

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

1. Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 2881			
Título del proyecto: MODELACION DE UN CLARIFICADOR PRIMARIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA UTILIZANDO FLUENT®			
Facultad o Instituto Académico: INGENIERIA			
Departamento o Escuela: ESCUELA DE INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE			
Grupo (s) de investigación: ECCA			
Entidades:			
Palabras claves: CFD, CLARIFICADOR PRIMARIO, MODELACION			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	JENNY ALEXANDRA RODRIGUEZ VICTORIA	8 h/semana	8 h/semana
Coinvestigadores	LISETH ENRIQUEZ CASTILLO	10 h/semana	10 h/semana

2. Resumen ejecutivo

Partiendo de la base de que el principio fundamental del tratamiento del agua residual está en la concentración de la mayor parte de la contaminación en forma de lodo, de que en el agua residual doméstica la contaminación está representada principalmente por sólidos (70% orgánico y 30% inorgánico) (von Sperling, 2007) y, en vista de las limitaciones técnicas y económicas que representa en el tratamiento la generación de una mayor cantidad de lodo secundario, el presente proyecto de investigación generó una herramienta que permitirá optimizar la sedimentación primaria, para que la mayor parte de la materia orgánica y los sólidos suspendidos sedimentables que trae el agua residual se concentren en el lodo primario. Un mayor volumen de lodo primario optimizará la digestión anaerobia implementada para la estabilización del lodo, ya que microbiológicamente es más sencillo fraccionar los constituyentes del lodo primario, que el material celular que compone el lodo secundario (Tiehm

et al., 2001; Rulkens, 2008), de esta manera se podrá obtener una mayor cantidad de biogás (Bayr y Rintala, 2012), recurso energético potencialmente aprovechable al que se le ha dado mayor relevancia, debido a la necesidad que se ha suscitado en los últimos años, de encontrar fuentes energéticas renovables.

A pesar de que se han evaluado alternativas enfocadas en optimizar la eficiencia de los Clarificadores Primarios a través de la modificación de los criterios de diseño o la aplicación de químicos (Brashear et al., 2003; Guan et al., 2005), aún persiste una serie de limitaciones ambientales, de diseño y operación (Mackenzie, 2010) que han impedido que dicha optimización sea realmente significativa.

Debido a que los avances tecnológicos en la simulación de procesos ambientales, han generado instrumentos que pueden ser aprovechados para el mejoramiento de los procesos existentes, la metodología propuesta en este proyecto de Investigación consideró la definición de un modelo CFD utilizando el software FLUENT®16, el cual fue seleccionado teniendo en cuenta su versatilidad y precisión para modelar los procesos y operaciones que se presentan específicamente en los clarificadores primarios, sumado al hecho de que a través de funciones definidas por el usuario (UDFs) se pueden implementar nuevos modelos, lo que permite una flexibilidad y facilidad de adaptación al caso de estudio (ANSYS, 2013).

Inicialmente, se realizó la geometría de un clarificador primario que trata el agua residual doméstica de la ciudad de Cali (PTAR CAÑAVERALEJO), a través del programa "Designmodeler". Posteriormente, se propuso y ajustó el modelo para simular el comportamiento hidrodinámico y de proceso. Para esto, se seleccionó un modelo multifásico con enfoque euleriano definido como de "Mezcla". El ajuste de las variables requeridas en el modelo para alcanzar la convergencia, demandaron aproximadamente unas 200 corridas.

Con el modelo desarrollado se espera a futuro, plantear nuevas configuraciones de diseño y operación del Clarificador Primario, que permitan optimizar su desempeño, para disminuir significativamente la carga afluente al tratamiento secundario del agua residual doméstica. Esto traerá como consecuencia, la reducción de la envergadura del tratamiento secundario, sus costos de implementación y mantenimiento, las limitaciones operacionales que se presentan por los sólidos que logran llegar hasta esta etapa de tratamiento, y los costos de manejo y

disposición del lodo producido.

Abstract

On the basis of the main goal of wastewater treatment is to concentrate in the form of a sludge most of the pollution, as well as that raw domestic wastewater pollution is mainly composed by solids and considering the technical and economic constraints that represents the generation of a greater amount of secondary sludge on the treatment, this research provided a tool which will optimize the primary clarification so that most of the organic matter and settleable suspended solids from the wastewater can be concentrated in primary sludge. A greater volume of sludge in the form of a primary sludge will optimize the anaerobic digestion implemented for the stabilization of sludge because it is easier to break up microbiologically the components of primary sludge than the cellular material from secondary sludge (Tiehm et al., 2001; Rulkens, 2008). In this way, a greater amount of biogas may be obtained. The biogas is a potentially usable energy resource that has been given greater importance due to the need that has arisen in recent years, to find renewable energy sources (Bayr y Rintala, 2012).

Although to improve the efficiency of the primary clarifiers have been evaluated alternatives such as design criteria modification and the application of chemicals (Brashear et al., 2003; Guan et al., 2005), there are still environmental, design and operation limitations which have not allowed this optimization to be significant (Mackenzie, 2010).

Technological advances in environmental processes simulation have generated tools to improve existing processes, for this reason the methodology proposed in this research used the software FLUENT® 16 to define a CFD model of a primary clarifier.

FLUENT® 16 was selected for its versatility and accuracy to model processes and operations that occur in primary clarifiers, also by that through user-defined functions (UDFs) new models can be implemented allowing flexibility and adaptability to any case study (ANSYS, 2013).

First, the geometry of the primary clarifier for domestic wastewater treatment plant in the Cali city (WWTP CAÑAVERALEJO) was performed using the "Designmodeler" program. Later, it was proposed and adjusted the model to simulate the hydrodynamic behavior and process. For this, a multiphase model defined as "mixture model" with Eulerian approach was selected. The setting of the variables required by the model to achieve convergence needed approximately

200 runs.

In the future, new design and operation configuration of the primary clarifier is expected with the developed model. The new configuration of the primary clarifier will improve its performance which will allow a significant reduction of pollutant load influent to the secondary wastewater treatment. This will bring as a result, the reduction of secondary wastewater treatment scale as well as their implementation and maintenance costs decrease. Additionally, operational limitations presented by solids that reach secondary wastewater treatment and the management and disposal costs of produced sludge will be reduced.

3. Síntesis del proyecto:

En el presente proyecto de investigación las áreas temáticas de estudio que se consideraron se relacionan con la hidrodinámica, la ingeniería y la simulación de procesos. Los objetivos del trabajo fueron definir y calibrar un modelo CFD utilizando el software FLUENT®16, para el análisis de la sedimentación en un clarificador primario a escala real de una planta de tratamiento de agua residual doméstica.

Metodología

El estudio contempló la recopilación de información relacionada con las características del agua residual doméstica (ARD), las condiciones hidráulicas, operacionales y ambientales, y el desempeño del clarificador primario convencional (CP) de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Cañaveralejo (PTAR-C), la cual se encuentra ubicada en la ciudad de Cali, y capta aproximadamente el 85% del agua residual generada en la ciudad. Los Clarificadores Primarios implementados en la PTAR-C son tanques circulares con alimentación central, de 47,5 m de diámetro, 4,2 m de altura (en muros exteriores), trata un caudal de $0.95 \text{ m}^3/\text{s}$, cuentan con un dispositivo en la parte superficial que permite remover las natas y con un barrelodos que direcciona el lodo sedimentado a una tolva central, para facilitar su purga. En la figura 1 se presenta un esquema del clarificador primario implementado en la PTAR-C

Para la elaboración del Modelo se tuvo en cuenta que el flujo sería estudiado a través de la dinámica de fluidos computacional o CFD (sigla en inglés), la cual permite predecir el comportamiento del fluido mediante la resolución de ecuaciones matemáticas que gobiernan sus procesos, usando métodos numéricos y algoritmos.

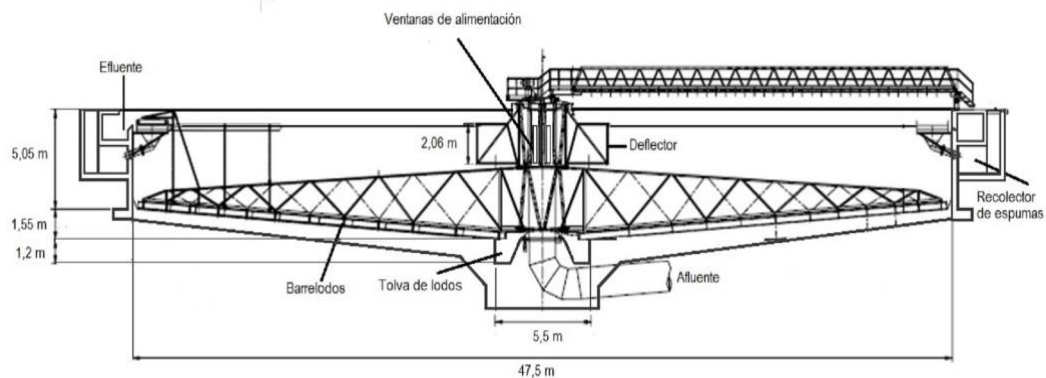


Figura 1. Esquema del clarificador primario y vista general de la PTAR-C

CFD contiene tres componentes: pre-procesador; solver y pos procesador. El primero, permite la entrada de información, para transformarla a una forma que pueda ser utilizada por el solver (geometría, mallado). El solver resolverá las ecuaciones que gobiernan los procesos previa discretización de ellas, para finalmente ser visualizado el comportamiento a través de gráficos y figuras (Patel, 2010).

Fueron utilizados los datos históricos de operación de los últimos 5 años, proporcionados por la administración de la PTAR-C. Los datos del caudal, DQO, DBO₅, SST, pH y Temperatura del afluente y efluente de los CP, fueron analizados a través del programa estadístico Minitab 16®, el cual cuenta con herramientas de estadística descriptiva como medidas de tendencia central y medidas de dispersión, entre otros. Adicionalmente, se analizó la variabilidad de los datos mediante gráficos de cajas y alambres (boxplot).

El software utilizado para la modelación fue FLUENT®16, el cual fue seleccionado por su rapidez y precisión en los resultados, sumado al hecho de que a través de funciones definidas por el usuario (UDFs) se pueden implementar nuevos modelos, lo que permite una flexibilidad y facilidad de adaptación al caso de estudio (ANSYS, 2013). Las simulaciones fueron desarrolladas en la sala de simulación del Posgrado en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle (sede Meléndez).

Resultados

Geometría y Mallado. Se utilizó el programa DesignModeler (incluido en la plataforma del Workbench del FLUENT®) para realizar la geometría del CP en 3D. Inicialmente, la geometría

estuvo conformada por 5 cuerpos: tubería de alimentación, cuerpo del clarificador (incluía deflector, vertedero de salida), pendiente, tolva de lodos y tubería de purga de lodos, y a cada cuerpo se le realizó la malla de forma independiente, utilizando elementos tetraédricos. Aunque la calidad de los elementos de la malla de cada cuerpo fue aceptable, al realizar el mallado de toda la geometría (mediante la integración de todos los cuerpos), la calidad de la malla final fue deficiente (0,13), esto debido a que el ensamble entre las mallas de los cuerpos no fue adecuado, pues cada cuerpo tenía una configuración del tamaño de elementos diferente (Fig. 2).

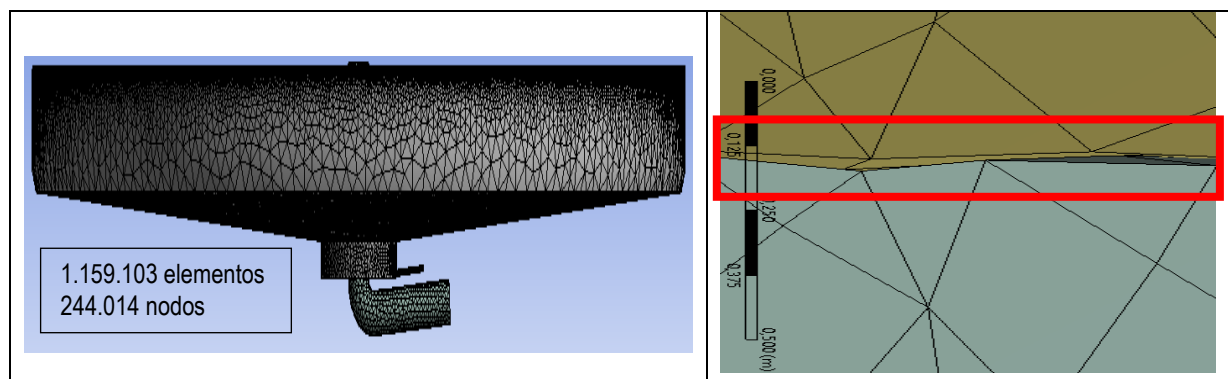


Figura 2. Malla tetraédrica del CP - Error en el ensamble de dos cuerpos

Teniendo en cuenta que los elementos de la malla deben tener una buena calidad y refinamiento en las regiones de interés, fue necesario replantear la geometría del CP. Se utilizaron elementos hexaédricos para realizar la malla del CP, ya que esta forma permite obtener una malla con menor cantidad de elementos y mayor cantidad de nodos, lo que se traduce en mayor precisión de la resolución interna del elemento, reduciendo el tiempo de ejecución de la simulación.

Como uno de los principales aspectos para realizar una modelación es el balance entre la precisión de la simulación y el tiempo computacional, se decidió disminuir la complejidad de la geometría esperando obtener menores tiempos computacionales. De acuerdo con De clerq y Vanrolleghem (2002) los tiempos de simulación de modelos CFD pueden ser significativamente reducidos, disminuyendo la dimensionalidad del modelo u omitiendo estructuras, siempre y cuando no se afecte la precisión. Por esta razón, en la geometría no se consideró la tubería de purga, el baffle de salida y el barrelosos; los vertederos triangulares de salida se consideraron como un gran vertedero rectangular, a esta geometría se le denominó “*geometría básica*” (Fig.

3).

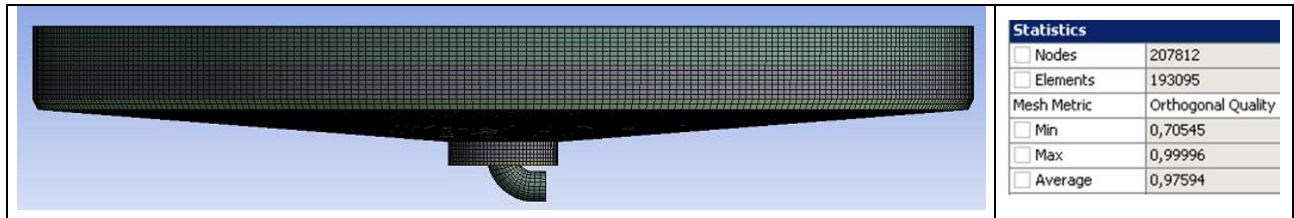


Figura 3. Geometría Básica

Posteriormente, una vez establecidos los parámetros que más se adecuaban al modelo y ante la necesidad de refinar las zonas de interés del clarificador (vertedero, pared del clarificador, pendiente y tolva), ya que de estos criterios depende en buena medida la convergencia de la solución y la confiabilidad o precisión de los resultados de la simulación (Wicklein et al., 2015), se ajustó y complementó la geometría con los componentes faltantes, hasta alcanzar la que se consideró como definitiva o “*geometría final*” (Fig.4).

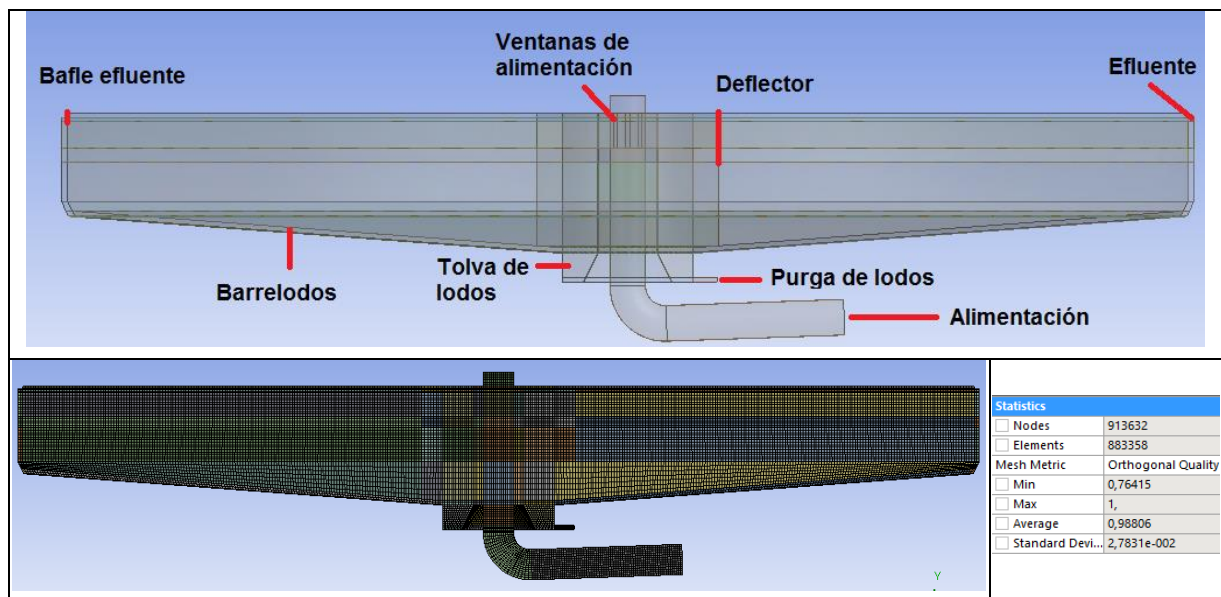


Figura 4. Geometría final

Desarrollo del modelo de simulación. Las ecuaciones consideradas son las que rigen la dinámica de fluidos (Anderson, 1995): Continuidad (conservación de la masa); Momento (fuerzas que actúan sobre el fluido, ecuación de Navier-Stokes, 2da ley de Newton) y Energía (primera ley de la termodinámica). La combinación de estas ecuaciones se traduce en un sistema indeterminado de ecuaciones, porque hay más incógnitas que ecuaciones. Para cerrar

el sistema de ecuaciones, se requiere unas relaciones constitutivas adicionales (ecuación de estado y ley de Newton para viscosidad) (Vanderwalt y Haarhoff, 2000).

Partiendo de la base de que en el CP existen dos fases, una fase primaria o líquida (continua) y una fase secundaria o sólida (compuesta por sólidos sedimentables, coloidales, supracoloidales), se considera que el flujo a modelar es multifásico. Para el cálculo numérico del flujo multifásico fue empleado el enfoque Euler-Euler, que además de ser uno de los más usados para flujos multifásicos, considera cada fase regida por la ecuación de Navier-Stokes, y que las fases coexisten en un mismo volumen, interactúan entre sí en espacio, transferencia de masa, momento y energía. Se considera que la fracción de volumen de cada fase es continua, función del tiempo y espacio y su sumatoria es igual a 1 (Weerasooriya, 2013; Wicklein et al., 2015).

El modelo seleccionado bajo el enfoque Euler-Euler fue el de Mezcla, dada la amplia aplicación para simular sedimentadores (De clerq, 2003, Wicklein y Samstag, 2009, Zhan, 2014). Este modelo se caracteriza por ser simplificado, puede ser usado en flujos donde las fases se mueven con diferentes velocidades usando el concepto de velocidades relativas o de deslizamiento, pero asume la existencia de un equilibrio local entre las fases para pequeñas escalas de longitud espacial. Puede incluir n fases, donde las ecuaciones de continuidad, momento y energía son resultas para la mezcla, mientras que las ecuaciones de fracción de volumen son determinadas para cada fase secundaria. El modelo permite la selección de fases secundarias granulares y puede ser usado como un buen sustituto del modelo multifásico euleriano, cuando se presenta una amplia distribución de tamaños de la fase sólida o cuando las leyes de la interface son desconocidas (ANSYS, 2013). Adicionalmente, para describir el movimiento de la partícula en el fluido, considera todas las fuerzas relevantes, las cuales presentan un efecto continuo (ejercido por la fase continua sobre las partículas y por la gravedad) y un efecto de impulso (colisión de partículas con las paredes y obstáculos e interacción entre partículas). La intensidad de la fuerza dependerá de la forma de la partícula, que en la mayoría de los casos es irregular (Kozic et al., 2011).

La importancia de la turbulencia en la modelación hidrodinámica radica en que esta conforma un flujo, por lo que no es una característica del fluido (De clerq, 2003). Se caracteriza por la variabilidad de la velocidad, que afecta las propiedades de transporte tales como momento,

energía y la concentración de las especies. Dentro de los métodos para modelar la turbulencia que contiene FLUENT®, se seleccionó el “método turbulento k-Epsilon (ϵ)”, porque al utilizar el concepto viscosidad turbulenta de Boussinesq (μ_t) requiere de un costo computacional menor. Este método incluye dos ecuaciones de transporte adicionales: k (energía cinética turbulenta) y ϵ (tasa de disipación). La limitación de este método es que asume μ_t como una cantidad escalar isotrópica y esto no es estrictamente cierto. Este método cuenta con tres modelos: *Standar*, *RNG* y *Realizable*, cuya diferencia radica en la forma de calcular μ_t , en los números de Prandtl que gobiernan la difusión turbulenta de k y ϵ , y en la generación o destrucción de la ecuación ϵ . El modelo *Standar* ha sido uno de los más utilizados, pero algunos estudios han mostrado que es insuficiente para modelar flujos con componentes de remolinos (Kobayashi y Yoda, 1987). El modelo seleccionado fue el *Realizable*, porque al plantear una nueva ecuación de μ_t presenta una mejor respuesta a las restricciones matemáticas del stress de Reynolds (Shih et al., 1995, Das et al., 2016), dando una mayor precisión en flujos que involucran rotación, separación y recirculación, como es el caso del CP, además de que no subestima o sobreestima las cantidades de turbulencia en comparación con lo que presentan los otros métodos (Tiainen, 2014). Las constantes $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$ y los números de prandtl σ_k y σ_ϵ utilizados fueron los establecidos por *default* de FLUENT®, los cuales fueron derivados del estudio de Shih et al. (1995) y corresponden a 1.3, 1.9, 1.0 y 1.2 respectivamente.

Condiciones operacionales y de Borde. Para completar la descripción matemática del modelo, es necesario definir las características operacionales y las condiciones de borde de todas las variables asociadas con el proceso, así como considerar el efecto sobre la turbulencia que ejerce la presencia de paredes. De igual forma se requiere conocer la densidad y presión en cada punto de los bordes o límites, para conseguir resolver las ecuaciones diferenciales.

El efecto de las paredes se estableció bajo una condición estacionaria y de no deslizamiento, lo que implica la presencia de una región afectada por la viscosidad, entre la pared y la región turbulenta (Adams y Rodi, 1990). A través de cuatro opciones de “*wall functions*” (set de ecuaciones semiempíricas), FLUENT® permite considerar esa región, se seleccionó “*standard wall function*” condición válida para paredes lisas donde las velocidades son predominante bajas y la capa viscosa es proporcionalmente grande, las cuales se pueden asociar con lo que se presenta en el CP (Adams y Rodi, 1990, De clerq, 2003). Las paredes fueron consideradas

de concreto, con características de rebote de partículas y con un coeficiente de rugosidad de 0.5 mm.

La superficie líquida libre, se la representó como una superficie rígida sin fricción, donde no hay flujo difusivo o convectivo (Zhou y McCorquodale, 1992; Krebs et al., 1996). El barrelos fue considerado como una superficie sólida y móvil, con una velocidad de rotación de 0,029 rpm en la dirección del eje y.

Se usaron tres zonas para especificar las condiciones de borde del flujo: entrada, salida del agua sedimentada y salida del lodo de purga. Para la entrada se adoptó una condición de *velocity inlet* donde se indicaron la presión Gauge inicial, energía cinética y viscosidad turbulenta, la magnitud y dirección de la velocidad de entrada y la fracción de volumen (0 pa, 0.00061 y 4.7119e-05, 0.72 m/s y -1 en el eje x y 0.000115 respectivamente). La condición de borde *pressure outlet* fue aplicada para la salida del agua sedimentada y del lodo de purga, estableciendo un valor de cero para la presión de gauge, y para la energía cinética y viscosidad turbulenta de 0.00042 y 0.00083094, y 0.00022 y 7.7148e-05 respectivamente. Se seleccionó como presión y densidad de operación 89325,74 pa y 997 kg/m³.

Métodos de solución de las ecuaciones. Para resolver numéricamente los problemas del flujo dependientes e independientes del tiempo, se requiere dividir o discretizar el área de influencia. El área de influencia se divide a través de una malla conformada por miles de pequeñas celdas o elementos, para aplicar en cada una de ellas las ecuaciones diferenciales definidas para el modelo. La integración de las ecuaciones diferenciales en cada celda resulta en una discretización, conformando un sistema de ecuaciones algebraicas. Resolviendo simultáneamente las ecuaciones para cada celda y su interrelación entre ellas, se consigue modelar el patrón de flujo.

FLUENT® utiliza el método de volumen finito (FVM) para discretizar las ecuaciones diferenciales a ecuaciones algebraicas, el cual resulta muy efectivo cuando se tienen mallas irregulares. Para complementar este método, FLUENT® opta por el proceso *Coupled*, cuando se establece el enfoque Euleriano para resolver las ecuaciones. Este proceso resuelve las ecuaciones simultáneamente, requiriendo una alta demanda computacional (Cable, 2009).

En flujos incompresibles la densidad es constante y no está ligada a la presión, por lo que la

ecuación de Navier-Stokes se torna compleja por la falta de una ecuación para la presión. Para superar esta limitación se requiere un algoritmo que acople la velocidad y presión (*pressure-velocity coupling*), de tal forma que permita derivar la ecuación de presión de las ecuaciones de momento y continuidad. Por lo tanto, fue seleccionado el algoritmo *PISO (default)*, que es el más utilizado por su simplicidad y porque se basa en la premisa de que el fluido fluye de una región de alta presión a una de baja presión (Marden y Bakker, 2003), como es el caso de un CP.

Los esquemas para discretizar las ecuaciones fueron sujeto de estudio, donde se evaluaron diferentes combinaciones entre *QUICK* y *Second Order Upwind* buscando la mejor convergencia. Para Momento y Fracción de volumen fue seleccionado *QUICK*, porque presenta una mayor estabilidad, es de 3rd orden y minimiza la falsa difusión (Marden y Bakker, 2003), para k y ϵ fue *Second Order Upwind* y para Presión *Body Force Weighted*.

Las ecuaciones que se resuelven usando un método basado en la presión, tienen asociados unos factores denominados “under-relaxation”, que eliminan las oscilaciones en las soluciones generadas por errores numéricos; se aplican a Presión, Densidad, Body forces, Momento, slip velocity, Fracción de volumen, Temperatura granular, Energía cinética Turbulenta, Tasa de disipación turbulenta y Viscosidad. Los valores por “default” del FLUENT® fueron utilizados para iniciar las corridas, sin considerar la Energía y posteriormente, fueron ajustados comenzando con recomendaciones sugeridas por De clerq (2003), hasta obtener una adecuada convergencia (0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.1, 0.5, 0.2, 0.5, 0.5, 0.5 respectivamente). La convergencia fue evaluada a través del seguimiento de los niveles de los residuales, los cuales fueron establecidos por debajo de 10^{-3} (Cable, 2009).

Análisis del comportamiento hidráulico. Para estudiar el comportamiento hidráulico del CP se realizaron simulaciones habilitando solamente el modelo de turbulencia, para un tiempo de 1,9 h y time-step de 1 s. En la Figura 5 se presentan los residuales de la simulación donde se observa que se alcanzó la convergencia, lo que indica confiabilidad en los resultados. En la Figura 6 se presenta la distribución de la velocidad, se destaca el efecto que genera el codo de alimentación, ya que impacta significativamente su valor, incrementándolo en el cambio de dirección y haciendo que no sea asimétrica su distribución en las ventanas de salida (Fig.6c).

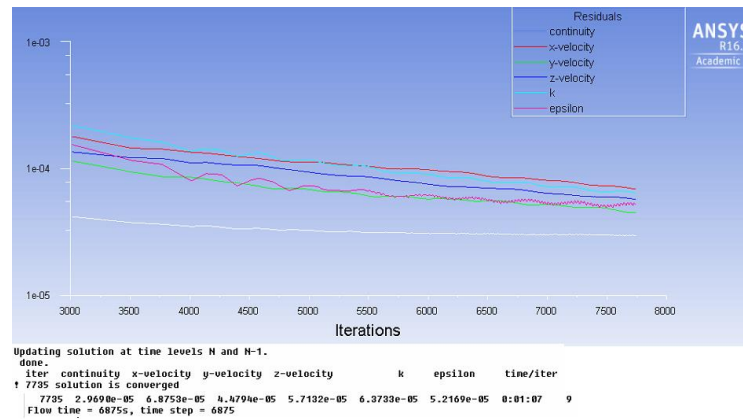


Figura 5. Residuales de la simulación con el modelo de Turbulencia

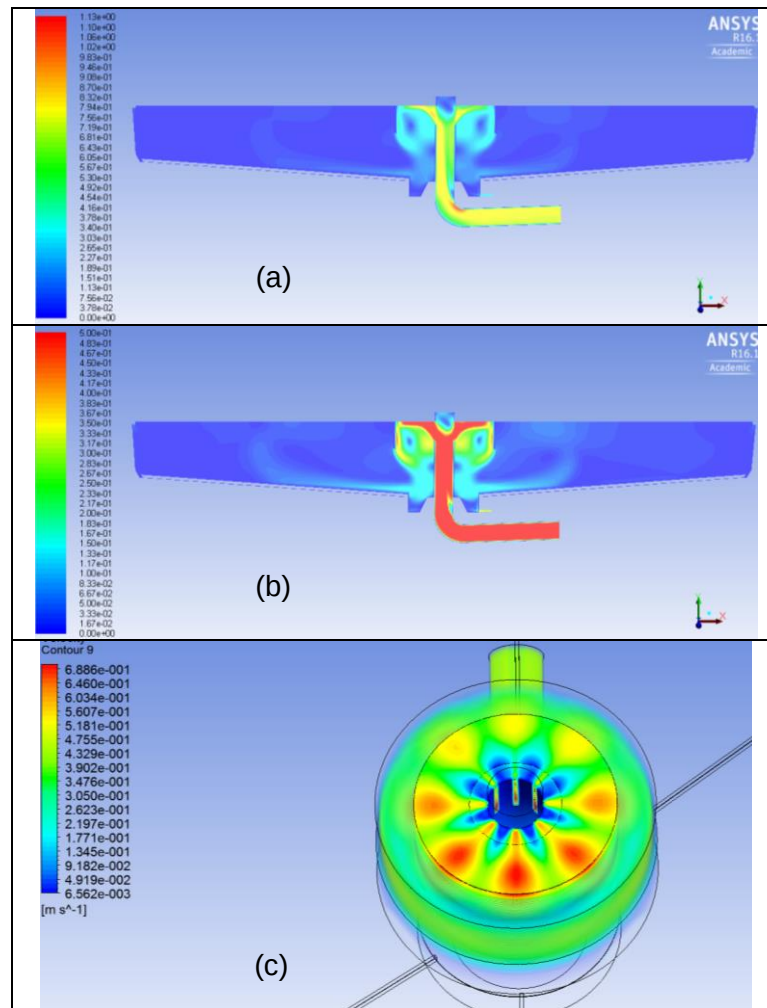


Figura 6. Comportamiento de la Velocidad. (a) autorango; (b) rango ajustado; (c) bafle de entrada. Valores en m/s

De igual forma, se hace notable la importancia que representa la zona de entrada que involucra las ventanas y el bafle, una vez que permiten que la velocidad disminuya cuando entra a la zona de sedimentación. El flujo que sale de la zona de entrada, presenta una magnitud de velocidad que se mantiene en la zona de pendiente más cercana a la tolva, tal vez como resultado de la presencia del barrelados que, en su velocidad de giro a pesar de ser muy baja, produce algún tipo de alteración como cortos circuitos.

Con respecto a los vectores de velocidad (Fig.7), se identifica un patrón de recirculación en la zona de entrada (Fig.7a). Después de que el flujo deja esa zona, los vectores de velocidad que a partir de ahí son de menor magnitud, caen hacia el fondo de la unidad debido a la disipación de energía por la presencia del bafle. En la zona de la tolva se genera un contraflujo que se dirige hacia la salida del CP, situación que podría ocasionar, dependiendo de la magnitud de la velocidad, una condición adversa al proceso, como lo sería la resuspensión de sólidos. La zona de sedimentación se caracteriza por un patrón de circulación de una sola capa (Fig.7c,d), que combinado con las bajas velocidades ofrecen condiciones de quietud favorables para la sedimentación.

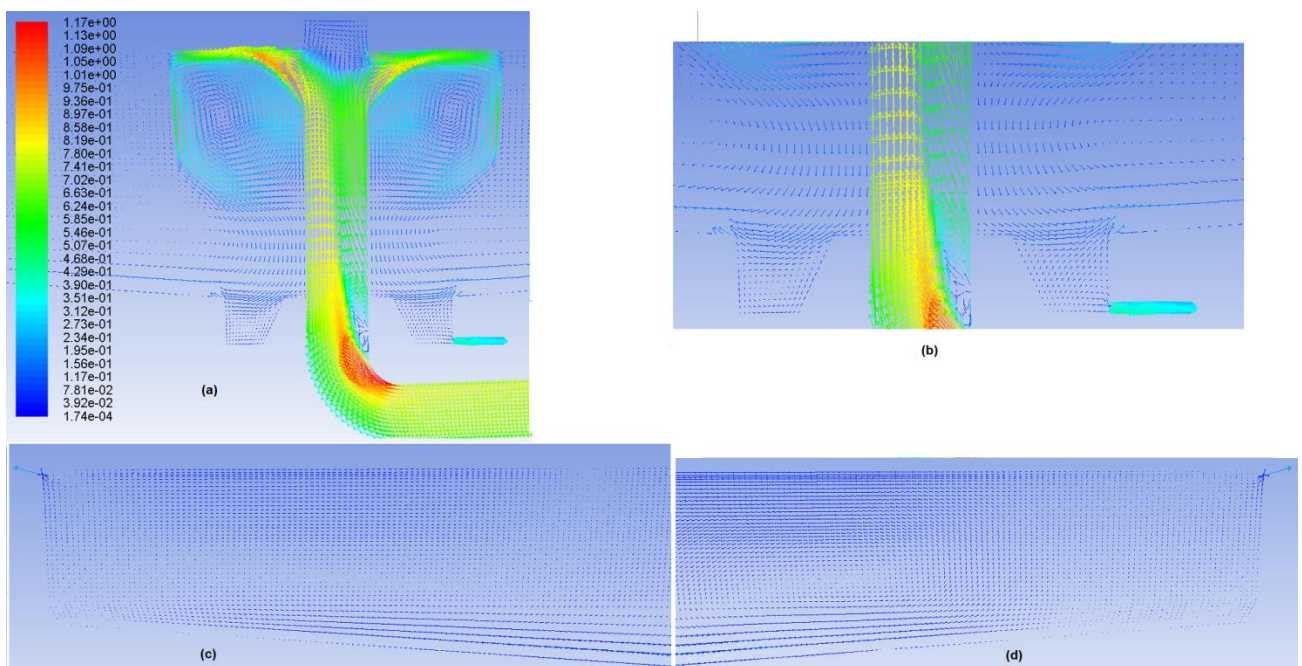


Figura 7. Vectores de velocidad. (a)alimentación y entrada, (b)tolva y purga de lodos, (c)y (d) lado izquierdo y derecho pendiente y zona sedimentación

La energía cinética (EC) es un importante parámetro para la simulación CFD de sedimentadores, ya que altos valores pueden causar resuspensión de partículas. De acuerdo con la Figura 8, la máxima energía cinética se presenta en la región de entrada. Después de que el afluente choca con el baffle, la EC se va reduciendo en la medida en que el flujo se direcciona a la zona de sedimentación. No se observa un cambio significativo de la EC, cuando el flujo sale del baffle y se dirige al fondo hasta llegar a la tolva de lodos (Fig. 8b,c). En el CP el lodo que se acumula en la tolva crea un manto, cuya estabilidad puede verse afectada por la EC que trae el afluente, lo que puede ocasionar una resuspensión de los sólidos sedimentados. De esta forma, se establece la relevancia de la ubicación y tamaño del baffle, cuyo objetivo principal debe ser disipar la EC entrante hasta un valor que no genere perturbación en el manto de lodo. Igualmente, la ubicación de la tolva de lodo se convierte en un aspecto importante, ya que la dirección que toma el flujo cuando sale del baffle no permite una adecuada disipación de la EC hasta esa zona.

Análisis del comportamiento de la sedimentación. Para el análisis se tuvieron en cuenta los resultados de la simulación utilizando el modelo de turbulencia y de mezcla, a varios intervalos de tiempo (200, 400, 600, 1200, 1800, 2400, 3000 y 3600 s).

Con relación al comportamiento de la velocidad de la mezcla de las dos fases, la Figura 9 muestra que los patrones obtenidos son muy parecidos a los presentados cuando se corrió el modelo de turbulencia con solo agua, lo que refleja la mínima incidencia de la presencia de los sólidos en la hidrodinámica de la unidad, esto como resultado del valor bajo de la fracción de volumen (FV) del afluente. Donde se observan diferencias es en la zona donde los sólidos están sedimentando, como resultado del incremento de FV.

En un sedimentador se identifican entre la superficie y el fondo de la unidad, zonas cada una con diferentes niveles de concentración (zona clarificada: FV es casi cero; zona de floculación: FV incrementa significativamente; zona de sedimentación: FV es constante y, zona de lodos: FV muy alta), los cuales son los principales responsables de la presencia de corrientes de densidad (para este estudio el efecto de la temperatura no ha sido considerado).

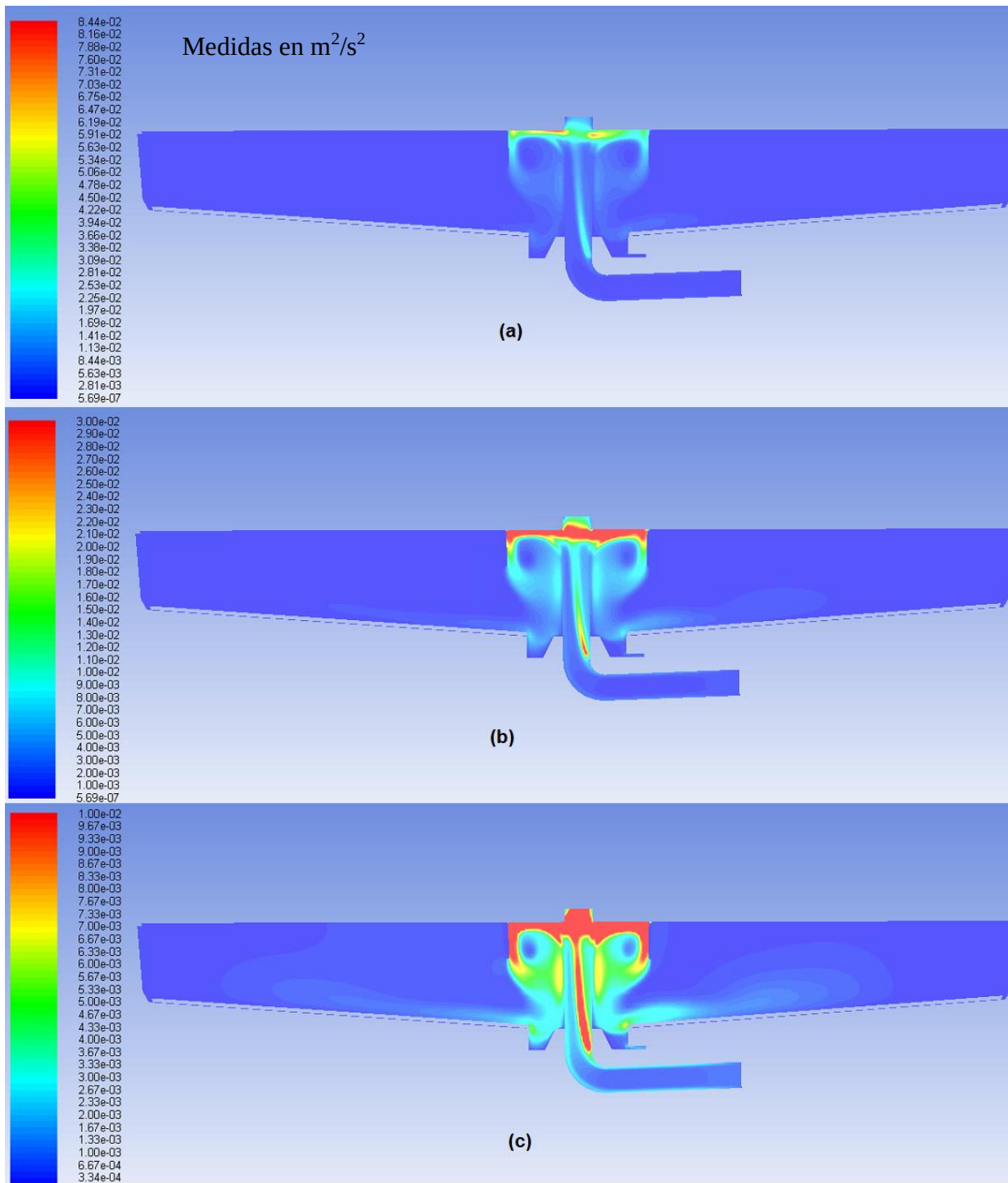


Figura 8. Comportamiento de la energía cinética. (a) autorango, (b) rango ajustado, (c) rango más ajustado

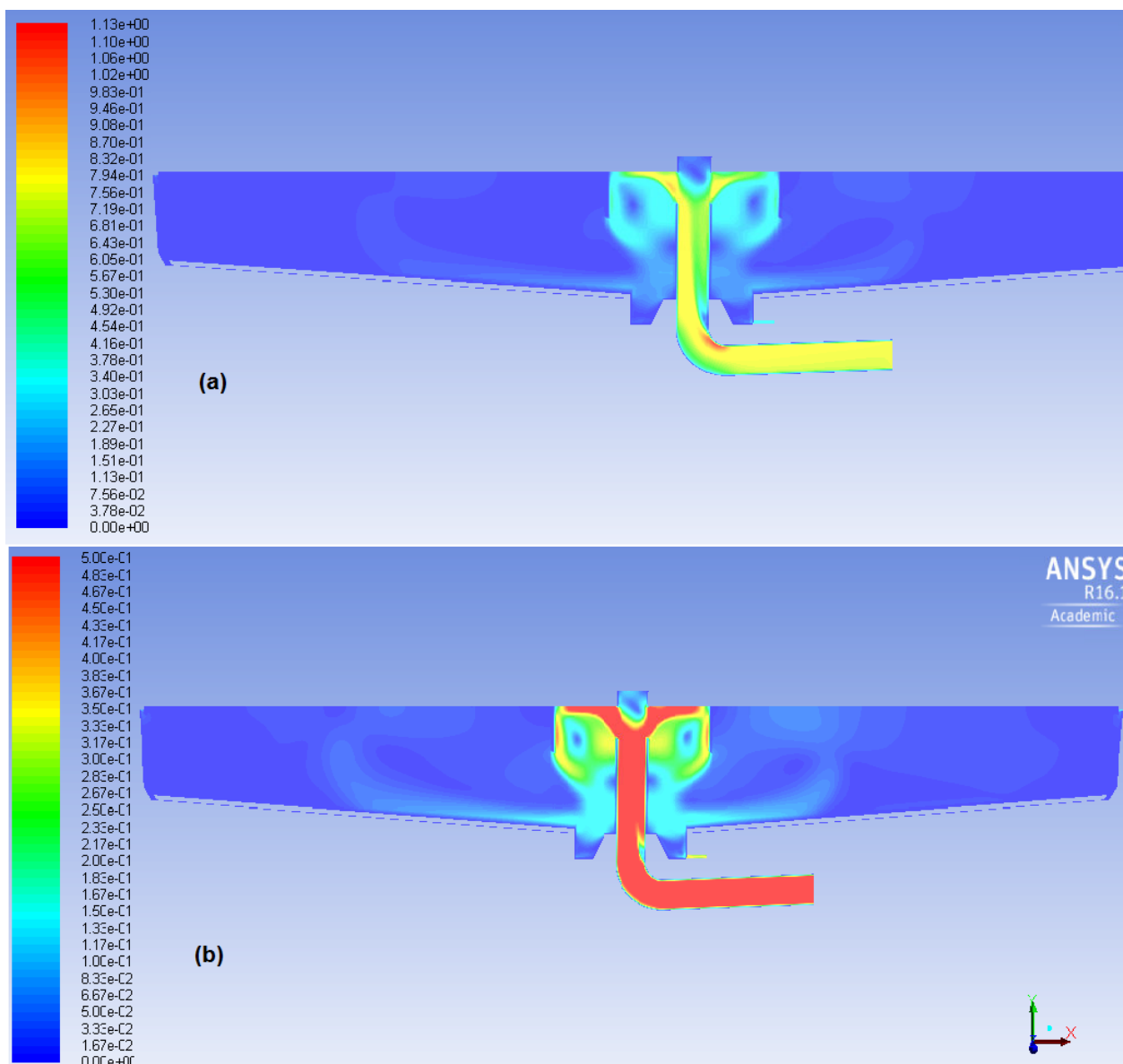


Figura 9. Comportamiento de la velocidad. (a) autorango, (b) rango ajustado. Medidas en m/s

Las corrientes de densidad favorecen la sedimentación, en la medida en que direccionan los sólidos al fondo de la unidad. Sin embargo, en condiciones de alta velocidad de entrada, pueden formar recirculaciones que inducen a una distribución no homogénea del fluido, con la consecuente alteración de los sólidos sedimentados, los cuales se devuelvan a la corriente de densidad, para luego salir en el efluente, reduciendo así, la eficiencia de la unidad. Para disminuir este efecto en la unidad, se usan el deflector de la entrada y el barrelodos, que

conducen el lodo sedimentado hacia la tolva. Por otro lado, Zhang (2014) indica que el modelo de mezcla para simular un sedimentador debe ser calibrado considerando la teoría del número de Froude (NF), cuando NF es igual a 0.2 existe una interface entre las dos fases y por lo tanto, se presenta el fenómeno de corrientes de densidad, pero cuando NF es mayor a 0.7 las dos fases se mezclan entre sí. En el caso del CP, el NF generalmente es cercano 0.2.

Como se observa en la Figura 10, se detecta la formación de una corriente de densidad, que después de impacta el baffle de entrada, se desplaza a los lados del CP en forma de un manto con una concentración relativamente constante. La poca diferenciación de la FV en este manto se atribuye principalmente al contenido de sólidos que presenta el afluente, el cual puede considerarse bajo, de ahí que su comportamiento sea principalmente en forma de un manto que se expande y contrae sin alterar significativamente su concentración.

A medida que avanza el tiempo y que comienza a aparecer, aunque de forma incipiente, una estratificación, se presentan en cada lado del CP, un tipo diferente de corrientes de densidad. En un lado el tipo se asemeja a un manto; como la tubería de purga de lodos se encuentra en ese mismo lado, se considera que la salida del lodo puede estar generando un efecto directo sobre ese comportamiento. En el lado contrario, el desplazamiento del manto va generando un camino por el fondo del CP hasta alcanzar la pared de la unidad, formando un remolino. El remolino formado se disipa totalmente, pero el manto del otro lado se va transformando en un remolino con una FV mayor en el fondo hasta que se disipa totalmente. Este comportamiento evidencia una alteración en el patrón de flujo que puede generar salida de sólidos en el efluente, afectando la eficiencia del sistema. Finalmente, la sedimentación ocurre, se genera acumulación en la tolva y evacuación de los sólidos, pero no en igual proporción, por lo que un volumen de lodo queda atrapado en la tolva.

En términos generales, se puede indicar que las corrientes de densidad y las recirculaciones detectadas a través de la simulación, son fenómenos inherentes a todas las unidades de clarificación. Todos los estudios consultados, han reportado la presencia de uno o de los dos fenómenos. Estos fenómenos pueden presentar efectos positivos o negativos en el desempeño de la unidad, positivos en la medida en que las recirculaciones pueden favorecer la mezcla y el aumento del TRH favoreciendo procesos de floculación, pero pueden generar zonas muertas que disminuyen el volumen efectivo comprometiendo la eficiencia del proceso.

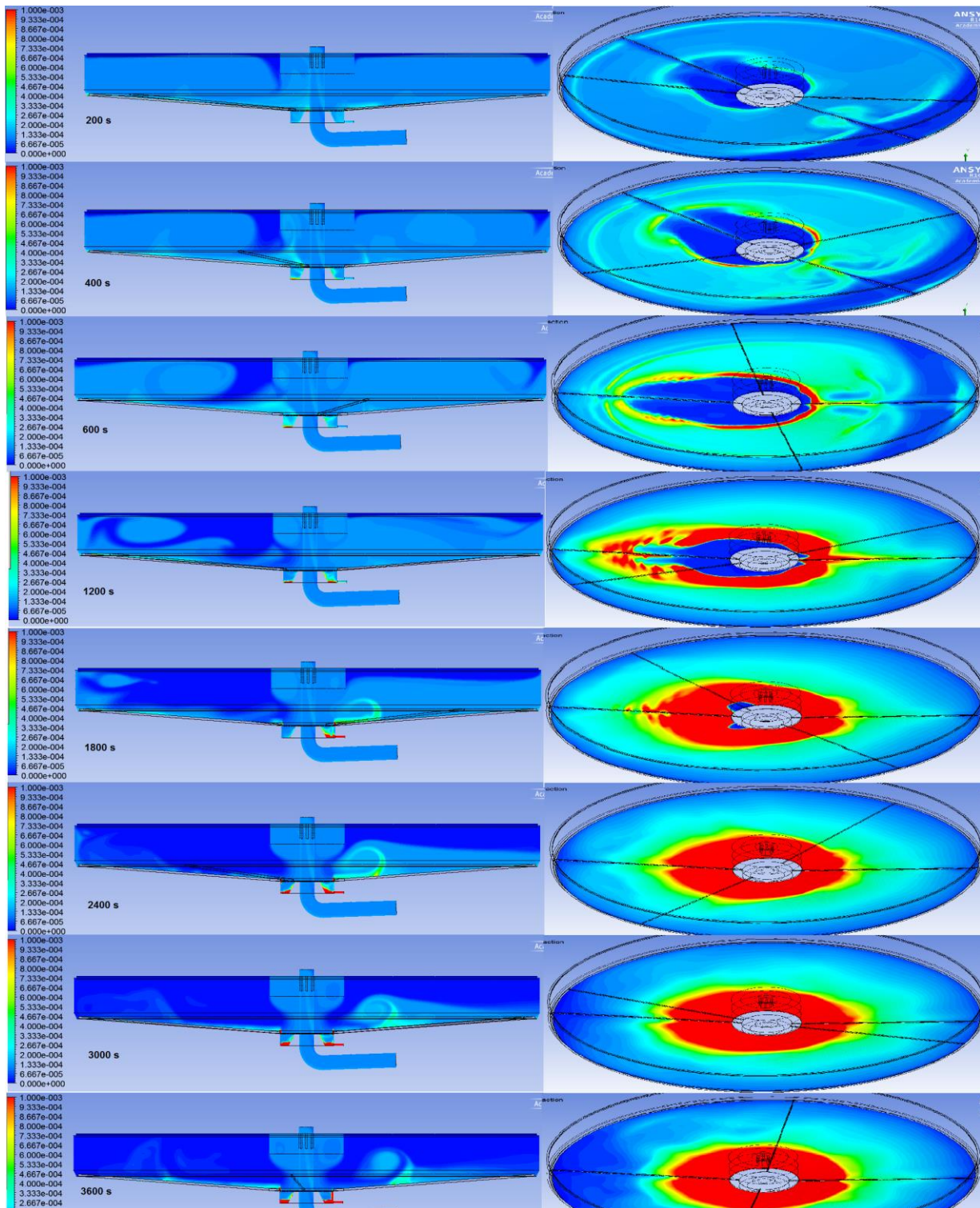


Figura 10. Comportamiento de la fracción de volumen

Las corrientes de densidad son fundamentales en la sedimentación, ya que contribuirán o interferirán con la generación de una fase clarificada que será la que constituirá el efluente de la unidad y, una fase con alto contenido de sólidos que será el lodo sedimentado, el cual luego se purgará. Es por esta razón que la identificación y comprensión de estos fenómenos, se vuelven fundamentales para generar mecanismos que permitan optimizar el funcionamiento de los CP.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados de este estudio, se encontró la presencia de dos fenómenos fundamentales que juegan un papel importante en la operación de los clarificadores primarios: corrientes de densidad y recirculaciones. Por esta razón, se sugiere que los aspectos a abordar para mejorar el desempeño de las unidades deben involucrar la inhibición o el favorecimiento de ellos. Se deben encaminar los estudios de optimización principalmente en la forma de la entrada y la ubicación de la tolva de lodos.

Con relación a la aplicación del software CFD, se encontró que se pueden alcanzar simulaciones confiables, constituyéndose como una herramienta valiosa para optimizar el desempeño de clarificadores primarios, en la medida en que permite estimar los efectos sobre la hidrodinámica y el proceso de sedimentación. Sin embargo se resalta, que por los alcances de este estudio, las simulaciones realizadas fueron condicionadas a una serie de simplificaciones y asunciones con el objetivo de facilitar la modelación, por lo que para evaluaciones de aspectos más específicos se requieren ajustes. A pesar de todo esto, y en concordancia con lo expuesto por van der Walt y Haarhoff (2000) los modelos concebidos con simplificaciones y aproximaciones permiten un conocimiento o mejoramiento de lo que sucede en la realidad.

Se identifica el beneficio del uso del CFD, para detectar potenciales fallas atribuidas a problemas hidráulicos tales como zonas muertas y cortos circuitos asociados con la presencia de recirculaciones, así como afectaciones en el desarrollo de la sedimentación. Se resalta la ventaja del uso de los modelos multifásicos para simular situaciones relacionadas con la interacción de agua y sólidos.

Referencias bibliográficas

Adams, E.W., Rodi, W. (1990). Modelling flow and mixing in sedimentation tanks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(7), 895-913.

- Anderson, J. D. (1995). Computational fluid dynamics. New York: McGraw-Hill.
- ANSYS. (2013). FLUENT 14.5 User's Manual.
- Bayr S., Rintala J. (2012). Thermophilic Anaerobic Digestion of Pulp and Paper Mill Primary Sludge and Co-Digestion of Primary and Secondary Sludge. *Water Research*, 46, 4713-4720.
- Brashear, R., Vitasovic, C., Johnson, C., Clinger, R., Rife, J., Lafitte, D., Nadi, O. (2003) Best Practices for the treatment of Wet Weather Wastewater flows. *Water Intelligence Online*, 2.
- Cable, M. (2009). *An Evaluation of Turbulence Models for the Numerical Study of Forced and Natural Convective Flow in Atria*. Doctoral dissertation, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.
- Das, S., Bai, H., Chunliang, W., Kao, J., Barney, B., Kidd, M., Kuettel M. (2016) Improving the performance of industrial clarifiers using three-dimensional computational fluid dynamics. *Engineering Applications of Computational FluidMechanics*, 10:1, 130-144.
- De Clercq, B. (2003) *Computational fluid dynamics of settling tanks: development of experiments and rheological, settling, and scraper submodels*. Ph.D Thesis, University of Ghent, Belgium.
- De Clercq, B., Vanrolleghem, P. (2002) Computational fluid dynamics in wastewater treatment. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent*, 67/4.
- Guan, X. H., Chen, G. H., Shang, C. (2005) Re-use of Water Treatment Works Sludge to Enhance Particulate Pollutant Removal from Sewage. *Water Research*, 39(15), 3433-3440.
- Krebs P., Stamou A.I., García-Heras J.L., Rodi W. (1996). Influence of inlet and outlet configuration on the flow in secondary clarifiers. *Wat. Sci. Tech.*, **34**(5-6), 1-9.
- Kobayashi, T., Yoda, M. (1987) Modified k- ϵ model for turbulent swirling flow in a straight pipe. *JSME international journal*, 30(259), 66–71.
- Kozic, Ristic, S., Puharic, M., Katavic, B. (2011) *Comparison of euler-euler and euler-lagrange approach in numerical simulation of multiphase flow in ventilation mill-air mixing duct*. Publicado en: Third Serbian Congress on Theoretical and Applied Mechanics, 5-8 July, Serbia.
- Mackenzie, D. L. (2010) Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice. Edición Profesional. McGraw-Hill. P. 1296.
- Marden, E., Bakker, A. (2003). Computational fluid mixing. Fluent Inc. Lebanon, New Hampshire, USA.
- Patel, G.N. (2010) *CFD Simulation of Two-Phase and Three-Phase Flows in Internal-Loop Airlift Reactors*. Master's thesis, Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology.
- Rulkens W. (2008). Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options. *Energy Fuel*, 22 (1), 9–15.
- Shih, T. H., Liou, W.W., Shabbir, A., Yang, Z., Zhu, J. (1995) A new k- ϵ eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows. *Computers & Fluids*, 24(3), 227–238.
- Shih, T. H., Povinelli, L.A., Liu, N. S. (2003) Application of generalized wall function for complex turbulent flows. *Journal of turbulence*, 4, 015.

Tiainen, J. (2014) *Modeling of liquid-solid Flow in industrial scale*. Master Thesis. Lappeenranta University of technology.

Tiehm A., Nickel K., Zellhorn M., Neis U. (2001). Ultrasonic Waste Activated Sludge Disintegration for Improving Anaerobic Stabilization. *Water Res.*, 35, 2003–9.

van Der Walt, M., Haarhoff. R. (2000) Is cfd an engineering tool or toy? *a reflection on the application of CFD in the south-african water industry*. Publicado en: WISA 2000 Biennial Conference, 28 May-June 1, Sun City, South Africa.

von Sperling, M. (2007) *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal: Biological Wastewater Treatment*. Volume 1. IWA Publishing. 308 p.

Weerasooriya, A. (2013). *Simulation of Flow in Sedimentation Tank Using Fluent*. Master Thesis, Telemark University College.

Wickleing E., Samstag, R. (2009) *Comparing Commercial and Transport CFD Models for Secondary Sedimentation*. Publicado en Water Environment Federation's Annual Technical Exhibition and Conference. Orlando, USA.

Zhang, D. (2014) *Optimize sedimentation tank and lab flocculation unit by CFD*. Master Thesis, Norwegian University of Life Sciences.

Zhou S., McCorquodale J. A. (1992) Influence of skirt radius on performance of circular clarifier with density stratification. *Int. J. Num. Meth. Fluids*, **14**, 919-934

4. Impactos actual o potencial:

El estudio permitió generar conocimiento científico relacionado con el desempeño de la clarificación primaria de agua residual, así como contribuyó con el fortalecimiento del uso de herramientas computacionales para optimizar procesos relacionados con el tratamiento de agua residual.

Con el modelo desarrollado se espera a futuro, plantear nuevas configuraciones de diseño y operación del Clarificador Primario, que permitan optimizar su desempeño, para disminuir significativamente la carga afluente al tratamiento secundario del agua residual doméstica. Esto traerá como consecuencia, la reducción de la envergadura del tratamiento secundario, sus costos de implementación y mantenimiento, las limitaciones operacionales que se presentan por los sólidos que logran llegar hasta esta etapa de tratamiento, y los costos de manejo y disposición del lodo producido.

5. Productos:

Tabla 1. Productos

Tipo de productos	Pactado	Presentado
Artículo (mínimo enviados para publicación) Q4	1	Pendiente
Vinculación de un estudiante con un proyecto de tesis de pregrado o trabajo de Investigación de Posgrado	1	1
Ponencias presentadas en eventos	1	Sometida, aceptada pero no fue presentada por falta de financiación
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación	1	Se presentó convocatoria a COLCIENCIAS

Tabla 2a. Detalle de productos

Tipo de producto:	Ponencia en evento internacional
Nombre General:	Presentación oral - 60° Congreso Internacional de ACODAL
Nombre Particular:	CFD Modeling of Primary Clarifiers: One Field Case
Ciudad y fechas:	Cartagena, 31 de mayo 1 y 2 de junio de 2017
Participantes:	Alonso Griborio, J. Alex McCorquodale, Jenny Rodríguez
Formas organizativas:	Grupo ECCA

Tabla 2b. Detalle de productos

Tipo de producto:	Propuesta proyecto de investigación
Nombre General:	745 CONVOCATORIA PARA PROYECTOS DE CTel Y SU CONTRIBUCIÓN A LOS RETOS DEPAIS 2016
Nombre Particular:	Acople entre la tecnología anaerobia y de microalgas para la valorización energética del efluente del proceso de extracción de almidón de yuca
Ciudad y fechas:	Junio de 2016
Participantes:	Jenny Rodríguez, Tatiana Mañunga, Nancy Vasquez
Formas organizativas:	Grupo ECCA



La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

*Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11,
con espacios de 1 1/2*



ACO-EC-CN-034-17
Bogotá D. C., 31 de marzo de 2017

Señora
JENNY A. RODRIGUEZ V.
UNIVERSIDAD DEL VALLE
Colombia

ASUNTO: CONFIRMACIÓN PRESENTACION TRABAJO TECNICO 60° CONGRESO DE ACODAL

Apreciada Jenny Rodriguez,

Este año el Clúster Vasco del Medio Ambiente – ACLIMA, el Catalán Water Partnership – CWP y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – ACODAL, se unen para la realización del 60° Congreso Internacional de ACODAL, considerado como el más importante congreso latinoamericano del sector de agua, saneamiento, residuos, ambiente y energías renovables. El evento se realizará en el hotel y centro de convenciones Las Américas de la ciudad de Cartagena el 31 de mayo 1 y 2 de junio de 2017.

El Congreso contará con ESPAÑA como país invitado de honor y la participación de los más reconocidos especialistas de los medios académicos, tecnológico, comercial, empresarial y financiero. A esta convocatoria participaran países aliados Alemania, Estados Unidos, Francia, Holanda e Israel, así como organizaciones como CONAMA, CWP, AWWA, OPS-OMS y WEF, invitados que garantizarán un evento de calidad excepcional.

Teniendo en cuenta la solicitud de Trabajo técnico, queremos confirmar que el comité académico ha aprobado el siguiente espacio:

- Nombre de la conferencia: Cfd modeling of primary clarifiers: case studies
- Conferencista: Alonso Griborio, J. Alex McCorquodale, Jenny Rodriguez
- Lugar y fecha: Nuevo horizonte 2, viernes 2 de junio de 14:20 a 14:40 horas

A continuación informamos los siguientes aspectos de importancia a tener en cuenta:

- El conferencista deberá realizar la inscripción en el siguiente enlace: <http://www.infoeventos.co/acodal2017/>, tipo de inscripción: Trabajo Técnico y deberá cancelar el valor de 1.070.000 pesos Colombianos IVA incluido. La inscripción cubre la participación en todas las actividades a desarrollarse durante los tres días del Congreso, certificados de asistencia, PONENCIAS, coctel, almuerzo y fiesta de integración. No incluye gastos de alojamiento, tiquetes o viáticos.
- Debe enviar la ficha de registro de PONENCIAS en formato Word, antes del 1 de abril al correo electrónico investigacion@acodal.org.co

www.acodal.org.co

Diagonal 60 # 22 - 20 Barrio San Luis, Bogotá - Colombia
PBX: (+571) 702 09 00 - Fax: (+571) 347 66 99 - 346 44 28 / E-mail: gerencia@acodal.org.co

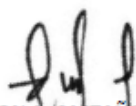




- Debe enviar la presentación, antes del 17 de abril al correo electrónico investigacion@acodal.org.co para que sea incluida en las memorias del evento.
- **METODOLOGÍA DE PRESENTACIÓN HÉROE PLAN.** Para que la PONENCIA sea más atractiva y memorable, sugerimos utilizar la metodología Héroe Plan, la cual que se enfoca en trabajar sobre tres actores principales: el villano, la víctima y el héroe. A manera de ejemplo, el villano podría ser una tecnología obsoleta, herramientas nada confiables o productos defectuosos; las víctimas los clientes frustrados, y el héroe una nueva tecnología que funciona correcta y eficazmente. Como conferencista deberá ponerse en el papel de un héroe quien con ayuda de sus súper poderes (servicios, productos etc...) y/o aliados (socios), tendrá la misión de salvar a una víctima en peligro (cliente, proyecto) de un súper villano (problemas). Su papel como héroe es usar sus poderes para contrarrestar los del villano.
- Presentarse el día del evento en el punto de registro para recibir la acreditación.
- Presentarse en la respectiva sala como mínimo 30 minutos antes de la hora programada de la PONENCIA.
- Llevar la presentación de la PONENCIA (PowerPoint, Prezi, video, pdf) y guárdala en el escritorio del computador dentro de la carpeta creada por el coordinador de sala.
- Cumplir el tiempo límite previsto para PONENCIA, el coordinador de la sala estará atento para controlar los tiempos.
- Al final de la PONENCIA se llevará a cabo una sesión de preguntas y respuestas sobre los temas abordados para la complementación de conceptos y aclaración de interrogantes, en la última diapositiva coloca tus datos de contacto.
- Consultar las últimas novedades y actualizaciones del evento en el micro sitio web: <http://www.acodal.org.co/60-congreso/inicio.html>

Cualquier información puede contactarme en Bogotá al: PBX: +571 7020 900, Celular: +57 310 884 8743 email: investigacion@acodal.org.co o vía skype: nelsonacc.

¡Nos vemos en Cartagena!



NELSON A. CASTAÑO CONTRERAS
Asesor – Director Académico

www.acodal.org.co

Diagonal 60 # 22 - 20 Barrio San Luis, Bogotá - Colombia
PBX: (+571) 702 09 00 - Fax: (+571) 347 66 99 - 346 44 28 / E-mail: gerencia@acodal.org.co



2/6/2016

Proyecto recibido



PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

[Generalidades](#) [Entidades del proyecto](#) [Entidad Representante](#) [Descripciones](#) [Palabras clave](#) [Cronograma](#) [Resultados](#)
[formación](#) [Resultados publicaciones](#) [Otros resultados](#) [Impactos](#) [Cobertura](#) [Regiones de impacto](#) [Tipo personal](#) [Personas](#)
[Presupuesto](#) [Resumen por rubros](#) [Presupuesto por entidad](#) [Presupuesto detallado](#) [Presupuesto global total](#)

Recuerde validar y enviar la información del proyecto a Colciencias

GENERALIDADES DEL PROYECTO

[Ir al menú](#)

Tipo de Proyecto	PROYECTO
Título	Acople entre la tecnología anaerobia y de microalgas para la valorización energética del efluente del proceso de extracción de almidón de yuca
Convocatoria	745- CONVOCATORIA PARA PROYECTOS DE CTeI Y SU CONTRIBUCIÓN A LOS RETOS DE PAIS - 2016
Programa	FOMENTO A LA INVESTIGACIÓN
Tipo de financiación	RECUPERACIÓN CONTINGENTE
Duración en meses	30
Investigador principal	Jenny alexandra Rodríguez CEDULA DE CIUDADANIA: 31939705
Lugar ejecución	CALI - Valle del Cauca
Dirección electrónica	rector@correounivalle.edu.c
Permisos y licencias o contratos requeridos	NO
Eje Temático	3. AGREGACIÓN DE VALOR A RECURSOS RENOVABLES Y NO RENOVABLES.
Línea Temática	3.5. Sistemas de generación localizada y distribuida de energía.
Sublínea Temática Principal	3.5.1 Procesos sostenibles para la generación de energía (Fuentes no convencionales de energía renovable).

ENTIDADES DEL PROYECTO (2)

[Ir al menú](#)

Nombre de la entidad	Rol
UNIVERSIDAD DEL VALLE	EJECUTOR
Universidad Santiago de Cali	COEJECUTOR



ACTUALIZACIÓN

ATENCION

El proyecto **Acople entre la tecnología anaerobia y de microalgas para la valorización energética del efluente del proceso de extracción de almidón de yuca** ha sido actualizado con éxito en el sistema. Recuerde que el número de confirmación con el que se ha actualizado es **58708**.

El proyecto se actualizó a las **3:18 PM** del **02/06/2016** con el código de verificación de envío **0F2A5AE2DF26FB6E632B1A08ACE994AB**. La aceptación del proyecto queda sujeta a la verificación de requisitos..

Gracias por enviar sus datos.