



**GUÍA Y HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PRELIMINAR (CRIBADO Y DESARENADOR) DE AGUAS RESIDUALES.**

**PRESENTADO POR:**

**INGENIERA SANITARIA:  
BELQUIS BRICEIDA SEPULVEDA MANCIPE**

**INGENIERO CIVIL:  
JAVIER ALEXANDER SIERRA MESA**

**PRESENTADO AL INGENIERO:  
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE**

**BOGOTÁ D.C.**

**ABRIL DE 2017**

## TABLA DE CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. OBJETIVOS</b>   | <b>6</b>  |
| 1.1. Objetivo general:  | 6         |
| 1.2. Objetivo específico  | 6         |
| <b>2. MARCO NORMATIVO.</b>  | <b>7</b>  |
| <b>3. SISTEMA DE TRATAMIENTO PRELIMINAR DE AGUAS RESIDUALES.</b>  | <b>8</b>  |
| 3.1. Cribado  | 8         |
| 3.2. Cribado manual   | 9         |
| 3.3. Cribado mecánico   | 9         |
| 3.3.1. Rejillas mecanizadas:  | 9         |
| 3.4. Tamices  | 10        |
| 3.5. Desarenador  | 10        |
| <b>4. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRELIMINAR DE AGUAS RESIDUALES.</b>                    | <b>11</b> |
| 4.1. Otros criterios de diseño se incluyen en las tablas No.2 y No.3.   | 13        |
| <b>5. CÁLCULO DEL SISTEMA DE PRE-TRATAMIENTO.</b>   | <b>14</b> |
| 5.1. Cribado  | 14        |
| 5.2. Caudales de diseño   | 14        |
| 5.1.1. Condiciones hidráulicas del conducto de entrada a la PTAR:   | 14        |
| <b>6. DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PRELIMINAR</b> | <b>16</b> |
| <b>7. EJEMPLO DISEÑO DE SISTEMA PRELIMINAR EMPLEANDO EL APLICATIVO ELABORADO.</b>   | <b>26</b> |
| <b>CONCLUSIONES</b>   | <b>40</b> |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Criterios de diseño Sistemas de Cribado.....            | 12 |
| Tabla 2. Parámetros de diseño para rejilla gruesa. ....          | 13 |
| Tabla 3. Parámetros de diseño para rejilla fina.....             | 13 |
| Tabla 4. Criterios de Diseño para rejilla gruesa y fina .....    | 14 |
| Tabla 5. Caudales de diseño del ejemplo.....                     | 14 |
| Tabla 6. Condiciones del conducto de entrada.....                | 14 |
| Tabla 7. Características de la tubería de entrada a la PTAR..... | 26 |
| Tabla 8. Relaciones hidráulicas en tuberías circulares.....      | 27 |
| Tabla 9. Dimensiones canal de cribado .....                      | 32 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama de flujo sistema de tratamiento preliminar.....                             | 8  |
| Figura 2. Cribado mecánico para sistemas de tratamiento de aguas residuales.....               | 10 |
| Figura 3. Esquema ROTAMAT® Micro Strainer Ro9.....   | 10 |
| Figura 4. Desarenador de flujo horizontal con canal trapezoidal y con canal rectangular.....   | 11 |
| Figura 5. Diagrama de flujo para calcular el modelo del sistema de tratamiento preliminar..... | 15 |
| Figura 6. Cotas en el canal de cribado.....  | 21 |
| Figura 7. Perfil del sistema de cribado y desarenador.....                                     | 30 |
| Figura 8. Esquema unidades de Pre-Tratamiento.....   | 39 |

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo contiene la descripción, consideraciones técnicas, metodologías de cálculo y la guía de aplicación de una herramienta computacional para el diseño de los procesos de tratamiento preliminar de aguas residuales: cribado y desarenador.

La aplicación de esta herramienta computacional se basa en el análisis hidráulico que requiere el diseño del tratamiento preliminar de aguas residuales.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo general:**

Elaborar una guía de diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar de aguas residuales.

### **1.2. Objetivo específico**

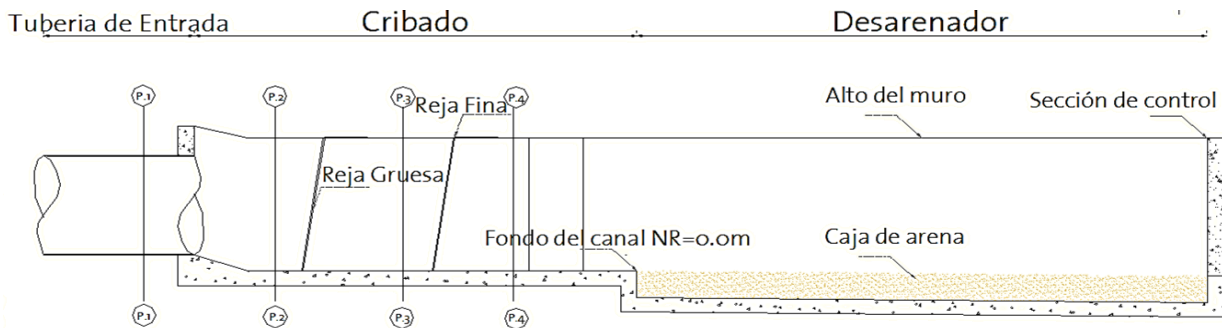
- Elaborar una herramienta computacional que permita diseñar un sistema de tratamiento preliminar de aguas residuales.
- Implementar una metodología de diseño que permita dimensionar un sistema de tratamiento preliminar de aguas residuales.

## 2. MARCO NORMATIVO.

|   |  | NORMA                  | ALCANCE  |
|---|--|------------------------|--|
|   |  | <b>RECURSO HIDRICO</b> | <b>CALIDAD</b>   |
| Resolución 1096 de 2000                     | Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS  |                        |  |
| Decreto 3100 de 2003 y Decreto 3440 de 2004 | Modifican el instrumento económico de tasas retributivas por vertimientos puntuales. Crea los PSMV (hacen las veces de planes de cumplimiento) y Reactiva los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH del 1594/84, exigiendo establecer Objetivos de Calidad en un Horizonte de tiempo.  |                        |  |
| Decreto 1575 de 2007                        | Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.  |                        |  |
| Decreto 3930 de 2010                        | Establece que todo usuario que realice descargas de aguas residuales al suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas marinas deberá tramitar y legalizar el Permiso de Vertimientos o Planes de Cumplimiento. Está pendiente por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS la elaboración de los nuevos criterios de calidad del agua para los usos asignados y las normas de vertimiento, para derogar en su totalidad el Decreto 1594 de 1984. |                        |  |
| Decreto 4728 de 2010                        | Modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010 principalmente en lo que respecta a la ampliación de los plazos estipulados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para la elaboración y entrega de los criterios de calidad, normas de vertimientos y demás compromisos adquiridos en la Norma.  |                        |  |
| Decreto 1076 de 2015                        | Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible  |                        |  |
| Resolución 631 de 2015                      | Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones   |                        |  |
| <b>CANTIDAD</b>                             | Decreto 1541 de 1978   |                        |  |
|   | Ley 373 de 1997  |                        | Obliga a incorporar el programa de uso eficiente del agua a nivel regional y municipal, y a utilizar métodos eficientes en el uso del recurso hídrico. También obliga a definir una estructura tarifaria que incentive el uso eficiente y ahorro del agua.   |
|   | Decreto 155 de 2004  |                        | Reglamenta el instrumento económico de las tasas por utilización del agua – TUA  |
| <b>OTROS</b>                                | Decreto 1449 de 1977   |                        | Establece obligaciones a los propietarios de predios para la conservación, protección, y aprovechamiento de las aguas, bosques, fauna terrestre, acuática, y suelos. Establece como área protectora forestal y que se debe mantener con cobertura boscosa una faja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanente o no y alrededor de los lagos o depósitos de agua. |
|   | Ley 142 de 1994  |                        | Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.   |
|   | Ley 1333 de 2009   |                        | Se establece el Procedimiento Ambiental Sancionatorio y se dictan otras disposiciones.   |

### 3. SISTEMA DE TRATAMIENTO PRELIMINAR DE AGUAS RESIDUALES.

Figura 1. Diagrama de flujo sistema de tratamiento preliminar.



Los tratamientos preliminares son destinados a preparar las aguas residuales para que puedan recibir un tratamiento subsiguiente sin perjudicar a los equipos mecánicos y sin obstruir tuberías y causar depósitos permanentes en tanques. Sirven también para minimizar algunos efectos negativos al tratamiento tales como grandes variaciones de caudal y de composición y la presencia de materiales flotantes, como aceites, grasas y otros.

Las unidades de tratamiento preliminar más importantes son: sistemas de cribado manual y mecánico, desarenados, tanques de compensación, desengrasadores, entre otros. De estos, prácticamente todas las plantas de tratamiento incluyen cribas y desarenadores. Las demás unidades son frecuentemente más empleadas para residuos industriales. En este trabajo de grado se analizarán los sistemas de cribado y desarenador para sistemas de tratamiento de aguas residuales.

#### 3.1. Cribado

El primer proceso encontrado generalmente en la planta de tratamiento de aguas residuales es el cribado. Es un dispositivo con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener grandes sólidos que se encuentran en el agua residual. La red de alcantarillado transporta diferentes materiales gruesos, como piedras, plásticos, y otros residuos sólidos de gran tamaño; los cuales representan una amenaza para el óptimo funcionamiento de los trenes de tratamiento posteriores y son totalmente indeseables en la implementación de procesos biológicos; por tal razón es indispensable retirar este tipo de material.



El principal objetivo del sistema de cribado es retener sólidos gruesos que floten o que se encuentren suspendidos en el agua, como papel, trapos, frascos, trozos de madera, cáscaras de frutas, latas, tapones de botellas, productos de higiene femenina, cepillos, cadáveres de animales y otros objetos que usualmente son transportados por la red de alcantarillado, con el fin de proteger el sistema contra obstrucciones en los equipos de bombeo, tuberías, válvulas y dispositivos de aireación.

### **3.2. Cribado manual**

**Rejillas de limpieza manual:** Son las empleadas en instalaciones pequeñas y con espaciamiento relativamente grande, son instaladas aguas arriba de las rejillas mecanizadas, frente a bombas de gran capacidad. En estos casos no se espera grandes volúmenes de detritos removidos, debido a que se destinan a la retención de objetos de grandes dimensiones (baldes, piedras, animales ahogados, zapatos) que podrían dañar esos equipos. Principalmente en pequeñas instalaciones, es más recomendable el empleo de rejillas manuales. Los sistemas de rejillas manuales se emplean en niveles de complejidad bajo, ya que los caudales de tratamiento se encuentran en un rango de 5 a 15 l/s, por lo cual los sistemas manuales son opciones viables en términos de construcción, instalación, operación y mantenimiento, puesto que presentan costos menores a los mecánicos.

### **3.3. Cribado mecánico**

#### **3.3.1. Rejillas mecanizadas:**

Son las que requieren una labor de mantenimiento muy cuidadosa, motivo por el cual, sólo deben ser empleadas cuando es estrictamente necesario. Los diseños modernos incluyen la utilización de materiales resistentes a la corrosión tales como acero inoxidable o material plástico.

Los tipos básicos de rejillas de auto-limpieza mecánica son:

- ▣ Rejillas de funcionamiento mediante cadenas
- ▣ Rejillas de movimiento oscilatorio
- ▣ Catenarias
- ▣ Rejillas accionadas por cables

Adicionalmente se dividen por el tipo de limpieza que puede ser por la cara anterior (aguas arriba) o por la parte posterior de la misma (aguas abajo). A pesar de que su funcionamiento básicamente es el mismo, cada tipo de rejilla tiene sus ventajas e inconvenientes.

Las rejillas de limpieza frontal son más modernas y eficientes en la retención de sólidos, pero son menos robustas y más susceptibles a que el rastrillo o peine se atore por la acumulación de sólidos en la base de la rejilla.

En las rejillas de limpieza posterior, las barras protegen al rastrillo de posibles daños. Sin embargo, este tipo de rejilla presenta problemas de arrastre de sólidos aguas debajo de la rejilla, especialmente cuando los rastrillos empiezan a presentar un desgaste importante, aparte de que este tipo de rejilla es menos robusta por que la parte superior no está soportada para permitir el paso de los dientes del rastrillo de limpieza.

En la siguiente figura se muestra sistemas de cribado mecánico para el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Figura 2. Cribado mecánico para sistemas de tratamiento de aguas residuales.



Fuente. Huber technology WASTE WATER Solutions.

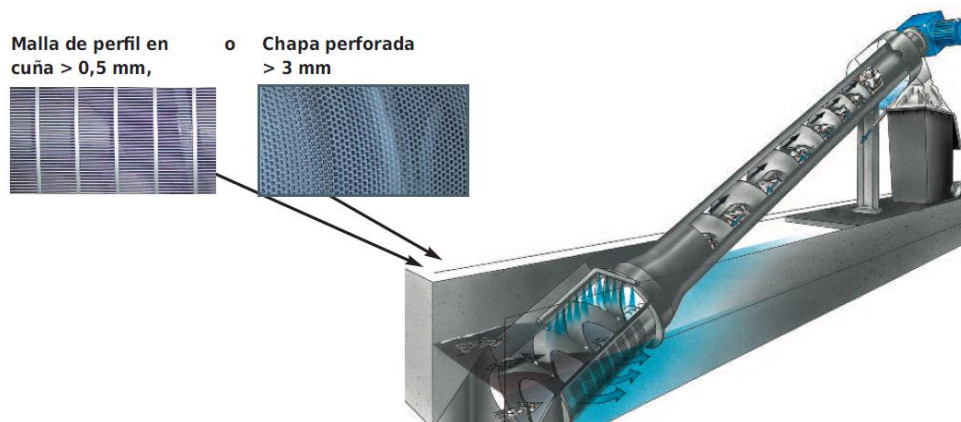
Disponible en: <http://www.proton-colombia.com>, consultado: 14\_01\_2016.

### 3.4. Tamices

Según METCALF & EDDY dentro de esta categoría se pueden encontrar tamices como los tamices estáticos de malla en sección de cuña, los cuales presenta aberturas entre 0,2 y 1,2 mm y su capacidad de trabajo se encuentra entre 400 y 1200 L/m<sup>2</sup>-min de superficie de tamiz, presentando pérdidas de carga entre 1,2 y 2,1 m.

Entre otros tipos de tamices se encuentran el tamiz de tambor donde las pérdidas de carga oscilan entre 0,8 y 1,4 m, y sus características varían desde 0,9 y 1,5 m de diámetro, y longitudes de 1,2 a 3,7 m. otros como los tamices de tipo mecánico, se encuentran comercialmente diseñados para caudales pequeños y medianos, con diferentes características de trabajo.

Figura 3. Esquema ROTAMAT® Micro Strainer Ro9.



Fuente: Huber technology Waste Water Solutions.

### 3.5. Desarenador

Para la remoción de arenas propiamente dichas junto con gravas, cenizas y otros materiales con un peso mayor a los sólidos suspendidos orgánicos susceptibles a descomposición presentes en el agua residual, se requiere de un desarenador, el cual tiene como objetivo primordial evitar que se produzcan depósitos en las

obras de conducción<sup>1</sup>, y sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenador se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm. (CEPIS, 2005). Es pertinente ubicar los desarenadores después de las unidades de remoción de gruesos (cribado) y antes de los tanques de sedimentación primaria.<sup>2</sup> Existen diferentes tipos de desarenadores para el tratamiento de aguas residuales, por ejemplo el desarenador horizontal con canal de sección rectangular, desarenadores de flujo horizontal con sección de canal trapezoidal, entre otros.

El objetivo de un elemento de desarenación es prevenir la abrasión de los equipos mecánicos, evitar la sedimentación de arenas en tuberías y canales y evitar la acumulación de materiales en los tanques y reactores ubicados aguas abajo, mediante estructuras destinadas a remover arenas y otros fragmentos presentes en las aguas residuales (vidrios, granos de maíz, granos de café, trozos de plástico y de cerámica, entre otros).

Las características geométricas dependen del tipo de desarenador que se diseñe y están establecidas en el Capítulo E4 del Título E del RAS.

**Figura 4 Desarenador de flujo horizontal con canal trapezoidal y con canal rectangular.**



Fuente: Disponible en:

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_9\\_desarenador.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_9_desarenador.html), consultado: 16/12/2015

#### **4. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRELIMINAR DE AGUAS RESIDUALES.**

Según Metcalf & Eddy uno de los primeros sistemas a implementar en el tratamiento de aguas residuales, es la separación de los sólidos gruesos, lo cual se logra comúnmente pasando el flujo de entrada a través de barras o tamices. En aguas residuales los materiales retenidos en los sistemas de cribado son generalmente residuos, los cuales pueden corresponder a piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, raíces de árboles, plásticos, y telas, lo anterior generalmente se retiene en sistemas de barras o cribado grueso, en tamices o cribado fino, dada su espaciamiento (entre 2 y 6 mm), se puede remover sólidos suspendidos ofreciendo rendimientos de remoción entre el 10 y el 15%,

<sup>1</sup>UN – Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. [en línea]. [Consultado 20 de septiembre 2011]. Disponible <[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo\\_8/Pages/Tratamiento\\_aguas\(a\).htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo_8/Pages/Tratamiento_aguas(a).htm)>

<sup>2</sup>TCHOBANOGLUOS, G., Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000. P 292-298

En el diseño de desbaste grueso y fino se tiene rejillas de barras, incluyendo rejillas de limpieza manual o mecánico, así como también se encuentran en el mercado tamices gruesos y finos, en la tabla 1 se presenta criterios de diseño de diferentes autores o referencias bibliográficas, para el diseño de sistemas de cribado.

Tabla 1. Criterios de diseño Sistemas de Cribado

|                                 | RAS 2000   |           | WEF  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
|---------------------------------|--|-----------|--|-------|------|------|------|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---------|------|------|------|-------|------|------|------|--|---------------|---------|-------------|------|---------------|------|----------|------|---------------|------|--|
|                                 | Manual   | Mecánico  | No discrimina entre cribado grueso y fino  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Localización                    | Aguas arriba de las estaciones o de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse por el material grueso que trae el agua residual sin tratar   |           | Ubicadas de tal forma que protejan los equipos de tratamiento posterior.<br>Antes de estaciones elevadoras de caudal,  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Espaciamiento entre barras (mm) | 15 – 50  | 3 - 77    | 25 - 50  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Velocidad de aproximación (m/s) | 0,3 – 0,6  | 0,3 – 0,9 | 0,6 – 1,2  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Velocidad entre barras (m/s)    | 0,3 – 0,6  | 0,6 – 1,2 | 0,4 -0,9   |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Pérdidas (m)                    | < 0,75   |           | < 0,8  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Ecuación recomendada            | $K = \beta \left( \frac{S}{b} \right)^{1.33} * \text{sen} \alpha$ <p>Donde <math>\beta</math> depende de la forma de la rejilla</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sección transversal</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Forma</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>D</td> <td>E</td> <td>F</td> <td>G</td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td>2,42</td> <td>1,83</td> <td>1,67</td> <td>1,035</td> <td>0,92</td> <td>0,76</td> <td>1,79</td> </tr> </tbody> </table> <p>S: ancho máximo de la barra<br/>b: ancho mínimo de la barra<br/><math>\alpha</math> : Angulo de inclinación</p> |           | Sección transversal  | A     | B    | C    | D    | E | F | G | Forma | A | B | C | D | E | F | G | $\beta$ | 2,42 | 1,83 | 1,67 | 1,035 | 0,92 | 0,76 | 1,79 | $h_L = \beta \left( \frac{W}{b} \right)^{1.33} * h_v * \text{sen} \phi$ <p>Donde:</p> <p><math>h_L</math>: Pérdidas<br/><math>\beta</math>: factor de forma de la barra</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de barra</th> <th><math>\beta</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rectangular</td> <td>2,42</td> </tr> <tr> <td>Semi-circular</td> <td>1,83</td> </tr> <tr> <td>Circular</td> <td>1,79</td> </tr> <tr> <td>Semi-circular</td> <td>1,67</td> </tr> </tbody> </table> <p>aguas arriba<br/>aguas abajo</p> | Tipo de barra | $\beta$ | Rectangular | 2,42 | Semi-circular | 1,83 | Circular | 1,79 | Semi-circular | 1,67 | <p><math>\phi</math> : Angulo de la rejilla. con respecto al eje horizontal.</p> <p>W: Ancho máximo de las barras.</p> <p>b: Espaciamiento mínimo de la barras.</p> <p><math>h_v</math>: Cabeza de velocidad aguas arriba.</p> |
| Sección transversal             | A  | B         | C  | D     | E    | F    | G    |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Forma                           | A  | B         | C  | D     | E    | F    | G    |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| $\beta$                         | 2,42   | 1,83      | 1,67   | 1,035 | 0,92 | 0,76 | 1,79 |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Tipo de barra                   | $\beta$  |           |  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Rectangular                     | 2,42   |           |  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Semi-circular                   | 1,83   |           |  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Circular                        | 1,79   |           |  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
| Semi-circular                   | 1,67   |           |  |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |
|                                 |  |           | $h = \frac{V^2 - v^2}{2g} * \frac{1}{0,7}$ <p>Dónde:</p> <p>h: Pérdida, (m)<br/>V: Velocidad a través de las barras, (m/s)<br/>v: Velocidad aguas arriba, (m/s)<br/>g: Gravedad, (m/s<sup>2</sup>)</p> |       |      |      |      |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |         |      |      |      |       |      |      |      |  |               |         |             |      |               |      |          |      |               |      |  |

Fuente: Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, -RAS 2000

4.1. Otros criterios de diseño se incluyen en las tablas No.2 y No.3.

Tabla 2 Parámetros de diseño para rejilla gruesa.

| Factores de diseño de rejillas manuales y mecánicas gruesas para el tratamiento de aguas residuales |          |         |          |
|---|----------|---------|----------|
| Factor de Diseño  | Unidades | Manual  | Mecánica |
| Velocidad a través de la rejilla  | m/s      | 0,6-1,2 | 0,6-1,2  |
| <b>Tamaño de barras</b>   |          |         |          |
| Ancho de barras   | mm       | 10-13   | 10-13    |
| Profundidad de Barras   | mm       | 40-50   | 40-50    |
| Separación entre barras   | mm       | 40-100  | 40-100   |
| Angulo de Inclinación   | Grados   | 45-60   | 60-90    |
| Pérdida de carga permisible, rejilla obstruida  | mm       | 150     | 150      |
| Máxima pérdida de carga, rejilla obstruida  | mm       | 800     | 800      |

Fuente: Mendonca, Sérgio Rolim; Qasim, (1999).

Tabla 3 Parámetros de diseño para rejilla fina.

| Factores de diseño de rejillas manuales y mecánicas finas para el tratamiento de aguas residuales |          |         |          |
|---|----------|---------|----------|
| Factor de Diseño  | Unidades | Manual  | Mecánica |
| Velocidad a través de la rejilla  | m/s      | 0,6-1,2 | 0,6-1,2  |
| <b>Tamaño de barras</b>   |          |         |          |
| Ancho de barras   | mm       | 6-10    | 6-10     |
| Profundidad de Barras   | mm       | 40      | 40       |
| Separación entre barras   | mm       | 10-20   | 10-20    |
| Angulo de Inclinación   | Grados   | 45-60   | 60-90    |
| Pérdida de carga permisible, rejilla obstruida  | mm       | 150     | 150      |
| Máxima pérdida de carga, rejilla obstruida  | mm       | 800     | 800      |

Fuente: Mendonca, Sérgio Rolim; Qasim, (1999).

## 5. CÁLCULO DEL SISTEMA DE PRE-TRATAMIENTO.

### 5.1. Cribado

#### Criterios de diseño para rejilla gruesa y fina

Los criterios de diseño se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 Criterios de Diseño para rejilla gruesa y fina.

| Parámetro  | Unidad | Rejilla<br>Gruesa | Rejilla<br>Fina |
|--|--------|-------------------|-----------------|
| Espaciamiento entre barras                                     | mm     | 40                | 10              |
| <b>Velocidad a través de las rejillas en diferentes flujos</b> |        |                   |                 |
| Velocidad a flujo máximo                                       | m/s    | 0,9               | 1,2             |
| Velocidad a flujo medio  | m/s    | 0,7               | 1,0             |
| Velocidad a flujo mínimo                                       | m/s    | 0,6               | 0,9             |

Fuente: Mendonca, Sérgio Rolim; Qasim, (1999).

### 5.2. Caudales de diseño.

En la Tabla 5 se presentan los caudales de diseño del sistema de cribado.

Tabla 5 Caudales de diseño del ejemplo

| Variable              | Nomenclatura | Unidad            | Valor para el ejemplo |
|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Caudal máximo Horario | QMH          | m <sup>3</sup> /s | 0,015                 |
| Caudal máximo Diario  | QMD          | m <sup>3</sup> /s | 0,0086                |
| Caudal medio diario   | Qmd          | m <sup>3</sup> /s | 0,0043                |

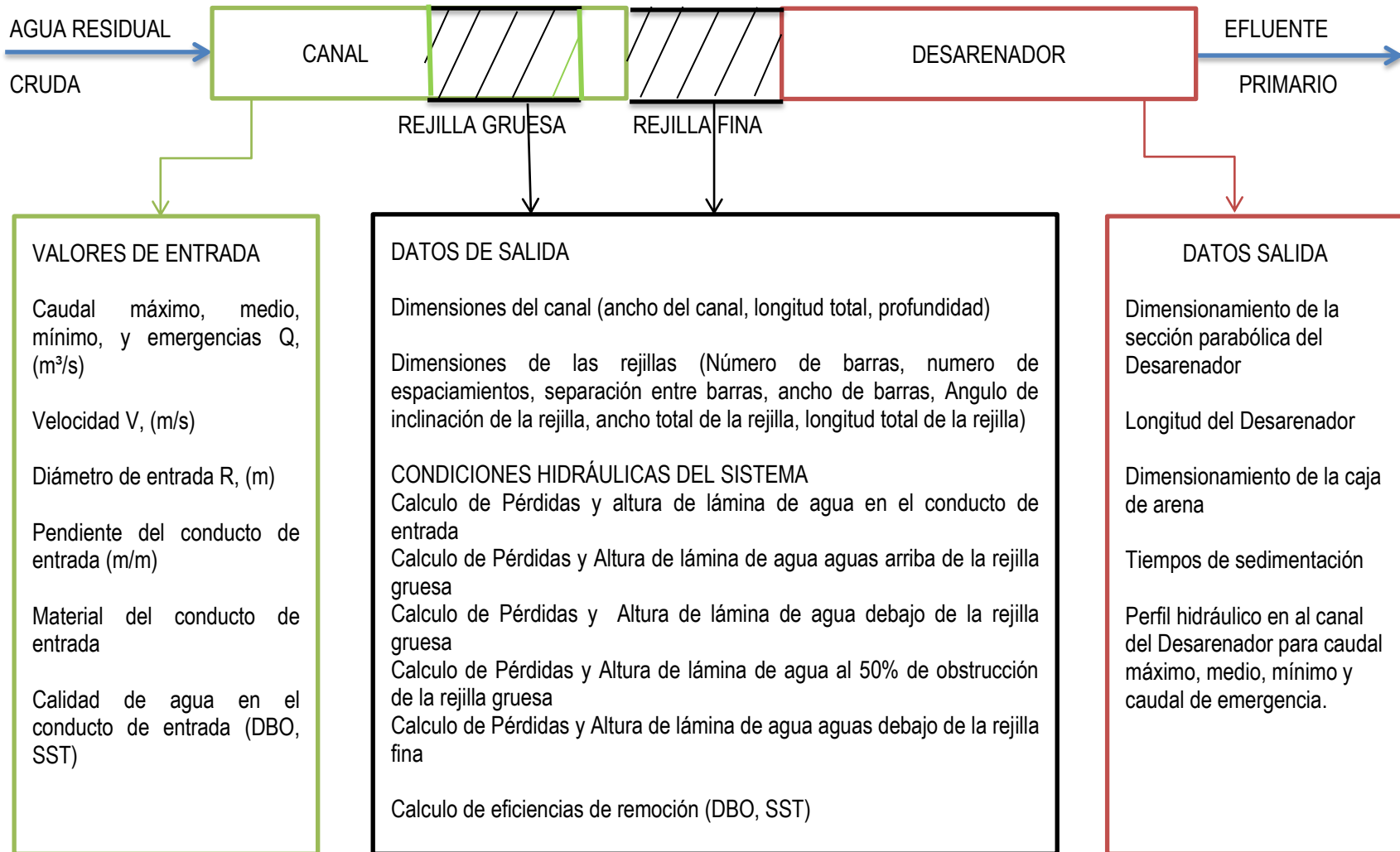
#### 5.1.1. Condiciones hidráulicas del conducto de entrada a la PTAR:

Las aguas residuales llegan por gravedad a la PTAR por medio de un emisario final ya existente. El emisario final es una tubería de sección circular con las características indicadas en la tabla 6 .

Tabla 6. Condiciones del conducto de entrada

| Característica                         | Símbolo | Unidad             | Valor    |
|--|---------|--------------------|----------|
| Pendiente                              | S       | m/m                | 0,001    |
| Material del conducto                  |         |                    | Concreto |
| Diámetro del tubo                      | D       | m                  | 1,1      |
| Rugosidad                              | n       | s/m <sup>1/3</sup> | 0,015    |
| Velocidad en el flujo máximo de diseño | V       | m/s                | 1,2      |

**Figura 5. Diagrama de flujo para calcular el modelo del sistema de tratamiento preliminar.**



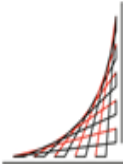
## 6. DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PRELIMINAR

El aplicativo diseñado emplea la metodología descrita en el numeral 7, para el diseño del tratamiento preliminar de aguas residuales. Este aplicativo presenta una interfaz en Excel con una programación básica en visual Basic. A continuación se presenta las instrucciones para emplear el aplicativo desarrollado.

### Paso 1: Configuración de Excel

Para emplear la hoja de cálculo como herramienta de diseño el usuario debe inicialmente habilitar las opciones de Excel que permitan emplear los recursos de configuración de la hoja de cálculo.

En la hoja presentación del archivo en Excel el usuario encontrará los requerimientos de habilitación de opciones de para Excel 2010.

|   |  |  |
|---|--|--|
|  <p>ESCUELA<br/>COLOMBIANA<br/>DE INGENIERÍA<br/>JULIO GARAVITO</p>  |  | <p>ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO</p> <p>ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE</p> <p><b>Trabajo de grado:</b> <b>Guía y herramienta computacional para el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar (cribado y Desarenador) de aguas residuales</b></p> |
| <p><b>Autores</b></p> <p><b><u>Belquis Sepúlveda Mancipe</u></b><br/>Ingeniera Sanitaria<br/>Especialista en Ingeniería Ambiental</p> <p><b><u>Javier Sierra Mesa</u></b><br/>Ingeniero Civil</p> | <p><b>Introducción</b></p> <p>El objetivo del aplicativo es analizar el operaciones unitarias de los sistemas de tratamiento preliminar de aguas residuales, analizando operaciones básicas de tipo físico para la separación de sólidos de gran tamaño y arenas.</p> <p>Los procesos analizados en el presente aplicativo corresponden a sistemas de cribado, el cual se emplea para la separación de materiales gruesos mediante el paso del fluido mediante cribas o rejillas, y Desarenadores, los cuales se emplean principalmente para la remoción de materiales como arenas, gravas y otros.</p>  |  |
| <p><b>Apoyo técnico:</b></p> <p><b><u>Fernando Gama Doza</u></b><br/>Ingeniero de Sistemas<br/>Especialista en bases de datos</p>   | <p><b>Configuración Inicial de Excel</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Activación de la opción Programador en Excel: Ir a Archivo -Opciones de Excel - Personalizar Cinta de Opciones -Comandos mas Usados. Incluir "Programador"</li><li>2. Activar Macros: Una vez se activa el programador buscar en la Pestaña "Programador"-seguridad de macros - Configuración de macros -Habilitar todas las macros</li><li>3. Habilitar la Opción solver ir a Archivo -Opciones de Excel -Complementos-seleccionar complementos de Excel seleccionar Solver -Seleccionar Aceptar</li></ol>  |  |
| <p><b>Tutor:</b></p> <p><b><u>Jairo Alberto Romero Rojas</u></b><br/>Ingeniero civil<br/>Master of engineering</p>  | <p><b>Bibliografía</b></p> <p>Para la elaboración del aplicativo se emplean diferentes fuentes entre las cuales e encuentran:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1 Qasim, S (1999). Wastewater treatment plants - Planning, desing and operation. Second Edition</li><li>2 Metcalf &amp; Eddy Inc. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, McGraw Hill, 2003</li><li>3 Tchobanoglous, Crites, Aguas Residuales Para Núcleos Pequeños, 2000.</li><li>4 Romero Jairo, Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, 3a Ed. 2004</li><li>5 WEF, ASCE. Desing of municipal Wastewater Treatment Plans, 5° Ed.2009</li><li>6 WEF, Natural Systems for Wastewater Treatment MOPFD -16, 3° Ed. 2010</li></ol> |  |



- Configuración Inicial de Excel:

### Habilitar el Programador

Mostrar la pestaña Programador en la aplicación de Office: La pestaña Programador no se muestra de forma predeterminada, por lo tanto para activarlo:

Haga clic en la pestaña Archivo.

Haga clic en Opciones.

Haga clic en Personalizar la cinta de opciones.

En Personalizar la cinta de opciones y Pestañas principales, active la casilla Desarrollador.

### Habilitar Macros

Haga clic en la pestaña Archivo.

Haga clic en la pestaña Opciones.

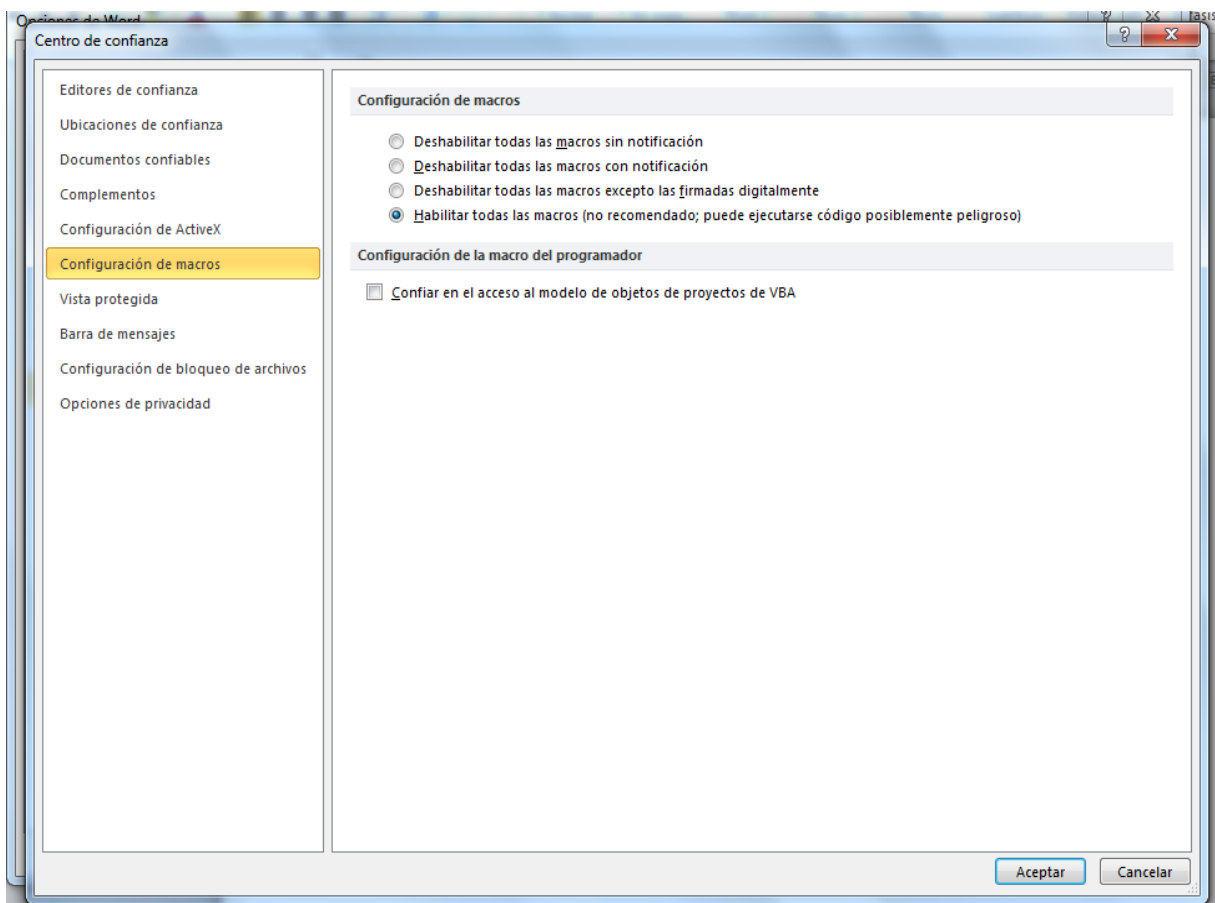
Haga clic en Centro de confianza y, después, en Configuración del Centro de confianza.

En Centro de confianza, haga clic en Configuración de macros.

Realice las selecciones oportunas.

Haga clic en Aceptar.

La imagen siguiente es el área Configuración de macros del Centro de confianza.



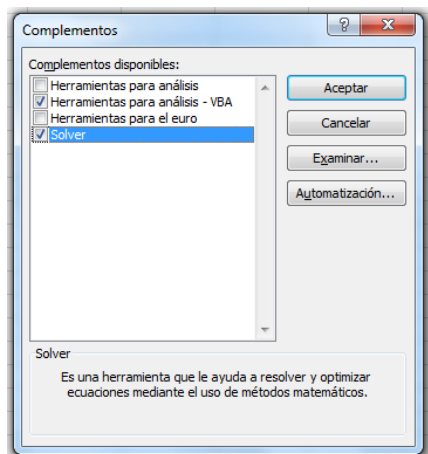
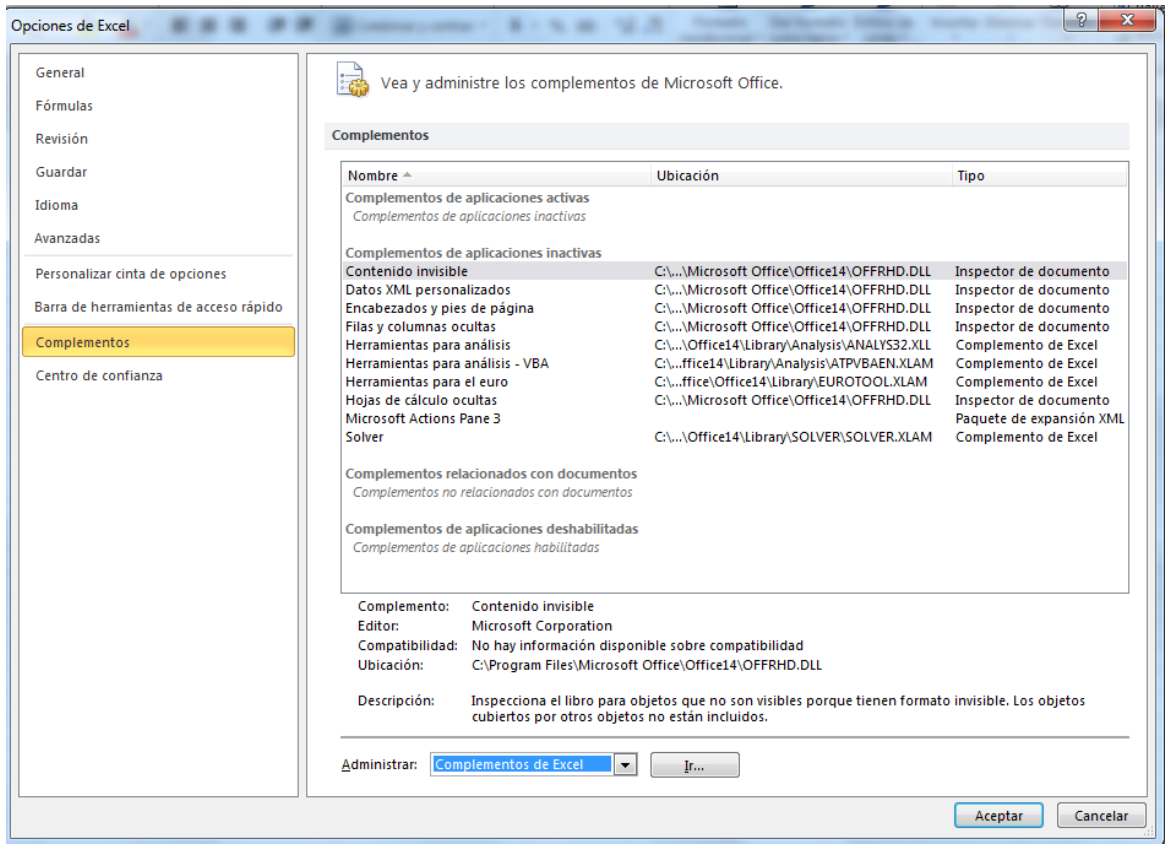
### Habilitar Solver

Haga clic en la pestaña Archivo.

Haga clic en Opciones y, a continuación, elija la categoría Complementos.

Asegúrese de que la opción Complementos de Excel esté seleccionada en el cuadro Administrar y luego haga clic en Ir.

En el cuadro de diálogo Complementos, seleccione las casillas de verificación Herramientas para análisis y Solver Add-in. A continuación, haga clic en Aceptar.

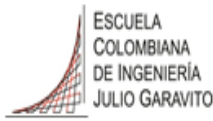


Si Excel muestra un mensaje que indica que no puede ejecutar este complemento y le pide que lo instale, haga clic en Sí para instalar los complementos.

Nota En este caso, como está instalando dos complementos, Excel le pide dos veces que instale un complemento; una vez para Herramientas para análisis y otra vez para Solver.

Observe que en la pestaña Datos, se ha agregado un grupo Análisis. Este grupo contiene botones de comando para Análisis de datos y para Solver.

Paso 2: Criterios de Diseño.



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO  
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE

Trabajo de **Guía y herramienta computacional para el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar (cribado y Desarenador) de aguas residuales**

**COEFICIENTE DE RUGOSIDAD PARA DIFERENTES MATERIALES**

|                                  | Manning's n<br>(adimensional) |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Hierro Colado                    | 0,01 a 0,015                  |
| Hormigon o Revestido en Hormigon | 0,01 a 0,017                  |
| Hierro Galvanizado               | 0,02 a 0,017                  |
| Plástico                         | 0,01 a 0,015                  |
| Acero                            | 0,02 a 0,017                  |
| Arcilla Vitrificada              | 0,01 a 0,015                  |

**CRITERIOS TEORICOS DE DISEÑO DEL DESARENADOR**

|                                   | Profun                                      | Long   | Ancho   | R.L:A     | R.A:P |
|-----------------------------------|---|--------|---------|-----------|-------|
| Desarenador de Flujo Horizontal   | 2 - 5                                       |        |         | 2,5:1-5:1 |       |
| Desarenador Aireado               | 2 - 5                                       | 8 - 20 | 2,5 - 7 | 3:1 - 5:1 |       |
| Desarenador Tipo Vórtice          | 2,5 - 5                                     |        |         |           |       |
| R.L:A R elacion Largo: Ancho      | Velocidad Minima del agua 0,2-0,4 m/s       |        |         |           |       |
| R:A:P Relacion Ancho: Profundidad | Tiempo de Retencion Hidraulica 20seg -3 min |        |         |           |       |

**CRITERIOS TEORICOS DE DISEÑO DEL CRIBADO.**

**Criterios de diseño de las rejas manuales y mecanicas gruesas**

| Factor de diseño                            | Unidad | Manual    | Mecanico  |
|---|--------|-----------|-----------|
| Velocidad a través de la reja               | m/s    | 0,6 a 1,2 | 0,6 a 1,2 |
| Tamaño de las barras                        |        | 0         |           |
| Ancho de barras                             | mm     | 4 a 8     | 8 a 10    |
| Profundidad                                 | mm     | 25 a 50   | 50 a 75   |
| Separación entre barras                     | mm     | 40 a 100  | 40 a 100  |
| Inclinación                                 | Grados | 45 a 60   | 60 a 90   |
| Perdida de carga permisible, reja obstruida | mm     | 150       | 150       |
| Máxima perdida de carga, reja obtruida      | mm     | 800       | 800       |
| Angulo de inclinacion de la reja            | °      | 75        | 75        |

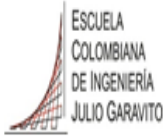
**Criterios de diseño de las rejas manuales y mecanicas finas**

| Factor de diseño                  | Unidad | Manual    | Mecanico  |
|-----------------------------------|--------|-----------|-----------|
| Velocidad a través de la reja     | m/s    | 0,6 a 1,2 | 0,6 a 1,2 |
| Tamaño de las barras              |        |           |           |
| Ancho                             | mm     | 4 a 8     | 8 a 10    |
| Profundidad                       | mm     | 25 a 50   | 50 a 75   |
| Separación entre barras           | mm     | 10 a 20   | 10 a 20   |
| Inclinación                       | Grados | 45 a 60   | 75 a 85   |
| Perdida de carga permisible, reja | mm     | 150       | 150       |
| Máxima perdida de carga, reja     | mm     | 800       | 800       |
| Angulo de inclinacion de la reja  | °      | 75        | 75        |

En esta hoja de cálculo el diseñador encontrará la relación de los criterios de diseño para el cálculo de los sistemas de pretratamiento, en esta hoja el usuario no ingresará datos, puesto que se relacionan los criterios con el fin de contextualizar al diseñador y darle a conocer los rangos de datos que se recomiendan para el dimensionamiento de las estructuras.

Paso 3: Hoja "Diseño Cribado" Condiciones iniciales de diseño.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO



ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE

Trabajo de grado: **Guía y herramienta computacional para el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar (cribado) de aguas residuales**

Datos Ingresados por el Usuario

Datos salida aplicativo

|  |
|--|
|  |
|  |

### 1. Datos de entrada para el diseño de las unidades

Caudales de diseño del ST

|                      |           |         |       |
|----------------------|-----------|---------|-------|
| <b>Caudal Máximo</b> | $Q_{max}$ | $m^3/s$ | 0,032 |
| <b>Caudal Medio</b>  | $Q_{med}$ | $m^3/s$ | 0,016 |
| <b>Caudal Mínimo</b> | $Q_{min}$ | $m^3/s$ | 0,008 |

Características del ducto de entrada PTAR

|  |       |          |       | Cotas del Canal |   |
|--|-------|----------|-------|-----------------|---|
| <b>Cota Batea tubería de entrada</b>     | $Z_0$ | m        | 0,12  | Z2              | 0 |
| <b>Pendiente ducto entrada PTAR</b>      | S     | m/m      | 0,002 | Z3              | 0 |
| <b>Rugosidad</b>                         | n     | Plástico | 0,015 | Z4              | 0 |
| <b>Diametro de la tubería de entrada</b> | D     | in       | 16    |                 |   |
|  |       | m        | 0,41  |                 |   |

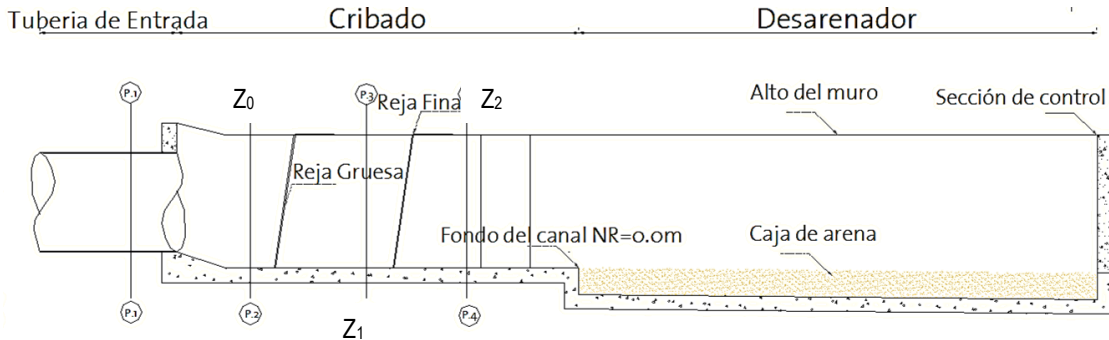
En esta hoja se ilustra los datos que debe ingresar el diseñador, los cuales se encuentran en color gris, y corresponden a datos como: caudales de diseño, características del conducto de entrada, adicionalmente el diseñador puede escoger el coeficiente de rugosidad según el material que presente la tubería de entrada.

Esta selección corresponde a una lista desplegable ubicada en la celda D23.

Adicionalmente el usuario tiene la opción de registrar las cotas de un canal existente (si es el caso) o trabajar en cota cero (0) de referencia, considerando la pendiente el diseñador podrá registrar las cotas proyectadas del canal de cribado.

Para lo anterior es pertinente considerar las posiciones ilustradas a continuación:

**Figura 6. Cotas en el canal de cribado.**



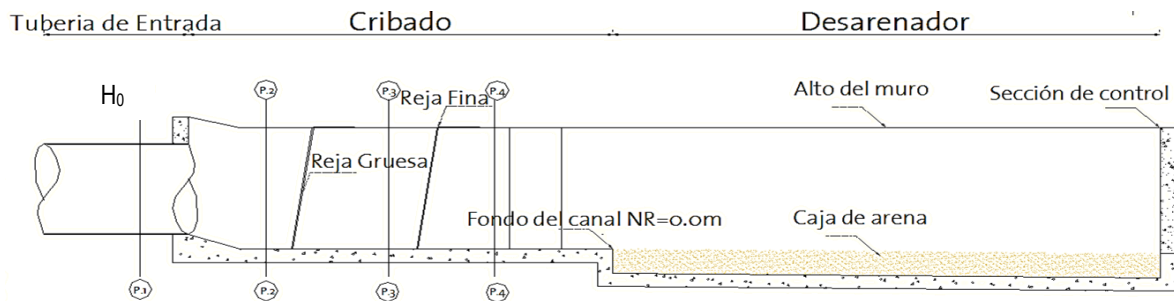
**Paso 4: Calculo de las condiciones hidráulicas de la tubería de entrada**

Condiciones hidráulicas Iniciales (Entrada ST)

|   |       |     |             |
|---|-------|-----|-------------|
| Radio Hidraulico                                      | RH    | m   | 0,1275      |
| Velocidad del Fluido en el conducto de entrada al ST  | $V_0$ | m/s | 0,799639635 |
| Altura Lamina de Agua en el conducto de entrada al ST | $H_0$ | m   | 0,294890789 |

Una vez el diseñador ingresa los datos iniciales la hoja de cálculo se encuentra programada para el cálculo de las condiciones hidráulicas a tubo lleno y la búsqueda de las condiciones hidráulicas en el conducto de entrada según las condiciones ingresadas por el diseñador; Este dato corresponde al dato de inicio del perfil hidráulico

Como se ilustra en la imagen anterior en la hoja se presentan el resumen de datos. El proceso de cálculo se realiza en la hoja llamada "relaciones hidráulicas" la cual se encuentra oculta para efectos de presentación del aplicativo.



## Paso 5: Selección de criterios de diseño del sistema de cribado

### 2. Selección de Criterios de Diseño para el Diseño de los ST

#### Criterios de Diseño de la reja gruesa

| Tipo de reja            |           |     | Valor Recomendado | Confirmado por el diseñador | Validación de datos |
|-------------------------|-----------|-----|-------------------|-----------------------------|---------------------|
| Angulo de inclinación   | $\beta$   | °   | 75                | 75                          | OK                  |
| Separación entre Barras | $S_b$     | m   | 0,07              | 0,04                        | OK                  |
| Ancho de Barras         | $A_b$     | m   | 0,009             | 0,01                        | OK                  |
| Velocidad flujo maximo  | $V_{max}$ | m/s | 1,2               | 0,9                         | OK                  |
| Velocidad flujo medio   | $V_{med}$ | m/s | 0,9               | 0,7                         | OK                  |
| Velocidad flujo mínimo  | $V_{min}$ | m/s | 0,6               | 0,6                         | OK                  |

#### Criterios de Diseño de la reja Fina

| Tipo de reja            |           |     | Valor Recomendado | Confirmado por el diseñador | Validación de datos |
|-------------------------|-----------|-----|-------------------|-----------------------------|---------------------|
| Angulo de inclinación   | $\beta$   | °   | 80                | 75                          | OK                  |
| Separación entre Barras | $S_b$     | m   | 0,015             | 0,01                        | OK                  |
| Ancho de Barras         | $A_b$     | m   | 0,009             | 0,01                        | OK                  |
| Velocidad flujo maximo  | $V_{max}$ | m/s | 1,2               | 1,2                         | OK                  |
| Velocidad flujo medio   | $V_{med}$ | m/s | 0,9               | 1                           | OK                  |
| Velocidad flujo mínimo  | $V_{min}$ | m/s | 0,6               | 0,9                         | OK                  |

En esta sección se presenta al diseñador valores de criterios de diseño sugeridos los cuales se relacionan automáticamente en la columna E entre filas No 37 a 53; el diseñador está en libertad de incorporar los criterios de diseño que a su concepto se han pertinente para el cálculo particular, los datos deben ser confirmados o digitados por el diseñador en las celdas sombreadas en color gris. Adicionalmente el aplicativo cuenta con columnas de validación de datos las cuales alertan al diseñador si los criterios de diseño seleccionados no se encuentran dentro de los valores recomendados por los autores.

## Paso 6: Dimensionamiento del sistema de cribado

### Resultados De Diseño del Sistema de Pretratamiento (Cribado Grueso y Fino)

#### 3. Dimensionamiento Sistema de Cribado Grueso y Fino

|  |         |       |         |         |
|--|---------|-------|---------|---------|
| Area de Flujo Libre                          | $A$     | $m^2$ | 0,08    | 0,08    |
| Longitud Libre entre barras (Total)          | $E_T$   | m     | 0,27    | 0,2     |
| Separación entre barras                      | $S_b$   | m     | 0,1     | 0,01    |
| Numero de separaciones                       | $\#S_b$ | Und   | 3       | 20      |
| longitud Libre entre barras (Total-Ajustado) | $E_A$   | m     | 0,3     | 0,2     |
| Numero total de barras                       | $\#B$   | Und   | 2       | 19      |
| Ancho de barras                              | $A_b$   | m     | 0,009   | 0,01    |
| Ancho de la rejilla                          | $A_c$   | m     | 0,318   | 0,318   |
| Coefficiente de Eficiencia                   | $C_E$   | %     | 94,34   | 62,89   |
| Longitud de la rejilla                       | $L$     | m     | 0,97    | 0,97    |
| longitud que ocupa la rejilla en el canal    | $L_c$   | m     | 0,25933 | 0,25933 |

#### 3.1 Dimensionamiento Canal del Sistema de Cribado

|  |       |   |             |     |
|--|-------|---|-------------|-----|
| Ancho del Canal  | $A_c$ | m | 0,318       |     |
| Profundida total del canal (incluye borde libre)   | $P_c$ | m | 0,934692715 |     |
| Longitud Total del Canal   | $L_c$ | m | 2,21866     |     |
| Longitud de aquietamiento  |       | m |             | 0,3 |
| longitud de la placa de mantenimiento rejilla gruesa                                     |       | m |             | 0,4 |
| Longitud de la rejilla gruesa en el canal  |       | m | 0,25933     |     |
| Separacion entre la rejilla gruesa y placa de mantenimiento rejilla Fina                 |       | m |             | 0,7 |
| Longitud de la rejilla Final en el canal (incluye longitud de la placa de mantenimiento) |       | m | 0,25933     |     |
| Longitud Rejilla fina hasta la seccion del desarenador                                   |       | m |             | 0,3 |

En esta hoja el aplicativo presenta al diseñador un resumen de los datos de dimensionamiento del sistema de cribado, en el cual se puede encontrar ancho del canal dimensionamiento de la rejilla gruesa y la rejilla fina, entre otros. Adicionalmente se relaciona el cálculo de la longitud de canal de cribado, donde el diseñador podrá incorporar datos según la configuración del sistema.

**Paso 7: Cálculo del perfil hidráulico del sistema de cribado**

En esta sección del aplicativo el diseñador utilizará los botones de solución de solver que encontrara en la margen inferior Derecha nombrados como Calcular d2, Calcular d3 y otros, los cuales se encuentran programados para resolver el polinomio ilustrado líneas arriba en el numeral 5 del presente documento. Con esto en la columna M entre filas No 40 a 58, encontrara el cálculo de las alturas de lámina de agua, velocidades de flujo y pérdidas de carga en el canal de cribado.

**5. Calculo Condiciones Hidraulicas en el Canal de Cribado**

**5.1 Condiciones Hidraulicas Aguas Arriba de la Rejilla Gruesa**

|  |       |     |             |  |
|--|-------|-----|-------------|--|
| Altura de la lamina de agua, aguas arriba de la rejilla gruesa | $d_2$ | m   | 0,420243718 | <input type="button" value="Calcular d2"/> |
| Velocidad aguas arriba de la rejilla gruesa                    | $V_2$ | m/s | 0,748       |  |
| Velocidad a traves de las aberturas de la rejilla gruesa       | $V_R$ | m/s | 0,881       |  |
| Perdidad de carga a traves de la rejilla gruesa                | $h_L$ | m   | 0,011       |  |

**5.2 Condiciones Hidraulicas Aguas Abajo de la Rejilla Gruesa**

|   |       |     |             |  |
|---|-------|-----|-------------|--|
| Altura de la lamina de agua, aguas abajo de la rejilla gruesa | $d_3$ | m   | 0,407391551 | <input type="button" value="Calcular d3"/> |
| Velocidad aguas abajo de la rejilla gruesa                    | $V_3$ | m/s | 0,772       |  |

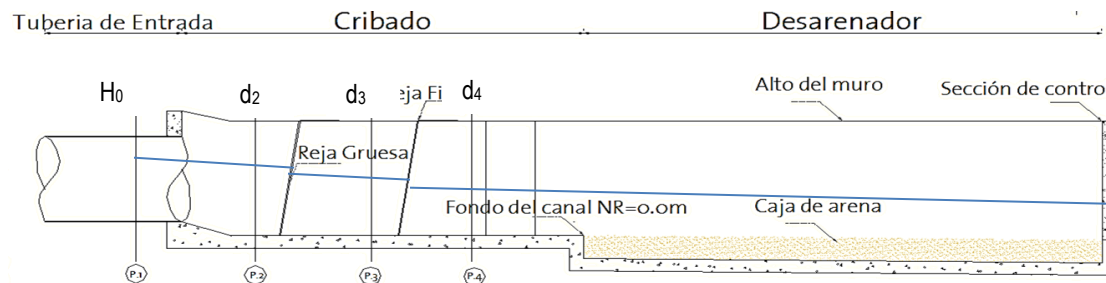
**5.3 Condiciones Hidraulicas Aguas Arriba de la Rejilla Gruesa al 50% de obstruccion**

|  |             |     |             |  |
|--|-------------|-----|-------------|--|
| Altura de la lamina de agua, aguas arriba de la rejilla gruesa (50%) | $d_{2-}$    | m   | 0,534692715 | <input type="button" value="Calcular d2 50%"/> |
| Velocidad aguas arriba de la rejilla gruesa (50%)                    | $V_{2-}$    | m/s | 3,179       |  |
| Velocidad a traves de las aberturas de la rejilla gruesa (50%)       | $V_{R-}$    | m/s | 0,693       |  |
| Perdidad de carga a traves de la rejilla gruesa (50%)                | $h_{L50\%}$ | m   | -0,701      |  |

**5.4 Condiciones Hidraulicas Aguas Arriba de la Rejilla Gruesa**

|   |       |     |             |  |
|---|-------|-----|-------------|--|
| Altura de la lamina de agua, aguas abajo de la rejilla Fina | $d_4$ | m   | 0,407414045 | <input type="button" value="Calcular d4"/> |
| Velocidad aguas abajo de la rejilla Fina                    | $V_4$ | m/s | 0,772       |  |
| Perdidad de carga a traves de la rejilla Fina               | $h_L$ | m   | 0,022       |  |

Con lo anterior el usuario tiene herramientas para el dimensionamiento del sistema de cribado así como en el perfil hidráulico del sistema.



Paso 8: Diseño del Desarenador.

| Datos Ingresados por el Usuario                           |                   |                                     |        |
|---|-------------------|-------------------------------------|--------|
| Datos salida aplicativo                                   |                   |                                     |        |
| <b>1. Datos de entrada para el diseño de las unidades</b> |                   |                                     |        |
| Caudales de diseño del ST                                 |                   |                                     |        |
| Caudal de emergencia                                      | Q <sub>emer</sub> | m <sup>3</sup> /s                   | 0,0416 |
| Caudal Máximo   | Q <sub>max</sub>  | m <sup>3</sup> /s                   | 0,032  |
| Caudal Medio  | Q <sub>med</sub>  | m <sup>3</sup> /s                   | 0,016  |
| Caudal Mínimo   | Q <sub>min</sub>  | m <sup>3</sup> /s                   | 0,008  |
| Varibales y constantes para el diseño del desarenador     |                   |                                     |        |
| Numero de desarenadores                                   | #                 | Unidad                              | 2      |
| Numero de desarenadores para Caudal de emergencia         | #                 | Unidad                              | 1      |
| Tiempo de Retencion                                       | T <sub>r</sub>    | Seg                                 | 60     |
| Velocidad Horizontal                                      | V <sub>h</sub>    | m/s                                 | 0,3    |
| Velocidad de Sedimentacion                                | V <sub>s</sub>    | m/min                               | 1,15   |
|   | V <sub>s</sub>    | m/s                                 | 0,019  |
|   | V <sub>s</sub>    | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -dia | 1730   |
| Gravedad  | 2*g               | m/s <sup>2</sup>                    | 19,62  |

En esta hoja llamada "Diseño Desarenador", el diseñador encontrará una herramienta para el dimensionamiento de un Desarenador con sección de control rectangular. En la sección ilustrada anteriormente el diseñador debe ingresar los datos iniciales como caudales de diseño. Los cuales se deben ingresar en las celdas color gris.

Paso 9: Cálculo de la sección de control

|   |                                 |                |        |
|---|---------------------------------|----------------|--------|
| Se mantiene la lamina de agua de la salidad del sistema de cribado? |                                 |                | NO     |
| Altura de la seccion  | H                               | m              | 0,471  |
| Ancho del canal   | T                               | m              | 0,34   |
| Profundidad del canal   | Pc                              | m              |        |
| <u>Canales rectangulares la Profundidad critica</u>                 |                                 |                |        |
| Cabeza de velocidad   | V <sub>c</sub> <sup>2</sup> /2g |                | 0,153  |
| Profundidad Critica   | d <sub>cQMH</sub>               | m              | 0,31   |
| Velocidad Critica   | V <sub>cQMH</sub>               | m/s            | 1,733  |
| <u>Dimensiones de la seccion de control</u>                         |                                 |                |        |
| Area de la seccion de control                                       | A <sub>qmh</sub>                | m <sup>2</sup> | 0,0289 |
| Ancho de la seccion de control                                      | w                               | m              | 0,093  |



Como se mencionó en el numeral 5 del presente documento la sección de control de ejemplo del presente aplicativo corresponde a una sección rectangular, por lo cual según los datos ingresados por el diseñador, la hoja se encuentra programada para el cálculo de las dimensiones de la sección de control.

Paso 10: Calculo de las condiciones hidráulicas en el Desarenador

| <u>Diseño del canal para los caudales de Diseño</u>        |                   |                |      |       |       |
|--|-------------------|----------------|------|-------|-------|
|  |                   |                | Qmed | Q min | Qmer  |
| Area en la seccion de control                              | a                 | m <sup>2</sup> | 0,01 | 0,009 | 0,028 |
| Calculando la profundidad critica en la seccion de control | dc <sub>QMD</sub> | m              | 0,08 | 0,074 | 0,23  |
| Calculando la altura de la seccion de control              | H                 | m              | 0,12 | 0,11  | 0,352 |
| Ancho de la lamina de agua en el desarenador               | T                 | m              | 0,67 | 0,36  | 0,59  |

En esta sección se calcula la altura de láminas de agua y el ancho de las mismas para los diferentes caudales de diseño.

Paso 11: Dimensionamiento del Desarenador.

| <u>Longitud del Desarenador</u>  |                   |                |                           |      |                |
|--|-------------------|----------------|---------------------------|------|----------------|
| Longitud del Desarenador   | L                 | m              | 10,704                    |      |                |
| longitud teorica   | L <sub>t</sub>    | m              | 7                         |      |                |
| longitud minima adicional  | L <sub>min</sub>  | m              | 1,13                      |      |                |
| longitud maxima adicional  | L <sub>max</sub>  | m              | 3,5                       |      |                |
| Se dopta una longitud adicional  | L <sub>adop</sub> | m              | 3,704                     |      |                |
| <u>Tiempo de retención hidraulico en el desarenador para caudal máximo</u> |                   |                |                           |      |                |
| Tiempo de retencion hidraulico   | seg               | TH             | 35,68                     |      |                |
|  | min               | TH             | 0,594666667               |      |                |
| <u>Tiempo de sedimentacion para caudal maximo</u>                          |                   |                |                           |      |                |
| Tiempo de sedimentación  | min               | Ts             | 0,41                      |      |                |
|  | seg               | Ts             | 24,6                      |      |                |
| <u>Volumen de arena retenida</u>   |                   |                |                           |      |                |
| Volumen Tratado  | 1000000           | m <sup>3</sup> | Volumen de arena retenido | 30   | m <sup>3</sup> |
| Cantidad de arena retenida al transitar el caudal maximo                   |                   | m <sup>3</sup> | Varena                    | 0,13 |                |

En esta sección el aplicativo muestra los resultados de cálculo de longitud del Desarenador, tiempos de retención hidráulica, tiempos de sedimentación y el volumen de arenas retenido.

## 7. EJEMPLO DISEÑO DE SISTEMA PRELIMINAR EMPLEANDO EL APLICATIVO ELABORADO.

### Paso 1: Condiciones hidráulicas del conducto de entrada.

Se aplica la ecuación de Manning que relaciona diámetro, rugosidad, y pendiente del emisario final.

$$Q = \frac{0,312}{n} D^{8/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Dónde:

- Q: Caudal [m<sup>3</sup>/s]  
S: Pendiente [m/m]  
n: Coeficiente de rugosidad de Manning  
D: Diámetro.

La velocidad del fluido a tubo lleno se calcula con:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Dónde:

- R: Radio hidráulico (A/P), en una tubería circular que fluye a tubo lleno  $R=D/4$ , [m]  
A( $\pi D^2/4$ ): Área del tubo fluyendo lleno [m<sup>2</sup>]  
D: Diámetro [m]  
V: Velocidad de la tubería fluyendo a tubo lleno [m/s]

Para el ejemplo, las características de la tubería que sirve como emisario final se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 7 Características de la tubería de entrada a la PTAR**

| Característica        | Símbolo | Unidad             | Valor    |
|-----------------------|---------|--------------------|----------|
| Pendiente             | S       | m/m                | 0,001    |
| Material del conducto |         |                    | Concreto |
| Diámetro del tubo     | D       | m                  | 1,1      |
| Rugosidad             | N       | s/m <sup>1/3</sup> | 0,015    |

Empleando las anteriores expresiones

$$Q = \frac{0,312}{0,015} (1,1)^{8/3} (0,001)^{1/2}$$

Caudal a tubo lleno (Q) = 0,827 m<sup>3</sup>/s

El radio hidráulico (R) es:  $R= D/4 = 0,2725$  m

La velocidad a tubo lleno es:

$$V = \frac{1}{n} (0,2725)^{2/3} (0,001)^{1/2} = 0,0886 \text{ m/s}$$

El caudal máximo de diseño ( $q$ ) es  $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$ . Por lo tanto la relación  $q/Q$  será:

$$q/Q = 0,01812$$

La Tabla 8 presenta la relaciones hidráulicas de  $y/D$  y  $v/V$ , que posibilitan determinar las características hidráulicas en el conducto de llegada a la PTAR.

**Tabla 8. Relaciones hidráulicas en tuberías circulares.**

| theta | y/D        | V          | V_full     | Q          | Q_full     | y/D        | v/V_full   | q/Q_full   |                    |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 0     | 0          | 0          | 0          |            |            |            | 0          |            |                    |
| 0,01  | 0,03141593 | 0,00024672 | 0,00311149 | 0,41135778 | 6,756E-10  | 0,01357742 | 0,00024672 | 0,00756395 | 4,97589E-08        |
| 0,02  | 0,06283185 | 0,00098664 | 0,00783736 | 0,41135778 | 1,3606E-08 | 0,01357742 | 0,00098664 | 0,01905243 | 1,00209E-06        |
| 0,03  | 0,09424778 | 0,00221902 | 0,01344846 | 0,41135778 | 7,8717E-08 | 0,01357742 | 0,00221902 | 0,03269286 | 5,79767E-06        |
| 0,04  | 0,12566371 | 0,00394265 | 0,01971776 | 0,41135778 | 2,7319E-07 | 0,01357742 | 0,00394265 | 0,04793335 | 2,01212E-05        |
| 0,05  | 0,15707963 | 0,00615583 | 0,02651895 | 0,41135778 | 7,1636E-07 | 0,01357742 | 0,00615583 | 0,06446688 | 5,27608E-05        |
| 0,06  | 0,18849556 | 0,00885637 | 0,03376778 | 0,41135778 | 1,5728E-06 | 0,01357742 | 0,00885637 | 0,08208859 | 0,00011584         |
| 0,07  | 0,21991149 | 0,01204162 | 0,04140203 | 0,41135778 | 3,0544E-06 | 0,01357742 | 0,01204162 | 0,10064726 | 0,000224959        |
| 0,08  | 0,25132741 | 0,01570842 | 0,04937266 | 0,41135778 | 5,4209E-06 | 0,01357742 | 0,01570842 | 0,12002365 | 0,000399261        |
| 0,09  | 0,28274334 | 0,01985316 | 0,05763917 | 0,41135778 | 8,9806E-06 | 0,01357742 | 0,01985316 | 0,1401193  | 0,000661436        |
| 0,1   | 0,31415927 | 0,02447174 | 0,06616692 | 0,41135778 | 1,4089E-05 | 0,01357742 | 0,02447174 | 0,16085004 | 0,001037655        |
| 0,11  | 0,34557519 | 0,02955962 | 0,07492552 | 0,41135778 | 2,1146E-05 | 0,01357742 | 0,02955962 | 0,18214197 | 0,001557463        |
| 0,12  | 0,37699112 | 0,03511176 | 0,08388772 | 0,41135778 | 3,0598E-05 | 0,01357742 | 0,03511176 | 0,20392887 | 0,002253607        |
| 0,13  | 0,40840705 | 0,04112269 | 0,09302872 | 0,41135778 | 4,2929E-05 | 0,01357742 | 0,04112269 | 0,22615039 | 0,003161818        |
| 0,14  | 0,43982297 | 0,04758647 | 0,1023256  | 0,41135778 | 5,8662E-05 | 0,01357742 | 0,04758647 | 0,24875087 | 0,004320556        |
| 0,15  | 0,4712389  | 0,05449674 | 0,111757   | 0,41135778 | 7,8351E-05 | 0,01357742 | 0,05449674 | 0,27167834 | 0,005770705        |
| 0,16  | 0,50265482 | 0,06184666 | 0,12130279 | 0,41135778 | 0,00010258 | 0,01357742 | 0,06184666 | 0,29488392 | 0,007555232        |
| 0,17  | 0,53407075 | 0,06962899 | 0,13094395 | 0,41135778 | 0,00013196 | 0,01357742 | 0,06962899 | 0,31832131 | 0,009718814        |
| 0,18  | 0,56548668 | 0,07783604 | 0,14066231 | 0,41135778 | 0,0001671  | 0,01357742 | 0,07783604 | 0,34194639 | 0,012307438        |
| 0,19  | 0,5969026  | 0,08645971 | 0,15044051 | 0,41135778 | 0,00020866 | 0,01357742 | 0,08645971 | 0,36571694 | 0,015367966        |
| 0,2   | 0,62831853 | 0,0954915  | 0,16026187 | 0,41135778 | 0,00025726 | 0,01357742 | 0,0954915  | 0,38959242 | <b>0,018947693</b> |
| 0,21  | 0,65973446 | 0,10492249 | 0,17011034 | 0,41135778 | 0,00031356 | 0,01357742 | 0,10492249 | 0,41353378 | 0,023093877        |
| 0,22  | 0,69115038 | 0,11474338 | 0,17997039 | 0,41135778 | 0,00037818 | 0,01357742 | 0,11474338 | 0,43750332 | 0,027853268        |
| 0,23  | 0,72256631 | 0,12494447 | 0,18982705 | 0,41135778 | 0,00045174 | 0,01357742 | 0,12494447 | 0,4614646  | 0,033271617        |
| 0,24  | 0,75398224 | 0,13551569 | 0,1996658  | 0,41135778 | 0,00053486 | 0,01357742 | 0,13551569 | 0,48538234 | 0,0393932          |
| 0,25  | 0,78539816 | 0,14644661 | 0,20947258 | 0,41135778 | 0,0006281  | 0,01357742 | 0,14644661 | 0,50922236 | 0,046260335        |
| 0,26  | 0,81681409 | 0,15772645 | 0,21923376 | 0,41135778 | 0,000732   | 0,01357742 | 0,15772645 | 0,53295153 | 0,053912904        |
| 0,27  | 0,84823002 | 0,16934407 | 0,22893612 | 0,41135778 | 0,00084707 | 0,01357742 | 0,16934407 | 0,55653773 | 0,062387902        |
| 0,28  | 0,87964594 | 0,18128801 | 0,23856687 | 0,41135778 | 0,00097376 | 0,01357742 | 0,18128801 | 0,57994981 | 0,071718988        |

|      |            |            |            |            |            |            |            |            |             |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 0,29 | 0,91106187 | 0,19354647 | 0,24811357 | 0,41135778 | 0,00111248 | 0,01357742 | 0,19354647 | 0,60315761 | 0,081936067 |
| 0,3  | 0,9424778  | 0,20610737 | 0,25756422 | 0,41135778 | 0,00126358 | 0,01357742 | 0,20610737 | 0,62613189 | 0,093064897 |
| 0,31 | 0,97389372 | 0,21895831 | 0,26690717 | 0,41135778 | 0,00142735 | 0,01357742 | 0,21895831 | 0,64884436 | 0,105126721 |
| 0,32 | 1,00530965 | 0,2320866  | 0,27613118 | 0,41135778 | 0,00160401 | 0,01357742 | 0,2320866  | 0,67126768 | 0,118137944 |
| 0,33 | 1,03672558 | 0,24547929 | 0,28522537 | 0,41135778 | 0,00179371 | 0,01357742 | 0,24547929 | 0,69337542 | 0,132109832 |
| 0,34 | 1,0681415  | 0,25912316 | 0,29417927 | 0,41135778 | 0,00199654 | 0,01357742 | 0,25912316 | 0,71514212 | 0,147048265 |
| 0,35 | 1,09955743 | 0,27300475 | 0,30298279 | 0,41135778 | 0,00221249 | 0,01357742 | 0,27300475 | 0,73654324 | 0,162953524 |
| 0,36 | 1,13097336 | 0,28711035 | 0,31162622 | 0,41135778 | 0,00244149 | 0,01357742 | 0,28711035 | 0,7575552  | 0,179820127 |
| 0,37 | 1,16238928 | 0,30142605 | 0,32010026 | 0,41135778 | 0,0026834  | 0,01357742 | 0,30142605 | 0,77815537 | 0,197636711 |
| 0,38 | 1,19380521 | 0,31593772 | 0,32839601 | 0,41135778 | 0,00293796 | 0,01357742 | 0,31593772 | 0,79832211 | 0,216385962 |
| 0,39 | 1,22522114 | 0,33063104 | 0,33650495 | 0,41135778 | 0,00320488 | 0,01357742 | 0,33063104 | 0,81803474 | 0,236044595 |
| 0,4  | 1,25663706 | 0,3454915  | 0,34441899 | 0,41135778 | 0,00348374 | 0,01357742 | 0,3454915  | 0,83727356 | 0,256583379 |
| 0,41 | 1,28805299 | 0,36050445 | 0,35213044 | 0,41135778 | 0,00377408 | 0,01357742 | 0,36050445 | 0,85601989 | 0,277967221 |
| 0,42 | 1,31946891 | 0,37565506 | 0,35963203 | 0,41135778 | 0,00407534 | 0,01357742 | 0,37565506 | 0,87425605 | 0,30015529  |
| 0,43 | 1,35088484 | 0,39092838 | 0,3669169  | 0,41135778 | 0,00438688 | 0,01357742 | 0,39092838 | 0,8919654  | 0,323101194 |
| 0,44 | 1,38230077 | 0,40630934 | 0,37397864 | 0,41135778 | 0,00470801 | 0,01357742 | 0,40630934 | 0,90913229 | 0,346753201 |
| 0,45 | 1,41371669 | 0,42178277 | 0,38081124 | 0,41135778 | 0,00503796 | 0,01357742 | 0,42178277 | 0,92574216 | 0,371054509 |
| 0,46 | 1,44513262 | 0,43733338 | 0,38740913 | 0,41135778 | 0,00537589 | 0,01357742 | 0,43733338 | 0,94178147 | 0,395943555 |
| 0,47 | 1,47654855 | 0,45294584 | 0,3937672  | 0,41135778 | 0,00572091 | 0,01357742 | 0,45294584 | 0,95723776 | 0,421354368 |
| 0,48 | 1,50796447 | 0,46860474 | 0,39988074 | 0,41135778 | 0,00607205 | 0,01357742 | 0,46860474 | 0,97209962 | 0,447216953 |
| 0,49 | 1,5393804  | 0,48429462 | 0,40574551 | 0,41135778 | 0,00642834 | 0,01357742 | 0,48429462 | 0,98635673 | 0,47345772  |
| 0,5  | 1,57079633 | 0,5        | 0,41135772 | 0,41135778 | 0,00678871 | 0,01357742 | 0,5        | 0,99999986 | 0,499999931 |
| 0,51 | 1,60221225 | 0,51570538 | 0,41671401 | 0,41135778 | 0,0071521  | 0,01357742 | 0,51570538 | 1,01302086 | 0,526764184 |
| 0,52 | 1,63362818 | 0,53139526 | 0,42181148 | 0,41135778 | 0,0075174  | 0,01357742 | 0,53139526 | 1,02541268 | 0,553668913 |
| 0,53 | 1,66504411 | 0,54705416 | 0,42664768 | 0,41135778 | 0,00788347 | 0,01357742 | 0,54705416 | 1,03716936 | 0,580630911 |
| 0,54 | 1,69646003 | 0,56266662 | 0,43122062 | 0,41135778 | 0,00824918 | 0,01357742 | 0,56266662 | 1,04828605 | 0,607565864 |
| 0,55 | 1,72787596 | 0,57821723 | 0,43552875 | 0,41135778 | 0,00861337 | 0,01357742 | 0,57821723 | 1,058759   | 0,634388896 |
| 0,56 | 1,75929189 | 0,59369066 | 0,43957099 | 0,41135778 | 0,00897488 | 0,01357742 | 0,59369066 | 1,06858558 | 0,661015118 |
| 0,57 | 1,79070781 | 0,60907162 | 0,4433467  | 0,41135778 | 0,00933258 | 0,01357742 | 0,60907162 | 1,07776424 | 0,687360179 |
| 0,58 | 1,82212374 | 0,62434494 | 0,44685571 | 0,41135778 | 0,00968533 | 0,01357742 | 0,62434494 | 1,08629454 | 0,713340812 |
| 0,59 | 1,85353967 | 0,63949555 | 0,45009827 | 0,41135778 | 0,01003202 | 0,01357742 | 0,63949555 | 1,09417714 | 0,73887537  |
| 0,6  | 1,88495559 | 0,6545085  | 0,45307513 | 0,41135778 | 0,01037158 | 0,01357742 | 0,6545085  | 1,10141379 | 0,763884354 |
| 0,61 | 1,91637152 | 0,66936896 | 0,45578744 | 0,41135778 | 0,01070296 | 0,01357742 | 0,66936896 | 1,10800734 | 0,788290914 |
| 0,62 | 1,94778745 | 0,68406228 | 0,45823681 | 0,41135778 | 0,01102516 | 0,01357742 | 0,68406228 | 1,11396172 | 0,812021341 |
| 0,63 | 1,97920337 | 0,69857395 | 0,46042532 | 0,41135778 | 0,01133722 | 0,01357742 | 0,69857395 | 1,11928191 | 0,835005525 |
| 0,64 | 2,0106193  | 0,71288965 | 0,46235544 | 0,41135778 | 0,01163826 | 0,01357742 | 0,71288965 | 1,12397398 | 0,85717739  |
| 0,65 | 2,04203523 | 0,72699525 | 0,4640301  | 0,41135778 | 0,01192743 | 0,01357742 | 0,72699525 | 1,12804504 | 0,87847529  |

|      |            |            |            |            |            |            |            |            |             |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 0,66 | 2,07345115 | 0,74087684 | 0,46545266 | 0,41135778 | 0,01220396 | 0,01357742 | 0,74087684 | 1,13150325 | 0,898842378 |
| 0,67 | 2,10486708 | 0,75452071 | 0,46662689 | 0,41135778 | 0,01246715 | 0,01357742 | 0,75452071 | 1,13435778 | 0,918226936 |
| 0,68 | 2,136283   | 0,7679134  | 0,46755699 | 0,41135778 | 0,01271638 | 0,01357742 | 0,7679134  | 1,13661882 | 0,93658266  |
| 0,69 | 2,16769893 | 0,78104169 | 0,46824755 | 0,41135778 | 0,01295108 | 0,01357742 | 0,78104169 | 1,13829756 | 0,953868909 |
| 0,7  | 2,19911486 | 0,79389263 | 0,46870358 | 0,41135778 | 0,01317079 | 0,01357742 | 0,79389263 | 1,13940615 | 0,97005091  |
| 0,71 | 2,23053078 | 0,80645353 | 0,46893047 | 0,41135778 | 0,01337512 | 0,01357742 | 0,80645353 | 1,1399577  | 0,985099919 |
| 0,72 | 2,26194671 | 0,81871199 | 0,46893399 | 0,41135778 | 0,01356375 | 0,01357742 | 0,81871199 | 1,13996627 | 0,998993335 |
| 0,73 | 2,29336264 | 0,83065593 | 0,46872031 | 0,41135778 | 0,01373648 | 0,01357742 | 0,83065593 | 1,13944681 | 1,011714776 |
| 0,74 | 2,32477856 | 0,84227355 | 0,46829593 | 0,41135778 | 0,01389315 | 0,01357742 | 0,84227355 | 1,13841517 | 1,023254099 |
| 0,75 | 2,35619449 | 0,85355339 | 0,46766774 | 0,41135778 | 0,01403372 | 0,01357742 | 0,85355339 | 1,13688805 | 1,033607388 |
| 0,76 | 2,38761042 | 0,86448431 | 0,46684294 | 0,41135778 | 0,01415822 | 0,01357742 | 0,86448431 | 1,13488299 | 1,042776893 |
| 0,77 | 2,41902634 | 0,87505553 | 0,46582909 | 0,41135778 | 0,01426676 | 0,01357742 | 0,87505553 | 1,13241834 | 1,050770929 |
| 0,78 | 2,45044227 | 0,88525662 | 0,46463404 | 0,41135778 | 0,01435953 | 0,01357742 | 0,88525662 | 1,1295132  | 1,057603731 |
| 0,79 | 2,4818582  | 0,89507751 | 0,46326596 | 0,41135778 | 0,01443681 | 0,01357742 | 0,89507751 | 1,12618745 | 1,063295281 |
| 0,8  | 2,51327412 | 0,9045085  | 0,46173332 | 0,41135778 | 0,01449894 | 0,01357742 | 0,9045085  | 1,12246162 | 1,067871087 |
| 0,81 | 2,54469005 | 0,91354029 | 0,46004483 | 0,41135778 | 0,01454633 | 0,01357742 | 0,91354029 | 1,11835695 | 1,071361944 |
| 0,82 | 2,57610598 | 0,92216396 | 0,4582095  | 0,41135778 | 0,01457949 | 0,01357742 | 0,92216396 | 1,1138953  | 1,073803647 |
| 0,83 | 2,6075219  | 0,93037101 | 0,45623655 | 0,41135778 | 0,01459894 | 0,01357742 | 0,93037101 | 1,10909911 | 1,075236699 |
| 0,84 | 2,63893783 | 0,93815334 | 0,45413544 | 0,41135778 | 0,01460531 | 0,01357742 | 0,93815334 | 1,10399138 | 1,075705974 |
| 0,85 | 2,67035376 | 0,94550326 | 0,45191584 | 0,41135778 | 0,01459926 | 0,01357742 | 0,94550326 | 1,09859559 | 1,075260379 |
| 0,86 | 2,70176968 | 0,95241353 | 0,4495876  | 0,41135778 | 0,01458151 | 0,01357742 | 0,95241353 | 1,0929357  | 1,073952486 |
| 0,87 | 2,73318561 | 0,95887731 | 0,44716073 | 0,41135778 | 0,0145528  | 0,01357742 | 0,95887731 | 1,08703605 | 1,07183816  |
| 0,88 | 2,76460154 | 0,96488824 | 0,44464541 | 0,41135778 | 0,01451394 | 0,01357742 | 0,96488824 | 1,08092138 | 1,068976173 |
| 0,89 | 2,79601746 | 0,97044038 | 0,44205192 | 0,41135778 | 0,01446576 | 0,01357742 | 0,97044038 | 1,07461667 | 1,065427816 |
| 0,9  | 2,82743339 | 0,97552826 | 0,43939066 | 0,41135778 | 0,01440913 | 0,01357742 | 0,97552826 | 1,0681472  | 1,061256506 |
| 0,91 | 2,85884932 | 0,98014684 | 0,43667208 | 0,41135778 | 0,01434492 | 0,01357742 | 0,98014684 | 1,06153841 | 1,056527399 |
| 0,92 | 2,89026524 | 0,98429158 | 0,43390671 | 0,41135778 | 0,01427404 | 0,01357742 | 0,98429158 | 1,05481587 | 1,051307004 |
| 0,93 | 2,92168117 | 0,98795838 | 0,4311051  | 0,41135778 | 0,01419741 | 0,01357742 | 0,98795838 | 1,04800523 | 1,04566281  |
| 0,94 | 2,95309709 | 0,99114363 | 0,42827779 | 0,41135778 | 0,01411594 | 0,01357742 | 0,99114363 | 1,04113212 | 1,039662914 |
| 0,95 | 2,98451302 | 0,99384417 | 0,42543531 | 0,41135778 | 0,01403058 | 0,01357742 | 0,99384417 | 1,03422211 | 1,03337568  |
| 0,96 | 3,01592895 | 0,99605735 | 0,4225881  | 0,41135778 | 0,01394224 | 0,01357742 | 0,99605735 | 1,02730063 | 1,026869396 |
| 0,97 | 3,04734487 | 0,99778098 | 0,41974656 | 0,41135778 | 0,01385185 | 0,01357742 | 0,99778098 | 1,02039292 | 1,020211961 |
| 0,98 | 3,0787608  | 0,99901336 | 0,41692094 | 0,41135778 | 0,01376032 | 0,01357742 | 0,99901336 | 1,0135239  | 1,013470592 |
| 0,99 | 3,11017673 | 0,99975328 | 0,41412135 | 0,41135778 | 0,01366855 | 0,01357742 | 0,99975328 | 1,00671817 | 1,006711543 |
| 1    | 3,14159265 | 1          | 0,41135772 | 0,41135778 | 0,01357742 | 0,01357742 | 1          | 0,99999986 | 0,999999861 |

Fuente: López, Ricardo, Elementos de diseño para acueductos y Alcantarillados, 1999.

Tomando en cuenta las relaciones hidráulicas de conductos circulares presentada en la Ilustración 1 la relación  $v/V$  es de 0,38959. Por lo tanto la velocidad en el conducto de entrada en el caudal máximo de diseño:

$$v = 0,345 \text{ m/s.}$$

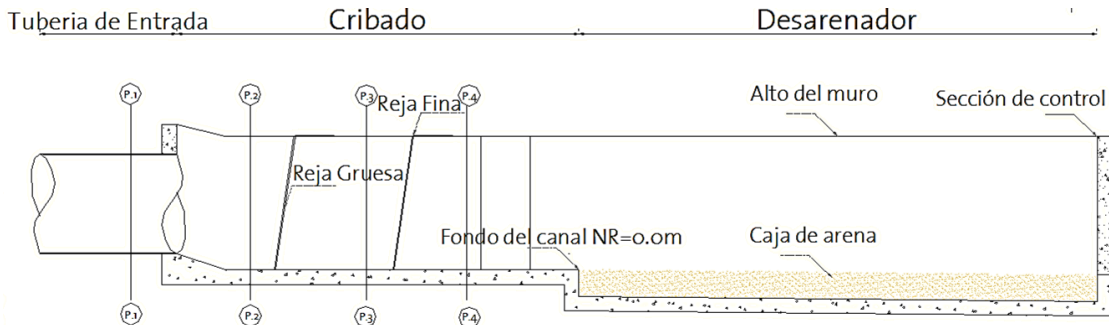
Igualmente la relación  $d/D = 0,095$ . Por lo tanto la profundidad del flujo en el flujo máximo de diseño ( $d$ ) es

$$d = D * 0,095 = 1,1 * 0,095 = 0,11 \text{ m}$$

En la siguiente figura se presenta el perfil del sistema de cribado y el desarenador así como las secciones que se consideraran para el cálculo del perfil hidráulico. Estos puntos son:

- 1 P1: Conducto de llegada
- 2 P2: Antes de la rejilla gruesa
- 3 P3: Después de la rejilla gruesa
- 4 P4: Después de la rejilla fina

**Figura 7 Perfil del sistema de cribado y desarenador.**



### 7.1. Diseño de la rejilla gruesa.

Este canal se diseña para el QMH. Se calculan las velocidades a través de la rejilla y el canal, y la profundidad antes (correspondiente al punto 2) y después (correspondiente al punto 3) de cada rejilla en condiciones limpias y con el 50% de obstrucción.

Se calculan los espaciamientos entre barras y las dimensiones del canal de la rejilla. Las velocidades a través de la rejilla y el canal deben ser corroboradas para el flujo promedio y mínimo.

#### Paso 2: Área de los espaciamientos en la rejilla gruesa ( $A_g$ ).

$$A_g = \frac{Q_d}{v_r}$$

**Ecuación 3. Área de los espaciamientos**

Dónde:

$v_r$ : Parámetro de diseño velocidad a través de la rejilla [L/t]

$Q_d$ : Caudal máximo Horario [ $l^3/t$ ]

Nota 1: Asumir que la profundidad de flujo en la rejilla es igual a la profundidad en el canal de aproximación. 0,11 m

Área de los espaciamentos en la rejilla:

$$A = \frac{Q_d}{v_r} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{0,9 \text{ m/s}} = 0,016 \text{ m}^2$$

**Paso 3: Espaciamento total entre barras ( $E_t$ ).**

Para hallar el espaciamento entre barras se utiliza el área hallada con la Ecuación 3 y la lámina de agua calculada en la tubería de entrada.

$$E_{tg} = \frac{\text{Area}}{\text{Profundidad del flujo}}$$

**Ecuación 4. Espaciamentos entre barras**

$$\frac{\text{Area}}{\text{Profundidad del flujo}} = \frac{0,016 \text{ m}^2}{0,11 \text{ m}} = 0,16 \text{ m}$$

**Paso 4: Número de separaciones ( $N_{sg}$ ).**

$$N_{sg} = \frac{\text{Espaciamento total entre barras}}{\text{Separación entre barras}}$$

**Ecuación 5. Numero de Separaciones**

El número total de barras es 2 (espaciamentos -1)  
El ancho de las barras es de 10 mm

**Paso 5: El número total de barras para la rejilla gruesa ( $N_g$ ) es ( $N_{sg} - 1$ )=2 barras.**

Adoptamos un ancho de las barras ( $A_{bg}$ ) de 10 mm

**Paso 6: El ancho del canal de la rejilla es ( $A_c$ ).**

$$A_C = \frac{E_t + A_b * N}{1000 \text{ mm/m}} = \frac{0,12 \text{ m} + 10 \text{ mm} * 12}{1000 \text{ mm/m}} = 0,12 \text{ m}$$

**Ecuación 6. Ancho del Canal**

Donde:

$E_{tg}$ : Espaciamento Total entre Barras

$A_{bg}$ : Ancho de Barras

$N_g$ : Numero de barras

1000 mm/m: para realizar la conversión y hallar el valor en metros.

**Tabla 9. Dimensiones canal de cribado**

| Estructura | Eficiencias | Ancho  | Largo  | Altura útil | Altura total | Numero de celdas |
|------------|-------------|--------|--------|-------------|--------------|------------------|
| PRELIMINAR | 5%          | 0,35 m | 4,73 m | 0,35 m      | 0,6 m        | 2                |

**Paso 7: Profundidad actual de flujo y la velocidad en el canal en el flujo máximo**

La profundidad actual en el canal aguas arriba de la rejilla se calcula empleando la ecuación de la energía entre el punto 1 que corresponde a la tubería de llegada y el punto aguas arriba de la rejilla gruesa

$$Z_1 + d_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + d_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad \text{Ecuación 7.}$$

Dónde:

$Z_1$  y  $Z_2$ : Altura (m)

$v_1$  y  $v_2$ : Velocidades en las secciones 1 y 2

$h_L$ : Pérdida de carga por expansión [m]

$d_1$  y  $d_2$ : Profundidad de la lámina de agua en las secciones 1 y 2.

En este ejemplo por las características de la expansión:

$$h_L = K_e \left( \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 8.}$$

Dónde:

$K_e$ : Coeficiente de expansión. Su valor depende de la configuración de la sección de paso entre el tubo de llegada y el canal de cribado.

Usando la Ecuación de la energía entre la sección 1 en el conducto de entrada y la sección 2 en el canal aguas arriba de la rejilla se determinan la profundidad y la velocidad en el canal. La Ecuación de la energía se escribe teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- El fondo del canal de cribado es horizontal
- El punto de referencia está en el fondo del canal ( $Z_2=0$ )
- La parte más baja del tubo de entrada esta 8 cm arriba del punto de referencia
- $K_e$ : 0,3

**Paso 8: Simplificando la anterior expresión obtenemos el polinomio:**

$$d_2^3 - 0,3045 d_2^2 + 0,0004344 = 0$$

**Paso 9: Solucionando el polinomio con el Solver de Excel:**

|       |         |     |
|-------|---------|-----|
| $d_2$ | 0,29996 | m   |
| $V_2$ | 0,368   | m/s |

Para resolver estos polinomios se emplea una herramienta de Excel llamada Solver.



**Paso 10: Velocidad V a través de las aberturas en la rejilla.**

$$V = \frac{Q}{A_{rg}}$$

**Ecuación 9.**

Donde el área total de espaciamentos en la rejilla gruesa ( $A_{rg}$ ) es  
 $A_{rg} = E_i \cdot d_2$

Por lo tanto reemplazando valores en la ecuación anterior:

$$V = 0,464 \text{ m/s}$$

**Paso 11: Pérdida de carga a través de la rejilla gruesa ( $h_{Lg}$ ).**

$$h_{Lg} = \frac{v^2 - v_2^2}{2g} * \frac{1}{0,7}$$

**Ecuación 10.**

$$h_{Lg} = 0,004 \text{ m}$$

Calculo de la profundidad del flujo y la velocidad en el canal aguas abajo de la rejilla gruesa.

**Paso 12: La profundidad y la velocidad en el canal por ensayo y error con la ecuación de la energía entre los puntos 2 y 3:**

$$d_2 + \frac{v_2^2}{2g} = d_3 + \frac{v_3^2}{2g} + h_L$$

**Ecuación 11.**

Dónde:

$d_2$  y  $v_2$ : Profundidad del flujo y velocidad en el canal aguas arriba de la rejilla [m] y [m/s]

$d_3$  y  $v_3$ : Profundidad del flujo y velocidad aguas abajo de la rejilla [m] y [m/s]

$h_L$ : Pérdida de carga a través de la rejilla [m]

**Paso 13: Simplificando el Polinomio:**

$$d_3^3 - 0,30247d_3^2 + 0,0006205 = 0$$

**Paso 14: Solucionando el anterior polinomio:**

$$d_3 = 0,296 \text{ m y } v_3 = 0,374 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**Paso 15: Pérdida de carga a través de la rejilla en una obstrucción del 50%**

Nota 6: En un 50 % de obstrucción, el área libre a través de la rejilla se reduce a la mitad. La pérdida de carga a través de la rejilla se obtiene aplicando la ecuación de la energía

$$d_2' + \frac{v_2'^2}{2g} = d_3 + \frac{v_3^2}{2g} + h_{50} \quad \text{Ecuación 12.}$$

Donde:

$d_2'$  y  $v_2'^2$ : Profundidad del flujo y velocidad en el canal aguas arriba de la rejilla en un 50% de obstrucción [m] y [m/s].

$h_{50}$ : Pérdida de carga en la rejilla en un 50 % de obstrucción [m]

La velocidad y profundidad del flujo en el canal están definidas por la condición en la salida del canal (el canal que transporta el agua residual depurada). Ya que las condiciones en el canal de salida no cambian se puede asumir que  $d_3$  y  $v_3$  tienen el mismo valor que el calculado cuando la rejilla está limpia.

**Paso 16: La pérdida de carga con una obstrucción del 50 % se calcula de acuerdo con**

$$h_{50} = \frac{(\text{Velocidad a través de la abertura de la reja})^2 - v_2'^2}{2g} * \frac{1}{0,7} \quad \text{Ecuación 13.}$$

**Paso 17: Simplificando el polinomio**

$$d_2'^3 - 0,3025d_2'^2 - 0,00413 = 0$$

**Paso 18: Solucionando el polinomio**

$$d_2' = 0,338 \text{ m}$$

$$v_2' = 0,326 \text{ m/s}$$

**Paso 19: La pérdida de carga en el 50 % de obstrucción es**

$$h_{50} = 0,005 \text{ m.}$$

**7.2. Cálculo de las dimensiones de la rejilla fina:**

**Paso 20: Espaciamientos entre barras y las dimensiones del canal de la rejilla. Las velocidades a través de la rejilla y el canal deben ser corroboradas para el flujo promedio y mínimo.**

La profundidad de flujo aguas arriba de la rejilla fina es igual a la profundidad en el canal aguas debajo de la rejilla gruesa ( $d_3$ )

Para lo anterior se emplean las siguientes expresiones numéricas

**Paso 21: Área de los espaciamentos en la rejilla fina ( $A_{rf}$ ):**

$$A_{rf} = \frac{Q_d}{v_r} \quad \text{Ecuación 14.}$$

Dónde:

$v_r$ : Parámetro de diseño velocidad a través de la rejilla [L/t]

**Paso 22: Espaciamiento total entre barras ( $E_{tf}$ )**

$$\frac{A_{rf}}{d_3}$$

**Paso 23: Número de separaciones ( $N_{sf}$ )**

$$N_{sf} = \frac{E_{tf}}{\text{Separación entre barras}}$$

**Paso 24: El número total de barras es ( $N_{sf} - 1$ )**

**Paso 25: Calculo de las condiciones hidráulicas de cribado fino**

Se emplea el procedimiento descrito para rejilla gruesa. La profundidad actual en el canal aguas arriba de la rejilla se calcula empleando la ecuación de la energía entre el punto 3 y el punto 4

$$Z_3 + d_3 + \frac{v_3^2}{2g} = Z_4 + d_4 + \frac{v_4^2}{2g} + h_L \quad \text{Ecuación 15.}$$

Dónde:

$Z_3$  y  $Z_4$ : Altura con respecto al nivel de referencia (m)

$v_2$  y  $v_3$ : Velocidad en la sección 1 y 2

$h_L$ : Altura total

$d_2$  y  $d_3$ : Profundidad de flujo en la sección 1 y 2.

Con lo anterior el diseñador calcula los perfiles hidráulicos en el sistema de cribado.

### 7.3. Diseño de un desarenador.

#### 7.3.1. Criterios de diseño.

El criterio base para el diseño de desarenadores de flujo horizontal para el tratamiento de aguas residuales es la velocidad horizontal. Esta debe de aproximadamente 30 cm/seg. En el desarenador se debe mantener una velocidad constante para los diferentes caudales de diseño. Esta condición se puede garantizar por medio de vertederos proporcionales, canal Parshall o canales parabólicos, Qasim (1999).

Los valores típicos para el diseño de desarenadores que remueven partículas de 0,21 mm de diámetro son, Qasim (1999):

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| Tiempo de retención:        | 60 seg.              |
| Velocidad horizontal:       | 0,3 m/s              |
| Velocidad de sedimentación: | 1,2 m/min (1730 m/d) |

Una sección de control de paredes verticales que requiere un canal de aproximación de sección parabólica. Como la construcción de una sección parabólica puede ser en la práctica complicada, se puede construir una sección trapezoidal que se aproxima a la sección parabólica con una sección de control rectangular.

El número de desarenadores en sistemas de gran porte puede ser de dos unidades, de manera que exista una unidad disponible para tratar todo el caudal mientras se efectúa la remoción de arenas o se repara la unidad. En construcciones pequeñas se puede proyectar un solo desarenador siempre y cuando se proyecte un sistema de derivación, Rolim (2004).

#### 7.3.2. Diseño <sup>3</sup>

Teniendo en cuenta los datos básicos del ejercicio de diseño de un sistema de cribado, diseñar un desarenador con tres unidades de desarenación con un ancho de cada canal de 1,74 m para los siguientes caudales.

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| Caudal máximo: | 0,015 m <sup>3</sup> /s  |
| Caudal medio:  | 0,0075 m <sup>3</sup> /s |
| Caudal mínimo: | 0,003 m <sup>3</sup> /s  |

El caudal máximo de emergencia se presentará cuando un desarenador esta fuera de servicio. Por lo tanto dos unidades estarán en servicio tratando cada una 0,02 m<sup>3</sup>/s adicionales lo que da un caudal máximo de emergencia de 0,005 m<sup>3</sup>/s

Se adopta una sección de control rectangular de ancho fijo y un canal de aproximación redondeado y suave. Se puede considerar que la pérdida de energía es igual al 10 % de la carga de velocidad y que el flujo en la sección de control esta en la profundidad crítica ( $d_c$ ).

---

<sup>3</sup>Los criterios hidráulicos de diseño fueron tomados del libro "Tratamiento de Aguas Residuales" de Jairo Alberto Romero. Escuela Colombiana de Ingeniería- Bogota y Qasim, S. (1999).

### Paso 1. Definición de la sección del canal desarenador.

Para la sección de control rectangular se requiere que el canal desarenador sea de sección parabólica. El área de una sección parabólica es:

$$A = \frac{2HT}{3}$$

Donde

H: Altura de la sección  
T: Ancho en la parte superior de la sección  
A: Área de la sección

### Paso 2. Diseño para el caudal máximo.

Para el caudal máximo cada unidad tendrá un caudal de 0,015 m<sup>3</sup>/s, el ancho del canal será de 0,35 m y una velocidad v de 0,15 m/s. La profundidad en el desarenador será con dos unidades.

$$Q = vA = \frac{2HTv}{3}$$

$$H = \frac{3Q}{2Tv}$$

$$H = \frac{3 * 0,015}{2 * 0,07 * 0,15} = 1,07 \text{ m}$$

Empleando la expresión Ecuación de la energía de Bernoulli entre el canal y la sección de control teniendo en cuenta que el canal es horizontal

$$H + \frac{v_1^2}{2g} = d_c + \frac{v_c^2}{2g} + h_L$$

La pérdida de carga es:

$$h_L = 0,1 \frac{v_c^2}{2g}$$

En canales rectangulares la profundidad crítica es

$$d_c = \frac{v_c^2}{g} = 2 \frac{v_c^2}{2g}$$

Reemplazando

$$H + \frac{v_1^2}{2g} = 2 \frac{v_c^2}{2g} + \frac{v_c^2}{2g} + 0,1 \frac{v_c^2}{2g} = 3,1 \frac{v_c^2}{2g}$$

La profundidad crítica en la sección de control es

$$d_c = 2 \frac{v_c^2}{2g} = 2 * 0,02 = 0,04 \text{ m}$$

La velocidad crítica ( $v_c$ ) en la sección de control es

$$\frac{v_c^2}{2g} = 0,02$$

Por lo tanto

$$v_c = \sqrt{2g * 0,04} = 0,63 \text{ m/s}$$

El área de la sección de control (a) es

$$a = \frac{Q}{v_c} = 0,02 \text{ m}^2$$

El ancho (w) de la sección de control es

$$w = \frac{a}{d_c} = 0,5 \text{ m}$$

### Paso 3. Longitud del Desarenador.

La longitud (L) del desarenador que se requiere para remover partículas de 0,21 mm de diámetro (tamiz 65) con una velocidad de asentamiento de 1,15 m/min en una velocidad horizontal de flujo (v) de 0,3 m/s y altura de la lámina de agua en el caudal máximo de 1,22 m es

$$\frac{L}{v} = \frac{H}{v_s}$$

$$L_{\text{teorica}} = \frac{vH}{v_s} = 3 \text{ m}$$

La longitud mínima adicional que se recomienda es de

$$L_{\text{min, adicional}} = 3 \cdot H_{\text{max}} = 3 \cdot 0,44 = 0,3 \text{ m}$$

La longitud máxima adicional es el 50 % de la longitud teórica

$$L_{\text{max, adicional}} = 0,5 \cdot L_{\text{teórica}} = 0,6 \cdot 1,3 = 0,65 \text{ m}$$

Adoptamos una longitud adicional de 1,25 m

$$L = 4,25 \text{ m}$$

El tiempo de retención en el desarenador para el caudal máximo será

$$\tau = \frac{L}{v} = 0,47 \text{ min}$$

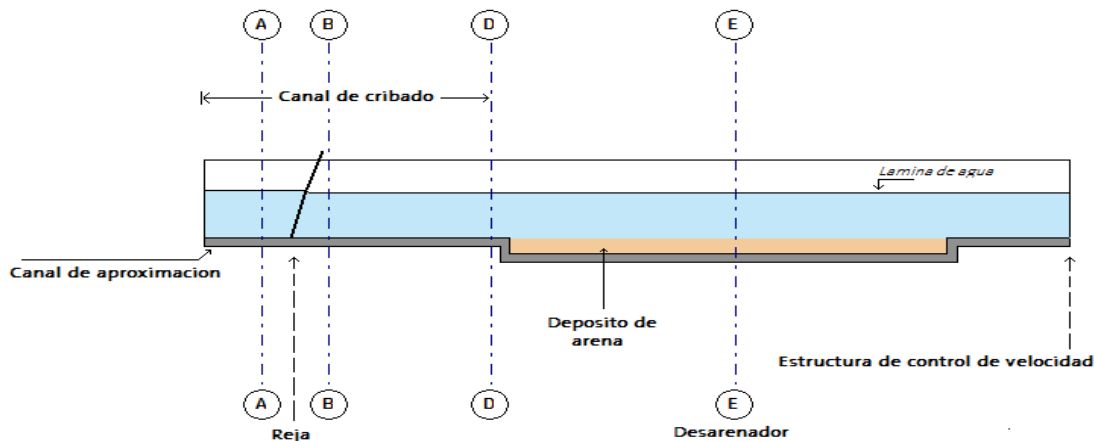
El tiempo de sedimentación para el caudal máximo será

$$\tau_s = \frac{H}{v_s} = 0,37 \text{ min}$$

#### Cantidad de arena

La cantidad de arena recolectada depende de entre otros factores de (1) tipo de alcantarillado (separado o combinado); (2) condiciones climáticas; (3) tipo de suelo; (4) condición del alcantarillado; (5) tipo de aguas residuales industriales, Qasim (1999). La cantidad de arena puede estar entre 5 a 200 m<sup>3</sup>/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de agua tratada. Un valor típico es 30 m<sup>3</sup>/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de agua tratada. En la siguiente figura se presenta un esquema que describe el corte longitudinal de como podría ser el sistema de tratamiento primario que incluye el cribado y el desarenador.

**Figura 8 Esquema unidades de Pre-Tratamiento**



Fuente: Programa computacional UASBplant, Aqualimpia.

## CONCLUSIONES

En la actualidad existen diferentes tipos de pre-tratamiento de aguas residuales, la implementación o instalación de estos en un sistema de tratamiento de aguas residuales depende de las cargas de ingreso, el caudal de diseño, el nivel de complejidad de la comunidad a servir entre otros factores, que ejercen influencia directa en la selección y diseño de unidades de pre-tratamiento.

El aplicativo formulado presenta al diseñador una herramienta que facilita el proceso de dimensionamiento de las unidades de cribado y Desarenador, dicho aplicativo se formuló atendiendo la metodología ilustrada por Qasim, S. (1999). *Wastewater treatment plants- Planning, design and operation. Second Edition.*

El rango de caudales para el dimensionamiento de las unidades puede variar según las necesidades del diseñador.

El aplicativo (como se mencionó anteriormente) es una herramienta de diseño mas no sustituye al diseñador y los fundamentos teóricos que debe tener el mismo.

Se aplica y describe la metodología de cálculo ilustrada por Qasim, S. (1999). *Wastewater treatment plants- Planning, design and operation. Second Edition*, relacionando en el documento las expresiones matemáticas y los resultados para las condiciones de diseño en particular. El estudiante o diseñador podrá cotejar y verificar el procedimiento de cálculo empleado en el aplicativo.



## Bibliografía

AZEVEDO N., J.M.; ACOSTA A., Guillermo. MANUAL DE HIDRÁULICA, sexta edición; Editorial Harla; México

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 142 de 11 de julio 1994. Régimen de los servicios públicos domiciliarios- COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Ley 99 de 1993 "La ley nacional ambiental".

COLOMBIA. Ministerio de Desarrollo Económico. Resolución 1096 de 2000 "Normas Técnicas del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000".

CORCHO R., Freddy; DUQUE S., José. ACUEDUCTOS "Teoría y Diseño"; Universidad de Medellín; Medellín, marzo de 1.993.

DESIGN MANUAL CONSTRUCTED WETLANDS AND ACUATIC PLANT SYSTEMS FOR MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT. Environment Protecj Asóciate. EPA, 1988. 20p

Metcalf & Eddy, Inc, (Revised by Tchobanoglous, G, Burton, F.L., Stensel, H.D.,

Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, 4th Ed., New York, NY, 2003.

Rolim, S. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización. McGraw Hill Eds.

Romero, J.2001. Tratamiento de aguas residuales-Teoría y principios de diseño.

Qasim, S. (1999). Wastewater treatment plants- Planning, design and operation. Second Edition. Technomic Pub. Basel.

TCHOBANOGLIOUS, George. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill, 2000. 190p.

U.S. EPA (1999). Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment, US EPA, OWM, Washington, DC