

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA DE LAS REJILLAS PARA
CAPTACIONES LATERALES CON GASTOS INFERIORES A 220 LPS PARA
ACUEDUCTOS MEDIANTE EL USO DE UN MODELO FÍSICO A ESCALA
REDUCIDA

WILSON MENDEZ BERNAL
MAYRA LUCIA MURILLO PEREA
PAOLA ANDREA MENDOZA PATARROYO

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D. C.

2015

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA DE LAS REJILLAS PARA
CAPTACIONES LATERALES CON GASTOS INFERIORES A 220 LPS PARA
ACUEDUCTOS MEDIANTE EL USO DE UN MODELO FÍSICO A ESCALA
REDUCIDA

WILSON MENDEZ BERNAL
MAYRA LUCIA MURILLO PEREA
PAOLA ANDREA MENDOZA PATARROYO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero civil

Asesor Disciplinar: Ing. LUIS EFREN AYALA ROJAS
Asesor Metodológico: Lic. LAURA CALA CRISTANCHO

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D. C.
2015

DEDICATORIA

En el presente trabajo de grado, agradezco primeramente a Dios por bendecirme, guiarme y ayudarme a culminar este proyecto junto con el cumplimiento de un logro más en mi vida.

A mi familia por su apoyo, comprensión, tolerancia y compañía a lo largo de este proceso, siendo de vital importancia en mi formación profesional, culminación de mi proyecto y logros adquiridos a lo largo de mi carrera.

De forma especial quiero agradecer a mis padres FANNY STELLA PATARROYO VANEGAS Y LUIS ENRIQUE MENDOZA MUÑOZ, quienes me han brindado su apoyo, amor y ayuda incondicional en la realización de mi vida profesional y ética, quienes son parte fundamental en este éxito siendo el motivo que me inspira a la realización como persona y como profesional, ya que gracias a su esfuerzo y sacrificio he logrado llegar a ser quien soy hoy en día, me siento orgullosa por tener su apoyo constante y sincero en este proceso.

También quiero agradecer a la UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA por permitirme estudiar y formarme como profesional en este plantel.

De igual manera quiero agradecer a mis profesores, LUIS EFREN AYALA, ALFONSO ESTRADA Y LAURA CALA, por la colaboración brindada en este proyecto en la realización del mismo con gran éxito, por su dedicación, quienes con sus conocimientos, esfuerzo y paciencia han logrado que logre llegar a la culminación de este proyecto.

Y por último quiero agradecer a mi jefe de trabajo Ing. ALEJANDRO OSPINA el cual me ha motivado en mi formación profesional, y en mi realización de este proyecto, brindando su ayuda, su apoyo y su solidarices a lo largo de este proceso importante de mi vida.

Son muchas personas quienes han estado a lo largo de mi formación profesional, brindándome su apoyo incondicional, muchas de ellas aún están presentes y muchas otras no, pero todas siguen muy presentes en mis recuerdos, a todo ellos quiero agradecerles por su confianza y fe puestas en mí.

Para todos ellos Muchas Gracias.

PAOLA ANDREA MENDOZA PATARROLLO

DEDICATORIA

A Dios principalmente por acompañarme en esta etapa de mi vida, a mis padres por su amor incondicional para culminar una meta más en mi vida, infinitas gracias por su orientación y apoyo sin ellos no podría obtener el título como Ingeniería civil, este logro también se lo dedico a mi hijo Juan Camilo Martínez Murillo que me acompañó a mitad de mi carrera con tus abrazos me daba la suficiente fortaleza para seguir adelante.

MAYRA LUCIA MURILLO PEREA

TABLA DE CONTENIDO.

	PÁG.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	16
4. MARCO REFERENCIAL	17
4.1 ANTECEDENTES	17
4.1.1 Antecedentes de estudios de rejillas	17
4.2 MARCO TEÓRICO.....	18
4.2.1 Acueducto.....	18
4.2.2 Rejillas	19
4.2.2.1 Elementos de diseños.....	20
4.2.3 Modelo físico.....	21
4.2.4 Caudal	21
4.2.5 Conceptos básicos para el dimensionamiento hidráulico.	23
4.2.5.1 Obras de captación.....	23
4.2.6 Tipos de obras de captación.....	23
4.2.6.1 Captación lateral	23
4.2.7 Aspectos para el dimensionamiento de una obra de captación	24
4.2.8 Aspectos particulares de las captaciones laterales	25
4.2.8 Modelo Hidráulico	26
4.2.9 Escala Hidráulica	28
4.3 MARCO LEGAL.....	29
5. METODOLOGÍA.....	30
5.1 DISEÑO METODOLOGICO	30
5.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	30
5.3 FASES DE INVESTIGACIÓN.....	31
5.4. INSTRUMENTOS.....	32
5.5. PROCEDIMIENTO	33

6. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	34
7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
8. CONCLUSIONES	52
9. RECOMENDACIONES.....	53
10. BIBLIOGRAFÍA.....	54
11. ANEXOS.....	55

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Acueducto.....	19
Ilustración 2. Rejilla de captación.....	20
Ilustración 3. Captación lateral.....	24
Ilustración 4. Obra de captación lateral.....	24
Ilustración 5. Reparación del canal.	34
Ilustración 6. Modelo físico	35
Ilustración 7. La bomba en funcionamiento.	35
Ilustración 8. Toma de datos.....	36
Ilustración 9. Ubicación de las rejillas.	37
Ilustración 10. Rejillas Horizontales.	39
Ilustración 11. Rejillas Verticales.	40
Ilustración 12. Rejillas Diagonales.	41

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Formula de peso	22
Ecuación 2. Densidad	22
Ecuación 3. Formula caudal	22
Ecuación 4. Método gravimétrico.....	22
Ecuación 5. Similitud cinemática.....	28
Ecuación 6. Similitud de Froude	28
Ecuación 7. Escala de velocidad	29
Ecuación 8. La escala de caudales.....	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estudios para el dimensionamiento de una obra de captación.....	25
Tabla 2. Variables	30
Tabla 3. Tabla resumen	36

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Aforo - cálculo de caudal	56
Anexo 2. Aforo - cálculo de rejillas.....	57
Anexo 3. Registro de Aforo.....	59
Anexo 4. Las dimensiones de las posibles rejillas de captación.....	63
Anexo 5. Aforo – Rejillas.....	67
Anexo 6. Cálculos para gráficas.	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rejilla vertical 1"	43
Figura 2. Rejilla horizontal 1"	43
Figura 3. Rejillas diagonales 1"	44
Figura 4. Rejilla vertical 1 1/2"	45
Figura 5. Rejilla horizontal 1 1/2"	45
Figura 6. Rejilla diagonal 1 1/2"	46
Figura 7. Rejillas cuadradas 1" según su diámetro	46
Figura 8. Rejillas redondas rejillas 1" según su diámetro.....	47
Figura 9. Rejillas cuadradas rejillas 1 1/2 " según su diámetro.....	47
Figura 10. Rejillas redondas rejillas 1 1/2 " según su diámetro.....	48
Figura 11. Rejilla más eficiente según figura 8.	49
Figura 12. Rejilla más eficiente según figura 10.	49
Figura 13. Rejilla más eficiente según figura 8	50
Figura 14. Rejillas más eficientes según figuran 9 y 10	50
Figura 15. Rejilla más eficiente	51

GENERALIDADES

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA DE LAS REJILLAS PARA CAPTACIONES LATERALES CON GASTOS INFERIORES A 220 LPS PARA ACUEDUCTOS MEDIANTE EL USO DE UN MODELO FÍSICO A ESCALA REDUCIDA.

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

HIDROTÉCNICA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y EL BIENESTAR DE LA COMUNIDAD.

SUB-LINEA DE INVESTIGACIÓN:

DISEÑO HIDRAULICO

NOMBRE DEL INVESTIGADOR:

WILSON MENDEZ BERNAL
MAYRA LUCIA MURILLO PEREA
PAOLA ANDREA MENDOZA PATARROYO

NOMBRE DE LOS ASESORES:

ING. LUIS EFREN AYALA (Asesor Disciplinar).
LIC. LAURA CALA CRISTANCHO (Asesor Metodológico).

LUGAR EN DONDE SE REALIZA EL PROYECTO:

DEPARTAMENTO: Cundinamarca
AÑO: 2015

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es uno de los recursos naturales renovables más importantes para la humanidad y los demás seres vivos del planeta, pues casi ninguna actividad podría realizarse sin ella. Hoy en día la sociedad enfrenta graves y complejos problemas relacionados con el agua. La contaminación, deforestación y la sobreexplotación de acuíferos, ha mermado las reservas abastecedoras de muchas ciudades.

Los acueductos son sistemas que permiten dotar de agua potable a los municipios y alimenta distritos de riego, la cual estas aguas son captadas por medio de rejillas, las cuales deben ser lo suficientemente eficientes.

Las captaciones laterales son aconsejable para ríos caudalosos con gran pendiente y con reducidas variaciones de nivel a lo largo del período hidrológico, especialmente cuando estos sufren variaciones de caudales en épocas de tirante mínima y en períodos de crecientes máximas, por lo que se hace necesario tener un lineamiento más preciso al momento de diseñar este tipo de captación.

Las rejillas que hacen parte de una estructura de captación se diseñan, normalmente, utilizando un procedimiento matemático que será afectado por un amplio factor de seguridad. Con este procedimiento se encuentra que el valor obtenido de espesor y separación de barras aceptados por las normas del país cumple con la captación del caudal requerido¹.

Por tal motivo, se realizará el estudio con diferentes caudales que simularán el comportamiento del curso superficial de una fuente natural. Inicialmente, dichas variables se dispondrán tomando como referencia el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico del ministerio de Desarrollo Económico, en las cuales se tiende a emplear captaciones de fondo. Se hace relevante suministrar pautas que le permitan al diseñador elegir con mayor aproximación el tipo de rejilla apropiada para captaciones laterales, por este motivo surge la pregunta de investigación:

¹ PÉREZ, J.A., otros. Estudio experimental de rejillas en boca toma de fondo. Trabajo de grado. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. 1997. 122p

¿Cuál es la eficiencia hidráulica de las rejillas para captaciones laterales con gastos inferiores a 220lps para acueductos mediante el uso de un modelo físico a escala reducida?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia hidráulica de las rejillas para captaciones laterales con gastos inferiores a 220lps para acueductos, mediante el uso de un modelo físico a escala reducida.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la geometría de las rejillas para captaciones laterales con gastos inferiores a 220 lps, mediante el uso de un modelo escala reducida, a partir de aforos de caudal.
- Describir el comportamiento del flujo a través de diferentes variables de las rejillas, para el estudio de diámetros, espaciamiento entre barras y pendientes.
- Analizar el comportamiento de las rejillas de captación lateral del curso superficial de la fuente natural.

3. JUSTIFICACIÓN

La población Colombiana se ve afectada en épocas de invierno por daños en estructuras de plantas de potabilización, debido a la mala evacuación de aguas lluvias. Los sistemas de evacuación de agua en muchas ocasiones se ven obstruidos por residuos, materiales, o simplemente porque la estructura de captación no está diseñada para la recepción del caudal pico, ya que se generan problemas tanto en la capacidad como en el paso del agua por las rejillas.

Teniendo en cuenta que gran parte de los municipios colombianos se encuentran clasificados dentro del nivel de complejidad bajo y medio, debido a la proyección de la población en diferentes períodos de diseño, los cuales son años de duración de obras de acueducto y alcantarillado proyectados igualmente, definidos en el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, y en los cuales se tiende a emplear captaciones por medio de rejillas laterales, se hace relevante suministrar pautas que le permitan al diseñador elegir con mayor aproximación el tipo de rejilla más apropiado.

Las rejillas en obras de captación han sido empleadas como un elemento que limita la entrada de material flotante en la estructura. En trabajos anteriores no se consideraba este elemento sujeto a un diseño, a cambio se usaban algunas guías para su dimensionamiento, lo anterior tomado de escritos derivados del conocimiento empírico.

Identificada la necesidad de los ingenieros hidráulicos al tener claridad acerca del diseño e implementación de rejillas para acueductos se plantea un modelo físico, por medio del cual, mediante un proceso de análisis, interpretación y clasificación se identifiquen aquellos aspectos y consideraciones fundamentales requeridas para el buen funcionamiento en este tipo de estructuras. Este trabajo busca identificar que rejilla de captación lateral es más eficiente.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

Las rejillas en obras de captación se emplean para la remoción de materiales flotantes en la estructura, en 1962, Nicolás Nyerges en su libro “Obras de captación en cursos superficiales de agua para gastos moderados”², propuso un método exhaustivo para el diseño de rejillas fundamentándose en un modelo físico en el cual, estudió el comportamiento del flujo a través de varios tipos de rejillas construidas con barras cuadradas, lo que implica falencias a la hora de diseñar con barras redondas, estos estudios solían ser producto de conocimientos empíricos, dejando en segundo lugar el diseño para construcción de estas estructuras, con la Resolución 1096 presentada anteriormente, se dan nuevos parámetros para la implementación, construcción y diseño de diferentes tipos de captaciones de fondo.

Esta información es muy importante para el desarrollo de esta investigación, ya que de esta forma permite obtener una pauta para desarrollar el estudio y se profundizará en el diseño de captaciones laterales por medio de rejilla aplicando la normatividad vigente a partir del ras 2000 título B sistemas de acueducto, parámetros de captaciones laterales.

De acuerdo con la investigación planteada se encuentran dos proyectos que de alguna forma buscaban realizar una valoración de las capacidades hidráulicas de diferentes tipos de rejillas para acueductos. Sin embargo, el tipo de análisis considerado y la valoración de rejillas de diferentes formas permiten encontrar un diferencial a lo que los estudios precedentes mencionados realizaron.

4.1.1 Antecedentes de estudios de rejillas

- ✓ Los investigadores Medina y Pardo³, realizaron un estudio de modelación física de rejillas en concreto para sumideros en alcantarillados, que tuvo como objetivos establecer la modelación física de rejillas en concreto para sumideros

² NYERGES V, Nicolás. Obras de captación en cursos superficiales de agua para gastos moderados. 1962. 130 p. disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/5944/1/No._5-1998-3.pdf

³ MEDINA. Carlos, y otros. MODELACIÓN FÍSICA DE REJILLAS EN CONCRETO PARA SUMIDEROS EN ALCANTARILLADOS. UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Bogotá. D.C. 2010. pág. 34

en alcantarillados e identificar la curva hidráulica de sumideros en alcantarillados mediante modelaciones físicas de rejillas laterales metálicas y en concreto. Los resultados de esta investigación se determinaron con diferentes pruebas ya que después de la obtención de los datos recopilados, se puede decir que las rejillas propuestas pueden a largo plazo mitigar las grandes inundaciones que se generan en la ciudad de acuerdo con su eficiencia.

- ✓ Por otra parte, Eduardo Bernal⁴, en su estudio realizado sobre “La determinación de la eficiencia de captación en rejillas típicas de la ciudad de Bogotá”, planteó como objetivo identificar la curva hidráulica de sumideros en alcantarillados mediante modelaciones físicas de rejillas laterales metálicas y en concreto, determinando la demanda y oferta actual para presentar mejoras en cuanto a estructuras de sumideros.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Acueducto

Los acueductos son obras de ingeniería, las cuales son construidas con el objetivo de conducir el agua recolectada de una estructura de captación hasta otro punto donde permita que todas las personas que tengan acceso a ella, se beneficien. Los acueductos son exclusivos para el transporte de agua cruda y pueden tener diferentes formas, las cuales dependen de las distancias que debe recorrer el agua, el tipo de terreno y la población que se verá favorecida con este tipo de obras, estos están construidos en la mayoría de los casos con tuberías hechas de metales resistentes, durables y modernos, los cuales pueden estar superficialmente o enterrados como se observa en la ilustración 1.

⁴ BERNAL, Oscar. Determinación de la eficiencia de captación en rejillas típicas de la ciudad de Bogotá. Tesis, Universidad Javeriana, Bogotá. 2011.

Ilustración 1: Acueducto



Fuente:http://1.bp.blogspot.com/_6Qsdg-VEYZE/TOrBHC0joal/AAAAAAAABXs/RHlhUr-ZpjE/s1600/Desarenador.JPG

4.2.2 Rejillas

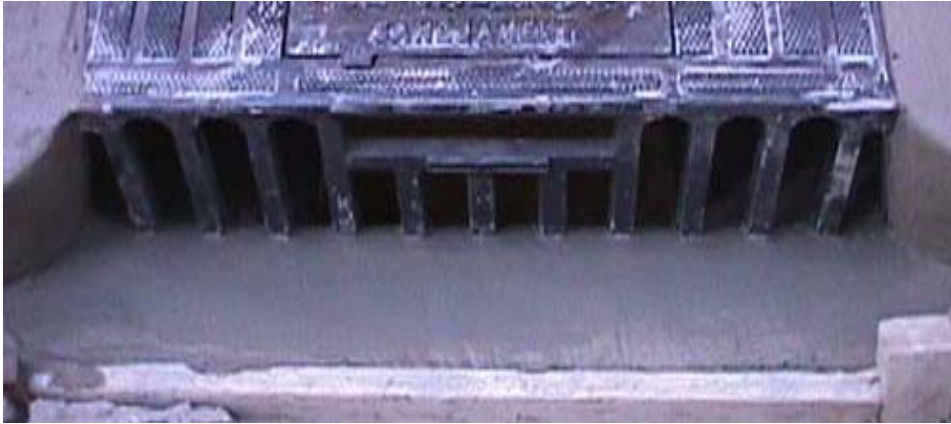
Son elementos que hace parte de un conjunto de estructuras que tienen por objeto captar las aguas y desviar las aguas que escurren por la solera, hacia el sistema de conducción, debido a los caudales de los ríos sufren variaciones, ya sea en épocas de tirante mínima y en periodos de crecientes máximas⁵. Un ejemplo de rejilla se puede apreciar en la ilustración 2. Este es considerado como el elemento base del diseño, el cual para este estudio en particular se tomará como una captación de tipo lateral, la cual pretende mediante esta investigación, definir cuál de estas rejillas es la más eficiente ya sea de uso transversal o longitudinal a la dirección de la corriente.

“Los otros tipos de toma también deben tener rejillas, con el fin de limitar la entrada de material flotante hacia las estructuras de captación”⁶.

⁵ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico -ras, título B captaciones de agua potable. Bogotá D.C., 2000. pág. B.57

⁶ *Ibid.*, p. 70

Ilustración 2. Rejilla de captación.



Fuente: Tomada de:

[http://www.valencia.es/ayuntamiento/ciclointegralagua.nsf/0/8772E3989D654DEBC12573870041A805/\\$FILE/6.jpg](http://www.valencia.es/ayuntamiento/ciclointegralagua.nsf/0/8772E3989D654DEBC12573870041A805/$FILE/6.jpg)

4.2.2.1 Elementos de diseños

En todo diseño de rejillas deben contemplarse los siguientes elementos: el caudal correspondiente al nivel de aguas mínimas y máximas del río, el caudal requerido por la población que se va a abastecer y el nivel máximo alcanzado por las aguas durante las crecientes, dentro del proyecto se evaluarán ciertos parámetros de la rejilla, que hacen parte de los elementos de diseños:

- **Inclinación de las rejillas**

“En el caso de rejillas utilizadas para la captación de aguas superficiales en cursos de agua de zonas montañosas, la rejilla debe estar inclinada entre 10% y 20% hacia la dirección aguas abajo. En el caso de otros tipos de estructuras de captación, las rejillas deben tener una inclinación de 70° a 80° con respecto a la horizontal”⁷.

⁷ Ibid., p. 70-71

- **Separación entre barrotes**

“La separación entre barrotes, para el caso de estructuras de captación en ríos con gravas gruesas, debe ser entre 75 mm y 150 mm. Para ríos caracterizados por el transporte de gravas finas, la separación entre barrotes debe ser entre 20 mm y 40 mm”⁷.

- **Ancho de la rejilla**

“El ancho de la rejilla debe depender del ancho total de la estructura de captación”⁷.

- **Velocidad del flujo en la rejilla**

“La velocidad efectiva del flujo a través de la rejilla debe ser inferior a 0.15 m/s, con el fin de evitar el arrastre de materiales flotantes”⁷.

4.2.3 Modelo físico

Para la ingeniería, los modelos físicos son representaciones que se hacen al prototipo a escala reducida en contraposición de los modelos matemáticos y modelos analógicos, para así estudiar detalladamente el comportamiento que tiene la estructura con las variables que interactúan con él, para así perfeccionarlas y llegar a los ajustes necesarios antes de su construcción.⁸

4.2.4 Caudal

Variable clave en el diseño y localización de estructuras. Sobre este particular, es necesario identificar y definir dos tipos de caudales: caudal por el método gravimétrico.

⁸ MEDINA. Carlos, y otros. MODELACIÓN FÍSICA DE REJILLAS EN CONCRETO PARA SUMIDEROS EN ALCANTARILLADOS. UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Bogotá. D.C. 2010. pág. 34

4.2.4.1 Aforo de caudal método gravimétrico

Este método se caracteriza en la medición de la masa, para caudales pequeños y como su nombre lo indica se mide el peso del fluido en un intervalo de tiempo.

$$W = m * g$$

Ecuación 1. Formula de peso

W = peso del Fluido (F) (MLT²)

m= Masa del Fluido (M) (FL⁻¹ T²)

g = Aceleración de la Gravedad (L T²)

$$\rho = m / v$$

Ecuación 2. Densidad

ρ = densidad del Fluido (ML⁻³) (FL⁻⁴T)

V= volumen del fluido (L³)

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 3. Formula caudal

Despejando la ecuación 2 $m = \rho * v$, y reemplazando en la ecuación 1.

Obtenemos $W = \rho * v * g$ de otra forma $V = W / \rho * g$ ò $V = W / \gamma$

Donde γ = peso específico del Fluido (F L³) (ML⁻² T²)

Ahora reemplazando el volumen en la ecuación 3. Se obtiene:

$$Q = \frac{w}{\gamma * t} (L^3 T^{-1}) \text{ ò}$$

$$Q = \left(\frac{(\text{Peso del agua} + \text{Peso del recipiente}) - \text{Peso del recipiente}}{\text{Peso específico} * \text{Tiempo de llenado}} \right)$$

Ecuación 4. Método gravimétrico

4.2.5 Conceptos básicos para el dimensionamiento hidráulico.

4.2.5.1 Obras de captación

Las obras de captación se utilizan para reunir y disponer adecuadamente el agua de fuentes naturales ya sean superficiales o subterráneas. A la vez son obras que satisfacen todas las necesidades de las poblaciones para: consumo humano, riego, energía hidroeléctrica, agricultura, entre otros.

Las obras de captación son todas aquellas estructuras hidráulicas que se implantan directamente sobre las fuentes como los ríos, lagunas, embalses, entre otros, teniendo estas diferentes tipos de diseños según las necesidades de la población. El diseño de una obra de toma corresponderá a ser realizada en conjunto a las condiciones naturales del terreno y a la facilidad de accesos al lugar.⁹

4.2.6 Tipos de obras de captación

Los tipos de obras de captación son de diferentes series, dependen básicamente del tipo de fuente que se disponga para captar; a continuación se mencionara el tipo de captación que se trabajara en este estudio¹⁰:

4.2.6.1 Captación lateral

La toma lateral es una obra de captación superficial y es una de las más empleadas cuando se trata de captar el agua de un río, como se puede apreciar en la ilustración 3.

Este tipo de obra se implanta cuando se tiene una fuente con alta capacidad de caudal, la cual se puede evitar su construcción en lugares propensos a la erosión, socavación e inestabilidad geológica, además es conveniente la construcción de muros que protejan la estructura.

⁹ HERRERA PALACIOS DIEGO ISAÍAS. MEJORAMIENTO HIDRÁULICO AL DESARENADOR Y REJILLA DE LA TOMA CAUCASIANA DEL MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO DEL RÍO ARTURO IMPLEMENTADO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA. QUITO – ECUADOR. 2013, pág. 8

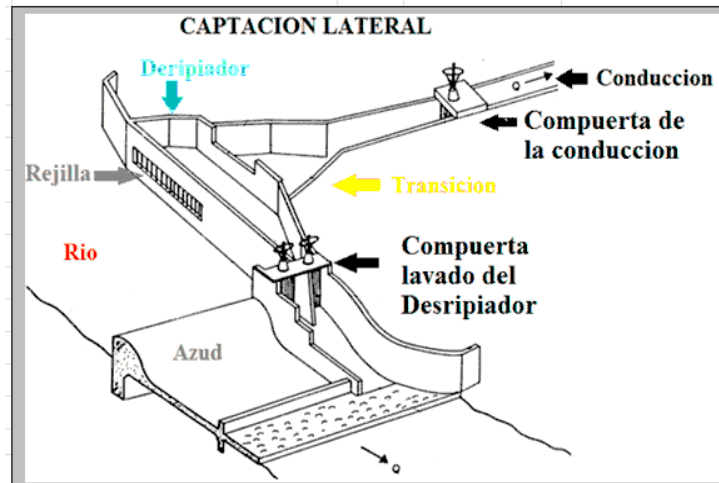
¹⁰ *Ibid.*, p. 9

Ilustración 3. Captación lateral



Fuente: Tomada de: <http://www.espyumbo.com/captacion.htm>

Ilustración 4. Obra de captación lateral.



Fuente: Tomada de: http://www.bibliocad.com/biblioteca/captacion-de-rejilla-lateral_57057

4.2.7 Aspectos para el dimensionamiento de una obra de captación

Son varios los aspectos necesarios para el dimensionamiento de una obra de captación, entre los principales se puede citar los siguientes:

Tabla 1. Estudios para el dimensionamiento de una obra de captación.

Nombre del estudio	Descripción
Estudios topográficos	Este estudio es muy importante, ya que de esta manera se puede determinar el terreno y el cauce del agua; la selección del lugar donde el agua va a ser captada es un factor muy importante ya que interviene en la relación: cantidad de sedimentos y agua que captará en el sistema. ⁹
Estudios geológicos	Para conocer la geología del proyecto y sus diferentes aspectos como: morfología, estructuras, litología e hidrogeología; se ha determinado nominalmente o infiriendo las propiedades geo mecánicas de las unidades geológicas a fin de obtener los criterios y elementos de comparación con los datos generados en investigaciones anteriores. ⁹
Estudios geotécnicos	Los estudios geotécnicos se deberán determinar las condiciones de estabilidad y resistencia admisible de los suelos, para considerar las precauciones necesarias en el diseño de las obras civiles. Ubicando los sitios en los cuales se ha previsto la ejecución de las obras, analizando los peligros geológicos (sísmico, volcánico y morfo dinámico) asociados con el área del proyecto ⁹ .
Estudios hidrológicos	En el estudio hidrológico se conocerá la disponibilidad del recurso hídrico mediante la medición de caudales o aforos en situ en diferentes épocas del año, imprescindible en época de estiaje para determinar los valores de caudal máximo, mínimo y medio de la fuente, para así poder garantizar el servicio y evitar problemas relacionados con los niveles mínimos que aseguren la captación y de los máximos para que no peligre la estabilidad de las obras ⁹ .

4.2.8 Aspectos particulares de las captaciones laterales

En caso de que el proyecto de abastecimiento de agua potable de un municipio tenga una captación lateral, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: La captación lateral estará constituida, entre otras, por las siguientes partes¹¹:

- Un muro normal o inclinado con respecto a la dirección de la corriente para asegurar un nivel mínimo de las aguas.
- Un muro lateral para proteger y acondicionar la entrada de agua al conducto o canal que conforme la aducción y para colocar los dispositivos necesarios que controlen el flujo e impidan la entrada de materiales extraños.

¹¹ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO Op. cit. Pág. B61.

4.2.8 Modelo Hidráulico

El uso de modelos físicos a escala reducida, llamados simplemente modelos hidráulicos, implica que éstos deben ser semejantes al prototipo, para lo cual debe satisfacerse las leyes de similitud Geométrica, Cinemática y Dinámica, que en conjunto relacionan magnitudes físicas homólogas definidas entre ambos sistemas.¹²

El sistema semejante reducido o simplificado es lo que llamamos modelo, frente a la realidad que llamamos prototipo. Los principios en que se basa este procedimiento incluyen las teorías de similitud hidráulica. El análisis de las relaciones básicas de las diversas cantidades físicas incluidas en el movimiento y la acción dinámica del fluido denominada análisis dimensional.

Aplicación y aporte de los modelos hidráulicos

En hidráulica, la modelación se usa para la simulación de situaciones reales que se producen en el prototipo y cuyo comportamiento se desea conocer; puesto que modelo y prototipo están ligados el uno con el otro, las observaciones y estudio del modelo constituyen la información necesaria para comprender la naturaleza del prototipo, debiendo para ello, estar ambos relacionados.¹³

Clasificación respecto de la semejanza geométrica con el prototipo:

- Modelos geoméricamente semejantes: son aquellos en los que se conserva la semejanza de todas las variables geométricas. Existe un único factor de reducción o amplificación, llamado escala, de todas las magnitudes geométricas y las que se derivan de ellas, además de la igualdad de ángulos correspondientes entre el modelo y el prototipo.
- Modelos geoméricamente distorsionados: se conserva la semejanza con el prototipo, pero los factores a usar de reducción o ampliación son distintos

12 ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA. Modelación Hidráulica. Disponible en: http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/modelacionhidraulica/modelacion_hidraulica.html

13 UNIVERSIDAD DE PIURA. Tesis. Disponible en: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf.

para diferentes dimensiones del mismo. Es frecuente que las dimensiones horizontales tengan una escala o factor y las dimensiones verticales, otras. El uso de distorsiones resulta, muchas veces, necesario cuando el factor único produce una reducción demasiado grande en las dimensiones verticales, lo cual originaría efectos significativos en fuerzas que en el modelo son despreciables o inexistentes en el prototipo. Este tipo de modelos es usual en estructuras marítimas. ¹⁴

- Principios de similitud en modelos físicos

Para asegurar que el modelo represente adecuadamente al prototipo, es necesario que aquel sea mecánicamente similar con éste, es decir, exista similitud geométrica, cinemática y dinámica, además de las similitudes relacionadas con los sedimentos.

- Similitud geométrica

Esta similitud es independiente de la clase de movimiento y contempla sólo similitud en la forma. La propiedad característica de los sistemas geoméricamente similares, ya sea figuras planas, cuerpos sólidos o modelos de flujo, es que la relación de cualquier longitud en el modelo con respecto a la longitud correspondiente en el prototipo, es en todas partes igual. Esta relación se conoce como factor de escala y puede expresarse como sigue:

$$L_r = L_M / L_P.$$

Siendo L_M y L_P dimensiones lineales correspondientes en modelo y prototipo, respectivamente y L_r factor de escalas. Entonces:

Relación de áreas:

$$A_r = \left(\frac{L_M}{L_P} \right)^2 = L_r^2$$

¹⁴ . Ibid., pág. 3

Relación de volúmenes:

$$V_r = \left(\frac{L_M}{L_P} \right)^3 = L_r^3$$

La similitud geométrica es quizá el requisito más obvio en un sistema modelo proyectado para corresponder a un sistema prototipo dado. ¹⁵

4.2.9 Escala Hidráulica

Dado que se está modelando el flujo en canales abiertos, los modelos hidráulicos deben cumplir básicamente las condiciones de similitud cinemática:

$$Vr = \frac{Lr}{Tr}$$

Ecuación 5. Similitud cinemática.

Dónde: Vr = escala de la velocidad, Lr = escala de longitud, Tr = escala de tiempo.

Y las condiciones de similitud de *Froude*:

$$Fr = 1 = \frac{Vr}{hr}$$

Ecuación 6. Similitud de Froude

Donde Fr = escala del número de Froude, hr = escala de altura.

Expresando las magnitud en el prototipo con subíndice p, las del modelo con subíndice m, y las escalas con subíndice r, por ejemplo: velocidad en el prototipo = Vp ; velocidad en el modelo = Vm , y escala de velocidad, Vr :

¹⁵ Ibid., pág.11

$$Vr = \frac{Vp}{Vm}$$

Ecuación 7. Escala de velocidad

La escala de caudales, se calculará como:

$$Qr = Vr * Lr * hr$$

Ecuación 8. La escala de caudales

4.3 MARCO LEGAL

De acuerdo con la Documentación Técnica de la Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico, en la cual se adopta la resolución N° 1096 del 17 de noviembre de 2000, del Ministerio de Desarrollo Económico, dando cumplimiento en lo dispuesto en la Ley 142 de 1994, que establece el régimen de los Servicio Públicos Domiciliarios en Colombia, determina el alcance de los requisitos técnicos en el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico RAS.

El propósito de este reglamento va enfocado a establecer: “los criterios básicos, los requerimientos mínimos y los valores específicos y límites que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto que se desarrollen en la República de Colombia”, todo esto para garantizar el buen funcionamiento, durabilidad y sostenimiento dentro del nivel de complejidad del sistema que sea determinado.

En el título B de la RAS: Sistemas de acueducto, capítulo B4 Captaciones de Agua Superficial, subcapítulo “4.4.5 Rejillas”, encontramos las características y requerimientos para la construcción e implementación de captaciones de fondo con rejillas, teniendo en cuenta que gran parte de los municipios colombianos se encuentran clasificados dentro del nivel de complejidad bajo y medio, definidos por la RAS y en los cuales se tiende a emplear captaciones de fondo, se hace relevante suministrar pautas que le permitan al diseñador elegir con mayor con mayor aproximación el tipo de rejilla más apropiado.

5. METODOLOGÍA

5.1 DISEÑO METODOLOGICO

Enfoque de investigación. La siguiente investigación es de enfoque cuantitativo teniendo en cuenta que se desarrolla a partir de:

- Recopilación de información mediante la toma de datos generados a partir del modelo físico a escala.
- Un proceso experimental: recolección de variables resultantes de ensayos experimentales en el modelo hidráulico a escala física.
- Análisis de datos: permite considerar cual es la rejilla de captación lateral más eficiente para proponerla como solución al problema planteado.

Tipo de investigación. Este estudio es de tipo experimental, donde se plantea como variables independientes Inclinación de las rejillas, Separación entre barrotes, Ancho de las rejillas, para analizar la variable dependiente que es la rejilla para esta forma determinar, cuál es la más eficiente para un acueducto.

5.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2. Variables

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	PARAMETRO
REJILLA	Son elementos que hace parte de un conjunto de estructuras que tienen por objeto captar las aguas y desviar las aguas que escurren por la solera, hacia el sistema de conducción	UND
INCLINACIÓN	Para aguas superficiales, la rejilla debe estar inclinada entre 10% y 20% hacia la dirección aguas abajo para otras estructuras debe ser de 70° a 80° con respecto a la horizontal	GRADOS
CAUDAL	es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo	M ³ /S
TIEMPO	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento.	SEG
PESO	Medida de esta propiedad de los cuerpos	GRAMOS

Variables (continuación)

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	PARAMETRO
VOLUMEN	Medidas del espacio de tres dimensiones ocupado por un cuerpo	M ³
VELOCIDAD DE FLUJO EN LA REJILLA	Velocidad a la cual un volumen de líquido pasa por un punto determinado	M/S
SEPARACIÓN ENTRE BARROTES	para el caso de estructuras de captación en ríos con gravas gruesas, debe ser entre 75 mm y 150 mm y para gravas finas debe ser entre 20 mm y 40 mm	M
DIAMETRO	El diámetro de los barrotes de la rejilla debe depender del ancho total de la estructura de captación	M

5.3 FASES DE INVESTIGACIÓN

Las fases en las que se desarrolla la presente investigación se describen a continuación.

FASE 1: Identificación de las rejillas para gastos inferiores a 220 lps

- 1.1. Adecuación del modelo hidráulico a escala.
- 1.2. Se realiza el aforo de caudales y para determinar el caudal de diseño. Los datos se registran en el formato de registro de aforos (tabla 3).
- 1.3. Con los datos obtenidos del aforo, se realiza el cálculo de las rejillas con las diferentes variables propuestas.
- 1.4. Inspección visual de la ubicación de las rejillas, para la captación lateral, de una fuente natural.

FASE 2: Descripción del comportamiento del flujo.

- 2.1 Con los dimensionamientos de las rejillas, se procede a escalarlas respecto al modelo físico.
- 2.2. Construcción de las rejillas en material acrílico, delineadas y cortadas con láser para minimizar el error en la geometría.

2.3 Recolección de datos obtenidos del modelo hidráulico, durante las pruebas experimentales o aforos con las rejillas instaladas. Los datos se recolectan en el formato anexo 2 Aforo - cálculo de rejillas

FASE 3: Análisis del comportamiento de las rejillas.

3.1. Con los datos obtenidos del último aforo, se determina cuál de las rejillas de captación lateral propuestas, resulta ser más eficiente al momento de captar aguas de un canal natural, para sistemas de acueductos.

5.4. INSTRUMENTOS

La recolección de datos del aforo para la determinación del caudal se emplea mediante el formato “Aforo - cálculo de caudal”, (ver anexo 1).

El formato para el “Aforo - cálculo de rejillas”, se visualiza en el anexo 2.

Para el desarrollo de esta investigación se requieren los siguientes equipos, materiales y software:

Materiales

- Rejillas metálicas
- Rejillas concreto
- Modelo físico

Equipos

- Equipo de bombeo: se utiliza para la recirculación de agua en el modelo hidráulico, dando similitud al caudal real de la zona de estudio, una bomba de 5 hp con capacidad de 220lps.
- Equipo de cómputo: computadores, portátiles e impresoras, que funcionan como elementos para el trabajo de oficina tanto en el desarrollo del trabajo como en la modelación magnética y cálculos de los datos obtenidos a partir de ensayos de laboratorio.

5.5. PROCEDIMIENTO

Por medio de un modelo físico a escala que se encuentra en el laboratorio de hidráulica de la universidad La Gran Colombia, se realizaron modificaciones en la parte lateral del cauce, para ajustar las rejillas que se calcularan de acuerdo con la escala del modelo.

Se fabricaron rejillas con diferentes espaciamentos entre barras, áreas y geometrías, luego se dejará fluir el agua sobre el modelo y se captará mediante las rejillas diseñadas para el modelo, tomando el tiempo por medio de un cronómetro. Se almacena el agua en un tanque dispuesto en la parte inferior y luego se procede a ser pesado, se debe realizar este mismo procedimiento para las diferentes características de instalación de las rejillas, como ángulo de inclinación y características físicas de la rejilla como espaciamiento entre barras, diámetro de las barras, entre otros.

Luego de esto se tomarán los datos, con los cuales se realizarán los cálculos y se confrontarán entre sí, para llegar a determinar cuál rejillas con sus variables es la más eficiente hidráulicamente.

6. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

FASE 1: Identificación de las rejillas para gastos inferiores a 220 lps

1. Adecuación del modelo hidráulico a escala.

Se realizó la construcción del modelo físico ajustándolo de tal manera que refleje las condiciones naturales más cercanas posibles a la realidad, y para ello se realizó un reconocimiento visual de los diferentes tipos de rejillas de captación lateral más utilizados en el acueducto, teniendo en cuenta características claves de cada una de ellas como es la pendiente, diámetro, espesor y por supuesto el material utilizado en su construcción.

El proceso realizado en la primera fase, fue el siguiente:

- Se inspeccionó el modelo. Se realizaron adecuaciones en cuanto a pintura, reparación de fisuras, sellado de fisuras, entre otras. En la ilustración 5, se observa algunas reparaciones realizadas al modelo. Los materiales para la reparación del modelo hidráulico fueron:
 - Silicona transparente
 - Sikaflex
 - Pintura bituminosa
 - Lija # 180
 - Espátula plástica
 - Brocha 1 ½"

Ilustración 5. Reparación del canal.



Fuente: propia.

En la siguiente imagen se observa el modelo físico que se empleó finalmente para los aforos.

Ilustración 6. Modelo físico

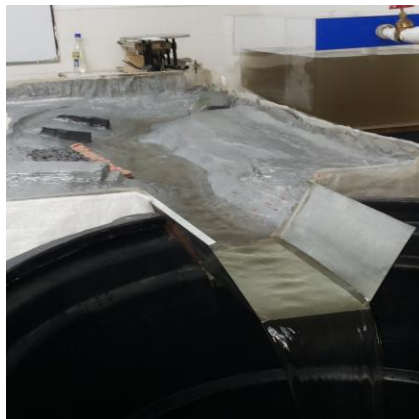


Fuente propia.

2. Se realiza el aforo de caudales, para determinar el caudal de diseño.

Se realizaron pruebas de la bomba hidráulica en el modelo. Al finalizar la etapa de reparación o preparación del modelo físico se dio inicio al aforo para hallar el caudal de diseño. En la ilustración 7 se observa la bomba en funcionamiento para realizar el aforo. En la ilustración 8 la toma de datos para el aforo.

Ilustración 7. La bomba en funcionamiento.



Fuente: Autores

Ilustración 8. Toma de datos



Fuente propia.

3. Con los datos obtenidos del aforo, se realiza el cálculo de las rejillas con las diferentes variables propuestas.

Los datos registrados de los aforos se encuentran en el anexo 3. A continuación se presenta los resultados del cálculo de los caudales mínimos y máximos del modelo (ver tabla 4).

Tabla 3. Tabla resumen

Apertura válvula salida de la bomba en %	Apertura válvula acometida hidráulica en giros	Apertura válvula acometida hidráulica en %	Promedio Q (m³/s)	Promedio Q (Lt/s)
40%	13	50%	0,294	294,3
40%	15,6	60%	0,287	287,1
40%	18,2	70%	0,316	315,8
40%	20,8	80%	0,308	308,3
40%	23,4	90%	0,294	294,4

Tabla 3 (Continuación)

Apertura válvula salida de la bomba en %	Apertura válvula acometida hidráulica en giros	Apertura válvula acometida hidráulica en %	Promedio Q (m ³ /s)	Promedio Q (Lt/s)
40%	26	100%	0,328	248,6
60%	5,2	20%	0,170	169,6
60%	7,8	30%	0,223	223,2
60%	10,4	40%	0,264	263,6
60%	13	50%	0,274	273,6
60%	15,6	60%	0,319	319,3

4. Inspección visual de la ubicación de las rejillas, para la captación lateral, de una fuente natural.

Ilustración 9. Ubicación de las rejillas.



Fuente: Propia.

FASE 2: Descripción del comportamiento del flujo

Al finalizar la etapa del primer aforo, se procedió a realizar los cálculos del dimensionamiento de la rejilla de captación lateral, para su respectivo análisis de comportamiento con respecto a las variables aplicadas para así determinar cuáles son las más recomendadas y lograr construirlas y montarlas al modelo físico.

2.1. Se calculó las dimensiones de las posibles rejillas de captación, utilizando diferentes variables de diseño, (ver anexo 4), de esta forma se puede observar su variación y comportamiento, siendo estas variables

- Caudal de diseño: 220 lps.
- Inclinación con respecto a la horizontal.

La inclinación, que se dará a cada rejilla en el momento de realizar el aforo, es de 60° y 75°, según establece la RAS 2000.

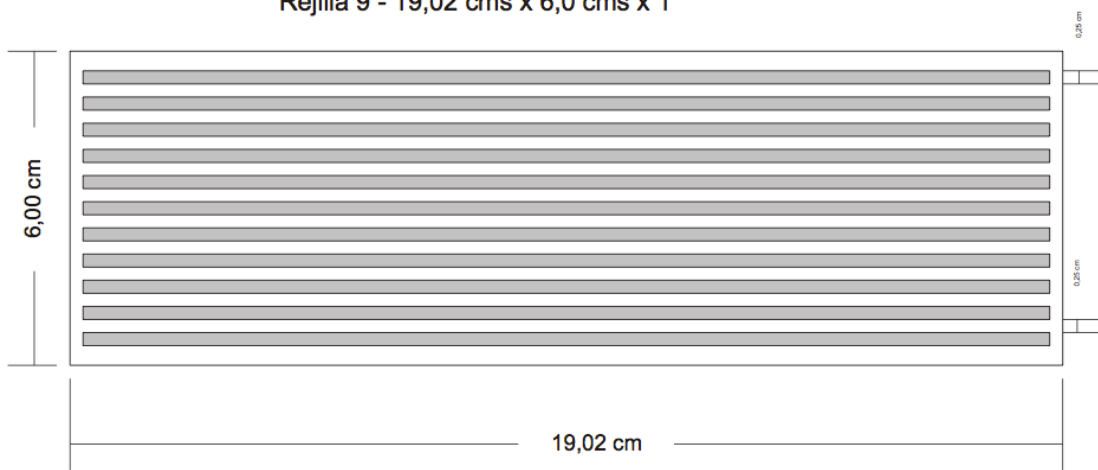
- Dirección de los barrotes.

Se utilizaron 3 direcciones en los barrotes que fueron: vertical, horizontal y diagonal (45°). Al tener los datos, se realizó su respectiva conversión a una escala indicada para el modelo físico.

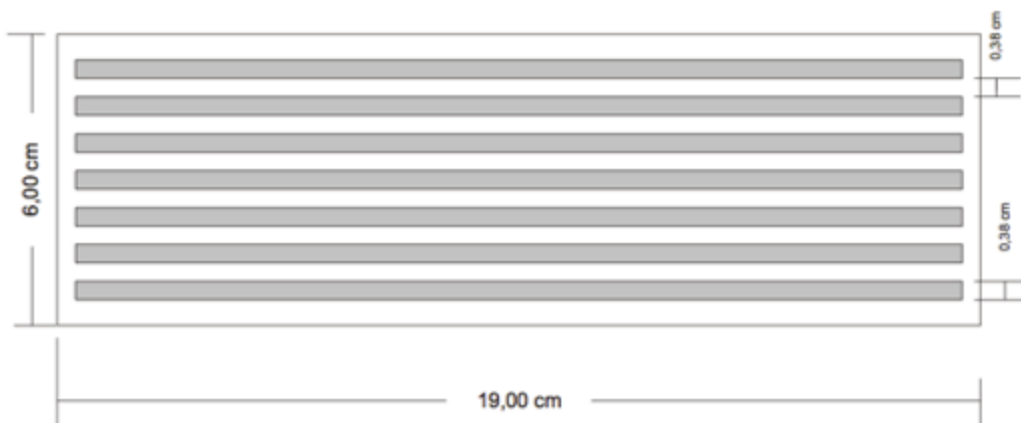
2.2. Se definieron las rejillas a utilizar y se procedió a la construcción de las mismas en acrílico. En el anexo 4 se encuentra la descripción y dimensiones para cada una de las rejillas, teniendo en cuenta que se diseñaron rejillas verticales, horizontales y diagonales; con longitudes y diámetros de barras de 1 pulgada y 1 ½ pulgada. A continuación se presenta el diseño de una de las rejillas por cada tipo: vertical, horizontal y diagonal.

Ilustración 10. Rejillas Horizontales.

Rejilla 9 - 19,02 cms x 6,0 cms x 1"

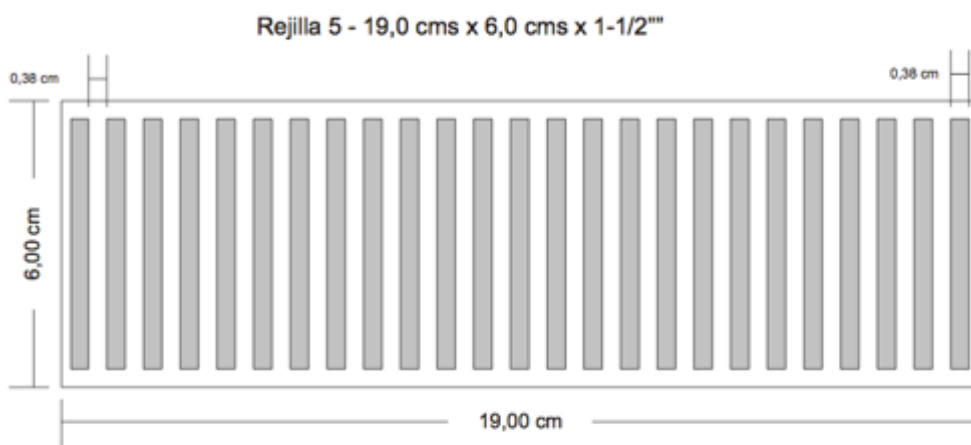
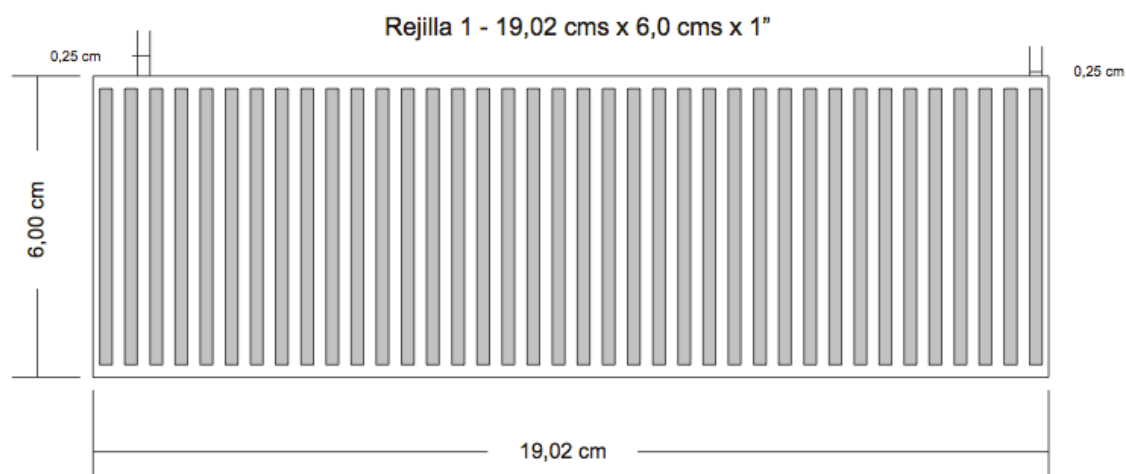


Rejilla 13 - 19,0 cms x 6,0 cms x 1-1/2"



Fuente propia.

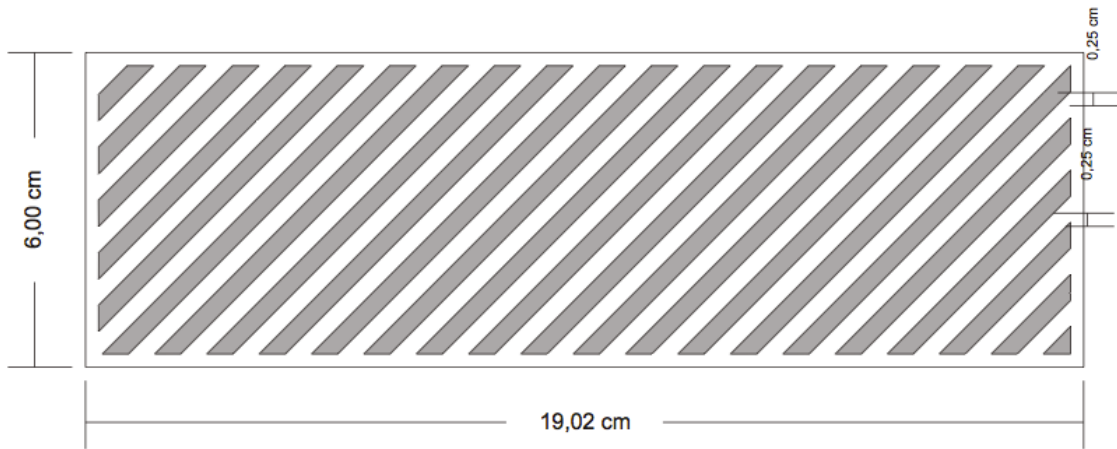
Ilustración 11. Rejillas Verticales.



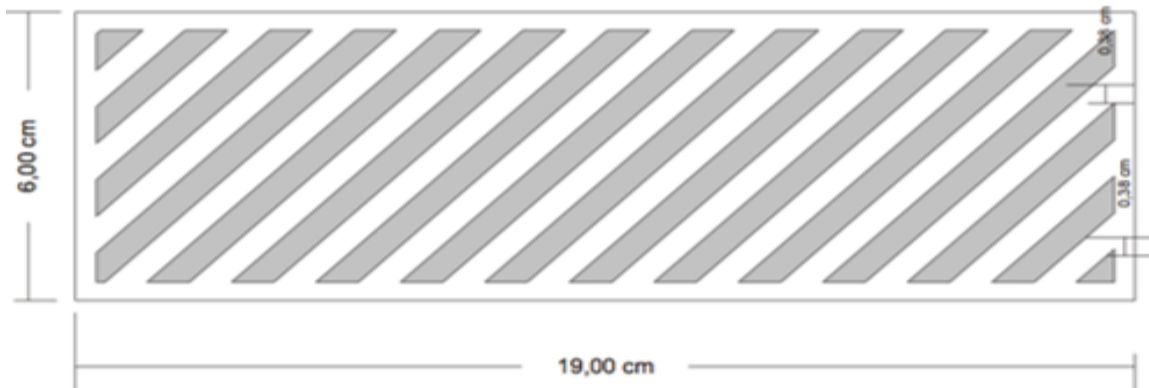
Fuente propia.

Ilustración 12. Rejillas Diagonales.

Rejilla 17 - 19,02 cms x 6,0 cms x 1"- Lámina de 2 mm



Rejilla 21 - 19,0 cms x 6,0 cms x 1-1/2"



Fuente propia.

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

FASE 3. Análisis del comportamiento de las rejillas

- Según los resultados obtenidos en el anexo 5, se puede observar que en un 80% las rejillas son más eficientes con el ángulo de inclinación a 75°, cumpliendo este factor con la norma vigente RAS 2000 para bocatomas laterales.
- En el anexo 6 se encuentran los cálculos en el cual se pudo determinar lo siguiente:
 - En las figuras 1, 2 y 3, se observa los resultados obtenidos en el laboratorio variando el espesor y los sentidos (vertical, horizontal y diagonal) en la cual se describe el comportamiento de las rejillas según su dirección. Permitiendo de esta forma la obtención de resultados del primer grupo para la obtención de las rejillas y de esta forma verificar cual es la que tiene más capacidad de recolectar flujo del agua, dentro de este grupo la más eficientes fueron 2, 4, 10, 12, 18 y 20, la cual permite observar que las rejillas redondas arroja un porcentaje de eficiencia de 99,68%,
 - Según la norma RAS 2000, se tiene estipulado para un diseño para rejillas de captación lateral su ángulo de inclinación entre 60° y 75°, dentro del grupo 1 se aforo un caudal con un ángulo de inclinación de 45°, pero se refleja que la rejilla aforadas a un ángulo de 45° no tienen la misma tendencia que las otras, ya que verificando el resultado del mismo grupo se determina que no están en el mismo grupo de tendencia.

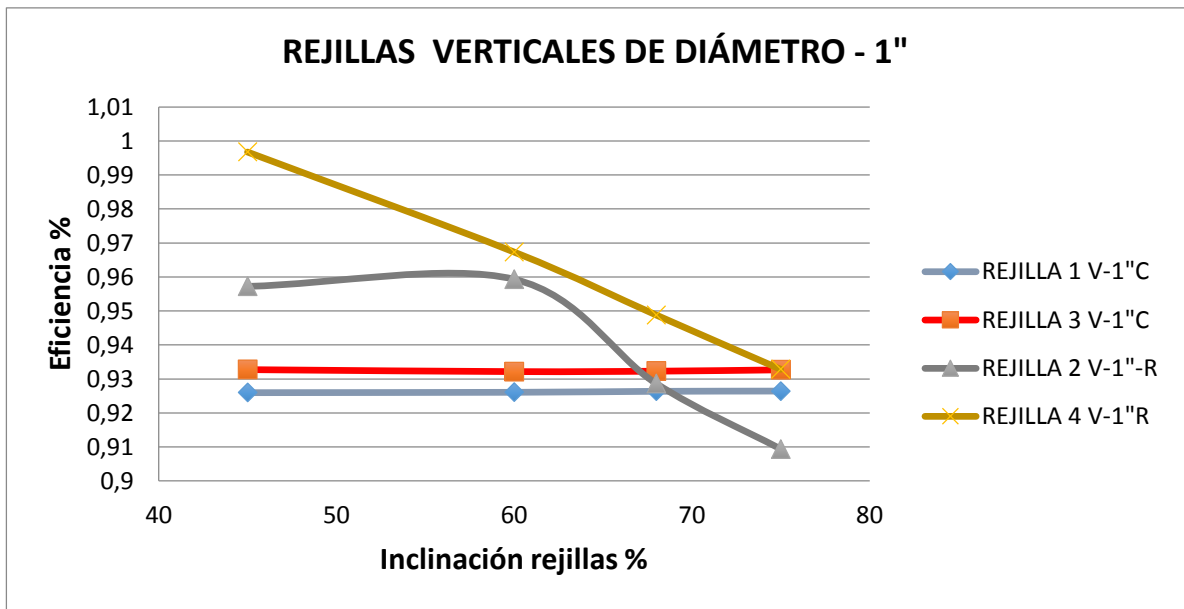


Figura 1. Rejilla vertical 1"

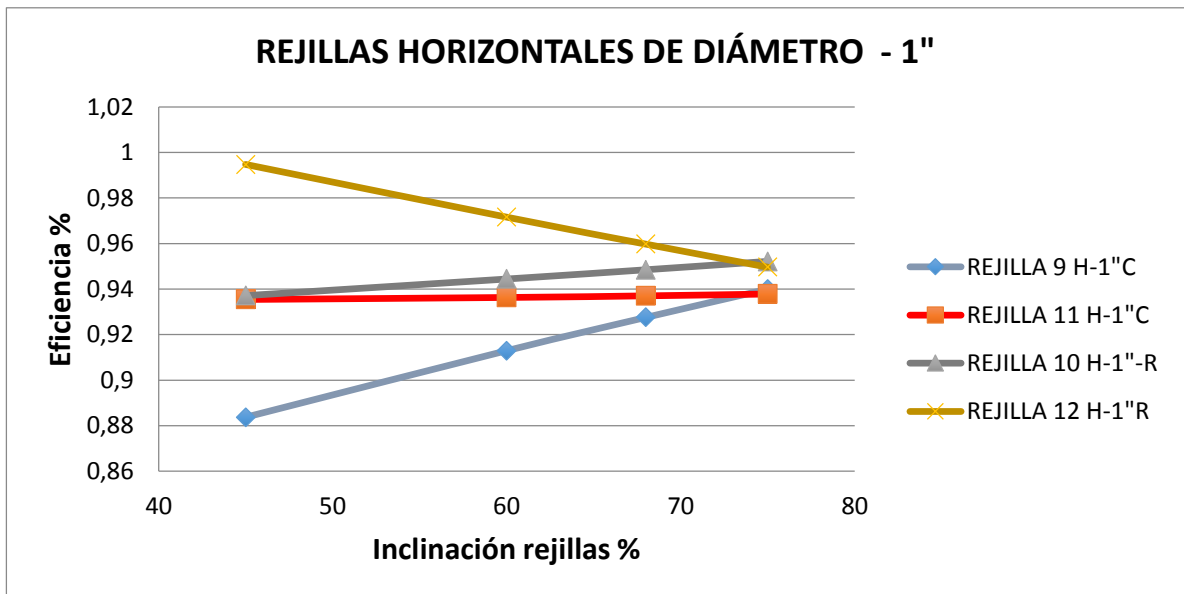


Figura 2. Rejilla horizontal 1"

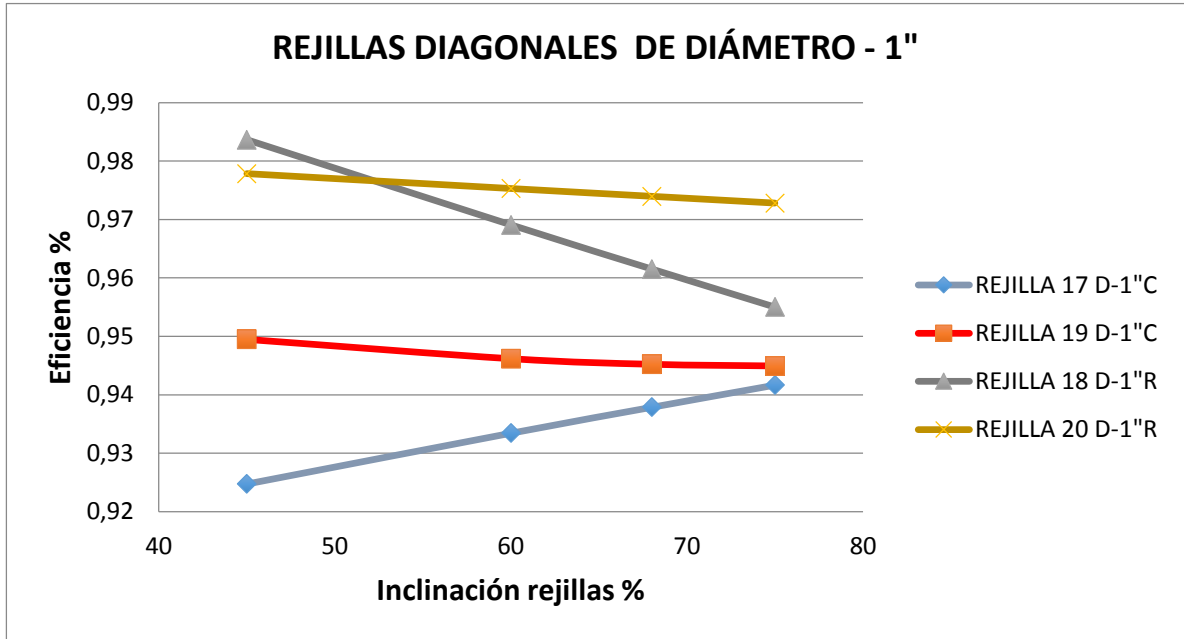


Figura 3. Rejillas diagonales 1"

- En la figura 4, el resultado de la rejilla vertical cuadrada arrojo como resultado que las más eficientes fueron la 5 con porcentaje de eficiencia 93,85% y 7 dando así un porcentaje de eficiencia 95,02%.
- Se observa que la rejilla horizontal cuadrada (ver figura 5), se determina que las más eficientes son la 13 y la 15 porque al tener una mayor longitud se puede captar mayor cantidad de agua.
- En la figura 6 se observa que en las rejillas con barras cuadradas de sentido diagonal, la más eficiente de esta gráfica son la 21 con porcentaje de eficiencia de 92,65% y la 23 porcentaje de eficiencia 94,57%.

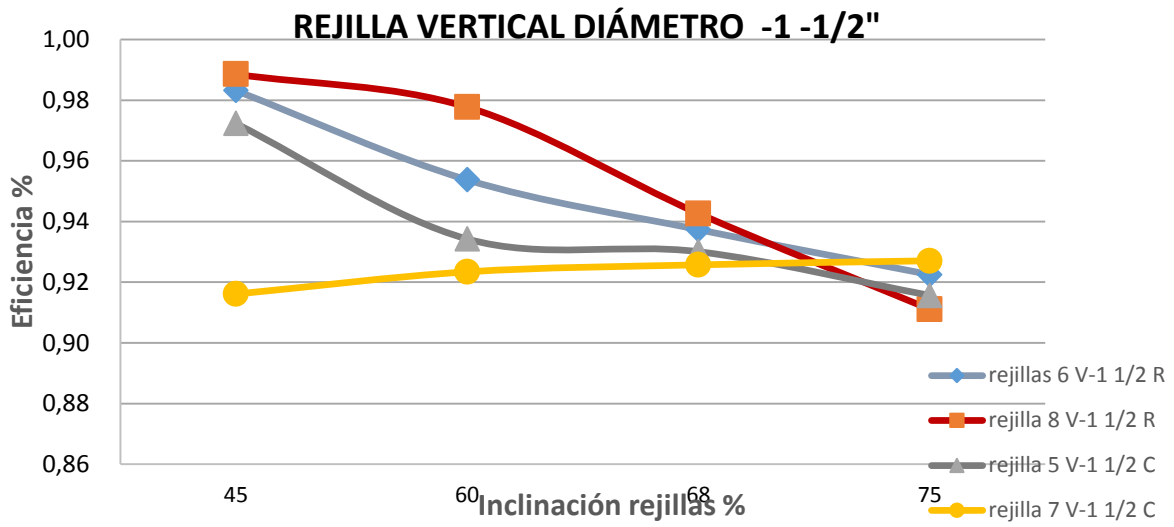


Figura 4. Rejilla vertical 1 1/2"

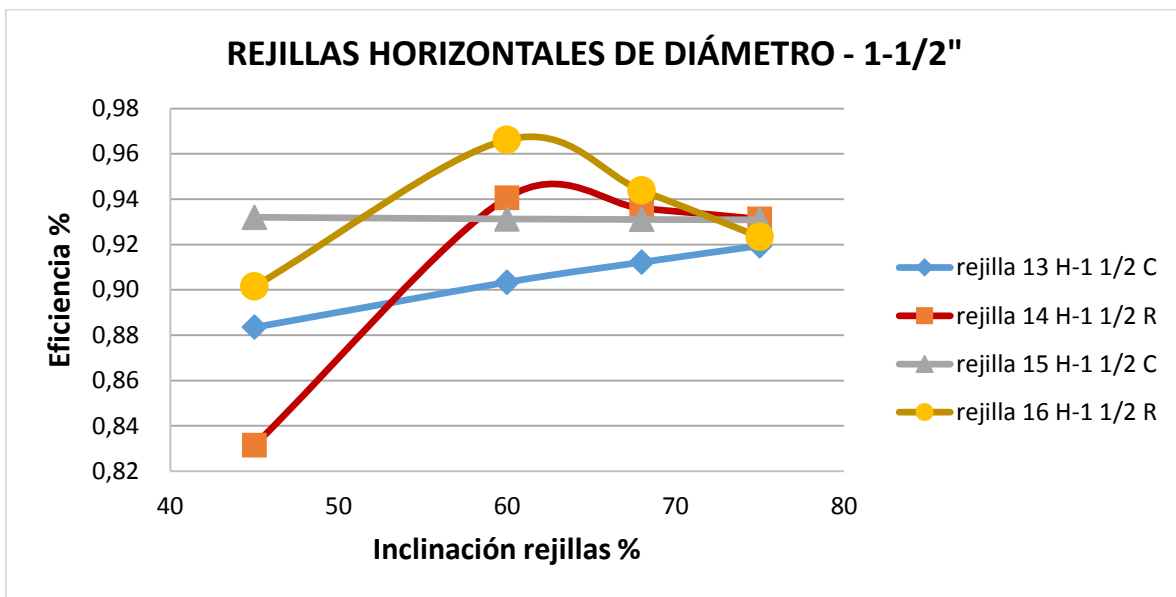


Figura 5. Rejilla horizontal 1 1/2"

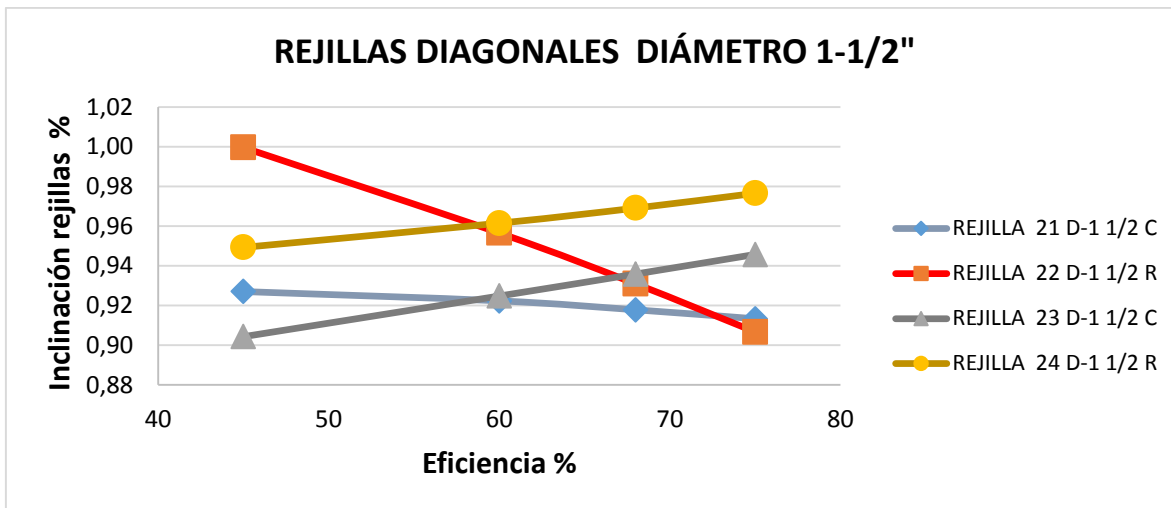


Figura 6. Rejilla diagonal 1 1/2"

- Para la eficiencia en las rejillas con un sentido diagonal (ver figuras 7, 8,9, y 10) demuestran un mayor comportamiento en cuanto la captación de agua, sobrepasando las verticales y horizontales para ambos diámetros en estudio.

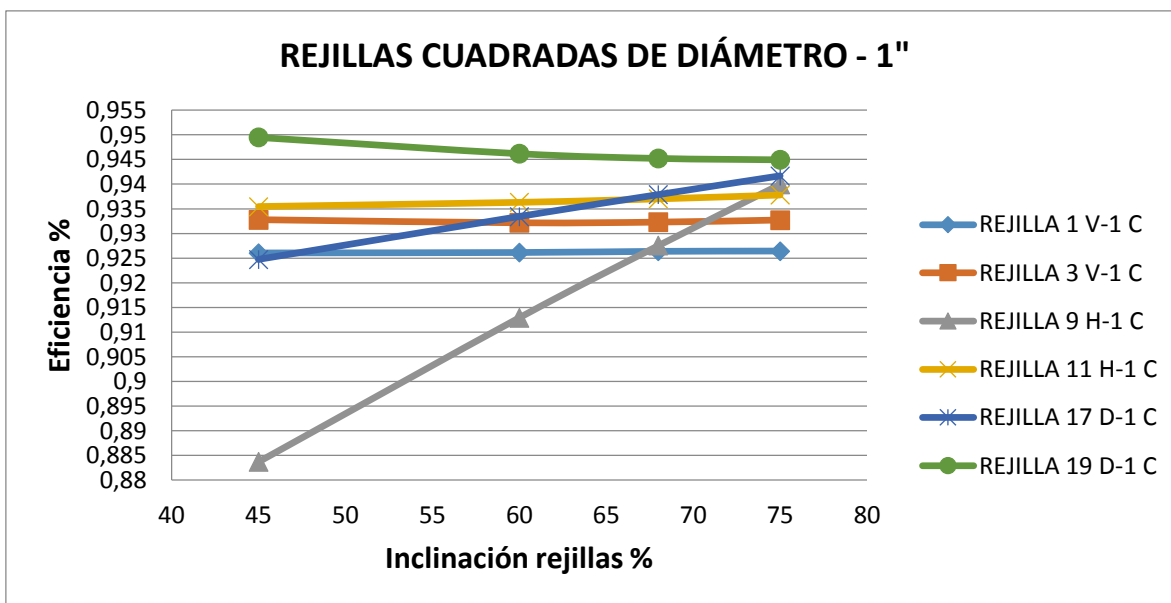


Figura 7. Rejillas cuadradas 1" según su diámetro

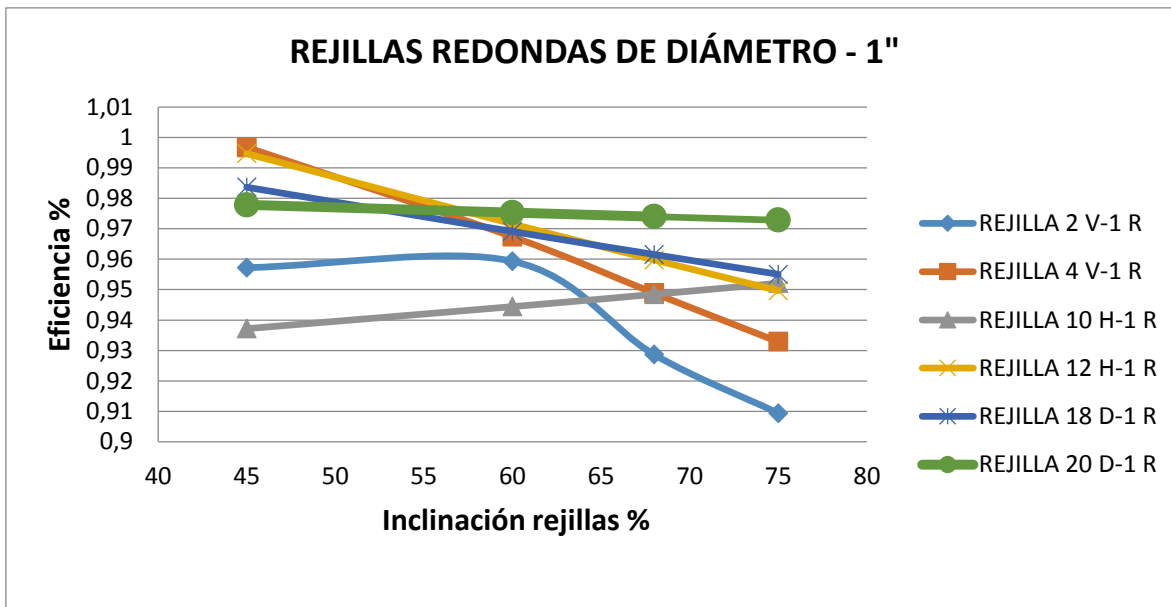


Figura 8. Rejillas redondas rejillas 1" según su diámetro.

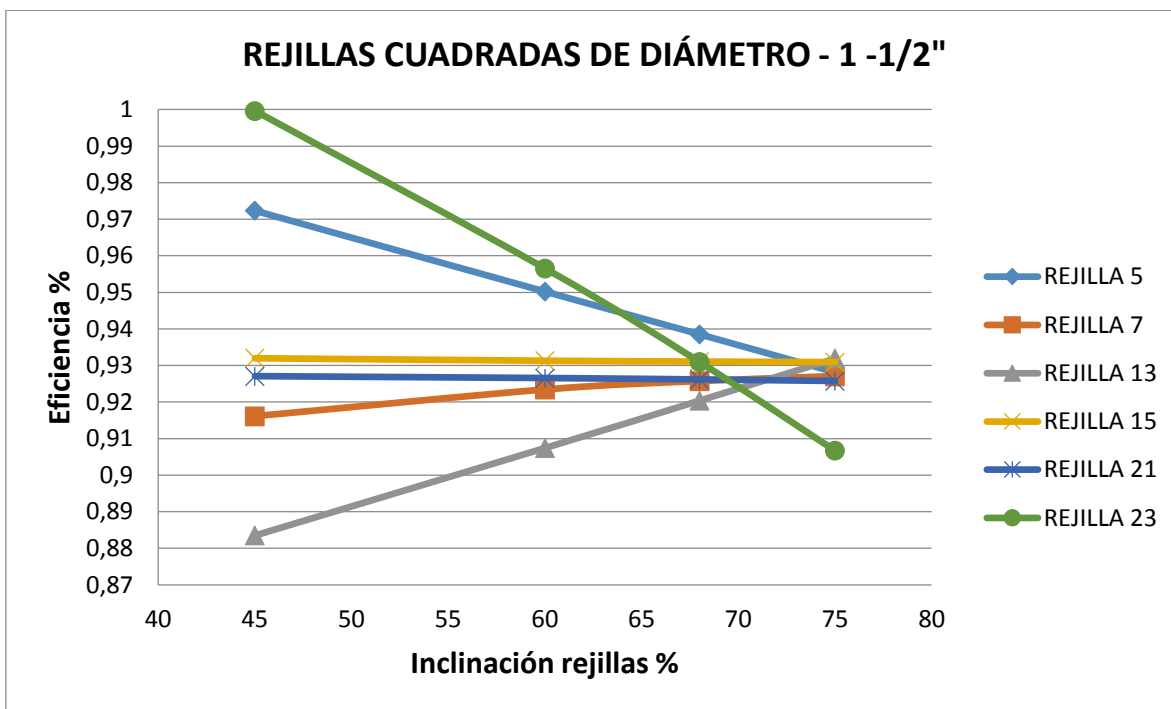


Figura 9. Rejillas cuadradas rejillas 1 ½ " según su diámetro

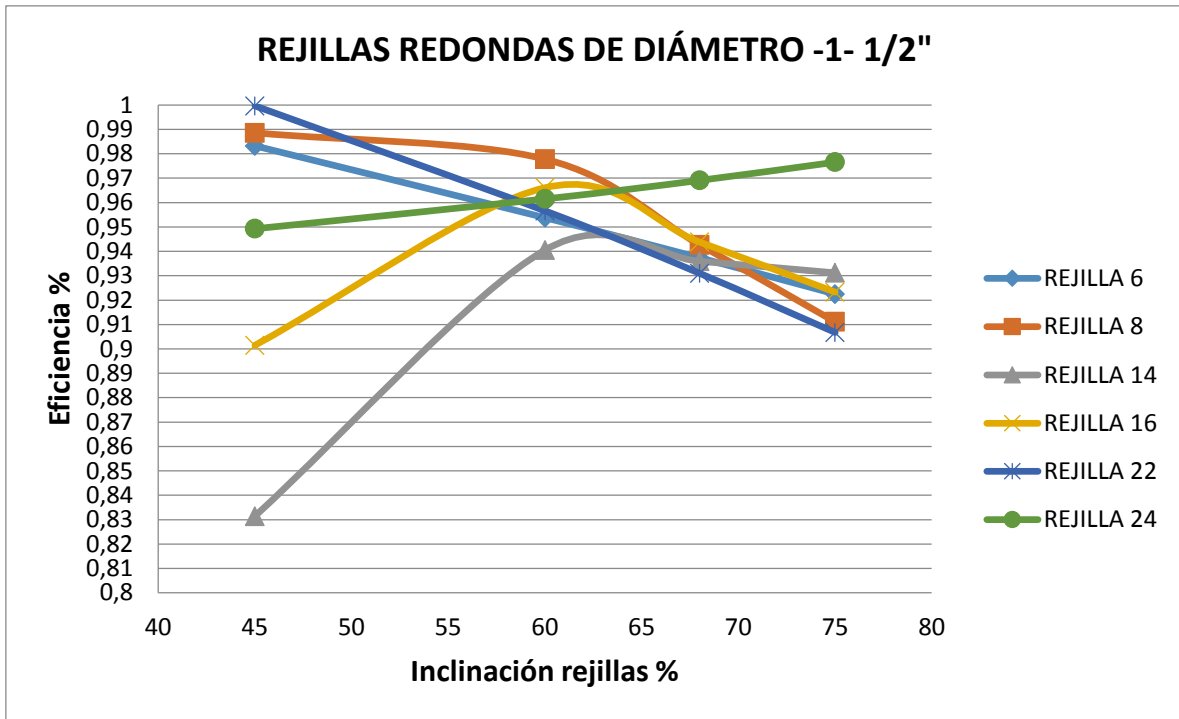


Figura 10. Rejillas redondas rejillas 1 1/2 " según su diámetro

- En las figuras 11 y 12 las rejillas más eficientes de acuerdo a las gráficas 1 a la 10, se observa en la figura 11 y 12 se obtiene un resultado homogéneo para cada uno de los filtros realizados en la determinación de la rejilla para el caudal en estudio, permitiendo así llegar a la gráfica (ver figura 13 y 14) final con dos rejillas con características similares, dando por comprobado que la rejillas más eficientes son de forma redonda en sus barras y con un sentido diagonal en las mismas, pero siendo aún más eficiente la rejilla con cuya características pero cumpliendo con el diámetro de una rejilla de 1".

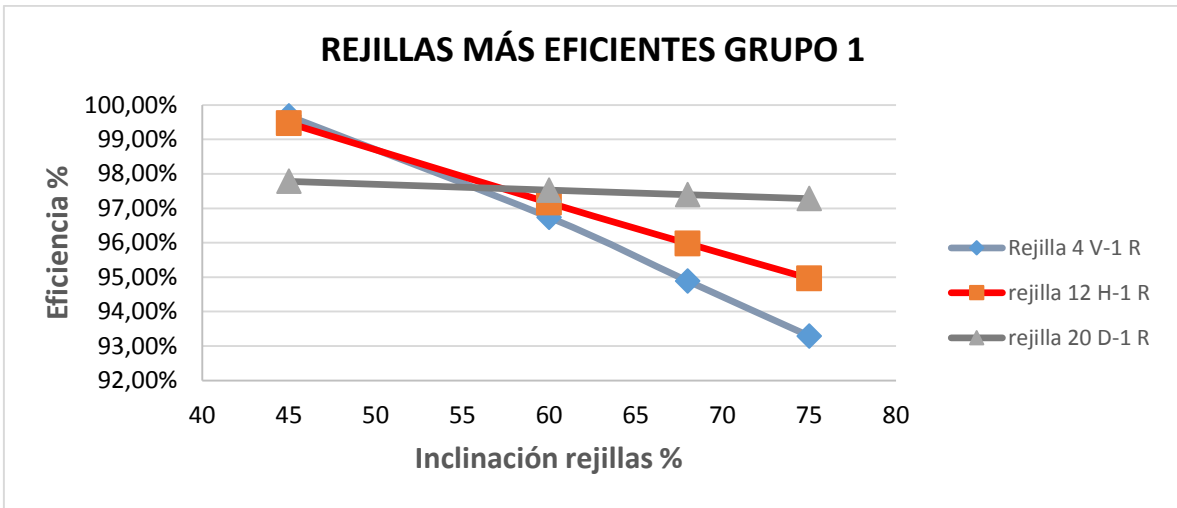


Figura 11. Rejilla más eficiente según figura 8.

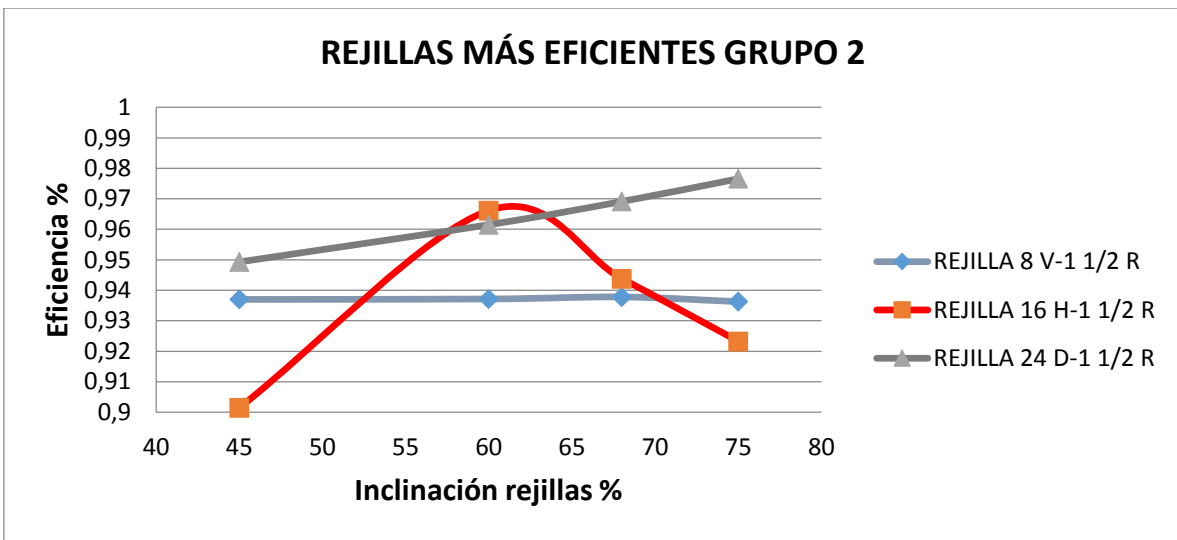


Figura 12. Rejilla más eficiente según figura 10.

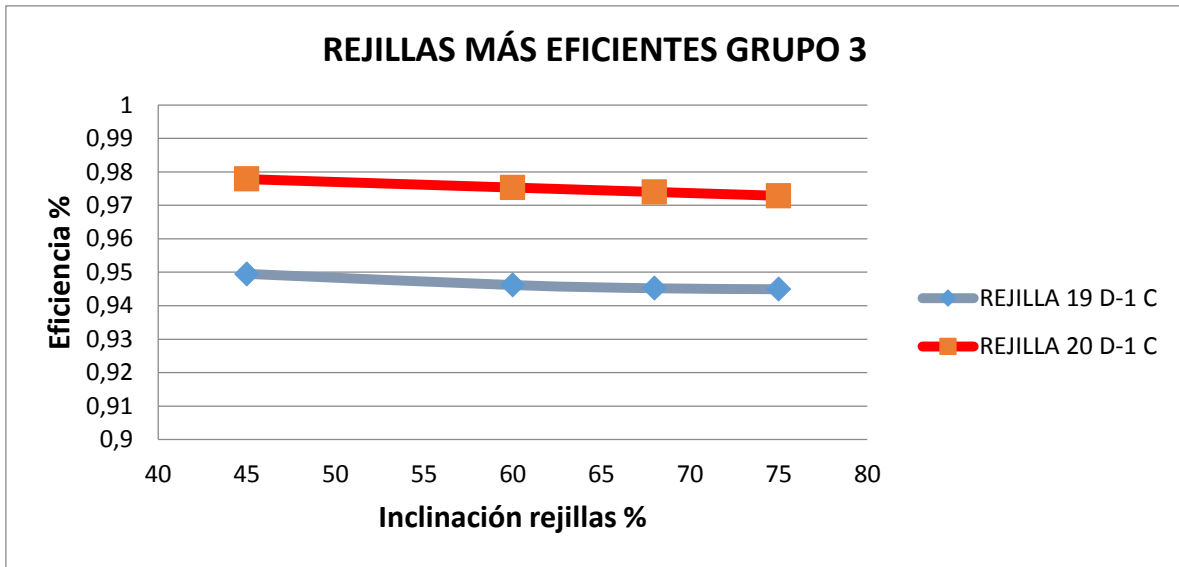


Figura 13. Rejilla más eficiente según figura 8

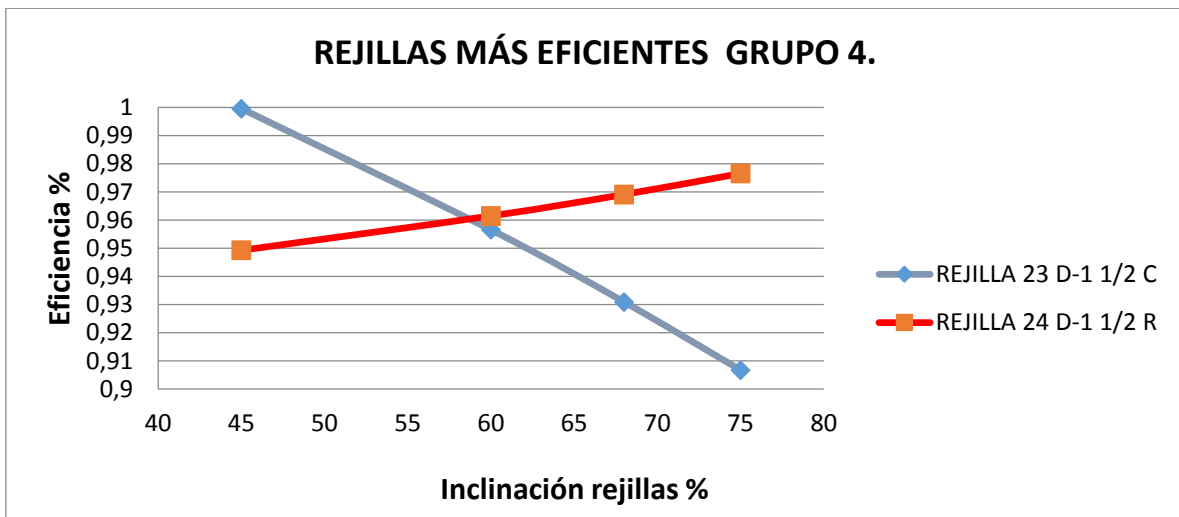


Figura 14. Rejillas más eficientes según figuras 9 y 10

- En la figura 15, se observa el resultado de la rejilla más eficiente para un caudal inferior a 220 litros por segundo corresponde al número 20, con las siguientes características; una longitud de 22,40 cm, una base de 5,80 cm, número de barras 27, ángulo de inclinación de 60°, se determinó que la rejilla redonda diagonal es la más eficiente para nuestro proyecto con un modelo a escala reducida.

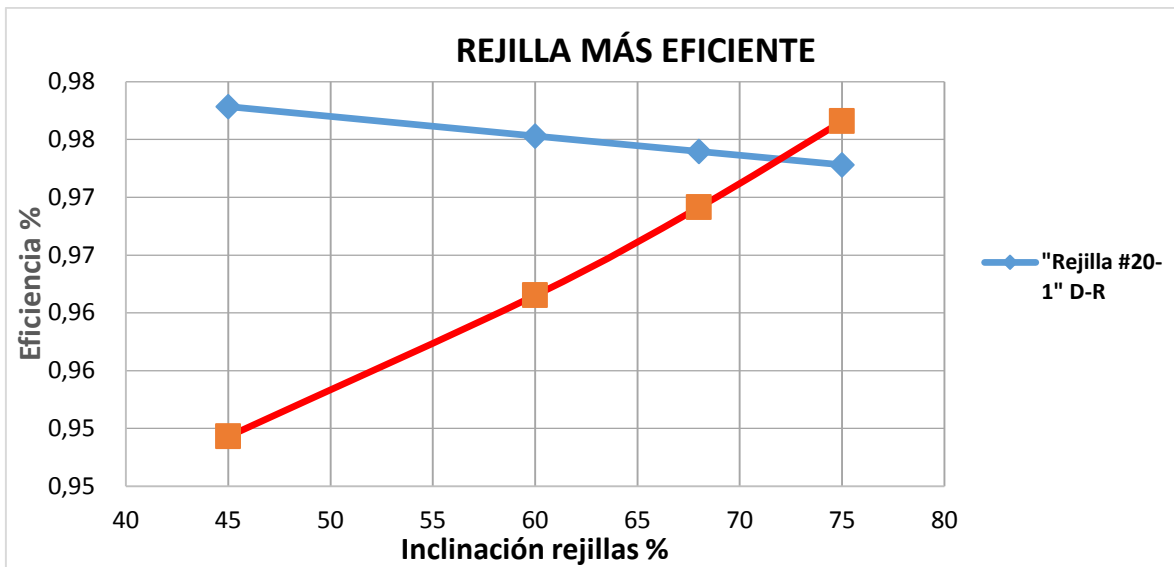


Figura 15. Rejilla más eficiente

8. CONCLUSIONES

- Se identificaron los principales parámetros para el diseño y construcción de las rejillas para captaciones laterales sobre el modelo a escala.
- En cuanto al comportamiento del flujo de diferentes variables de las rejillas, se determinó que a pesar de que la rejilla más eficiente fue diseñada para un ángulo de 60° , se observó una mayor tendencia en el ingreso del flujo, cuando las rejillas se encontraban con ángulo de inclinación a 75° , además las rejillas con barras redondas y una orientación diagonal en sentido al flujo son más eficientes ya que por su geometría y sentido aumenta a su velocidad de ingreso.
- En cuanto a la eficiencia de las rejillas, se determinó que la más eficiente es la número 20, con las siguientes características: Rejilla diagonal con barras redondas, la de menor diámetro entre los diámetros propuestos, con ángulo de inclinación de 60° en la caja de derivación, alcanzando una eficiencia de 97,53%.
- Finalmente, se concluye que al realizar un modelo físico a escala reducida, se logró evaluar la eficiencia hidráulica de rejilla para captaciones laterales con gastos inferiores a 220lps para acueductos, que podrían ser aplicadas a escala real.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con este tipo de proyectos, aumentando los caudales y geometría de las rejillas, cubriendo así un mayor rango de estructuras de captación.
- Otra recomendación es la realización de este modelo o tipo de rejilla a escala real, para ser implementado en futuros estudios haciendo el seguimiento necesario, para en un futuro las rejillas comunes pueda ser reemplazada por este modelo propuesto.
- Por último se recomienda el uso de otros materiales en la construcción de las rejillas de captación, para así poder analizar también la influencia de estos, y la optimización en costos.

10. BIBLIOGRAFÍA

Botero, M., Cano, A., "Estudio experimental de rejilla de bocatoma de fondo". Trabajo de grado. Universidad Nacional Sede Medellín, 1997. 122 p.

Herrera palacios, D.I. Mejoramiento hidráulico al desarenador y rejilla de la toma caucásica del modelo hidráulico reducido del río arturo implementado en la facultad de ingeniería, ciencias físicas y matemática. Ecuador. 2013.

MEDINA MOLINA, Carlos C. MODELACIÓN FÍSICA DE REJILLAS EN CONCRETO PARA SUMIDEROS EN ALCANTARILLADOS. Bogotá, D.C. Universidad la salle. 2010. Pág. 17

NYERGES V., Nicolás. Obras de captación en cursos superficiales de agua para gastos moderados. 19621 130 p.

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Dirección general de agua potable y saneamiento básico, documentación técnico normativa del sector de agua potable y saneamiento básico. BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2.000. Pág. A-55.

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Dirección general de agua potable y saneamiento básico, documentación técnico normativa del sector de agua potable y saneamiento básico. BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2.000. Pág. B.52-B.58.

11. ANEXOS

Anexo 1. Aforo - cálculo de caudal

Apertura válvula salida de la bomba en giros	Apertura válvula salida de la bomba en %	Apertura válvula acometida hidráulica en giros	Apertura válvula acometida hidráulica en %	Masa (gr)	Masa (Kgr)	Tiempo (s)	Gravedad g(m/s ²)	W(N)	Y agua N/m ³	Q (m ³ /s)	Promedio Q (m ³ /s)	Q (Lt/s)	Promedio Q (Lt/s)	Q REAL LT/S	Q REAL M3/S
5,6	40%	13	50%												
5,6	40%	15,6	60%												
5,6	40%	18,2	70%												
5,6	40%	20,8	80%												
5,6	40%	23,4	90%												
5,6	40%	26	100%												
8,4	60%	5,2	20%												
8,4	60%	7,8	30%												
8,4	60%	10,4	40%												
8,4	60%	13	50%												
8,4	60%	15,6	60%												

Anexo 2. Aforo - cálculo de rejillas

TEORICO										
REJILLA #						REJILLA #				
1" Vertical		■	P	t		1 1/2" Vertical		○	P	t
L	0	cm				L	0	cm		
B	0	cm				B	0	cm		
Barras	0	un				Barras	0	un		
Espacios	0	un				Espacios	0	un		
Inclinación	°					Inclinación	°			

TEORICO										
REJILLA #						REJILLA #				
1" horizontal	0	■	P	t		1 1/2" horizontal	0	○	P	t
L	19,020	cm				L	21,50	cm		
B	0,600	cm				B	5,90	cm		
Barras	0	un				Barras	0	un		
Espacios	0	un				Espacios	0	un		
Inclinación	°					Inclinación	°			

TEORICO										
REJILLA #						REJILLA #				
1" Diagonal	0	■	P	t		1 1/2" Diagonal	0	○	P	t
L	0	cm				L		cm		
B	0	cm				B		cm		
Barras	0	un				Barras	0	un		
Espacios	0	un				Espacios	0	un		
Inclinación	°					Inclinación	°			

Anexo 3. Registro de Aforo.

Apertura válvula salida de la bomba en giros	Apertura válvula salida de la bomba en %	Apertura válvula acometida hidráulica en giros	Apertura válvula acometida hidráulica en %	Masa (gr)	Masa (Kgr)	Tiempo (s)	Gravedad (m/s ²)	W(N)	Y agua N/m ³	Q (m ³ /s)	Promedio Q (m ³ /s)	Q (Lt/s)	Promedio Q (Lt/s)	Q REAL LT/S	Q REAL M ³ /S
5,6	40%	13	50%	5320	5,32	1,80	9,81	52,189	9810	0,00296	0,00294	2,956	2,943	294312,51	294,31
				5598	5,598	1,83	9,81	54,916	9810	0,00306		3,059			
				7368	7,368	2,10	9,81	72,280	9810	0,00351		3,509			
				5132	5,132	1,82	9,81	50,345	9810	0,00282		2,820			
				6112	6,112	2,04	9,81	59,959	9810	0,00300		2,996			
				6610	6,61	2,35	9,81	64,844	9810	0,00281		2,813			
				6170	6,17	2,10	9,81	60,528	9810	0,00294		2,938			
				5708	5,708	2,23	9,81	55,995	9810	0,00256		2,560			
				6224	6,224	2,09	9,81	61,057	9810	0,00298		2,978			
				5972	5,972	2,13	9,81	58,585	9810	0,00280		2,804			
5,6	40%	15,6	60%	6704	6,704	2,26	9,81	65,766	9810	0,00297	0,00287	2,966	2,871	287114,72	287,11
				7142	7,142	2,26	9,81	70,063	9810	0,00316		3,160			
				6248	6,248	2,1	9,81	61,293	9810	0,00298		2,975			
				5422	5,422	2,24	9,81	53,190	9810	0,00242		2,421			
				6772	6,772	2,07	9,81	66,433	9810	0,00327		3,271			
				7110	7,11	2,53	9,81	69,749	9810	0,00281		2,810			
				6438	6,438	2,28	9,81	63,157	9810	0,00282		2,824			
				6492	6,492	2,43	9,81	63,687	9810	0,00267		2,672			
				6758	6,758	2,25	9,81	66,296	9810	0,00300		3,004			
				5504	5,504	2,11	9,81	53,994	9810	0,00261		2,609			
5,6	40%	18,2	70%	6664	6,664	2,08	9,81	65,374	9810	0,00320	0,00316	3,204	3,158	315785,81	315,79
				5760	5,76	2,17	9,81	56,506	9810	0,00265		2,654			
				6100	6,1	1,9	9,81	59,841	9810	0,00321		3,211			
				7062	7,062	2,09	9,81	69,278	9810	0,00338		3,379			
				6114	6,114	1,98	9,81	59,978	9810	0,00309		3,088			
				6374	6,374	2,16	9,81	62,529	9810	0,00295		2,951			
				6670	6,67	2,00	9,81	65,433	9810	0,00334		3,335			
				6780	6,78	2,24	9,81	66,512	9810	0,00303		3,027			
				6128	6,128	1,88	9,81	60,116	9810	0,00326		3,260			
				6282	6,282	1,81	9,81	61,626	9810	0,00347		3,471			

Anexo 3. Registro de Aforo. (Continuación)

Apertura válvula salida de la bomba en giros	Apertura válvula salida de la bomba en %	Apertura válvula acometida hidráulica en giros	Apertura válvula acometida hidráulica en %	Masa (gr)	Masa (Kgr)	Tiempo (s)	Gravedad g(m/s ²)	W(N)	Y agua N/m ³	Q (m ³ /s)	Promedio Q (m ³ /s)	Q (Lt/s)	Promedio Q (Lt/s)	Q REAL LT/S	Q REAL M ³ /S
5,6	40%	20,8	80%	5588	5,588	2,13	9,81	54,818	9810	0,00262	0,00308	2,623	3,083	308273,65	308,27
				6578	6,578	2,16	9,81	64,530	9810	0,00305		3,045			
				6854	6,854	1,96	9,81	67,238	9810	0,00350		3,497			
				6116	6,116	2,24	9,81	59,998	9810	0,00273		2,730			
				6400	6,4	1,96	9,81	62,784	9810	0,00327		3,265			
				6874	6,874	1,87	9,81	67,434	9810	0,00368		3,676			
				6740	6,74	2,23	9,81	66,119	9810	0,00302		3,022			
				6454	6,454	2,22	9,81	63,314	9810	0,00291		2,907			
				6314	6,314	2,06	9,81	61,940	9810	0,00307		3,065			
				6380	6,38	2,13	9,81	62,588	9810	0,00300		2,995			
5,6	40%	23,4	90%	6756	6,756	2,13	9,81	66,276	9810	0,00317	0,00294	3,172	2,944	294441,55	294,44
				5764	5,764	2,03	9,81	56,545	9810	0,00284		2,839			
				6386	6,386	2,28	9,81	62,647	9810	0,00280		2,801			
				6646	6,646	2,21	9,81	65,197	9810	0,00301		3,007			
				6358	6,358	1,97	9,81	62,372	9810	0,00323		3,227			
				6138	6,138	2,60	9,81	60,214	9810	0,00236		2,361			
				6286	6,286	1,85	9,81	61,666	9810	0,00340		3,398			
				5904	5,904	1,99	9,81	57,918	9810	0,00297		2,967			
				5416	5,416	1,93	9,81	53,131	9810	0,00281		2,806			
				6104	6,104	2,13	9,81	59,880	9810	0,00287		2,866			
5,6	40%	26	100%	6080	6,08	2,20	9,81	59,645	9810	0,00276	0,00328	2,764	3,276	327640,25	327,64
				6562	6,562	1,88	9,81	64,373	9810	0,00349		3,490			
				6332	6,332	1,76	9,81	62,117	9810	0,00360		3,598			
				5614	5,614	1,98	9,81	55,073	9810	0,00284		2,835			
				6148	6,148	1,80	9,81	60,312	9810	0,00342		3,416			
				6604	6,604	1,95	9,81	64,785	9810	0,00339		3,387			
				6074	6,074	1,71	9,81	59,586	9810	0,00355		3,552			
				6140	6,14	1,74	9,81	60,233	9810	0,00353		3,529			
				5580	5,58	1,81	9,81	54,740	9810	0,00308		3,083			
				6502	6,502	2,09	9,81	63,785	9810	0,00311		3,111			

Anexo 3. Registro de Aforo. (Continuación)

Apertura válvula salida de la bomba en giros	Apertura válvula salida de la bomba en %	Apertura válvula acometida hidráulica en giros	Apertura válvula acometida hidráulica en %	Masa (gr)	Masa (Kgr)	Tiempo (s)	Gravedad g(m/s ²)	W(N)	Y agua N/m ³	Q (m ³ /s)	Promedio Q (m ³ /s)	Q (Lt/s)	Promedio Q (Lt/s)	Q REAL LT/S	Q REAL M ³ /S
8,4	60%	5,2	20%	5916	5,916	3,69	9,81	58,036	9810	0,00160	0,00170	1,603	1,696	169553,47	169,55
				5428	5,428	3,47	9,81	53,249	9810	0,00156		1,564			
				5276	5,276	2,86	9,81	51,758	9810	0,00184		1,845			
				4784	4,784	2,94	9,81	46,931	9810	0,00163		1,627			
				5178	5,178	3,2	9,81	50,796	9810	0,00162		1,618			
				5392	5,392	3,74	9,81	52,896	9810	0,00144		1,442			
				5576	5,576	3,27	9,81	54,701	9810	0,00171		1,705			
				5038	5,038	2,90	9,81	49,423	9810	0,00174		1,737			
				5720	5,72	3,13	9,81	56,113	9810	0,00183		1,827			
				5720	5,72	2,88	9,81	56,113	9810	0,00199		1,986			
8,4	60%	7,8	30%	5234	5,234	2,27	9,81	51,346	9810	0,00231	0,00223	2,306	2,232	223249,61	223,25
				5260	5,26	2,21	9,81	51,601	9810	0,00238		2,380			
				5726	5,726	2,34	9,81	56,172	9810	0,00245		2,447			
				5818	5,818	2,49	9,81	57,075	9810	0,00234		2,337			
				5421	5,421	2,64	9,81	53,180	9810	0,00205		2,053			
				5580	5,58	2,52	9,81	54,740	9810	0,00221		2,214			
				5270	5,27	2,56	9,81	51,699	9810	0,00206		2,059			
				5266	5,266	2,56	9,81	51,659	9810	0,00206		2,057			
				5440	5,44	2,38	9,81	53,366	9810	0,00229		2,286			
				5204	5,204	2,38	9,81	51,051	9810	0,00219		2,187			
8,4	60%	10,4	40%	5262	5,262	2,06	9,81	51,620	9810	0,00255	0,00264	2,554	2,636	263617,30	263,62
				5688	5,688	2,22	9,81	55,799	9810	0,00256		2,562			
				5998	5,998	2,21	9,81	58,840	9810	0,00271		2,714			
				6550	6,55	2,41	9,81	64,256	9810	0,00272		2,718			
				5572	5,572	2,00	9,81	54,661	9810	0,00279		2,786			
				5784	5,784	2,09	9,81	56,741	9810	0,00277		2,767			
				5908	5,908	2,23	9,81	57,957	9810	0,00265		2,649			
				5184	5,184	2,00	9,81	50,855	9810	0,00259		2,592			
				5682	5,682	2,27	9,81	55,740	9810	0,00250		2,503			
				5534	5,534	2,20	9,81	54,289	9810	0,00252		2,515			

Anexo 3. Registro de Aforo. (Continuación)

Apertura válvula salida de la bomba en giros	Apertura válvula salida de la bomba en %	Apertura válvula acometida hidráulica en giros	Apertura válvula acometida hidráulica en %	Masa (gr)	Masa (Kgr)	Tiempo (s)	Gravedad g(m/s ²)	W(N)	Y agua N/m ³	Q (m ³ /s)	Promedio Q (m ³ /s)	Q (Lt/s)	Promedio Q (Lt/s)	Q REAL LT/S	Q REAL M ³ /S
8,4	60%	13	50%	5736	5,736	2,31	9,81	56,270	9810	0,00248	0,00274	2,483	2,736	273625,87	273,63
				6026	6,026	1,93	9,81	59,115	9810	0,00312		3,122			
				5946	5,946	2,01	9,81	58,330	9810	0,00296		2,958			
				6282	6,282	2,31	9,81	61,626	9810	0,00272		2,719			
				6118	6,118	2,17	9,81	60,018	9810	0,00282		2,819			
				5610	5,61	1,74	9,81	55,034	9810	0,00322		3,224			
				5544	5,544	1,90	9,81	54,387	9810	0,00292		2,918			
				6692	6,692	2,63	9,81	65,649	9810	0,00254		2,544			
				5666	5,666	2,22	9,81	55,583	9810	0,00255		2,552			
				5296	5,296	2,62	9,81	51,954	9810	0,00202		2,021			
8,4	60%	15,6	60%	6046	6,046	2,2	9,81	59,311	9810	0,00275	0,00319	2,748	3,193	319279,35	319,28
				5746	5,746	1,55	9,81	56,368	9810	0,00371		3,707			
				5646	5,646	1,73	9,81	55,387	9810	0,00326		3,264			
				6344	6,344	1,98	9,81	62,235	9810	0,00320		3,204			
				6596	6,596	2,38	9,81	64,707	9810	0,00277		2,771			
				5448	5,448	1,52	9,81	53,445	9810	0,00358		3,584			
				6094	6,094	1,69	9,81	59,782	9810	0,00361		3,606			
				6530	6,53	2,04	9,81	64,059	9810	0,00320		3,201			
				5974	5,974	1,78	9,81	58,605	9810	0,00336		3,356			
				7086	7,086	2,85	9,81	69,514	9810	0,00249		2,486			

Anexo 4. Las dimensiones de las posibles rejillas de captación

REJILLA #1		
1" Vertical		■
L	19,02	Cm
B	6	Cm
Barras	37	Un
Espacios	38	Un
Inclinación	75°	

REJILLA #2		
1" Vertical		○
L	21,50	cm
B	5,90	cm
Barras	42	un
Espacios	43	un
Inclinación	75°	

REJILLA #3		
1" Vertical		■
L	19,94	Cm
B	6,0	Cm
Barras	39	Un
Espacios	40	Un
Inclinación	60°	

REJILLA #4		
1" Vertical		○
L	22,49	cm
B	5,80	cm
Barras	44	un
Espacios	45	un
Inclinación	60°	

REJILLA #5		
1-1/2" Vertical		■
L	19,00	Cm
B	6,00	Cm
Barras	24	Un
Espacios	25	Un
Inclinación	75°	

REJILLA #6		
1-1/2" Vertical		○
L	21,41	cm
B	5,90	cm
Barras	27	un
Espacios	28	un
Inclinación	75°	

Anexo 4. Las dimensiones de las posibles rejillas de captación (Continuación).

REJILLA #7		
1-1/2" Vertical		■
L	19,85	cm
B	6,00	cm
Barras	25	un
Espacios	26	un
Inclinación	60°	

REJILLA #8		
1-1/2" Vertical		○
L	22,28	Cm
B	5,80	Cm
Barras	28	Un
Espacios	29	un
Inclinación	60°	

REJILLA #9		
1" horizontal		■
L	19,020	cm
B	0,600	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	75°	

REJILLA #10		
1" horizontal		○
L	21,50	cm
B	5,90	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	75°	

REJILLA 11		
1" horizontal		■
L	19,94	cm
B	6,000	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	60°	

REJILLA #12		
1" horizontal		○
L	22,49	cm
B	5,80	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	60°	

Anexo 4. Las dimensiones de las posibles rejillas de captación (Continuación).

REJILLA #13		
1-1/2" horizontal		■
L	19,00	cm
B	6,00	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	75°	

REJILLA #14		
1-1/2" horizontal		○
L	21,41	cm
B	5,90	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	75°	

REJILLA #15		
1-1/2" horizontal		■
L	19,85	cm
B	6,00	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	60°	

REJILLA #16		
1-1/2" horizontal		○
L	22,28	cm
B	5,80	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	60°	0

REJILLA #17		
1" Diagonal		■
L	19,02	cm
B	6,00	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	75°	

REJILLA #18		
1" Diagonal		○
L	21,50	cm
B	5,90	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	75°	

Anexo 4. Las dimensiones de las posibles rejillas de captación (Continuación).

REJILLA #19		
1" diagonal		■
L	19,94	cm
B	6,00	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	60°	

REJILLA #20		
1" Diagonal		○
L	22,49	cm
B	5,80	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	60°	

REJILLA #21		
1-1/2" Diagonal		■
L	19,00	cm
B	6,00	cm
Barras	15	un
Espacios	16	un
Inclinación	75°	

REJILLA #22		
1-1/2" Diagonal		○
L	21,41	cm
B	5,90	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	75°	

REJILLA #23		
1-1/2" Diagonal		■
L	19,85	cm
B	6,00	cm
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	60°	

REJILLA #24		
1-1/2" Diagonal		○
L	22,28	ml
B	5,80	ml
Barras	0	un
Espacios	0	un
Inclinación	60°	0

Anexo 5. Aforo – Rejillas

Anexo 6. Cálculos para gráficas.

- Grupo 1 rejillas 1" según dirección.

Vertical 1"					
	REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	ÁNGULO	EFICIENCIA
V-1" C	1	203,816102	220	75	92,64%
V-1" C	1	203,802013	220	68	92,64%
V-1" C	1	203,746383	220	60	92,61%
V-1" C	1	203,724242	220	45	92,60%
V-1"-C	3	205,197486	220	75	93,27%
V-1"-C	3	205,108539	220	68	93,23%
V-1"-C	3	205,079692	220	60	93,22%
V-1"-C	3	205,211604	220	45	93,28%
V-1"-R	2	200,068431	220	75	90,94%
V-1"-R	2	204,304211	220	68	92,87%
V-1"-R	2	211,056004	220	60	95,93%
V-1"-R	2	210,592744	220	45	95,72%
V-1"-R	4	205,234123	220	75	93,29%
V-1"-R	4	208,744324	220	68	94,88%
V-1"-R	4	212,819532	220	60	96,74%
V-1"-R	4	219,288506	220	45	99,68%

Horizontal 1"					
	Nº Rejilla	Caudal aforado	Caudal de diseño	ángulo de inclinación	eficiencia rejilla
H-1"-C	9	206,790	220	75	93,996%
H-1"-C	9	204,061	220	68	92,755%
H-1"-C	9	200,843	220	60	91,292%
H-1"-C	9	194,411	220	45	88,369%
H-1"-C	11	206,320	220	75	93,782%
H-1"-C	11	206,145	220	68	93,702%
H-1"-C	11	205,988	220	60	93,631%
H-1"-C	11	205,795	220	45	93,543%

Horizontal 1"					
	N° Rejilla	Caudal aforado	Caudal de diseño	ángulo de inclinación	eficiencia rejilla
H-1"-R	10	209,470	220	75	95,214%
H-1"-R	10	208,665	220	68	94,848%
H-1"-R	10	207,773	220	60	94,442%
H-1"-R	10	206,176	220	45	93,716%
H-1"-R	12	208,920	220	75	94,964%
H-1"-R	12	211,145	220	68	95,975%
H-1"-R	12	213,750	220	60	97,159%
H-1"-R	12	218,837	220	45	99,471%

Diagonal 1"					
	N° Rejilla	Caudal aforado	Caudal de diseño	ángulo de inclinación	eficiencia rejilla
D-1"-C	17	207,167083	220	75	94,17%
D-1"-C	17	206,331461	220	68	93,79%
D-1"-C	17	205,356121	220	60	93,34%
D-1"-C	17	203,444323	220	45	92,47%
D-1"-C	19	207,885193	220	75	94,49%
D-1"-C	19	207,948097	220	68	94,52%
D-1"-C	19	208,158384	220	60	94,62%
D-1"-C	19	208,886975	220	45	94,95%
D-1"-R	18	210,104151	220	75	95,50%
D-1"-R	18	211,535762	220	68	96,15%
D-1"-R	18	213,197815	220	60	96,91%
D-1"-R	18	216,400724	220	45	98,36%
D-1"-R	20	214,018155	220	75	97,28%
D-1"-R	20	214,272407	220	68	97,40%
D-1"-R	20	214,565429	220	60	97,53%
D-1"-R	20	215,124417	220	45	97,78%

- Grupo 2 rejillas 1 1/2" según dirección.

Verticales 1 1/2"				
Nº Rejilla	Caudal aforado	Caudal de diseño	eficiencia rejilla	ángulo de inclinación
5	206,4665	220	93,42%	60
5	206,4665	220	93,00%	68
5	204,1816	220	91,56%	75
6	209,8247	220	95,37%	60
6	206,2095	220	93,73%	68
6	202,9444	220	92,25%	75
7	203,1513	220	92,34%	60
7	203,6569	220	92,57%	68
7	203,9493	220	92,70%	75
8	215,1038	220	97,77%	60
8	207,3848	220	94,27%	68
8	200,4409	220	91,11%	75

Horizontales 1 1/2"				
Nº Rejilla	Caudal aforado	Caudal de diseño	eficiencia rejilla	ángulo de inclinación
13	199,6384	220	90,33%	60
13	202,4945	220	91,21%	68
13	205,0223	220	91,94%	75
14	206,9263	220	94,06%	60
14	205,9046	220	93,59%	68
14	204,8642	220	93,12%	75
15	204,885	220	93,13%	60
15	204,8328	220	93,11%	68
15	204,8019	220	93,09%	75
16	212,5464	220	96,61%	60
16	207,6306	220	94,38%	68
16	203,1189	220	92,33%	75

Diagonal 1 1/2"				
N° Rejilla	Caudal aforado	Caudal de diseño	eficiencia rejilla	ángulo de inclinación
21	203,8388	220	92,23%	60
21	203,7534	220	91,78%	68
21	203,6617	220	91,33%	75
22	210,4413	220	95,66%	60
22	204,8058	220	93,09%	68
22	199,4816	220	90,67%	75
23	203,4613	220	92,48%	60
23	205,8958	220	93,59%	68
23	208,0629	220	94,57%	75
24	211,5345	220	96,15%	60
24	213,2096	220	96,91%	68
24	214,8479	220	97,66%	75

- Grupo 3 rejillas 1" según su diámetro.

REJILLAS CUADRADAS DE 1"				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
1	203,75	220	92,61%	60
1	203,80	220	92,64%	68
1	203,82	220	92,64%	75
3	205,08	220	93,22%	60
3	205,11	220	93,23%	68
3	205,20	220	93,27%	75
9	200,84	220	91,29%	60
9	204,06	220	92,76%	68
9	206,79	220	94,00%	75
11	205,99	220	93,63%	60
11	206,14	220	93,70%	68
11	206,32	220	93,78%	75
17	205,36	220	93,34%	60

- Grupo 3 rejillas 1" según su diámetro.
(continuación)

REJILLAS CUADRADAS DE 1"				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
17	206,33	220	93,79%	68
17	207,17	220	94,17%	75
19	208,16	220	94,62%	60
19	207,95	220	94,52%	68
19	207,89	220	94,49%	75

REJILLAS REDONDAS DE 1"				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
2	211,06	220	95,93%	60
2	204,30	220	92,87%	68
2	200,07	220	90,94%	75
4	212,82	220	96,74%	60
4	208,74	220	94,88%	68
4	205,23	220	93,29%	75
10	207,77	220	94,44%	60
10	208,66	220	94,85%	68
10	209,47	220	95,21%	75
12	213,75	220	97,16%	60
12	211,14	220	95,97%	68
12	208,92	220	94,96%	75
18	213,20	220	96,91%	60
18	211,54	220	96,15%	68
18	210,10	220	95,50%	75
20	214,57	220	97,53%	60
20	214,27	220	97,40%	68
20	214,02	220	97,28%	75

- Grupo 4 rejillas 1 1/2" según diámetro

REJILLAS CUADRADAS DE 1 1/2"				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
5	209,04	220	95,02%	60
5	206,47	220	93,85%	68
5	204,18	220	92,81%	75
7	203,15	220	92,34%	60
7	203,66	220	92,57%	68
7	203,95	220	92,70%	75
13	199,64	220	90,74%	60
13	202,49	220	92,04%	68
13	205,02	220	93,19%	75
15	204,88	220	93,13%	60
15	204,83	220	93,11%	68
15	204,80	220	93,09%	75
21	203,84	220	92,65%	60
21	203,75	220	92,62%	68
21	203,66	220	92,57%	75
23	210,44	220	95,66%	60
23	204,81	220	93,09%	68
23	199,48	220	90,67%	75

- Grupo 4 rejillas 1 1/2" según diámetro
(Continuación)

REJILLAS REDONDAS DE 1 1/2"				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
6	209,82	220	95,37%	60
6	206,21	220	93,73%	68
6	202,94	220	92,25%	75
8	215,10	220	97,77%	60

- Grupo 4 rejillas 1 1/2" según diámetro (Continuación)

REJILLAS REDONDAS DE 1 1/2"				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
8	207,38	220	94,27%	68
8	200,44	220	91,11%	75
14	206,93	220	94,06%	60
14	205,90	220	93,59%	68
14	204,86	220	93,12%	75
16	212,55	220	96,61%	60
16	207,63	220	94,38%	68
16	203,12	220	92,33%	75
22	210,44	220	95,66%	60
22	204,81	220	93,09%	68
22	199,48	220	90,67%	75
24	211,53	220	96,15%	60
24	213,21	220	96,91%	68
24	214,85	220	97,66%	75

- Grupo 5, rejillas más eficientes de acuerdo grupo 1, 2, 3, 4

Primer filtro más eficientes de 1"				
N° Rejilla	Caudal aforado	Caudal de diseño	ángulo de inclinación	eficiencia rejilla
4	205,234123	220	75	93,29%
4	208,744324	220	68	94,88%
4	212,819532	220	60	96,74%
12	208,920	220	75	94,96%
12	211,145	220	68	95,97%
12	213,750	220	60	97,16%
20	214,018155	220	75	97,28%
20	214,272407	220	68	97,40%
20	214,565429	220	60	97,53%

REJILLAS DE 1 1/2" SEGÚN SU SENTIDO.				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
8	206,18	220	93,72%	60
8	206,32	220	93,78%	68
8	205,99	220	93,63%	75
16	212,55	220	96,61%	60
16	207,63	220	94,38%	68
16	203,12	220	92,33%	75
24	211,53	220	96,15%	60
24	213,21	220	96,91%	68
24	214,85	220	97,66%	75

REJILLAS DE 1" SEGÚN FORMA				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
18	213,20	220	96,91%	60
18	211,54	220	96,15%	68
18	210,10	220	95,50%	75
20	214,57	220	97,53%	60
20	214,27	220	97,40%	68
20	214,02	220	97,28%	75

REJILLAS DE 1" SEGÚN FORMA				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
19	208,16	220	94,62%	60
19	207,95	220	94,52%	68
19	207,89	220	94,49%	75
20	214,57	220	97,53%	60
20	214,27	220	97,40%	68
20	214,02	220	97,28%	75

REJILLAS DE 1 1/2" SEGÚN FORMA				
N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
23	210,44	220	95,66%	60
23	204,81	220	93,09%	68
23	199,48	220	90,67%	75
24	211,53	220	96,15%	60
24	213,21	220	96,91%	68
24	214,85	220	97,66%	75

- Rejilla más eficiente

N° REJILLA	CAUDAL AFORADO	CAUDAL DE DISEÑO	EFICIENCIA REJILLA	ANGULO INCLINACIÓN
20	214,57	220	97,53%	60
20	214,27	220	97,40%	68
20	214,02	220	97,28%	75
24	211,53	220	96,15%	60
24	213,21	220	96,91%	68
24	214,85	220	97,66%	75