

México, D.F. a 15 de junio de 2015.

03/15

DICTAMEN QUE PRESENTA LA COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN Y DISEÑO

ANTECEDENTES

- I. El Consejo Divisional en su sesión 11.14 celebrada el 10 de junio de 2014, mediante el acuerdo DCCD.CD.03.11.14, integró la Comisión de Investigación como sigue:
 - Jefe del Departamento de Ciencias de la Comunicación
Dr. Gustavo Rojas Bravo
 - Jefe del Departamento de Teoría y Procesos del Diseño
Mtro. Octavio Mercado González
 - Jefe del Departamento de Tecnologías de la Información
Dr. Alfredo Piero Mateos Papis
 - Representante Titular del Personal Académico, Depto. de Ciencias de la Comunicación
Mtro. Jorge Javier Eduardo Suárez Coellar
 - Representante Titular del Personal Académico, Depto. de Tecnologías de la Información
Dr. Luis Eduardo Leyva Del Foyo
 - Representante Titular del Personal Académico, Depto. de Ciencias de la Comunicación
Mtra. Lorena Guerrero Morán
- II. Mediante oficio recibido con fecha 9 de junio de 2015 por la Dirección de Ciencias de la Comunicación y Diseño, le fue turnado para su análisis y discusión el proyecto denominado "**Desarrollo de modelos semi-empíricos para el diseño de intercambiadores compactos auto-limpiadores**" del **Dr. Christopher Heard Wade**, con el juicio académico del Comité Evaluador respectivo a la Convocatoria 2014 del Programa de Investigación Interdisciplinaria para someter proyectos de investigación que contribuyan al logro de la Visión 2024 de la Unidad.
- III. La Comisión de Investigación sesionó el día 15 de junio de 2015, fecha en la que concluyó su trabajo de análisis y evaluación de la propuesta.
- IV. Se analizaron los siguientes elementos:

RELEVANCIA PARA LA DIVISIÓN
CONGRUENCIA GLOBAL
METAS-RECURSOS
EVALUACIÓN GENERAL

Con base en los antecedentes y consideraciones anteriores, la Comisión de Investigación emite el siguiente:

DICTAMEN

ÚNICO: Se recomienda al Consejo Divisional de Ciencias de la Comunicación y Diseño, aprobar la propuesta de proyecto denominado "**Desarrollo de modelos semi-empíricos para el diseño de intercambiadores compactos auto-limpiadores**" del Dr. Christopher Heard Wade.

Atentamente,

La Comisión:

Dr. Gustavo Rojas Bravo
Jefe del Depto. de Ciencias de la Comunicación

Mtro. Octavio Mercado González
Jefe del Depto. de Teoría y Procesos
del Diseño

Dr. Alfredo Piero Mateos Papis
Jefe del Depto. de Tecnologías de la
Información

Mtro. Jorge Suárez Coellar
Representante Titular del Personal
Académico de Ciencias de la
Comunicación

Dr. Luis E. Leyva Del Foyo
Representante Titular del Personal
Académico de Tecnologías de la
Información

Mtra. Lorena Guerrero Morán
Representante Titular del Personal
Académico de Teoría y Procesos
del Diseño

*Comunidad académica comprometida
con el desarrollo humano de la sociedad*

RC.425.2015

México, D. F. a 5 de junio de 2015

DR. JOSÉ JAVIER VALENCIA LÓPEZ
División de Ciencias Naturales e Ingeniería
P r e s e n t e

DR. CHRISTOPHER HEARD WADE
División de Ciencias de la Comunicación y
Diseño
P r e s e n t e

Estimados Profesores:

Me permito agradecer su participación en la Convocatoria 2014 del Programa de Investigación Interdisciplinaria para someter proyectos de investigación que contribuyan al logro de la Visión 2024 de la Unidad. Al concluir el plazo se recibieron nueve propuestas, y como se estipulaba en los mecanismos de evaluación de la Convocatoria, se integró un Comité Evaluador procurando un equilibrio disciplinario.

El Comité acordó que cada proyecto fuese revisado por al menos dos integrantes del mismo y que, en caso necesario, se buscara la asesoría de otros evaluadores para cumplir con la tarea a cabalidad.

Considerando el contenido, oportunidad, viabilidad, trascendencia y carácter interdisciplinario de las propuestas, así como su congruencia con los objetivos de la Convocatoria, el Comité Evaluador recomendó la realización del proyecto "Desarrollo de modelos semi-empíricos para el diseño de intercambiadores compactos auto limpiadores".

Les agradeceré ponerse en contacto a la brevedad posible, con los Secretarios Académicos correspondientes, para programar la presentación y aprobación en su caso, del proyecto de investigación en la parte que corresponda ante los Consejos Divisionales a fin de que, en caso de aprobación, se proceda con la asignación de recursos.

Reciban una cordial felicitación por la evaluación positiva que recibió su propuesta y les reitero el apoyo incondicional de la Rectoría de Unidad para coadyuvar al cumplimiento de los objetivos, metas y entregables, considerados en el documento del proyecto.

A t e n t a m e n t e
Casa abierta al tiempo

DR. EDUARDO PEÑALOSA CASTRO
R e c t o r

c.c.p.: *Dra. Esperanza García López, Directora de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño*
Dr. Hiram Isaac Beltrán Conde, Director de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería

Propuesta en la modalidad de Desarrollo de Proyectos de Investigación

Titulo del proyecto:

Desarrollo de modelos semi-empíricos para el diseño de intercambiadores compactos auto-limpiadores.

Contexto de la propuesta

Eje: Desarrollo sustentable.

Áreas de oportunidad: Abastecimiento y calidad del agua; Desarrollo empresarial; Innovación, Ciencia, Tecnología y Sector Productivo.

Eje: Habitabilidad y Servicios, Espacio Público e Infraestructura.

Área de oportunidad: Infraestructura Hidráulica.

En el Distrito Federal se aplica una Ley de Aguas¹ donde el artículo 86 bis 1 dice:

“Las nuevas construcciones o edificaciones deberán contar con redes separadas de agua potable, de agua residual tratada y cosecha de agua de lluvia, debiéndose utilizar esta última en todos aquellos usos que no requieran agua potable; así mismo, deberán contar con la instalación de sistemas alternativos de uso de agua pluvial.

Las edificaciones existentes que modifiquen sus instalaciones hidráulicas para la reducción en el consumo de agua potable e incrementen la reutilización y tratamiento de la misma obtendrán la certificación de edificación sustentable y tendrán derecho a reducciones fiscales que establezca el Código Financiero del Distrito Federal.”

En adición aplica la NADF-022-AGUA-2011² a los grandes consumidores de agua (más de seis mil metros cúbicos por año).

Estos dos medidas propicia el uso de sistemas de tratamiento de aguas en los desarrollos de inmuebles in la Ciudad de México.

Aunado a esto se encuentra una política de desarrollo urbano de fomentar la densificación en zonas consideradas aptas³.

Las aguas residuales son parte del impacto ambiental del uso de los edificios y viviendas, sin embargo existe la obligación de tratar las mismas y la oportunidad de aprovecharlas

para la producción de bio-gas.

En los desarrollos de edificios en zonas de densificación de la Ciudad de México el espacio para sistemas de servicios, por ejemplo de tratamiento de aguas residuales, tiene in costo de oportunidad alto. Es decir que el espacio dedicado a estos sistemas no se puede ocupar para rentarlo o en el caso de dueños ocupantes: no es espacio productivo. Por lo tanto existe una necesidad de todo tipo de sistemas de servicios (Aire acondicionado, agua potable, cableados diversos, escaleras, elevadores y sistemas de tratamiento de aguas residuales etc.) de ocupar lo menos posible de espacio. En el caso de sistemas de tratamiento de aguas residuales el espacio necesario es mayormente en función de la velocidad de las reacciones de digestión microbiana.

Una opción para lograr un sistema más compacto es la de emplear termófilos anaerobios, que por vivir a una temperatura mayor tienen una capacidad de procesamiento de mayor velocidad. Los termófilos son organismos cuyo temperatura óptima para vivir excede los 45°C en comparación con los organismos mesófilos usualmente empleados a temperatura ambiental. Los organismos anaerobios necesitan un ambiente sin oxígeno libre y en el caso de las que se aplican en el procesamiento de aguas residuales, tienen la característica de producir metano. Además de una alta velocidad de procesamiento de aguas residuales incluyendo los sólidos asociados, se obtiene un producto libre de patógenos y un subproducto de bio-gas mediante un proceso robusto⁴. A escala municipal se ha demostrado que el proceso es eficiente y confiable⁵. En sistemas grandes se puede diseñarlos de tal manera que sean auto-térmicos: la actividad metabólica de los microbios es suficiente para proveer del calor necesario para mantener la temperatura. Sin embargo sistemas más pequeñas y sistemas que utilizan un paso de pre-tratamiento térmico hasta 70°C, requieren calentamiento externo y un control activo de la temperatura. En la Ciudad de México el rango de temperaturas ambientales diurno es grande (a veces hasta 20K) aumentando la necesidad de control activo de la temperatura de operación de los digestores. El pre-tratamiento térmico es ventajoso al aumentar la velocidad de digestión y la producción de metano^{4,6}.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en termófilos anaerobios y pre-tratamiento térmico utilizan una parte del bio-gas producido para satisfacer las necesidades de calor del proceso. Para esto, se requiere el uso de sistemas de intercambio de calor usualmente con un circuito de agua caliente e intercambiadores de calor. Existen varias tecnologías de intercambio de calor empleados en calentar aguas residuales pero los dos más comunes son los intercambiadores de placas en espiral y los intercambiadores de placa y marco. Ambos son diseños que es relativamente fácil desarmar para limpiarlos. Esto refleja la necesidad de mantenimiento programado, concienzudo y frecuente.

Intercambiadores de calor de espiral

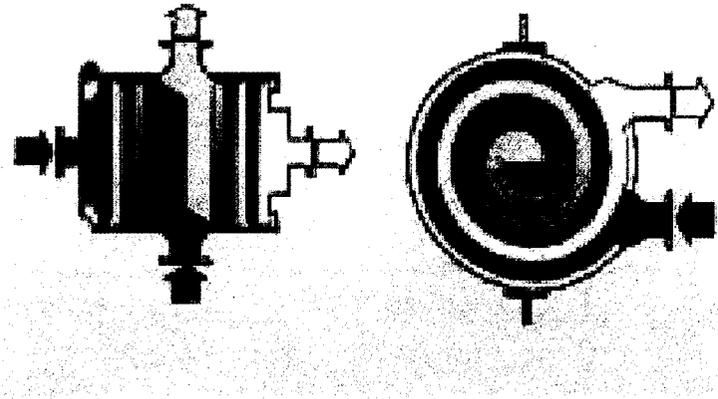


Figura 1. Intercambiador de calor de placas en espiral.

Fuente: Canzler spiral heat exchangers.

Es necesario ser cuidadoso en su selección para asegurar que la tapa removible y sus soportes son suficientemente robustos para resistir la abertura y cerrada periódica para efectuar la limpieza interna.

Intercambiadores de calor de placa y marco



Figura 2. Intercambiador de calor de placas y marco.
Fuente: Propio.

Los intercambiadores de calor de placa y marco son de muy altos coeficientes de transferencia de calor y por lo tanto muy eficientes aún cuando los fluidos tienen altos contenidos de sólidos. Son muy compactos y se puede tener muy buen acceso a todas las superficies internas para su limpieza. Sin embargo no son robustos. Es necesario, especialmente en el arranque de sistemas asegurar que no existen diferencias de presión excesivas entre el medio de calentamiento y el fluido a calentar, de otra forma las placas flexionan y los sellos hechos de elastómeros pueden supurar. En el caso de aguas residuales en un edificios la supuración dará un resultado maloliente sin considerar las consecuencias higiénicas. En el momento de realizar el desensamble y la limpieza es necesario tomar en cuenta que las placas son muy delgadas y los empaques son delicados. Es necesario que las personas llevando a cabo la limpieza tengan una capacitación adecuada y que trabajan de manera cuidadosa para evitar necesidad de reemplazo de empaques o daño a las placas.

Intercambiadores de calor de tubos concéntricos

En algunas instalaciones se utilizan intercambiadores de calor de tubos concéntricos. Son robustos y se puede limpiar el tubo central fácilmente. Sin embargo, no son compactos.

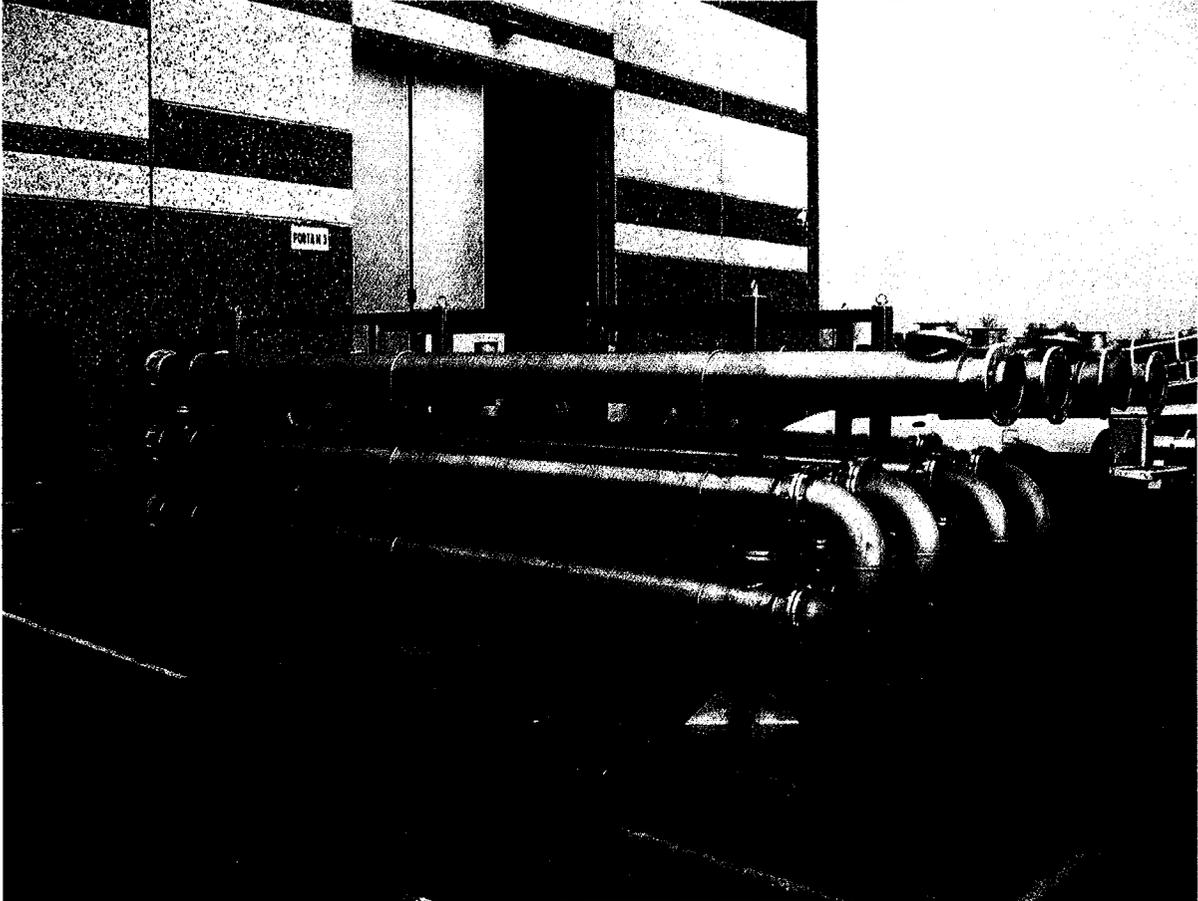


Figura 3. Intercambiador de calor de tubos concéntricos.

Fuente: http://www.progecosrl.com/progeco_digestersancillaryequipment_heatexchangers.php



Figura 4. Intercambiador de calor de lecho fluidizado líquido/sólido.
Fuente: KLAREX Self Cleaning Heat Exchangers, Koppe van der Meer, Bronswerk Heat Transfer.

Existe una opción de intercambiador de calor que se auto-limpia o más bien se mantiene limpio bajo condiciones donde los otros tipos de intercambiadores se ensucian rápidamente: los sistemas que emplean lechos fluidizados líquido/sólido. Desde la década de los 80s del siglo XX se comercializan intercambiadores de calor con lechos fluidizados dentro de sus tubos verticales. Se han aplicado para servicios con una propensión muy alta de ensuciamiento, por ejemplo: salmuera geotérmica (Sobresaturado en silicio y carbonatos) y agua de mar como medio de enfriamiento. No obstante los coeficientes de transferencia de calor muy altos, la hidrodinámica del lecho obliga diseños muy altos y delgados. Para reducir la altura es necesario aumentar las velocidades del líquido fluidizante hasta llegar a velocidades de transporte y tener un sistema de recirculación de partículas y el líquido asociado. La recirculación perjudica la eficiencia termodinámica del intercambio de calor porque afecta la temperatura de la entrada del fluido. Estos sistemas son confiables y de bajo mantenimiento pero no son compactos.

Yakubov et al⁷ demostraron que los lechos fluidizados líquidos/sólidos inclinados pueden

permitir velocidades de flujo casi del doble de los lechos verticales. Sin embargo no se encuentran estudios del intercambio de calor en lechos fluidizados inclinados en la literatura científica. En el estudio de Yakubov et al utilizaron dos tubos de vidrio de 2.58 y 2.78 cm de diámetro interno y partículas de silica gel de 1.5, 2.5 y 3.2 mm de diámetro.

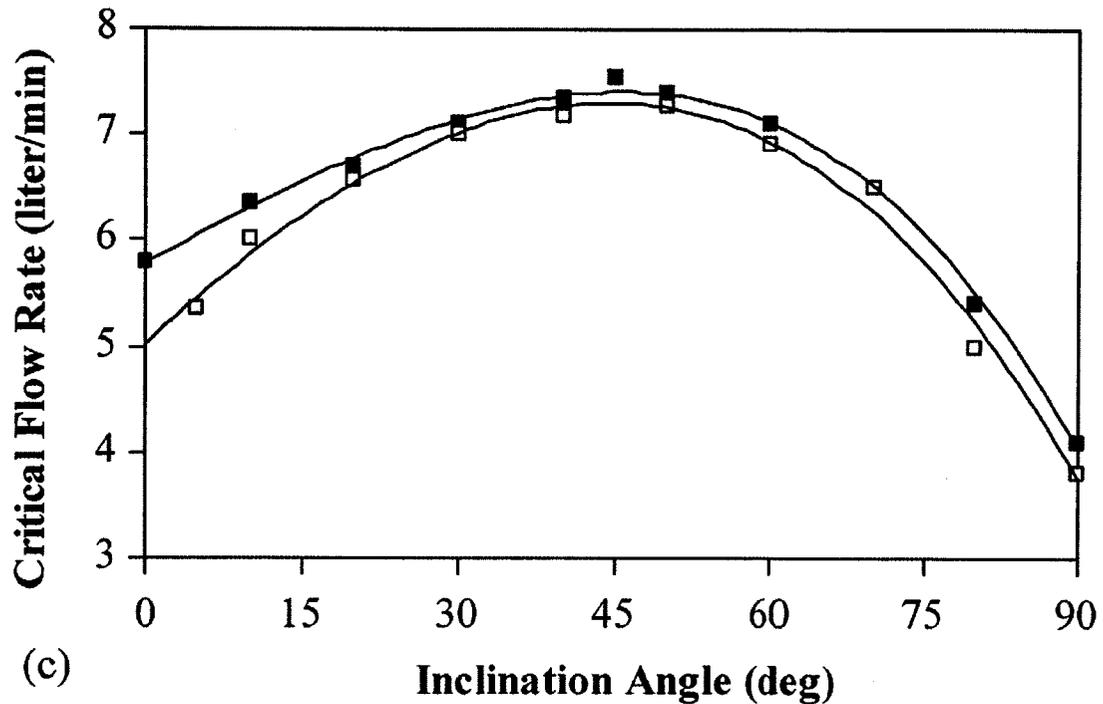
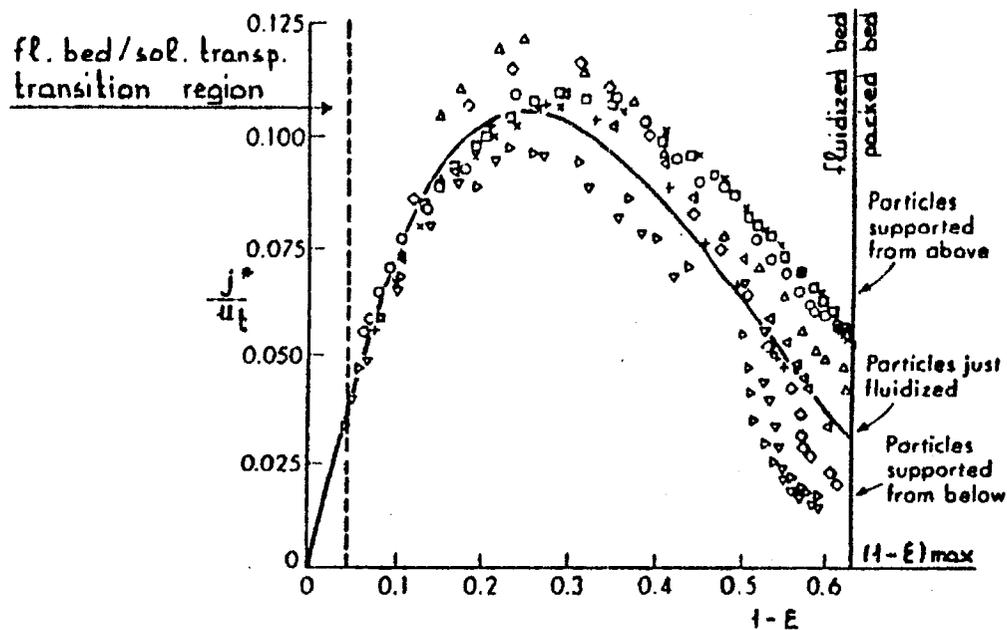


Figura 5.
Fuente:

Inclinación del tubo del lecho vs flujo máximo sin arrastre de partículas
Bachtiyar Yakubov, Josef Tanny, David Moalem Marona, Neima Brauner, The dynamics and structure of a liquid–solid fluidized bed in inclined pipes, Chemical Engineering Journal 128 (2007) 105–114.



Material	Diameter	Material	Diameter
× Socony beads	0.129"	▽ Sea sand	0.0147"
□ Socony beads	0.174"	▷ Sea sand	0.0219"
○ Glass beads	5mm	◀ Sea sand	0.0393"
◇ Glass beads	0.0201"	+ Crushed rock	0.0557"
▲ Lead shot	0.0505"		

Figura 6. Relación entre $(\text{porosidad}-1)$ [concentración de partículas] y el coeficiente de transferencia de calor.

Fuente: C. Dispenza, H. Fernández, C. L. Heard, S. Mercado, L. Pignato, J. Siqueiros, "An improved correlation to predict the heat transfer convective coefficient between a liquid fluidized bed and a heat transfer surface", Tercer Congreso Nazionale sul Trasporto del Calore, Palermo, Italia, Junio 6-8, 1985.

En numerosos estudios de intercambio de calor en lechos fluidizados con líquido se encuentran que independientemente de la geometría del sistema el punto máximo de intercambio de calor coincide con una porosidad del lecho alrededor de 0.7^{8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22} (fracción volumétrica del lecho ocupado por la fase continua - el agua en el caso bajo consideración). Desafortunadamente Yakubov et al no reportan valores de porosidad sino la relación entre la altura del lecho en reposo y el fluidizado. Las fotografías mostrados en el artículo muestran que las partículas empleadas son aproximadamente esféricas y un lecho de partículas esféricas en reposo tiene una porosidad de aproximadamente 0.4 dependiendo de como se formó (agitado o no, vertido en seco o en el agua etc.). Midiendo los valores presentados en la figura 8a de Yakubov et al y suponiendo una porosidad en reposo de 0.4 se obtiene la figura 7. Se puede apreciar que el estudio no logró obtener una porosidad superior al 55% pero no se sabe si esto es porque es difícil obtener con un lecho inclinado o errores de interpretación de sus datos gráficos por parte de los autores de la presente propuesta. Sin embargo existen claras evidencias que en un flujo inclinado alrededor de 45° se puede obtener

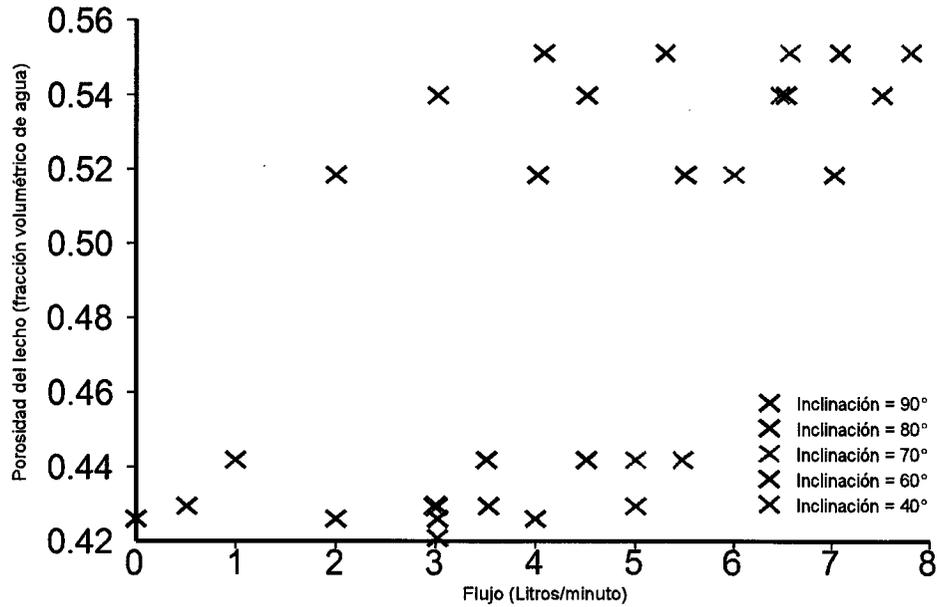


Figura 7. Porosidad del lecho en función del flujo de agua: datos de Yakubov et al.

velocidades superficiales casi del doble de los de un lecho vertical en la región de interés para intercambiadores de calor.

Hashizume et al²² han propuesto que se puede dividir los efectos sobre la transferencia de calor en sistemas de lechos fluidizados líquido/sólido entre lo determinado por configuraciones del camino del fluido, superficies de transferencia de calor, tipos de partículas, el líquido fluidizante y lo determinado por la porosidad.

$$Nu_p = 1.05 Re_t^{0.44} Pr^{1/3} Ga^{1/6} [(1 - \epsilon)^{0.56} \epsilon^{0.44n}] \left(\frac{D_c}{l_c} \right)^{-1/4}$$

- (1) Correlación para coeficiente de transferencia de calor en un haz de tubos horizontales en un lecho fluidizado líquido/sólido [Hashizume 2006]

$$Nu_p = 0.075 Re_t^{0.60} Pr^{1/3} Ga^{1/6} [(1 - \epsilon)^{0.40} \epsilon^{0.60n}]$$

- (2) Correlación para coeficiente de transferencia de calor en un haz de tubos verticales en un lecho fluidizado líquido/sólido [Hashizume 2006]

$$Nu_{p,max} = F_s \cdot F_{s,max}$$

- (3) Coeficiente de transferencia de calor máximo.

$$Nu_{p,\max}^* = \frac{Nu_{p,\max}}{Pr^{1/3} Ga^{1/6}} = F_s^* \cdot F_{s,\max}$$

(4) Coeficiente de transferencia de calor máximo reorganizado.

$$F_s^* = 0.075 Re_t^{0.60} \text{ para haz de tubos verticales}$$

$$y$$

$$F_{s,\max} = 0.382 \text{ para } \varepsilon = 0.78 \text{ para haz de tubos verticales}$$

$$F_s^* = 0.26 Re_t^{0.44} \text{ para un solo tubo vertical}$$

$$F_s^* = 0.035 Re_t^{0.44} \left(\frac{D_c}{l_c} \right)^{1/4} \text{ para fluidización dentro de tubos}$$

$$F_s^* = 1.05 Re_t^{0.44} \left(\frac{D_c}{l_c} \right)^{1/4} \text{ para haz de tubos horizontales}$$

$$y$$

$$F_{s,\max} = 0.353 \text{ para } \varepsilon = 0.65 \text{ para todos los demás}$$

(5) Coeficiente de transferencia de calor máximo según Hashizume et al 2009.

Por lo tanto es factible diseñar un intercambiador de calor de lecho fluidizado líquido/sólido con patrones de flujo inclinados para lograr un equipo: compacto, eficiente, que mantiene las superficies de intercambio de calor limpias cuando se usan fluidos sucios, es robusto (basado en la geometría de tubos y carcasa), que no requiere sistemas externos de reciclado de partículas y es de bajo mantenimiento.

Se necesita realizar estudios experimentales y modelado de dinámica de fluidos computacionales para permitir establecer modelos empíricos que permitirán el diseño bajo una gran gama de geometrías. La combinación de simulación numérica con experimentación física permite experimentación virtual para investigar una gran variedad de posibles geometrías²³.

Objetivo general y objetivos particulares del proyecto

Objetivo general

Proveer el conocimiento necesario para el diseño confiable de intercambiadores de calor, compactos, de auto-limpieza y bajo mantenimiento para sistemas de tratamiento de aguas residuales termófilos anaerobios.

Objetivos particulares

Desarrollar correlaciones para calcular coeficientes de transferencia de calor, comportamiento hidrodinámico y caídas de presión de sistemas de intercambio de calor con lechos fluidizados líquido/sólidos de flujo inclinado.

Desarrollar modelos basados en dinámica de fluidos computacional y comprobar resultados con datos experimentales para simular el comportamiento de lechos fluidizados líquido/sólidos de flujo inclinado.

Obtener los datos experimentales necesarios para comprobar y/o calibrar modelos basados en dinámica de fluidos computacional para simular el comportamiento de lechos fluidizados líquido/sólidos de flujo inclinado.

Patentar por lo menos una tecnología de intercambiador de calor basado en el principio de lechos fluidizados con flujo inclinado.

Principales metodologías, técnicas e instrumentos para el desarrollo colaborativo del proyecto y su alcance interdisciplinario.

El proyecto propuesto se deriva de un proyecto de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño realizado con fondos del PROMEP: “Desarrollo de intercambiadores de calor compactos para enfriamiento de gas refrigerante a alta presión con agua de mar”.

Actualmente se continua el estudio como proyecto de tesis doctoral del programa de posgrado de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería con el protocolo: “Desarrollo de intercambiadores de calor compactos con lecho fluidizado solido-líquido para autolimpieza para el lado de la coraza (Carcaza)”. El comité de tutores estará integrado por profesores de las divisiones de Ciencias Naturales e Ingeniería y Ciencias de la Comunicación y Diseño y un profesor del Centro de Ingeniería Avanzada de la UNAM.

Del departamento de Teoría y Procesos de Diseño se aportará el equipo experimental e instrumentación existente del proyecto doctoral (Sistema de circulación de agua fluidizante de velocidad controlado mediante variador de frecuencia, medición de temperaturas, flujos de calor, flujos de agua y diferencias presión mediante un sistema de adquisición de datos, dos intercambiadores de calor experimentales y enseres menores e impresora 3D para fabricación de piezas experimentales), realización de la experimentación en instalaciones de una empresa que se dedica a fabricación de intercambiadores de calor (Cuenta con acuerdo de confidencialidad y colaboración con el Departamento de Teoría y Procesos de Diseño) con su apoyo para trabajos de taller mecánico y supervisión del tesista.

Del departamento de Procesos y Tecnología se aportará el desarrollo de los modelos de dinámica de fluidos de lechos fluidizados líquido/sólido.

En conjunto se realizarán actividades de análisis de resultados experimentales, desarrollo de modelos semi-empíricos, producción de artículos para publicación en revistas internacionales, indexadas con arbitraje, supervisión tutorial del alumno del posgrado de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería.

La cercanía física dentro de un solo edificio de los profesores/investigadores participantes facilitará la comunicación estrecha día a día. Para formalizar las actividades colaborativas se aprovecharán las sesiones de reportes de avance del alumno doctoral y los demás alumnos de maestría y licenciatura que eventualmente pueden participar en el proyecto. Además de dichos eventos se realizarán juntas bimensuales y visitas al lugar de la experimentación para complementar las reuniones de reportes de avance de alumnos.

Proyectos previamente aprobados por consejos divisionales

División de Ciencias de la Comunicación y Diseño

“Desarrollo de intercambiadores de calor compactos para enfriamiento de gas refrigerante a alta presión con agua de mar”

Aprobado: 2010

Estado: Informe final entregado y bajo revisión del consejo divisional.

Personal académica y Cuerpos Académicos participantes

Dr. José Javier Valencia López del Cuerpo Académico: Ingeniería de Sistemas de Bioprocesos: Modelado y Simulación (En consolidación)
y las líneas de:

- Modelado y Simulación de Bioprocesos
- Desarrollo de Herramientas Computacionales para el Modelado y Simulación.

Dr. Christopher Heard del Cuerpo Académico: Diseño y Medio Ambiente (Consolidado)
y línea de:

- Espacio y energía

El Dr. José Javier Valencia López tiene amplia experiencia en el modelado de fenómenos de transporte de fluidos y transferencia de calor con dinámica de fluidos computacional.

El Dr. Christopher Heard cuenta con amplia experiencia en proyectos de investigación experimental en transferencia de calor y de sistemas de bombas de calor por absorción. Tiene publicaciones relacionados con medición de transferencia de calor tanto en edificios como en sistemas de intercambio de calor en lechos fluidizados líquido/sólidos, desarrollo de instrumentación para medición de flujo de calor y la termodinámica de bombas de calor por absorción, eficiencia energética utilizando métodos de segunda ley de termodinámica y eficiencia térmica en procesos de refinación del petróleo y el uso de fuentes de energía geotérmicas de baja entalpía.

Responsable de proyecto:
Dr. Christopher Heard

Participación de estudiantes de posgrado

Estudiante del programa de posgrado de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería,
Doctorado: Óscar García Aranda [Matricula: 2143807623]

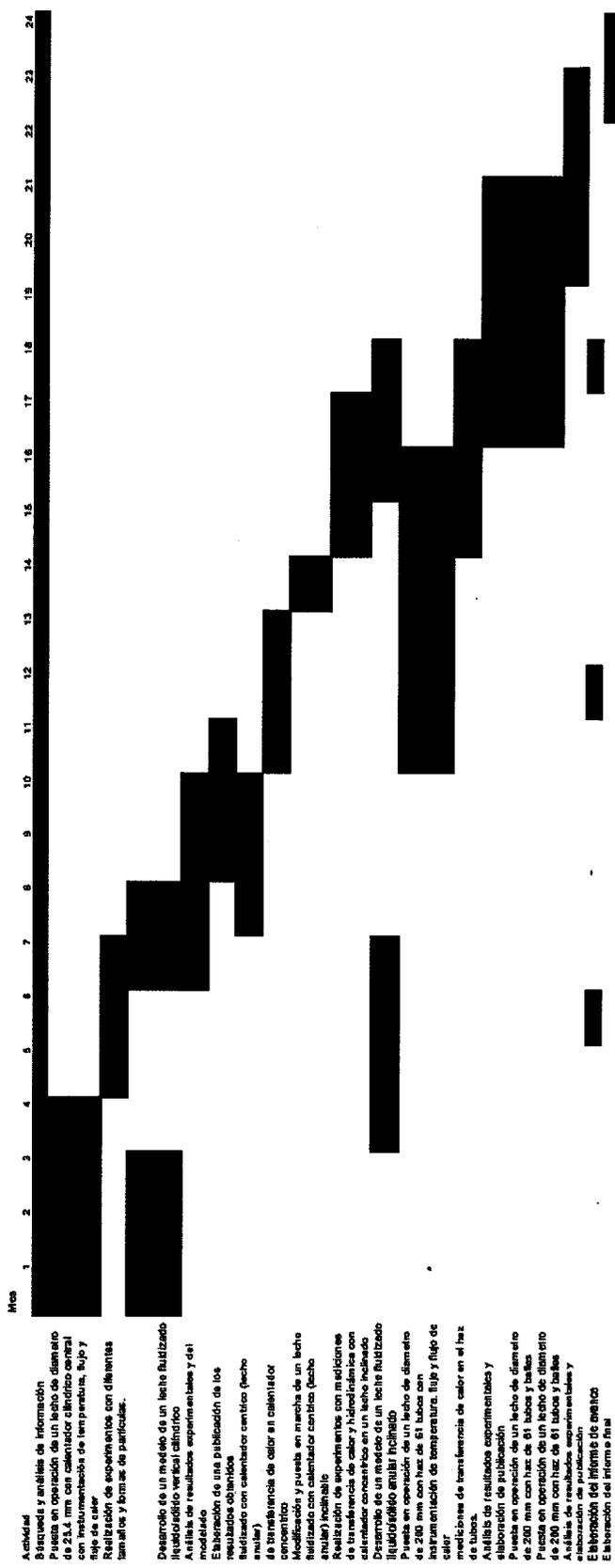
Proyecto de tesis: Desarrollo de intercambiadores de calor compactos con lecho fluidizado líquido-sólido para autolimpieza para el lado de la coraza (carcaza)

Su contribución se muestra en su protocolo anexo.

Estudiante del programa de posgrado de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería,
Maestría: Fernando Alberto López Maton [Matricula: 2143807749]
Licenciatura de Ingeniería Biológica: Daniel Camacho Ibarra [Matricula: 2113068298]

Los estudiantes de maestría y licenciatura participarán en el desarrollo del modelado por dinámica de flúidos computacional.

Cronograma



Actividad: Búsqueda y análisis de información
 Puesta en operación de un lecho de diámetro de 21.4 mm con calentador cilíndrico central con instrumentación de temperatura, flujo y flujo de calor
 Realización de experimentos con diferentes tamaños y formas de partículas.

Desarrollo de un modelo de un lecho fluidizado
 líquido (diámetro vertical cilíndrico)
 Análisis de resultados experimentales y del modelado
 Elaboración de una publicación de los resultados obtenidos
 Realizado con calentador cónico (lecho anular)
 Medición de la transferencia de calor en el calentador cónico
 Modificación y puesta en marcha de un lecho fluidizado con calentador cónico (lecho anular) inclinable
 Realización de experimentos con mediciones de la transferencia de calor y hidrodinámicas con calentador cónico en un lecho inclinado
 Desarrollo de un modelo de un lecho fluidizado
 Puesta en operación de un lecho de diámetro de 200 mm con haz de 61 tubos
 Instrumentación de temperatura, flujo y flujo de calor
 Mediciones de transferencia de calor en el haz de tubos.
 Análisis de resultados experimentales y elaboración de publicación
 Puesta en operación de un lecho de diámetro de 200 mm con haz de 61 tubos y hazes de 200 mm con haz de 61 tubos inclinables
 Análisis de resultados experimentales y elaboración de publicación
 Elaboración del informe de avance
 Elaboración del informe final

Presupuesto

Presupuesto		Justificación
Licencia académica de ANSYS Fluent (Paquete de simulación basado en Dinámica de Fluidos Computacional)	\$70,250.00	El paquete de software es necesario para desarrollo de los modelos de dinámica de fluidos computacionales. Para permitir modelos detallados de los intercambiadores de calor con haz de tubos se requiere un sistema con alta capacidad de memoria y procesadores.
Estación de trabajo, disco duro externo de respaldo, monitor de alta resolución	\$130,000.00	Permitirá el trabajo simultaneo en la instalación de tubo pequeño y el intercambiador de haz de tubos
Motobomba trifásico de 1.5 caballos	\$7,250.00	Permitirá el trabajo simultaneo en la instalación de tubo pequeño y el intercambiador de haz de tubos
Variador de velocidad	\$30,000.00	Se requiere para la fabricación de baffles y otras piezas del equipo experimental
Consumibles y refacciones impresora 3D de filamento de ABS	\$15,000.00	Se complementarán los rangos de flujo de los medidores existentes para permitir medir en una gama de condiciones más amplia
Medidores de flujo de área variable	\$15,500.00	Se ampliarán la capacidad de medición en diferentes partes de los intercambiadores de calor
Medidores de flujo de calor	\$32,000.00	Son materiales para permitir los cambios para los diferentes experimentos y el mantenimiento menor cotidiano de los equipos experimentales
Tubería, accesorios de tubería, tuercas, tornillos, cinta teflón, pegamento pvc, encerres menores para la instalación experimental	\$30,000.00	Para la reproducción de informes, manuscritos etc. se requiere insumos para impresoras, empastar informes etc.
Encerres para elaboración de informes, artículos etc.	\$10,000.00	Para asegurar la mejor difusión posible de los resultados mientras cumpliendo con los requisitos de los sistemas de evaluación del SNI, CONACyT y la misma UAM es conveniente publicar en revistas tradicionales bajo el esquema de pagar para permitir el acceso gratuito por parte de los lectores.
Costos de publicación	\$60,000.00	
Total	\$400,000.00	

Recursos externos

Se solicitó apoyo en la convocatoria: Convocatoria de Proyectos de Desarrollo Científico para atender Problemas Nacionales 2014 de CONACyT

Actualmente se cuenta con equipamiento documentado en el protocolo de proyecto de tesis de Óscar García Aranda (anexo). Dicho equipamiento fue adquirido con fondos de PROMEP.

Lista de anexos

Curriculum: José Javier Valencia López

Curriculum: Christopher Heard

Protocolo: Óscar García Aranda

Informe final proyecto: "Desarrollo de intercambiadores de calor compactos para enfriamiento de gas refrigerante a alta presión con agua de mar"

Artículos:

- 1 C. L. Heard, I. C. Ward, "The design and use of low-cost heat flux plates for the measurement of building heat transfer rates", *Building and Environment*, 17, No. 3, pp 229-233, 1982.
- 2 C. Dispenza, H. Fernández, C. L. Heard, S. Mercado, L. Pignato, J. Siqueiros, "An improved correlation to predict the heat transfer convective coefficient between a liquid fluidized bed and a heat transfer surface", *Tercer Congresso Nazionale sul Trasporto del Calore*, Palermo, Italy, June 6-8, 1985.
- 3 J. Siqueiros, C. L. Heard, H. Fernández, "Investigaciones para el diseño y evaluación técnica de intercambiadores de calor de lecho fluidizado", *Segundo Seminario Conjunto EPRI/IIIE sobre los programas de Geotermia*, San Diego California, June 25-27, 1985.
- 4 J. Siqueiros, C. L. Heard, H. Fernández, "Cambiador de calor de lecho fluidizado líquido-sólido, equipo experimental y algunos resultados", *Segundo Simposium Nacional de Ciencias Térmicas*, Palacio de Minería, México D. F., August 6-9, 1985.
- 5 C. L. Heard, J. Siqueiros and H. Fernández, "Developments in geothermal energy in Mexico-Part two: Heat transfer studies in relation to utilization of geothermal brines", *Journal of Heat Recovery Systems*, Pergamon Press, Vol 6, No. 3, pp 185-190, 1986.
- 6 A. Garcia, J. Siqueiros, C. Heard, D. Barragan and A. Hinojosa, "Developments in geothermal energy in Mexico-Part nine: Heat transfer equation for determining coefficients in liquid-solid fluidised beds.", *Journal of Heat Recovery Systems*, Pergamon Press, Vol 6, No. 6, pp 483-490, 1986.
- 7 J. Siqueiros, H. Fernández, C. Heard, "Echangeur de chaleur de lit fluidisé pour l'énergie de saumure géothermal", *Journées internationales sur le stockage de l'énergie thermique et la géothermie appliquée*, 18-20 de Octobre Palais des Congrès, Versailles, Francia 1988.
- 8 C. Heard, C. Vega, Costos de una tecnología para intercambiadores de calor usados en el enfriamiento de gas de alta presión con agua de mar, *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ) 24(2): 144-154*, 2009.
- 9 C. Heard, M. Á. Rodríguez-Toral, Aplicación de "baffles" helicoidales y tubos de bajo "aletado" al enfriamiento de gases, *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ) 27(1): 5-16*, 2012.
- 10 J. J. Valencia-López, G. Espinosa-Paredes, J. A. Ochoa-Tapia, Mass transfer jump condition at the boundary between a porous medium and a homogeneous fluid,

Journal of Porous Media 6(1), 33-49 2003.

- 11 J. J. Valencia-López, J. A. Ochoa-Tapia, A study of buoyancy-driven flow in a confined fluid overlying a porous layer, *Int. J. Ht. and Mass Trans*, 44, 4725-4736, 2001.
- 12 Diola M. Núñez-Ramírez, José J. Valencia-López, Fausto Calderas, Aquiles Solís-Soto, Javier López-Miranda, Hiram Medrano-Roldán, Luis Medina-Torres, Mixing Analysis for a Fermentation Broth of the Fungus *Beauveria bassiana* under Different Hydrodynamic Conditions in a Bioreactor, *Chem. Eng. Technol.* 2012, 35, No. 11, 1954–1961.

Referencias

1. Decreto Ley de Aguas del Distrito Federal, Gaceta Oficial del Distrito Federal el 27 de mayo de 2003.
2. Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-022-AGUA-2011, que establece la obligación de presentar programas de ahorro de agua a los grandes consumidores en el distrito federal., 30 de Noviembre de 2012 GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL 61, consultado 15 enero 2015 http://www.sedema.df.gob.mx/padla/index.php?option=com_content&view=article&id=335:nadf-022-agua-2011&catid=53:normas-ambientales-del-distrito-federal&Itemid=87
3. G. Velasco Rodríguez, Ma. de L. Becerra Delgado, I. Vazquez Ramírez, A. Skwierinski Durán, Ma. E. Haro González, M. Ortega Ramírez, Estrategia Local de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., Junio de 2014.
4. Harikliá N. Gavala, Umur Yenal, Ioannis V. Skiadas, Peter Westermann, Birgitte K. Ahring, Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature, *Water Research* 37 (2003) 4561–4572.
5. J. Zábranská, J. Džépová, R. Wachtl, P. Jeníček and M. Dohányos, The activity of anaerobic biomass in thermophilic and mesophilic digesters at different loading rates, *Water Science and Technology* Vol 42 No 9 pp 49–56, 2000.
6. Mavi Climent, Ivett Ferrer, Ma del Mar Baeza, Adriana Artola, Felicitas Vázquez, Xavier Font, Effects of thermal and mechanical pretreatments of secondary sludge on biogas production under thermophilic conditions, *Chemical Engineering Journal* 133 (2007) 335–342.
7. Bachtiyar Yakubov, Josef Tanny, David Moalem Marona, Neima Brauner, The dynamics and structure of a liquid–solid fluidized bed in inclined pipes, *Chemical Engineering Journal* 128 (2007) 105–114.
8. A. García, J. Siqueiros, C. Heard, D. Barragán y A. Hinojosa, Developments in geothermal energy in Mexico-Part nine: Heat transfer equation for determining coefficients in liquid-solid fluidised beds., *Journal of Heat Recovery Systems*, Pergamon Press, Vol, 6, (6), 483-490, 1986.
9. C. Dispenza, H. Fernández, C. L. Heard, S. Mercado, L. Pignato, J. Siqueiros, "An improved correlation to predict the heat transfer convective coefficient between a liquid fluidized bed and a heat transfer surface", *Tercer Congresso Nazionale sul Trasporto del Calore*, Palermo, Italia,

Junio 6-8, 1985.

10. J. Siqueiros, H. Fernández, C. Heard, "Echanger de chaleur de lit fluidisé pour l'énergie de saumure géothermale", Journées internationales sur le stockage de l'énergie thermique et la géothermie appliquée, 18-20 de Octobre Palais des Congrès, Versailles, Francia 1988.
11. Jamialahmadi M, Müller-Steinhagen, Hydrodynamics and heat transfer of liquid fluidized bed systems, Chem. Eng. Comm. Vol. 179, pp. 35-79, 2000.
12. Haid, M., Correlations for the prediction of heat transfer to liquid-solid fluidized beds, Chemical Engineering and Processing Vol. 36, (2), 143-147, 1997.
13. M. Jamialahmadi, H. Müller-Steinhagen, B. Stellingwerf, Heat transfer to liquid fluidized beds in annuli, Chemical Engineering and Processing, 31 (1992) 363-375.
14. Jamialahmadi M, Malayeri M. R., Müller-Steinhagen H., Prediction of heat transfer to liquid-solid fluidized beds, Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 73, pp. 444-455, 1995.
15. Haid, M., Martin, H., Müller-Steinhagen, Heat transfer to liquid-solid fluidized beds, Chemical Engineering and Processing, Vol. 33, (4), 211-225 Año: 1994.
16. Kollbach J, Dahm W, Rautenbach R., Continuous cleaning of heat exchanger with recirculating fluidized bed, Heat Transfer Engineering, Vol. 8, (4), 26-32, 1987.
17. Pathan, M. I., Nagrani, S., Soomro, G. M., Heat transfer studies in liquid-solid fluidized beds, Mehran University Research Journal of Engineering and Technology, Vol. 6, (3), 21-24, 1987.
18. Khan A. R., Juma A. K. A., Richardson J. F., Heat transfer from a plane surface to liquids and to liquid-solid fluidised beds, Chemical Engineering Science, Vol. 38, (12), 2053-2066, 1983.
19. K. Hashizume, An approach to develop a correlation for liquid-fluidized bed heat transfer, Chemical Engineering and Processing 45 (2006) 990-1000.
20. Kenichi Hashizume and Takahiro Matsue, Heat Transfer in Liquid-Fluidized Beds Affected by Column Wall, Heat Transfer—Asian Research, 29 (7), 2000.
21. K.Hashizume, A. Shirai, K. Fukai, A. Fukagawa, Heat transfer on tube bundles embedded vertically in liquid-fluidized beds, Heat Transfer-Asian Research, 38, 8, 520-535, December 2009.
22. M. Aghajani, H. Müller-Steinhagen, M. Jamialahmadi, New design equations for liquid/solid fluidized bed heat exchangers, International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (2005) 317-329.
23. Stefan H. Thomke, Experimentation Matters: Unlocking the Potential of New Technologies for Innovation, ISBN-13: 978-1578517503, Harvard Business Review Press (June 12, 2003).

Dr. Christopher Lionel Heard Wade Dr. José Javier Valencia López