



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA CIVIL - HIDRÁULICA**

**APLICACIÓN DE UN MODELO NUMÉRICO (3D) A LA MODELACIÓN DEL  
COMPORTAMIENTO DEL SEDIMENTO EN LA TOMA Y DESCARGA DE UN  
RÍO A UN TANQUE SEDIMENTADOR**

**TESIS**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

**PRESENTA:**  
**MARIA ISABEL MONTOYA FREIRE**

**TUTOR:**  
**DR. JESUS GRACIA SANCHEZ**

**MÉXICO, D. F. MAYO 2013**

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Ramón Domínguez Mora  
Secretario: Dr. Carlos Escalante Sandoval  
Vocal: Dr. Jesús Gracia Sánchez  
1er. Suplente: Dr. Oscar Fuentes Mariles  
2 do. Suplente: M.I Víctor Franco

Lugar donde se realizó la tesis: Posgrado De Ingeniería, UNAM

**TUTOR DE TESIS:**

---

Dr. JESUS GRACIA SANCHEZ

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme alcanzar una meta más en mi vida, por las bendiciones y milagros diarios que me da.

A mi amada familia, a mis padres y a mis hermanos, por su amor y constante apoyo, por acompañarme siempre superando la barrera de la distancia; y sin quienes no hubiera podido culminar esta etapa.

A mis compañeros: Andrés, Angélica, Fernando, Gerardo, Jonathan, Jorge, Juan, Sandra y Víctor por los gratos momentos compartidos tanto dentro como fuera del aula de clase

A mis maestros del programa, por los conocimientos impartidos, las dudas resueltas. A los maestros miembros del jurado por las aportaciones brindadas a esta tesis. Mi agradecimiento especial al Dr. Jesús Gracia Sánchez, mi tutor, por su orientación, paciencia y apoyo en el desarrollo de este trabajo; y por sus valiosos consejos.

A la Senescyt, por la oportunidad brindada para mi formación profesional para bien de mi país, Ecuador.

## INDICE

### APLICACIÓN DE UN MODELO NÚMÉRICO (3D) A LA MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SEDIMENTO EN LA TOMA Y DESCARGA DE UN RÍO A UN TANQUE SEDIMENTADOR

RESUMEN .....	i
INTRODUCCION .....	ii
OBJETIVOS .....	iii
ALCANCE .....	iii
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
<b>2 REQUERIMIENTOS BÁSICOS PARA UN ESTUDIO DE SEDIMENTACIÓN .....</b>	<b>7</b>
2.1 Hidrología .....	7
2.2 Geología.....	7
2.3 Climatología.....	8
2.4 Topografía .....	8
2.5 Cobertura y uso del suelo .....	8
2.6 Información de sedimentos .....	8
2.7 Estructuras de retención de sólidos.....	9
2.7.1 Tipos de sedimentadores.....	10
2.7.1.1 Tanque sedimentador.....	11
<b>3 MODELACIÓN NUMÉRICA.....</b>	<b>15</b>
3.1 Tipos de modelos numéricos.....	15
3.1.1 Modelos unidimensionales .....	15
3.1.2 Modelos multidimensionales.....	16
3.1.2.1 Modelos bidimensionales .....	16
3.1.2.2 Modelos tridimensionales.....	16
3.2 SSIIM.....	17
3.2.1 Introducción .....	17
3.2.2 Cálculo del flujo de agua .....	19
3.2.2.1 Término Transitorio.....	19
3.2.2.2 Término Convectivo .....	19
3.2.2.3 Término de presión.....	20

3.2.2.4	Esfuerzo de Reynolds .....	22
3.2.2.4.1	Modelo k-ε.....	22
3.2.2.5	Cálculo del flujo de sedimentos.....	23
3.2.3	Aplicación del SSIIM al caso de estudio.....	25
3.2.3.1	Información de entrada .....	25
3.2.3.1.1	Geometría del problema.....	25
3.2.3.1.2	Datos de sedimento.....	26
3.2.3.1.3	Parámetros generales.....	28
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
4.1	Escenarios modelados .....	29
4.1.1	Condiciones iniciales.....	29
4.1.1.1	$D_{50} = 0.02$ mm.....	32
4.1.1.2	$D_{50} = 0.2$ mm.....	34
4.1.1.3	$D_{50} = 2$ mm.....	37
4.1.1.4	Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm.....	38
4.1.2	Escenario Condición de operación.....	44
4.1.2.1	$D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 29.50 m .....	44
4.1.2.2	$D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 59 m.....	45
4.1.2.3	$D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.50 m .....	45
4.1.2.4	$D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m.....	46
4.1.2.5	Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.50 m.....	47
4.1.2.6	Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m.....	48
4.1.3	Escenario Condición de limpieza .....	49
4.1.3.1	$D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 29.50 m .....	49
4.1.3.2	$D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 59 m.....	50
4.1.3.3	$D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.50 m .....	51
4.1.3.4	$D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m.....	51
4.1.3.5	Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.50 m.....	52
4.1.3.6	Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m.....	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>59</b>
	<b>APÉNDICE .....</b>	<b>62</b>

## TABLAS

Tabla 3-1	VARIABLES OBTENIDAS CON EL MODELO SSIIM.....	18
Tabla 3-2	GRANULOMETRÍA USADA EN EL MODELO.....	26
Tabla 3-3	VELOCIDADES DE CAÍDA PARA CADA DIÁMETRO DE PARTÍCULA DEL PROYECTO.....	28
Tabla 4-1	ESCENARIOS MODELADOS CON EL SSIIM.....	29
Tabla 4-2	RESUMEN DE VALORES DE CONCENTRACIONES POR VOLUMEN PARA LOS ESCENARIOS MODELADOS.....	54

## FIGURAS

Figura 1.1	ABRASIÓN POR ARENA EN LAS TURBINAS. PROYECTO HIDROELÉCTRICO CAHUA.....	5
Figura 2.1	TANQUE SEDIMENTADOR DE SECCIÓN RECTANGULAR.....	12
Figura 3.1	EJEMPLO DE MALLA ALTERNA.....	20
Figura 3.2	ALGORITMO SIMPLE.....	21
Figura 3.3	GEOMETRÍA DEL RÍO EN ESTUDIO.....	25
Figura 3.4	CURVA GRANULOMÉTRICA USADA EN EL MODELO.....	27
Figura 4.1	MALLA UTILIZADA PARA MODELACIÓN EN CONDICIONES INICIALES.....	30
Figura 4.2	VECTORES VELOCIDAD PARA EL CASO DE ESTUDIO.....	31
Figura 4.3	VECTORES VELOCIDAD EN LA SECCIÓN DE INICIO DEL CANAL DE DERIVACIÓN.....	31
Figura 4.4	VELOCIDAD VERTICAL $D_{50} = 0.02$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	32
Figura 4.5	VELOCIDAD HORIZONTAL $D_{50} = 0.02$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	33
Figura 4.6	NÚMERO DE FROUDE PARA $D_{50} = 0.02$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	33
Figura 4.7	CAMBIOS EN EL LECHO $D_{50} = 0.02$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	34
Figura 4.8	VELOCIDAD VERTICAL $D_{50} = 0.2$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	35
Figura 4.9	VELOCIDAD HORIZONTAL $D_{50} = 0.2$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	35
Figura 4.10	NÚMERO DE FROUDE $D_{50} = 0.2$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	36
Figura 4.11	CAMBIOS EN EL LECHO $D_{50} = 0.2$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	37
Figura 4.12	CAMBIOS EN EL LECHO $D_{50} = 2$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	38
Figura 4.13	VELOCIDAD VERTICAL GRANULOMETRÍA GRANULOMETRÍA $D_{50} = 0.2$ mm EN CONDICIONES INICIALES.....	39

Figura 4.14	Velocidad Horizontal Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm en condiciones iniciales .....	40
Figura 4.15	Número de Froude Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm en condiciones iniciales ..	40
Figura 4.16	Cambios en el lecho Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm en condiciones iniciales	41
Figura 4.17	Concentración $D = 0.42$ mm Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm en condiciones iniciales.....	42
Figura 4.18	Concentración $D = 0.149$ mm Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm en condiciones iniciales.....	42
Figura 4.19	Concentración $D = 0.074$ mm Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm en condiciones iniciales.....	43
Figura 4.20	Concentración $D = 0.045$ mm Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm en condiciones iniciales.....	43
Figura 4.21	Cambios en el lecho $D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 29.50 m Nivel Operación .....	44
Figura 4.22	Cambios en el lecho $D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 59 m Nivel Operación .....	45
Figura 4.23	Cambios en el lecho $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.5 m Nivel Operación.....	46
Figura 4.24	Cambios en el lecho $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m Nivel Operación .....	47
Figura 4.25	Cambios en el lecho Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.5 m Nivel Operación.....	48
Figura 4.26	Cambios en el lecho Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m Nivel Operación.....	49
Figura 4.27	Cambios en el lecho $D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 29.5 m Nivel de limpieza .....	50
Figura 4.28	Cambios en el lecho $D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 59 m Nivel de limpieza.....	50
Figura 4.29	Cambios en el lecho $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.5 m Nivel de limpieza .....	51
Figura 4.30	Cambios en el lecho $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m Nivel de limpieza.....	52
Figura 4.31	Cambios en el lecho Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.5 m Nivel de limpieza.....	53
Figura 4.32	Cambios en el lecho Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m Nivel de limpieza.....	54

## RESUMEN

La presencia de sedimentos, es de gran importancia en las obras hidráulicas para diferentes fines como abastecimiento de agua, la producción hidroeléctrica, riego, control de inundaciones, etc.

En el presente trabajo, se propone la aplicación del modelo numérico tridimensional SSIIM (Simulation of Sediment Movements In Water Intakes with Multiblock Option) desarrollado por la División de Ingeniería Hidráulica del Instituto de Tecnología Noruego durante 1990 a 1991, se ha optado por este modelo tanto por su precisión como por su facilidad de adquisición, pues es de uso libre. Para la aplicación de este modelo, se estudió un río del cual se deriva un caudal para producción hidroeléctrica; siendo por tanto el principal problema la presencia de sedimentos mayores a 0.2 mm.

Con el SSIIM, se estudió el comportamiento de sedimentos sólidos con diámetros 0.02, 0.2 y 2 mm además de una granulometría con  $D_{50} = 0.2$  mm, ya que este programa de cómputo dentro de sus capacidades presenta las velocidades tanto horizontales como verticales, el número de Froude y los patrones de depósito y erosión; entre otros.

Una vez que se conoce los lugares proclives a depósito, se planteó la ubicación de una estructura de retención; en este caso de un tanque sedimentador. Para esta estructura, se evaluaron dos áreas de sedimentación diferentes, tanto para condición de operación como de limpieza, con el fin de estudiar el cambio en el patrón de asentamiento de los sedimentos, siendo el de mayor atención el correspondiente a 0.2 mm por la abrasión que puede causar al equipo mecánico en una central hidroeléctrica.

## INTRODUCCION

Entre los aspectos relacionados con la presencia de sedimentos en proyectos hidroeléctricos se considera, la disminución de la conductividad hidráulica hacia la turbina y de la capacidad de almacenamiento del embalse, la afectación a los equipos mecánicos con la consecuente disminución en la producción

En el presente estudio, el proceso erosivo que producen los sedimentos, constituye la principal dificultad a atender ya que los efectos de abrasión causan inconvenientes en la eficiencia de las turbinas; y más aún con el incremento de carga, lo que representa una constante demanda de labores de mantenimiento conllevando altos costos de operación. Este fenómeno erosivo en las turbinas es complicado, y depende de elementos como tamaño, dureza, concentración, velocidad del agua y propiedades del material base (Prasad, 2010). Algunos ejemplos de proyectos afectados por la erosión, son las plantas hidroeléctricas de Jhimruk en Nepal (1999), Cahua en Perú (2009). Con estos antecedentes, es ineludible la necesidad de estructuras de retención de sedimentos siendo los sedimentadores los más usados con este fin.

A fin de entender el comportamiento de los sedimentos, es indispensable el estudio del transporte de sedimentos. Éste es aleatorio y depende de factores como, el tamaño, forma, gravedad específica del sedimento como de la velocidad del flujo; y profundidad del tramo de río de interés.

El desempeño de una obra hidráulica, puede ser monitoreado por modelos físicos y numéricos. Siendo los primeros los de más costo y de mayor tiempo de ejecución; en el caso del presente trabajo existe limitación de un modelo físico además del costo, en la representación de diámetros menores a 0.2 mm; y en el tiempo ya que la sedimentación es un proceso lento de ahí que la modelación numérica constituye de gran ayuda para la ingeniería hidráulica.

En la actualidad, gracias a la tecnología, la modelación numérica ha alcanzado un vertiginoso avance desarrollando nuevos procedimientos de solución como la dinámica de fluidos computacional permitiendo mediante la aplicación de métodos numéricos solucionar las ecuaciones que permiten una abstracción de procesos como el caso del transporte de sedimentos.

## **OBJETIVOS**

Dentro de los objetivos de esta tesis están:

- Evaluar el comportamiento del modelo numérico tridimensional SSIIM (Simulation of Sediment Movements In Water Intakes with Multiblock Option) desarrollado por la División de Ingeniería Hidráulica del Instituto de Tecnología Noruego durante 1990 a 1991 para simular la derivación de agua y sedimento de un río.
- Analizar el comportamiento de diferentes diámetros y granulometrías de sedimentos en los niveles de operación y limpieza.
- Observar la influencia del ancho de sedimentación en el depósito de sedimentos.

## **ALCANCE**

El alcance de esta tesis incluye:

- Aplicar el modelo numérico tridimensional SSIIM al estudio del depósito de sedimentos en un río.
- Estudiar la influencia del ancho del área de sedimentación, para lo cual se propusieron dos anchos: 29.50 y 59 m; y se estudiaron diferentes diámetros representativos.



## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio del transporte de sedimentos es un fenómeno complicado, ya que depende de las propiedades de las partículas sólidas y del agua. En el caso del arrastre de fondo está relacionado con las propiedades hidráulicas del cauce y de las propiedades físicas de la partícula arrastrada; mientras que, la carga de material suspendido sólo de las propiedades del río.

La presencia de sedimento en un río; está asociado además a características de la cuenca de aportación, como el tiempo de respuesta al escurrimiento, la vulnerabilidad del suelo a la erosión, entre otras. Junto a estas condiciones naturales, si existe intervención antrópica en el cauce con obras que interfieran al libre curso natural como las presas y puentes, conduce a incrementar la variabilidad en el patrón de erosión o depósito de sedimentos.

En el caso de los proyectos hidroeléctricos, los principales problemas de sedimentación se dan en el embalse, reduciendo su capacidad de almacenamiento decreciendo su eficiencia de generación, llegando en algunos casos a inhabilitar totalmente el embalse. El equipo mecánico de estas centrales, también puede verse afectado por los sedimentos, estos en muchos casos causan abrasión sobre las turbinas.

Debido a que el enfoque de este trabajo está relacionado con los problemas inherentes a los sedimentos, no se han considerado los daños que se producen por la cavitación.

En la Figura 1.1, se muestran los daños ocasionados a las turbinas del proyecto hidroeléctrico Cahua en Perú.



**Figura 1.1** Abrasión por arena en las turbinas. Proyecto Hidroeléctrico Cahua

Fuente: Sediment Erosion in Hydraulic Turbines, Noviembre 2011

Debido a que la gran mayoría de los flujos que se presentan en la naturaleza son del tipo turbulento, caracterizado por la aleatoriedad del movimiento de sus partículas; es necesario considerar los efectos de la turbulencia.

La turbulencia, es una propiedad del flujo que afecta la resistencia a la fricción, la transmisión de calor y la capacidad de mezcla; y que contribuye al aumento del transporte de masa, cantidad de movimiento y energía produciendo efectos difusivos. Estas características, constituyen un factor importante por lo cual deben ser consideradas.

Este efecto de la turbulencia, junto a las características intrínsecas de los sedimentos e hidráulicas del cauce, trae como consecuencia que las ecuaciones que puedan modelar este comportamiento sean de gran complejidad para resolver. Las ecuaciones de Navier Stokes, son las usadas en la hidrodinámica para la modelación de este tipo de problemas.

En la actualidad, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías informáticas, se han desarrollado nuevas disciplinas como la dinámica de fluidos computacional que combina la mecánica de fluidos con los métodos numéricos para la resolución de ecuaciones mediante su discretización de variables.



En el desarrollo de la presente tesis, se pretende resolver el transporte de sedimentos a través de un tramo de río; y estudiar el cambio del comportamiento del patrón de depósito y erosión frente a una estructura de retención; con el objetivo de evitar el ingreso de material superior a 0.2 mm a las turbinas.

Entender cómo se logra el equilibrio dinámico del flujo de sedimentos aguas arriba y la capacidad para transportarlos de un río, es relevante para el campo de la ingeniería fluvial para optimizar el diseño, operación y mantenimiento de las estructuras hidráulicas (U.S Bureau of Reclamation, 2006).



## 2 REQUERIMIENTOS BÁSICOS PARA UN ESTUDIO DE SEDIMENTACIÓN

El presente capítulo procura ser una guía de los requisitos básicos indispensables para realizar un estudio de sedimentación. Adicionalmente al final de este capítulo, se presenta la solución más comúnmente empleada para la retención de sedimentos, el tanque sedimentador.

### 2.1 Hidrología

Uno de los parámetros de entrada en cualquier modelo numérico hidráulico es la información concerniente a los caudales, de ahí que es imperativo conocer como es el régimen de precipitación y escurrimiento pues estas variables están ampliamente relacionadas con el transporte de sedimentos. Adicionalmente es recomendable contar con la información de la intensidad de lluvia, pues se sabe que en casos de un suelo propenso a la erosión, la energía con que caen las gotas produce sedimentos por erosión (Morris, 1998).

Las características fisiográficas de la cuenca de aportación, son también indispensables, parámetros como la pendiente media de la cuenca y el orden de los cauces dan un acercamiento de la respuesta de ésta al escurrimiento, la densidad de drenaje ayuda al conocimiento de cómo se transporta el sedimento; ya que dependiendo de la longitud de los cauces el sedimento puede ser depositado antes de llegar a un tramo principal.

### 2.2 Geología

Conocer la litología del lugar, permite saber las características de las rocas existentes, tamaño y constitución de sus partículas, composición mineralógica dando una idea de su capacidad de transporte y sedimentación.



### **2.3 Climatología**

Las condiciones climatológicas del sitio de estudio como tipos de clima, humedad atmosférica, evaporación y temperatura, son relevantes. En el caso de la temperatura, se ha observado que en masas de agua de mediana profundidad se dan procesos de estratificación debido a los cambios en la densidad del fluido por el gradiente de temperatura y sólidos suspendidos. La estratificación, es frecuente en el caso de embalses.

### **2.4 Topografía**

Las características topográficas del cauce, son imprescindibles dado que definen el área de transporte de los sedimentos.

Es requerida la información batimétrica, altimétrica y planimétrica de manera que se pueda obtener una acertada idea de la forma del cauce, la zona de las llanuras de inundación. Dentro de esta información es valioso contar con los niveles de crecidas máximas observadas.

### **2.5 Cobertura y uso del suelo**

A partir de la información de la cobertura y uso del suelo, se puede proyectar si se producirá algún efecto erosivo en las márgenes de los cauces. Un suelo con susceptibilidad a la erosión, aportará de sedimentos en el cauce.

### **2.6 Información de sedimentos**

Además de la información de caudales para un estudio de sedimentos, sin dudar las características de los sedimentos es otro punto importante.



Entre las propiedades necesarias figuran el tamaño, parámetro importante para conocer como es su comportamiento, generalmente representado por diámetro medio ( $D_{50}$ ) en el caso de una granulometría. La forma de la partícula que mide la esfericidad de ésta, la redondez relacionada con la abrasión de la partícula a los equipos mecánicos. También es recomendable conocer el contenido mineralógico y el peso específico del sedimento.

La velocidad de caída de la partícula es el primer determinante del comportamiento del sedimento en el fluido (Morris, 1998). Este parámetro está en función de las características del sedimento: tamaño, forma y densidad; y de las características del flujo: temperatura, salinidad, concentración del sedimento que afecta a la viscosidad y densidad del flujo; y finalmente su velocidad ya que cuando se presenta la turbulencia las partículas se encuentran suspendidas y cuando no se produce movimiento éstas tienden a asentarse. (Morris, 1998).

Sí existen registros de muestreos realizados de material en suspensión y del material grueso para temporada de avenidas, es muy útil ya que la carga de sedimento que se puede obtener dará idea del transporte de sedimento en el cauce de estudio.

## **2.7 Estructuras de retención de sólidos**

Para la remoción de parte de los sedimentos, es necesaria la implementación de ciertas estructuras que ayudan con esta función permitiendo dependiendo del caso mantener la capacidad hidráulica de un cauce (abastecimiento, irrigación), reducir la abrasión de las turbinas (proyectos hidroeléctricos), entre otros.



### 2.7.1 Tipos de sedimentadores

Los sedimentadores, pueden ser clasificados atendiendo a dos características importantes en su funcionamiento: La manera en que retienen los sedimentos y la velocidad del flujo.

Por la manera que se retienen los sedimentos, hay tres tipos de sedimentadores: Continuos, Intermitentes; y Mixtos. Los primeros se caracterizan porque ocurre la sedimentación y la evacuación simultáneamente mediante el control de la velocidad al interior la cual es baja para permitir el depósito de sedimento en el fondo de la estructura. El material depositado, es removido mediante lavado por lo que es necesario considerar entre 20 y 30% adicional al caudal de diseño del sedimentador. En los sedimentadores intermitentes el agua permanece en reposo dentro de la estructura hasta lograr que se asienten las partículas, las cuales son removidas posteriormente limpiando el fondo del sedimentador. Finalmente los mixtos son básicamente continuos con capacidad de almacenamiento como los intermitentes la cual es aprovechada durante sequías y en tiempo de crecidas funcionan de manera continua.

De acuerdo a la velocidad horizontal del flujo, los sedimentadores puede ser de alta, baja velocidad; y mixtos. En los primeros, la velocidad del flujo es suficiente para remover los sedimentos; tienen la ventaja de requerir poca área y mantenimiento. Los sedimentadores de baja velocidad, retienen sedimentos fomentando el asentamiento de las partículas para lo cual se requiere desacelerar el flujo. Los tipo mixto combinan en serie sedimentadores de baja y alta velocidad, realizando doble operación de retenimiento de sedimentos.

En el presente trabajo, se propone el uso de un sedimentador de baja velocidad como los son los tanques sedimentadores.



### 2.7.1.1 Tanque sedimentador

Para el diseño del tanque sedimentador propuesto se considera la teoría de la sedimentación simple presentada por Mosonyi, la cual no considera la turbulencia más allá de proponer un efecto retardador de ésta; y asume que:

- No existe materiales depositados por procesos erosivos o de re-suspensión.
- El flujo a través del tanque es permanente y uniforme.
- Las partículas de sedimentos se asientan con una velocidad constante a través del tanque.
- Otro punto a considerar en el diseño de un tanque sedimentador es principalmente, la velocidad de caída de la partícula; la que está en función de la densidad de la partícula, tamaño y forma, la concentración; y la temperatura del agua.

La velocidad de asentamiento dentro de la cámara, está en función del diámetro de la partícula a retener y viene dada por la ecuación:

$$V = a\sqrt{d} \quad 2-1$$

Donde

- |   |   |
|---|---|
| V | Velocidad del flujo (m/s)   |
| d | Diámetro de la partícula de sedimento que se quiere remover (mm)  |
| a | Constante que depende del diámetro (d) de la partícula de sedimento.<br>0.36 (d>1 mm), 0.44 (0.1 mm < d < 1mm), 0.51 (d < 0.1 mm) |



Aplicando la teoría de sedimentación simple a un tanque de sección rectangular Figura 2.1; y suponiendo que la velocidad media del flujo en la sección transversal es constante y uniforme se tiene que

$$V = \frac{Q}{BD} \quad 2-2$$

Donde

- V Velocidad media del flujo (m/s)
- Q Caudal de entrada al tanque (m<sup>3</sup>/s)
- B Ancho de la sección rectangular (m)
- D Profundidad del tanque sedimentador (m)

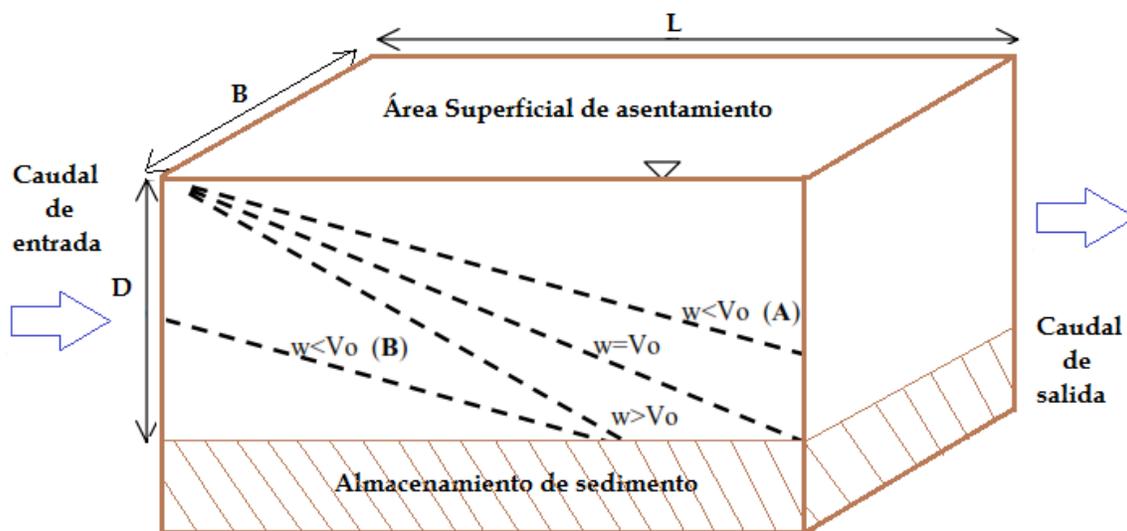


Figura 2.1 Tanque sedimentador de sección rectangular

Sí además se considera el tiempo de asentamiento de la partícula (t)

$$t = \frac{D}{w_t} \quad 2-3$$

Donde

- $w_t$  Velocidad caída de la partícula (m/s)



La longitud del tanque (L) viene expresada por:

$$L = V \cdot t \quad 2-4$$

Igualando el tiempo en las ecuaciones 2-3 y 2-4, se obtiene que:

$$\frac{D}{w_t} = \frac{L}{V} \quad 2-5$$

Combinando la 2-5 con la 2-2

$$L = \frac{DV}{w_t} \quad 2-6$$

Además de obtener la relación

$$w_t = \frac{Q}{BL} = \frac{Q}{A} = V_o \quad 2-7$$

Donde

- Vo Velocidad de sedimentación teórica con que serán removidas las partículas (m/s)
- A Área superficial de asentamiento (m<sup>2</sup>)

Este parámetro es importante ya que da un indicativo de si la partícula se asentará o no. En la Figura 2.1 se observan las diferentes trayectorias que pueden darse dentro del tanque, si la velocidad de caída ( $w_t$ ) es igual o mayor a  $V_o$  la partícula sedimenta, si  $w_t$  es menor a  $V_o$  pueden ocurrir dos situaciones; no se depositarán (A) o alcanzarán la zona de depósito (B).

Existen recomendaciones para el buen desempeño del tanque sedimentador tales como:



- En caso de sedimentadores continuos el caudal usado para remoción de sedimentos salida es recomendable sea el 20 o 30% del caudal de entrada. el porcentaje restante permanece en movimientos dentro del sedimentador
- El ángulo de ingreso al tanque debe variar en el rango de 10-12°
- Relación L/B debe variar entre 8 y 10

Para corregir las dimensiones del tanque sedimentador, considerando la “Teoría del efecto retardador de la turbulencia” propuesta por varios investigadores, citada por Mosonyi, establece que mientras el agua está en movimiento hay una velocidad horizontal que propende a retrasar el descenso de la partícula, ralentizando consecuentemente su decantación. Las ecuaciones propuestas, se describen a continuación:

$$w_t = \frac{Q}{BL} = \frac{Q}{A} = V_o \quad 2-8$$

$$\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{D}} \quad 2-9$$

$$w'_t = \alpha V \quad 2-10$$

La longitud del tanque sedimentador, considerando el efecto de la turbulencia viene dada por

$$L = \frac{DV}{w_t - w'_t} \quad 2-11$$

Se recomienda verificar que se cumpla la variación de la relación (L/B) entre 8 y 10, con valor mínimo de 4.



### 3 MODELACIÓN NUMÉRICA

La elección de un determinado modelo hidráulico está en función del problema que se plantea resolver, la información disponible; y la precisión de los resultados a obtener. En la modelación hidráulica se debe considerar además, la dimensionalidad del problema; y la forma de solución de las ecuaciones usadas en el modelo.

Para la solución del problema de transporte de sedimentos propuesto, es necesario que el modelo numérico escogido sea capaz de modelar el comportamiento del sedimento, para lo que es deseable incluya módulos de turbulencia y de solución de la ecuación de difusión – advección para transporte de carga suspendida.

Una breve descripción de algunos modelos hidráulicos existentes se presenta a continuación; acorde a su dimensionalidad.

#### 3.1 Tipos de modelos numéricos

##### 3.1.1 Modelos unidimensionales

Los modelos unidimensionales fueron los primeros en ser realizados, considerando dos condiciones: un valor medio de la velocidad, por tanto descartando variaciones horizontales como verticales; y que la dirección del flujo es perpendicular a la sección transversal.

Los modelos unidimensionales son recomendables en análisis de ríos y canales de gran longitud. Entre los más conocidos destacan: Hec Ras, Mike 11, ISIS.



### 3.1.2 Modelos multidimensionales

Dentro de los programas multidimensionales se consideran los bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D).

#### 3.1.2.1 Modelos bidimensionales

Este tipo de modelos hace la consideración de que la velocidad en la dirección vertical tiene un valor único, el cual se obtiene del promedio de las variaciones de ésta.

Por la consideración expuesta, generalmente este tipo de modelos es usado para variaciones verticales mínimas por lo que son conocidos como modelos de aguas someras. Entre los más conocidos en este campo figuran: Mike 21, Telemac 2D, e Iber.

#### 3.1.2.2 Modelos tridimensionales

Entre estos tipos de modelos, se distinguen dos tipos: los que se caracterizan por asumir condiciones promediadas en profundidad; y los totalmente 3D.

La diferencia entre estos dos tipos de modelos 3D es la forma de solución de la ecuación de Navier – Stokes, los modelos que suponen una distribución hidrostática constante dan resultados en la dirección horizontal; mientras que los totalmente 3D, resuelven tanto en la dirección horizontal como vertical. Entre los modelos numéricos tridimensionales más conocidos están el SSIIM, Flow 3D y Delft-3D

Dentro de los modelos mencionados, se escogió el modelo SSIIM para el desarrollo del presente trabajo, por su disponibilidad ya que es un modelo gratuito, que ofrece la posibilidad de resolución de las ecuaciones de Navier Stokes; y finalmente



por la apertura de su código, lo que facilita en caso de requerirse la creación de nuevos requerimientos.

## 3.2 SSIIM

### 3.2.1 Introducción

SSIIM (Simulation of Sediment Movements In Intakes with Multiblock Option) es un modelo numérico tridimensional desarrollado por la División de Ingeniería Hidráulica del Instituto de Tecnología Noruego durante 1990 a 1991, cuyo primer objetivo fue la simulación del transporte de sedimentos en ríos y canales geométricos.

La principal fortaleza del SSIIM es la de modelar el transporte de sedimentos en lechos móviles usando diferentes tipos y tamaños de sedimento, cargas de fondo y suspendida, formas de lecho y pendientes del cauce.

El programa resuelve las ecuaciones de Navier – Stokes tridimensionalmente, las que son discretizadas mediante la aplicación del método de volumen de control y del esquema de ley de potencia (Power Law). El método SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) se usa para la corrección del término de la presión; aplica además un esquema implícito para la obtención del campo de velocidades, las que luego son usadas para resolver las ecuaciones de convección – difusión para diferentes tamaños de partículas, obteniendo así la eficiencia de remoción y el patrón de depósito de sedimentos.

Existen dos versiones del modelo: SSIIM 1 que trabaja con mallas estructuradas y el SSIIM 2 para mallas no estructuradas. El desarrollo del presente trabajo, fue realizado con la primera versión.



Dentro de las limitaciones del programa, está que no puede ser usado para ambientes marinos.

Los resultados que se pueden obtener realizando una modelación con el SSIIM, se enlistan en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1 Variables obtenidas con el modelo SSIIM**

Variables	
Vectores velocidad	Niveles de agua
Velocidad horizontal y vertical	Número de Froude
Presión	Promedio Velocidad – Profundidad
Energía cinemática turbulenta	Rugosidad
Epsilon	Esfuerzos Cortantes en el lecho
Viscosidad turbulenta horizontal y vertical	Espesor sedimento en el lecho
Esfuerzos de Reynolds	Concentración de sedimentos (por diámetro)
Profundidad	Espesor de capa activa de sedimentos
Cambios en el lecho	Parámetros de calidad de agua

Adicional a estas variables, SSIIM genera un archivo de resultados (result file) donde incluye el número de iteraciones realizadas hasta converger, las velocidades en las tres dimensiones, los parámetros  $k$  y  $\epsilon$  considerados, la presión, los flujos en las paredes de las celdas de la malla. Esta información es usada para el cálculo de la concentración de sedimentos para generar un archivo adicional de resultados (conres file).

En los numerales siguientes, se describen brevemente las ecuaciones usadas por el SSIIM para el cálculo del flujo de agua y sedimentos.



### 3.2.2 Cálculo del flujo de agua

La mayoría de los fluidos que se presentan en el campo de la ingeniería, son de tipo turbulento, caracterizados por movimientos irregulares y aleatorios en los cuales la velocidad y presión cambia continuamente en espacio y tiempo. De ahí la necesidad de contar con ecuaciones que consideren la turbulencia. Las ecuaciones promediadas de Navier Stokes, consideran este efecto con el término de esfuerzo de Reynolds; y son expresadas por

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (-P\delta_{ij} - \rho \overline{U_i U_j}) \quad 3-1$$

Los términos representados en esta ecuación son, en orden de izquierda a derecha, el término transitorio, convectivo, de presión y el esfuerzo de Reynolds.

Dada la dificultad para resolver estas ecuaciones, se requiere el uso de métodos numéricos mediante la aplicación de esquemas.

#### 3.2.2.1 Término Transitorio

En el algoritmo predeterminado del SSIIM este término no se considera a menos que se quiera realizar cálculos a través del tiempo, para lo cual es necesario indicar los niveles de agua y la descarga en diferentes momentos.

#### 3.2.2.2 Término Convectivo

Para la discretización del término convectivo se aplica el esquema de ley de potencia o esquema de segundo orden "upwind". Los esquemas de este tipo, son descentrados e incorporan las propiedades del fenómeno físico, suponiendo que, la información viaja a lo largo de las líneas características de modo que los puntos



envueltos en las derivadas espaciales contengan al dominio; para lo cual se usan derivadas espaciales tanto hacia adelante como hacia atrás.

### 3.2.2.3 Término de presión

Mediante la aplicación del algoritmo SIMPLE, se consigue discretizar este término. Este algoritmo cuyo nombre corresponde a las siglas de “Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations”, fue propuesto por Patankar y Spalding (1972); y propone la cuantificación del flujo convectivo a través de las celdas de una malla por la evaluación de las componentes de la velocidad.

El tipo de malla usada en este algoritmo, es de tipo alterna, esto conlleva que las variables: Presión, densidad, etc. son concentradas en el centro de cada celda unitaria de la malla; mientras que las variables: Velocidad y momento están ubicada en las caras de las celdas. Este tipo de mallas es usado para la modelación de flujos compresibles e incompresibles. En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de esta malla.

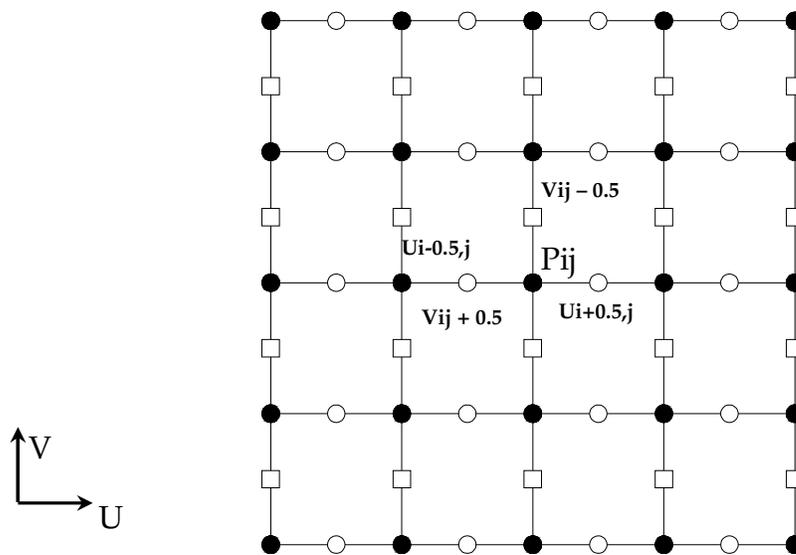


Figura 3.1 Ejemplo de malla alterna



El algoritmo SIMPLE, se resume en el diagrama de flujo de la Figura 3.2.

Para la resolución de las ecuaciones de Navier Stokes por métodos iterativos por su característica no lineal, es necesario introducir un término de relajación que ayude a controlar las variaciones que se producen entre iteraciones.

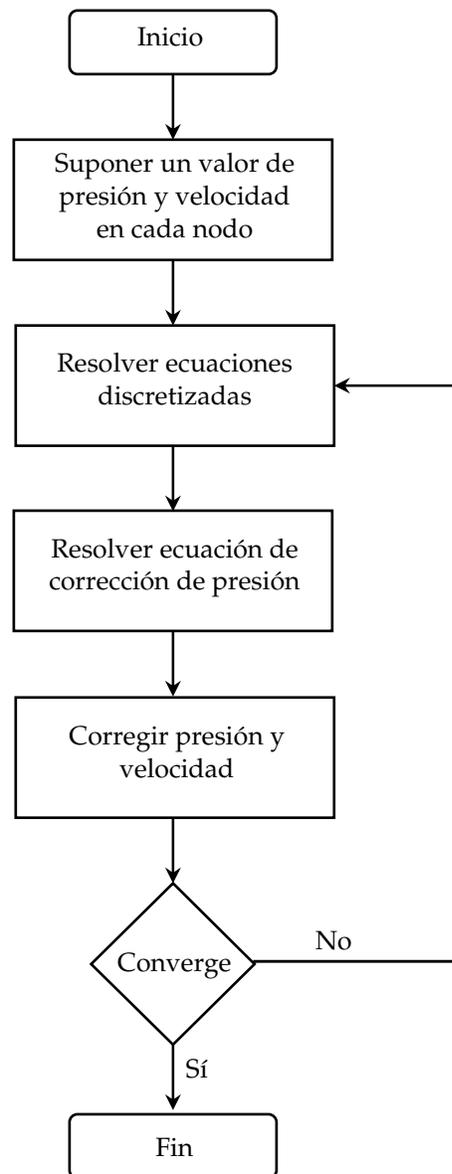


Figura 3.2 Algoritmo SIMPLE



### 3.2.2.4 Esfuerzo de Reynolds

La discretización de este término, se la realiza con la aproximación de Boussinesq que plantea una relación lineal entre los tensores de esfuerzos de Reynolds y los gradientes de velocidad a través de la viscosidad turbulenta.

$$-\overline{u_i u_j} = V_t \left( \frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad 3-2$$

A partir de esta ecuación, surge una nueva interrogante que es la definición de la viscosidad turbulenta. El modelo predeterminado en SSIIM es el k-ε que será brevemente explicado.

#### 3.2.2.4.1 Modelo k-ε

Este modelo fue desarrollado por Launder y Spalding (1974) y utiliza la energía cinética del flujo (k) y el porcentaje de disipación de la energía cinética, resultado del trabajo realizado por los remolinos más pequeños en contra del esfuerzo viscoso (ε).

La viscosidad turbulenta es calculada por

$$V_T = c_\mu \frac{k}{\varepsilon} \quad 3-3$$

k es la energía cinética turbulenta, definida por

$$k = \frac{1}{2} \overline{U_i u_i} \quad 3-4$$

k es modelada con la ecuación



$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon \quad 3-5$$

Donde  $P_k$  está dada por

$$P_k = \nu_T \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \left( \frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \quad 3-6$$

La disipación de  $k$  se conoce como  $\varepsilon$ , y se modela con la ecuación

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k + C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} P_k \quad 3-7$$

Los valores de las constantes para el modelo  $k - \varepsilon$  son  $c_\mu = 0.09$ ,  $C_{\varepsilon 1} = 1.44$ ,  $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ ,  $\sigma_k = 1.0$ ; y  $\sigma_\varepsilon = 1.3$

### 3.2.2.5 Cálculo del flujo de sedimentos.

El transporte de sedimentos en corrientes se puede dar de 2 maneras: en suspensión y por arrastre de fondo. Las partículas más finas que viajan en suspensión, se las conoce como carga de suspensión. Por otra parte aquellas partículas de mayor tamaño que son transportadas por arrastre a lo largo del fondo del cauce, se denominan arrastre de fondo.

Para el cálculo del transporte es necesario ingresar en SSIIM, por diámetro de partícula, el porcentaje de éste, su velocidad de caída y su carga; éste último valor puede ser ingresado como flujo de peso ( $\text{Kg}_f/\text{s}$ ) o como concentración en términos del volumen.

La cuantificación de la carga suspendida se calcula con la ecuación de convección – difusión para la concentración de sedimentos.



$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial c}{\partial x_j} \left( \Gamma_T \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) \quad 3-8$$

Donde  $c$  es la concentración de sedimentos,  $w$  es la velocidad de caída de las partículas,  $U$  es la velocidad del agua,  $x$  es dimensión y  $\Gamma$  es la difusividad turbulenta, y está definida como:

$$\Gamma = \frac{V_T}{Sc} \quad 3-9$$

En la cual  $V_T$  es la viscosidad turbulenta y  $Sc$  es el Número de Schmidt.

La concentración de la carga suspendida se calcula con la ecuación de Van Rijn (1987)

$$c = 0.015 \frac{d^{0.3} \left[ \frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right]^{1.5}}{a \left[ \frac{(\rho_s - \rho_w)g}{\rho_w v^2} \right]^{0.1}} \quad 3-10$$

Donde  $d$  es el diámetro,  $a$  la altura de la rugosidad,  $\tau$  el esfuerzo cortante del lecho (Curva de Shields),  $\rho_w$  densidad del agua,  $\rho_s$  densidad del sedimento,  $v$  viscosidad del agua; y finalmente  $g$  la aceleración de la gravedad.

La carga suspendida se obtiene con la ecuación de Van Rijn's

$$\frac{q_b}{D_{50}^{1.5} \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_w)g}{\rho}}} = 0.053 \frac{\left[ \frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right]^{2.1}}{D_{50}^{0.3} \left[ \frac{(\rho_s - \rho_w)g}{\rho_w v^2} \right]^{0.1}} \quad 3-11$$

### 3.2.3 Aplicación del SSIIM al caso de estudio

#### 3.2.3.1 Información de entrada

Dentro de la información de entrada requerida para la ejecución del modelo, está la relacionada con la geometría del problema a estudiar, las condiciones hidráulicas en las fronteras; y la información de sedimentos.

##### 3.2.3.1.1 Geometría del problema

Para la generación de la malla se contó con la topografía del río a estudiar, el cual fue dividido en 34 secciones transversales; cada una de las cuales se dividió a su vez en 30 secciones longitudinales.

En la Figura 3.3 se presenta la malla a ser usada para la modelación en SSIIM.

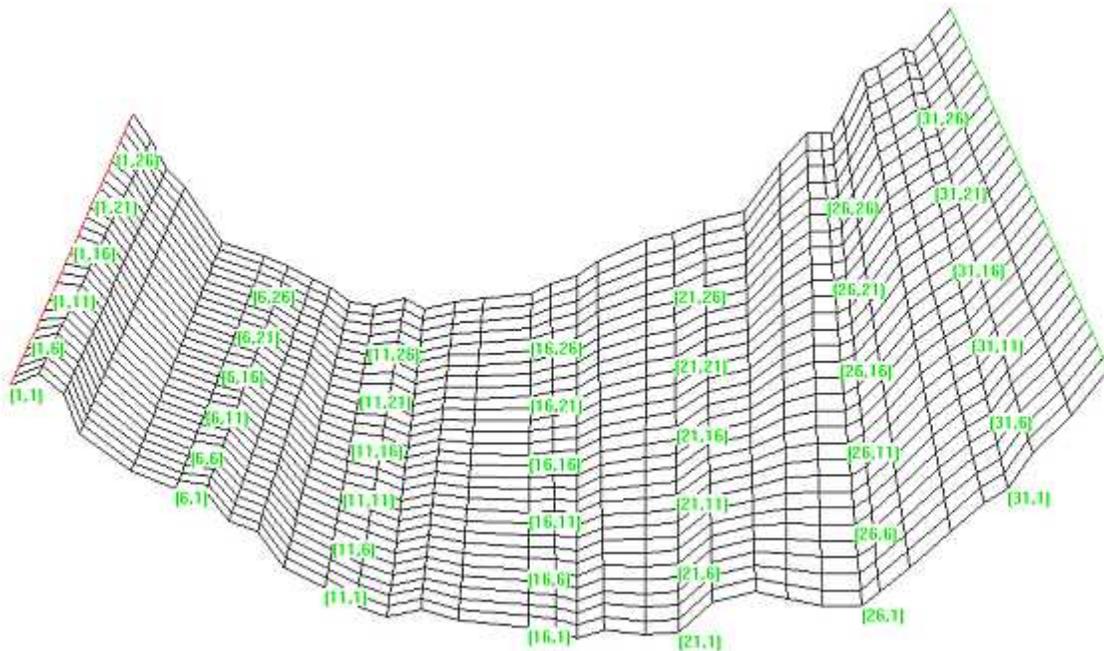


Figura 3.3 Geometría del río en estudio.

El ingreso de los puntos  $x,y$  y  $z$  que conforman la malla, se realiza en el archivo `koordinata` junto con su respectiva identificación del punto.



### 3.2.3.1.2 Datos de sedimento

Para la ejecución del modelo en SSIIM se trabajó con los diámetros representativos  $D_{50}$  0.02, 0.2 y 2 mm, además de una granulometría cuyo  $D_{50}$  es 0.2 mm. Esta elección de diámetro se debe a que se pretendió conocer el comportamiento del sedimento en las dos condiciones de ingreso es decir, sólo ingresando un diámetro y como mezcla de diámetros (granulometría). Se hace hincapié en este  $D_{50}$  de 0.2 mm ya que en la bibliografía consultada se considera como crítico para las turbinas. En la Tabla 3-2, se muestra la granulometría usada.

Tabla 3-2 Granulometría usada en el modelo

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso retenido Acumulado (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
4	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
10	2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
40	0.42	98.95	98.95	14.10	14.10	85.90
100	0.149	365.63	464.58	52.10	66.20	33.80
200	0.074	91.93	556.51	13.10	79.30	20.70
320	0.045	14.74	571.25	2.10	81.40	18.60
Fondo		130.53		18.60	100.00	0.00
Total		701.78				

En la Figura 3.4 se presentan las curvas granulométricas. A partir de esta curva, se conoce el porcentaje retenido por diámetro, valor que es ingresado en el programa. La densidad del sedimento se consideró de  $2650 \text{ kg/m}^3$ , con un coeficiente de Shields de 0.047

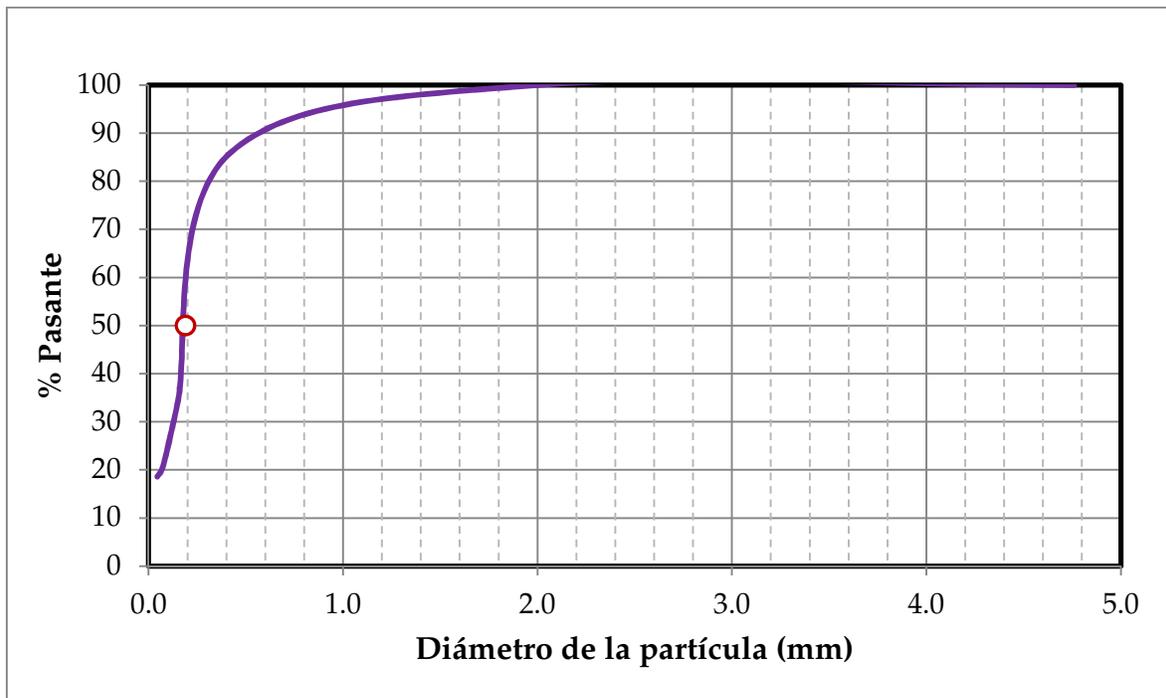


Figura 3.4 Curva granulométrica usada en el modelo

La velocidad de caída es otro parámetro de ingreso en el modelo, por tanto a pesar de que en el caso de partículas naturales, su velocidad debe ser determinada en laboratorio existen fórmulas empíricas para su valoración. En el presente trabajo se aplicó la ecuación de Rubey, expresada como:

$$\omega = \left[ \frac{2}{3} \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) gD + \frac{36\nu^2}{D^2} \right]^{1/2} - \frac{6\nu}{D} \quad 3-12$$

Donde

- $\omega$  Velocidad de caída (m/s)
- $\gamma_s$  y  $\gamma$  Peso específico de la partícula y del agua respectivamente.
- $\nu$  Viscosidad cinemática del líquido.
- $D$  Diámetro de la partícula (m)



Con la ecuación de Rubey, se obtuvieron las velocidades de caída para cada diámetro de partícula. Los resultados se muestran en la Tabla 3-3

**Tabla 3-3 Velocidades de caída para cada diámetro de partícula del proyecto.**

<b>Diámetro Partícula (mm)</b>	<b>Velocidad de caída (m/s)</b>
0.02	0.00032
0.2	0.02351
2	0.14369
0.42	0.05304
0.149	0.01506
0.074	0.00423
0.045	0.00159

#### **3.2.3.1.3 Parámetros generales**

Para el modelamiento con SSIIM, es necesario además del ingreso de las coordenadas x,y y z de la estructura; los parámetros necesarios para la ejecución del modelo, información que es ingresada en el archivo control.

Entre los parámetros principales están el número de celdas en la dirección x,y y z del modelo, el nivel aguas abajo, caudales de ingreso y salida con su respectiva ubicación, la rugosidad; además de otros relacionados con la convergencia del modelo.

Para el transporte de sedimentos, se ingresó la información de diámetros representativos ( $D_{50}$ ), velocidad de caída; y en el caso de curvas granulométricas el porcentaje retenido.



## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Escenarios modelados

Para el caso en estudio, se realizaron 16 escenarios de modelación, considerando tres condiciones: Iniciales, de operación y limpieza. Con el fin de estudiar la relación entre la concentración de sedimentos y el diámetro, se escogieron 3 diferentes diámetros ( $D_{50}$ ) 0.02, 0.2 y 2 mm. Así como para el caso de una granulometría (Figura 3.4), para observar la influencia de la mezcla de diferentes diámetros.

**Tabla 4-1 Escenarios modelados con el SSIIM**

Diámetro	Escenarios				
	Condiciones Iniciales	Condición de Operación		Condición de Limpieza	
		Ancho 1 (29.50 m)	Ancho 2 (59 m)	Ancho 1 (29.50 m)	Ancho 2 (59 m)
$D_{50} = 0.02$ mm	x	x	x	x	x
$D_{50} = 0.2$ mm	x	x	x	x	x
$D_{50} = 2$ mm	x	-	-	-	-
Granulometría	x	x	x	x	x

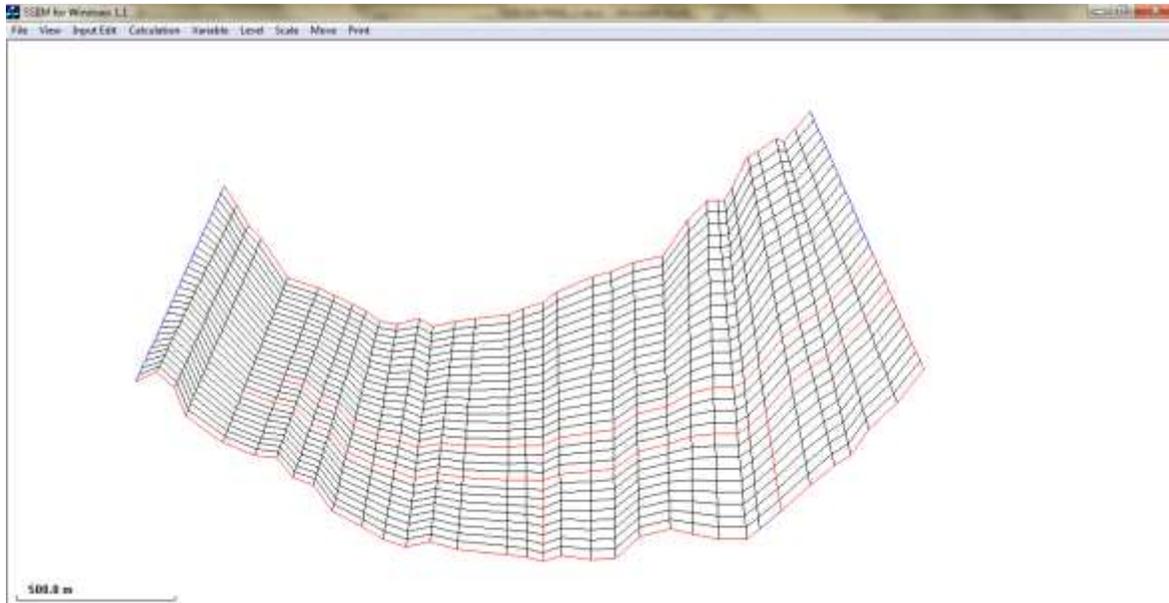
Se han escogido dos niveles como condición de aguas abajo. Para un nivel de operación 23 m; y para el nivel de limpieza 21 m.

#### 4.1.1 Condiciones iniciales

Se denominan condiciones iniciales, cuando en la geometría del cauce no existe estructura para sedimentar; es decir, solo hay la derivación hacia la turbina de longitud 2220 m y un ancho promedio de 85 m.



En la Figura 4.1, se presenta la malla usada para la modelación en estas condiciones.



**Figura 4.1** Malla utilizada para modelación en condiciones iniciales

Con el SSIIM se puede obtener los vectores velocidades en todo el cauce. Las flechas de mayor tamaño son indicativas de mayor velocidad. Como se observa en la Figura 4.2, en el canal de derivación se presentan las más altas velocidades, por la disminución de sección.

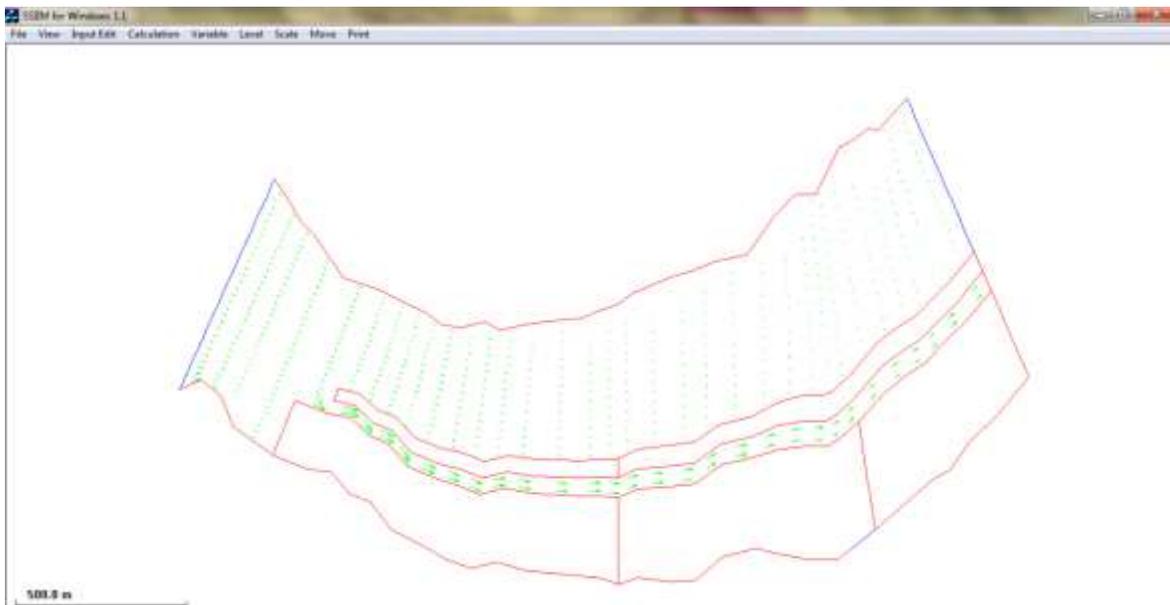


Figura 4.2 Vectores Velocidad para el caso de estudio

En la Figura 4.3, se presenta el comportamiento de los vectores velocidad en la sección donde comienza la bifurcación. En esta figura, se observa que las mayores velocidades se producen cerca a la superficie, que es como se supone es el comportamiento el algoritmo del modelo.

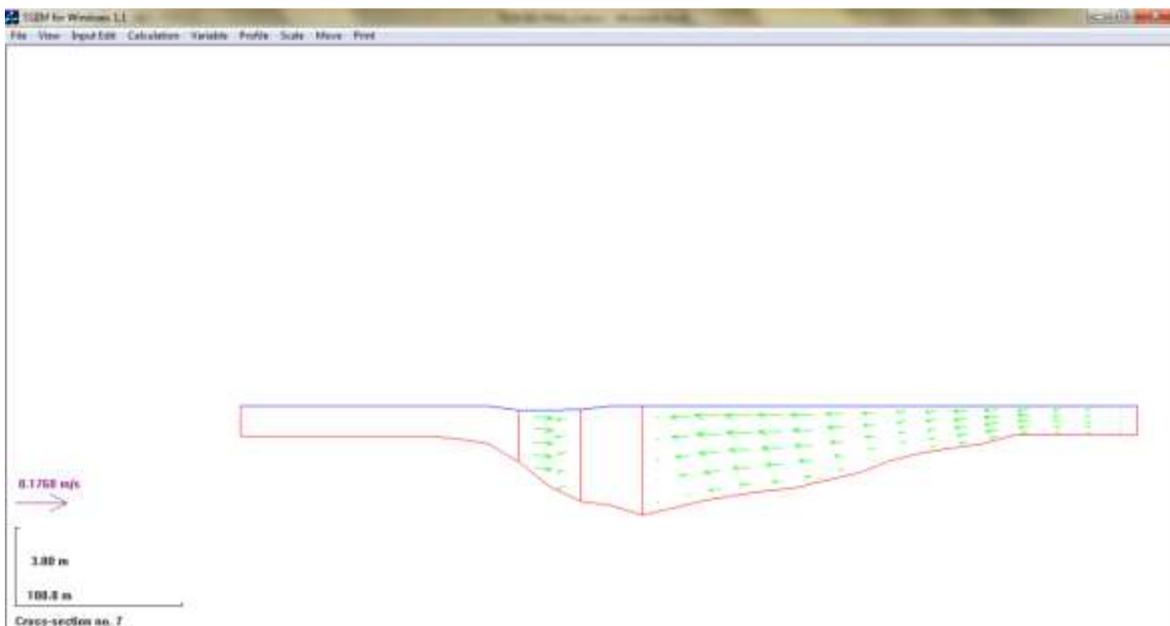


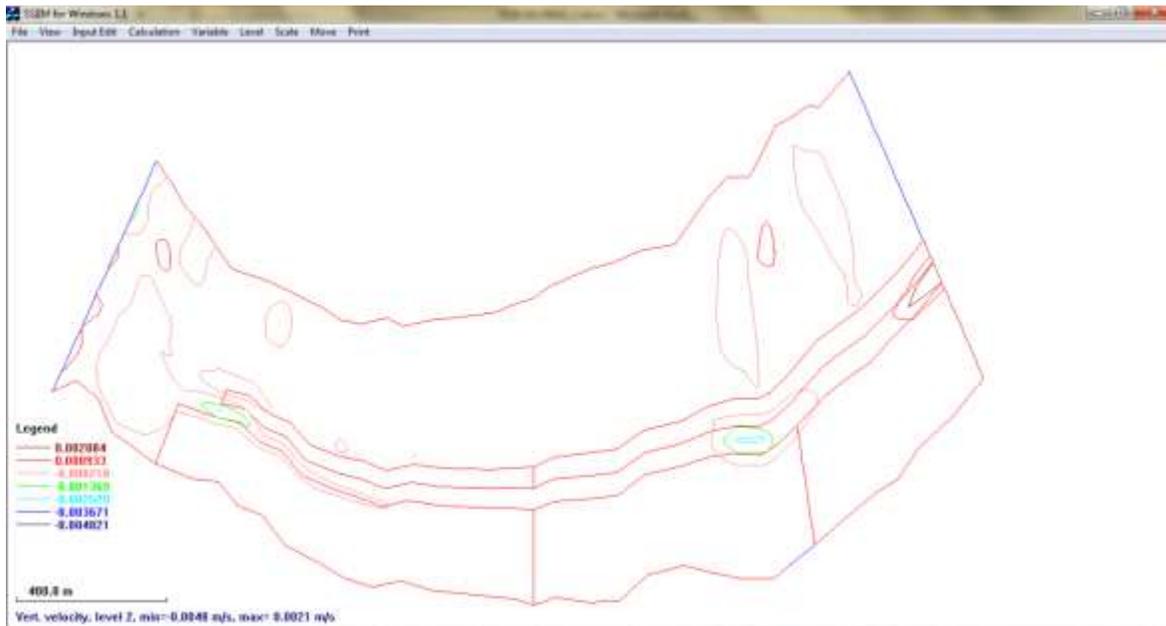
Figura 4.3 Vectores Velocidad en la sección de inicio del canal de derivación

Para ver la relación que existe entre la velocidad y la erosión o depósito en el cauce, el SSIIM permite obtener tanto la componente vertical como horizontal.

Se estudió el transporte de sedimento para los  $D_{50}$  0.02, 0.2 y 2 mm y para una granulometría con  $D_{50} = 0.2$  mm. A seguir se presentan los resultados obtenidos, con la aplicación del SSIIM.

#### 4.1.1.1 $D_{50} = 0.02$ mm

En la Figura 4.4 se presenta la velocidad vertical en el lecho del cauce, las que son despreciables. Esta velocidad que está relacionada con la velocidad de caída, que presenta bajos valores para este caso, se puede atribuir a que partículas de ese diámetro son transportadas en suspensión a lo largo del cauce.



**Figura 4.4** Velocidad vertical  $D_{50} = 0.02$  mm en condiciones iniciales

Respecto a la velocidad horizontal (Figura 4.5), relacionada con la velocidad de arrastre, alcanza un valor máximo de 0.60 m/s, valor para el cual partículas pequeñas viajan en suspensión (García, 2008).

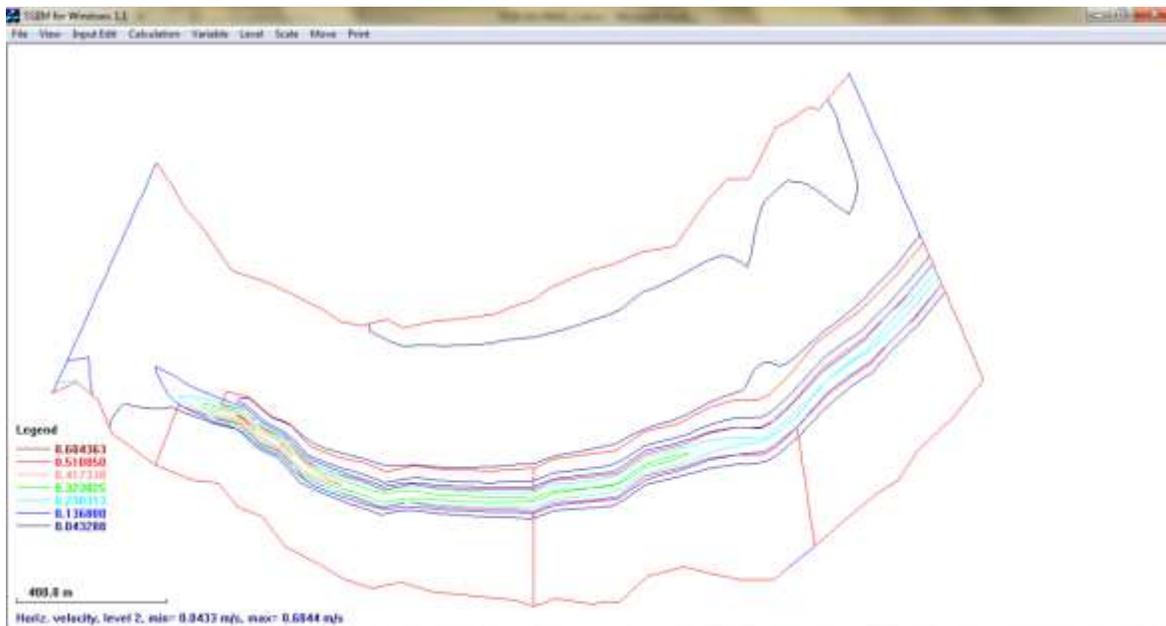


Figura 4.5 Velocidad horizontal  $D_{50} = 0.02$  mm en condiciones iniciales

Con el valor máximo del número de Froude ( $Fr$ ) obtenido ( $Fr = 0.08$ ) se sabe que el río está en régimen subcrítico, alcanzando su máximo valor a la entrada de la derivación por la contracción de sección que se produce. En la Figura 4.6 se muestra la variación del número de Froude a lo largo del cauce.

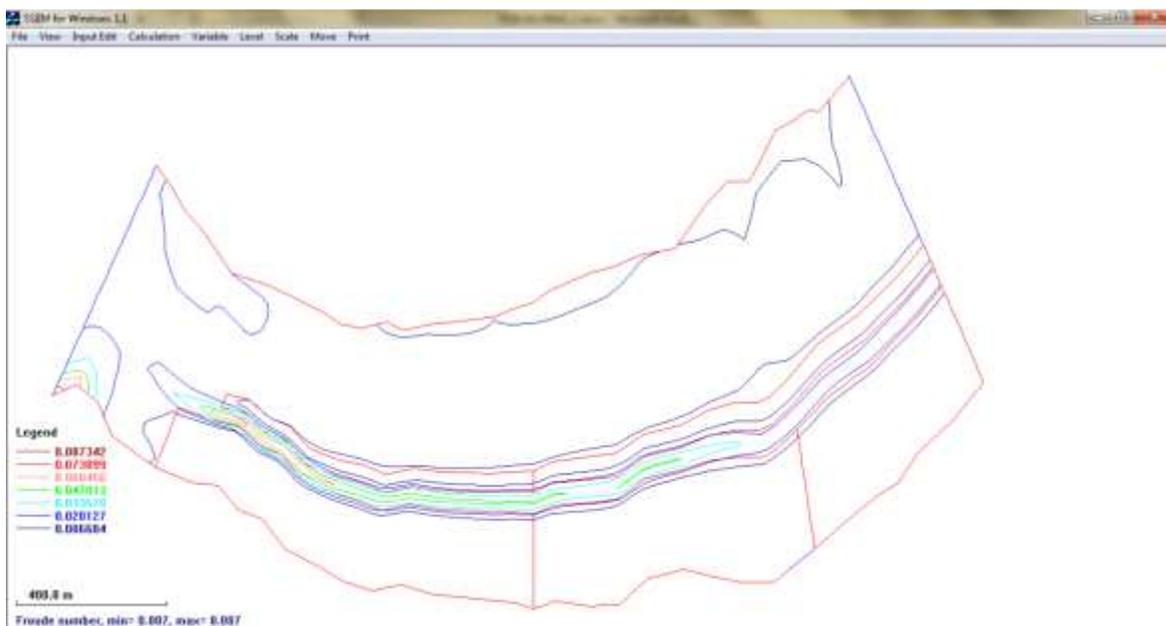


Figura 4.6 Número de Froude para  $D_{50} = 0.02$  mm en condiciones iniciales

Acorde con el comportamiento de la velocidad horizontal, para el  $D_{50}$  de 0.02 mm, se observa en la Figura 4.7 que el depósito de sedimentos es casi nulo produciéndose más erosión aunque en poca escala, confirmando que diámetros pequeños como los limos, se transportan en suspensión.

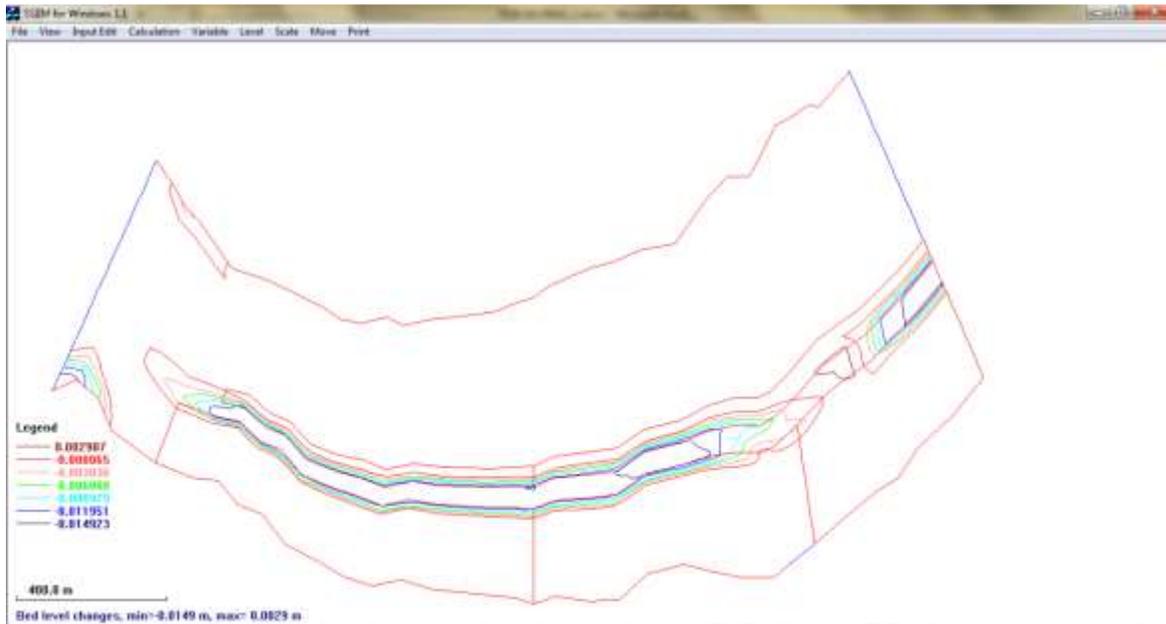


Figura 4.7 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.02$  mm en condiciones iniciales

#### 4.1.1.2 $D_{50} = 0.2$ mm

La Figura 4.8, presenta la velocidad vertical para un  $D_{50}$  de 0.2 mm. A la entrada de la derivación se presentan velocidades negativas muy bajas, en la zona próxima a las turbinas las velocidades son positivas, sin embargo se conservan bajas. Si se compara con las velocidades horizontales de la Figura 4.9, en estos mismos lugares, a la entrada se observa que se producen las máximas velocidades horizontales (0.82 m/s); mientras que en las zona de las turbinas son menores (0.37 m/s)

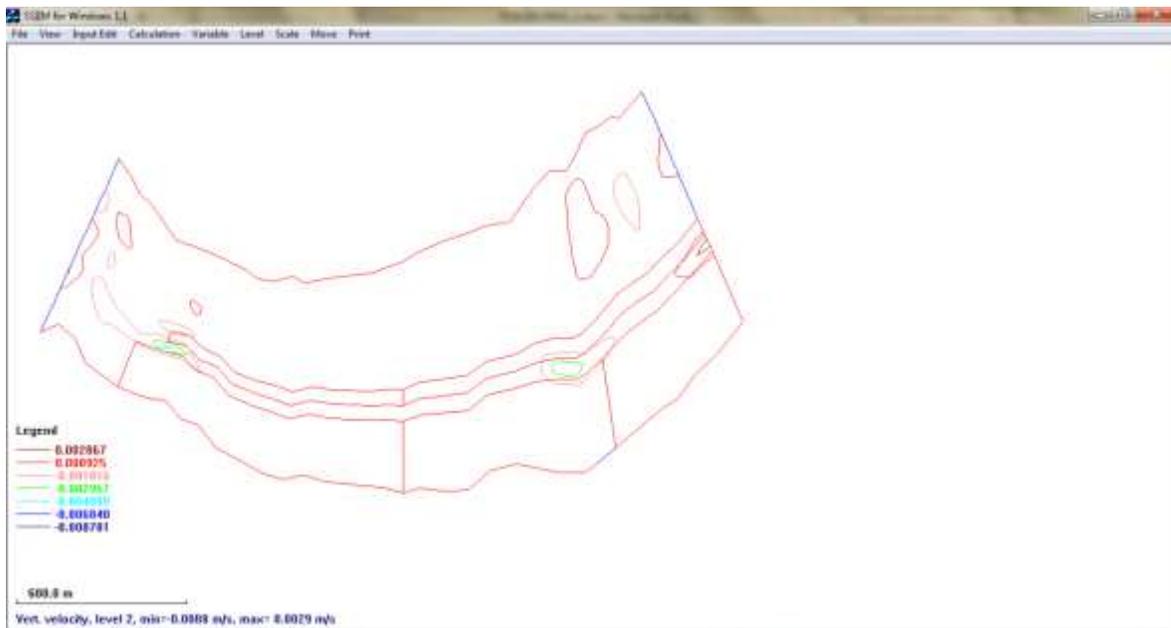


Figura 4.8 Velocidad vertical  $D_{50} = 0.2$  mm en condiciones iniciales

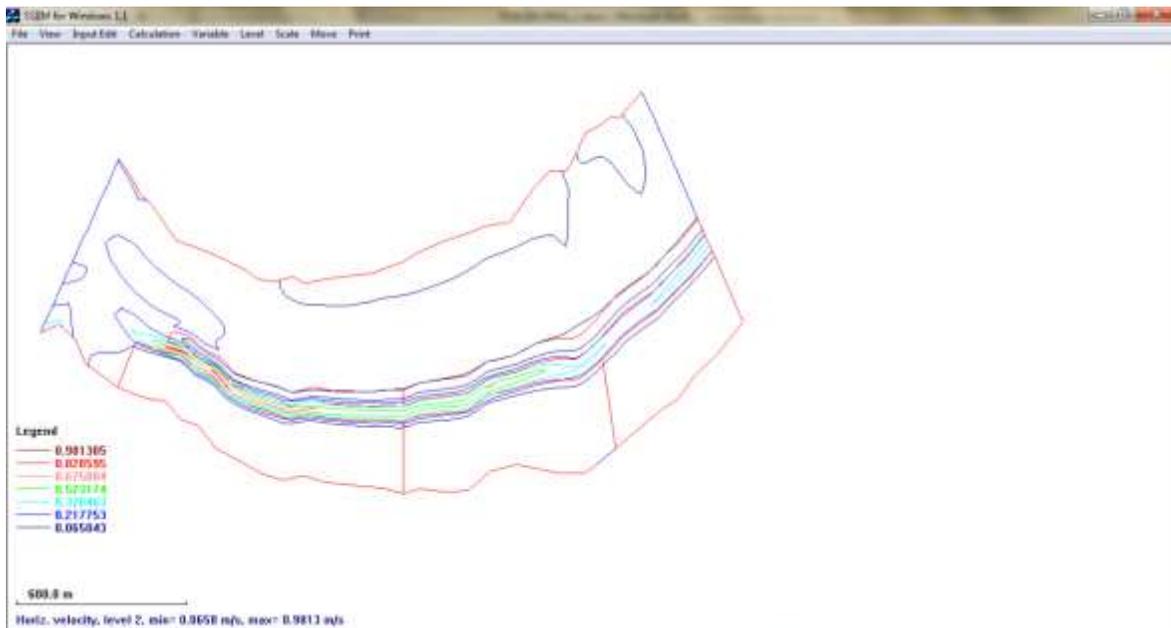


Figura 4.9 Velocidad horizontal  $D_{50} = 0.2$  mm en condiciones iniciales

Seguidamente, se presenta en la Figura 4.9 los cambios en el lecho para este diámetro. A partir de la información de estas gráficas, se puede relacionar la



velocidad horizontal con el depósito o erosión. Es claramente visible que para valores bajos de esta velocidad, facilitan el depósito

El número de Froude, siendo un parámetro importante que define el tipo de régimen de un flujo se muestra en la Figura 4.10. El tipo de régimen es subcrítico a lo largo de todo el cauce, alcanzando a lo largo de la derivación su valor máximo al ingreso de la derivación ( $Fr = 0.18$ )

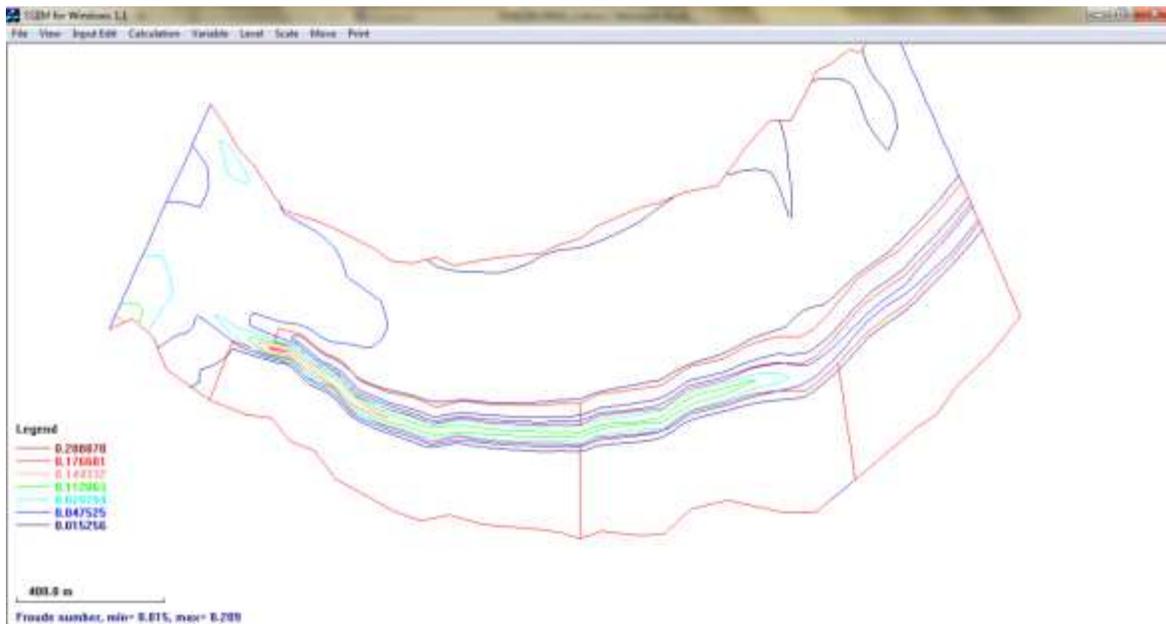
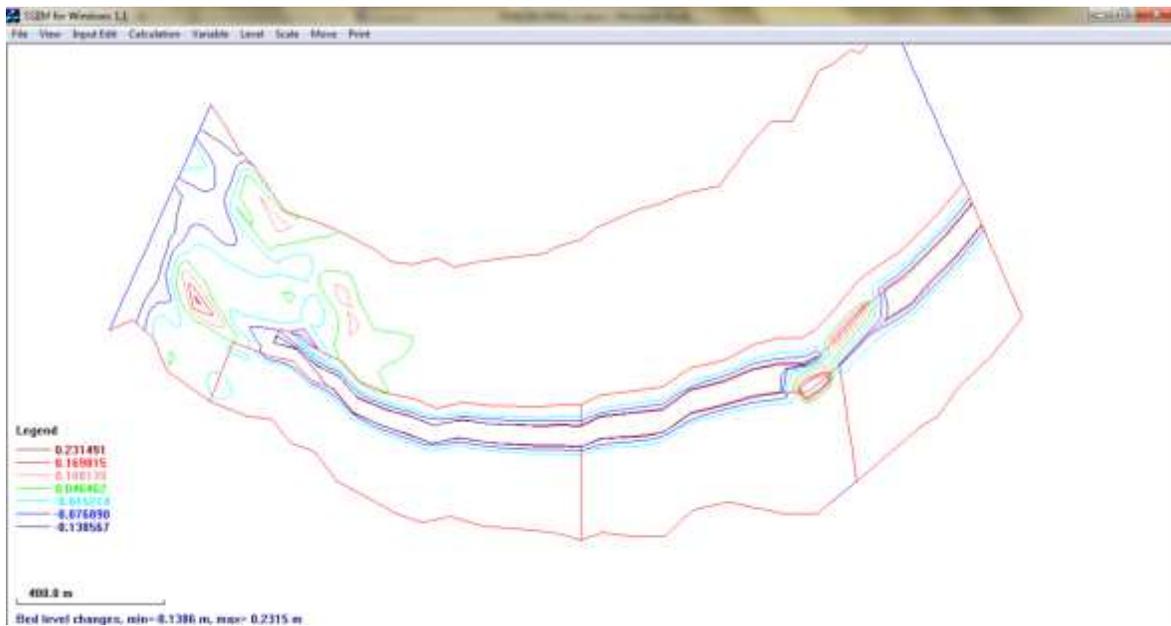


Figura 4.10 Número de Froude  $D_{50} = 0.2$  mm en condiciones iniciales



**Figura 4.11 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.2$  mm en condiciones iniciales**

Considerando la recomendación para centrales hidroeléctricas con cargas mayores a 50 m, el diámetro mínimo para retener es 0.2 mm (Ortega, 1982); y a partir de las modelaciones realizadas, se propone la ubicación del tanque sedimentador en el sector donde se producen los depósitos de sedimentos.

#### 4.1.1.3 $D_{50} = 2$ mm

En el caso de este diámetro al observar como es el comportamiento de los sedimentos (Figura 4.12) tanto en su ubicación como en magnitud, ya que se genera un proceso mayoritariamente erosivo, se consideró que no representa problema para el ingreso a la turbina; por lo que no se modeló los escenarios restantes.

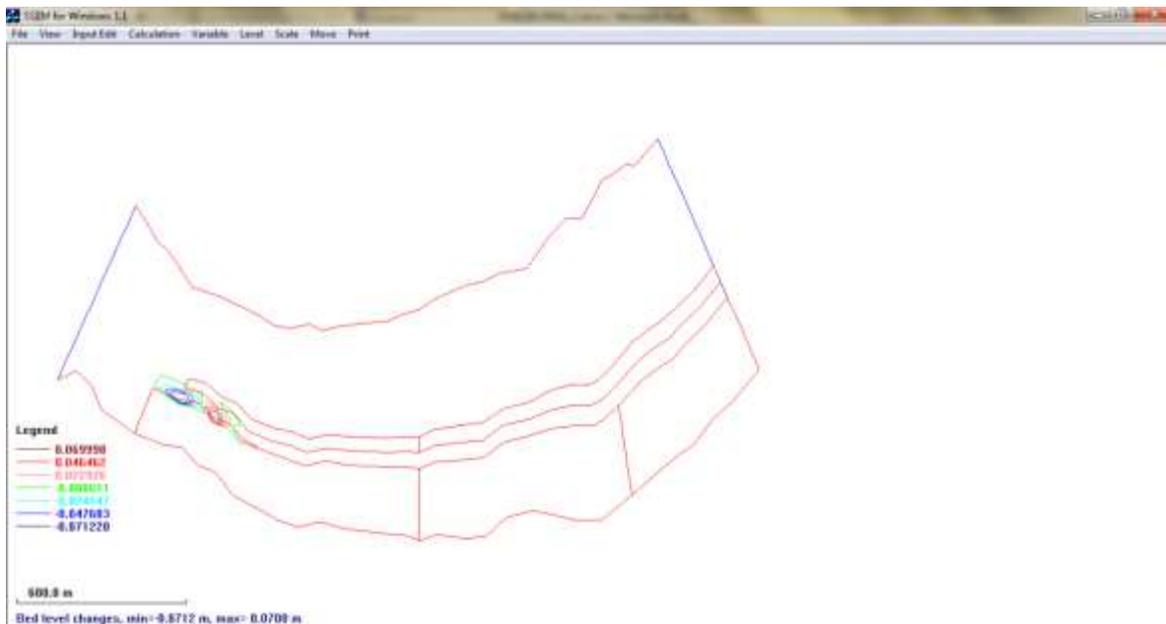
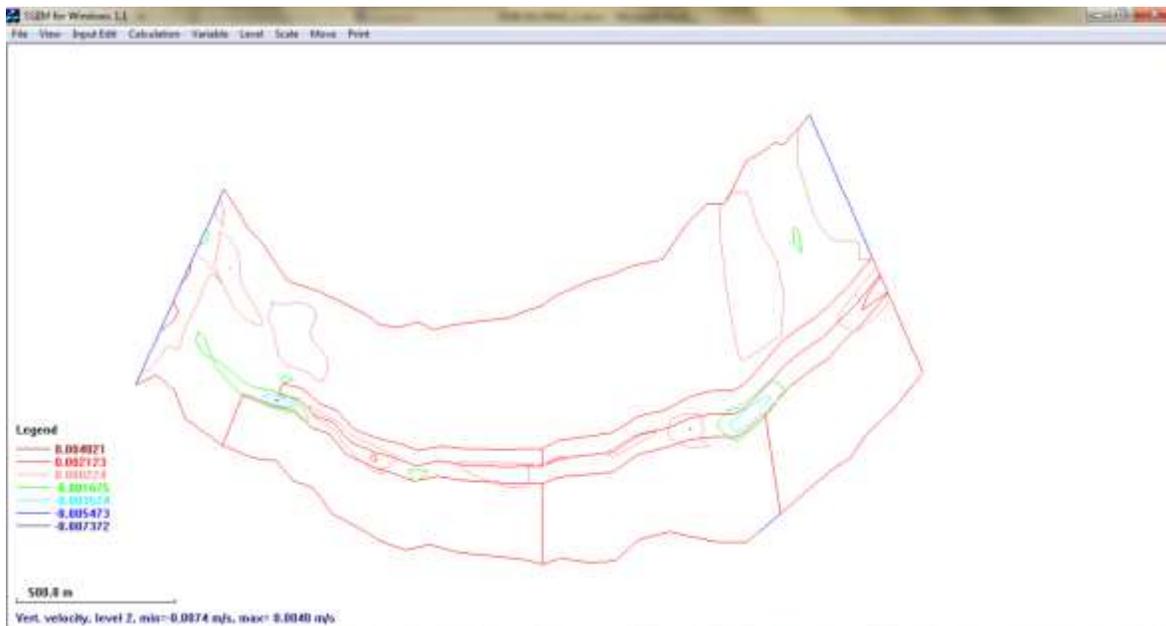


Figura 4.12 Cambios en el lecho  $D_{50} = 2$  mm en condiciones iniciales

#### 4.1.1.4 Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm

Con el fin de observar el comportamiento del  $D_{50}$  0.2 mm, se modeló el comportamiento de la granulometría con este mismo diámetro medio.

En el caso de la velocidad vertical, Figura 4.13; y comparando con las velocidades de la Figura 4.8 es clara la diferencia de su comportamiento. Para este caso se alcanzan velocidades mayores (máximo 0.004 m/s) y existe una mayor distribución a lo largo de la derivación.



**Figura 4.13 Velocidad Vertical Granulometría Granulometría  $D_{50} = 0.2$  mm en condiciones iniciales**

En el caso de la velocidad horizontal, aunque el comportamiento es similar los valores son ligeramente menores en comparación con los presentados en la Figura 4.9; este cambio se atribuye a la presencia de partículas finas (19%). En el caso del número de Froude, se presenta una situación similar (Figura 4.15)

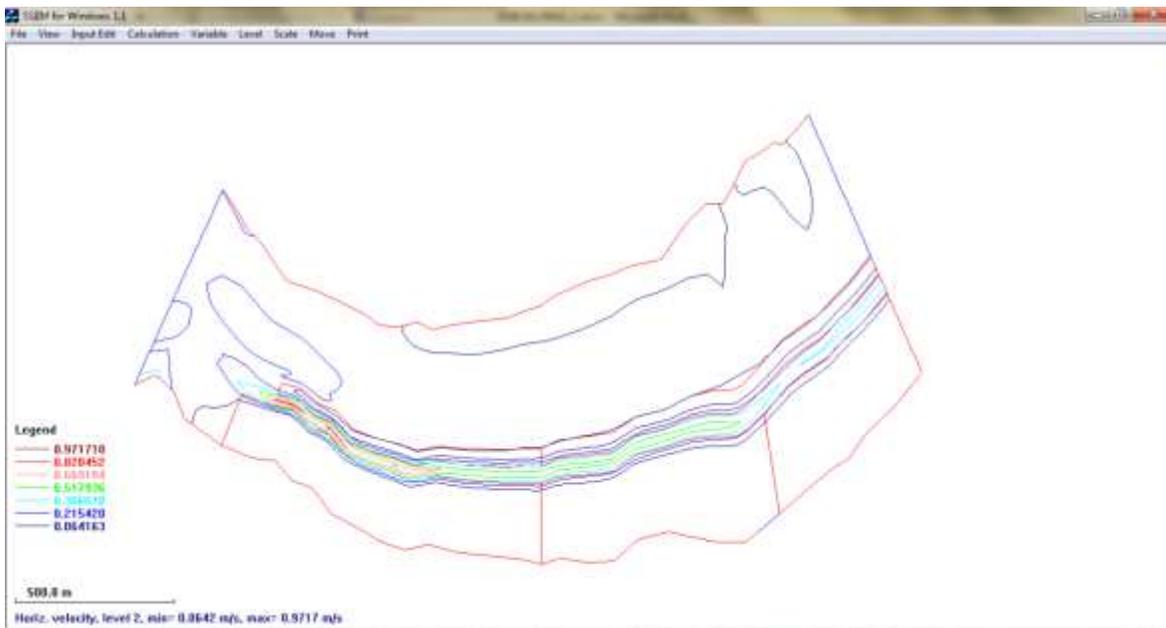


Figura 4.14 Velocidad Horizontal Granulometría  $D_{50} = 0.2$  mm en condiciones iniciales

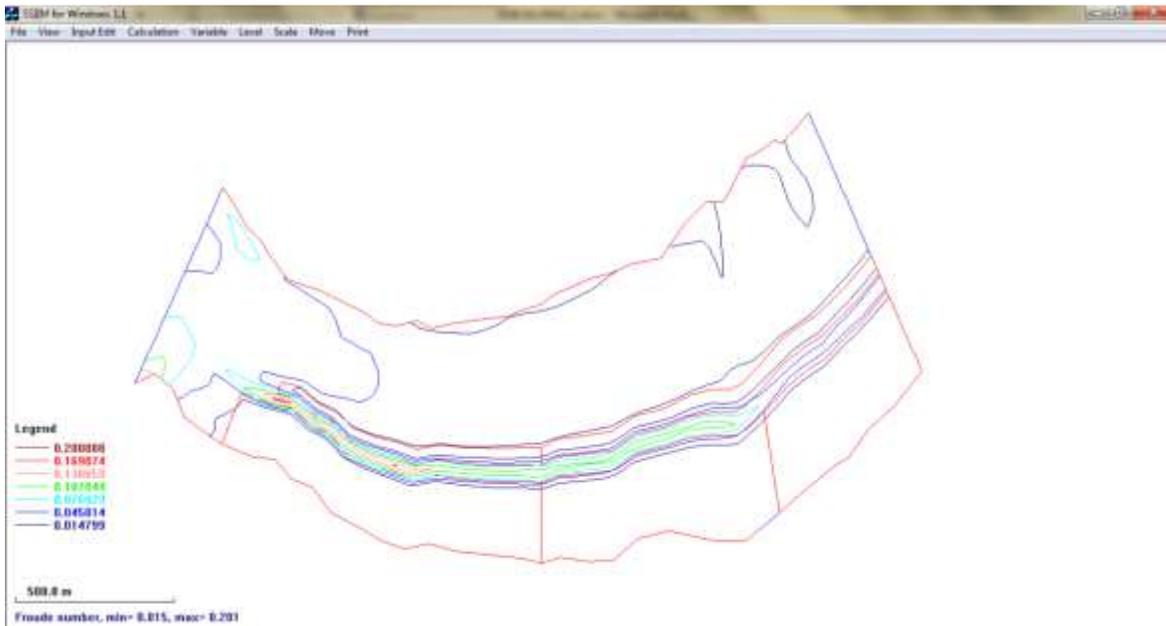
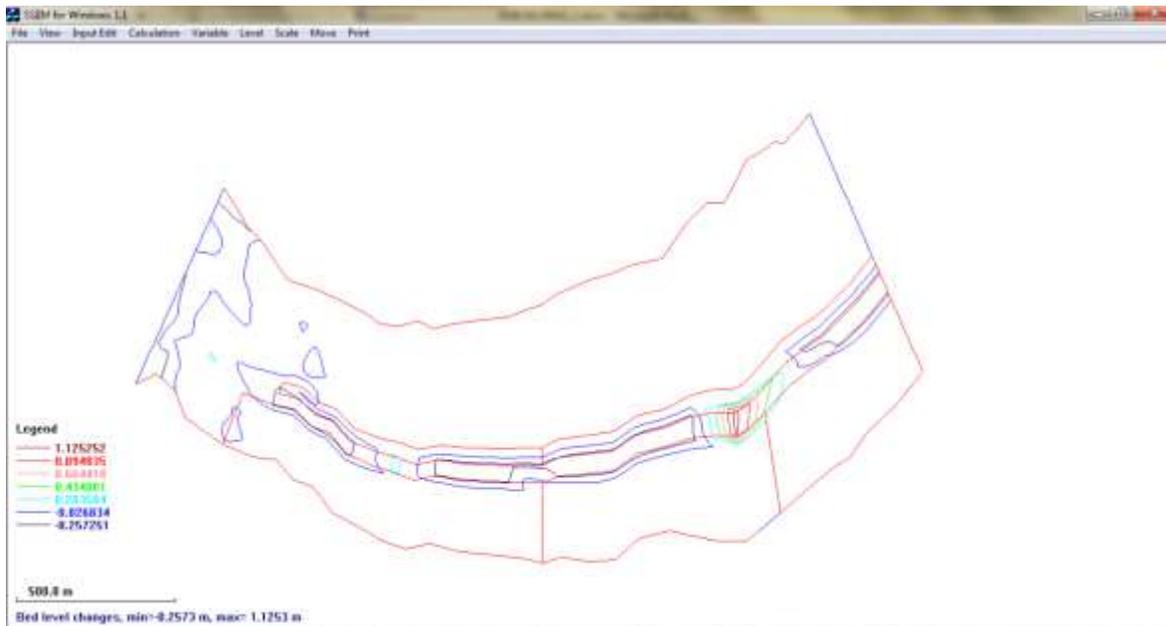


Figura 4.15 Número de Froude Granulometría  $D_{50} = 0.2$  mm en condiciones iniciales

A pesar de esta similitud de comportamiento de la velocidad horizontal y el número de Froude, en el caso de los cambios en el fondo del cauce (Véase Figura 4.16) para la granulometría dada son mayores tanto en depósito como erosión;

produciéndose máximos de 1.12 m y -0.25 m respectivamente. Vale recalcar que a pesar de esta diferencia de magnitud, el depósito de material persiste en la misma zona.



**Figura 4.16 Cambios en el lecho Granulometría  $D_{50} = 0.2$  mm en condiciones iniciales**

Otro de los resultados que permite SSIIM es la concentración de sedimentos, en el caso de granulometrías resulta muy interesante conocer como es la distribución por diámetro de partículas.

En las Figuras Figura 4.17, Figura 4.18, Figura 4.19 y Figura 4.20 se presenta la concentración por diámetro, en las cuales se observa que el sedimento más fino (0.045) se distribuye más en comparación con el más grueso (0.42 mm) lo que indica que el primero se encuentra en suspensión.

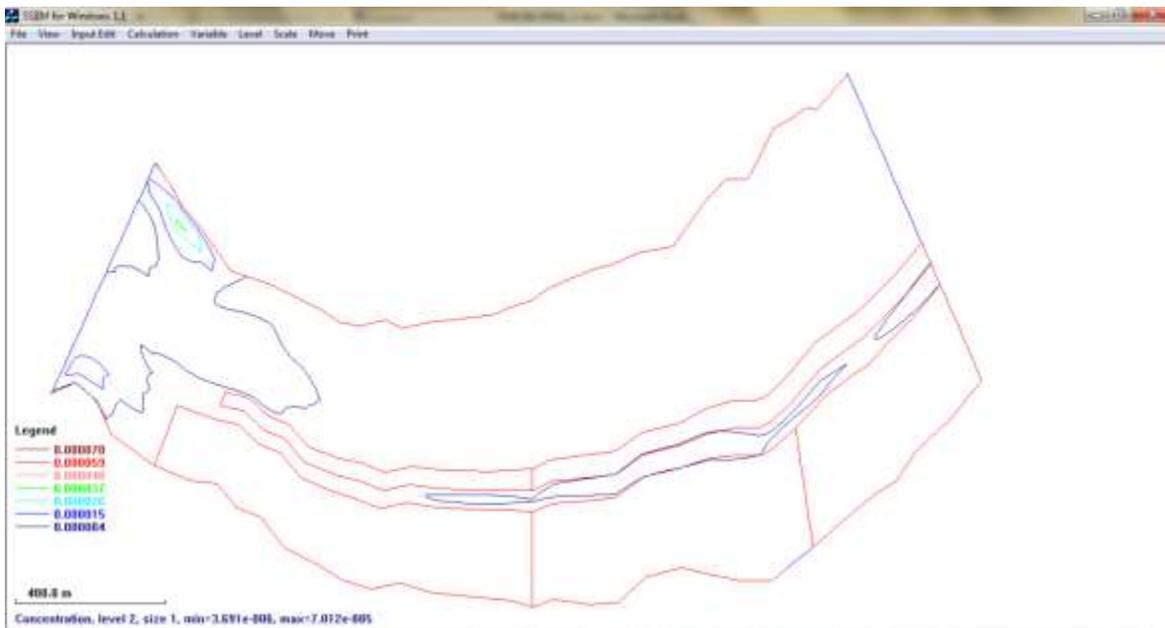


Figura 4.17 Concentración  $D=0.42$  mm Granulometría  $D_{50} =0.2$  mm en condiciones iniciales

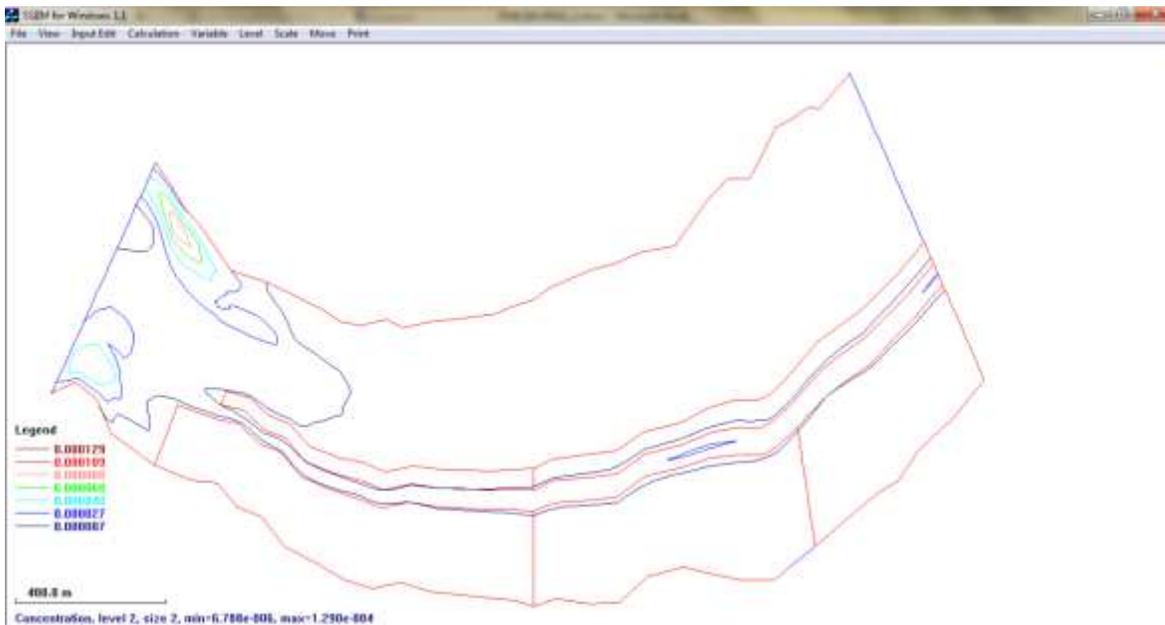


Figura 4.18 Concentración  $D=0.149$  mm Granulometría  $D_{50} =0.2$  mm en condiciones iniciales

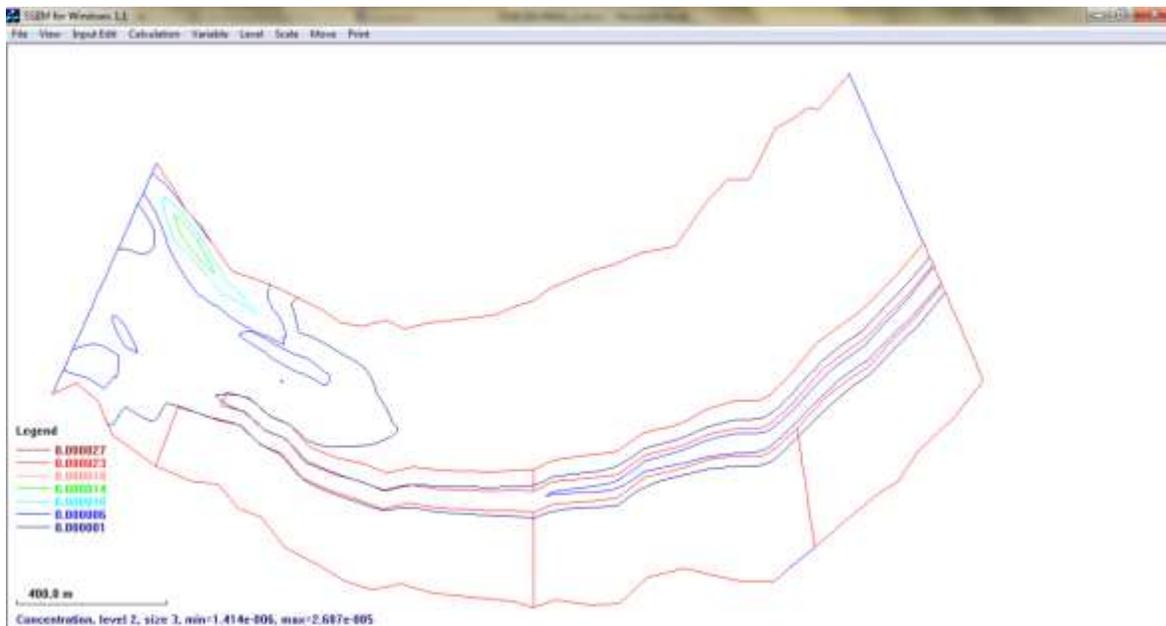


Figura 4.19 Concentración  $D=0.074$  mm Granulometría  $D_{50} =0.2$  mm en condiciones iniciales

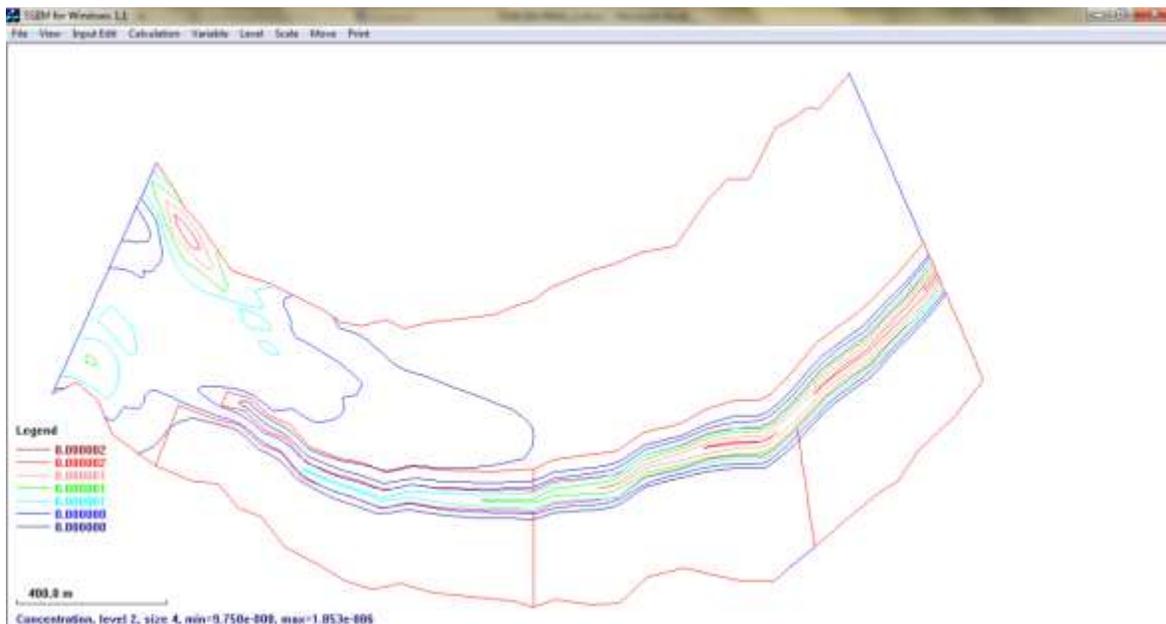


Figura 4.20 Concentración  $D=0.045$  mm Granulometría  $D_{50} =0.2$  mm en condiciones iniciales

Con base en los resultados obtenidos con SSIIM en la modelación en condiciones iniciales, para los diferentes tamaños de sedimentos se puede concluir la necesidad

de implementar una estructura de retención cuya ubicación se ha visto reflejada constantemente en todos los escenarios.

#### 4.1.2 Escenario Condición de operación

Estimando como nivel de operación 23 m; junto a la propuesta de dos anchos de sedimentador: 29.50 y 59 m; con área de sedimentación de 29902 y 45990 m<sup>2</sup> respectivamente, se realizan sus correspondientes modelaciones. Con el fin de observar la eficacia del sedimentador, se presentan las figuras con los cambios en el lecho.

##### 4.1.2.1 $D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 29.50 m

Se observa nuevamente que, para este diámetro la sedimentación es mínima (0.003 m); sin embargo la que se produce ocurre dentro del área del sedimentador. Se observa también mínimos niveles de erosión en esta área.

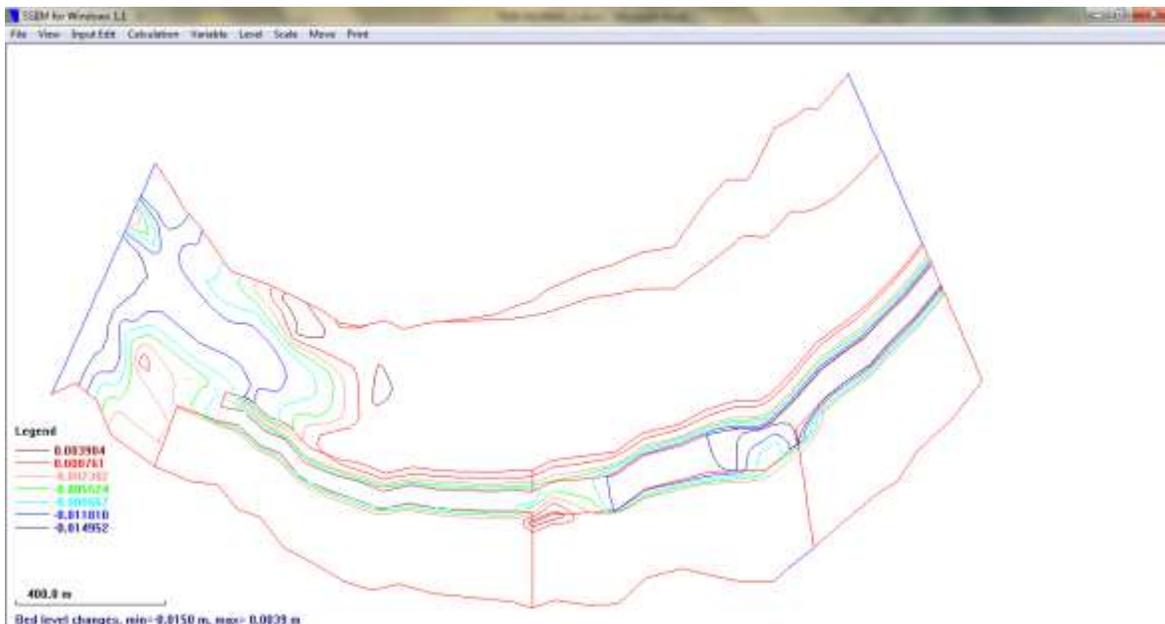


Figura 4.21 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.02$  mm Ancho = 29.50 m Nivel Operación

#### 4.1.2.2 $D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 59 m

El depósito que se produce a pesar de ser de igual magnitud que para el ancho anterior, se da en dos lugares dentro del sedimentador. Respecto a la erosión, en este caso tiene más lugar.

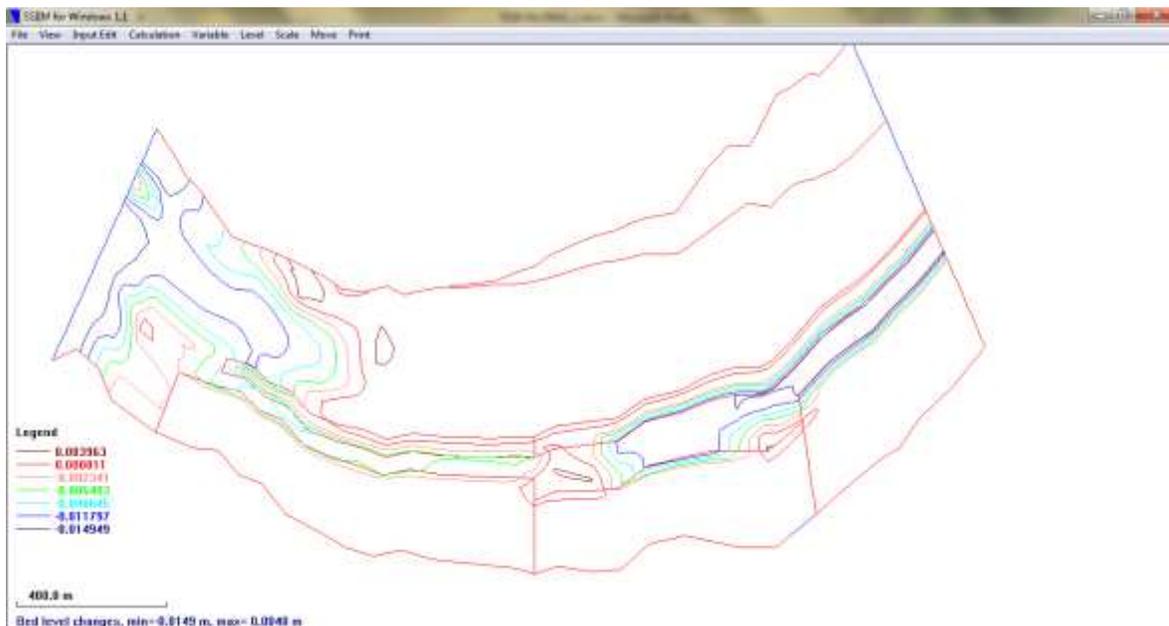


Figura 4.22 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.02$  mm Ancho = 59 m Nivel Operación

#### 4.1.2.3 $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.50 m

Este diámetro es de gran interés, como se ha indicado anteriormente es el que produce daños a la turbina y es necesaria su retención. Se observa en la Figura 4.23 que se llega a un nivel de depósito máximo de 0.26 m, sedimento que se ubica en el área de sedimentador propuesta. También es relevante indicar, que en este escenario la derivación se encuentra libre de sedimentos.

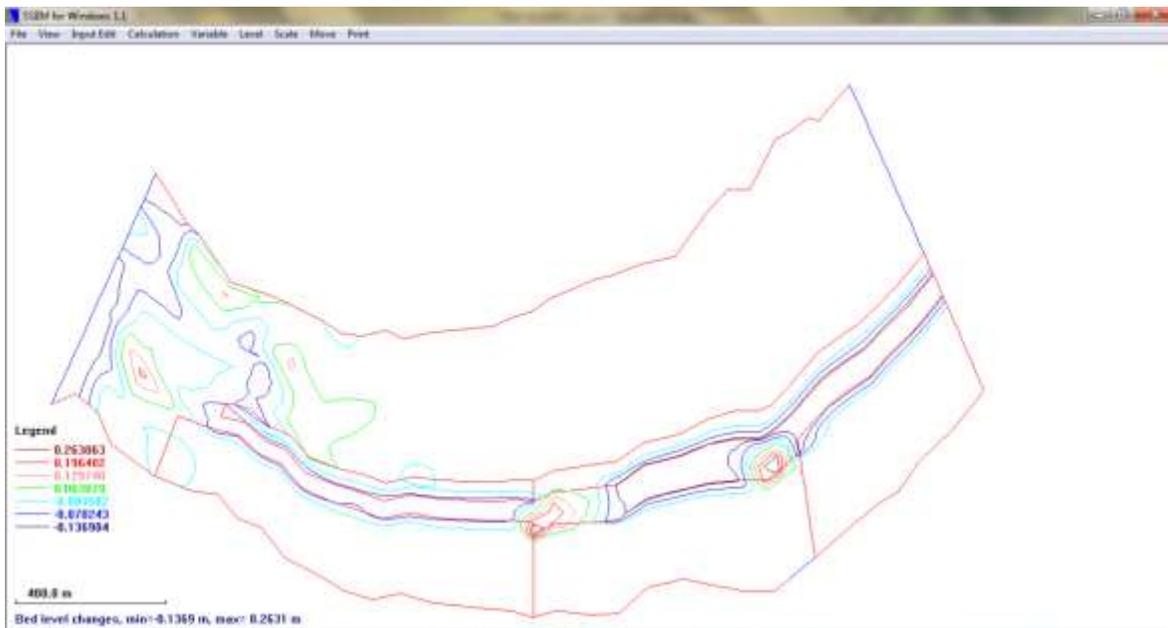


Figura 4.23 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.2$  mm Ancho = 29.5 m Nivel Operación

#### 4.1.2.4 $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m

Como en el caso anterior, la sedimentación se da en el área propuesta con la diferencia de que se alcanza un nivel un poco mayor 0.29 m. En la Figura 4.24 se muestra el comportamiento del sedimento bajo esta condición; aunque se presentan niveles de erosión aguas arriba del sedimentador, a partir de esta estructura y hasta la entrega a la turbina no existe sedimento.

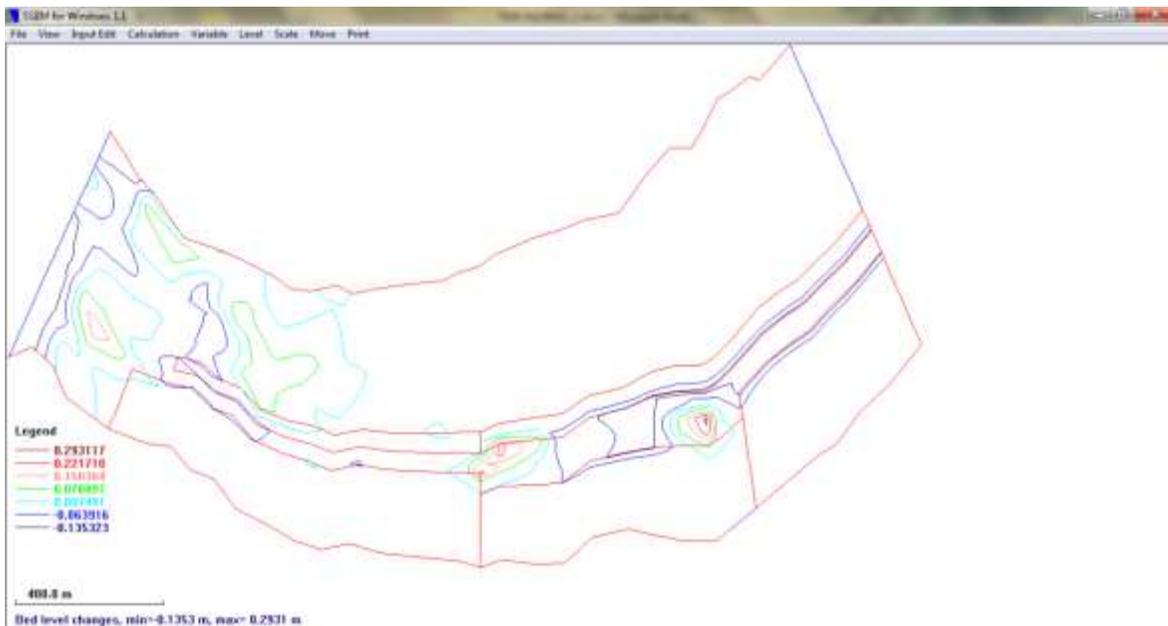
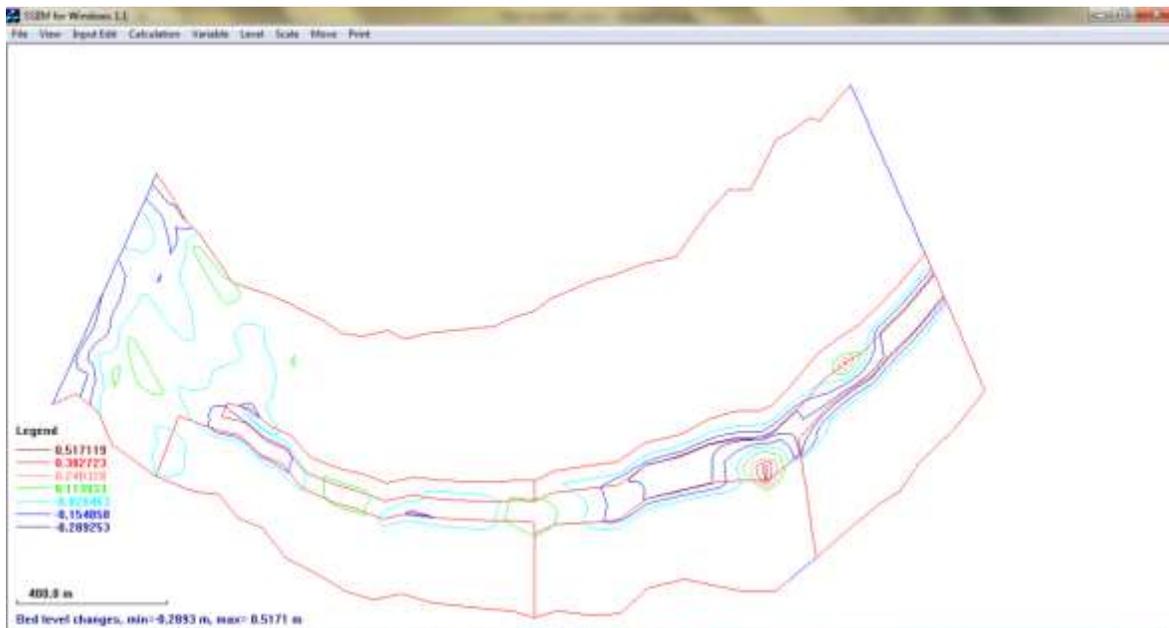


Figura 4.24 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.2$  mm Ancho = 59 m Nivel Operación

#### 4.1.2.5 Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.50 m

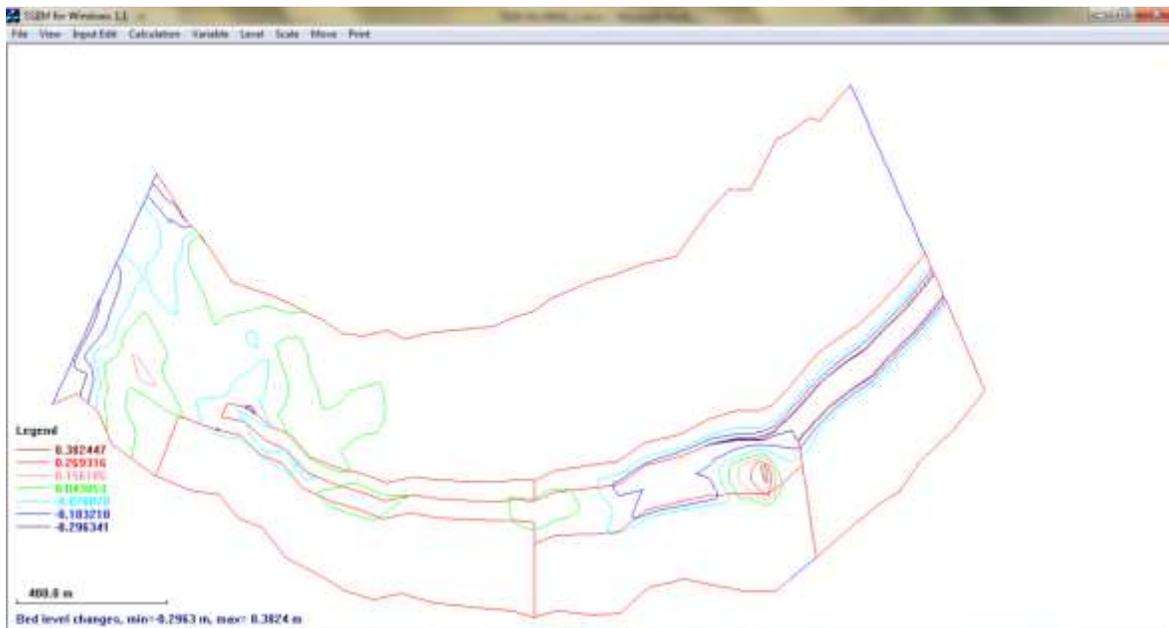
En la Figura 4.25, se observa el cambio de magnitud en el depósito en el cauce llegando al máximo valor obtenido en nivel de operación 0.51 m; a pesar que este valor pico se produce en el sedimentador también existe depósito de 0.38 m en el área cercana al ingreso de la turbina lo que puede en algún momento representar ingreso de sedimentos al equipo mecánico.



**Figura 4.25 Cambios en el lecho Granulometría  $D_{50} = 0.2$  mm Ancho = 29.5 m Nivel Operación**

#### **4.1.2.6 Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m**

Finalmente, se presenta el escenario para el ancho de 59 m. Dentro del retenedor se deposita 0.38 m de sedimento, si se hace una comparación con el ancho de 29.5 m el depósito es menor; sin embargo aguas abajo garantiza que no exista ningún tipo de partícula que pueda afectar las turbinas.



**Figura 4.26 Cambios en el lecho Granulometría  $D_{50} = 0.2$  mm Ancho = 59 m Nivel Operación**

De los escenarios modelados con el nivel de operación, el último presentado, es el más interesante y real ya que en la naturaleza es un conjunto de sedimentos lo que se transporta en el cauce. Por tanto con base en estos resultados, se puede concluir que el ancho óptimo del sedimentador es de 59 m, faltando por observar la eficiencia de este ancho en condiciones de limpieza.

### 4.1.3 Escenario Condición de limpieza

Para la modelación de este escenario se propuso como nivel de limpieza 21 m; y de igual manera con los anchos de sedimentador: 29.50 y 59 m.

#### 4.1.3.1 $D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 29.50 m

En la Figura 4.27 nuevamente se observan procesos de erosión para este diámetro en el área inmediata aguas arriba de la turbina, por lo que no se considera problemático para las turbinas.

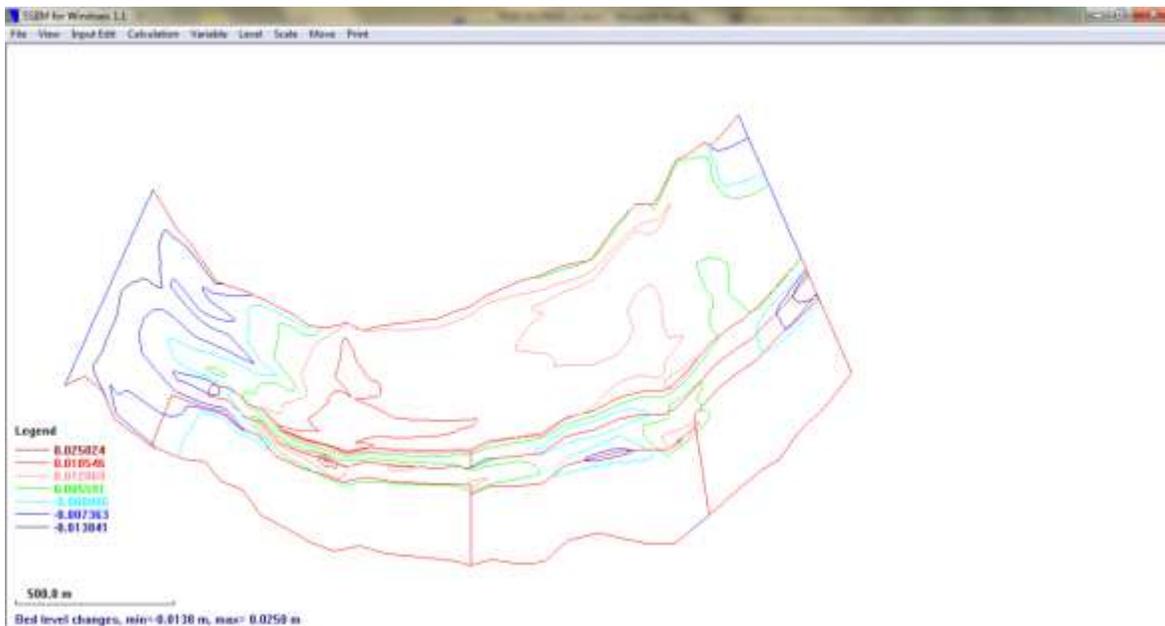


Figura 4.27 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.02$  mm Ancho = 29.5 m Nivel de limpieza

#### 4.1.3.2 $D_{50} = 0.02$ mm Ancho = 59 m

Similar comportamiento al presentado en la Figura 4.27 se observa en la Figura 4.28, se presenta erosión aguas arriba de la turbina.

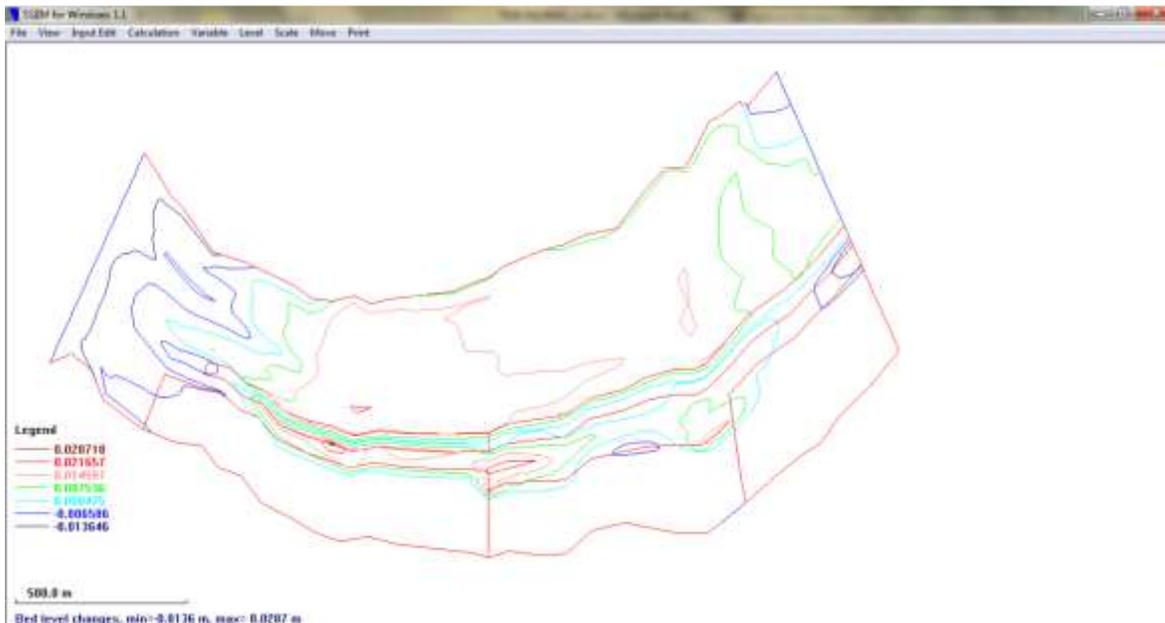


Figura 4.28 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.02$  mm Ancho = 59 m Nivel de limpieza



#### 4.1.3.3 $D_{50} = 0.2 \text{ mm}$ Ancho = 29.50 m

Para este diámetro crítico para el ancho de 29.5 m se ve en la Figura 4.29 que el canal de derivación está libre de sedimentos incluso el sedimentador.

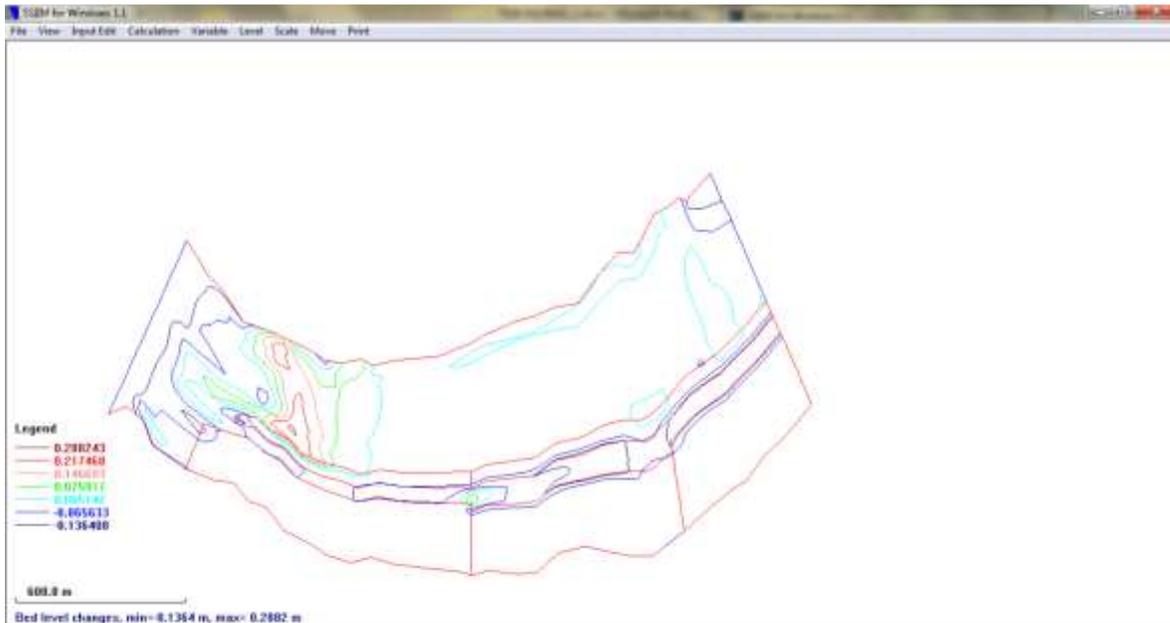


Figura 4.29 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.2 \text{ mm}$  Ancho = 29.5 m Nivel de limpieza

#### 4.1.3.4 $D_{50} = 0.2 \text{ mm}$ Ancho = 59 m

El comportamiento del sedimento, es similar que para el ancho de 29.5 m. No se verifica partículas que estén por ingresar a las turbinas.

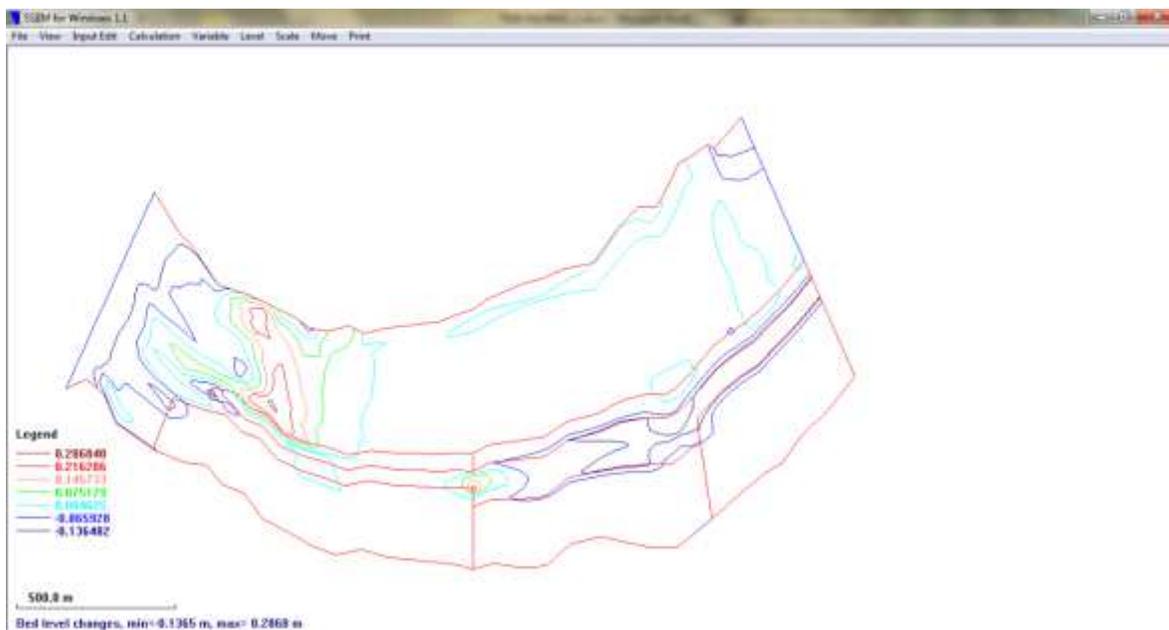
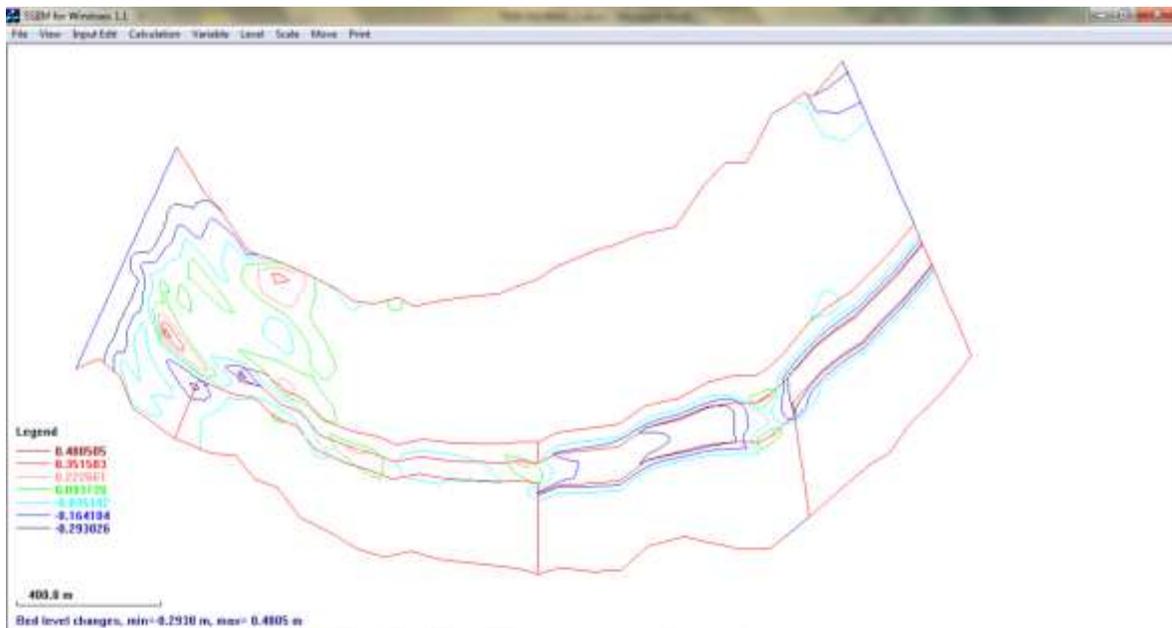


Figura 4.30 Cambios en el lecho  $D_{50} = 0.2$  mm Ancho = 59 m Nivel de limpieza

#### 4.1.3.5 Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 29.50 m

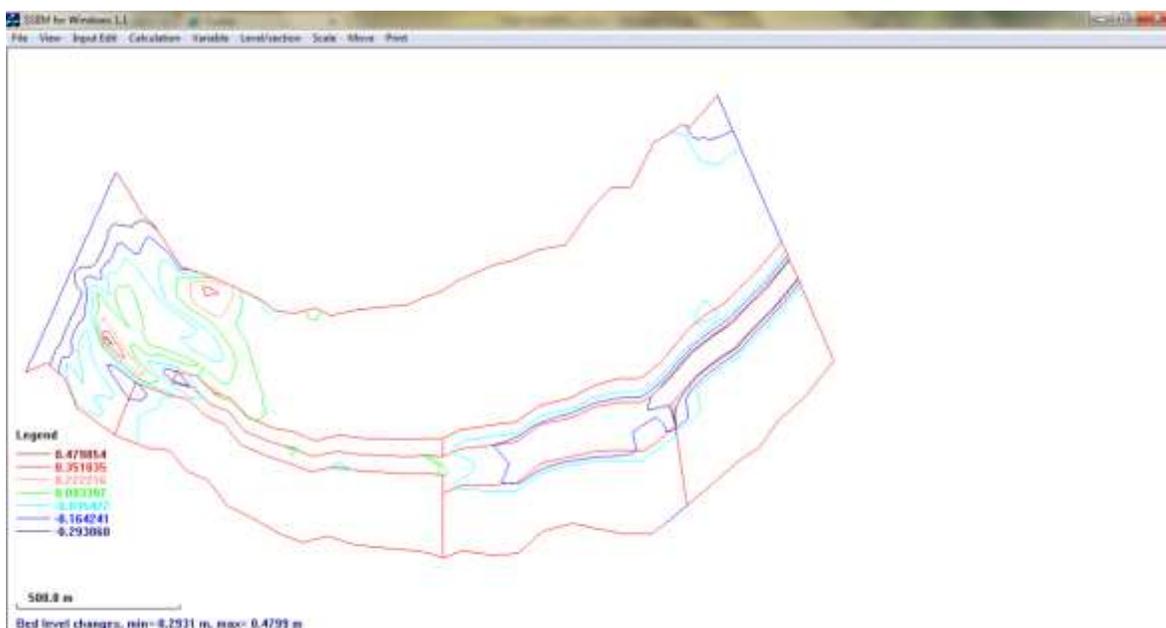
A diferencia de lo observado anteriormente hay sedimentación en la estructura aunque mínima de 0.09 m y aguas arriba de ésta; sin embargo inmediatamente aguas abajo del sedimentador no se produce ningún efecto de sedimentación ni erosión.



**Figura 4.31 Cambios en el lecho Granulometría  $D_{50} = 0.2$  mm Ancho = 29.5 m Nivel de limpieza**

#### **4.1.3.6 Granulometría $D_{50} = 0.2$ mm Ancho = 59 m**

Con el ensanchamiento del sedimentador y en condición de nivel de limpieza, se observa en la Figura 4.32 un mejor comportamiento aguas arriba del sedimentador, muy poca sedimentación. Aguas debajo de la estructura se observa nuevamente libre de sedimentos.



**Figura 4.32 Cambios en el lecho Granulometría  $D_{50} = 0.2$  mm Ancho = 59 m Nivel de limpieza**

En la Tabla 4-2 se resume las concentraciones obtenidas en cada modelación.

**Tabla 4-2 Resumen de valores de concentraciones por volumen para los escenarios modelados**

Diámetro	Escenarios				
	Condiciones Iniciales	Condición de Operación		Condición de Limpieza	
		Ancho 1 (29.50 m)	Ancho 2 (59 m)	Ancho 1 (29.50 m)	Ancho 2 (59 m)
D50 = 0.02 mm	0.0000029	0.0000069	0.0000071	0.0000146	0.0000175
D50 = 0.2 mm	0.0000630	0.0000551	0.0000368	0.0000671	0.0000524
D50 = 2 mm	0.0000000	-	-	-	-
Granulometría	0.0000293	0.0000506	0.0000537	0.0000788	0.0000861

Sí se comparan los valores obtenidos entre la fase de operación y limpieza se observa que este último es el más alto, también si se comparan las concentraciones entre los anchos de 29.5 y 59 m las correspondientes a éste último ancho se reflejan mayores.



## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Generales

- El uso de un modelo matemático como el empleado, tiene la ventaja de permitir, no sólo el análisis del tanque sedimentador, sino también de la toma a un río. De hecho, es factible en caso necesario, analizar las características de la toma para reducir el ingreso de sedimento.
- Una ventaja adicional que tendría el modelo empleado, sería el posible cálculo de la influencia de las avenidas en la presencia de sedimentos; es decir, se puede calcular el régimen transitorio del agua y del sedimento. Ninguna de las herramientas clásicas alcanzaría a igualar tales condiciones de simulación.
- Quizás la mayor ventaja del modelo usado sea la posibilidad de que simule los efectos en tres dimensiones, lo cual se acerca más a la realidad.
- Hay otros resultados también importantes, que se obtienen de la simulación, como son: el número de Froude, los detalles de las velocidades horizontales y verticales, las configuraciones parciales del depósito y las distribuciones de concentraciones, cortantes, etc.
- Aquí sólo se han presentado parte de los resultados que ofrece el modelo por razones académicas; sin embargo, vale realzar el potencial de información de este modelo es más grande.
- El modelo empleado (SSIIM) aún se encuentra en desarrollo, pero muestra grandes ventajas para la simulación del comportamiento del sedimento y es de uso libre.



### Particulares

En este trabajo se presentaron los resultados de las 16 modelaciones realizadas en condiciones iniciales, a nivel de operación y de limpieza. En estos dos últimos escenarios, se consideró la variabilidad del ancho de sedimentación entre 29.5 y 59 m.

Se observó el comportamiento de las velocidades horizontal y vertical, el número de Froude; y principalmente el patrón de depósito y erosión de sedimentos en el sedimentador tanto en el área de ingreso próxima a la turbina. A partir de estos análisis, se concluye lo siguiente:

- La velocidad vertical y la horizontal, son factores indicativos para la predicción de depósitos o erosión. En la mayoría de las modelaciones, se observó que para velocidades horizontales hasta de 0.60 m/s se presenta transporte en suspensión.
- Para todos los escenarios modelados, se cumple que el régimen del flujo es subcrítico. Los máximos valores del número de Froude se alcanzan en el ingreso a la derivación.
- En condiciones iniciales; es decir, sin ninguna estructura de retención, comparando los valores de la velocidad vertical y horizontal para partículas de diámetro 0.02 y 0.2 mm, los correspondientes a 0.02 mm resultan ser menores; pero sin ninguna relación proporcional a pesar de que la relación existente entre diámetros. Con este resultado, se verifica que mayores diámetros implican velocidades más elevadas.
- Bajo condiciones iniciales, Los cambios en el lecho para estos dos diámetros es también diferente, para  $D_{50}=0.02$  mm se produce erosión; mientras que



para  $D_{50} = 0.2$  mm depósito. Lo que confirma el transporte en suspensión de pequeñas partículas.

- Partículas de diámetro igual o superior a 2 mm no representan inconvenientes en el tipo de problema presentado, por tanto se puede concluir que este tipo de partículas difícilmente puede llegar a ingresar a las turbinas.
- En condiciones iniciales, el comportamiento del transporte de sedimentos y la velocidad vertical de las partículas presentes en la granulometría estudiada es diferente al presentado cuando se estudia solamente el  $D_{50} = 0.2$  mm.
- Para la granulometría, se observaron más lugares de erosión los que inmediatamente están seguidos de depósitos; esto es atribuible a la fracción de sedimento fino existente en la mezcla. La presencia de esta fracción influye también en la forma de distribución de la concentración, es así que las más finas se distribuyen a lo largo del cauce, mientras que las más gruesas en ciertos tramos de éste.
- Cuando se modela a nivel de operación, el ancho de sedimentador influye en el depósito de las partículas de 0.2 mm. Para un mayor ancho se producen el más alto depósito (0.29 m), ayudando a que el canal de acceso a la turbina no tenga sedimentos de este diámetro. El ancho 1 permite que se presente mayor erosión respecto al ancho 2.
- Cuando ingresa la granulometría en condición de nivel de operación, a pesar de que el ancho 1 permite mayor depósito que el ancho 2; éste último hace que el ingreso a la turbina esté libre de sedimentos.



- Las concentraciones obtenidas en la zona de la turbina, para el  $D_{50} = 0.2$  mm el ancho 2 baja esta concentración de 0.0000551 a 0.0000368 . Sin embargo para la granulometría con  $D_{50}$  de igual diámetro, sube ligeramente de 0.0000506 a 0.0000537 por la presencia de finos.
- Para el caso del nivel de limpieza para todos los casos que trabajan con el ancho 2, los niveles son elevados respecto a los del ancho 1. Ello confirma que se elimina el sedimento por tanto el agua tiene mayor carga por el lavado.
- Es recomendable contar con una caracterización a detalle del sedimento que ingresa en un cauce, pues como se observa la presencia de finos cambia ampliamente el patrón de depósito o erosión.



## 6 REFERENCIAS

- García Marcelo H, 2008, *Sedimentation Engineering*, American Society Civil of Engineering, Virginia.
- Government of India, 2008, *Standards Manuals Guidelines for Small Hydro Development*, Ministry of New and Renewable Energy,
- Janssen Robert H.A – Bechtel Corporation, “Analysis and Design of Sediment Basins”, July 13-16, 2004, Eight National Conference on Hydraulics in Water Engineering.
- Kumar Agrawal Aravind, 2005, “Numerical Modelling of Sediment Flow in Tala Desilting Chamber”, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Manual de Ingeniería de Ríos, Capítulo 8, 1996, Instituto de Ingeniería UNAM, Comisión Nacional del Agua, México
- Maza Álvarez José Antonio y García Flores Manuel, Manual de Ingeniería de Ríos, Capítulo 10, 1996, Instituto de Ingeniería UNAM, Comisión Nacional del Agua, México
- Morris L. Gregory and Fan Jiahua, 1998, *Reservoir Sedimentation Handbook*, Mc Graw Hill Co New York.
- Olsen Nils Reidar B., 2001, “CFD for modeling for hydraulic structures”, Department of Hydraulic and Environmental Engineering and The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Olsen Nils Reidar B., 2011, “User’s Manual”, Department of Hydraulic and Environmental Engineering and The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.



- Olsen Nils Reidar B., 2012, "Numerical Modelling and Hydraulics", Third Edition, Department of Hydraulic and Environmental Engineering and The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Ortega Franco Luis Miguel, "Estructuras Desarenadoras", Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, 1982.
- Ortega Franco Luis Miguel, 1982, "Estructuras Desarenadoras", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Potter Merle C. y Wiggert David C., 1997, Mecánica de Fluidos, México, Prentice Hall.
- Prasad Neopane Hari, Sediment Erosion in Hydroturbines, Faculty of Engineering Science and Technology, Norwegian University of Science and Technology, Marzo 2010.
- Ranga Raju K.G, Kothyari U.C, Srivastav Somya, Saxena Manish, "Sediment Removal Efficiency of Settling Basins", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, September/October 1999.
- Sharma H.D. and Sharma H.R, Sediment problems at intakes for hydropower plants, IAHS Publication N° 122, 1977.
- Thapa Biraj Singh, Thapa Bhola and Dahlhaug Ole G, 2012, Empirical modeling of sediment erosion in Francis turbines, Journal Energy, Vol 41, Pag 386 – 391.
- Versteeg H.K y Malalasekera W., 1995, An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method, Harlow, England, Wiley.



- White Frank M., 2008, *Mecánica de Fluidos*, México, Mc Graw Hill.
- Yonas Michael, Tilaye Robel, 2010, "Numerical Modelling for Settling Basin Design", Nile Basin Capacity Building Network, Cairo, Egypt.



## APÉNDICE



## APÉNDICE

Archivo Control para Condiciones Iniciales  $D_{50} = 0.2\text{mm}$ , Nivel de Operación

T Rio 0.2mm Condicion Inicial

F 1 D

F 2 IS

F 4 0.5 500 0.1 relajacion, iteracion, precision

F 11 2.65 -0.045 densidad, shields

F 33 3600.0 5

F 36 2

F 37 1

F 81 200

F 84 2

G 1 34 30 6 1 x,y,z,numsed

G 3 0.00 20.0 40.0 60.0 80.0 100.000000 dist vert celdas

G 7 0 1 2 30 2 6 0 0 300.0 1.0 0.0 0.0 main inflow

G 7 1 -1 11 12 3 6 0 0 125.0 1.0 0.0 0.0 outflowmd

G 7 1 -1 15 30 2 6 0 0 175.0 1.0 0.0 0.0 outflowmizq

G 7 1 2 28 28 2 5 0 0 0.0 1.0 0.0 0.0 lateral

G 13 2 7 18 13 14 2 6 inicio

G 13 2 19 34 13 14 2 6 fin

G 13 2 29 34 2 10 2 6

G 13 2 6 18 2 10 2 6

G 13 2 19 28 2 10 2 6

W 1 35.000 300 23

W 2 19 1 3 5 6 7 8 9 10 11 13 15 17 19 21 23 25 28 30 33

W 4 2 0 2 28 28 2 5

W 4 1 1 34 2 10 2 6



W 4 1 -1 34 2 10 2 6

W 4 1 1 34 11 12 2 2

W 4 1 -1 34 11 12 2 2

W 4 1 1 34 13 14 2 6

W 4 1 -1 34 13 14 2 6

S 1 0.0002 0.0235

I 1 0 kg/s

N 0 1 1.0

B 0 0 0 0 0

K 1 800 60000

K 2 0 1



## Archivo Koordina para Condiciones Iniciales

i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
1	1	1800	2720	25.15	18	1	3076.4	2152	23.34
1	2	1809.5172	2741.1034	24.5817	18	2	3076.3862	2180.1379	24.44
1	3	1819.0345	2762.2069	24.0135	18	3	3076.3724	2208.2759	22.8952993
1	4	1828.5517	2783.3103	23.5689	18	4	3076.3586	2236.4138	22.4592199
1	5	1838.069	2804.4138	23.1486	18	5	3076.3448	2264.5517	22.099245
1	6	1847.5862	2825.5172	22.7283	18	6	3076.331	2292.6897	21.7304254
1	7	1857.1034	2846.6207	22.3081	18	7	3076.3172	2320.8276	21.272391
1	8	1866.6207	2867.7241	22.0544	18	8	3076.3034	2348.9655	20.894667
1	9	1876.1379	2888.8276	21.8583	18	9	3076.2897	2377.1034	20.7088107
1	10	1885.6552	2909.931	21.6623	18	10	3076.2759	2405.2414	20.5720372
1	11	1895.1724	2931.0345	21.2414	18	11	3076.2621	2433.3793	20.2511216
1	12	1904.6897	2952.1379	20.78	18	12	3076.2483	2461.5172	19.5675224
1	13	1914.2069	2973.2414	20.6515	18	13	3076.2345	2489.6552	19.1520325
1	14	1923.7241	2994.3448	20.5284	18	14	3076.2207	2517.7931	18.8933534
1	15	1933.2414	3015.4483	20.4053	18	15	3076.2069	2545.931	18.6723024
1	16	1942.7586	3036.5517	20.1771	18	16	3076.1931	2574.069	18.8041501
1	17	1952.2759	3057.6552	19.9441	18	17	3076.1793	2602.2069	19.0118995
1	18	1961.7931	3078.7586	19.6594	18	18	3076.1655	2630.3448	19.1857689
1	19	1971.3103	3099.8621	19.32	18	19	3076.1517	2658.4828	19.3452875
1	20	1980.8276	3120.9655	19.4636	18	20	3076.1379	2686.6207	19.4547749
1	21	1990.3448	3142.069	19.8155	18	21	3076.1241	2714.7586	19.8377244
1	22	1999.8621	3163.1724	20.5847	18	22	3076.1103	2742.8966	20.1380926
1	23	2009.3793	3184.2759	21.8034	18	23	3076.0966	2771.0345	20.504189
1	24	2018.8966	3205.3793	22.6755	18	24	3076.0828	2799.1724	20.7351608
1	25	2028.4138	3226.4828	22.9892	18	25	3076.069	2827.3103	20.9536456
1	26	2037.931	3247.5862	23.2109	18	26	3076.0552	2855.4483	21.2483397
1	27	2047.4483	3268.6897	23.4327	18	27	3076.0414	2883.5862	21.6636704
1	28	2056.9655	3289.7931	23.7061	18	28	3076.0276	2911.7241	22.1149332
1	29	2066.4828	3310.8966	24.0131	18	29	3076.0138	2939.8621	22.7259258
1	30	2076	3332	24.32	18	30	3076	2968	23.5829629
2	1	1864	2748	25.12	19	1	3136	2172	23.34
2	2	1872.6897	2766.069	24.5917	19	2	3135.4483	2200.5517	24.44
2	3	1881.3793	2784.1379	24.0634	19	3	3134.8966	2229.1034	22.8952993
2	4	1890.069	2802.2069	23.6224	19	4	3134.3448	2257.6552	22.4592199
2	5	1898.7586	2820.2759	23.2385	19	5	3133.7931	2286.2069	22.099245
2	6	1907.4483	2838.3448	22.8546	19	6	3133.2414	2314.7586	21.7304254
2	7	1916.1379	2856.4138	22.4723	19	7	3132.6897	2343.3103	21.272391



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
2	8	1924.8276	2874.4828	22.15	19	8	3132.1379	2371.8621	20.894667
2	9	1933.5172	2892.5517	21.9467	19	9	3131.5862	2400.4138	20.7088107
2	10	1942.2069	2910.6207	21.7674	19	10	3131.0345	2428.9655	20.5720372
2	11	1950.8966	2928.6897	21.5884	19	11	3130.4828	2457.5172	20.2511216
2	12	1959.5862	2946.7586	21.1822	19	12	3129.931	2486.069	19.5675224
2	13	1968.2759	2964.8276	20.74	19	13	3129.3793	2514.6207	19.1520325
2	14	1976.9655	2982.8966	20.63	19	14	3128.8276	2543.1724	18.8933534
2	15	1985.6552	3000.9655	20.503	19	15	3128.2759	2571.7241	18.6723024
2	16	1994.3448	3019.0345	20.3936	19	16	3127.7241	2600.2759	18.8041501
2	17	2003.0345	3037.1034	20.2245	19	17	3127.1724	2628.8276	19.0118995
2	18	2011.7241	3055.1724	20.0158	19	18	3126.6207	2657.3793	19.1857689
2	19	2020.4138	3073.2414	19.807	19	19	3126.069	2685.931	19.3452875
2	20	2029.1034	3091.3103	19.5145	19	20	3125.5172	2714.4828	19.4547749
2	21	2037.7931	3109.3793	19.29	19	21	3124.9655	2743.0345	19.8377244
2	22	2046.4828	3127.4483	19.5244	19	22	3124.4138	2771.5862	20.1380926
2	23	2055.1724	3145.5172	19.8302	19	23	3123.8621	2800.1379	20.504189
2	24	2063.8621	3163.5862	20.5042	19	24	3123.3103	2828.6897	20.7351608
2	25	2072.5517	3181.6552	21.57	19	25	3122.7586	2857.2414	20.9536456
2	26	2081.2414	3199.7241	22.4482	19	26	3122.2069	2885.7931	21.2483397
2	27	2089.931	3217.7931	22.8165	19	27	3121.6552	2914.3448	21.6636704
2	28	2098.6207	3235.8621	23	19	28	3121.1034	2942.8966	22.1149332
2	29	2107.3103	3253.931	23.2223	19	29	3120.5517	2971.4483	22.7259258
2	30	2116	3272	23.44	19	30	3120	3000	23.5829629
3	1	1920	2700	25.06	20	1	3228	2160	23.34
3	2	1928	2717.5172	24.448	20	2	3228.1379	2190.6207	24.44
3	3	1936	2735.0345	23.8361	20	3	3228.2759	2221.2414	22.8952993
3	4	1944	2752.5517	23.3726	20	4	3228.4138	2251.8621	22.4592199
3	5	1952	2770.069	22.9516	20	5	3228.5517	2282.4828	22.099245
3	6	1960	2787.5862	22.5306	20	6	3228.6897	2313.1034	21.7304254
3	7	1968	2805.1034	22.109	20	7	3228.8276	2343.7241	21.272391
3	8	1976	2822.6207	21.8754	20	8	3228.9655	2374.3448	20.894667
3	9	1984	2840.1379	21.6784	20	9	3229.1034	2404.9655	20.7088107
3	10	1992	2857.6552	21.46	20	10	3229.2414	2435.5862	20.5720372
3	11	2000	2875.1724	21.033	20	11	3229.3793	2466.2069	20.2511216
3	12	2008	2892.6897	20.6339	20	12	3229.5172	2496.8276	19.5675224
3	13	2016	2910.2069	20.4852	20	13	3229.6552	2527.4483	19.1520325
3	14	2024	2927.7241	20.3509	20	14	3229.7931	2558.069	18.8933534
3	15	2032	2945.2414	20.2117	20	15	3229.931	2588.6897	18.6723024
3	16	2040	2962.7586	19.9865	20	16	3230.069	2619.3103	18.8041501



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
3	17	2048	2980.2759	19.7614	20	17	3230.2069	2649.931	19.0118995
3	18	2056	2997.7931	19.4618	20	18	3230.3448	2680.5517	19.1857689
3	19	2064	3015.3103	19.23	20	19	3230.4828	2711.1724	19.3452875
3	20	2072	3032.8276	19.5465	20	20	3230.6207	2741.7931	19.4547749
3	21	2080	3050.3448	19.9211	20	21	3230.7586	2772.4138	19.8377244
3	22	2088	3067.8621	20.7432	20	22	3230.8966	2803.0345	20.1380926
3	23	2096	3085.3793	21.9099	20	23	3231.0345	2833.6552	20.504189
3	24	2104	3102.8966	22.51	20	24	3231.1724	2864.2759	20.7351608
3	25	2112	3120.4138	22.7311	20	25	3231.3103	2894.8966	20.9536456
3	26	2120	3137.931	22.9689	20	26	3231.4483	2925.5172	21.2483397
3	27	2128	3155.4483	23.2312	20	27	3231.5862	2956.1379	21.6636704
3	28	2136	3172.9655	23.5335	20	28	3231.7241	2986.7586	22.1149332
3	29	2144	3190.4828	23.8553	20	29	3231.8621	3017.3793	22.7259258
3	30	2152	3208	24.18	20	30	3232	3048	23.5829629
4	1	1956	2612	24.96	21	1	3304	2164	23.34
4	2	1964.1379	2631.1724	24.3113	21	2	3303.5862	2195.0345	24.44
4	3	1972.2759	2650.3448	23.6626	21	3	3303.1724	2226.069	22.8952993
4	4	1980.4138	2669.5172	23.1734	21	4	3302.7586	2257.1034	22.4592199
4	5	1988.5517	2688.6897	22.7491	21	5	3302.3448	2288.1379	22.099245
4	6	1996.6897	2707.8621	22.3247	21	6	3301.931	2319.1724	21.7304254
4	7	2004.8276	2727.0345	21.9142	21	7	3301.5172	2350.2069	21.272391
4	8	2012.9655	2746.2069	21.6944	21	8	3301.1034	2381.2414	20.894667
4	9	2021.1034	2765.3793	21.4956	21	9	3300.6897	2412.2759	20.7088107
4	10	2029.2414	2784.5517	21.2834	21	10	3300.2759	2443.3103	20.5720372
4	11	2037.3793	2803.7241	20.8264	21	11	3299.8621	2474.3448	20.2511216
4	12	2045.5172	2822.8966	20.4912	21	12	3299.4483	2505.3793	19.5675224
4	13	2053.6552	2842.069	20.2987	21	13	3299.0345	2536.4138	19.1520325
4	14	2061.7931	2861.2414	20.1749	21	14	3298.6207	2567.4483	18.8933534
4	15	2069.931	2880.4138	20.0147	21	15	3298.2069	2598.4828	18.6723024
4	16	2078.069	2899.5862	19.7986	21	16	3297.7931	2629.5172	18.8041501
4	17	2086.2069	2918.7586	19.5826	21	17	3297.3793	2660.5517	19.0118995
4	18	2094.3448	2937.931	19.2655	21	18	3296.9655	2691.5862	19.1857689
4	19	2102.4828	2957.1034	19.14	21	19	3296.5517	2722.6207	19.3452875
4	20	2110.6207	2976.2759	19.42	21	20	3296.1379	2753.6552	19.4547749
4	21	2118.7586	2995.4483	20.0004	21	21	3295.7241	2784.6897	19.8377244
4	22	2126.8966	3014.6207	20.8969	21	22	3295.3103	2815.7241	20.1380926
4	23	2135.0345	3033.7931	21.8652	21	23	3294.8966	2846.7586	20.504189
4	24	2143.1724	3052.9655	22.2819	21	24	3294.4828	2877.7931	20.7351608
4	25	2151.3103	3072.1379	22.4685	21	25	3294.069	2908.8276	20.9536456



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
4	26	2159.4483	3091.3103	22.7354	21	26	3293.6552	2939.8621	21.2483397
4	27	2167.5862	3110.4828	23.07	21	27	3293.2414	2970.8966	21.6636704
4	28	2175.7241	3129.6552	23.364	21	28	3292.8276	3001.931	22.1149332
4	29	2183.8621	3148.8276	23.7014	21	29	3292.4138	3032.9655	22.7259258
4	30	2192	3168	24.05	21	30	3292	3064	23.5829629
5	1	2072	2528	24.89	22	1	3380	2232	23.34
5	2	2079.0345	2545.7931	24.3402	22	2	3379.3103	2261.6552	24.44
5	3	2086.069	2563.5862	23.7903	22	3	3378.6207	2291.3103	22.8952993
5	4	2093.1034	2581.3793	23.276	22	4	3377.931	2320.9655	22.4592199
5	5	2100.1379	2599.1724	22.912	22	5	3377.2414	2350.6207	22.099245
5	6	2107.1724	2616.9655	22.5583	22	6	3376.5517	2380.2759	21.7304254
5	7	2114.2069	2634.7586	22.2045	22	7	3375.8621	2409.931	21.272391
5	8	2121.2414	2652.5517	21.8796	22	8	3375.1724	2439.5862	20.894667
5	9	2128.2759	2670.3448	21.6599	22	9	3374.4828	2469.2414	20.7088107
5	10	2135.3103	2688.1379	21.4921	22	10	3373.7931	2498.8966	20.5720372
5	11	2142.3448	2705.931	21.3286	22	11	3373.1034	2528.5517	20.2511216
5	12	2149.3793	2723.7241	21.1038	22	12	3372.4138	2558.2069	19.5675224
5	13	2156.4138	2741.5172	20.7394	22	13	3371.7241	2587.8621	19.1520325
5	14	2163.4483	2759.3103	20.4355	22	14	3371.0345	2617.5172	18.8933534
5	15	2170.4828	2777.1034	20.2868	22	15	3370.3448	2647.1724	18.6723024
5	16	2177.5172	2794.8966	20.1345	22	16	3369.6552	2676.8276	18.8041501
5	17	2184.5517	2812.6897	20.0311	22	17	3368.9655	2706.4828	19.0118995
5	18	2191.5862	2830.4828	19.8852	22	18	3368.2759	2736.1379	19.1857689
5	19	2198.6207	2848.2759	19.7113	22	19	3367.5862	2765.7931	19.3452875
5	20	2205.6552	2866.069	19.5375	22	20	3366.8966	2795.4483	19.4547749
5	21	2212.6897	2883.8621	19.2915	22	21	3366.2069	2825.1034	19.8377244
5	22	2219.7241	2901.6552	19.08	22	22	3365.5172	2854.7586	20.1380926
5	23	2226.7586	2919.4483	19.2309	22	23	3364.8276	2884.4138	20.504189
5	24	2233.7931	2937.2414	19.3918	22	24	3364.1379	2914.069	20.7351608
5	25	2240.8276	2955.0345	19.897	22	25	3363.4483	2943.7241	20.9536456
5	26	2247.8621	2972.8276	20.5547	22	26	3362.7586	2973.3793	21.2483397
5	27	2254.8966	2990.6207	21.4162	22	27	3362.069	3003.0345	21.6636704
5	28	2261.931	3008.4138	21.8987	22	28	3361.3793	3032.6897	22.1149332
5	29	2268.9655	3026.2069	22.1245	22	29	3360.6897	3062.3448	22.7259258
5	30	2276	3044	22.27	22	30	3360	3092	23.5829629
6	1	2172	2488	24.83	23	1	3476	2256	23.34
6	2	2178.8966	2506.069	24.1415	23	2	3475.1724	2285.5172	24.44
6	3	2185.7931	2524.1379	23.4529	23	3	3474.3448	2315.0345	22.8952993
6	4	2192.6897	2542.2069	22.9094	23	4	3473.5172	2344.5517	22.4592199



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
6	5	2199.5862	2560.2759	22.4774	23	5	3472.6897	2374.069	22.099245
6	6	2206.4828	2578.3448	22.06	23	6	3471.8621	2403.5862	21.7304254
6	7	2213.3793	2596.4138	21.67	23	7	3471.0345	2433.1034	21.272391
6	8	2220.2759	2614.4828	21.42	23	8	3470.2069	2462.6207	20.894667
6	9	2227.1724	2632.5517	21.2563	23	9	3469.3793	2492.1379	20.7088107
6	10	2234.069	2650.6207	20.9967	23	10	3468.5517	2521.6552	20.5720372
6	11	2240.9655	2668.6897	20.5663	23	11	3467.7241	2551.1724	20.2511216
6	12	2247.8621	2686.7586	20.2996	23	12	3466.8966	2580.6897	19.5675224
6	13	2254.7586	2704.8276	20.0577	23	13	3466.069	2610.2069	19.1520325
6	14	2261.6552	2722.8966	19.9432	23	14	3465.2414	2639.7241	18.8933534
6	15	2268.5517	2740.9655	19.7609	23	15	3464.4138	2669.2414	18.6723024
6	16	2275.4483	2759.0345	19.5554	23	16	3463.5862	2698.7586	18.8041501
6	17	2282.3448	2777.1034	19.3102	23	17	3462.7586	2728.2759	19.0118995
6	18	2289.2414	2795.1724	19.02	23	18	3461.931	2757.7931	19.1857689
6	19	2296.1379	2813.2414	19.1924	23	19	3461.1034	2787.3103	19.3452875
6	20	2303.0345	2831.3103	19.4554	23	20	3460.2759	2816.8276	19.4547749
6	21	2309.931	2849.3793	20.0377	23	21	3459.4483	2846.3448	19.8377244
6	22	2316.8276	2867.4483	20.88	23	22	3458.6207	2875.8621	20.1380926
6	23	2323.7241	2885.5172	21.6699	23	23	3457.7931	2905.3793	20.504189
6	24	2330.6207	2903.5862	21.932	23	24	3456.9655	2934.8966	20.7351608
6	25	2337.5172	2921.6552	22.1326	23	25	3456.1379	2964.4138	20.9536456
6	26	2344.4138	2939.7241	22.4346	23	26	3455.3103	2993.931	21.2483397
6	27	2351.3103	2957.7931	22.77	23	27	3454.4828	3023.4483	21.6636704
6	28	2358.2069	2975.8621	23.1228	23	28	3453.6552	3052.9655	22.1149332
6	29	2365.1034	2993.931	23.4871	23	29	3452.8276	3082.4828	22.7259258
6	30	2372	3012	23.88	23	30	3452	3112	23.5829629
7	1	2240	2480	23.79	24	1	3548	2240	23.34
7	2	2246.3448	2497.5172	24.76	24	2	3547.4483	2273.931	24.44
7	3	2252.6897	2515.0345	23.376387	24	3	3546.8966	2307.8621	22.8952993
7	4	2259.0345	2532.5517	22.9989261	24	4	3546.3448	2341.7931	22.4592199
7	5	2265.3793	2550.069	22.6696852	24	5	3545.7931	2375.7241	22.099245
7	6	2271.7241	2567.5862	22.3150041	24	6	3545.2414	2409.6552	21.7304254
7	7	2278.069	2585.1034	21.9792301	24	7	3544.6897	2443.5862	21.272391
7	8	2284.4138	2602.6207	21.7523681	24	8	3544.1379	2477.5172	20.894667
7	9	2290.7586	2620.1379	21.556851	24	9	3543.5862	2511.4483	20.7088107
7	10	2297.1034	2637.6552	21.0076645	24	10	3543.0345	2545.3793	20.5720372
7	11	2303.4483	2655.1724	20.073765	24	11	3542.4828	2579.3103	20.2511216
7	12	2309.7931	2672.6897	19.4887811	24	12	3541.931	2613.2414	19.5675224
7	13	2316.1379	2690.2069	19.2096279	24	13	3541.3793	2647.1724	19.1520325



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
7	14	2322.4828	2707.7241	18.96	24	14	3540.8276	2681.1034	18.8933534
7	15	2328.8276	2725.2414	19.178904	24	15	3540.2759	2715.0345	18.6723024
7	16	2335.1724	2742.7586	19.4340547	24	16	3539.7241	2748.9655	18.8041501
7	17	2341.5172	2760.2759	19.6379626	24	17	3539.1724	2782.8966	19.0118995
7	18	2347.8621	2777.7931	19.8277784	24	18	3538.6207	2816.8276	19.1857689
7	19	2354.2069	2795.3103	19.9415246	24	19	3538.069	2850.7586	19.3452875
7	20	2360.5517	2812.8276	20.1958749	24	20	3537.5172	2884.6897	19.4547749
7	21	2366.8966	2830.3448	20.4374469	24	21	3536.9655	2918.6207	19.8377244
7	22	2373.2414	2847.8621	20.8576763	24	22	3536.4138	2952.5517	20.1380926
7	23	2379.5862	2865.3793	21.1386002	24	23	3535.8621	2986.4828	20.504189
7	24	2385.931	2882.8966	21.3470284	24	24	3535.3103	3020.4138	20.7351608
7	25	2392.2759	2900.4138	21.548033	24	25	3534.7586	3054.3448	20.9536456
7	26	2398.6207	2917.931	21.9112541	24	26	3534.2069	3088.2759	21.2483397
7	27	2404.9655	2935.4483	22.3433851	24	27	3533.6552	3122.2069	21.6636704
7	28	2411.3103	2952.9655	22.7804057	24	28	3533.1034	3156.1379	22.1149332
7	29	2417.6552	2970.4828	23.3479113	24	29	3532.5517	3190.069	22.7259258
7	30	2424	2988	24.0539556	24	30	3532	3224	23.5829629
8	1	2292	2416	23.7	25	1	3628	2224	23.34
8	2	2298.4828	2434.7586	24.7	25	2	3626.7586	2260.6897	24.44
8	3	2304.9655	2453.5172	23.2796568	25	3	3625.5172	2297.3793	22.8952993
8	4	2311.4483	2472.2759	22.8899431	25	4	3624.2759	2334.069	22.4592199
8	5	2317.931	2491.0345	22.5517636	25	5	3623.0345	2370.7586	22.099245
8	6	2324.4138	2509.7931	22.2120362	25	6	3621.7931	2407.4483	21.7304254
8	7	2330.8966	2528.5517	21.8242084	25	7	3620.5517	2444.1379	21.272391
8	8	2337.3793	2547.3103	21.5706593	25	8	3619.3103	2480.8276	20.894667
8	9	2343.8621	2566.069	21.4256354	25	9	3618.069	2517.5172	20.7088107
8	10	2350.3448	2584.8276	21.0390533	25	10	3616.8276	2554.2069	20.5720372
8	11	2356.8276	2603.5862	20.1473218	25	11	3615.5862	2590.8966	20.2511216
8	12	2363.3103	2622.3448	19.5244128	25	12	3614.3448	2627.5862	19.5675224
8	13	2369.7931	2641.1034	19.1841976	25	13	3613.1034	2664.2759	19.1520325
8	14	2376.2759	2659.8621	18.9	25	14	3611.8621	2700.9655	18.8933534
8	15	2382.7586	2678.6207	19.052249	25	15	3610.6207	2737.6552	18.6723024
8	16	2389.2414	2697.3793	19.3107573	25	16	3609.3793	2774.3448	18.8041501
8	17	2395.7241	2716.1379	19.5106219	25	17	3608.1379	2811.0345	19.0118995
8	18	2402.2069	2734.8966	19.71	25	18	3606.8966	2847.7241	19.1857689
8	19	2408.6897	2753.6552	19.8259357	25	19	3605.6552	2884.4138	19.3452875
8	20	2415.1724	2772.4138	20.0854124	25	20	3604.4138	2921.1034	19.4547749
8	21	2421.6552	2791.1724	20.2997781	25	21	3603.1724	2957.7931	19.8377244
8	22	2428.1379	2809.931	20.7118226	25	22	3601.931	2994.4828	20.1380926



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
8	23	2434.6207	2828.6897	21.0145192	25	23	3600.6897	3031.1724	20.504189
8	24	2441.1034	2847.4483	21.2323982	25	24	3599.4483	3067.8621	20.7351608
8	25	2447.5862	2866.2069	21.4294564	25	25	3598.2069	3104.5517	20.9536456
8	26	2454.069	2884.9655	21.7824509	25	26	3596.9655	3141.2414	21.2483397
8	27	2460.5517	2903.7241	22.2089285	25	27	3595.7241	3177.931	21.6636704
8	28	2467.0345	2922.4828	22.6477263	25	28	3594.4828	3214.6207	22.1149332
8	29	2473.5172	2941.2414	23.224795	25	29	3593.2414	3251.3103	22.7259258
8	30	2480	2960	23.9623975	25	30	3592	3288	23.5829629
9	1	2356	2392	23.66	26	1	3716	2224	22.2906697
9	2	2361.6552	2410.8966	24.67	26	2	3712.8276	2260.6897	23.6206697
9	3	2367.3103	2429.7931	23.2344141	26	3	3709.6552	2297.3793	21.7727569
9	4	2372.9655	2448.6897	22.8291369	26	4	3706.4828	2334.069	21.2548441
9	5	2378.6207	2467.5862	22.4886042	26	5	3703.3103	2370.7586	20.8250218
9	6	2384.2759	2486.4828	22.1547115	26	6	3700.1379	2407.4483	20.4326633
9	7	2389.931	2505.3793	21.7519641	26	7	3696.9655	2444.1379	20.0140991
9	8	2395.5862	2524.2759	21.4764143	26	8	3693.7931	2480.8276	19.4444397
9	9	2401.2414	2543.1724	21.3349032	26	9	3690.6207	2517.5172	18.9778024
9	10	2406.8966	2562.069	20.9975422	26	10	3687.4483	2554.2069	18.5850211
9	11	2412.5517	2580.9655	20.1791768	26	11	3684.2759	2590.8966	18.5353587
9	12	2418.2069	2599.8621	19.5364175	26	12	3681.1034	2627.5862	18.4656788
9	13	2423.8621	2618.7586	19.1268799	26	13	3677.931	2664.2759	18.3766424
9	14	2429.5172	2637.6552	18.8938778	26	14	3674.7586	2700.9655	18.2600453
9	15	2435.1724	2656.5517	18.9892192	26	15	3671.5862	2737.6552	18.1536951
9	16	2440.8276	2675.4483	19.2519139	26	16	3668.4138	2774.3448	18.0492553
9	17	2446.4828	2694.3448	19.4479682	26	17	3665.2414	2811.0345	17.9618385
9	18	2452.1379	2713.2414	19.6440225	26	18	3662.069	2847.7241	17.9
9	19	2457.7931	2732.1379	19.7612195	26	19	3658.8966	2884.4138	18.0107566
9	20	2463.4483	2751.0345	20.0138953	26	20	3655.7241	2921.1034	18.1164462
9	21	2469.1034	2769.931	20.2246356	26	21	3652.5517	2957.7931	18.2229995
9	22	2474.7586	2788.8276	20.6346919	26	22	3649.3793	2994.4828	18.654715
9	23	2480.4138	2807.7241	20.9492205	26	23	3646.2069	3031.1724	19.0295908
9	24	2486.069	2826.6207	21.1754183	26	24	3643.0345	3067.8621	19.3098126
9	25	2491.7241	2845.5172	21.3741921	26	25	3639.8621	3104.5517	19.5781095
9	26	2497.3793	2864.4138	21.7155274	26	26	3636.6897	3141.2414	19.8319657
9	27	2503.0345	2883.3103	22.1430739	26	27	3633.5172	3177.931	20.1728609
9	28	2508.6897	2902.2069	22.585442	26	28	3630.3448	3214.6207	20.6807748
9	29	2514.3448	2921.1034	23.1693285	26	29	3627.1724	3251.3103	21.4753808
9	30	2520	2940	23.9196643	26	30	3624	3288	22.5480252
10	1	2416	2312	23.57	27	1	3756	2256	22.2658911



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
10	2	2421.1034	2332.5517	24.6	27	2	3752.2759	2291.5862	23.6158911
10	3	2426.2069	2353.1034	23.1368759	27	3	3748.5517	2327.1724	21.7506374
10	4	2431.3103	2373.6552	22.7226619	27	4	3744.8276	2362.7586	21.2353837
10	5	2436.4138	2394.2069	22.3733584	27	5	3741.1034	2398.3448	20.7989782
10	6	2441.5172	2414.7586	22.0249151	27	6	3737.3793	2433.931	20.4047238
10	7	2446.6207	2435.3103	21.609639	27	7	3733.6552	2469.5172	19.985414
10	8	2451.7241	2455.8621	21.2886104	27	8	3729.931	2505.1034	19.4069341
10	9	2456.8276	2476.4138	21.1580625	27	9	3726.2069	2540.6897	18.9413988
10	10	2461.931	2496.9655	20.8885548	27	10	3722.4828	2576.2759	18.5141824
10	11	2467.0345	2517.5172	20.2280264	27	11	3718.7586	2611.8621	18.4651595
10	12	2472.1379	2538.069	19.5496008	27	12	3715.0345	2647.4483	18.4024744
10	13	2477.2414	2558.6207	19.1080711	27	13	3711.3103	2683.0345	18.3195474
10	14	2482.3448	2579.1724	18.9200257	27	14	3707.5862	2718.6207	18.2339774
10	15	2487.4483	2599.7241	18.8671835	27	15	3703.8621	2754.2069	18.1435627
10	16	2492.5517	2620.2759	19.1313616	27	16	3700.1379	2789.7931	18.0531481
10	17	2497.6552	2640.8276	19.3240723	27	17	3696.4138	2825.3793	17.9627334
10	18	2502.7586	2661.3793	19.5140843	27	18	3692.6897	2860.9655	17.88
10	19	2507.8621	2681.931	19.6445483	27	19	3688.9655	2896.5517	17.9839935
10	20	2512.9655	2702.4828	19.8548314	27	20	3685.2414	2932.1379	18.0879869
10	21	2518.069	2723.0345	20.1001097	27	21	3681.5172	2967.7241	18.1919804
10	22	2523.1724	2743.5862	20.4883856	27	22	3677.7931	3003.3103	18.5586057
10	23	2528.2759	2764.1379	20.8215653	27	23	3674.069	3038.8966	18.9914994
10	24	2533.3793	2784.6897	21.0522376	27	24	3670.3448	3074.4828	19.2660662
10	25	2538.4828	2805.2414	21.2516263	27	25	3666.6207	3110.069	19.540633
10	26	2543.5862	2825.7931	21.583051	27	26	3662.8966	3145.6552	19.7960641
10	27	2548.6897	2846.3448	22.0152539	27	27	3659.1724	3181.2414	20.1348823
10	28	2553.7931	2866.8966	22.4584223	27	28	3655.4483	3216.8276	20.646898
10	29	2558.8966	2887.4483	23.048491	27	29	3651.7241	3252.4138	21.4517507
10	30	2564	2908	23.8242455	27	30	3648	3288	22.5338209
11	1	2508	2264	23.52	28	1	3824	2312	21.3066574
11	2	2511.8621	2285.931	24.57	28	2	3818.7586	2347.0345	22.2566574
11	3	2515.7241	2307.8621	23.084988	28	3	3813.5172	2382.069	21.1870169
11	4	2519.5862	2329.7931	22.6711414	28	4	3808.2759	2417.1034	20.9715081
11	5	2523.4483	2351.7241	22.3198133	28	5	3803.0345	2452.1379	20.4601543
11	6	2527.3103	2373.6552	21.9653569	28	6	3797.7931	2487.1724	19.9148778
11	7	2531.1724	2395.5862	21.5409863	28	7	3792.5517	2522.2069	18.9848148
11	8	2535.0345	2417.5172	21.1981952	28	8	3787.3103	2557.2414	18.0915703
11	9	2538.8966	2439.4483	21.0704674	28	9	3782.069	2592.2759	18.0442369
11	10	2542.7586	2461.3793	20.8300814	28	10	3776.8276	2627.3103	17.9691975



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
11	11	2546.6207	2483.3103	20.2465533	28	11	3771.5862	2662.3448	17.8777884
11	12	2550.4828	2505.2414	19.5480148	28	12	3766.3448	2697.3793	17.86
11	13	2554.3448	2527.1724	19.1242362	28	13	3761.1034	2732.4138	18.1004563
11	14	2558.2069	2549.1034	18.9298479	28	14	3755.8621	2767.4483	18.3409126
11	15	2562.069	2571.0345	18.807163	28	15	3750.6207	2802.4828	18.5067424
11	16	2565.931	2592.9655	19.0630973	28	16	3745.3793	2837.5172	18.6139927
11	17	2569.7931	2614.8966	19.2615125	28	17	3740.1379	2872.5517	18.7212429
11	18	2573.6552	2636.8276	19.4470215	28	18	3734.8966	2907.5862	18.9127825
11	19	2577.5172	2658.7586	19.5861087	28	19	3729.6552	2942.6207	19.2616577
11	20	2581.3793	2680.6897	19.7764253	28	20	3724.4138	2977.6552	19.6102634
11	21	2585.2414	2702.6207	20.0504852	28	21	3719.1724	3012.6897	19.9348823
11	22	2589.1034	2724.5517	20.4212055	28	22	3713.931	3047.7241	20.5340971
11	23	2592.9655	2746.4828	20.7618182	28	23	3708.6897	3082.7586	21.0915154
11	24	2596.8276	2768.4138	20.9939952	28	24	3703.4483	3117.7931	21.4458654
11	25	2600.6897	2790.3448	21.1966992	28	25	3698.2069	3152.8276	21.5415932
11	26	2604.5517	2812.2759	21.5167437	28	26	3692.9655	3187.8621	21.6373211
11	27	2608.4138	2834.2069	21.945753	28	27	3687.7241	3222.8966	21.733049
11	28	2612.2759	2856.1379	22.3913668	28	28	3682.4828	3257.931	21.8287768
11	29	2616.1379	2878.069	22.9897207	28	29	3677.2414	3292.9655	21.9613184
11	30	2620	2900	23.7798603	28	30	3672	3328	22.1089879
12	1	2576	2224	23.43	29	1	3916	2392	21.3743115
12	2	2579.8621	2247.8621	24.51	29	2	3909.2414	2427.5862	21.9543115
12	3	2583.7241	2271.7241	22.9883956	29	3	3902.4828	2463.1724	21.2529355
12	4	2587.5862	2295.5862	22.5609006	29	4	3895.7241	2498.7586	21.0270167
12	5	2591.4483	2319.4483	22.2102334	29	5	3888.9655	2534.3448	20.5182156
12	6	2595.3103	2343.3103	21.8467836	29	6	3882.2069	2569.931	19.9851286
12	7	2599.1724	2367.1724	21.4080998	29	7	3875.4483	2605.5172	19.0576732
12	8	2603.0345	2391.0345	21.0116594	29	8	3868.6897	2641.1034	18.2111728
12	9	2606.8966	2414.8966	20.8910082	29	9	3861.931	2676.6897	18.1128298
12	10	2610.7586	2438.7586	20.7082865	29	10	3855.1724	2712.2759	18.0090765
12	11	2614.6207	2462.6207	20.2616432	29	11	3848.4138	2747.8621	17.83
12	12	2618.4828	2486.4828	19.5382056	29	12	3841.6552	2783.4483	17.8808058
12	13	2622.3448	2510.3448	19.1442363	29	13	3834.8966	2819.0345	18.1425409
12	14	2626.2069	2534.2069	18.9437558	29	14	3828.1379	2854.6207	18.404276
12	15	2630.069	2558.069	18.72	29	15	3821.3793	2890.2069	18.5733499
12	16	2633.931	2581.931	18.9287524	29	16	3814.6207	2925.7931	18.6780994
12	17	2637.7931	2605.7931	19.1356759	29	17	3807.8621	2961.3793	18.782849
12	18	2641.6552	2629.6552	19.315448	29	18	3801.1034	2996.9655	18.9994206
12	19	2645.5172	2653.5172	19.4681078	29	19	3794.3448	3032.5517	19.3498043



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
12	20	2649.3793	2677.3793	19.5884907	29	20	3787.5862	3068.1379	19.6866363
12	21	2653.2414	2701.2414	19.9453832	29	21	3780.8276	3103.7241	20.0057968
12	22	2657.1034	2725.1034	20.2766083	29	22	3774.069	3139.3103	20.6182996
12	23	2660.9655	2748.9655	20.6301936	29	23	3767.3103	3174.8966	21.1615756
12	24	2664.8276	2772.8276	20.8639749	29	24	3760.5517	3210.4828	21.5102412
12	25	2668.6897	2796.6897	21.0802533	29	25	3753.7931	3246.069	21.5601112
12	26	2672.5517	2820.5517	21.3838649	29	26	3747.0345	3281.6552	21.6099813
12	27	2676.4138	2844.4138	21.802175	29	27	3740.2759	3317.2414	21.6598513
12	28	2680.2759	2868.2759	22.2497246	29	28	3733.5172	3352.8276	21.7097214
12	29	2684.1379	2892.1379	22.8581426	29	29	3726.7586	3388.4138	21.7844092
12	30	2688	2916	23.6840713	29	30	3720	3424	21.8693604
13	1	2648	2200	23.34	30	1	3992	2456	21.45
13	2	2650.8966	2223.8621	24.44	30	2	3983.7241	2489.931	22.45
13	3	2653.7931	2247.7241	22.8952993	30	3	3975.4483	2523.8621	21.3106425
13	4	2656.6897	2271.5862	22.4592199	30	4	3967.1724	2557.7931	20.9534993
13	5	2659.5862	2295.4483	22.099245	30	5	3958.8966	2591.7241	20.3623954
13	6	2662.4828	2319.3103	21.7304254	30	6	3950.6207	2625.6552	19.5347977
13	7	2665.3793	2343.1724	21.272391	30	7	3942.3448	2659.5862	18.4289279
13	8	2668.2759	2367.0345	20.894667	30	8	3934.069	2693.5172	18.1945189
13	9	2671.1724	2390.8966	20.7088107	30	9	3925.7931	2727.4483	18.0424172
13	10	2674.069	2414.7586	20.5720372	30	10	3917.5172	2761.3793	17.7762119
13	11	2676.9655	2438.6207	20.2511216	30	11	3909.2414	2795.3103	18.0346134
13	12	2679.8621	2462.4828	19.5675224	30	12	3900.9655	2829.2414	18.3270354
13	13	2682.7586	2486.3448	19.1520325	30	13	3892.6897	2863.1724	18.6136587
13	14	2685.6552	2510.2069	18.8933534	30	14	3884.4138	2897.1034	18.7360776
13	15	2688.5517	2534.069	18.6723024	30	15	3876.1379	2931.0345	18.8584966
13	16	2691.4483	2557.931	18.8041501	30	16	3867.8621	2964.9655	19.0934087
13	17	2694.3448	2581.7931	19.0118995	30	17	3859.5862	2998.8966	19.4920048
13	18	2697.2414	2605.6552	19.1857689	30	18	3851.3103	3032.8276	19.8872026
13	19	2700.1379	2629.5172	19.3452875	30	19	3843.0345	3066.7586	20.3549004
13	20	2703.0345	2653.3793	19.4547749	30	20	3834.7586	3100.6897	21.124381
13	21	2705.931	2677.2414	19.8377244	30	21	3826.4828	3134.6207	21.5541493
13	22	2708.8276	2701.1034	20.1380926	30	22	3818.2069	3168.5517	21.5873388
13	23	2711.7241	2724.9655	20.504189	30	23	3809.931	3202.4828	21.5951474
13	24	2714.6207	2748.8276	20.7351608	30	24	3801.6552	3236.4138	21.6029559
13	25	2717.5172	2772.6897	20.9536456	30	25	3793.3793	3270.3448	21.611661
13	26	2720.4138	2796.5517	21.2483397	30	26	3785.1034	3304.2759	21.6286276
13	27	2723.3103	2820.4138	21.6636704	30	27	3776.8276	3338.2069	21.6455942
13	28	2726.2069	2844.2759	22.1149332	30	28	3768.5517	3372.1379	21.684255



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
13	29	2729.1034	2868.1379	22.7259258	30	29	3760.2759	3406.069	21.7305255
13	30	2732	2892	23.5829629	30	30	3752	3440	22.0067141
14	1	2724	2216	23.34	31	1	4044	2488	21.24
14	2	2726.6207	2239.8621	24.44	31	2	4035.8621	2522.2069	21.58
14	3	2729.2414	2263.7241	22.8952993	31	3	4027.7241	2556.4138	20.8893749
14	4	2731.8621	2287.5862	22.4592199	31	4	4019.5862	2590.6207	20.5387498
14	5	2734.4828	2311.4483	22.099245	31	5	4011.4483	2624.8276	20.1481613
14	6	2737.1034	2335.3103	21.7304254	31	6	4003.3103	2659.0345	19.6295808
14	7	2739.7241	2359.1724	21.272391	31	7	3995.1724	2693.2414	18.9107256
14	8	2742.3448	2383.0345	20.894667	31	8	3987.0345	2727.4483	18.3205791
14	9	2744.9655	2406.8966	20.7088107	31	9	3978.8966	2761.6552	18.2049252
14	10	2747.5862	2430.7586	20.5720372	31	10	3970.7586	2795.8621	18.1716272
14	11	2750.2069	2454.6207	20.2511216	31	11	3962.6207	2830.069	18.0381514
14	12	2752.8276	2478.4828	19.5675224	31	12	3954.4828	2864.2759	17.8711779
14	13	2755.4483	2502.3448	19.1520325	31	13	3946.3448	2898.4828	17.7982387
14	14	2758.069	2526.2069	18.8933534	31	14	3938.2069	2932.6897	17.9741199
14	15	2760.6897	2550.069	18.6723024	31	15	3930.069	2966.8966	18.1500012
14	16	2763.3103	2573.931	18.8041501	31	16	3921.931	3001.1034	18.3258824
14	17	2765.931	2597.7931	19.0118995	31	17	3913.7931	3035.3103	18.5016231
14	18	2768.5517	2621.6552	19.1857689	31	18	3905.6552	3069.5172	18.6399728
14	19	2771.1724	2645.5172	19.3452875	31	19	3897.5172	3103.7241	18.7144342
14	20	2773.7931	2669.3793	19.4547749	31	20	3889.3793	3137.931	18.7888955
14	21	2776.4138	2693.2414	19.8377244	31	21	3881.2414	3172.1379	18.8633569
14	22	2779.0345	2717.1034	20.1380926	31	22	3873.1034	3206.3448	18.9603732
14	23	2781.6552	2740.9655	20.504189	31	23	3864.9655	3240.5517	19.1804144
14	24	2784.2759	2764.8276	20.7351608	31	24	3856.8276	3274.7586	19.4206052
14	25	2786.8966	2788.6897	20.9536456	31	25	3848.6897	3308.9655	19.6607959
14	26	2789.5172	2812.5517	21.2483397	31	26	3840.5517	3343.1724	19.8982537
14	27	2792.1379	2836.4138	21.6636704	31	27	3832.4138	3377.3793	20.1171823
14	28	2794.7586	2860.2759	22.1149332	31	28	3824.2759	3411.5862	20.5485797
14	29	2797.3793	2884.1379	22.7259258	31	29	3816.1379	3445.7931	21.0250459
14	30	2800	2908	23.5829629	31	30	3808	3480	21.3212019
15	1	2808	2192	23.34	32	1	4100	2568	21.24
15	2	2809.931	2216.9655	24.44	32	2	4090.7586	2599.1724	21.58
15	3	2811.8621	2241.931	22.8952993	32	3	4081.5172	2630.3448	20.8910055
15	4	2813.7931	2266.8966	22.4592199	32	4	4072.2759	2661.5172	20.542011
15	5	2815.7241	2291.8621	22.099245	32	5	4063.0345	2692.6897	20.1491105
15	6	2817.6552	2316.8276	21.7304254	32	6	4053.7931	2723.8621	19.6095444
15	7	2819.5862	2341.7931	21.272391	32	7	4044.5517	2755.0345	18.9035675



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
15	8	2821.5172	2366.7586	20.894667	32	8	4035.3103	2786.2069	18.2925188
15	9	2823.4483	2391.7241	20.7088107	32	9	4026.069	2817.3793	18.2030423
15	10	2825.3793	2416.6897	20.5720372	32	10	4016.8276	2848.5517	18.1688742
15	11	2827.3103	2441.6552	20.2511216	32	11	4007.5862	2879.7241	18.0244347
15	12	2829.2414	2466.6207	19.5675224	32	12	3998.3448	2910.8966	17.843627
15	13	2831.1724	2491.5862	19.1520325	32	13	3989.1034	2942.069	17.7959742
15	14	2833.1034	2516.5517	18.8933534	32	14	3979.8621	2973.2414	17.9735349
15	15	2835.0345	2541.5172	18.6723024	32	15	3970.6207	3004.4138	18.1510957
15	16	2836.9655	2566.4828	18.8041501	32	16	3961.3793	3035.5862	18.3286564
15	17	2838.8966	2591.4483	19.0118995	32	17	3952.1379	3066.7586	18.5089152
15	18	2840.8276	2616.4138	19.1857689	32	18	3942.8966	3097.931	18.6351193
15	19	2842.7586	2641.3793	19.3452875	32	19	3933.6552	3129.1034	18.7091407
15	20	2844.6897	2666.3448	19.4547749	32	20	3924.4138	3160.2759	18.7831621
15	21	2846.6207	2691.3103	19.8377244	32	21	3915.1724	3191.4483	18.8571836
15	22	2848.5517	2716.2759	20.1380926	32	22	3905.931	3222.6207	18.9573598
15	23	2850.4828	2741.2414	20.504189	32	23	3896.6897	3253.7931	19.1806964
15	24	2852.4138	2766.2069	20.7351608	32	24	3887.4483	3284.9655	19.4196793
15	25	2854.3448	2791.1724	20.9536456	32	25	3878.2069	3316.1379	19.6586622
15	26	2856.2759	2816.1379	21.2483397	32	26	3868.9655	3347.3103	19.8939648
15	27	2858.2069	2841.1034	21.6636704	32	27	3859.7241	3378.4828	20.1150305
15	28	2860.1379	2866.069	22.1149332	32	28	3850.4828	3409.6552	20.5513613
15	29	2862.069	2891.0345	22.7259258	32	29	3841.2414	3440.8276	21.0206099
15	30	2864	2916	23.5829629	32	30	3832	3472	21.3168714
16	1	2964	2176	23.34	33	1	4188	2652	21.45
16	2	2964.2759	2201.931	24.44	33	2	4176.9655	2681.6552	21.58
16	3	2964.5517	2227.8621	22.8952993	33	3	4165.931	2711.3103	21.3584104
16	4	2964.8276	2253.7931	22.4592199	33	4	4154.8966	2740.9655	21.2668208
16	5	2965.1034	2279.7241	22.099245	33	5	4143.8621	2770.6207	20.9693441
16	6	2965.3793	2305.6552	21.7304254	33	6	4132.8276	2800.2759	20.5866092
16	7	2965.6552	2331.5862	21.272391	33	7	4121.7931	2829.931	20.1792806
16	8	2965.931	2357.5172	20.894667	33	8	4110.7586	2859.5862	19.5718612
16	9	2966.2069	2383.4483	20.7088107	33	9	4099.7241	2889.2414	18.8298795
16	10	2966.4828	2409.3793	20.5720372	33	10	4088.6897	2918.8966	18.2339363
16	11	2966.7586	2435.3103	20.2511216	33	11	4077.6552	2948.5517	18.193254
16	12	2967.0345	2461.2414	19.5675224	33	12	4066.6207	2978.2069	18.1237171
16	13	2967.3103	2487.1724	19.1520325	33	13	4055.5862	3007.8621	17.9209977
16	14	2967.5862	2513.1034	18.8933534	33	14	4044.5517	3037.5172	17.7216514
16	15	2967.8621	2539.0345	18.6723024	33	15	4033.5172	3067.1724	17.9160902
16	16	2968.1379	2564.9655	18.8041501	33	16	4022.4828	3096.8276	18.1105291



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
16	17	2968.4138	2590.8966	19.0118995	33	17	4011.4483	3126.4828	18.304968
16	18	2968.6897	2616.8276	19.1857689	33	18	4000.4138	3156.1379	18.4979348
16	19	2968.9655	2642.7586	19.3452875	33	19	3989.3793	3185.7931	18.638014
16	20	2969.2414	2668.6897	19.4547749	33	20	3978.3448	3215.4483	18.7179962
16	21	2969.5172	2694.6207	19.8377244	33	21	3967.3103	3245.1034	18.7979785
16	22	2969.7931	2720.5517	20.1380926	33	22	3956.2759	3274.7586	18.8773666
16	23	2970.069	2746.4828	20.504189	33	23	3945.2414	3304.4138	19.0086858
16	24	2970.3448	2772.4138	20.7351608	33	24	3934.2069	3334.069	19.2744213
16	25	2970.6207	2798.3448	20.9536456	33	25	3923.1724	3363.7241	19.5401569
16	26	2970.8966	2824.2759	21.2483397	33	26	3912.1379	3393.3793	19.7988307
16	27	2971.1724	2850.2069	21.6636704	33	27	3901.1034	3423.0345	20.0394875
16	28	2971.4483	2876.1379	22.1149332	33	28	3890.069	3452.6897	20.4320988
16	29	2971.7241	2902.069	22.7259258	33	29	3879.0345	3482.3448	20.9444467
16	30	2972	2928	23.5829629	33	30	3868	3512	21.2959201
17	1	3028	2168	23.34	34	1	4272	2756	22.05
17	2	3027.5862	2194.8966	24.44	34	2	4259.7241	2784	22.18
17	3	3027.1724	2221.7931	22.8952993	34	3	4247.4483	2812	21.8767557
17	4	3026.7586	2248.6897	22.4592199	34	4	4235.1724	2840	21.6797739
17	5	3026.3448	2275.5862	22.099245	34	5	4222.8966	2868	21.4891109
17	6	3025.931	2302.4828	21.7304254	34	6	4210.6207	2896	21.3254359
17	7	3025.5172	2329.3793	21.272391	34	7	4198.3448	2924	20.9441921
17	8	3025.1034	2356.2759	20.894667	34	8	4186.069	2952	20.2765366
17	9	3024.6897	2383.1724	20.7088107	34	9	4173.7931	2980	19.2015221
17	10	3024.2759	2410.069	20.5720372	34	10	4161.5172	3008	18.2246948
17	11	3023.8621	2436.9655	20.2511216	34	11	4149.2414	3036	18.1309749
17	12	3023.4483	2463.8621	19.5675224	34	12	4136.9655	3064	17.7594567
17	13	3023.0345	2490.7586	19.1520325	34	13	4124.6897	3092	17.9805066
17	14	3022.6207	2517.6552	18.8933534	34	14	4112.4138	3120	18.3144578
17	15	3022.2069	2544.5517	18.6723024	34	15	4100.1379	3148	18.6140181
17	16	3021.7931	2571.4483	18.8041501	34	16	4087.8621	3176	18.7513408
17	17	3021.3793	2598.3448	19.0118995	34	17	4075.5862	3204	18.8886636
17	18	3020.9655	2625.2414	19.1857689	34	18	4063.3103	3232	19.2441759
17	19	3020.5517	2652.1379	19.3452875	34	19	4051.0345	3260	19.6946252
17	20	3020.1379	2679.0345	19.4547749	34	20	4038.7586	3288	20.1176062
17	21	3019.7241	2705.931	19.8377244	34	21	4026.4828	3316	20.9567451
17	22	3019.3103	2732.8276	20.1380926	34	22	4014.2069	3344	21.5035487
17	23	3018.8966	2759.7241	20.504189	34	23	4001.931	3372	21.5379591
17	24	3018.4828	2786.6207	20.7351608	34	24	3989.6552	3400	21.4882033
17	25	3018.069	2813.5172	20.9536456	34	25	3977.3793	3428	21.4384474



i	j	x	y	z	i	j	x	y	z
17	26	3017.6552	2840.4138	21.2483397	34	26	3965.1034	3456	21.3834464
17	27	3017.2414	2867.3103	21.6636704	34	27	3952.8276	3484	21.3214429
17	28	3016.8276	2894.2069	22.1149332	34	28	3940.5517	3512	21.2713727
17	29	3016.4138	2921.1034	22.7259258	34	29	3928.2759	3540	21.2453557
17	30	3016	2948	23.5829629	34	30	3916	3568	21.5061375