermas que son convexas hacia arriba se denominan favorables, debido a que puede obtenerse una carga relativamente elevada de adsorbato en el adsorbente para una baja concentración de adsorbato en el fluido. Una isoterma que es cóncava hacia arriba recibe el nombre de desfavorable debido a que se obtienen cargas del sólido relativamente bajas y a que conducen a largas zonas de transferencia de materia en el lecho (McCabe et al., 1967).

Figura 1. Isotermas de Adsorción.



Fuente: Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Autor: McCabe, W.; SMITH, J.
HARRIOT, P.

Entre las isotermas mas empleadas para ajustar los datos experimentales de adsorción se tienen la *isoterma de Langmuir* y la *isoterma de Freundlich*.

1.3.1.1 ISOTERMA DE LANGMUIR

La ecuación de Langmuir se ha considerado como el modelo que mejor ajusta los datos de equilibrio que corresponden a isotermas favorables (Serrano, 2004).

La isoterma de Langmuir se basa en los siguientes supuestos

- El adsorbente tiene un número fijo de sitios de adsorción (capacidad máxima de adsorción).
- Las moléculas son adsorbidas en sitios bien definidos y energicamente equivalentes y que distan el uno del otro lo suficiente como para permitir la no interacción de moléculas adsorbidas con sitios adyacentes.
- Las moléculas se adsorben formando una capa sobre la superficie del adsorbente (monocapa).

La fórmula general de la isoterma de Langmuir y su forma linealizada se muestran en las siguientes ecuaciones (Aguilar, 2011):

$$q = \frac{q_{max} b C_{eq}}{1 + b C_{eq}} \quad (1)$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_{max} b C_{eq}} + \frac{1}{q_{max}} \quad (2)$$

Donde: q es la cantidad de moléculas adsorbidas por unidad de masa de adsorbente (mmol/g); q_{max} es la cantidad máxima de moléculas que pueden ser adsorbidas (mmol/g); b es la constante de equilibrio de adsorción (L/mmol); C_{eq} es la concentración de equilibrio del soluto en la solución (mg/L).

1.3.1.2 ISOTERMA DE FREUNDLICH

La isoterma de Freundlich, a diferencia de la isoterma de Langmuir, admite la posibilidad de que las moléculas adsorbidas interactúen con los sitios vacantes adyacentes.

Está dada por la ecuación:

$$q = K_F C_{eq}^{1/n} \quad (3)$$

En su forma lineal la isoterma de Freundlich se expresa (Aguilar, 2011):

$$\log q = \log K_F + n \log C_{eq} \quad (4)$$

Donde K_F y $1/n$ son constantes empíricas relacionadas con la capacidad de adsorción máxima y la intensidad de la adsorción. Cuando $C_{eq} = 1$, el valor de K_F coincide con la cantidad de soluto adsorbido para dicha concentración, lo que hace que K_F sea considerado como una medida de la capacidad de adsorción del soluto.

1.4 ADSORCIÓN EN MODO CONTINUO

En la adsorción en columnas de lecho fijo las concentraciones en la fase fluida y en la fase sólida varían con el tiempo y con la posición en el lecho (McCabe et al., 1967). Cuando el agua a tratar fluye a través de una columna de adsorción, los contaminantes se separan gradualmente y el agua se va purificando progresivamente. Se forma una zona de transición en la cual la concentración de contaminantes varía desde un máximo, al final de la zona, hasta prácticamente cero en la parte inicial de la misma. Esta zona es la porción activa de la columna, y se denomina zona de adsorción. El movimiento progresivo de esta zona de adsorción puede verse mediante las llamadas curvas de saturación o ruptura. Las ordenadas de la curva de ruptura corresponden a la concentración de efluente, y las abscisas corresponden a la duración del flujo a través de la columna; con frecuencia las abscisas se expresan también en función de los volúmenes de lecho de flujo total, (ver figura 2). Para la mayor parte de operaciones de adsorción en el tratamiento de aguas, las curvas de saturación exhiben una forma “S” característica, con distintos grados de inclinación y posición del punto de saturación (Serrano, 2004).

1.5 MÉTODO DE DISEÑO

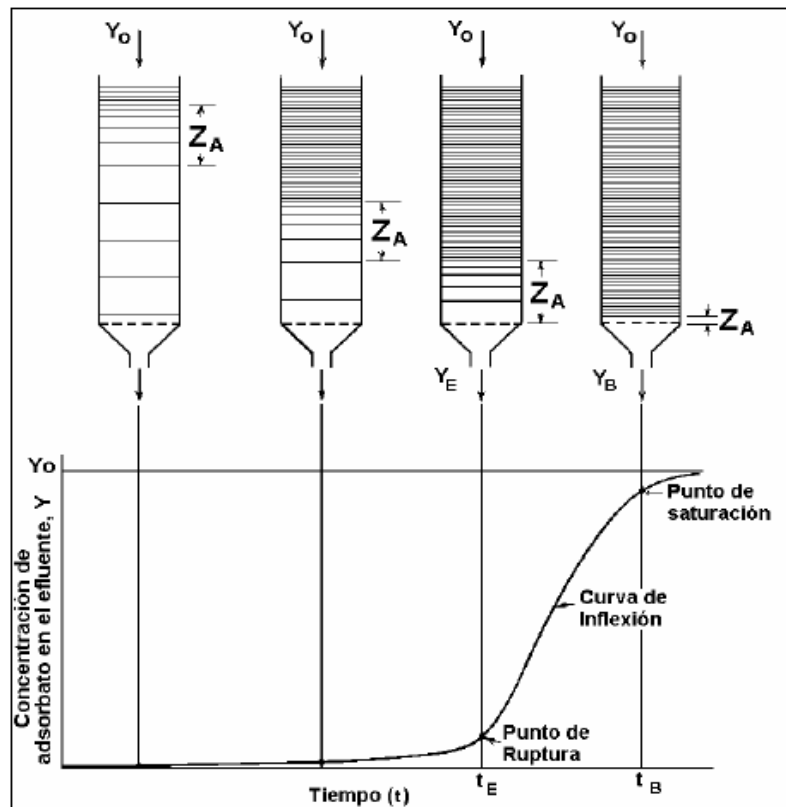
Para la selección del método de diseño de la altura del lecho, hay que tener en cuenta dos enfoques diferentes, el primero consiste en elegir un modelo teórico adecuado y el segundo tipo de enfoque es casi completamente empírico.

Los métodos cortos o empíricos se usan ampliamente para el diseño de lechos fijos. No solamente debido a su simplicidad y confiabilidad, sino también a que representan una buena alternativa a métodos más rigurosos. Aún así, se debe tener especial cuidado cuando se determine la aplicabilidad de los métodos cortos para un problema de diseño en particular (Cortés, 2007). Algunos métodos cortos son:

1. Teoría del Equilibrio de las Isotermas Convexas.

2. Longitud o Peso de Lecho sin Usar (Length of Unused Bed – LUB, o Weight of Unused Bed – WUB)
3. Longitud de la Zona de Transferencia de Masa (LZTM)
4. Tiempo de Contacto de Lecho Vacío (Empty Bed Contact Time, EBCT)
5. Tiempo de Servicio de Profundidad de Lecho (Bed Depth Service Time, BDST)
6. Aproximación de Unidad de Transferencia (Transfer Unit Approach, NTU y HTU).

Figura 2. Proceso de Adsorción en un lecho fijo.



Fuente: Operaciones de Transferencia de Masa. Autor : TREYBAL, Robert.

Del análisis general de los métodos anteriores se optó por el método de la “*Teoría del Equilibrio de las Isotermas Convexas*” ya que es muy útil en la estimación de

una primera aproximación de la profundidad del lecho que se requeriría para una situación dada en el tratamiento de aguas residuales (Cooney, 1999).

Cuando la dispersión axial se puede despreciar, el equilibrio local existe y la isoterma es lineal o convexa, se desarrollan perfiles de función escalón en el adsorbedor, éstos no cambian a medida que avanzan a través del lecho. En contraste para los sistemas reales, en el que el equilibrio local no existe y en el que hay cierta cantidad de dispersión axial se producen perfiles de concentración que tienden a propagarse, sin embargo, si la isoterma de adsorción es convexa las partes de la concentración inferior del perfil poseerán mayor adsorción relativa que las partes de mayor concentración. Como el perfil del lecho se mueve, las fuerzas de propagación y corte producen una forma que no cambia con la distancia, este perfil no es función de paso por los efectos de propagación de no equilibrio pero sigue siendo en forma de "S" (Cooney, 1999).

Asumir un patrón de comportamiento constante en los sistemas reales que por lo general se rigen por las isotermas convexas y por lo tanto generan dichos perfiles, es una suposición de gran alcance, ya que permite hacer caso omiso de una dependencia del tiempo de la forma del perfil. Matemáticamente, esto permite lograr descripciones relativamente simples de la forma del perfil, así como el comportamiento de la curva de ruptura (Cooney, 1999).

La relación entre la carga hidráulica, H (cm/min), el tiempo de servicio t_{servicio} (min), la fracción de volumen en fase sólida, $(1 - \epsilon)$ (adimensional), la cantidad de moléculas adsorbidas por unidad de masa de adsorbente, q_0 (mmol/L) y la concentración de equilibrio en la solución, C_0 (mmol/L), está dada por la siguiente ecuación, en la cual se deben usar unidades dimensionalmente consistentes (Cooney, 1999).

$$L = \frac{(H)t_{\text{servicio}}}{(1-\epsilon)(q_0/C_0)} \quad (5)$$

Esto da la longitud del lecho, L (cm), necesaria para un tiempo de servicio deseado.

En la anterior ecuación H está dada por $H = \epsilon v = Q/S$, donde ϵ es la porosidad, (adimensional), v la velocidad (cm/min), Q el caudal (cm³/min), S el área (cm²). q_0 es calculado a partir de las ecuaciones de Langmuir y Freundlich, ver ecuaciones (1) y (3), ($q = q_0$) y ($C_0 = C_{\text{eq}}$).

2. METODOLOGÍA

En la figura 3 se esquematiza la metodología desarrollada para llevar a cabo el presente trabajo.

Figura 3. Diagrama del proceso de diseño.



2.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el proceso de revisión y selección de datos, se tuvo en cuenta libros, artículos, trabajos de grado, entre otros. En esta recopilación se seleccionaron parámetros tales como tipos de contaminantes, tipos de carbones activados utilizados, constantes de las isothermas de Langmuir y Freundlich y rangos de valores para variables (caudales, concentraciones, tiempo de servicio, porosidad y diámetros) utilizados en el funcionamiento de sistemas de adsorción en continuo.

2.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO

Como se menciona en el capítulo anterior se seleccionó el método de las isothermas convexas como el apropiado para el cálculo de la altura del lecho de adsorción a escala laboratorio.

2.3 DISEÑO PRELIMINAR DEL LECHO

1. Datos de entrada

- ✓ Caudal
- ✓ Carga Hidráulica
- ✓ Porosidad
- ✓ Concentración inicial de contaminante
- ✓ Densidad aparente
- ✓ Tiempo de servicio

2. Cálculo de q_0 con ecuación de Langmuir y Freundlich

Para hallar q_0 se reemplazan las correspondientes constantes de Langmuir y Freundlich en las ecuaciones (1) y (3) de las isothermas y la concentración inicial. Este valor se multiplica por la densidad del lecho, así se obtienen dimensiones consistentes.

La densidad del lecho (g/cm^3), se halla usando la relación entre el peso del carbón (g) y el volumen del lecho (cm^3)

$$\rho_{\text{lecho}} = \frac{\text{Peso carbón}}{\text{Volumen lecho}} \quad (6)$$

La ecuación empleada para determinar el volumen del lecho esta dada por:

$$V_{\text{Lecho}} = S * L_{\text{Lecho}} * (1 - \epsilon) \quad (7)$$

De esta forma la relación q_0/C_0 es adimensional.

3. Cálculo altura del lecho.

Reemplazando la carga hidráulica, el tiempo de servicio, la fracción de volumen en fase sólida y la relación q_0/C_0 en la ecuación $L = H t_{servicio} / [(1 - \epsilon)(q_0/C_0)]$ se obtiene el valor de la altura del lecho.

4. Determinación del diámetro.

El diámetro del lecho no se ve afectado en absoluto por la capacidad de adsorción del carbono, sino que se establece simplemente por la elección de la carga hidráulica (H) (Cooney, 1999).

Para calcular el diámetro se utilizan las siguientes ecuaciones:

Donde $Q = \epsilon v S$, se tiene que $S = Q/\epsilon v$, conocido el valor del área y mediante la expresión $D = \sqrt{(4S/\pi)}$ se determina el diámetro.

5. Cálculo caída de presión.

La caída de presión es un factor importante en el diseño de columnas de lecho fijo y puede ser calculada mediante la ecuación de Ergun (Cooney, 1999). Para este cálculo se tiene en cuenta las propiedades (densidad y viscosidad) de la solución, y diámetro de la partícula.

$$\Delta P = \frac{\rho(\epsilon v)^2 L(1-\epsilon)}{D_p \epsilon^3} \left[\frac{150(1-\epsilon)}{Re \epsilon} + 1,75 \right] \quad (8)$$

El número de Reynolds se calcula con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho_L D_p V_L}{\mu_L} \quad (9)$$

Donde, ρ_L es la densidad del fluido (g/cm^3), D_p es el diámetro de la partícula (cm), y μ_L es la viscosidad del fluido ($Pa * S$).

2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADSORCIÓN

Una vez hallada la altura del lecho se procede a realizar un diseño del sistema de adsorción incluyendo accesorios, tanques, bomba, baño termostático, y sistemas de control (rotámetro y manómetro).

2.5 SELECCIÓN DE MATERIALES E INSTRUMENTACIÓN

De acuerdo al diseño del sistema de adsorción y las especificaciones tomadas de la recopilación bibliográfica se estudiaron diferentes tipos de materiales (cobre, acero inoxidable, tubing, bronce, acrílico y vidrio pyrex) para el diseño del sistema de adsorción y la instrumentación necesaria.

2.6 ESTIMACIÓN DE COSTOS

Se realizó la estimación de costos de la implementación de la unidad de adsorción, en base a las cotizaciones reportadas por proveedores nacionales como Inal INDUSTRIAS ACUÑA LTDA, QUIAM Productos y Servicios S.A.S y SOPLADO DE VIDRIO J.M. (ver anexos B,C,D).

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En las tablas 1, 2 y 3, se muestran los tipos de contaminantes seleccionados (metales, colorantes y compuestos orgánicos) con sus respectivas constantes de las isotermas de Langmuir y Freundlich a 30°C, con base en los datos reportados en la literatura para sistemas batch. En la tabla 4 se muestran los diferentes rangos para variables de sistemas en continuo.

Tabla 1. Parámetros para iones metálicos reportados en sistemas batch.

METALES	COBALTO	CROMO	NÍQUEL	COBRE	PLOMO
Carbón	ACC (Tela de Carbón Activado)			Carbón Activado de corteza de Eucalipto	
Concentración (mg/L)	0,60	3,12	1,17	6,35 – 635,36	6,35 – 635,36
Parámetros Isoterma Langmuir q_{\max} (mmol/g) b (L/mmol)	$q_{\max} = 0,13$ $b = 11,40$	$q_{\max} = 0,22$ $b = 3,47$	$q_{\max} = 0,15$ $b = 12,56$	$q_{\max} = 0,57$ $b = 0,32$	$q_{\max} = 0,65$ $b = 0,78$
Parámetros Isoterma Freundlich	$K_F = 0,26$ $1/n = 0,61$	$K_F = 0,25$ $1/n = 0,67$	$K_F = 0,34$ $1/n = 0,60$	$K_F = 0,38$ $1/n = 0,40$	$K_F = 0,33$ $1/n = 0,43$
Referencias	(Duman et al. , 2010)			(Patnukao et al. , 2008)	

Tabla 2. Parámetros para colorantes reportados en sistemas batch.

COLORANTES	METIL VIOLETA	AZUL DE METILENO
Carbón	PAAC (Carbón Activado derivado de Phragmites australis)	Carbón Activado derivado de serrín)
Concentración (mg/L)	50 – 150	50 – 450
Parámetros Isoterma Langmuir q_{\max} (mmol/g) b (L/mmol)	$q_{\max} = 1,27$ b = 118,19	$q_{\max} = 0,92$ b = 41,90
Parámetros Isoterma Freundlich	$K_F = 104,10$ $1/n = 0,14$	$K_F = 54,34$ $1/n = 0,12$
Referencias	(Chen et al., 2010)	(Hameed, B. H et al., 2007)

Tabla 3. Parámetros para compuestos orgánicos reportados en sistemas batch.

ORGÁNICOS	FENOL	FLUOROBENCENO
Carbón	ACF ₅ (Fibras de carbón activado)	Carbón Activado Granular
Concentración (mg/L)	141,15	50 – 1500
Parámetros Isoterma Langmuir q_{\max} (mmol/g) b (L/mmol)	$q_{\max} = 1,11$ b = 28,99	$q_{\max} = 3,63$ b = 1,92
Parámetros Isoterma Freundlich	$K_F = 1,28$ $1/n = 0,24$	$K_F = 1,91$ $1/n = 0,30$
Referencias	(Liu et al., 2010)	(Carvalho et al., 2007)

Tabla 4. Rangos de variables para sistemas en continuo.

PARÁMETROS	RANGO	REFERENCIAS
Caudal (mL/min)	1 – 20	Cortés R, 2007 Dwivedi et al., 2008 Nabarlatz et al., 2012 Serrano I, 2004
Concentración (mg/L)	1 – 100	
ρ_{Lecho} (g/mL)	1,024 – 1,85	
t_{servicio} (h)	1 – 25	
Porosidad (adimensional)	0,1 – 1	
Diámetro (cm)	1 – 4	
Diámetro de la partícula (cm)	0,02 – 0,15	

3.2 DISEÑO PRELIMINAR DEL LECHO

Para el diseño del lecho se escogieron contaminantes tales como iones metálicos (Níquel, Cobalto, Cromo, Cobre y Plomo), colorantes (metil-violeta, azul de metileno) y compuestos orgánicos (fenol y fluorobenceno), ampliamente estudiados en el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de adsorción.

Con las constantes de las isothermas mencionadas en las tablas 1, 2, y 3 y con los valores fijos de caudal (10 mL/min), concentración (50 mg/mL), densidad del lecho (1,44 g/mL), tiempo de servicio (780 min), porosidad del lecho (0,5) y diámetro (2 cm), se calcula la altura del lecho con la ecuación $L = H t_{\text{servicio}} / [(1 - \epsilon)(q_0/C_0)]$, para cada tipo de contaminante y cada modelo de las isothermas de Langmuir y Freundlich (ver tablas 5 y 6).

Tabla 5. Longitudes calculadas para contaminantes con parámetros de Langmuir.

CONTAMI- NANTES	q_{\max} (mmol/g)	b (L/mmol)	q_0 (mmol/L)	C_0 (mmol/L)	q_0/C_0	L (cm)
METALES						
Níquel	0,15	12,56	197,53	0,85	231,94	21,41
Cobalto	0,13	11,40	169,66	0,85	199,96	24,83
Cobre	0,57	0,32	165,11	0,79	209,82	23,66
Cromo	0,22	3,48	243,84	0,96	253,54	19,59
Plomo	0,65	0,78	148,27	0,24	614,43	8,08
COLORANTES						
Metil Violeta	1,27	118,19	1713,16	0,13	13497,95	0,36
Azúl de metileno	0,92	41,90	1148,83	0,16	7349,06	0,67
COMPUESTOS ORGÁNICOS						
Fenol	1,11	28,99	1500,95	0,53	2825,09	1,76
Fluoroben- ceno	3,63	1,92	2613,6	0,52	5023,34	0,99

Tabla 6. Longitudes calculadas para contaminantes con parámetros de Freundlich.

CONTAMI- NANTES	K_F $\left(\frac{\text{mmol}}{\text{g}}\right)\left(\frac{\text{L}^{1/n}}{\text{mmol}^{1/n}}\right)$	$1/n$	C_0 (mmol/L)	q_0 (mmol/L)	q_0/C_0	L (cm)
METALES						
Níquel	0,34	0,60	0,85	440,91	517,71	9,59
Cobalto	0,26	0,61	0,85	438,83	399,34	12,43
Cobre	0,38	0,40	0,79	497,18	631,82	7,86
Cromo	0,25	0,67	0,96	356,83	372,03	13,38
Plomo	0,33	0,43	0,24	257,86	1068,58	4,65

COLORANTES						
Metil Violeta	1,55	0,14	0,13	1670,20	13159,48	0,37
Azúl de metileno	1,07	0,12	0,16	1234,46	7896,81	0,63
COMPUESTOS ORGÁNICOS						
Fenol	1,28	0,24	0,53	1583,63	2980,70	1,67
Fluoroben- ceno	1,91	0,30	0,52	2260,84	4345,34	1,14

A partir de los datos obtenidos se hace un paralelo entre las alturas mayores, que en este caso sería para iones metálicos. Con los parámetros de Langmuir la altura máxima la alcanza el cobalto con 24,83 cm, y con los de Freundlich el Cromo con 13,38 cm. Por otra parte se puede observar que las alturas halladas para colorantes y compuestos orgánicos para los dos casos son relativamente pequeñas en comparación a las de los iones metálicos, basados en esta diferencia se elige la mayor altura evaluada con Langmuir (25 cm), pues esta altura por ser la mayor garantiza poder realizar investigaciones en cuanto al cambio de las concentraciones y tiempos de servicio, para los tres tipos de contaminantes seleccionados en el presente estudio.

Se utilizaron las propiedades del agua a 30°C ($\rho = 0,996 \text{ g/cm}^3$ y $\mu = 0,479 \text{ g/cm} - \text{min}$) y diámetro de la partícula (0,08 cm), para el cálculo de la caída de presión en el lecho. De esta manera se obtuvo un Reynolds de 1,060 y una caída de presión de 50,23 Pa.

3.3 VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Se validó la teoría de las Isotermas convexas utilizando datos experimentales obtenidos de Nabarlatz et al., 2012.

Con el propósito de corroborar la concordancia entre los datos calculados y los experimentales a la ecuación (5) se ingresaron los parámetros característicos de la ecuación de Langmuir para el Carbón Activado del Vinal (VAC) ($q_{\max} = 0,13$ mmol/g y $b = 26,56$ L/mmol) y para el Carbón Activado Comercial (CAC) ($q_{\max} = 0,16$ mmol/g y $b = 19,54$ L/mmol), utilizados en el tratamiento de aguas con presencia del contaminante metálico Níquel. Las características para el sistema en continuo de la solución y adsorbentes se detallan en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de diseño del lecho de adsorción para VAC y CAC.

PARÁMETROS	VAC	CAC
Parámetros Isoterma Langmuir q_{\max} (mmol/g) b (L/mmol)	$q_{\max} = 0,13$ $b = 26,56$	$q_{\max} = 0,16$ $b = 19,54$
Densidad aparente (g/L)	0,23	0,37
Densidad del lecho (g/ml)	1,045	1,85
Diámetro de la partícula (cm)	0,03	0,06
Fracción de vacío	0,78	0,80
Velocidad del fluido (cm/min)	2,98	1,39
Concentración (mg/L)	19,96	28,18
t_{servicio} (min)	225	1428
Flujo (mL/min)	7,3	3,5
Referencia	(Nabarlatz et al., 2012)	

Al realizar el cálculo, se obtienen los resultados y se hacen las respectivas comparaciones con los datos reportados, como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Comparación con los resultados obtenidos experimentalmente para el VAC y CAC.

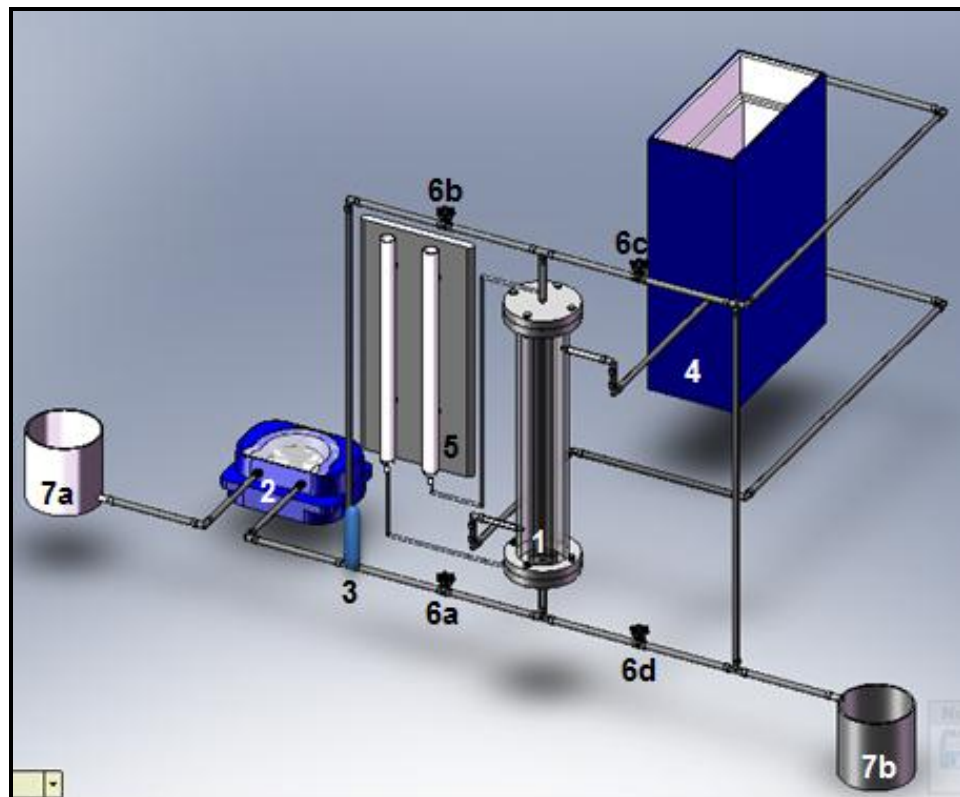
	VAC					CAC	
Caudal (cm ³ /min)	7,3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Concentración (mg/L)	19,96	19,96	19,96	19,96	28,18	19,96	28,18
t _{servicio} (min)	225	501,6	961,8	1921,2	1428	3997,8	1800
Longitud reportada en la Bibliografía (cm)	6	6	14	25	25	25	25
Longitud Calculada (cm)	6,6	7	13,5	27	27,6	29,4	18
Desviación (%)	10	16,6	3,3	8	10,4	17,7	28
Referencia	(Nabarlatz et al., 2012)						

Al analizar los resultados obtenidos anteriormente, se puede verificar que la utilización de la teoría de las isotermas convexas da una buena aproximación para el cálculo de la altura del lecho y esta longitud está de acuerdo con lo esperado. La desviación que presentan los cálculos se debe en parte al comportamiento de las curvas de ruptura reportadas en la literatura, ya que no coinciden exactamente con la suposición de perfiles de función de paso, aunque conservan la forma de “S”, no tan marcada.

3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADSORCIÓN

Con los datos obtenidos anteriormente, se construye mediante el programa Solidworks un diseño de la unidad de adsorción, que se muestra en la figura.

Figura 4. Diseño del sistema de adsorción.



- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Columna de adsorción. | 6a-6d. Válvulas on-off. |
| 2. Bomba peristáltica. | 7a. Tanque de alimentación. |
| 3. Rotámetro. | 7b. Tanque de recolección. |
| 4. Baño termostático. | |
| 5. Manómetro. | |

La unidad de adsorción está diseñada para operar con soluciones alimentadas desde el tanque de alimentación a la columna mediante una bomba peristáltica.

Cuando el fluido entra a la columna en sentido descendente se cierran las válvulas 6a y 6c y se mantienen abiertas la 6b y 6d, mientras que si entra en sentido ascendente, se deben tener abiertas las válvulas 6a y 6c y cerradas la 6b y 6d. Esta última forma de operar evita variaciones debidas a la gravedad y mejora la distribución uniforme del fluido a través de la columna. También se incorpora un rotámetro con el fin de controlar el flujo.

La columna posee una chaqueta conectada a un baño termostatado para el estudio del efecto de la temperatura; se acopla a la parte superior e inferior de la columna un manómetro de agua para poder medir la caída de presión a través de ésta y se adjuntan tamices de vidrio en sus extremidades, con el fin de proporcionar un flujo de entrada uniforme e impedir pérdidas de partículas. Finalmente el sistema cuenta con un tanque recolector para la solución tratada.

- ✓ La columna de adsorción fue seleccionada en vidrio pyrex de alto vacío, enchaquetada con flanchez esmerilados, de 30 cm de largo x 24 mm de diámetro, con frica porosa N°2. De acuerdo a especificaciones suministradas por el proveedor.
- ✓ Los accesorios (válvulas, uniones y codos) son fabricados en cobre.
- ✓ Tanque de alimentación y recolección con capacidad de 3 Litros y su respectivo material en acero inoxidable.
- ✓ Bridas o agarraderas construidas en acero inoxidable.
- ✓ Bomba peristáltica digital, diseñada para manejar caudales entre **0 – 100 mL/min** con suministro eléctrico de 90-264 VCA.
- ✓ Rotámetro fabricado en polipropileno (NPT) de fácil lectura para ajustar el flujo de agua que entra al dispositivo, para un rango de flujo de **0 – 100 mL/min**.
- ✓ Baño termostatado analógico de acero inoxidable, con capacidad de 5 Litros, el rango de temperatura es de 25-100 °C.
- ✓ Manómetro para medir caídas de presión dentro del lecho entre 0-100 Pa.

Los equipos y accesorios tienen conexiones de tubería de ¼”.

3.5 ESTIMACIÓN DE COSTOS

Se relaciona a continuación la descripción y costos que genera el montaje de la unidad piloto de adsorción para su posterior puesta en marcha (ver tabla 9).

Tabla 9. Estimación de costos.

COSTOS DE ACCESORIOS Y EQUIPOS		
EQUIPOS	COSTO	PROVEEDOR
Columna de adsorción, enchaquetada con flanchez esmerilados, de 30cm de largo x 24 mm de diámetro, con frica porosa N° 2, en vidrio pyrex de alto vacio.	\$ 480.000.00	SOPLADO DE VIDRIO J.M.
Accesorios metálicos <ul style="list-style-type: none"> • Tuberías, válvulas, uniones y codos en cobre. • Recipientes en acero inoxidable. • Bridas o agarraderas en acero inoxidable. 	\$ 720.000.00	
Manómetro	\$ 60.000.00	
Bomba peristáltica Watson Marlow Pumps (120S). Caudal de 0,002 hasta 190 ml/min y presiones hasta 2 bar + tubing.	\$ 3.872.080.00	QUIAM PRODUCTOS & SERVICIOS S.A.S
Baño analógico en acero inoxidable hasta 100°C, 5 Lts, gradilla para 28 tubos de 18 mm. Gemmy (YCW-05).	\$ 1.429.584.00	
Rotámetro	\$ 537.718.00	
TOTAL	\$7.099.382.00	

CONCLUSIONES

- ✓ Con la utilización del método de las isothermas convexas se logró calcular la altura del lecho (25 cm), como la adecuada para realizar estudios a escala laboratorio.
- ✓ Se realizó el diseño preliminar del sistema de adsorción en continuo, para el tratamiento de aguas residuales, donde la variable principal fue la altura del lecho. Adicional a ello se plantea el montaje para la puesta en marcha del sistema que consta de columna de adsorción, tanques de almacenamiento, sistemas de bombeo, líneas de conducción y equipos de control.
- ✓ En la validación del método de la teoría de las isothermas convexas, se comprobó que este modelo genera alturas de lecho similares a las obtenidas de la literatura.
- ✓ Con el sistema de adsorción diseñado es posible realizar estudios a nivel de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales, donde se puede analizar el comportamiento de distintas variables como lo es la temperatura, tipos de carbones activados utilizados, contaminantes y su concentración en la solución, caudal de alimentación, caída de presión, entre otros.
- ✓ Se expone una estimación de costos para la implementación de la unidad piloto en el laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

AGOUBORDE, L. Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales. Univesidad de la Frontera, Tesis de Investigación. Chile, 2008.

AGUILAR, A. Evaluación de la adsorción competitiva de iones Cu, Ni y Zn sobre arcilla Bentonítica modificada con Dodecil Sulfato de Sodio. Trabajo de investigación. Universidad Industrial de Santander. Colombia. 2011, p. 20-22.

CARVALHO, M.F; DUQUE, A.F; GONCALVES, I.C; CASTRO, P.M.L. Adsorption of fluorobenzene onto granular activated carbon: Isotherm and bioavailability studies. *Bioresource Technology*, 98. 2007, p. 3424–3430.

CHEN, J; WANG, X. Removing copper, zinc, and lead ion by granular activated carbon in pretreated fixed-bed columns. *Separation and Purification Technology.*, 19. 2000, p. 157–167.

CHEN, S; ZHANG, J; ZHANG, C; YUE, Q; LI, Y; LI, C. Equilibrium and kinetic studies of methyl orange and methyl violet adsorption on activated carbon derived from *Phragmites australis*. *Desalination*, 252.2010, p.149–156.

Cooney, D.O., 1999. *Adsorption Design for Wastewater Treatment*. Lewis Publishers, USA. Pág.157-182.

CORTÉS, R. Efecto de la modificación de una zeolita natural Mexicana en la sorción de cadmio y 4-clorofenol. Universidad Autónoma del estado de México, Tesis Doctoral. Toluca, Estado de México., 2007, p. 52-54.

DRISS, S. Aprovechamiento de hueso de aceituna Biosorción de iones metálicos. Universidad de Granada, Departamento de Ingeniería Química, Tesis Doctoral. Granada, España. 2010, p. 61-63.

DUMAN, O; AYRANC, E. Attachment of benzo-crown ethers onto activated carbon cloth to enhance the removal of chromium, cobalt and nickel ions from aqueous solutions by adsorption. *Journal of Hazardous Materials.*, 176. 2010, p. 231–238.

DWIVEDI, C; SAHU, J; MOHANTY, C; MOHANA, B; MEIKAP, B. Column performance of granular activated carbon packed bed for Pb (II) removal. *Journal of Hazardous Materials*, 156. 2008, p. 596–603.

EL QADA, E; ALLEN, S; WALKER, G. Adsorption of Methylene Blue onto activated carbon produced from steam activated bituminous coal: A study of equilibrium adsorption isotherm. *Chemical Engineering Journal*, 124. 2006, p. 103–110.

GONZALEZ, L; ESCAMILLA, E. Biodegradación Anaerobia de Colorantes Azoicos Textiles usando Carbón Activado. *Bio Tecnología*, 2008, vol.12 N°3, p. 34-47.

HAMEED, B.H; AHMAD, A.L; LATIFF, K.N. Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. *Dyes and Pigments*, 75. 2007, p.143-149.

HANA, R; WANG, Y; ZHAO, X; WANG, Y; XIE, F; CHENG, J; TANG, M. Adsorption of methylene blue by phoenix tree leaf powder in a fixed-bed column: experiments and prediction of breakthrough curves. *Desalination*, 245. 2009, p. 284-297.

HU, YU-NA; WANG, HAO-YI; CAO, GUI-PING; MENG, CHEN; YUAN, WEI-KANG. The adsorption of toluenediamine from the wastewater by activated carbon in batch and fixed bed systems. *Desalination*, 279. 2011, p. 54–60.

LIU, Q-S; ZHENG, T; WANG, P; JIANG, J-P; LI, N. Adsorption isotherm, kinetic and mechanism studies of some substituted phenols on activated carbon fibers. *Chemical Engineering Journal.*, 157. 2010, p. 348–356.

McCabe, W.L; SMITH, J; HARRIOT, P. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. Cuarta edición, pág. 797-818. Mc Graw Hill 1967.

MOHAN, D; SINGH, K; SINHA, S; GOSH, D. Removal of pyridine from aqueous solution using low cost activated carbons derived from agricultural waste materials. Carbon., 42. 2004, p. 2409-2421.

MOHAN, D; SINGH, K; SINGH, V. Wastewater treatment using low cost activated carbons derived from agricultural byproducts—A case study. Journal of Hazardous Materials, 152. 2008, p. 1045–1053.

NABARLATZ, D; DE CELIS, J; BONELLI, P; CUKIERMAN, A. Batch and dynamic sorption of Ni(II) ions by activated carbon based on a native lignocellulosic precursor. Journal of Environmental Management., 97. 2012, p. 109-115.

NAMANE, A; HELLAL, A. The dynamic adsorption characteristics of phenol by granular activated carbon. Journal of Hazardous Materials, B137. 2006, p. 618–625.

PATNUKAO, P; KONGSUWAN, A; PAVASANT, P. Batch studies of adsorption of copper and lead on activated carbon from Eucalyptus camaldulensis Dehn. Bark. Journal of Environmental Sciences., 20. 2008, p. 1028–1034.

PEŁECH, R; MILCHERT, E; BARTKOWIAK, M. Fixed-bed adsorption of chlorinated hydrocarbons from multicomponent aqueous solution onto activated carbon: Equilibrium column model. Journal of Colloid and Interface Science, 296. 2006, p. 458–464.

ROZAS, P. Estudio de adsorción para Cr (VI) utilizando chacay (ulex europaeus) como carbón activo cubierto con Quitosan. Trabajo de Investigación. Universidad

de los Lagos Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Chile. 2008, p. 20-21.

RUBINOS, D. Utilización de lodos rojos de bauxita en la contención e inactivación de residuos tóxicos y peligrosos. Universidad Santiago de Compostela, tesis de investigación. 2008 [en línea], <http://books.google.com.co/books?id=Z8XynuC_ySEC&pg=PA236&lpg=PA236&dq=estudios+de+adsorcion+en+batch&source=bl&ots=samu9qgukZ&sig=hF-V1emyPxvFSOOyH_uWgMaYc&hl=es&sa=X&ei=JkV0UKXONla09QT2iICIDQ&ved=0CFwQ6AEwCA#v=onepage&q=estudios%20de%20adsorcion%20en%20batch&f=false> [citado en 18 de Septiembre de 2012].

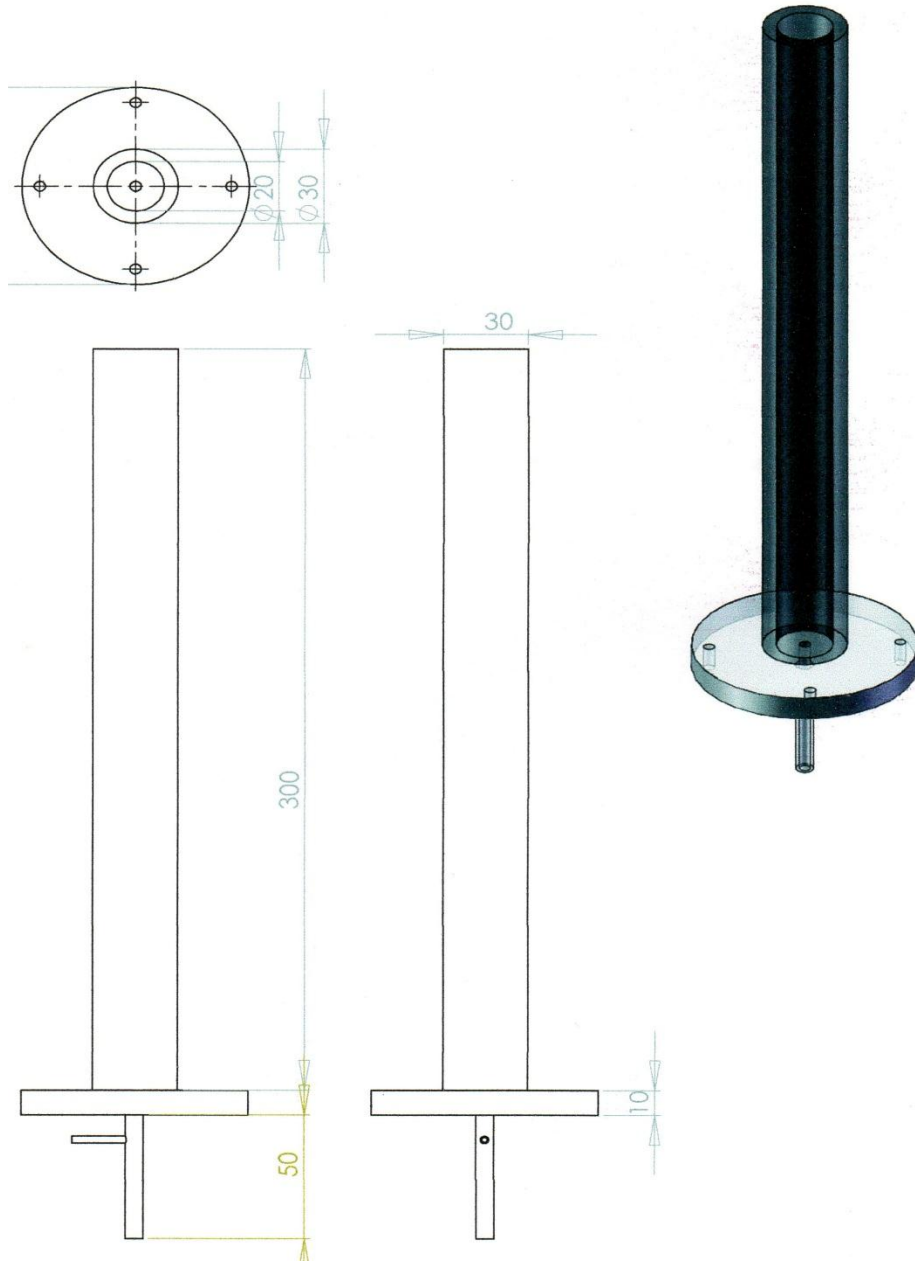
SERRANO, I. Y. Diseño y simulación de columnas de adsorción de cromo de aguas tratadas de tenerías utilizando adsorbentes desarrollados en países Iberoamericanos. Universidad Industrial de Santander, Centro de Investigación en Catálisis. Colombia. 2004, p.15-19.

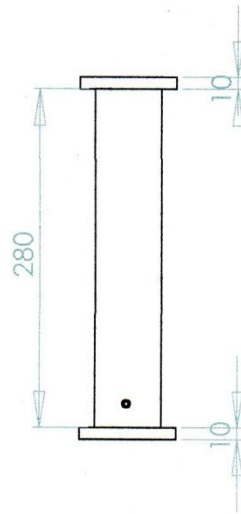
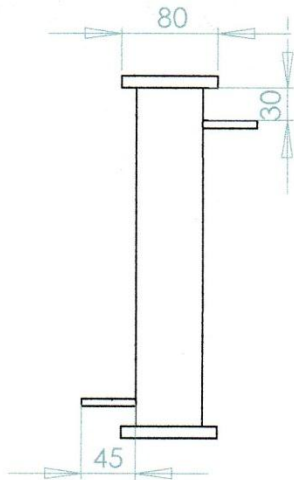
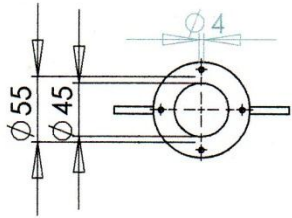
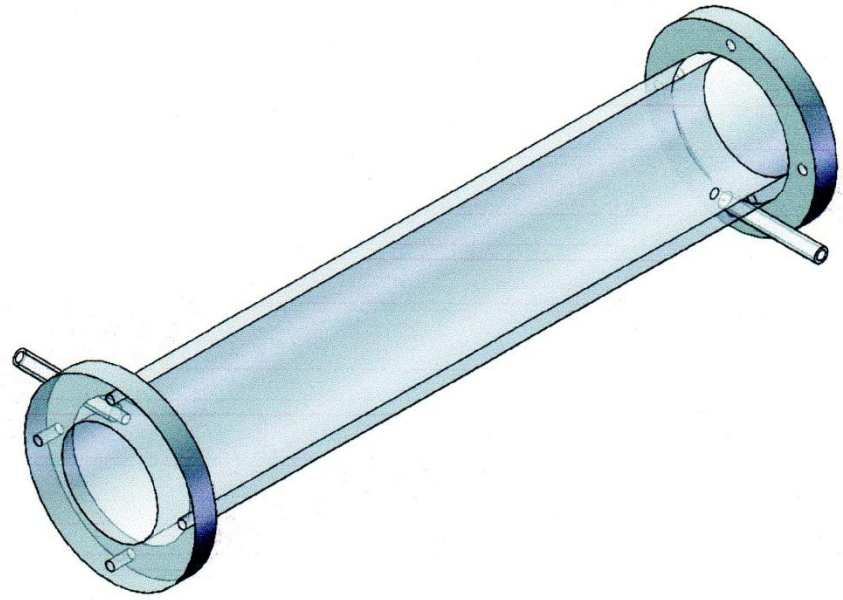
SOTO, M; MOURE, A; DOMINGUEZ, H; PARAJÓ, J. Recovery, Concentration and purification of phenolic compounds by adsorption. Journal of Food Engineering, 105. 2011, p. 1-27.

TREYBAL, Robert E. OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA 2 edición, pág. 675-689. Mc Graw Hill 1967.

ANEXOS

ANEXO A. PLANO DEL DISEÑO DE LA COLUMNA DE ADSORCIÓN.





ANEXO B. COTIZACIÓN PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN DE SOPLADO DE VIDRIO J.M.



SOPLADO DE VIDRIO J.M.
Jairo Ricardo Mosquera Ayala
 NIT. 91.158.442-2

REPARACION Y FABRICACION DE EQUIPOS EN VIDRIO PARA LABORATORIO



Bucaramanga, Octubre 19 de 2012

COTIZACION

Señores
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 NIT 890.201.213-4
 Escuela de Ingeniería Química
 Atte: Dra. Debora Nebariatz
 Directora de Escuela
 UIS

REF: Venta Materiales de Laboratorio.

CANT.	DESCRIPCION	VLR. UNIT.	VLR. TOTAL
1	Columna de Adsorción Enchiqueta con Flanchez Esmerilado. De 30 cm de largo x 24 mm de Diámetro con Frica Porosa no. 2, en Vidrio Pyrex de Alto Vacío	\$ 480.000	\$ 480.000
1	Accesorios Metálicos: - Tuberías, válvulas, Uniones y Codos en cobre - Recipientes en Acero Inoxidable - Bridas o Agarraderas en acero Inoxidable	\$ 720.000	\$ 720.000
1	Manómetro	\$ 60.000	\$ 60.000
TOTAL			\$ 1.260.000

SON: UN MILLON DOSCIENTOS SESENTA MIL PESOS M/CTE.

CONDICIONES COMERCIALES
 Tiempo de entrega: 8 días
 Tiempo Validez Oferta: 30 días
 RÉGIMEN SIMPLIFICADO

Cordialmente,

JAIRO RICARDO MOSQUERA AYALA
 NIT. 91.158.442 Cel. 3168736478 FAX 68361119 – 6488919

CRA. 3 No. 1-73 CASA 06 CONJ. ESTANCIA CAMPESTRE TEL. 6184243 CEL.316 8736478 F/BLANCA - SANTANDER E-mail: sopladojm@hotmail.com



ANEXO C. COTIZACIÓN PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN DE QUIAM PRODUCTOS & SERVICIOS S.A.S



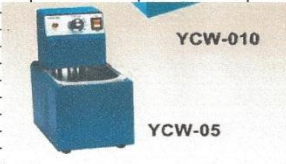
Bucaramanga, 22 DE OCTUBRE DE 2012

Señores:
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA

COTIZACION N° 00103

N°	Cant.	59/ wkt/ lj b			VALOR UNITARIO	VALOR IVA 16%	VALOR TOTAL CON IVA 16%	TIEMPO DE ENTREGA	
		NOMBRE	MARK	REF.					
1	1	BOMBA PERISTALTICA, 34 ML/MIN 25 PSI 10 RPM 110 V / 60 Hz Recubrimiento en policarbonato Dispensador diseñado para operar líquidos desde soluciones acuosas, líquidos corrosivos, hasta resina sintética líquida media. El líquido dispensado jamás entra en contacto con la bomba. Para aplicaciones en farmacéuticas, biotecnología, medicina y plantas pilotos.	PULSA FEEDER - USA	PUD1-0	1.040.000	166.400	1.206.400	8 DIAS	
									
1	1	BOMBA PERISTALTICA 120, Caudales de 0,002 a 190 ml/min a 2 bar (30 psi) Tamaño compacto que ocupa mínima superficie de bancada. Control superior de velocidad de hasta 20.000:1, con precisión de ±1%. cabezal 114DV, con un solo canal y cuatro rodillos. Protección de Ingreso IP31 para entornos de limpieza ligera. Pantalla digital de velocidad. Seguridad (Bloqueo de teclado para proteger la configuración) Peso de la bomba 1,55 kg (3lbs 4oz). Ruido <60 dB(A) a 1 m. Alimentación electrica 24 V de CC suministrado del transformador de alimentación (rango de suministro eléctrico 90-264 V CA, 47-63 Hz)	WATSON MARLOW PUMPS	120S	3.300.000	528.000	3.828.000	8-15 DIAS	
									
Diámetro interno de la manguera y caudales de la 120S/DV y la 120U/DV (ml/min)									
		Velocidad rpm	0,5 mm	0,8 mm	1,6 mm	2,4 mm	3,2 mm	4,0 mm	4,8 mm
		1 - 200rpm	0,02 - 4,0	0,04 - 8,0	0,14 - 28	0,29 - 58	0,47 - 94	0,67 - 130	0,85 - 170
		0,1 - 200rpm	0,002 - 4,0	0,004 - 8,0	0,014 - 28	0,029 - 58	0,047 - 94	0,07 - 130	0,085 - 170

1	1	METRO DE MANGUERA DE SILICONA DIAMETRO INTERNO 4,8 MM ESPESOR DE PARED 1,6MM.	WATSON-MARLOW	WMQM1	38.000	6.080	44.080	8 DIAS
2	1	BAÑO ANALOGO EN ACERO INOXIDABLE HASTA 100°C (+/- 0,2°C), 5 LTS, GRADILLA PARA 20 TUBOS DE 18 mm ø	GEMMY	YCW-05	1.232.400	197.184	1.429.584	8 DIAS
	1	BAÑO ANALOGO EN ACERO INOXIDABLE HASTA 100°C (+/- 0,2°C), 11 LTS, GRADILLA PARA 20 TUBOS DE 18 mm DE ø	GEMMY	YCW-04M	1.586.000	253.760	1.839.760	8 DIAS
		<i>ver pdf adjunto</i>						



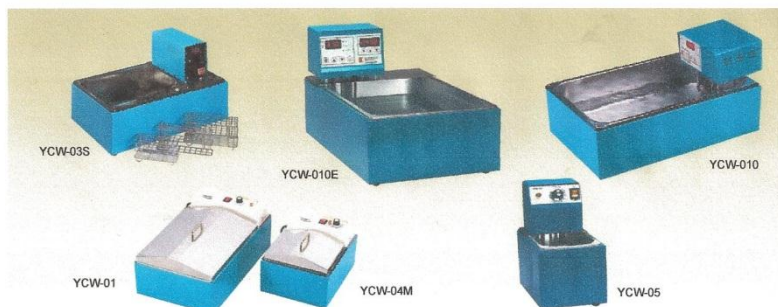
CONDICIONES GENERALES
 TIEMPO DE ENTREGA EN FRENTE DE CADA PRODUCTO
 VALIDEZ DE LA OFERTA 30 DIAS
 FORMA DE PAGO: 30 DIAS

Cordial saludo

EDWIN VARGAS
 ASESOR COMERCIAL

*Of. Carrera 12C N° 18-30 - Tel. 315-6736428
 Bucaramanga - Santander - Colombia*

Constant-Temp Water Bath



Specifications:

Model	YCW-01	YCW-04M	YCW-010 YCW-010E	YCW-03S	YCW-05
Volume	22 L	11 L	22 L & 11 L	22 L	5 L
Temp setting	Analog	Analog	Digital	Thumb switch	Analog
Temp readout	Thermometer	Thermometer	LED digital	LED digital	Thermometer
Temp preset	N.A.	N.A.	N.A.	25°, 37°, 56°C	N.A.
Max temperature	100°C	100°C	99.9°C	100°C	100°C
Temp stability	±0.2°C	±0.2°C	±0.01°C	±0.05°C	±0.2°C
Temp uniformity	±0.01°C	±0.01°C	±0.01°C	±0.01°C	±0.01°C
Temp control	ON/OFF	ON/OFF	PID	PID	ON/OFF
Timer	N.A.	N.A.	YCW-010 E	N.A.	N.A.
Over-heat shutout	Yes	Yes	2°C to set point	Yes	Yes
Heating element	1.0 KW	1.0KW	1.0KW	1.0KW	0.5 KW

NOTE:

Bath Dimension: **22 L:** 50 x 29.5 x 15.5cm; **11 L:** 30 x 24 x 15cm

Features:

- Providing a desired test through a thermostatic temperature with 5°C above ambient to 100°C, ideal for biological, clinical research, medical, bio-chemical, industry and education laboratory.
- Molded bath with rounded corners and seamless stainless steel sides ensures efficient circulation and easy for cleaning.
- Equipped with immersion heating element sheathed with stainless steel.
- Improve temperature uniformity by rotating water stirrer to direct flow to various areas of the tank.
- Optional concentric rings cover minimizes heat loss when you suspend flasks or other vessels in the bath.
- **YCW-03S** comes with preset point at 25, 37, 56°C. Function temperature recalibration ensuring the best working environment.
- **YCW-010, YCW-010E** comes with built-in microprocessor-based digital controller. Audible & visible alarm is activated and shut out power to 2°C above the set point. Timer starts working when the set temperature has been stabilized. Functions alarm and the display with "END" after the completion of operation cycle.
- Drain valve and perforated tray are optional for extra cost to meet your requirement.
- **YCW-01, YCW-04M** are the most practical and economic models, but with excellent performance. Pilot lamp indicates the heater is energized and stabilized. Comes with mercury thermometer for direct readout.

Optional accessories:

- Stainless steel Gable Lid
- Stainless steel concentric rings with lid
Rings of inner diameter: 107, 80, 55, 31.5, 21mm
(5 openings for 22 Liters and 2 openings for 11 Liters)
- Stainless steel mesh tube rack
13mm x 40 wells (or 20 wells)
18mm x 40 wells (or 20 wells)





**QUIAM PRODUCTOS
& SEVICIOS S.A.S**
NIT: 900.523.650-7



IKA®



BOECO
Germany



HANNA
Instruments



Leica
MICROSYSTEMS



Panreac



ATAGO®



SIGMA-AL
Life Science



Fluka
Analytical

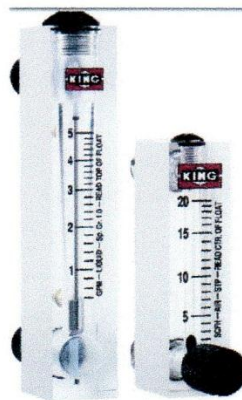


Bucaramanga, 29 DEOCTUBRE DE 2012

Señores:
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA.

COTIZACIÓN 112

Ítem	Cant.	DESCRIPCIÓN			VALOR UNITARIO	VALOR IVA 16%	VALOR TOTAL CON IVA 16%
		NOMBRE	MARK	REF.			
1	1	7530-111, 12GPH, ROTAMETRO AGUA 2", 1/4" NPT, BRONCE VER ESPECIFICACIONES.	king	590.828	463.550	74.168	537.718



CONDICIONES GENERALES
TIEMPO DE ENTREGA
VALIDEZ DE LA OFERTA
FORMA DE PAGO:

EN FRENTE DE CADA PRODUCTO
30 DIAS
30 DIAS

Cordial saludo

EDWIN VARGAS
ASESOR COMERCIAL

Of. Carrera 32C N° 18-30 - Tel. 315-6736428
Bucaramanga -Santander- Colombia

7520 & 7530 Series

Economical machined cast acrylic block construction makes these meters great for OEM use. Optional inlet metering valve available

Description

Metering Tube
Machined Cast Acrylic

Internal Components
316L Stainless Steel

Inlet/Outlet Fittings
NPT, Horizontal
control valve optional

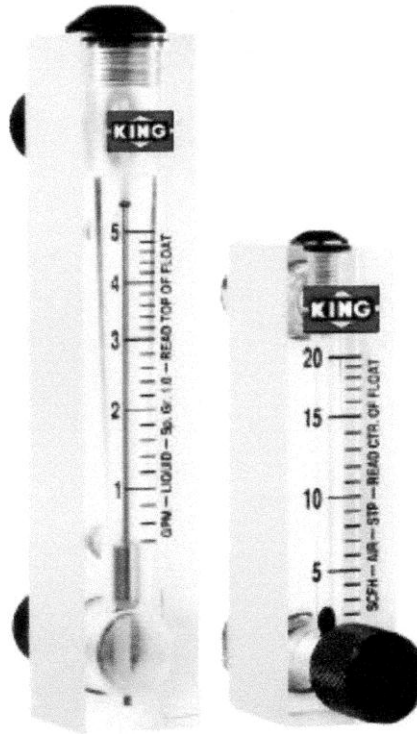
Fitting Material
Standard: PVC (Brass for 2C
block size)
Optional: 316L Stainless Steel
or Brass

Elastomers
Standard: EPDM
Optional: Buna N, Viton, and
Kalrez®

Options

Certified Calibrations
Conform to ISA RP 16.6

Scales
Can be produced in any
volumetric unit



Acrylic Tube

Performance

Capacities
7 GPM to 20 GPM - Water
2.6 SCFH to 60 SCFH - Air

Scale
50mm, 75mm, 100mm, 127mm, 250mm
Direct reading

Accuracy
± 6% of Full Scale Flow, 50 mm scale
± 4% of Full Scale Flow, 75 mm scale
± 4% of Full Scale Flow, 100 mm scale
± 7% of Full Scale Flow, 6C-04, 6C-06
± 3% of Full Scale Flow, 127 mm scale
± 2% of Full Scale Flow, 250 mm scale

Turndown
10:1 to 12.5:1 unless otherwise indicated

Repeatability
3%, 50 mm scale
2%, 75 mm scale
2%, 100 mm scale
4%, 6C-04, 6C-06
2%, 127 mm scale
1/2%, 250 mm scale

Max Temperature
130° F (54° C) - Liquid
100° F (38° C) - Gases

Max Pressure
Water - 125 psig
Air - 100 psig

Ambient Temperature
33° F to 125° F (1° C to 52° C)

Materials Of Construction

Model #	7520	7520	7530	7530
Block #	2C	3C, 6C, 6C & 7C	2C	3C, 6C, 6C & 7C
Meter Tube	Cast Acrylic	Cast Acrylic	Cast Acrylic	Cast Acrylic
Fittings	PVC Brass* 316L SS	PVC* Brass 316L SS	PVC* Brass* 316L SS	PVC* Brass 316L SS
O-Rings	EPDM* Buna-N Viton®	EPDM* Buna-N Viton®	EPDM* Buna-N Viton®	EPDM* Buna-N Viton®
Valve Assembly	Not Available	Not Available	Brass* 316L SS	Brass* 316L SS

*Denotes standard construction

7520 & 7530 Series

Acrylic Tube

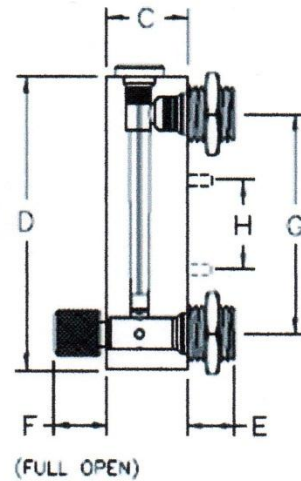
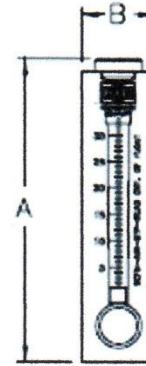
Specifications:

Order Number	Flow Water	Order Number	Flow Air	Dimensions (Inches)						
				A	B	C	D	E	F	G
Block #2C, 50mm (2 Inch) Scale										
—	—	2C-01	2.6 SCFH	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
—	—	2C-03	5 SCFH	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
—	—	2C-05	10 SCFH	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
—	—	2C-07	20 SCFH	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
2C-02	7 GPH	2C-09	30 SCFH	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
2C-04	12 GPH	2C-11	60 SCFH	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
2C-06	22 GPH	2C-13	100 SCFH	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
2C-08	44 GPH	2C-15	180 SCFH	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
2C-10	60 GPH	2C-17	4 SCFM	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
2C-12	75 GPH	—	—	4.125	1	1.25	4	.50	1.125	3
Block #3C, 75mm (3 Inch) Scale										
3C-02	1 GPM	3C-01	4 SCFM	6.812	1.25	1.375	6.625	1	1.25	5
3C-04	2 GPM	3C-03	8 SCFM	6.812	1.25	1.375	6.625	1	1.25	5
3C-06	3.5 GPM	3C-05	18 SCFM	6.812	1.25	1.375	6.625	1	1.25	5
3C-08	5 GPM	3C-07	23 SCFM	6.812	1.25	1.375	6.625	1	1.25	5
Block #5C, 127mm (5 Inch) Scale										
5C-10	10 GPH	5C-11	42 SCFH	8.375	1.25	1.375	8.25	1	1.25	6.437
5C-12	20 GPH	5C-13	100 SCFH	8.375	1.25	1.375	8.25	1	1.25	6.437
5C-14	40 GPH	5C-15	175 SCFH	8.375	1.25	1.375	8.25	1	1.25	6.437
5C-02	1 GPM	5C-01	4 SCFM	8.375	1.25	1.375	8.25	1	1.25	6.437
5C-04	100 GPH	5C-03	6.8 SCFM	8.375	1.25	1.375	8.25	1	1.25	6.437
5C-06	2 GPM	5C-05	8.2 SCFM	8.375	1.25	1.375	8.25	1	1.25	6.437
5C-08	5 GPM	5C-07	22 SCFM	8.375	1.25	1.375	8.25	1	1.25	6.437
Block #6C, 160mm (4 Inch) Scale										
6C-02	10 GPM	6C-01	40 SCFM	9.125	1.75	1.812	8.875	1.25	1.875	6.50
6C-04	15 GPM	6C-03	60 SCFM	9.125	1.75	1.812	8.875	1.25	1.875	6.50
6C-06	20 GPM	—	—	9.125	1.75	1.812	8.875	1.25	1.875	6.50
Block #7C, 250mm (10 Inch) Scale										
7C-02	2 GPM	7C-01	8 SCFM	14.50	1.75	1.812	14.25	.75	1.875	12.25
7C-04	3.5 GPM	7C-03	14.4 SCFM	14.50	1.75	1.812	14.25	.75	1.875	12.25
7C-06	5 GPM	7C-05	20 SCFM	14.50	1.75	1.812	14.25	.75	1.875	12.25
7C-08	10 GPM	7C-07	42 SCFM	14.50	1.75	1.812	14.25	.75	1.875	12.25

Connections & Mounting

Block Number	Connection Size	Centerline H	Thread J	Diameter L
2C	1/4" FNPT	—	—	0.625
3C	1/2" MNPT x 1/4" FNPT	3	.25 - 20	1
5C	1/2" MNPT x 1/4" FNPT	3.937	.25 - 20	1
6C	1" MNPT	4	.25 - 20	1.375
7C	1/2" FNPT	8.75	.375 - 24	1.25

Block 2C is supplied with .875" hex mounting nuts on plumbing connections. Blocks 3C, 5C, 6C and 7C have mounting studs depicted in dimension "H" and thread "J".



(FULL OPEN)

Ordering:

Use the following guide to determine the specific product number you require.

7	5								
Master Series	Fitting Material	O-Ring Material	Valve Material	Order Number					
7520 No valve	Brass - 1	EPDM - 1	Brass - 1	See Specifications Table					
7530 With valve	PVC - 2	Buna-N - 2	316L SS - 2						
	316L SS - 3	Viton® - 3	Without Valve - 0						

Example: 7520 - 1 - 1 - 0 - 5C06

ANEXO D. COTIZACIÓN PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN DE INAL INDUSTRIAS ACUÑA LTDA

Bucaramanga, OCTUBRE 16 DE 2012

Señores

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



Ref. Cotización No. M 1279-2

PRESENTAMOS NUESTRA OFERTA PARA LA FABRICACIÓN DE:

- UNA TORRE DE ABSORCIÓN EN VIDRIO TRATADO TERMICAMENTE CON TUBING DE ¼ OD Y BRIDAS DE AJUSTE EN ACERO INOXIDABLE
- DOS RECIPIENTES EN ACERO INOXIDABLE PARA RECOLECCION
- 4 VALVULAS TIPO ON -OFF Y ACCESORIOS EN BRONCE

SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS SUMINISTRADAS

VALOR TOTAL \$ 850,000

PLAZO DE EJECUCIÓN: 10 DÍAS

Condiciones Comerciales:

Valor más el 16% de IVA.

Moneda: Pesos colombianos

Cordialmente,

ÁNGEL C. ACUÑA LLANÉS
Gerente

Calle 22 N° 11-61 Teléfonos (7) 6718898* fax: (7) 6715237 Bucaramanga-Colombia



Diseño, desarrollo, fabricación y mantenimiento de máquinas industriales tales como: prensas, troques de almacenamiento, molinos, transportadores, intercambiadores de calor y sus componentes para la industria en general. Diseño, desarrollo y fabricación de plantas piloto semi-industriales para el sector de hidrocarburos. Mecanizado de probetas estandarizadas, capones para ensayos de laboratorio y piezas en general.



Bucaramanga, OCTUBRE 16 DE 2012

Señores

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



Ref. Cotización No. M 1279

PRESENTAMOS NUESTRA OFERTA PARA LA FABRICACIÓN DE:

- UNA TORRE DE ADSORCION EN VIDRIO TRATADO TERMICAMENTE CON TUBING DE ¼ OD Y BRIDAS DE AJUSTE EN ACERO INOXIDABLE
- DOS RECIPIENTES EN ACERO INOXIDABLE PARA RECOLECCION
- 4 VALVULAS TIPO ON -OFF Y ACCESORIOS EN ACERO INOXIDABLE

SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS SUMINISTRADAS

VALOR TOTAL \$ 1'250,000

PLAZO DE EJECUCIÓN: 10 DÍAS

Condiciones Comerciales:

Valor más el 16% de IVA.

Moneda: Pesos colombianos

Cordialmente,

ANGEL C. ACUÑA LLANES
Gerente

Calle 22 N° 11-61 Teléfonos (7) 6718898* fax: (7) 6715237 Bucaramanga-Colombia



Diseño, desarrollo, fabricación y mantenimiento de máquinas industriales tales como: prensas, tanques de almacenamiento, autoclaves, transportadores, intercambiadores de calor y sus componentes para la industria en general. Diseño, desarrollo y fabricación de plantas piloto semi-industriales para el sector de hidrocarburos. Mecanización de probetas estandarizadas, cupones para ensayos de laboratorio y piezas en general.

